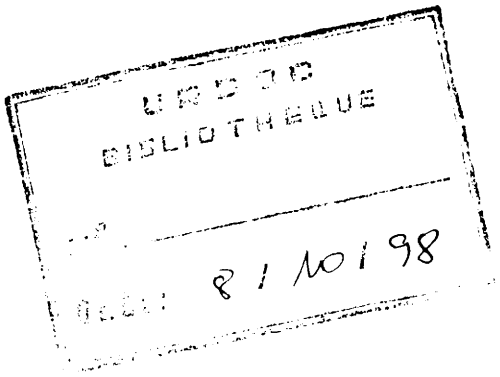
OFFICE DU NIGER
ZONE DE NIONO
PROJET RETAIL III

URDOC

RÉPUBLIQUE DU MALI
Un Peuple - Un But - Une Foi



DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE DE L'ÉLABORATION DU RENDEMENT DU RIZ IRRIGUE DANS LE VILLAGE DE DARSALAM

ZONE OFFICE DU NIGER DE MACINA

VERSION DÉFINITIVE

Septembre 1998

Raphaèle Ducrot
Mamadi N. Kéïta
Yohanna Coumaré

CIRAD-SAR

Financement CFD
Convention N° 58 255 00 521 OM/CML 103701

Unité de Recherche Développement Observatoire du Changement
BP 11 Niono région de Ségou Mali tél/fax 35 21 27
urdoc@datatech.toolnet.org

DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE SUR L'ELABORATION DU RENDEMENT DU RIZ IRRIGUE DANS LE VILLAGE DE DARSALAM (K3 - ZONE OFFICE DU NIGER DE MACINA)

RESUME

Un suivi agronomique de 46 bassins rizicoles a été conduit dans le village de Darsalam en 1998 afin de déterminer les périodes du cycle et facteurs limitants du rendement dans ce village au rendement limité. Pour chaque paysan, deux bassins étaient mis en comparaison : l'un bénéficiait d'une fertilisation contrôlée en urée et DAP selon les normes recommandées par l'Office du Niger, l'autre était conduit selon les techniques habituelles de la fertilisation du paysan.

Notre suivi des pratiques paysannes a mis en évidence l'existence d'une forte variabilité des itinéraires techniques, compatibles avec une forte variabilité des rendements. Les rendements sondés restent cependant inférieurs globalement à ceux d'autres zones de l'Office du Niger, et les plus faibles rendements ne sont pas forcément associés à une mauvaise maîtrise des itinéraires techniques.

Certes, des retards dans l'implantation des cultures (après la date seuil du 15 août) sont susceptibles d'affecter le rendement. Nous avons mis en évidence l'existence de processus physiologiques différents entre les repiquages à temps et les repiquages tardifs, avec une concentration en éléments minéraux dans la plante dans le deuxième groupe de parcelle. La date de repiquage ne permet cependant d'expliquer que 23 % de la variabilité des rendements. Les rendements sont essentiellement limités par le nombre de panicules/m² qui reste faible, quelle que soient la date de repiquage et le niveau de rendement final obtenu. Des possibilités de compensation tardive de ce faible nombre de panicules produites existent, par le biais du nombre d'épillets produits ou du remplissage des grains. Ces processus de compensation sont surtout sensibles en repiquage précoce.

Dans les deux groupes de parcelles, les composantes du rendement sont affectées par la teneur en Soufre ou le rapport N/S au début de l'initiation paniculaire. Il semble également que la teneur relative en K, par rapport à d'autres éléments, soit susceptible d'affecter le rendement mais cette détermination est moins forte. *On peut donc émettre l'hypothèse de l'existence de carence en soufre et de déséquilibre d'absorption de potassium dans les parcelles rizicoles du village de Darsalam.*

Les processus mis en jeu sont précoces. Les teneurs en soufre et en potassium dans la plante au moment de l'initiation paniculaire peuvent être déterminées par une compétition importante durant la phase de pépinière, compétition liée à une très forte densité de plantules ou à une demande trop élevée (la fertilisation en pépinière joue sur la croissance et le développement des plantes et donc sur la "demande" en éléments minéraux divers). Les processus de carence mis en évidence affecteraient principalement la phase de tallage en limitant le nombre de panicules produites.

Lorsque les carences sont fortes, ces conditions de nutrition minérale limitante n'affectent pas seulement le nombre de panicules/m² mais sont susceptibles de limiter le nombre de fleurs mis en place, de limiter la taille des enveloppes des grains et donc de limiter le rendement.

Dans d'autres parcelles, il semble qu'il existe des processus de compensation qui permettent de limiter l'impact d'un faible taux de tallage sur le rendement final. Ces phénomènes de compensation pourraient être liés au niveau de fertilisation, notamment en phosphore : La fertilisation en DAP, le niveau de phosphore dans la plante joue sur le nombre de fleurs/panicule et le poids de 1000 grains.

Les conséquences de ces résultats pour la recherche et le développement sont ensuite discutées. Pour la recherche, il s'agit de vérifier les hypothèses formulées, d'identifier les zones d'extension de ces carences éventuelles et de mettre au points des formules de fertilisation de correction. Le développement doit s'efforcer de promouvoir les techniques culturales permettant de limiter l'impact de ces carences sur le rendement (techniques de pépinières, production et utilisation de la matière organique, apport de DAP et deuxième fraction d'urée), d'accompagner l'installation des nouveaux producteurs, de promouvoir une politique d'accès au crédit sur des bases saines.

TABLE DES MATIERES

I - INTRODUCTION –OBJECTIF DE L'ÉTUDE **9**

II - MÉTHODOLOGIE **10**

II.1 - PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES PARCELLES SUIVIES 10
II.2 - PROTOCOLE DE SUIVI DES PARCELLES 11
II. 2. 1 - Suivi des pratiques culturales *11*
II. 2. 2 - Suivi des itinéraires techniques *11*
II. 2. 3 - Détermination du programme technique prévisionnel de chaque paysan suivi *13*
II.3 - DIFFICULTÉS RENCONTRÉES ET ADAPTATION DU PROTOCOLE 13

III - RÉSULTATS **15**

III.1 - UNE DIFFÉRENCE IMPORTANTE ENTRE RENDEMENT DÉCLARÉ ET SONDAGE AGRONOMIQUE À 14 % D'HUMIDITÉ. 15
III.2 - RELATION ENTRE FACTEURS SOCIO-ÉCONOMIQUES FACTEURS TECHNIQUES ET RENDEMENT 15
III. 2. 1 - Caractérisation de l'état du sol et de l'état des bassins *15*
III. 2. 2 - Une grande variabilité d'itinéraires techniques *17*
III. 2. 3 - Relation entre facteurs socio-économiques et rendement *19*
III. 2. 4 - Deux déterminants techniques du rendement final : la date de repiquage et les apports en DAP *19*
III.3 - PRÉSENTATION DES MODALITÉS D'ÉLABORATION DU RENDEMENT SELON LA DATE DE REPIQUAGE 23
III. 3. 1 - Un rendement limité par le nombre de panicules/m². *23*
III. 3. 2 - Des possibilités de compensation pendant les phases tardives du cycle dans le cas des repiquages "à temps" *25*
III. 3. 3 - Des problèmes au moment de la phase de remplissage différents selon la période d'implantation *26*
III. 3. 4 - Conclusion : des schémas d'élaboration du rendement selon la date de repiquage. *26*
III.4 - L'HYPOTHÈSE D'UNE CARENCE EN SOUFRE ET D'UN DÉSEQUILIBRE RELATIF EN K 29
III. 4. 1 - Des symptômes de carence *29*
III. 4. 2 - Relation entre facteurs techniques et composantes du rendement *29*
III. 4. 3 - Teneur en élément minéraux des plants *30*
III. 4. 4 - Deux déterminants principaux du rendement et de ses composante : la teneur en soufre et la teneur relative en potassium *31*
III. 4. 5 - Discussion *32*

IV - CONCLUSION : **37**

IV.1 - L'HYPOTHÈSE DE PROBLEMES DE FERTILITÉ CHIMIQUE DU SOL SUR LE TERROIR DE DARSALAM 37
IV.2 - CONSÉQUENCE POUR LA RECHERCHE ET LE DÉVELOPPEMENT 38
IV. 2. 1 - Pour la recherche : Vérification des hypothèses formulées, de l'extension des carences et mises au point de formule de correction *38*
IV. 2. 2 - Pour le développement : promouvoir des techniques de culture permettant de limiter l'impact des carences sur le rendement *38*

V - BIBLIOGRAPHIE **41**

VI - ANNEXES **VI-1**

VI.1 - ANNEXE 1 : CARACTÉRISATION DU TERROIR ET DES SOLS DE DARSALAM VI-3
VI.2 - ANNEXE 2 : CARACTERISATION DES ITINÉRAIRES TECHNIQUES VI-7
VI. 2. 1 - La préparation des sols et la maîtrise du calendrier agricole *VI-7*
VI. 2. 2 - La conduite de la pépinière; *VI-9*
VI. 2. 3 - La conduite de la fertilisation *VI-10*
VI. 2. 4 - Le contrôle de l'enherbement *VI-12*
VI.3 - ANNEXE 3 : ANALYSE DE LA DIFFÉRENCE ENTRE RENDEMENT AGRONOMIQUE SONDÉ ET RENDEMENT BATTAGE DÉCLARÉ. VI-13
VI.4 - ANNEXE 4 : RENDEMENT ET FACTEURS TECHNIQUES VI-15
VI. 4. 1 - Date de repiquage et rendement : *VI-17*
VI.5 - ANNEXE 5 : ANALYSE DE L'ÉLABORATION DU RENDEMENT ; ÉTUDE DES CORRÉLATION ENTRE LE RENDEMENT ET SES COMPOSANTES VI-19

VI. 5. 1 - Des schémas d'élaboration du rendement différents selon la date de repiquage VI-19
VI. 5. 2 - Repiquage tardif : des potentiels de rendement limité par un développement lent en début de cycle VI-20
VI. 5. 3 - Relation entre composantes prises deux à deux VI-24
VI.6 - ANNEXE 6 : UNE CROISSANCE LIMITÉE VI-37
VI.7 - ANNEXE 7 : RELATION ENTRE FACTEURS TECHNIQUES ET COMPOSANTES DU RENDEMENT VI-39
VI.8 - ANNEXE 8 : TENEUR EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX DES PLANTS DE RIZ ET ÉLABORATION DU RENDEMENT VI-41
VI. 8. 1 - ACP sur les teneurs en élément minéraux des plantes VI-41
VI. 8. 2 - Teneur en azote VI-47
VI. 8. 3 - Une toxicité ferrique localisée ? VI-48
VI.9 - RELATION ENTRE TENEUR EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX ET L'ÉLABORATION DU RENDEMENT VI-49
VI. 9. 1 - Relation entre conduite technique et teneur en éléments minéraux VI-49
VI. 9. 2 - Relation entre teneur en éléments minéraux, rendement et composantes du rendement VI-51

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: Représentation du protocole de suivis 11
Figure 2 : Corrélation entre le rendement final et la date de repiquage 20
Figure 3 : relation entre rendement final et dose de semences en pépinière (en kg/m² de pépinière) 21
Figure 4 : Rendement à 14 % d'humidité par bassin en fonction des apports de DAP 22
Figure 5 : Rendement à 14 % d'humidité en fonction des apports totaux d'urée 22
Figure 6 : Rendement en fonction des apports d'azote à l'initiation paniculaire 22
Figure 7 : Relation entre le nombre de panicules/m² et le nombre de fleurs/m² en fonction de la date d'implantation. 24
Figure 8 : Schéma d'élaboration dans le village de Darsalam du rendement en repiquage tardif (18 bassins) 27
Figure 9 : Schéma d'élaboration du rendement en repiquage précoce dans le village de Darsalam (28 bassins) .. 28
Figure 10 : Évolution de la vitesse du tallage selon la date d'implantation 30
Figure 11 : Évolution du nombre de talles/m² à différents stades du développement en fonction du % de soufre au moment de l'initiation 33
Figure 12 : Schéma d'élaboration dans le village de Darsalam du rendement en repiquage tardif (18 bassins) VI-22
Figure 13 : Schéma d'élaboration du rendement en repiquage précoce dans le village de Darsalam (28 bassins) VI-23
Figure 14 : Relation entre rendement à 14 % d'humidité (en g /m²) et poids de 1000 grains en g en fonction de la date d'implantation (JRP001 = précoce, JRP002 = tardif) VI-25
Figure 15 : Relation entre la longueur de 50 épillets (en mm) et le poids de 1000 grains (g) VI-25
Figure 16 : relation entre le poids de 1000 grains (en g) et le Nombre de grains/m² en fonction de la date d'implantation VI-27
Figure 17 / relation en % de grain vide (Txstegr en %) et le nombre de grains total en m² (NBGTM2) VI-27
Figure 18 : Relation entre le nombre de fleurs/panicule (Nbepill1) et le nombre d'épillets par m²(NEPL1M2) en fonction de la date d'implantation VI-29
Figure 19 : relation entre le nombre de fleurs/panicule (Nbpill1) et le nombre de panicule/m² (EPIM2) en fonction de la date d'implantation VI-29
Figure 20 : relation entre le nombre de talles à l'initiation paniculaire et le nombre de panicules/m² en fonction de la date d'implantation VI-31
Figure 21 : Relation entre le nombre de talles/m² à l'initiation paniculaire et le nombre de panicules/m² (identification des groupes de fort et faible tallage) VI-31
Figure 22 : relation entre le nombre de talle/m² à 20 jour et le nombre de talles/m² à l'initiation paniculaire en fonction de la date d'implantation VI-32
Figure 23 : Schéma d'élaboration du rendement toutes parcelles confondues VI-34
Figure 24 : Relation entre le nombre de fleurs/m² (NBFLM2) et le nombre de panicules/m² en fonction de l'âge des plants au repiquage (001 < 30 jours 003 plus de 35 jours) dans le suivi de 49 parcelles de la zone de Niono et Molodo (Ducrot et al, 1996) VI-35
Figure 25 : Relation entre le rendement en g/m² (Ppady1) et la hauteur des plants en cm à l'initiation paniculaire selon la date d'implantation (Hauteur IP) VI-37
Figure 26 : relation entre le rendement en g/m² (Ppady1) et la hauteur des plants en cm à l'initiation paniculaire selon la date d'implantation (Hauteur IP) VI-37
Figure 27 : relation entre les taux d'azote et le souffre (en %) VI-42

Figure 28 : Relation entre les teneurs en azote et en phosphore (en %) dans les feuilles au moment de l'initiation paniculaire en fonction de la date d'implantation..... VI-42
Figure 29 : relation entre le rapport S/K et le taux d'azote dans la plante en fonction de la date d'implantation VI-43
Figure 30 : Évolution de la vitesse du tallage selon la date d'implantation VI-47
Figure 31 : relation entre la teneur en fer et en aluminium dans les plantes VI-48
Figure 32 : relation entre la teneur la densité de semis en pépinière et la teneur en soufre dans les feuilles en fin tallage..... VI-50
Figure 33 : relation entre la densité de semis en pépinière et la teneur en potassium dans la plante en fin tallage VI-50
Figure 34 : Corrélations linéaires entre teneur en éléments minéraux et composantes du rendement dans 18 bassins implantés avant le 15 août VI-52
Figure 35 : Relation entre le rapport N/S et le poids de 1000 grains dans les parcelles précoces VI-54
Figure 36 : relation entre le rapport N/S et le rapport N/K selon la date d'implantation VI-54
Figure 37 : Coefficients de corrélation linéaire entre la teneur en éléments minéraux et les composantes du rendement dans les 18 bassins implantés après le 15 août..... VI-56

Tableau 1: Résultats des analyses de sol par zones de fertilité du terroir de Darsalam 16
Tableau 2 : fertilisation minérale moyenne dans l'échantillon étudié..... 19
Tableau 3 : Moyenne des rendements à 14 % d'humidité selon la date de repiquage 20
Tableau 4 : Moyenne et écart-type des principales composantes du rendement selon la date de repiquage..... 24
Tableau 5 : liaison entre rendement en grains et ses composantes selon la date de repiquage 25
Tableau 6 : Teneur moyenne dans les plants et signification des différences entre les petites zones de fertilité du terroir de Darsalam. 34
Tableau 7 : Résultats des analyses de sol par zones de fertilité du terroir de Darsalam VI-4
Tableau 8 : Quelques éléments sur la conduite des pépinières VI-9
Tableau 9 : Répartition des dates d'apport des engrais minéraux dans les différents bassins témoins VI-11
Tableau 10 : Moyenne des rendements à 14 % d'humidité selon la date de repiquage VI-17
Tableau 11 : Corrélations linéaires entre le rendement et les composantes du rendement (toutes parcelles confondues) VI-19
Tableau 12 : liaison entre rendement en grains et ses composantes selon la date de repiquage..... VI-20
Tableau 13 : Moyenne et écart-type des principales composantes du rendement selon la date de repiquage.. VI-20
Tableau 14: Déterminants techniques des composantes du rendement VI-39
Tableau 15 : Coefficient de corrélation linéaire entre le rendement en grain à 14 % d'humidité (Ppady1) et la teneur en éléments minéraux selon la date d'implantation. Seules les corrélations significatives sont prises en compte VI-51
Tableau 16 : Coefficient de corrélation entre composantes du rendement et teneur en éléments minéraux sur les 14 bassins modalité de fertilisation contrôlée (implantation précoce)..... VI-52
Tableau 17: Coefficient de corrélation (R^2) entre la teneur en éléments minéraux et composantes du rendement dans 9 bassins à fertilisation contrôlée implantée après le 15 août VI-56

II - METHODOLOGIE

L'objectif de ce suivi est de faire **un diagnostic agronomique**. Il s'agit donc de suivre au cours de la campagne sur un certain nombre de parcelles **les pratiques paysannes, l'itinéraire technique, les principales dates du cycle du peuplement, les composantes du rendement et le rendement final**.

II.1 - PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE DES PARCELLES SUIVIES

Comme dans les autres situations de l'Office du Niger (Ducrot et al, 1997), on a supposé que l'application tardive des engrais et/ou le repiquage de plants âgés étaient les deux principaux facteurs techniques limitants des rendements. C'est pourquoi pour chacun des paysans sélectionnés, **deux bassins** ont été étudiés :

- Un bassin **A** conduit par le paysan *selon ses techniques habituelles*. **(Témoin paysan)**
- Un bassin **B** bénéficiant des apports d'engrais *selon les normes recommandées* par l'Office du Niger à savoir : 100 kg/ha de DAP avant repiquage
  200 kg/ha d'urée en deux fractions l'une au début tallage (15 - 20 jours après repiquage), l'autre au moment de l'initiation paniculaire.

Initialement, le protocole prévoyait de comparer ces deux bassins à un troisième bassin C bénéficiant en supplément d'un apport de matière organique. En fait, nous n'avons pas été en mesure de recueillir suffisamment de matière organique dans les environs de Darsalam courant juillet (y compris en zone exondée de Macina) pour fertiliser ne serait que quelques bassins. Il semble donc que la production de matière organique dans la zone de Macina soit particulièrement limitée.

Durant l'hivernage 97, l'étude a été conduite dans un **seul village** de la zone réhabilitée par le projet ARPON de Macina, **Darsalam (K3)**, et dont les rendements moyens plafonnent à 3 t/ha. **23 paysans** de ce village ont été sélectionnés de façon à **explorer une large gamme de variabilité de rendement et de situation géographique** de leur parcelle dans le terroir villageois. Ainsi, nous avons retenu

- 7 paysans ayant eu des rendements corrects en 1996 (Catégorie I) en 1996 (plus de 3,5 t/ha)
- 6 paysans ayant eu des rendements moyens (Catégorie II) en 1996 (2,5 à 3,5 t/ha)
- 10 paysans ayant eu des rendements faibles (Catégorie III) en 1996 (moins de 2 t/ha)

Les parcelles choisies devaient de plus être implantées en **BG-90-2** et de préférence repiquées avant le 15 août afin de limiter les facteurs de variabilité des rendements.

L'échantillonnage peut donc être schématisé de la façon suivante (Figure 1) :

Figure 1: Représentation du protocole de suivis

Catégorie I	Catégorie II	Catégorie III
Rendement "correct"	Rendement Moyen	Rendement Faible
> 3,5 t/ha	2 à 3,5 t/ha	< 2 t/ha
7	6	9

2 bassins de 10/12 ares suivis / paysan :

Bassin A	Bassin B
Témoin paysan	Témoin paysan + 100 kg/ha DAP 200 Kg/ha Urée

II.2 - PROTOCOLE DE SUIVI DES PARCELLES

II. 2. 1 - Suivi des pratiques culturales

Pou chacun des bassins suivis, **5 stations de 1 m² chacune** par bassin ont été identifiées quelques jours après repiquage. Les suivis des pratiques culturales et des composantes du rendement ont donc porté sur **230 stations** de 1 m².

Une station était située sur le point le haut, une deuxième sur le point bas.

Le protocole de suivi et de relevé par parcelle est présenté dans l'encadré suivant (Encadré 1).

II. 2. 2 - Suivi des itinéraires techniques

En début de campagne, ont été noté le type de sol (selon la classification paysanne), la superficie réelle du bassin suivi, superficie totale de la parcelle, la différence maximale de hauteur d'eau dans le bassin pour estimer l'état du planage.

Les dates de réalisation de chaque opération ont été relevées pour la conduite de la pépinière et pour la conduite des bassins.

Encadré 1 : PROTOCOLE DE SUIVI ET DE RELEVÉ PAR PLACETTE

1. au repiquage :

- Échantillon de terre analysé sur 20 placettes à raison de 1 par bassin témoin (analyse N, P, K, pH, base échangeable, Al, Fe, Zn, Cu). potentiel Redox et pH in situ
- Hauteur des plants au repiquage (50 plants)
- Couleur et aspect des plants au repiquage
- Nombre de poquets/m² et nombre de plants/poquet (20 touffes)

2. 20 jours après repiquage

- nombre de talles/poquet
- Hauteur des plants (sur 10 plants prélevés au hasard)
- Aspect du peuplement rabougri

3. A l'initiation paniculaire

- date de l'initiation paniculaire
- nature et importance des adventices (Cypéracée dominante, Graminée dominante, *diga* dominant, autres)
- couleur de la culture et aspect de la culture
- hauteur des plants (sur 10 prélevés au hasard)
- problème de carence ou accident phytosanitaire : rabougrissement
- nombre de talles/poquet

4. à l'épiaison

- date de l'épiaison
- nature et importance des adventices (Cypéracée dominante, Graminée dominante, *diga* dominant, autres)
- couleur de la culture et aspect de la culture
- hauteur des plants (sur 10 au hasard)
- si rabougrissement prélèvement, passage à l'étuve et analyse
- nombre d'épillets différenciés par panicule

5. A la récolte

- nombre de talles fertiles/m²
- nombre d'épis/poquet et d'épi/m²
- nombre de grains totaux par panicule (sur 20 panicules)
- % de grains vide
- poids de 1000 grains pleins à 10 % d'humidité
- rendement total (10 % d'humidité et à 14 % d'humidité)
- poids de pailles
- longueurs de 50 grains

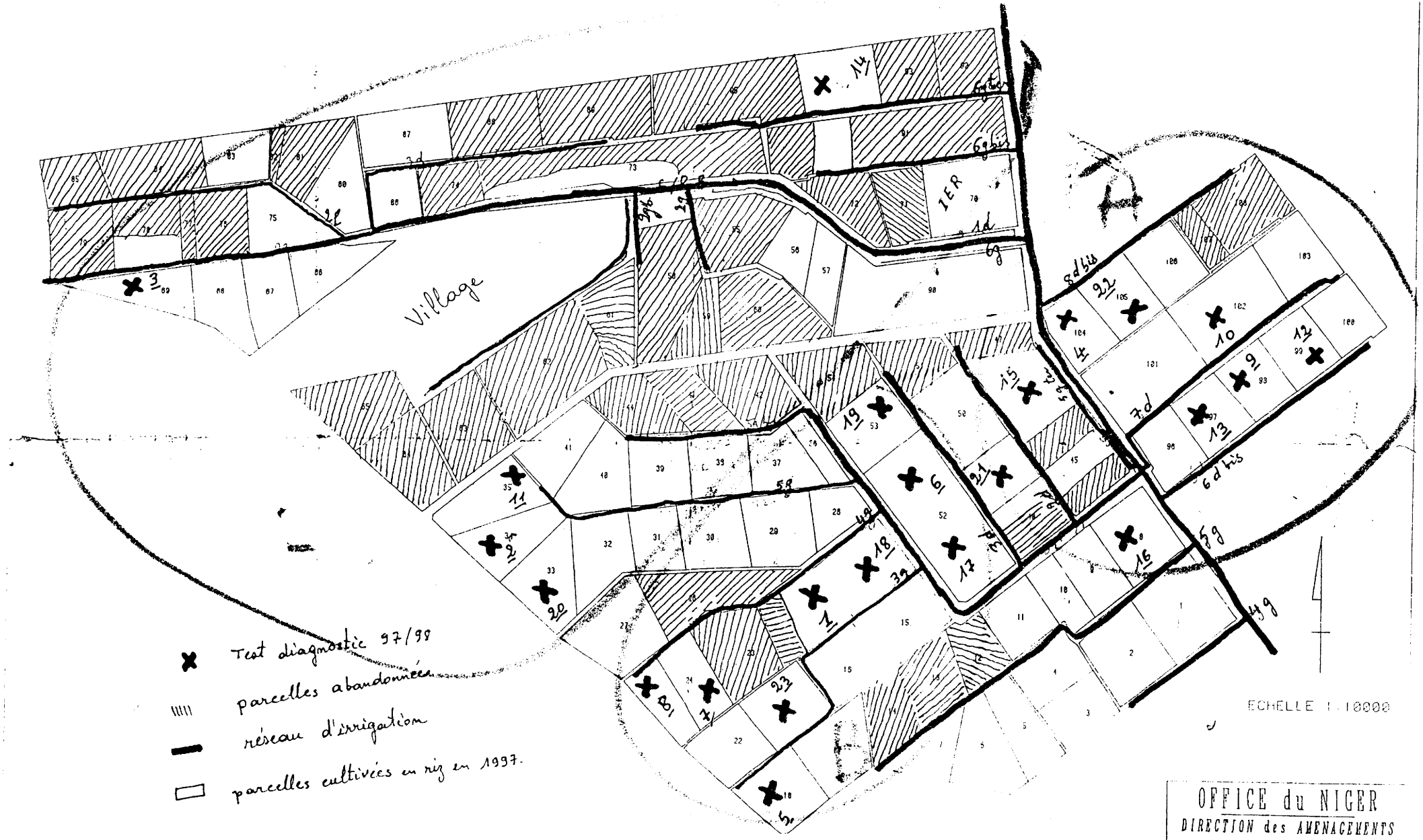
6. De l'initiation paniculaire à la récolte

- Hauteur d'eau par bassin tous les 3 jours.

7. Fin tallage /début initiation paniculaire

- Prélèvement de feuilles pour analyse de la teneur en éléments minéraux N, P, K, Ca, Mg, Na, Cl, S, Fe, Mn, Zn, Al

Carte 1 : Les différentes zones du terroir villageois de Darsalam et localisation des parcelles suivies



III - RESULTATS

III.1 - UNE DIFFERENCE IMPORTANTE ENTRE RENDEMENT DECLARE ET SONDAGE AGRONOMIQUE A 14 % D'HUMIDITE.

Les rendements agronomiques à 14 % d'humidité par placette varient entre 285 kg/ha et 9 100 kg/ha avec une moyenne de 4 500 kg/ha (C.V. 42 %). Pour les 46 bassins étudiés (moyenne des 5 placettes recueillies par bassin), **le rendement agronomique moyen à 14 % d'humidité est 4 730 kg/ha** (C.V. de 30 %), variant entre 2 140 kg/ha et 8 150 kg/ha soit 3 400 kg/ha en moyenne à 10 % d'humidité.

Le rendement moyen déclaré (obtenus après battage) est en moyenne de **2 450 kg/ha** (C.V. de 46 %). Le rapport [rendement déclaré / sondage agronomique] est donc de 0,51. Ce rapport est inférieur à celui obtenu entre sondage battage et sondage agronomique à 14 % d'humidité dans la zone de Niono[1] (Ducrot et al, 1998). Comment expliquer l'importance de cet écart dans ce village ? S'agit-il de problème d'humidité de grains, de pertes plus importantes à la récolte ? Les différentes hypothèses sont récapitulées en annexe.

Il convient sans doute d'étudier de façon plus approfondie l'origine des écarts entre rendement agronomique et rendement battage dans cette zone du Macina

A titre d'indication, soulignons que le rendement agronomique moyen est inférieur d'environ 23 % au rendement agronomique moyen obtenu lors d'un suivi de 49 bassins dans la zone de Niono et Molodo en 1997. (Ducrot R., et al, 1997).

On ne met pas en évidence d'impact significative sur le rendement-grain de la fertilisation contrôlé sur le rendement sur le rendement grain. Notons que la variabilité du rendement reste aussi importante dans le cas du traitement 2 (CV = 27 %) que du traitement 1 (CV = 30 %).

III.2 - RELATION ENTRE FACTEURS SOCIO-ECONOMIQUES FACTEURS TECHNIQUES ET RENDEMENT

III. 2. 1 - Caractérisation de l'état du sol et de l'état des bassins

Des analyses de sol ont été réalisées sur 20 des 230 placettes suivies, à raison d'un prélèvement par bassin témoin et par paysan sauf dans les cas n°21, 22, et 23. Sur chacune des 230 placettes, des mesures de pH, de potentiel redox ont également été réalisées in situ. Les pH, taux de sable et conductivité électrique de ces sols (230 échantillons) ont également été analysés en laboratoire.

---

[1] Rapport (part récupérée par le producteur avant paiement de la redevance battage sur sondage agronomique à 14 % de l'ordre de 0.62.)

Tableau 1: Résultats des analyses de sol par zones de fertilité du terroir de Darsalam

	Zone A	Zone B	Zone C	N°3	
pH in situ	5,94	5,26	5,85	6,83	NS
pH laboratoire	5,57 *11 %*	5,56 *15 %*	5,41 *13 %*	5,34	NS
Potentiel Redox 0 – 20 cm	136,1 *78 %*	181,5 *23 %*	43,7 *234 %*	172	NS
Matière organique					
Azote total 0/00	0.91 *18 %*	0.98 *15 %*	0.93 *9 %*	0,96	NS
Phosphore					
P total ppm	455,3 *17 %*	517,8 *28 %*	579 *13 %*	697	NS
P Bray 2 ppm	3,74 *16 %*	3,15 *30 %*	1,98 *22 %*	6,5	*
Complexe absorbant					
Ca ECH-ac MEQ/100	11,93 *28 %*	9,36 *40 %*	6,55 *21 %*	5,87	NS
Mg ECH-ac MEQ/100	3,27 *17 %*	2,50 *20 %*	2,24 *9 %*	2,19	*
K ECH-ac MEQ/100	0,41 *9 %*	0,44 *34 %*	0,33 *5 %*	0,49	NS
Na ECH-ac MEQ/100	0,32 *7 %*	0,30 *22 %*	0,29 *11 %*	0,23	NS
S (Ca, Mg, K, Na)	14,82 *42 %*	12,60 *34 %*	9,40 *17 %*	8,78	NS
CEV –ac %	24,93 *10 %*	22,02 *17 %*	20,29 *3 %*	18,50	NS
Oligo-élements méthode DTPA					
Manganèse ppm	34,18 *38 %*	30,66 *53 %*	27,77 *57 %*	41,8	NS
Cuivre ppm	3,11 *17 %*	3,82 *19 %*	2,27 *33 %*	3,9	NS
Zinc ppm	1,19 *45 %*	1,05 *36 %*	0,65 *19 %*	0,96	NS
Fer ppm	94,9 *11 %*	106,7 *46 %*	71,6 *62 %*	178,5	NS

**** différence entre les trois grandes zones significative au seuil de 5 %***
% coefficient de variation de l'échantillon

Il s'agit essentiellement de sols à faible teneur en sable (moyenne de 7 %, CV de 33 %), de type Moursi donc même si les dénominations paysannes sont variées. Les sols de Darsalam se caractérisent globalement par leur acidité (pH eau moyen de 5,5, C.V. de 11 %). Le pourcentage d'azote total est relativement élevé. Si le taux de phosphore total est relativement élevé (en moyenne plus de 450 ppm), *le phosphore assimilable (Bray 2) est globalement bas (variant entre1,6 et 6.5 ppm), voire à l'état de trace*. Les taux de potassium en rapport à la CEC sont moyens (variant entre 0.23 et 0.77 ppm). En revanche le rapport K/mg est bas (0,15 en moyenne) et traduit un certain déséquilibre du sol dans ces éléments. Différents essais ont montré que ces sols répondaient à l'application en phosphore et en potassium (PRI, 1995, 1996. Doumbia à paraître).

Ces sols ne sont pas sodiques. Les taux de magnésium, sodium et calcium sont plutôt élevés. Les oligo-éléments étudiés (Mn, Cu, Fe ou Zn) ne sont pas limitants à priori. Le taux de fer dans ces sols est notamment assez élevé

L'analyse de la caractérisation paysanne du terroir villageois et des analyses de sols (annexe) permet de dégager 3 grandes zones de production de fertilité différentes (tableau) :

- Une partie A, relativement fertile, située à l'ouest/sud ouest du village. Neuf des 23 parcelles suivies se situent dans cette zone. Elle se caractérise par des niveaux relativement plus élevés en éléments minéraux, notamment en phosphore assimilable, CEC et oligo-élément

- Une partie B, de fertilité moyenne au sud du village. Elle se distingue surtout par sa variabilité

- Une zone C considérée comme très infertile, qui entoure le village au sud et au nord. La plupart des parcelles de cette zone ne sont pas cultivées. 4 parcelles y ont été suivies (parcelles 2, 11, 14, 20). Elle se distingue par **de très faibles teneurs en phosphore assimilable (Bray2).** La différence avec les deux autres zones est significative au seuil de 5 %. Globalement, l'ensemble des teneurs en bases échangeables et en oligo-éléments sont plus faibles que dans les autres zones

- Une particularité cependant dans cette partie, la zone Est du village, relativement appréciée La parcelle du suivi n°3 est située dans cette zone. Elle sera individualisée dans la suite de notre étude. Chimiquement, cette parcelle se rapproche des parcelles de la zone C sauf pour le taux de phosphore assimilable relativement élevé 6,5 meq /100 g de sol.

Le tableau 1 présente la moyenne de ces analyses selon les grandes zones de fertilité identifiée.

Enfin, on ne met pas en évidence de **différence significative entre le niveau de planage des bassins en fonction de la situation géographique de la parcelle**.

III. 2. 2 - Une grande variabilité d'itinéraires techniques

Les itinéraires techniques ont été caractérisés à partir des pratiques observées sur les 23 bassins témoins suivis. **Ils se caractérisent par leur très grande variabilité entre exploitations** ce qui est logique compte tenu des modalités de choix des exploitations en trois classes de rendements. Nous rappelons ici les principaux résultats de l'analyse des itinéraires techniques. les analyses détaillées sont présentées en annexe

a) La préparation des sols et la maîtrise du calendrier de travail

Elle est "classique" pour les rizières de l'Office du Niger et se compose d'un labour à traction bovine suivi d'un hersage en sec ou sur lame d'eau. **En revanche, près d'un paysan sur deux de notre échantillon ne pratique pas de préirrigation.**

Les dates de repiquage s'étalent du 20 juillet au 8 septembre. 61 % des bassins implantés ont été implantés de façon précoce. **Les déterminants des retards d'implantation sont divers** et ces retards peuvent être imputés aussi bien à une mauvaise organisation du travail qu'à un manque de matériel ou de main d'œuvre. Parfois plusieurs facteurs (sous-équipement, manque de liquidité au moment des travaux, mauvaise maîtrise des enchaînements techniques, crise de pépinière, début des travaux sur pluie, difficultés de main d'œuvre) se conjuguent.

L'existence de certains facteurs de risques ou de contraintes n'entraînent pas de retard systématique : la capacité du paysan à anticiper sur les aléas et à prendre compte les contraintes, tout en valorisant les potentialités de l'exploitation (fort taux de main d'œuvre) est aussi importante peut permettre de limiter les effets de ces facteurs sur la conduite des parcelles. La cohérence et la souplesse de son programme prévisionnel, l'existence de solutions alternatives sont des éléments importants pour la maîtrise du calendrier cultural. Enfin, il existe des processus d'apprentissage d'une année sur l'autre. Globalement, le calendrier des implantations est plus précoce en 1997 qu'en 1996.

b) La conduite des pépinières

Les cas suivis regroupent une très forte variabilité de type de conduite de pépinière, **qui vont de la conduite la plus intensive à la plus extensive.** Cette même variabilité a été observée dans le suivi de 1996 dans la zone de Niono/Molodo à la seule différence que les semis en pépinière étaient réalisés de façon globalement plus précoce. 3 paysans seulement ont repiqué des plants très âgés (+ 50 jours de pépinière) dont l'un des plants de 68 jours.

c) La conduite de la fertilisation

Les doses d'engrais ont été étudiées sur les bassins témoins. La moitié des bassins (23) ont bénéficié d'une fertilisation aux doses et dates d'apport recommandées par l'Office du Niger à savoir 100 kg/ha de DAP avant repiquage, 100 kg/ha d'urée au tallage 15 jours après repiquage et 100 kg/ha d'urée à l'initiation paniculaire. L'analyse de l'élaboration du rendement à partir de ces parcelles à fertilisation contrôlée permettra de s'affranchir de la variabilité de la fertilisation minérale.

Deux types de stratégies se distinguent en matière de fertilisation minérale :

- L'application de doses sensiblement inférieures aux normes recommandées. En cas de difficultés dans l'acquisition des engrais, les apports précoces (phase tallage) sont privilégiés par rapport aux apports tardifs
- L'application de doses d'engrais minéraux sensiblement supérieures aux doses recommandées par l'encadrement. .

Ces deux types de stratégies opposées se traduisent par d'importants niveaux de coefficient de variation. Les moyennes d'apports sont peu représentatives des pratiques paysannes de fertilisation.

Tableau 2 : fertilisation minérale moyenne dans l'échantillon étudié

	DAP	Urée Total	1ère fraction	1ème fraction
En kg/ha	71	120	72	49
En %	95	91	82	117

Les dates d'apports sont relativement peu maîtrisées : 4 paysans seulement (soit 17 % des paysans suivis) ont fait l'ensemble des apports aux dates optimales (avec des doses plus élevées que la moyenne). Il s'agit plus d'un problème de d'acquisition des engrais à temps que de formation, les recommandations étant généralement connues.

En conclusion, on retiendra que l'échantillon retenue a permis de suivre une large gamme de variabilité de pratiques de fertilisation. Notre échantillon de bassins se compose aussi bien de parcelle non fertilisée ou bénéficiant de très faibles apports, que des parcelles bénéficiant d'une fertilisation bien maîtrisée (en dose et date) voire à des niveaux de fertilisation très élevés. ***On ne peut donc pas retenir l'hypothèse d'une insuffisante fertilisation pour expliquer les faibles rendements observés.***

d) Le contrôle de l'enherbement

L'enherbemement est souvent cité comme un problème, notamment dans les points bas mal drainés. 13 % des bassins (7) ont connu d'importants niveaux d'enherbement (10a, 12a, 15a, 16b, 17a, 17b, 20a). L'enherbement a été bien contrôlé dans 30 % des cas (14 bassins).

III. 2. 3 - Relation entre facteurs socio-économiques et rendement

Des études précédentes avaient lié le rendement au degré d'équipement et à l'ancienneté de l'expérience en riziculture du chef d'exploitation (Spruijt, 1996). ***Dans les exploitations suivies, on ne met pas en évidence de relation entre le taux d'équipement (niveau d'équipement rapporté à la superficie repiquée) et le rendement, la date de repiquage ou la quantité d'engrais minéraux appliqué.*** En revanche, le taux de main d'œuvre **total** (hommes et femmes) par rapport à la superficie cultivée est corrélé à la quantité totale d'engrais apportée ($R^2 = 0.49$). Cette corrélation n'existe pas si on ne prend en compte que le nombre de travailleurs hommes. De même, plus le taux de couverture des besoins en paddy est élevé (besoin annuel de la famille en paddy rapporté à la quantité annuelle produite) est liée à la quantité d'engrais apporté. Taux de couverture en paddy et niveau de main d'œuvre total sont lié. Ces deux rapports pourraient être des indicateurs de la disponibilité en trésorerie de la famille. Mais ces indicateurs ne sont pas liés au rendement. L'année d'installation n'affecte pas les rendements dans notre échantillon.

III. 2. 4 - Deux déterminants techniques du rendement final : la date de repiquage et les apports en DAP

Nous avons vu que les itinéraires techniques relevés étaient extrêmement variables dans notre échantillon. Certaines parcelles sont conduites de manière extensive (implantation tardive, faible niveau de fertilisation, mauvais contrôle de l'enherbement) mais dans d'autre cas l'itinéraire technique diffère peu de ceux observés dans la zone de Niono. Certaines parcelles sont même conduites de façon très intensive (planage au motoculteur, apport organique et minéraux très élevés). Les itinéraires techniques permettent-ils d'expliquer le rendement final ? Une Analyse Factorielles des Correspondances à été réalisé afin de déterminer l'impact de

différents facteurs techniques sur le rendement. Les résultats de l'analyse de corrélation sont présentés en annexe (**Erreur! Source du renvoi introuvable.**) .

Trois variables sont corrélés de façon significative au rendement final au seuil de 0.001. Il s'agit de la date du repiquage, de la dose totale d'apport en DAP et de la dose de semence utilisée en pépinière.

a) Des repiquages tardifs moins productifs

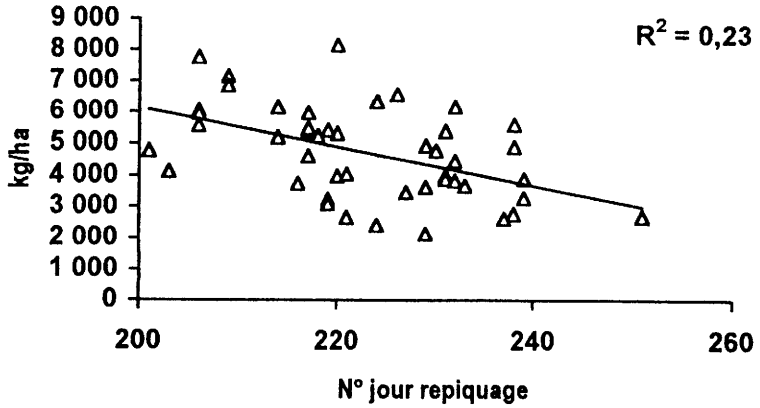
La date du repiquage est corrélée significativement au rendement final et permet **d'expliquer 23 % de la variabilité totale des rendements** (Figure 2). Ainsi, le rendement tend à décroître avec la date de repiquage. Si l'on se base sur la date charnière du 15 août, la moyenne des rendements des repiquages "à temps" diffère significativement au seuil de 1 % . La différence est de l'ordre de 1,1 t/ha à 14 % d'humidité. Différents essais menés par le PRI confirment la productivité plus faible de BG 90 2 pour des repiquages tardifs postérieurs au 15 août (PRI, 1995 et 1996). Le rendement tend à décroître avec la date de repiquage. Les essais de dates de repiquage mené par l'IER dans la zone de Niono ont montré que le rendement diminue de façon significative après un repiquage du 15 août (PRI, 1994)

Tableau 3 : Moyenne des rendements à 14 % d'humidité selon la date de repiquage

	Repiquage "à temps"	Repiquage tardif
Moyenne Rdt	5 177	4 034
C.V.	*28 %*	*27 %*
Nb bassins	28	18

Figure 2 : Corrélation entre le rendement final et la date de repiquage

200 = 20 juillet 220 = 9 août 240 = 27 août 260 = 7 sept



b) Une relation inhabituelle entre rendement final et dose de semis en pépinière

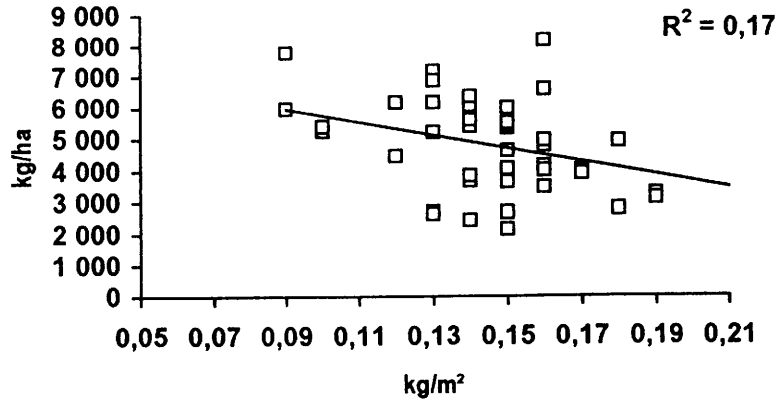
On met également en évidence une relation faible (R^2 = 17 %) entre le rendement et le dose de semences utilisée en pépinière (Figure 3).

La dose de semence utilisée varie entre 9,2 kg de semences/are et 22,6 kg/are avec une moyenne de 14,8 kg/are. La dose de semis habituellement recommandée varie entre 5 et 10 kg/are. Des suivis de pépinières menées en 1997 dans les zones de Niono et Molodo avait montré que les doses de semis en pépinière étaient relativement élevées par rapport aux recommandations de l'Office du Niger (soit 70 kg/ha en moyenne au lieu des 50 kg/ha recommandés) soit entre 7 à 14 kg de semences par are de pépinière. Les pépinières sont donc semées de façon particulièrement dense. Rappelons cependant que les taux de levée étaient relativement limités (de lors de 35 %) même dans le cas de pépinière dite "améliorée" avec prégermination des graines.

Il n'y a pas théoriquement de relation "physique directe" entre la dose de semis en pépinière et rendement final puisque les plants sont arrachés et repiqués à une densité différente. La première composante susceptible d'affecter le rendement est donc le nombre de plants/m² résultant du nombre de poquets par m² repiqués et d'un nombre de plants/poquet. Or, on ne met pas en évidence de relation entre la dose de semis en pépinière et le nombre de plants/m² ni entre le nombre de plants/m² et le rendement final.

Comment, dès lors, expliquer l'existence d'une relation linéaire entre ce rendement final et une densité de semis en pépinière ? S'agit-il d'un problème de compétition dans ces pépinières plutôt dense jouant sur le développement des plants ? Cette compétition pourrait être d'autant plus sévère qu'il existe des facteurs nutritionnels limitants (N, P, K, oligo-élément etc...). Il faudra donc étudier la relation entre teneur en éléments minéraux des plantes et modalités de conduite de la pépinière.

Figure 3 : relation entre rendement final et dose de semences en pépinière (en kg/m² de pépinière)



On met également en évidence l'existence d'une corrélation négative significative mais faible entre rendement et le nombre de jours écoulés entre l'arrachage et le repiquage. L'analyse montre que les bassins pour lesquels la durée entre arrachage et repiquage est élevée correspondent aux parcelles les plus tardivement implantées. On peut donc penser que

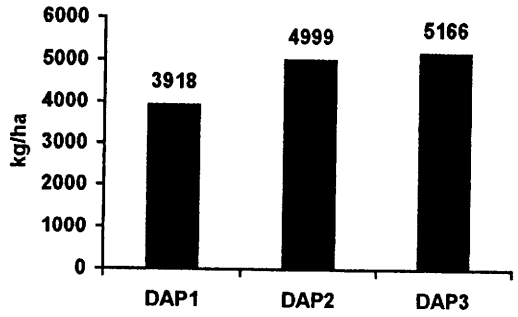
l'impact sur le rendement est plus lié à la date d'implantation tardive qu'au facteur nombre de jour entre arrachage des plants et repiquage.

c) Fertilisation et rendement

Les apports totaux de DAP expliquent 21 % de variabilité du rendement (figure 4). La différence de rendement entre apport faible de DAP (en majorité une absence d'apport) et des apports moyens (100 kg/ha) est de l'ordre de 1 tonne/ha à 14 % d'humidité.

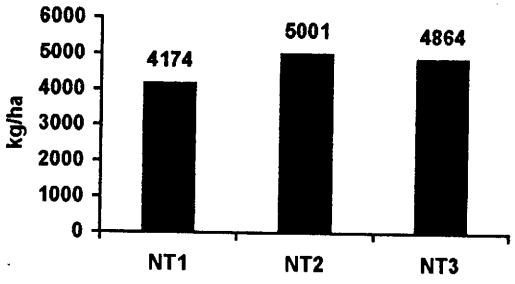
Les différences de rendement selon les niveaux d'apport d'azote totaux et à l'initiation paniculaire ne sont pas significatives au seuil de 5 %. Cependant, les apports les plus faibles d'urée (moins de 180 kg/ha) sont associés aux plus faibles rendements.

Figure 4 : Rendement à 14 % d'humidité par bassin en fonction des apports de DAP



DAP1 < 100 kg/ha DAP2 = 100 kg/ha
DAP3 > 100 kg/ha
***** différence significative au seuil de 5 %***

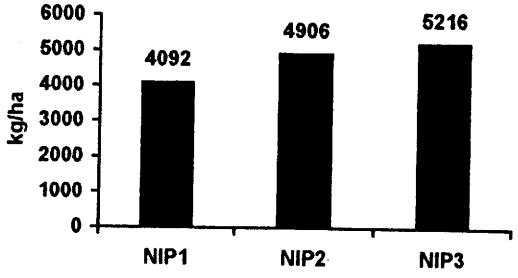
Figure 5 : Rendement à 14 % d'humidité en fonction des apports totaux d'urée



NT1 < 180 kg/ha NT2 180 – 205 kg/ha
NT3 > 205 kg/ha
Non significatif au seuil de 5 %

Figure 6 : Rendement en fonction des apports d'azote à l'initiation paniculaire

NIP1 < 44 U/ha (<100 kg/ha) NIP2 = 46 U/ha (100 kg/ha)
NIP3 > 46 U/ha
Non significatif au seuil 5 %



Les bassins bénéficiant d'apports moyens (DAP2 autour de 100 kg/ha, NT2 autour de 200 kg/ha, NIP2 autour de 100KG) correspondent pour la plupart aux bassins à fertilisation contrôlée (sauf 2 exceptions). **Or, la variabilité des rendements pour les bassins à fertilisation contrôlée est pratiquement aussi élevée pour les bassins témoins (CV de l'ordre de 27% contre 30 %)**. *Par ailleurs, on ne met pas en évidence de différence significative de rendement entre bassin à fertilisation contrôlée (traitement 2) et bassin "témoin" (fertilisation paysanne).*

Enfin, dans le cas de repiquage tardif, on ne met pas en évidence de corrélation entre rendement en grain et dose de DAP alors que cette corrélation existe pour le repiquage "à temps". De même il n'a pas de corrélation significative entre apports d'urée totaux et apports d'urée à l'initiation paniculaire dans le cas du repiquage tardif alors que cette corrélation existe en cas de repiquage à temps (**Erreur! Source du renvoi introuvable.**). **Il semble donc qu'il y ait des comportements différents du peuplement pour la réponse à la fertilisation minérale selon la date de repiquage**.

Si la variabilité des itinéraires techniques est cohérente avec la variabilité des rendements observés, les itinéraires techniques (notamment le niveau de fertilisation, la maîtrise du calendrier cultural et l'âge des plants au repiquage) ne peuvent expliquer les faibles rendements observés. Trois éléments de l'itinéraire technique affecte directement le rendement, de façon limitée. Il semble donc que d'autres facteurs interviennent qu'il s'agit de déterminer.

III.3 - PRESENTATION DES MODALITES D'ELABORATION DU RENDEMENT SELON LA DATE DE REPIQUAGE

Le rendement final en grain résulte d'interactions complexes entre techniques culturales, milieu (sol x conditions d'irrigation) et climat. Des rendements faibles peuvent résulter de l'action de plusieurs facteurs différents. Ils peuvent être déterminés à des moments différents du cycle cultural.

Nous avons donc analysé les relations entre composantes du rendement afin de déterminer les phases critiques et limitantes du cycle cultural dans les conditions locales. Il s'agit donc d'analyse les relations entre le rendement final et ses composantes puis les relations entre les composantes prises deux à deux. Les principaux résultats de ces analyses sont présentés à ce niveau. Les analyses détaillées peuvent être consultées en annexe.

III. 3. 1 - Un rendement limité par le nombre de panicules/m².

Les suivis des pratiques paysannes permettent de mettre en évidence **une composante limitante du rendement principal : le nombre de panicules/m².** Le nombre de panicules/m² reste très limitée **quelle que soit la date d'implantation, quelle que soit la parcelle**.

Ce nombre varie entre 100 et 275 ce qui est très faible. Le nombre de panicules/m² observés lors du suivi de Niono/Molodo variait entre 150 et 450 panicules/m², le potentiel étant estimé pour BG à 375 panicules /m² (**Erreur! Source du renvoi introuvable.**). En revanche, le nombre de fleurs/panicules se situe dans la même gamme de variation que les parcelles suivies à Niono (c'est à dire entre 100 et 220 fleurs/m²). Le nombre de fleurs/panicule potentiel identifié lors du suivi de 1996 était de 220 fleurs/panicule. *On peut donc penser que la différence de rendement observée entre ces 2 suivis est principalement lié au nombre de panicules/m² et donc au tallage.* Le taux de tallage maximum obtenu est

également très faible par comparaison avec le suivi de 1996 où l'on pouvait compter jusqu'à 600 talles/m² à l'initiation paniculaire (soit près du double) à l'échelle d'un bassin. Au moment du tallage maximum, ces parcelles comptaient au moins 250 talles/m² alors que dans ce suivi, un **1/3 seulement des parcelles dépassent ce seuil.** (Figure 7).

Figure 7 : Relation entre le nombre de panicules/m² (EPIM2) et le nombre de fleurs/panicule (Nbep1) en fonction de la date d'implantation.

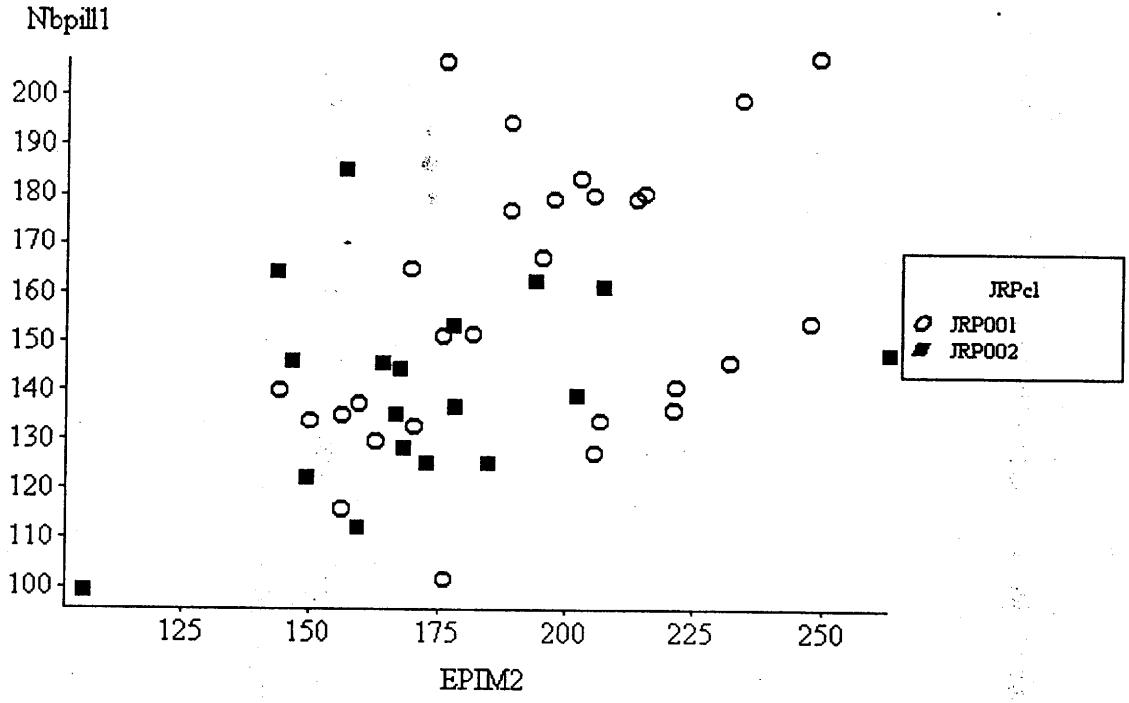


Tableau 4 : Moyenne et écart-type des principales composantes du rendement selon la date de repiquage.

	Plan/m²	Nb tal/ m² 20 j	Nb tal/m² Ip	Nb panic./m²	Nb fl./panic.	Nb grains /m²	% stérilité grains	PMG (g)	Rdt (kg/ha)
A Temps	67.6	149	221	193	157	21 223	24.8	26.7	5 177
	24 %	*32 %*	*28 %*	*15 %*	*18 %*	*22 %*	*20 %*	*5 %*	*28 %*
Tardif	66	119	194	173	141	12 912	28.9	24.9	4 034
	29 %	*28 %*	*33 %*	*18 %*	*14 %*	*22 %*	*28 %*	*7 %*	*27 %*
	NS	*	NS	*	*	**	**	*	**

** significatif au seuil de 5 % ** significatif au seuil de 1 % NS non significatif*

On se situe donc largement en dessous du seuil de panicules/m² potentiel. *Le nombre de panicules/m² est donc limitant pour rendement pour l'ensemble des parcelles.* Ainsi, le nombre de panicules/m² expliquent respectivement 70 % et 50 % de la variabilité du rendement final en repiquage à temps et en repiquage précoce (Tableau 5). En repiquage

tardif, le rendement est déterminé au moment de la phase végétative. Le nombre de talles/m² à 20 jours explique déjà près de 67 % de la variabilité du rendement.

Tableau 5 : liaison entre rendement en grains et ses composantes selon la date de repiquage

	Nb talles /m² à 20 j.	Tx tallage repiq./20 j	Nb talles/m² IP	Nb panicules/ m²	Nb fleurs/panicules	Nb fleurs/m²	Nb de grains totaux/m²	Nb de grains pleins/m²	Tx stérilité des grains	PMG à 14 %
Repiquage à temps										
R^2	0,25	0.12	0,49	0.70	0.46	**0.79**	0.84	0.82	0.38	**0.50**
P	<0,001	0,05	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Repiquage tardif										
R^2	0.67		0.70	**0.50**		0.51		0.51		0.51
P	<0,001		<0.001	<0.001		<0.001		<0.001		<0.001

III. 3. 2 - Des possibilités de compensation pendant les phases tardives du cycle dans le cas des repiquages "à temps"

Les bassins implantés tardivement se caractérisent par **des nombres de fleurs/panicules relativement faibles** (90 % des bassins présentent des nombres de fleurs/panicule inférieurs à 170). Dans ce cas, il existe donc une limitation du nombre de sites mis en place à la floraison limitée alors que certaines parcelles implantées de façon précoce peuvent compenser un faible nombre de panicules par m² par la formation de grosses panicules (avec de nombreux grains) (Figure 7)

On peut penser que des implantations tardives ne permettent pas un développement suffisant des plantes avant de la différenciation des épillets. Rappelons que le nombre d'épillets formés par panicule dépend en effet des conditions de croissance et de développement de la plante pendant la phase végétative (il existe une bonne corrélation linéaire entre la matière sèche au moment de la différenciation des épillets et le nombre d'épillets différenciés par panicule). Un repiquage tardif se traduit par un raccourcissement du cycle végétatif. Dans notre échantillon la phase repiquage - initiation paniculaire dure en moyenne 49 jours pour les implantations précoces et 42 jours en moyenne pour les implantations tardives (différence significative au seuil de 0,01 %) soit une différence d'une semaine environ. On doit donc s'attendre également à un développement moins important du nombre de fleurs/panicule.

Le repiquage de plants très âgés (plus de 50 jours en pépinière), un long délai entre arrachage et repiquage (+ de 15 jours), un mauvais contrôle de l'enherbement ou des densités de plantations trop faibles sont des facteurs aggravants. Ils affectent à la fois le nombre de panicules/m² et le taux de stérilité des grains. *Cependant, les effets de ces conduites sont partiellement masqués par les problèmes de tallages cités et leur effet ne s'expriment sur le rendement que pour les cas extrêmes.*

III. 3. 3 - Des problèmes au moment de la phase de remplissage différents selon la période d'implantation

Il existe une forte détermination du poids de 1000 grains sur le rendement final. Le PMG explique en effet près de 50 % de la variabilité totale du rendement en repiquage tardif comme en repiquage précoce, ce qui est très important pour une culture de riz.

Dans le cas des implantations tardives alors que les températures nocturnes tendent à fléchir, on aurait pu s'attendre à une forte influence du % de stérilité sur le rendement, ce qui n'est pas le cas. En revanche, le % moyen de stérilité est significativement plus élevé en repiquage tardif qu'en repiquage précoce même si la différence est limitée.

Dans le cas des repiquages précoces, il existe une relation linéaire entre le PMG et la longueur des épillets(R^2=0.50). **Le poids de 1000 grains a donc été limité par la taille des enveloppes, c'est à dire par les conditions qui prévalaient durant la division réductionnelle**, (initiation paniculaire), c'est à dire les conditions de températures, rayonnement, de régime hydrique et d'alimentation minérale. D'autres indicateurs, comme l'existence d'une corrélation linéaire en nombre de grains pleins/m^2 et le % de stérilité, tendent à confirmer l'existence de conditions limitantes de nutrition au moment de la formation des cellules reproductrices.

En revanche, dans les bassins implantés tardivement et en dehors d'une parcelle, les poids de 1000 grains ont pour l'essentiel été limités par les conditions de remplissage des grains c'est à dire pendant la phase de maturation (et non par les conditions de nutrition au moment de la division réductionnelle).

III. 3. 4 - Conclusion : des schémas d'élaboration du rendement selon la date de repiquage.

Les conditions d'élaboration du rendement diffère selon la date d'implantation. Les figures récapitulent les modalités d'élaboration du rendement et les phases limitantes dans les deux groupes de parcelles.

En repiquage tardif, les potentiels de rendements sont limités par un développement lent dès le début du cycle (entre 20 jours et initiation paniculaire), par un faible nombre de sites mis en place à la floraison et par un mauvais remplissage des grains.

En repiquage précoce, le nombre de panicules/m^2 est limité mais il existe des possibilités de compensation tardive par le nombre de sites mis en place à la floraison et un bon développement et remplissage des grains. En revanche, on met en évidence l'existence de conditions de nutrition limitantes au moment de la division réductionnelles sur certaines parcelles qui affectent le nombre de fleurs/panicule différenciées et la taille des enveloppes des grains.

La limitation du potentiel de tallage pour les implantations précoces ou tardives peut indiquer des conditions limitantes au moment de la phase végétative qui affecte la croissance et le développement des plantes. On peut penser à des processus de carences en éléments minéraux.

Figure 8 : Schéma d'élaboration dans le village de Darsalam du rendement en repiquage tardif (18 bassins)

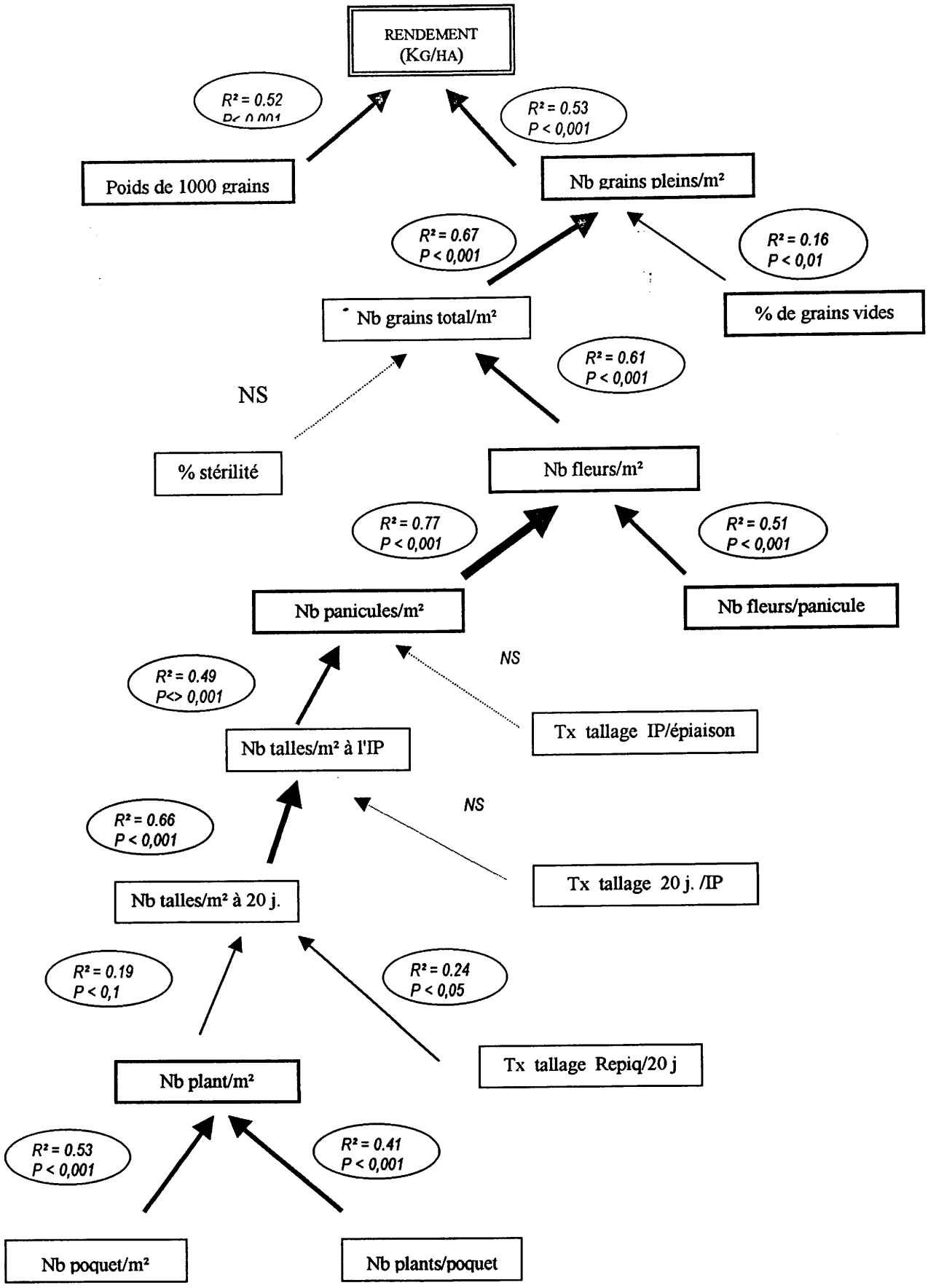
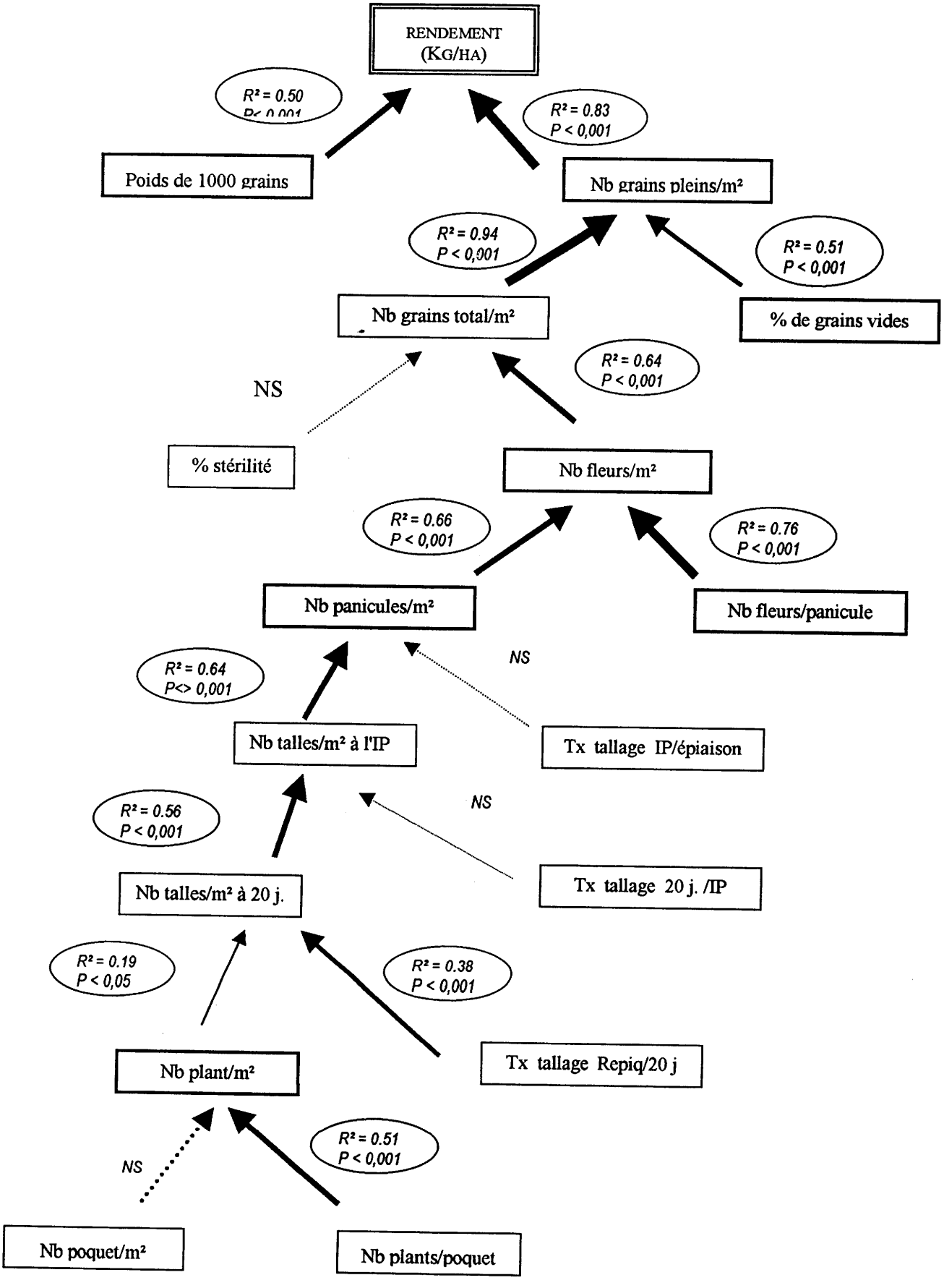


Figure 9 : Schéma d'élaboration du rendement en repiquage précoce dans le village de Darsalam (28 bassins)



III.4 - L'HYPOTHESE D'UNE CARENCE EN SOUFRE ET D'UN DESEQUILIBRE RELATIF EN K

III. 4. 1 - Des symptômes de carence

Il existe une bonne corrélation positive entre la hauteur des plants à l'initiation paniculaire et à la récolte selon la date d'implantation ou globalement (**Erreur! Source du renvoi introuvable.**) Les plants aux plus faibles niveaux de rendement sont peu développés avec un nombre limité de talles. Faible taille des plants, nombre de talles limité couleur jaune (observés dans les cas de rendement les plus faibles) sont des symptômes de carence. En outre, les grains sont tachetés dans les parcelles 11a, 11b, 14a, 14b, situées dans la zone C la moins fertile.

III. 4. 2 - Relation entre facteurs techniques et composantes du rendement

Nous avions mis en évidence un effet (limitée) de la fertilisation en DAP sur le rendement final, ainsi que de la dose de semis en pépinière. *Dans quelle mesure, la limitation du taux de tallage observé peut-elle être déterminée par les conditions de fertilisation ?*

L'analyse des corrélations entre facteurs techniques (notamment fertilisation minérale) et rendement (annexe 7) montre que **l'effet de la fertilisation minérale ne s'exprime que faiblement sur les composantes du rendement en repiquage précoce comme en repiquage tardif**. Le DAP affecte faiblement le nombre de panicule/m², et l'azote au tallage comme à l'initiation paniculaire joue surtout sur le nombre d'épillets/m². **On ne met pas en évidence de corrélation entre les facteurs techniques (notamment niveau de fertilisation durant la phase de tallage) et les variables de tallage en repiquage précoce. Notamment la quantité d'azote apporté au tallage n'affecte pas le tallage mais uniquement le nombre de fleurs/panicule.**

C'est essentiellement la quantité de DAP et la deuxième fraction d'urée qui affecte le rendement en augmentant sur le nombre de fleurs/panicules, le poids de 1000 grains et plus faiblement le nombre de panicules par m². *Il semble donc que la disponibilité en phosphore pour le peuplement soit impliquée dans les phénomènes de compensations tardives observées.*

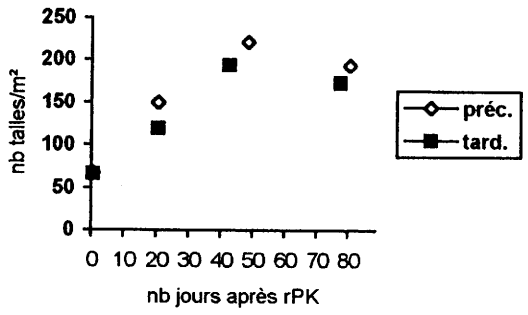
III. 4. 3 - Teneur en élément minéraux des plants

Des analyses de plantes ont été réalisés à partir de prélèvement en fin de tallage/ initiation paniculaire sur feuilles de plants situées à proximité immédiate des 230 placettes suivies. Les teneurs en N, P, K, Ca, Mg, Na, Cl, S, Fe, Mn, Zn et Al ont été déterminées dans chacun des échantillons. Compte tenu de la variation des prélèvements de la plantes au cours du cycle et des phénomènes de translocation, la détermination de carence en valeur absolu (seuil critique d'un élément dans la plante) dans la plante demande une grande rigueur de prélèvement (date, partie de la plante, mode de prélèvement et de conditionnement des échantillons). A titre d'exemple, la détermination des teneurs en azote se fait par analyse des feuilles au stade tallage, tandis que l'analyse du taux de potassium dans la plante se fait sur la paille à maturité. **Nous procéderons donc par analyse comparative entre bassins sans tenir des valeurs absolues des teneurs en différents éléments,** en différenciant les bassins repiqué avant le 15 août et les implantations tardives. Seules les teneurs en azote et en fer peuvent avoir une certaine signification en valeur absolue compte tenu de la date et du mode de prélèvement des échantillons

La teneur en azote dans la plante varie entre 1,67 % et 3, 95 % pour une moyenne de 2,55 % (C.V. 16 %) **ce qui est faible**. Rappelons que le seuil de déficience pour le riz est estimé à 2,5 % de la matière sèche pour une analyse de feuilles collectées au moment du tallage (Yoshida, 1981). Ce taux d'azote diffère significativement selon la date d'implantation. ***Les différence en teneur des éléments suivant N, P, K, Ca, Mg, Na et S sont significativement plus élevées en repiquage tardif qu'en repiquage précoce au seuil de 5 %.*** Ces différences sont particulièrement fortes (au seuil de 4 $^{0}/_{00}$) pour les éléments N, Mg, S et pour rapport S/K.

Ces plus fortes concentrations relatives en élément minéraux dans les plantes pourraient être liés à **une accumulation plus importante de matière sèche en repiquage tardif dans un contexte de carence en élément minéraux.** En effet, le développement moins important des plants en repiquage tardif au moment de la collecte des échantillons, lié à des vitesse de tallage différentes se traduit par une faible accumulation de matière sèche. Si les éléments considérés sont carencés dans le sols et donc faiblement disponibles, ils auront tendance à être dilués avec l'accumulation de matière sèche.

Figure 10 : Évolution de la vitesse du tallage selon la date d'implantation



Certains éléments sont liés dans la plantes comme le montrent les résultats d'une ACP qui permet de distinguer trois grands groupe d'éléments minéraux : le groupe Azote (regroupant les teneur en N, S, Mg), le groupe Phosphore (P, N/K et S/K), le groupe Aluminium (Al, Al/P, Al/S). La corrélation entre teneur en soufre et teneur en azote ne doit pas surprendre, le soufre intervenant dans le métabolisme des acides aminés. Des carences en soufre sont souvent associés à une limitation de la teneur en azote des plants. En outre, le ratio N/S varie dans la plante au cours de sa croissance et la teneur en soufre est un bon indicateur de ce ratio (Yoshida, 1981). Il semble que ce soit plus la teneur relative en potassium avec les autres éléments minéraux qui soit déterminantes plus que la teneur absolu en potassium, ce qui pourrait traduire l'existence de déséquilibre de la teneur en potassium par rapport aux autres ions.

III. 4. 4 - Deux déterminants principaux du rendement et de ses composante : la teneur en soufre et la teneur relative en potassium

En repiquage tardif comme en repiquage précoce, on met en évidence une corrélation significative entre la teneur et soufre et/ou le rapport N/S avec le rendement et toutes ses composantes (sauf le taux de stérilité en repiquage tardif). La teneur relative en potassium par rapport à d'autres composants minéraux comme le soufre , le phosphore ou l'azote s'exprime également mais plus faiblement et sur certaines composantes (ANNEXE 8). Si on élimine la variabilité lié à celle des pratiques de fertilisation , les coefficients de détermination peuvent être très élevés (supérieur à 50 % voir 80 % pour le cas des nombre de panicules/m²) en dépit de la variabilité existantes des autres pratiques.

D'autres éléments peuvent intervenir dans la détermination du rendement. On peut citer l'influence de l'azote et du phosphore dans celle du nombre de sites mis en place à la floraison en repiquage précoce.

On retient donc que quelle que soit la date d'implantation, **toutes les composantes du rendement sont corrélés significativement au rapport à la teneur en soufre ou au rapport N/S**. Si on élimine la variabilité liés aux pratiques de fertilisation en ne travaillant que sur les bassins à fertilisation contrôlée, la part de la variabilité du rendement expliqué par la teneur en soufre ou le rapport N/S augmente.

La teneur relative en potassium (par rapport à la teneur en S, N, Al, P) contribue également à expliquer la variabilité de **certaines** composantes du rendements.

Nous formulons donc l'hypothèse qu'une carence en soufre dans les sols, accompagné d'un déséquilibre dans l'absorption du potassium limite les rendements dans le village de Darsalam

III. 4. 5 - Discussion

a) Un nombre de panicules/m² limité par une carence en soufre et potassium ?

L'hypothèse d'une carence en soufre, éventuellement doublée d'un déséquilibre dans le prélèvement de potassium est-elle cohérente avec les schémas d'élaboration du rendement observés ? Nous avons vu que le principal facteur limitant du rendement était le nombre de panicules/m². Nous nous sommes donc intéressé à l'élaboration du nombre de panicules/m² c'est à dire à la phase de tallage.

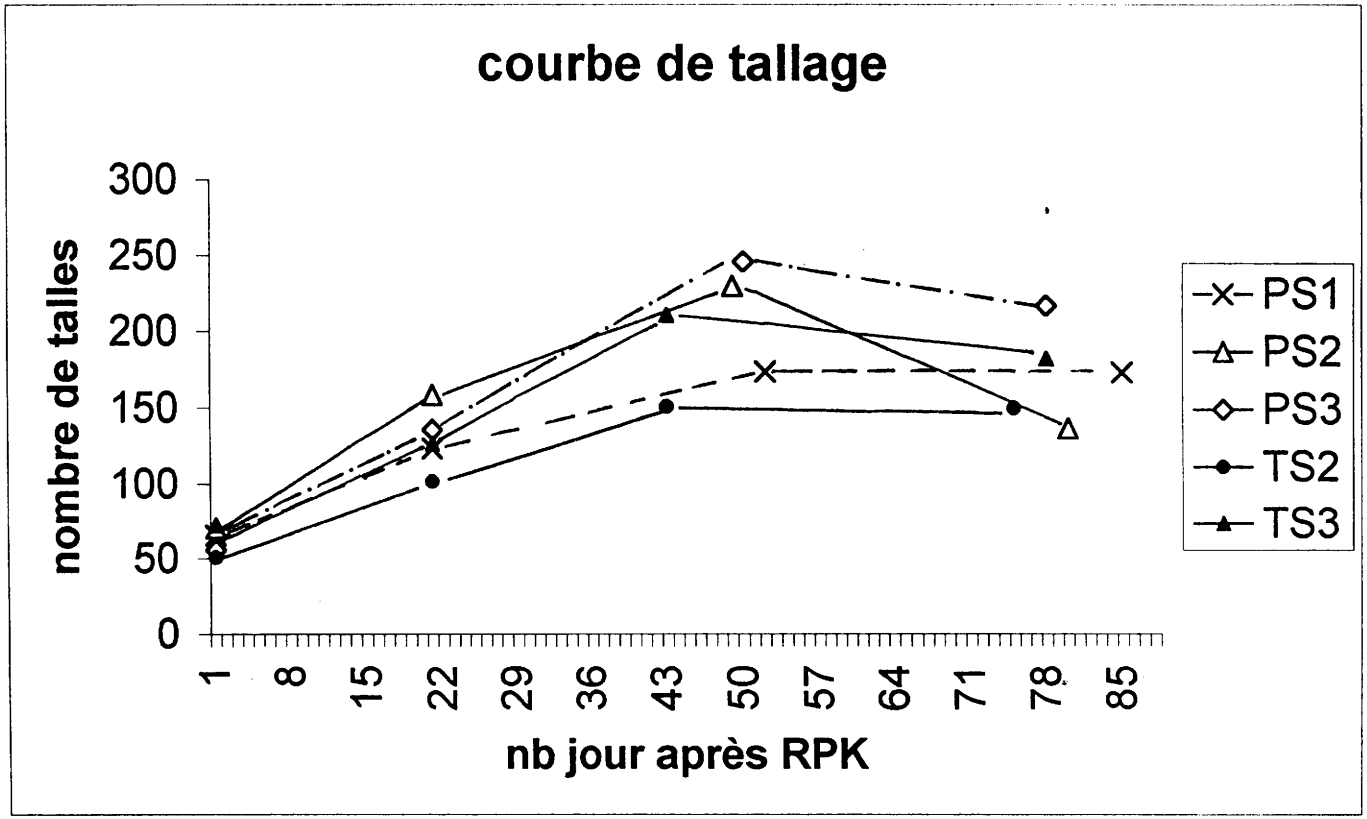
La teneur en soufre à l'initiation paniculaire, la teneur en aluminium et le rapport N/S sont les principaux éléments minéraux facteurs limitants du nombre de panicules/m² en repiquage précoce. Le rapport N/S, la teneur en Al affecte faiblement le nombre de talles/m² à 20 jours, (Tal/m² 20 j) le nombre de talles/m² à l'initiation paniculaire (tal/m² IP) mais pas les taux de tallage. En repiquage tardif, le nombre de panicules/m² est surtout lié au niveau de soufre, au rapport N/S ainsi qu'à la teneur en P, en N et en Mg. Soufre et N/S joue également sur le nombre de talles/m² à 20 jours et à l'initiation paniculaire.

En repiquage précoce, la capacité de tallage pour les parcelles à niveau de soufre en sensiblement réduite par rapport aux autres bassins. Cette limitation est précoce et intervient dès la période 20 jours après repiquage. La même tendance s'observe pour le tallage en repiquage tardif (teneur moyenne en soufre correspondant à un faible rapport N/S). Cependant la vitesse de tallage dans les bassins précoces à faible teneur en soufre (PS1) est plus élevée que les bassins tardifs à teneur en soufre élevée (TS3). La différence de vitesse de tallage se creuse entre la période 20 jours/initiation paniculaire pour les plants à faible teneur en soufre relatif (par rapport aux autres bassins implantées pendant la même période).

On peut donc penser que de faibles en soufre, en valeur absolu ou relativement aux autres éléments minéraux affecte la vitesse de tallage notamment en dessous d'un certain seuil. Nous avons vu que les densités de semis en pépinière étaient liées au teneur en soufre au moment de l'initiation paniculaire ce qui laisse penser que des problèmes de prélèvement ou de carences sont susceptibles de se poser de façon très précoce. D'autres carences semble également intervenir comme les prélèvement relatifs en potassium ou en phosphore.

L'hypothèse d'une carence en soufre est cohérente avec les symptômes observés (croissance limitée, faible tallage, peu de panicules, petites panicules avec un faible nombre d'épillets/panicule, jaunissement des feuilles) (Ponnemperuna, 1985, Moreau, 1987, Grist, 1986). Moreau (1987) précise que ces carences sont difficiles à observés à l'œil nu. Les effets des carences en soufre sont surtout sensibles durant les premières phases du développement de la plante. Des carences tardives (50 jours après repiquage) affectent peu le développement et les composantes du rendement (Grist, 1986). Certains auteurs pensent que l'absorption du fer et du manganèse est liée à celle du soufre.

Figure 11 : Évolution du nombre de talles/m² à différents stades du développement en fonction du % de soufre au moment de l'initiation



b) Zone de fertilité et hypothèse d'une carence en soufre et potassium

Les carences supposés sont-elles plus marquées dans certaines zones de fertilité telles qu'elles ont été identifiées dans le paragraphe III.2.1 ? Nous avons donc étudié les teneurs moyennes en éléments minéraux par petites zones. Le % de potassium dans les plants au moment de l'initiation paniculaire apparaît significativement différent selon les zones (Tableau 6). Ce pourcentage est sensiblement plus faible dans les parcelles de la zone C, considérée comme particulièrement peu fertiles. Rappelons que les analyses de sols montraient que la teneur en potassium échangeable était très faible sur ces sols. On ne met pas en évidence de différence significative entre zone selon la teneur en soufre même si les parcelles de la zone C semble se distinguer par une rapport N/S élevé. En repiquage tardif, les teneurs en soufre et potassium sont significativement différentes selon la localisation géographique des parcelles. D'autres éléments se distinguent également comme sodium et le magnésium.

Tableau 6 : Teneur moyenne dans les plants et signification des différences entre les petites zones de fertilité du terroir de Darsalam.

	Zone A	Zone B	Zone C	Différence Significative
Précoce				
K	1.95	1.93	1.61	**
K/mg	14.90	15.75	11.21	***
K/P	11.57	11.73	9.15	**
N/S	17.33	18.10	19.73	*
Tardif				
K	2.10	1.85	2.15	*
S	0.18	0.15	0.17	*
Na	89.05	67.12	137.94	*
Mn	296	186	134	**

L'identification de trois petites zones de fertilité différentes s'accordent avec l'hypothèse de carence en soufre et potassium. Les teneurs en S et K sont relativement plus faibles dans les plants issus de la zone C que des deux autres zones.

c) Conclusion

Au cours de cette analyse, nous avons souligné :

- La variabilité des itinéraires techniques, cohérentes avec celles des rendements mais qui ne permettait pas de rendre compte des faibles niveaux rendement moyens observés par rapport à d'autres zones de l'Office,
- Des rendements plafonnés dans certaines parcelles en dépit de conduites plutôt intensives : les faibles niveaux de rendements observés dans ces parcelles ne pouvaient être expliquer ni par la date de repiquage, ni par l'âge des plants, ni par les pratiques de fertilisation, ni par l'enherbement de la parcelle. Certes des problèmes de

maîtrise des itinéraires techniques existent mais ils ne peuvent rendre compte de la totalité des faibles rendements observés

- Des nombres de panicules/m² globalement faibles (par rapport à d'autres suivis réalisés dans la zone Office du Niger), associé à de faibles ou fort niveau de rendement. Globalement, dans le terroir de Darsalam le niveau de tallage est limité. Les composantes du rendement ultérieures peuvent permettre de limiter l'impact de ce faible taux de tallage sur le rendement.
- Certaines présentent d'autres symptômes de carence que le niveau de tallage mais ces symptômes semblent ne s'exprimer que sur les parcelles les plus fortement atteintes.
- L'existence de zones de fertilité différentes qui semblent être confirmé par les analyses de sols et les analyses de plantes.

L'ensemble de ces observations sont compatibles avec l'hypothèse de l'existence de carence qui affecteraient essentiellement la phase de tallage, et en cas de carences sévères les autres phases du cycle végétal. Ces carences peuvent affecter le peuplement de façon très précoce (dès la phase de pépinière) et ne sont pas corrigées par les apports d'azote et de DAP normaux ou supérieur à la moyenne.

Nous formulons l'hypothèse de l'existence d'une carence en soufre plus prononcée selon la localisation de la parcelle et de problèmes liés à l'absorption du potassium en liaison avec celle de soufre, de phosphore.

Les carences en soufre en rizières sont relativement fréquentes, notamment en Afrique (Grist, 1986). L'hypothèse de possibles carences en soufre dans les sols de l'Office du Niger avait déjà émise 1991 mais n'avait pas été approfondie. Des essais récents (1997) mené par le PRI ont montré l'effet du phosphore et du potassium sur le rendement dans la zone de Kokry ce qui tend à confirmer cette hypothèse de déficience en potassium. Mais aucune investigation n'a été réalisée à notre connaissance sur le problème du soufre.

IV - CONCLUSION :

IV.1 - L'HYPOTHÈSE DE PROBLEMES DE FERTILITÉ CHIMIQUE DU SOL SUR LE TERROIR DE DARSALAM

Notre suivi des pratiques paysannes a mis en évidence l'existence d'une forte variabilité des itinéraires techniques, compatibles avec une forte variabilité des rendements. Les rendements sondés restent cependant inférieurs globalement à ceux d'autres zones de l'Office du Niger, et le plus faible rendement ne sont pas forcément associés à une mauvaise maîtrise des itinéraires techniques.

Certes, des retards dans l'implantation des cultures (après la date seuil du 15 août) sont susceptibles d'affecter le rendement. Nous avons mis en évidence l'existence de processus physiologiques différents entre les repiquages à temps et les repiquages tardifs avec une concentration en éléments minéraux dans la plante dans le deuxième groupe. La date de repiquage ne permet cependant d'expliquer que 23 % de la variabilité des rendements. Les rendements sont essentiellement limités par le nombre de panicules/m² qui reste faible, quelle que soit la date de repiquage et le niveau de rendement final obtenu. Des possibilités de compensation de ce faible nombre de panicules produites tardives existent, par le biais du nombre d'épillets produits ou du remplissage des grains. Ces processus de compensation sont surtout sensibles en repiquage précoce.

Dans les deux groupes de parcelles, les composantes du rendement sont affectées par la teneur en Soufre ou le rapport N/S au début de l'initiation paniculaire. Il semble également que la teneur relative en K, par rapport à d'autres éléments soit susceptible d'affecter également mais la détermination est moins forte. On peut donc émettre l'hypothèse de l'existence de carence en soufre et de déséquilibre d'absorption de potassium dans les parcelles rizicoles du village de Darsalam.

Les processus mis en jeu sont précoces. Les teneurs en soufre et en potassium dans la plante au moment de l'initiation paniculaire peuvent être déterminés par une compétition importante durant la phase de pépinière, compétition lié à une très forte de densité de plantes ou à une demande trop élevée (la fertilisation en pépinière joue sur la croissance et le développement des plantes et donc sur la "demande" en éléments minéraux divers). Les processus de carences mis en évidence affecteraient principalement la phase de tallage en limitant le nombre de panicules produit.

Lorsque les carences sont fortes, ces conditions de nutritions minérales limitantes n'affectent pas seulement le nombre de panicules/m² mais sont susceptibles de limiter le nombre de fleurs mis en place, de limiter la taille des enveloppes des grains et donc de limiter le rendement. Dans d'autres parcelles, il semble qu'il existe des processus de compensation qui permettent de limiter l'impact d'un faible taux de tallage sur le rendement final. Ces phénomènes de compensation pourraient être liés au niveau de fertilisation notamment en phosphore : La fertilisation en DAP, le niveau de phosphore dans la plante joue sur le nombre de fleurs/panicules et le poids de 1000 grains.

IV.2 - CONSEQUENCE POUR LA RECHERCHE ET LE DEVELOPPEMENT

Ce travail permet de préciser des axes de travail pour la recherche et pour le développement :

IV. 2. 1 - Pour la recherche : Vérification des hypothèses formulées, de l'extension des carences et mises au point de formule de correction

Il convient pour la recherche de vérifier l'hypothèse d'une carence en soufre et en potassium dans le village de Darsalam et partiteurs alentours (zone de Kokry).

1. On peut penser par exemple à réaliser une caractérisation des sols des 3 zones identifiées dans le terroir de Darsalam en étudiant notamment la variabilité des teneurs en soufre et en potassium dans ces sols. Le taux de soufre est-il limitant dans ces sols et/ou dans la solution du sol ? ? L'acidité du sol est-il en jeu dans les phénomènes de fertilité observés ? Les prélèvements en K et S sont-ils liés ? Si ces hypothèses de carence en soufre et K se confirmaient, peut-on dégager des indicateurs de fertilité des sols pertinents par rapport à ces carences. Peut-on expliquer la liaison avec le % d'aluminium dans les plantes ? Sont-ils liés au prélèvement en K ou S ?

2. Il s'agit de préciser, si cette hypothèse se confirmait l'extension de ces sols carencés sur les terroirs villageois voisins. La zone de Kokry se caractérise par des rendements sensiblement inférieurs à celle des autres zones. L'encadrement et les paysans font état de problèmes sur les partiteurs K3, K4, K5. Dans quelle mesure les carences/déséquilibre misé en évidence dans le village de Darsalam se retrouvent-elles sur ces partiteurs ?

3. L'hypothèse d'une carence en soufre en relation avec celle de potassium pourrait être testée par des essais en champs comparant des apports de chlorure de potassium, de sulfate de potassium, de gypse, de dolomie (apportant du magnésium qui on l'a vu pourrait jouer sur certaines composantes du rendement), éventuellement couplé à des apports de phosphore. Les résultats devront notamment être étudiés par rapport au tallage de la plante, au nombre de fleurs mis en place et au remplissage/PMG

4. L'ultime étape sera de mettre au point des niveaux de fertilisation adapté aux carences identifiées. Pour cela, il faudra tenir compte de l'adaptabilité des fertilisations aux pratiques paysannes : par exemple la manipulation du Kcl et sulfate de potassium se révèle délicate pour les paysans.

IV. 2. 2 - Pour le développement : promouvoir des techniques de culture permettant de limiter l'impact des carences sur le rendement

En dehors des sols les moins fertiles (zones C), nos suivis montrent qu'il peut être possible de limiter l'impact des carences possibles sur le rendement. Il revient aux Conseillers agricoles de l'Office du Niger d'orienter les paysans vers des pratiques "de correction".

1. **Des efforts peuvent ainsi être apportés aux techniques de pépinières.** Des densités de semis trop importantes accentuent les phénomènes de compétition. Des densités de semis de l'ordre 5 à 10 kg/are de pépinière sont suffisantes. Pour limiter les risques de mauvaises levées, la qualité des semences est importantes ainsi que les modalités de préparation du sol. Les pépinières doivent être semées sur des surfaces parfaitement mises en boue et

parfaitement planes. Une fertilisation organique en pépinière peut permettre de corriger d'éventuelles carences durant cette phase cruciale.

2. Il semble important **de promouvoir une meilleure gestion de l'eau** au niveau des parcelles afin de permettre le drainage de toutes les parcelles en début de campagne, et de limiter les risques d'implantations tardives liées aux difficultés de préirrigation. La maîtrise du planage devrait également permettre de limiter certains risques d'inondation de début de cycle.

3. Il ne pourra pas y avoir d'amélioration sensible de la maîtrise du calendrier cultural sans amélioration de l'accès au crédit pour le financement des intrants et des repiquages. Ceci passe par l'assainissement des dettes des villages, la multiplication des caisses villageoises de crédit, une clarification de la gestion des comptes dans les organisations paysannes concernées, la formation des gestionnaires villageois, l'accompagnement et le suivi. Des efforts dans ce sens ont été entrepris dans la zone de l'Office du Niger par le biais de l'encadrement de l'Office du Niger, par les caisses suivis par le FDV et le CIDR, par des prestataires comme le PCPS. **Ces efforts doivent être poursuivis et accentués dans la zone de Macina**. La coordination entre tous les intervenants dans ce domaine est souhaitable.

4. La maîtrise des calendriers culturaux et des itinéraires techniques pose le problème de l'apprentissage. ***Il ne s'agit pas temps de vulgariser un "paquet technique optimal", qui par ailleurs est déjà connu des exploitants installés.*** Il s'agit surtout d'aider les paysans à se construire une représentation cohérente de leur organisation du travail dans le temps, et à les aider à apprendre à anticiper sur les différents aléas d'une campagne. **Il s'agit pour l'Office du Niger de mettre en place un véritable conseil en gestion technique**, avec ses techniques et outils d'aide à la discussion. L'accompagnement et le suivi rapproché des producteurs nouvellement installés restent également important. Pour faciliter le dialogue, on peut par exemple penser à privilégier ces nouveaux producteurs au moment des choix d'implantation pour la conduite de tests de vulgarisation, de tests en milieu paysans. La maîtrise des itinéraires techniques nécessite toujours une période d'apprentissage. Ne faudrait-il pas donner évaluer la réussite d'une nouvelle installation sur plusieurs deux ou trois campagnes plutôt qu'une seule, quitte à proposer un report de paiement de la redevance, contre certains engagement (suivis d'indicateurs de maîtrise de la technicité – exemple rendement, date de repiquage, participation au test avec l'encadrement etc ...) ?

5. Nos résultats montrent que les apports précoces de DAP affectent positivement le rendement ainsi que le deuxième apport d'urée au moment de l'initiation paniculaire. ***Dans le village de Darsalam, alors que des problèmes de fertilité chimique des sols semblent affecter le tallage des plants, la fertilisation en DAP précoce et l'apport d'urée au moment de l'initiation paniculaire semble être beaucoup mieux valorisée que les apports d'urée en stade début tallage.*** Ces deux types apports doivent être privilégiés, notamment en cas de difficultés de trésorerie. Le respect des dates d'apports est important. Enfin, le potentiel de tallage étant limité en repiquage tardif, une réduction des doses d'engrais peut être envisager. On privilégiera encore les apports de DAP et la deuxième fraction d'urée.

6. Enfin, il convient sans doute **d'intensifier la production de matière organique dans la zone (compost, fumier organique).** Des apports organiques permettraient en effet de compenser l'effet de carences.

V - BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

Ducrot R., Keïta M., Traore M., 1998. Rendement battage et rendement agronomique quelques éléments. Office du Niger, zone de Niono, URDOC. 21 p.

Graf B., Rakotobe O., Zahner P., Delucchi V., Gutierrez A.P., 1990. A simulation model for the dynamics of rice growth and development : Part III Validation of the model with high-yielding varieties, Agricultural System, 36 : 329-347.

Ducrot R., Chambon B., Coumare Y., Keïta M., Traore M., 1997. Elaboration du rendement du riz irrigué en situations paysannes à l'Office du Niger (Mali) : exemple des casiers rizicoles de Niono et Molodo. Zone Office du Niger de Niono, URDOC, CIRAD-SAR. Version provisoire, 44 p.

URDOC. 1996. Rapport d'activité 1995. Zone Office du Niger de Niono, URDOC, CIRAD-SAR 67 p. + annexes.

PRI, 1995. Rapport analytique Campagne 1994-1995. MDRE, IER Direction Scientifique Programme Riz Irrigué. 231 p.

PRI, 1994. Rapport analytique Campagne 1994-1995. MDRE, IER, CRRA-N, Programme Riz Irrigué. 168 p.

Yoshida S., 1981. Fundamentals of rice crop science. IRRI. 251 p.

Spruijt L., 1996. Etude socio-économique "Kokry". Résultats de la deuxième phase (juin 95-mars 96) version définitive. Zone Office du Niger du Macina. programme Arpon. Version définitive. 41p

Ponnamperuma F.N., .Lantin R.S., 1985. Diagnosis and amelioration of nutritional disorders of rice. IRRI. 1985. 35 p.

Moreau D., 1987. L'analyse de l'élaboration du rendement du riz : les outils de diagnostic. GRET. 199p

Grist D.H., 1986. Rice. Tropical Agriculture series. 542 p.

Veldkamp W.J., Traore A., N'Diaye K, 1991. Fertilité des sols du Mali, Mali –sud / Office du Niger. Interprétation des données analytiques des données de sols et de plantes. IER, Institut Royal des Tropiques. 149 p. + annexes

OFFICE DU NIGER
ZONE DE NIONO
PROJET RETAIL III

URDOC

REPUBLIQUE DU MALI
Un Peuple – Un But – Une Foi

DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE DE L'ELABORATION DU RENDEMENT DU RIZ IRRIGUE DANS LE VILLAGE DE DARSALAM

ZONE OFFICE DU NIGER DE MACINA

ANNEXES

Juin 1998

Raphaèle Ducrot
Mamadi N. Kéïta
Yohanna Coumare

CIRAD-SAR

Financement CFD
Convention N° 58 255 00 521 OM/CML 103701

Unité de Recherche Développement Observatoire du Changement
BP 11 Niono région de Segou Mali tél./fax 35 21 27
urdoc@datatech.toolnet.org

VI - ANNEXES

VI.1 - ANNEXE 1 : CARACTÉRISATION DU TERROIR ET DES SOLS DE DARSALAM VI-3

VI.2 - ANNEXE 2 : CARACTERISATION DES ITINÉRAIRES TECHNIQUES VI-7
VI. 2. 1 - La préparation des sols et la maîtrise du calendrier agricole VI-7
VI. 2. 2 - La conduite de la pépinière; VI-9
VI. 2. 3 - La conduite de la fertilisation VI-10
VI. 2. 4 - Le contrôle de l'enherbement VI-12

VI.3 - ANNEXE 3 : ANALYSE DE LA DIFFÉRENCE ENTRE RENDEMENT AGRONOMIQUE SONDÉ ET RENDEMENT BATTAGE DÉCLARÉ. VI-13
VI.4 - ANNEXE 4 : RENDEMENT ET FACTEURS TECHNIQUES VI-15

VI. 4. 1 - Date de repiquage et rendement : VI-17

VI.5 - ANNEXE 5 : ANALYSE DE L'ÉLABORATION DU RENDEMENT ; ÉTUDE DES CORRÉLATION ENTRE LE RENDEMENT ET SES COMPOSANTES VI-19
VI. 5. 1 - Des schémas d'élaboration du rendement différents selon la date de repiquage VI-19
VI. 5. 2 - Repiquage tardif : des potentiels de rendement limité par un développement lent en début de cycle VI-20
VI. 5. 3 - Relation entre composantes prises deux à deux VI-24

VI.6 - ANNEXE 6 : UNE CROISSANCE LIMITÉE VI-37

VI.7 - ANNEXE 7 : RELATION ENTRE FACTEURS TECHNIQUES ET COMPOSANTES DU RENDEMENT VI-39

VI.8 - ANNEXE 8 : TENEUR EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX DES PLANTS DE RIZ ET ÉLABORATION DU RENDEMENT VI-41
VI. 8. 1 - ACP sur les teneurs en élément minéraux des plantes VI-41
VI. 8. 2 - Teneur en azote VI-47
VI. 8. 3 - Une toxicité ferrique localisée ? VI-48
VI.9 - RELATION ENTRE TENEUR EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX ET L'ÉLABORATION DU RENDEMENT VI-49
VI. 9. 1 - Relation entre conduite technique et teneur en éléments minéraux VI-49
VI. 9. 2 - Relation entre teneur en éléments minéraux, rendement et composantes du rendement VI-51

VI.1 - ANNEXE 1 : CARACTÉRISATION DU TERROIR ET DES SOLS DE DARSALAM

Le terroir villageois de Darsalam peut être divisé en trois grandes zones de production (Carte 1) : .

- Une partie A, considérée par les villageois comme relativement fertile, située à l'ouest/sud ouest du village. Neuf des 23 parcelles suivies se situent dans cette zone. Il s'agit des parcelles 4, 9, 10, 12 , 13, 15, 16, 21, 22.

- Une partie B, de fertilité moyenne au sud du village. Les parcelles de notre échantillon concernées sont les n°1, 5, 6, 7, 8, 17, 18, 19, 23

- Une zone C considérée comme très infertile, qui entoure le village au sud et au nord. La plupart des parcelles de cette zone ne sont pas cultivées.4 parcelles y ont été suivies (parcelles 2, 11, 14, 20). Une cinquième parcelle était prévue à proximité de la parcelle 14, mais le paysan n'a finalement pas implanté ce site.

- Une particularité cependant dans cette partie, la zone Est du village, relativement appréciée (le chef du village y a transféré sa parcelle il y a deux ans). La parcelle du suivi n°3 est située dans cette zone. Elle sera individualisée dans la suite de notre étude.

Des analyses de sol ont été réalisées sur 20 des 230 placettes suivies, à raison d'un prélèvement par bassin témoin et par paysan sauf dans les cas n°21, 22, et 23. Sur chacune des 230 placettes, des mesures de pH, de potentiel redox ont également été réalisées in situ. Les pH, taux de sable et conductivité électrique de ces sols (230 échantillons) ont également été analysés en laboratoire. Le tableau 1 présente la moyenne de ces analyses selon les grandes zones de fertilité identifiée.

Les sols de Darsalam se caractérisent globalement par leur acidité (pH eau moyen de 5,5, C.V. de 11 %). Le pH in situ est de l'ordre de 5,63 variant entre 4,05 et 6,9 et le pH Kcl de 4,3 variant entre 3,75 et 5,05. Des pH Kcl inférieurs à 4 impliquent des risques de toxicité en Al et Mn et des risques de faible disponibilité en N et P, de Ca, Mg et Mo.

Le pourcentage d'azote total est relativement élevé et varie peu selon les zones. Si le taux de phosphore total est relativement élevé (en moyenne plus de 450 ppm), *le phosphore assimilable (Bray 2) est globalement bas (variant entre1,6 et 6.5 ppm), voire à l'état de trace.* Les taux de potassium en rapport à la CEC sont moyens (variant entre 0.23 et 0.77 ppm). En revanche le rapport K/mg est bas (0,15 en moyenne) et traduit un certain déséquilibre du sol dans ces éléments. Différents essais ont montré que ces sols répondaient à l'application en phosphore et en potassium (PRI, 1995, 1996. Doumbia à paraître).

Ces sols ne sont pas sodiques. Les taux de magnésium, sodium et calcium sont plutôt élevés. Les oligo-éléments étudiés (Mn, Cu, Fe ou Zn) ne sont pas limitants à priori. Le taux de fer dans ces sols est notamment assez élevé.

Tableau 7 : Résultats des analyses de sol par zones de fertilité du terroir de Darsalam

	Zone A	Zone B	Zone C	N°3	
pH in situ	5,94	5,26	5,85	6,83	NS
pH laboratoire	5,57 *11 %*	5,56 *15 %*	5,41 *13 %*	5,34	NS
Potentiel Redox 0 – 20 cm	136,1 *78 %*	181,5 *23 %*	43,7 *234 %*	172	NS
Matière organique					
Azote total 0/00	0.91 *18 %*	0.98 *15 %*	0.93 *9 %*	0,96	NS
Phosphore					
P total ppm	455,3 *17 %*	517,8 *28 %*	579 *13 %*	697	NS
P Bray 2 ppm	3,74 *16 %*	3,15 *30 %*	1,98 *22 %*	6,5	*
Complexe absorbant					
Ca ECH-ac MEQ/100	11,93 *28 %*	9,36 *40 %*	6,55 *21 %*	5,87	NS
Mg ECH-ac MEQ/100	3,27 *17 %*	2,50 *20 %*	2,24 *9 %*	2,19	*
K ECH-ac MEQ/100	0,41 *9 %*	0,44 *34 %*	0,33 *5 %*	0,49	NS
Na ECH-ac MEQ/100	0,32 *7 %*	0,30 *22 %*	0,29 *11 %*	0,23	NS
S (Ca, Mg, K, Na)	14,82 *42 %*	12,60 *34 %*	9,40 *17 %*	8,78	NS
CEV –ac %	24,93 *10 %*	22,02 *17 %*	20,29 *3 %*	18,50	NS
Oligo-éléments méthode DTPA					
Manganèse ppm	34,18 *38 %*	30,66 *53 %*	27,77 *57 %*	41,8	NS
Cuivre ppm	3,11 *17 %*	3,82 *19 %*	2,27 *33 %*	3,9	NS
Zinc ppm	1,19 *45 %*	1,05 *36 %*	0,65 *19 %*	0,96	NS
Fer ppm	94,9 *11 %*	106,7 *46 %*	71,6 *62 %*	178,5	NS

**** différence entre les trois grandes zones significative au seuil de 5 %***
% coefficient de variation de l'échantillon

La comparaison des analyses de sols par zone (**Tableau 7**) permet de faire ressortir les éléments suivants :

- La zone C moins fertile se caractérise globalement par de très faibles teneurs en phosphore assimilable (Bray2). La différence avec les deux autres zones est significative au seuil de 5 %. Il en est de même de la teneur en Mg échangeable. Globalement, l'ensemble des teneurs en bases échangeables est plus faible que dans les autres zones. Les teneurs en oligo-éléments sont également plus faibles même si les différences ne sont pas significatives. Notons que la variabilité des mesures est relativement plus faible dans cette partie du terroir.
- La Zone A "fertile" se caractérise par les niveaux relativement plus élevés en éléments minéraux, notamment en phosphore assimilable, CEC et oligo-éléments.
- La zone B se caractérise surtout par sa variabilité. Les parcelles de cette zone sont plutôt hétérogènes.
- La parcelle n°3 se rapproche au niveau analyse des parcelles de la zone C si ce n'est le taux de phosphore assimilable (Bray 2) relativement élevé 6,5 meq /100 g de sol.

Il n'y a pas de différence significative entre le niveau de planage des bassins selon sa situation géographique. La différence moyenne de planage est relativement élevée[2] (17 cm, CV 37 %) . Les taux de sables sont faibles (moyenne de 7 %, CV de 33 %), on se situe sur des sols argileux, de type Moursi. Les dénominations paysannes des sols de leur parcelle laissent penser qu'il existe cependant une grande hétérogénéité : d'après les déclarations, on trouve dans l'échantillon suivi l'ensemble des sols présent dans la zone de l'Office du Niger à savoir Moursi (48 % des parcelles), boi (13 %), Danga 13 % et dian 4 %.

[2] différence de planage moyen observée dans la zone de Niono en 1995 14 cm (Ducrot et al. 1996)

VI.2 - ANNEXE 2 : CARACTERISATION DES ITINÉRAIRES TECHNIQUES

VI. 2. 1 - La préparation des sols et la maîtrise du calendrier agricole

La préparation du sol est relativement "classique" pour les rizières l'Office du Niger à la différence que **43 % des paysans enquétés (9 exploitations) ne pratiquent pas de préirrigation**. Le labour se fait alors sur pluie après un laps de temps nécessaire à la prégermination des adventices.

Le double labour dépend du degré d'enherbement de la parcelle. Notons que l'exploitation 17 a repiqué sur une parcelle très enherbée qui aurait du bénéficier d'un deuxième labour. Mais il n'a pu être réalisé faute de temps (il s'agit d'une parcelle d'un non résident dont le manœuvre s'occupe de plusieurs parcelles différentes). Après labour, il y a un passage de herse plus ou moins superficiel sur lame d'eau.

28 parcelles (soit 61 % des bassins suivis) ont été repiquées avant la date seuil du 15 août. Les dates de repiquage se sont étalés du 20 juillet au 8 septembre. Les retards d'implantation peuvent avoir plusieurs déterminants :

- Le paysan possède du matériel agricole mais a eu des difficultés à implanter la pépinière de façon précoce ou à terminer le travail du sol avant que la pépinière n'atteigne 30 jours, le producteur ayant commencé ses travaux trop tardivement pour différentes raisons (mauvaise évaluation des délais et dates butoirs de travail, difficultés de drainage ou de mise en eau);

- Le travail du sol a été réalisé à temps mais le producteur à eu des difficultés à arracher les plants à temps et à repiquer faute de main d'œuvre en général.

- Absence de bœufs de labour et/ou charrue. S'il est partiellement équipé, le producteur préfère souvent s'associer avec une deuxième exploitation. Ce type d'association cependant ne garantit pas des travaux à temps. La fixation de règles d'arbitrage précises pour l'utilisation des équipements en commun permet de limiter les risques de retard. La location de matériel apparaît une meilleure solution pour travailler sa parcelle dans les temps mais elle nécessite un minimum de trésorerie en début de campagne. Notons que faute de matériels et d'argent, le producteur n°13 préparé sa pépinière à la main.

- Disposer de matériel n'est cependant pas une garantie de respect du calendrier cultural. Certaines exploitations équipées (n°15 en 1997, cas de n°1 en 1996) à la recherche de fonds pour financer la campagne peuvent assurer des prestations au détriment de la mis en place de leur parcelle.

- Il n'y a pas de préirrigation parce que la parcelle draine mal et le sol est lourd (les animaux s'enfoncent). Le labour se fait sur pluie une quinzaine de jours après la première pluie qui a permis la levée des adventices. Les risques d'implantation tardive sont donc plus importants puisque le producteur est soumis à l'arrivée de la première pluie significative. Ainsi, **les parcelles les moins bien planées de notre suivi ont tendance à être repiquées plus tardivement que les autres**. La différence de date d'implantation est significative au seuil de 5 %. Si le sol est relativement léger, il est possible de labourer à sec et les risques de retard de calendrier sont moindres.

- Il y a "crise de pépinière". La pépinière n'a pas bien réussi, totalement ou partiellement. Le paysan a choisi de resemer une pépinière tardive et est obligée d'attendre que les plants arrivent à maturité. 1/3 des paysans citent ce cas.

- La main d'œuvre familiale n'est pas disponible au moment opportun pour raisons familiales ou de maladie. Ce risque a été cité plusieurs fois. C'est donc un risque non négligeable et les calendriers prévisionnels n'ont pas forcement la souplesse nécessaire pour faire face à ce type d'incertitude.

Les indicateurs de déclenchement des travaux sont relativement variés et plus ou moins précis : fête religieuse, date à ne pas dépasser, date seuil, première pluie significative, ou encore calendrier des voisins. Les dates précises de déclenchement s'étalent d'avril à mi juin. Sept paysans n'ont pas été en mesure de donner une date de début des travaux. Il s'agit de paysans ne pratiquant pas de préirrigation bien que cette relation ne soit pas stricte (certains sont en mesure de donner des dates butoir ou des indicateurs de déclenchement précis même s'ils ne pratiquent pas la préirrigation).

Les retards liés à la difficulté à trouver des salariés pour l'arrachage et le repiquage sont souvent cités. Des groupes de travail (dama de femmes ou de jeunes hommes) existent dans le village mais leur accès est lié au nombre de personnes de l'exploitation qui participent à ces groupes. Par conséquent, plus l'exploitation dispose d'un taux de main d'œuvre familiale (cadet et femme) élevé, plus son droit de travail (évalué en ha à repiquer) est important. L'intervention d'un groupe de travail pour le repiquage est intéressant pour le producteur car le nombre élevé de participants (20 à 30) permet de repiquer de grandes surfaces en un temps limité (2 à 3 ha par jour). Certains s'appuient sur leur droit en ha important pour permettre le repiquage à temps ou peuvent même échanger leur droit de dama en échange d'une prestation de travail du sol. En revanche, en l'absence de cadet ou de femmes pouvant participer à ses groupes, le producteur doit s'appuyer uniquement sur la main d'œuvre salarié. C'est le cas par exemple de l'exploitation n° 10. Nombreux sont ceux qui soulignent les difficultés à trouver ces salariés même lorsqu'on dispose de l'argent. Enfin, citons le cas de l'exploitation n°16 (non résident) qui a eu des difficultés à trouver de la main d'œuvre pour le repiquage de sa parcelle du fait d'une mauvaise entente avec les villageois.

Certains calendriers prévisionnels apparaissent très construits et cohérents (n°11, n°16, n°10) et permettent effectivement de prendre en compte les différentes contraintes de l'exploitation (manque de main d'œuvre par exemple) et facteur de risques et d'incertitudes. Leur relative souplesse, l'existence de solutions alternatives permet de garantir la réalisation des travaux à temps quelles que soient les contraintes rencontrées ou les aléas (crise de main d'œuvre, crise de pépinière). D'autres, par contre, anticipent relativement peu. C'est le cas des exploitations n°15 et n° 1. Il s'agit de pécheurs *Bozo* récemment installés comme riziculteur. Les entretiens montrent une relative mauvaise maîtrise et connaissance du cycle de riz. Cependant, des processus d'apprentissage existent comme dans le cas du manœuvre de l'exploitation n°14 qui a réussi à repiquer sa parcelle avant 14 août 1998 alors que l'an passé les repiquages s'étaient terminés le 25 septembre.

Les entretiens ont souligné un certain effort des producteurs pour assurer des implantations précoces cette année. L'an passé, une majorité avait repiqué tardivement leur parcelle, certains même avec des plants très âgés (un cas de repiquage avec des plants épiés !). Pour cela, les paysans ont pu revoir leur stratégie d'association pour le travail du sol (n°21), ils ont pu anticiper beaucoup plus en identifiant un prestataire de labour bien avant l'hivernage, ou ont avancé la date de début de travaux (n°12).

En conclusion, on retiendra que de nombreux facteurs sont susceptibles d'affecter la maîtrise du calendrier cultural : le degré d'équipement et de main d'œuvre sont importants mais d'autres facteurs interfèrent : ainsi, la nature du sol, l'aptitude au drainage et l'état du planage peuvent également jouer ainsi que l'expérience du producteur (ou du manœuvre), c'est à dire l'ancienneté de la riziculture, la maîtrise du calendrier prévisionnel (bonne anticipation sur les risques et aléas et prises en compte des contraintes de l'exploitation), sa capacité à anticiper sur les incertitudes et contraintes.

VI. 2. 2 - La conduite de la pépinière;

Les semis en pépinière s'étalent du 16 juin au 27 juillet 1998, soit sur une période de 1 mois et demi. Ces dates de semis sont relativement plus tardives que dans la zone de Niono et Molodo où l'essentiel des semis en pépinière est réalisé au mois de juin. **Les repiquages s'étalent du 20 juillet au 8 septembre**. Si on considère la date du 15 août comme limite du repiquage tardif (selon le calendrier cultural recommandé à l'Office du Niger), 9 des 23 paysans suivis ont implanté leur parcelle tardivement.

Tableau 8 : Quelques éléments sur la conduite des pépinières

	Dose de semences en pépinière	Apport d'urée (kg/)	Apport de DAP (kg/are)	Age moyen des plants à l'arrachage	Durée entre arrachage et repiquage
Moyenne	14.8	1,32	1,48	36.7	2,8
CV	*19 %*	*128 %*	*113 %*	*23 %*	*130 %*
Min.	9,2	0	0	20	0
Max.	22,6	8.2	8.2	54	19
médiane				35	1

Les parcelles suivies se caractérisent par de fortes doses de semis en pépinière (les normes recommandées sont de l'ordre de 5 à 10 kg de semences par are de pépinière). En revanche, la durée de pépinière et l'intervalle de temps entre arrachage et repiquage sont relativement contrôlés. Trois paysans cependant repiquent des plants arrachés depuis plus de 7 jours et huit des plants de plus 40 jours de pépinières (pouvant aller jusqu'à 50/54 jour à l'arrachage et 68 jours au repiquage parcelle n°22°). Ce cas extrême n'a été observé qu'une fois dans notre échantillon.

Il existe une faible corrélation linéaire entre la différence de planage au sein des bassins et la durée des plants en pépinière (R^2=0,35, P<0.001) mais négative et difficile à expliquer[3] Notons que les entretiens font ressortir des objectifs d'âge des plants au repiquage de moins de 30 jours. Deux personnes ont cité la hauteur des plants comme un indicateur permettant de déterminer la date d'arrachage.

Notons cependant la durée des plants en pépinière apparaît en moyenne légèrement supérieure à celles observées lors du suivi de Niono/Molodo 1996 (Ducrot et al, 1997), qui était en moyenne de 29 jours.

---

[3] Plus le bassin est mal plané, plus les plants repiqués sont jeunes

Les apports minéraux en pépinière sont extrêmement variables d'un paysan à l'autre. Les ordres de grandeur diffèrent peu en moyenne des conduites de fertilisation en pépinière dans la zone de Niono. En revanche, les apports de matière organique en pépinière sont moins répandus que dans la zone de Niono. Ils concernent plutôt les pépinières tardives dans ce suivi.

Selon les déclarations, la R1 et R2 sont utilisés respectivement par 8 et 6 paysans 34 % des paysans ont acquis leurs semences à la ferme semencière (contre 23 % dans l'échantillon suivi à Niono et Molodo en 1996). Six parcelles étaient cependant fortement affectées par des hors-types (n°12, 14, 18, 21, 22, 20). Six paysans ont effectué un semis de graines non prégermées sur labour en sec.

En conclusion, les cas suivis regroupent une très forte variabilité de type de conduite de pépinière, qui vont de la conduite la plus intensive à la plus extensive. Cette même variabilité était observée dans le suivi de 1996 dans la zone de Niono/Molodo à la seule différence que les semis en pépinière étaient réalisés de façon globalement plus précoce. 3 paysans ont repiqué des plants très âgés (+ 50 jours de pépinière) dont l'un des plants de 68 jours.

VI. 2. 3 - La conduite de la fertilisation

Les doses d'engrais ont été étudiées sur les bassins témoins. La moitié des bassins (23) ont bénéficié d'une fertilisation aux doses et dates d'apport recommandées par l'Office du Niger à savoir 100 kg/ha de DAP avant repiquage, 100 kg/ha d'urée au tallage 15 jours après repiquage et 100 kg/ha d'urée à l'initiation paniculaire. L'analyse de l'élaboration du rendement à partir de ces parcelles à fertilisation contrôlée permettra de s'affranchir de la variabilité de la fertilisation minérale.

En moyenne, les 23 paysans utilisent 71 kg/ha de DAP (C.V.= 95 %) et 120 kg/ha d'urée (C.V. 91 %). Les apports sont donc en moyenne inférieurs aux normes recommandées mais aussi aux apports moyens dans les zones de Niono et Molodo[4]. Cependant, la variabilité au sein de l'échantillon est très forte : une analyse plus détaillée permet de dégager deux grands groupe de riziculteurs :

- **Ceux qui appliquent des doses sensiblement inférieures aux normes recommandées** : Six paysans (parcelle 7, 13, 14, 15, 21, 22) n'ont apporté aucun engrais minéraux. L'un (n°20) a appliqué de l'azote mais à dose très faible (15 kg/ha) et ce, plutôt tardivement. Un autre n'a pas apporté d'urée mais 68 kg/ha de DAP (n°1) tandis que un troisième bassin n'a bénéficié que 84 kg/ha de DAP et 140 kg/ha d'urée en un seul apport. Enfin, trois paysans n'ont pas appliqué de DAP mais une seule fraction d'urée à doses variables (n°10, 11, 12)

- **Ceux qui apportent des doses sensiblement supérieures aux doses de l'Office du Niger** : 7 parcelles sont concernées (N° 3, 2, 4, 5, 19, 23) ou encore légèrement supérieures aux normes comme pour les parcelles n°16, 17, 18.

En moyenne, la première fraction est composée de 72 kg/ha d'urée (C.V. 82 %) et la deuxième de 49 kg/ha (C.V. 117 % !). Face à des difficultés pour acquérir des engrais, les

[4] Suivi 1996 urée respectivement 200 kg/ha et 161 kg/ha et DAP 115 kg/ha et 100 kg/ha

exploitants privilégient généralement l'apport au moment du tallage (sauf les exploitations 9 et 12 qui ont apporté cet engrais au moment de l'initiation paniculaire).

Les dates d'apports sont très variables d'un paysan à l'autre. Le tableau suivant récapitule les dates d'apport en fonction du type d'engrais sur les bassins témoins. *Quatre paysans seulement (soit 17 %) des paysans suivis ont fait l'ensemble des apports aux dates optimales (avec doses plus élevées que la moyenne).* Deux paysans ont choisi de n'apporter que la deuxième fraction d'urée au moment de l'initiation paniculaire. Pour 4 paysans, l'ensemble des apports (DAP et/ou fraction d'urée) par rapport aux dates d'apports optimales se révèle très tardif.

Tableau 9 : Répartition des dates d'apport des engrais minéraux dans les différents bassins témoins

Par rapport à		RPK	RPK	RPK	RPK	RPK / *IP*	IP	IP/*EPI*	EPI
nature	∅	< 0	0 --- 8 j.	9---- 20 j	21 ---35 j	36----(*I–5 j*)	– 4----8j	+9--- *E*-8j	EPI - 7
DAP	9	3	5	9	2	3			
Urée 1 (+ urée 2)				4	4	1			
Urée 1 = (0 urée 2)	8					3	2		1
Urée 2						1	6	1	

RPK = repiquage IP initiation paniculaire EPI épiaison
Trame grisée : date d'apport optimale

La fertilisation minérale n'est pas liée à la date de repiquage : on ne met en évidence de différence de conduite de la fertilisation entre parcelles implantées précocement et les parcelles implantées tardivement. De même, il ne semble y avoir de modification des apports en fonction de la situation géographique de la parcelle.

La parcelle n°3 se distingue par des apports d'engrais minéraux très élevés accompagnés de PNT et de matière organique (apport de bouses de vaches tous les deux ans). La parcelle 7a a également bénéficié d'apport de matière organique (déjections humaines).

Les entretiens montrent que généralement (sauf quelques cas isolés), les paysans ont une bonne connaissance des doses recommandées **et des dates d'apport** telles qu'elles sont formulées par l'Office du Niger (décalage en terme de nombre de jours). *La mauvaise maîtrise de la fertilisation relève plus de problème d'acquisition des engrais à temps que de connaissance technique*. Certains retards sont également liés à des problèmes de main d'œuvre suffisante pour assurer le désherbage à temps. 2 paysans (n° 11 et 12) ont cité le désherbage comme condition d'application de la deuxième fraction d'urée.

En conclusion, on retiendra que l'échantillon retenu a permis de suivre une large gamme de variabilité de pratiques de fertilisation. Notre échantillon de bassins se compose aussi bien de parcelle non fertilisée ou bénéficiant de très faibles apports, que des parcelles bénéficiant d'une fertilisation bien maîtrisée (en dose et date) voire à des niveaux de fertilisation très

élevés. On ne peut donc pas retenir l'hypothèse d'une insuffisante fertilisation pour expliquer les faibles rendements observés

VI. 2. 4 - Le contrôle de l'enherbement

L'enherbemement est souvent cité comme un problème, notamment dans les points bas mal drainés. 13 % des bassins (7) ont connu d'importants niveaux d'enherbement (10a, 12a, 15a, 16b, 17a, 17b 20a). L'enherbement a été bien contrôlé dans 30 % des cas (14 bassins).

91 % des bassins ont été désherbé (1 seul désherbage). *Cependant, ce désherbage est tardif* puisqu'en moyenne, il a lieu 50 jour après le repiquage (C.V. 30%). 4 bassins seulement (8 % de notre échantillon) ont bénéficié d'un désherbage au moment du tallage (entre 15 jours et 35 jours après repiquage– parcelle 11ab et 21 ab), tandis que 59 % des parcelles ont été désherbées tardivement (au moment ou après l'initiation paniculaire). Rappelons que la l'effet du désherbage est d'autant plus important qu'il est précoce(avant 21 jour). La compétition avec les adventices affectant essentiellement le tallage (nombre de panicules/ m²) et la formation des épillets. Les désherbages réalisés au moment de l'initiation paniculaire sont trop tardifs pour limiter l'impact de la compétition sur le peuplement du riz et sur le rendement (Graf et al, 1990). 8 % n'ont pas été désherbées. Une seule des parcelles fortement envahie (17a) n'a eu aucun désherbage.

VI.3 - ANNEXE 3 : ANALYSE DE LA DIFFERENCE ENTRE RENDEMENT AGRONOMIQUE SONDE ET RENDEMENT BATTAGE DECLARE.

Le rendement moyen déclaré (obtenus après battage) est en moyenne de **2 450 kg/ha** (C.V. de 46 %). Le rapport [rendement déclaré / sondage agronomique] est donc de 0,51. Ce rapport est inférieur à celui obtenu entre sondage battage et sondage agronomique à 14 % d'humidité dans la zone de Niono[5] (Ducrot et al, 1998).

Comment expliquer cette différence importante ?

1. Il faudrait préciser ce que regroupe le rendement déclaré : s'agit-il de la totalité de la production du chantier de battage, y compris fond de gerbier et part récupérée par les femmes ? S'agit-il de la part récupérée par le chef d'exploitation ? Dans ce cas, le fond de gerbier est-il inclue ? Les pertes–machines sont-elles inclues ? Est-ce la production avant ou après paiement de la redevance battage ?

2. Les variations du taux d'humidité des grains peuvent peut-être expliquer cette différence. Les battages dans le village sont relativement tardifs (décembre/janvier) par rapport aux parcelles dans la zone de Niono (novembre/décembre). D'autre part, le taux d'humidité (10 %) obtenu lors des sondages agronomiques est en moyenne inférieur à celui obtenu dans la zone de Niono (12 %) lors des suivis battage. Il est possible que les taux d'humidité au moment du battage soient plus faibles que dans la zone de Niono mais cette hypothèse doit être confirmée.

3. On peut aussi penser que les pertes par égrenage au moment de la récolte pourraient être également plus importantes. Par exemple, des suivis menés en rizières enherbées ont montré qu'un fort taux d'enherbement pouvait accentuer les pertes par égrenage au moment de la coupe (Graf et al, 1990).

---

[5] Rapport (part récupérée par le producteur avant paiement de la redevance battage sur sondage agronomique à 14 % de l'ordre de 0.62.)

VI.4 - ANNEXE 4 : RENDEMENT ET FACTEURS TECHNIQUES

Analyse de corrélation entre rendement final et facteurs techniques

MATRICE DES CORRELATIONS 13/04/1998 15:15:04

C:\URDOC\MACINA\MACINAGG.WST (46 individus 130 variables)

NOMBRE D'INDIVIDUS SELECTIONNES : 46

MATRICE DES COEFFICIENTS DE CORRELATION

R : Coefficient de corrélation de PEARSON
P : Proba > |R| sous l'hypothèse H0 : Rho=0

		ImpadvIP	kDAP	Quantiur2	Difniv	Ngpll	Njarrar	kTURR	Quantiurp
Ppadyl	R	-0.22	0.46	0.32	0.23	-0.12	-0.35	0.30	0.13
	P	0.13	0.00	0.03	0.13	0.45	0.02	0.04	0.39

		Quantiur1	Qdappep	JRP	sempepdos
Ppadyl	R	0.25	0.09	-0.48	-0.42
	P	0.09	0.54	0.00	0.00

analyse de corrélation entre rendement en grain et fertilisation minérale en fonction de la date de repiquage

(JRP1 = repiquage avant le 15 août, JRP2 repiquage après)

MATRICE DES CORRELATIONS 14/04/1998 17:11:53

C:\URDOC\MACINA\MACINA99.WST (46 individus 137 variables)

NOMBRE D'INDIVIDUS SELECTIONNES : 46

VARIABLE DE STRATIFICATION : JRPc1

(1.00) LITE N° 1 : JRP001
(2.00) LITE N° 2 : JRP002

==========
STRATE N°1 : JRP001
==========

EFFECTIF DE LA STRATE : 28

---------- MATRICE DES COEFFICIENTS DE CORRELATION ----------

R : Coefficient de corrélation de PEARSON
P : Proba > |R| sous l'hypothèse H0 : Rho=0

		kDAP	Quantiur2	kTURR	Quantiur1	NoTAL	NoIP
Ppady1	R	0.61	0.43	0.38	0.27	0.29	0.50
	P	0.00	0.02	0.05	0.16	0.13	0.01

==========
STRATE N°2 : JRP002
==========

EFFECTIF DE LA STRATE : 18

---------- MATRICE DES COEFFICIENTS DE CORRELATION ----------

R : Coefficient de corrélation de PEARSON
P : Proba > |R| sous l'hypothèse H0 : Rho=0

		kDAP	Quantiur2	kTURR	Quantiur1	NoTAL	NoIP
Ppady1	R	0.26	0.15	0.16	0.16	0.05	0.03
	P	0.30	0.55	0.53	0.54	0.81	0.88

==========
RECAPITULATIF HORS STRATIFICATION
==========

---------- MATRICE DES COEFFICIENTS DE CORRELATION ----------

R : Coefficient de corrélation de PEARSON
P : Proba > |R| sous l'hypothèse H0 : Rho=0

		kDAP	Quantiur2	kTURR	Quantiur1	NoTAL	NoIP
Ppady1	R	0.46	0.32	0.30	0.25	0.15	0.35
	P	0.00	0.03	0.04	0.09	0.32	0.02

VI. 4. 1 - Date de repiquage et rendement :

La date du repiquage est corrélée significativement au rendement final et permet **d'expliquer 23 % de la variabilité totale des rendements** (Figure 2). Le rendement tend à décroître avec la date de repiquage. Les essais de dates de repiquage mené par l'IER dans la zone de Niono ont montré que le rendement diminue de façon significative après un repiquage du 15 août (PRI, 1994). Si l'on se base sur cette date charnière du calendrier cultural, la moyenne des rendements des repiquages "à temps" diffère significativement au seuil de 1 % . La différence est de l'ordre de 1,1 t/ha à 14 % d'humidité.

Tableau 19 : Moyenne des rendements à 14 % d'humidité selon la date de repiquage

	Repiquage "à temps"	Repiquage tardif
Moyenne Rdt	5 177	4 034
C.V.	*28 %*	*27 %*
Nb bassins	28	18

VI.5 - ANNEXE 5 : ANALYSE DE L'ELABORATION DU RENDEMENT ; ETUDE DES CORRELATION ENTRE LE RENDEMENT ET SES COMPOSANTES

VI. 5. 1 - Des schémas d'élaboration du rendement différents selon la date de repiquage

Les principales composantes du rendement déterminant ce dernier sont récapitulées dans le tableau suivant (Tableau 11). *65 % de la variabilité du rendement est expliqué par le nombre de panicules/m².* La détermination du rendement dans les conditions de Darsalam est donc relativement précoce. Notons également la part relativement importante du rendement expliquée par le poids de 1000 grains (R^2 = 55 %). Ce coefficient de corrélation est relativement élevé par rapport à ceux habituellement observés dans les conditions de riziculture intensive[6].

Tableau 11 : Corrélations linéaires entre le rendement et les composantes du rendement (toutes parcelles confondues)

	Nb talles /m² à 20 j.	Tx. tallage repiq./20 j	Nb talles/m² IP	Nb panicules/ m²	Nb fleurs/panicules	Nb fleurs/m²	Nb de grains totaux/m²	Nb de grains pleins/m²	Tx stérilité des grains	PMG à 14 %
R^2	0,40	0,19	0,56	**0.66**	0.43	**0.75**	0.67	0.79	0.33	**0.55**
P	<0,001	<0,001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Dans un premier temps, les liaisons directes entre composantes du rendement (liaison linéaire) ont été déterminées.

De façon générale, le rendement est principalement déterminé par le nombre de grains pleins par m² qui explique 79 % de la variabilité du rendement. Ce nombre de grains pleins par m² dépend essentiellement du nombre de sites mis en place à la floraison (Nb de fleurs/m²) et plus faiblement du % de grains vides. Le nombre de sites mis en place au moment de l'initiation paniculaire dépend à la fois du nombre de panicules/m² déterminée lors de la phase végétative et du nombre de fleurs/panicules (déterminée pendant la phase initiation paniculaire - épiaison).

Le nombre de panicules/m² est expliqué par le nombre de talles/m² à l'initiation paniculaire, lui-même lié au nombre de talles/m² à 20 jours après repiquage. Le taux de tallage entre la phase repiquage - 20 jours explique 38 % la variabilité du nombre de talle/m² à 20 jours même s'il reste partiellement lié au nombre de plants/m² .

Mais, les schémas d'élaboration du rendement diffèrent selon la date des implantations comme le souligne le tableau suivant (Tableau 12).

---

[6] Suivi des pratiques paysannes en zone de Niono, Molodo : R^2 entre rendement et poids de 1000 grains égal à 18 %

Tableau 12 : liaison entre rendement en grains et ses composantes selon la date de repiquage

	Nb talles /m² à 20 j.	Tx tallage repiq./20 j	Nb talles/m² IP	Nb panicules/ m²	Nb fleurs/panicules	Nb fleurs/m²	Nb de grains totaux/m²	Nb de grains pleins/m²	Tx stérilité des grains	PMG à 14 %
Repiquage à temps										
R^2	0,25	0.12	0,49	0.70	0.46	**0.79**	0.84	0.82	0.38	**0.50**
P	<0,001	0,05	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Repiquage tardif										
R^2	0.67		0.70	0.50		0.51		0.51		0.51
P	<0,001		<0.001	<0.001		<0.001		<0.001		<0.001

En repiquage tardif, la phase végétative est fortement corrélée au rendement. Le nombre de talles/m² à 20 jours explique déjà près de 67 % de la variabilité du rendement.

Les nombres de panicules/m², de nombre de fleurs/panicules de PMG, de taux de stérilité des grains sont significativement différents (Tableau 13) entre les implantations tardives et précoces.

Tableau 13 : Moyenne et écart-type des principales composantes du rendement selon la date de repiquage.

	Plan/m²	**Nb tal/ m² 20 j**	**Nb tal/m² Ip**	**Nb panic./m²**	**Nb fl./panic.**	**Nb grains /m²**	**% stérilité grains**	**PMG (g)**	**Rdt (kg/ha)**
A Temps	67.6	149	221	193	157	21 223	24.8	26.7	5 177
	24 %	*32 %*	*28 %*	*15 %*	*18 %*	*22 %*	*20 %*	*5 %*	*28 %*
Tardif	66	119	194	173	141	12 912	28.9	24.9	4 034
	29 %	*28 %*	*33 %*	*18 %*	*14 %*	*22 %*	*28 %*	*7 %*	*27 %*
	NS	*	NS	*	*	**	**	*	**

** significatif au seuil de 5 % ** significatif au seuil de 1 % NS non significatif*

VI. 5. 2 - Repiquage tardif : des potentiels de rendement limité par un développement lent en début de cycle

a) Schéma d'élaboration du rendement pour les repiquages tardifs

Le schéma d'élaboration du rendement en repiquage tardif est représenté dans la Figure 12. Cette figure met en évidence une relativement faible détermination du nombre de grains pleins/m² sur le rendement, une forte détermination (déjà souligné de la phase de maturation r des grains (PMG), une faible détermination du nombre de grains plein avec le % de grains

vide, une détermination du nombre de sites mis en place à la floraison *plutôt sous le contrôle du nombre de panicules par m².*

Compte tenu de l'implantation tardive, on aurait du s'attendre à une forte détermination du % de grains vides, en général lié à la diminution des températures nocturne en fin de cycle. Or le taux de stérilité des grains joue relativement peu sur la détermination du nombre de grains par m². Notons cependant que la moyenne du taux de stérilité des grains est de 29 % contre 25 %pour les implantations précoces. La différence entre les deux échantillons est cependant significative.

On note une plus faible incidence du nombre de fleurs/panicule sur le nombre de fleurs/m² que le nombre de pannicules /m². Le nombre de panicules/m² est limitant pour le nombre de fleurs/m², le nombre de grains pleins/m². Comme nous l'avons souligné, cette détermination du nombre de panicules/m² est précoce. Les différences entre les implantations précoces et tardives concernant le nombre de fleurs/panicule et nombre de panicules/m² sont significatives au seuil de 5 %.

Figure 12 : Schéma d'élaboration dans le village de Darsalam du rendement en repiquage tardif (18 bassins)

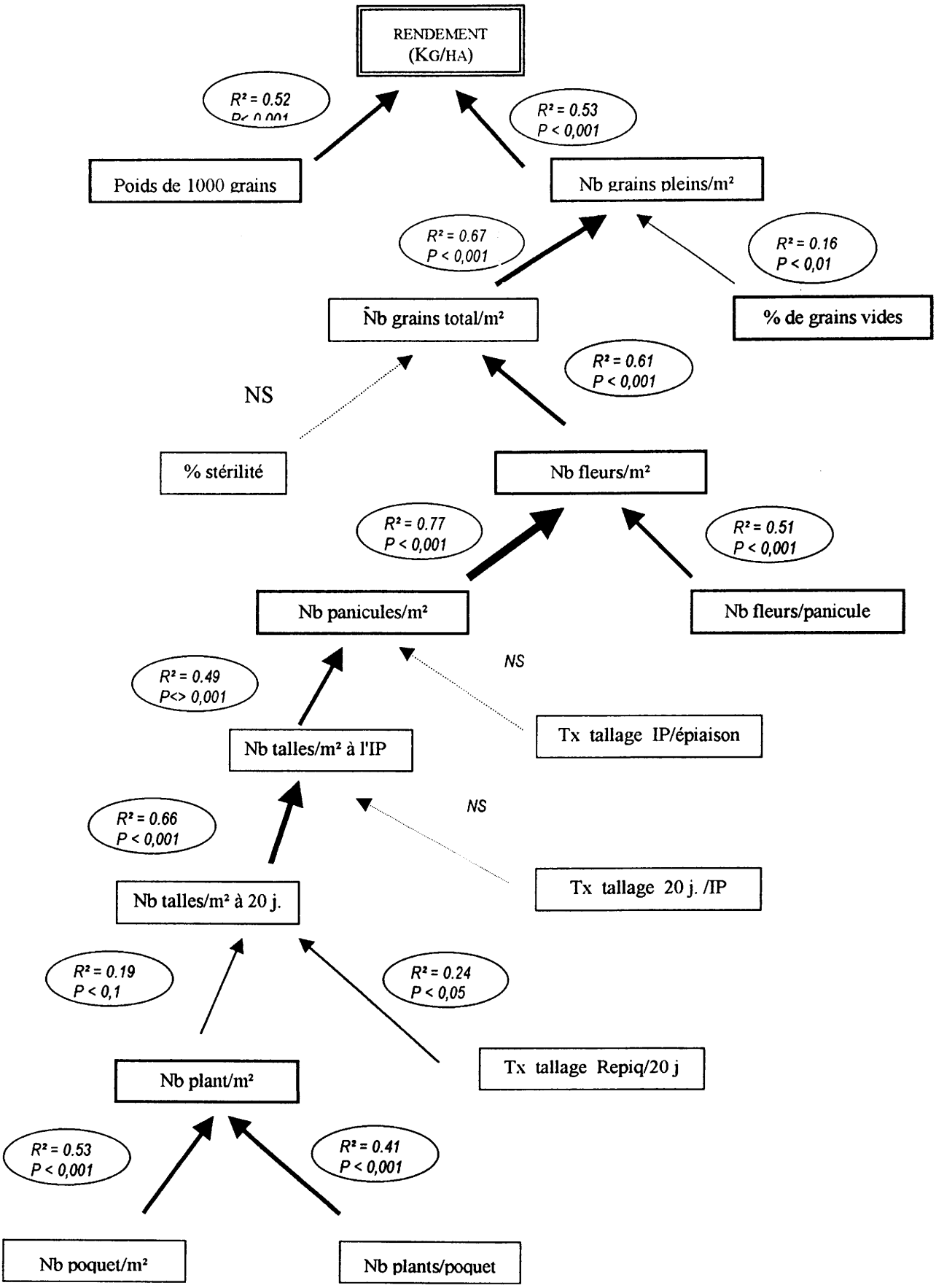
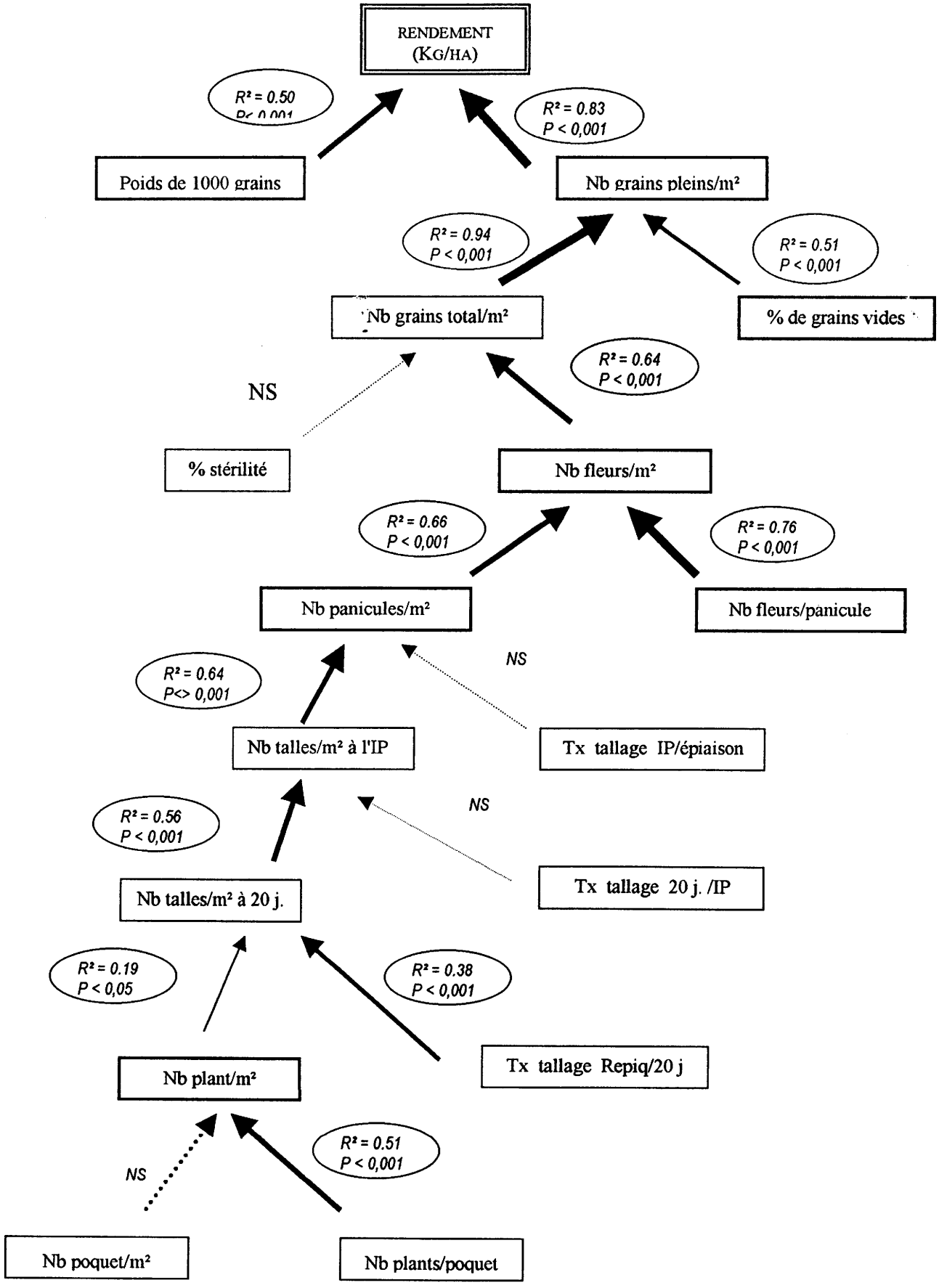


Figure 13 : Schéma d'élaboration du rendement en repiquage précoce dans le village de Darsalam (28 bassins)



VI. 5. 3 - Relation entre composantes prises deux à deux

a) Relation entre le rendement et le poids de 1000 grains en fonction de la date d'implantation

Le poids de 1000 grains est relativement élevé et varie entre 20 g et 28 g. alors que le poids moyen potentiel de la variété BG-90-2 serait de 27 g. *Le poids de 1000 grains est comme nous l'avons vu une composante limitante du rendement en implantation précoce ou tardive*. Les rendements en grain les plus élevés (rendements supérieurs à 6 000 kg/ha) concernent essentiellement des parcelles implantées précocement dont les poids de 1000 grains sont élevés. (Figure 14)

Nous avons donc analysé les relations entre le poids de 1000 grains et la longueur des épillets. On met en évidence l'existence d'une relation linéaire entre ces deux variables. Le coefficient de corrélation (R^2) est de 0.50 pour les implantations tardives. **Le poids de 1000 grains a donc été limité par la taille des enveloppes, c'est à dire par les conditions qui prévalaient durant la division réductionnelle** (initiation paniculaire), c'est à dire les conditions de températures, rayonnement, de régime hydrique et d'alimentation minérale.

Une des parcelles du groupe tardif **(17a)** se distingue par une longueur des épillets et un poids de 1000 grains particulièrement faible. Il s'agit d'une parcelle repiquée sur un labour très enherbé. Le traitement témoin n'a pas été désherbé du tout et certaines placettes n'ont pu être récoltées du fait du taux d'enherbement. Dans le cas de cette parcelle, le poids de 1000 grains à été fortement déterminé par les conditions de concurrence (lumière, éléments nutritif) au moment de la division réductionnelle. Si on exclue cette parcelle du groupe tardif, la corrélation entre longueur des épillets et PMG du groupe tardif n'est pas significative. On peut donc en conclure que *dans ce groupe, les poids de 1000 grains ont pour l'essentiel été limité par les conditions de remplissage des grains c'est à dire pendant la phase de maturation.*

b) Relation entre le Nombre de grains pleins et le poids de 1000 grains en fonction de la date d'implantation

On met en évidence une relation linéaire entre le nombre de grains pleins/m^2 et le poids de 1000 grains en repiquage tardif comme en repiquage précoce (R^2 respectivement 0.46 et 0.44). Les parcelles repiquées tardivement se situent principalement en dessous du seuil de 20 000 grains/m^2, identifié lors du suivi de 1996 comme le seuil de concurrence intraspécifique[7]. On peut donc en conclure que la source (nombre de grains à remplir en fonction des conditions de nutrition) n'a pas été limitante pour la plupart des parcelles. C'est en revanche le cas pour les parcelles (essentiellement des 'implantations précoces) pour lesquelles le nombre de grains/m^2 dépasse ce seuil de 20 000 grains/m^2.

---

[7] au delà de seuil, le nombre de grains à remplir rentre en concurrence

Figure 14 : Relation entre rendement à 14 % d'humidité (en g /m²) et poids de 1000 grains en g en fonction de la date d'implantation (JRP001 = précoce, JRP002 = tardif)

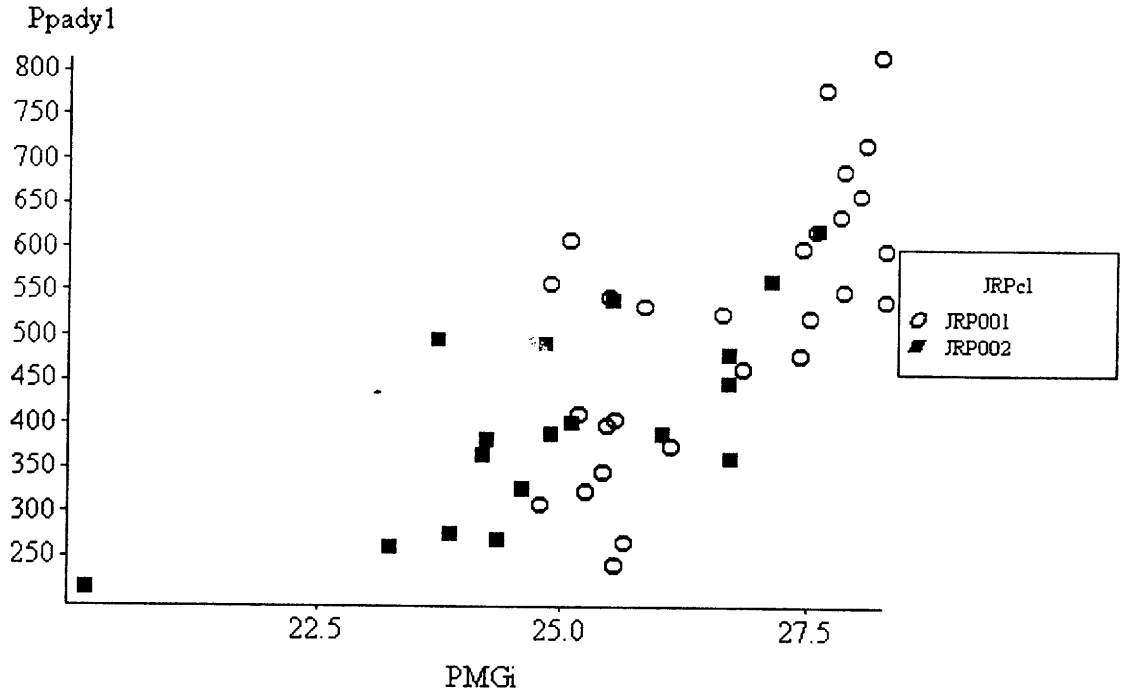
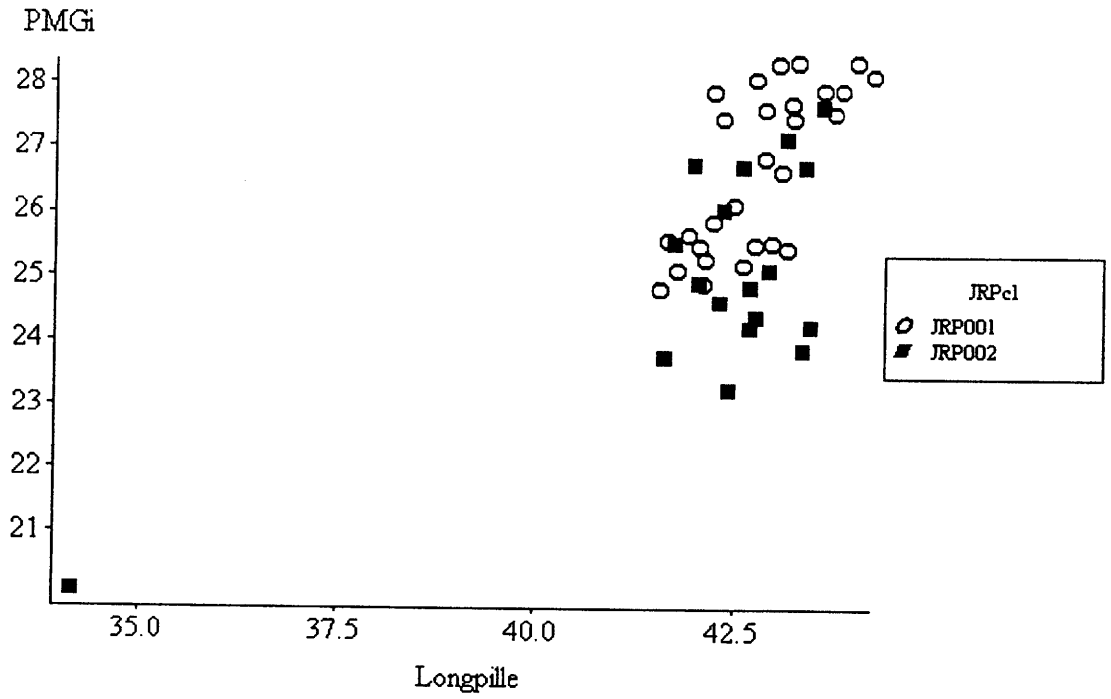


Figure 15 : Relation entre la longueur de 50 épillets (en mm) et le poids de 1000 grains (g)



c) Détermination du % de grains vides

Nous avons vu que *le pourcentage de grains vides était limitant dans le cas des implantations précoces.*

Deux bassins se distinguent (22a et 22 b) par des taux de stérilité très élevés (50 %). Il s'agit de bassins implantés tardivement, avec des plants très âgés (68 et 54 jours respectivement) et un délai très important entre arrachage et repiquage. Ce taux très important de stérilité traduit sans doute des conditions de nutrition limitante pendant la formation des épillets.

Si on exclue ces deux parcelles, la différence entre le % moyen de grains vides pour les implantations tardives et les implantations précoces n'est pas significative, pour une date butoir du 15 août. En revanche cette différence est significative au seuil de 10 % si l'on se base sur une date butoir d'initiation paniculaire au 30 septembre (correspondant à un repiquage limite du 13 août).

Il existe une corrélation significative mais faible ($R^2 = 0.30$, $P < 0,001$) entre le % de grains vides et le nombre de grains total par m² pour les bassins implantés précocement. Ceci renvoie à *un problème de nutrition pendant la formation des cellules reproductrices*, ce qui correspond bien à la relation entre PMG et longueur des épillets. Cette corrélation n'existe pas dans le cas des implantations tardives.

d) Relation entre nombre de grains/m², le nombre de fleurs/m² et le nombre de fleurs/panicule

Il existe, comme on l'a vu, une bonne relation linéaire entre le nombre de grains/m² et le nombre de fleurs/m². Mais ces composantes sont significativement plus faibles dans le cas des implantations tardives (au seuil de 1 %).

Le potentiel de nombre de fleurs/m² n'est pas atteint quelle que soit la date d'implantation puisque cette composante ne dépasse pas le seuil des 50 000 fleurs/m². Lors du suivi parcellaire de Niono/Molodo (1996), 1/3 des bassins suivis comptaient entre 50 000 fleurs/m² et 75 000 fleurs/m².

En revanche, le nombre de fleurs/panicules se situe dans la même gamme de variation que les parcelles suivies à Niono (c'est à dire entre 100 et 220 fleurs/m²). Le nombre de fleurs/panicule potentiel identifié lors du suivi de 1996 était de 220 fleurs/panicule. **On peut donc penser que la différence de rendement observée entre ces 2 suivis est principalement liée au nombre de panicules/m² et donc au tallage.**

Les bassins implantés tardivement se caractérisent par **des nombres de fleurs/panicule relativement faibles** (90 % des bassins présentent des nombres de fleurs/panicule inférieurs à 170). La parcelle 16 b en revanche bien que repiquée tardivement se distingue par un nombre d'épillet/m² élevé en dépit d'un nombre relativement faible d'épillets/panicule.

Figure 16 : relation entre le poids de 1000 grains (en g) et le Nombre de grains/m² en fonction de la date d'implantation

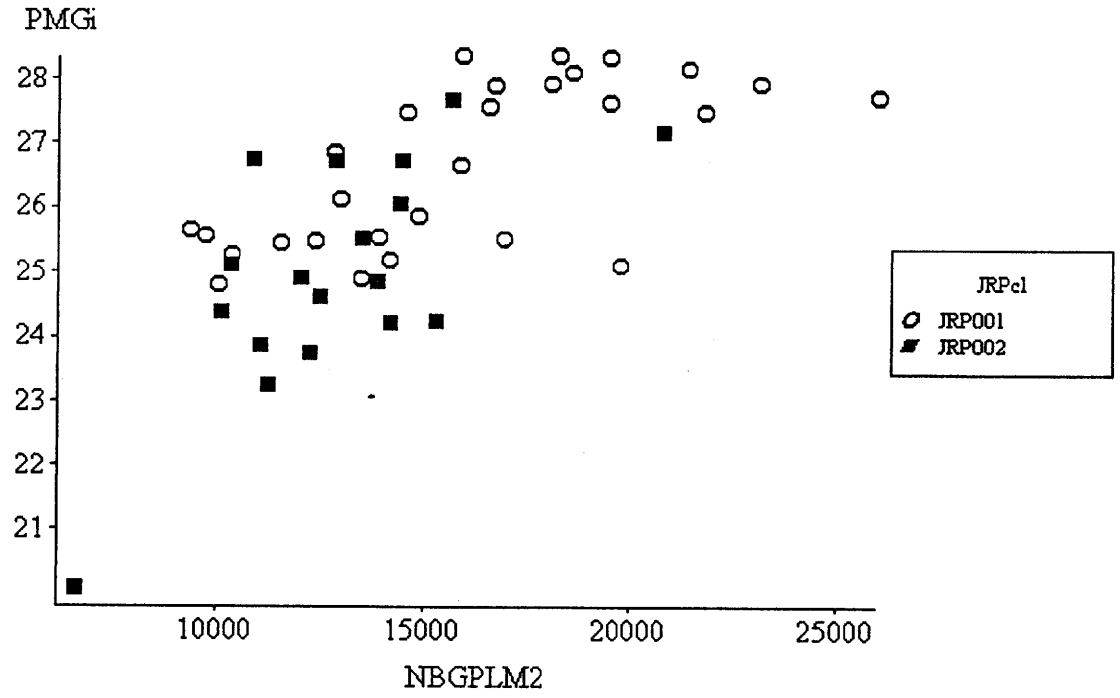
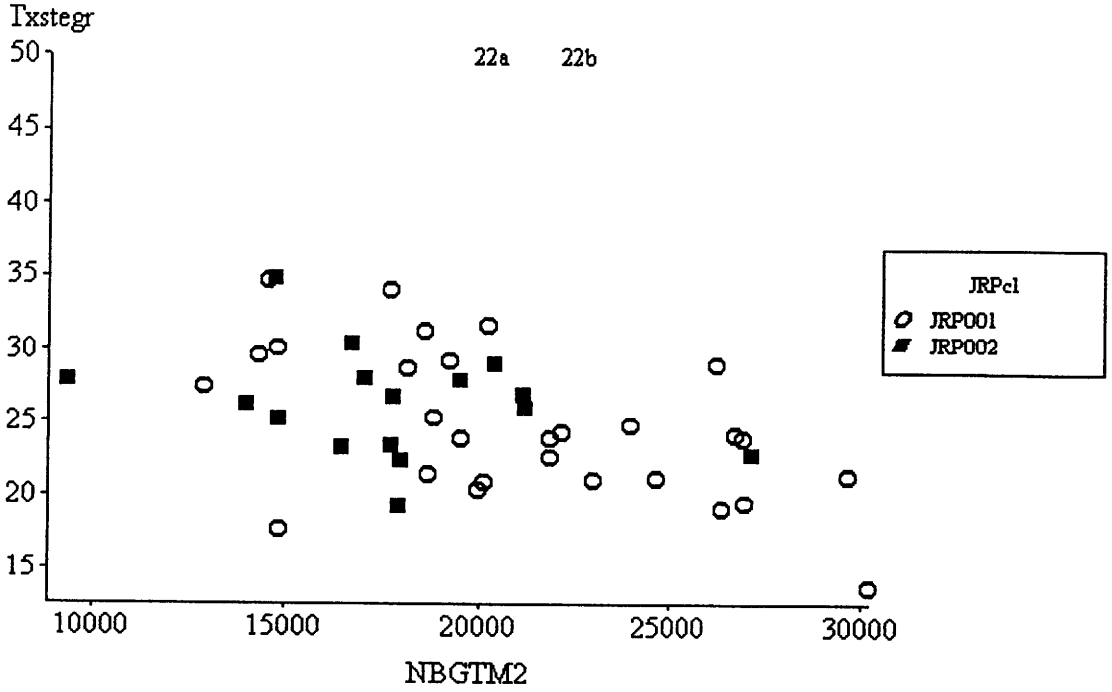


Figure 17 / relation en % de grain vide (Txstegr en %) et le nombre de grains total en m² (NBGTM2)



e) Relation entre le nombre de fleurs/panicule et le nombre de panicules/m² en fonction de la date d'implantation

Le nombre de panicules/m² varie entre 100 et 275 ce qui est très faible. Le nombre de panicules/m² observés lors du suivi de Niono/Molodo variait entre 150 et 450 panicules/m², le potentiel étant estimé pour BG à 375 panicules /m².

On se situe donc largement en dessous du seuil de panicules/m² potentiel. *Le nombre de panicules/m² est donc limitant pour rendement pour l'ensemble des parcelles* même si des compensations ultérieures ont pu être réalisées par le nombre de sites mis en place à la floraison dans le cas des implantations précoces.

La parcelle 17 a se distingue encore par son faible nombre de fleurs/panicule et d'épis/m². La compétition avec les adventices a été très précoce. La parcelle 16b se caractérise effectivement par un nombre de panicule/m² élevé, (263 c'est à dire le maximum observé dans ce suivi) mais le nombre de fleurs/panicule de ce bassin est limitée. L'initiation paniculaire dans cette parcelle date du 3 octobre 1997. Notons que cette parcelle est aussi caractérisée par un fort taux d'enherbement à l'initiation paniculaire. Les plants ont également été repiqués relativement âgés (63 jours et 9 jours entre arrachage et repiquage).

On peut donc penser que le nombre de fleurs/panicule a été limité par la compétition avec les adventices d'une part et par l'âge des plants au repiquage d'autre part[8]. Comment expliquer le nombre de panicules[9]/m² comparativement élevée par rapport aux autres bassins ? .

Quels sont les déterminants du faible nombre de panicules/m² de ces 46 bassins ? Il s'agit de s'intéresser à la phase végétative.

f) Relation entre le nombre de panicules/m², le nombre de panicules/IP le nombre de panicules/20 jours et le nombre de plants/m²

L'analyse de la relation entre nombre de panicules/m² et le nombre de talles à l'initiation paniculaire montre une relation de type linéaire que nous avons déjà souligné. Le nombre de talles à l'initiation paniculaire varie dans la fourchette [50-375]. Il y a eu régression du nombre de talles fertiles entre l'initiation paniculaire et l'épiaison, ce qui est normale.

---

[8] Le suivi 1996 avait mis en évidence l'impact du repiquage de plants âgés sur le nombre de panicules/m² et le nombre de fleurs/panicules.(**Erreur! Source du renvoi introuvable.**) .

[9] rappelons cependant que l'on se situe largement en dessous du seuil de panicules/m² de la variété (350/375) ! .

Figure 18 : Relation entre le nombre de fleurs/panicule (Nbepill1) et le nombre d'épillets par m²(NEPL1M2) en fonction de la date d'implantation

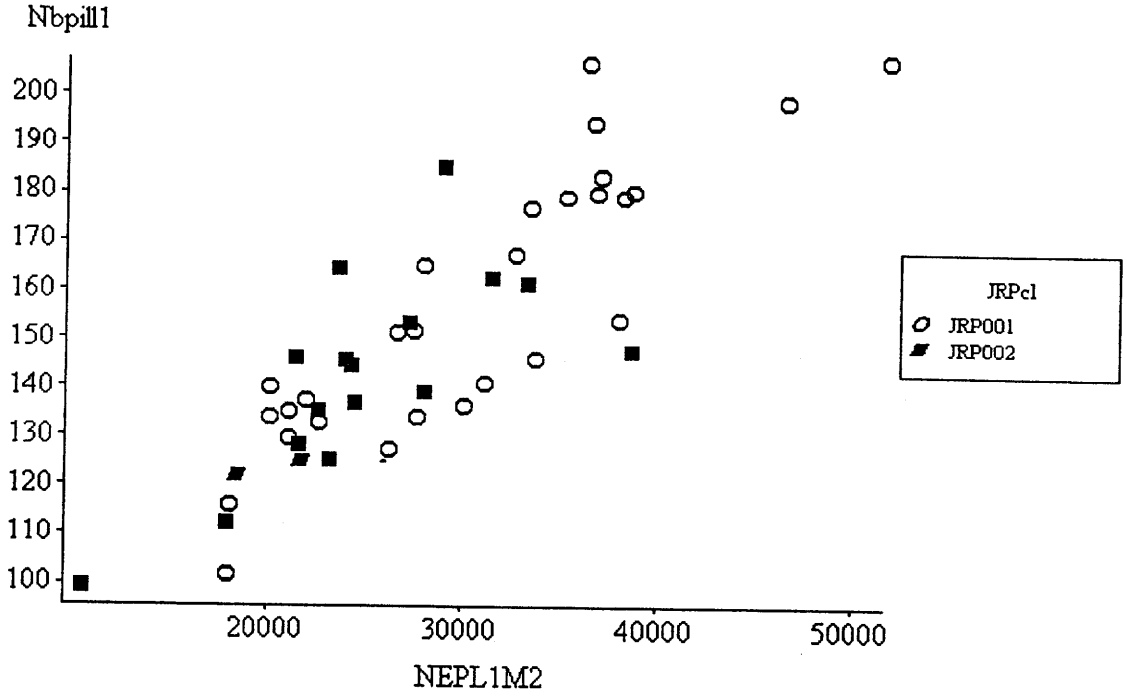
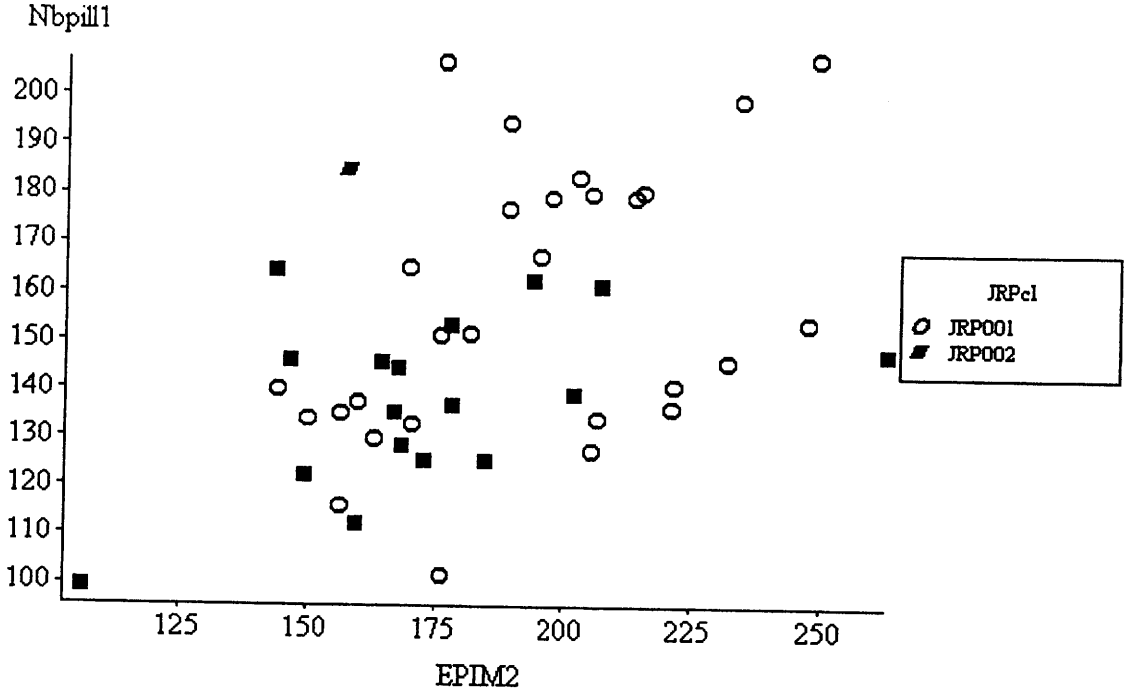


Figure 19 : relation entre le nombre de fleurs/panicule (Nbpill1) et le nombre de panicule/m² (EPIM2) en fonction de la date d'implantation



Nous avons dégagé les parcelles présentant dès l'initiation paniculaire des nombres de talles relativement élevés (> 300) et relativement faible (<150). Dans le premier groupe, on trouve les parcelles (3a, 7a, 10b, 12b, 13b, 15b, 16b). Dans le groupe "faible", on trouve les parcelles (22a, 22b, 2b, 14a, 14b, 10a, 17a 19a, 23a). Notons également la parcelle 2 caractérisée par un fort nombre de panicules/m² et un faible nombre de talles à l'initiation paniculaire/m². **Notons cependant que le taux de tallage maximum obtenu est très faible par comparaison avec le suivi de 1996 où l'on pouvait compter jusqu'à 600 talles/m² à l'initiation paniculaire (soit près du double) à l'échelle d'un bassin.** Au moment du tallage maximum, ces parcelles comptaient au moins 250 talles/m² alors que dans ce suivi, un **1/3 seulement de parcelle dépassent ce seuil.** (Figure 20)

Pour les implantations précoces, il existe une bonne corrélation linéaire entre nb de talles/m² à l'initiation paniculaire et nombre de talles/m² à 20 jours. La vitesse de tallage est identique entre ces deux dates. La corrélation est moins bonne dans le cas des implantations tardives : Certaines parcelles tallent plus vite que d'autres. Notons que la parcelle 16 b ne présente pas un nombre de talles/m² à 20 jours particulièrement élevé ce qui est en revanche le cas pour la parcelle 13 b. En revanche, le nombre de talles/m² des parcelles 17 a, 22 a et 19a est déjà limitées à 20 jours.

Quelques parcelles se distinguent par des taux de tallage à l'initiation paniculaire plus importants que les autres. Il s'agit des parcelles 12b, 10b, 3a, 15b, 13b et (16b). En dehors des deux derniers cas, il s'agit de bassins implantés précocement. Les tallages les plus faibles concernent les parcelles 19a, 23b, 22a, 22b, 14a, 14b, 2b,17a et 10a le nombre de talles/m² à l'initiation paniculaire est aussi limité par un faible nombre de plants/m² au repiquage pour les parcelles 19a, 23b et 17a. La parcelle 23b a souffert d'une inondation au repiquage provoquant la destruction d'un certain nombre de poquet par flottement. Le même problème a été rencontré dans la parcelle 2b. La densité de repiquage de la parcelle 19 était globalement faible.

Figure 20 : relation entre le nombre de fleurs/panicule à l'initiation paniculaire (Nbpill1)et le nombre de panicules/m² en fonction de la date d'implantation

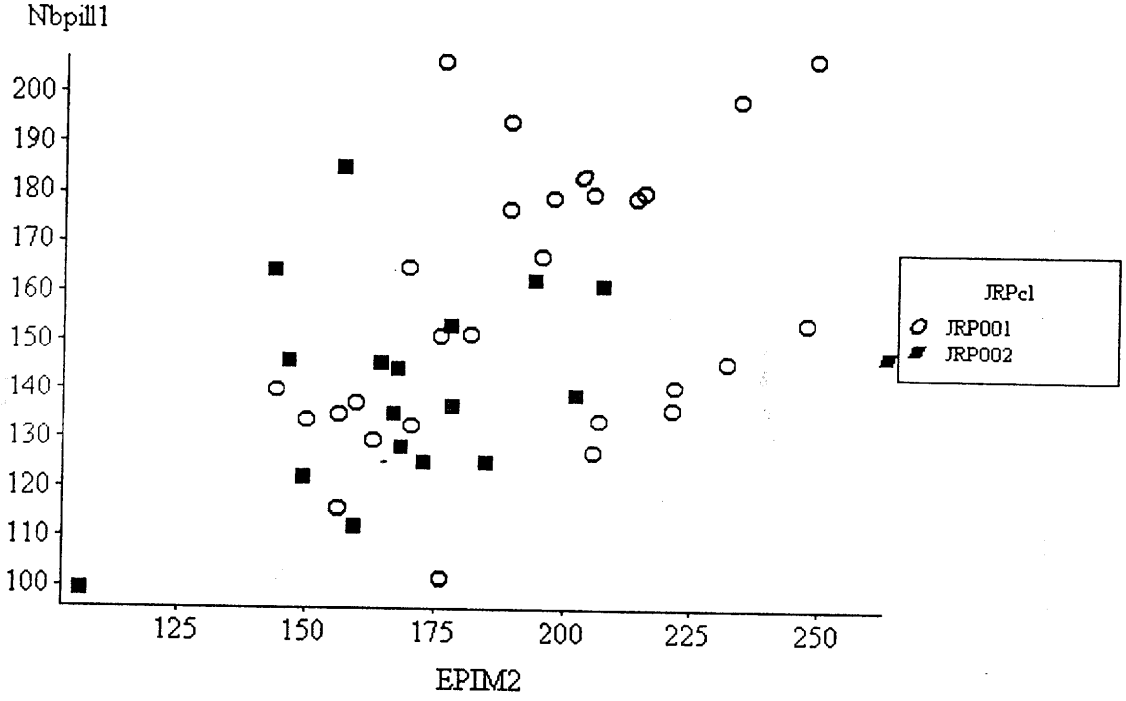


Figure 21 : Relation entre le nombre de talles/m² à l'initiation paniculaire et le nombre de panicules/m² (identification des groupes de fort et faible tallage)

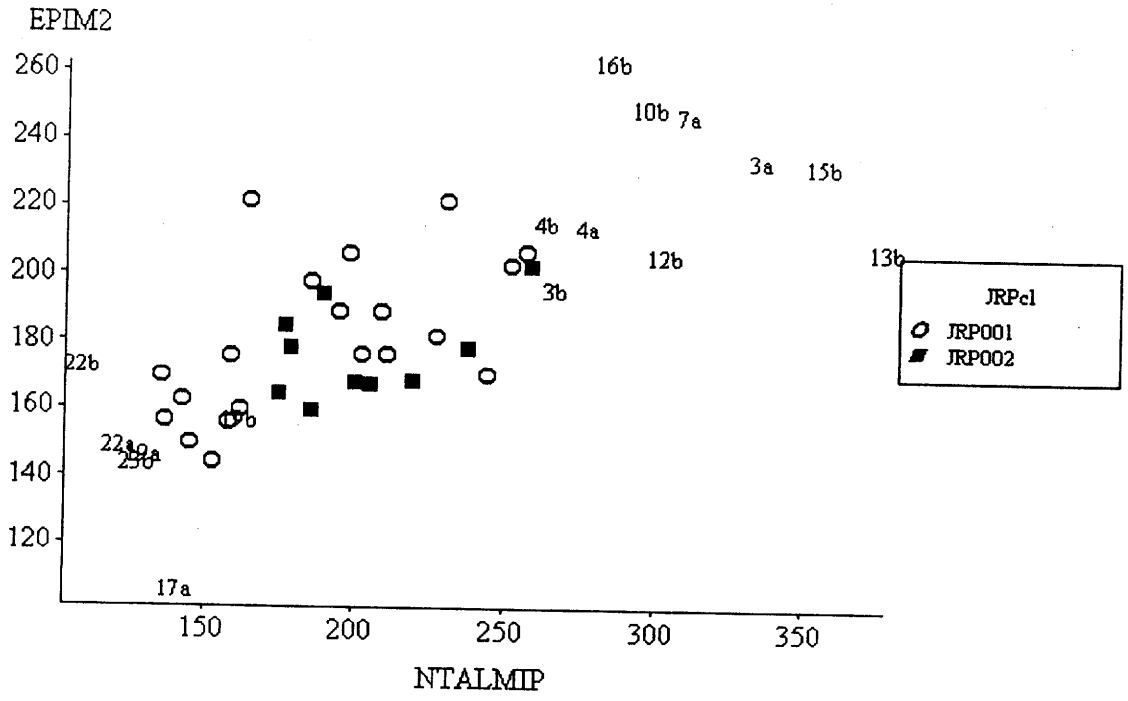
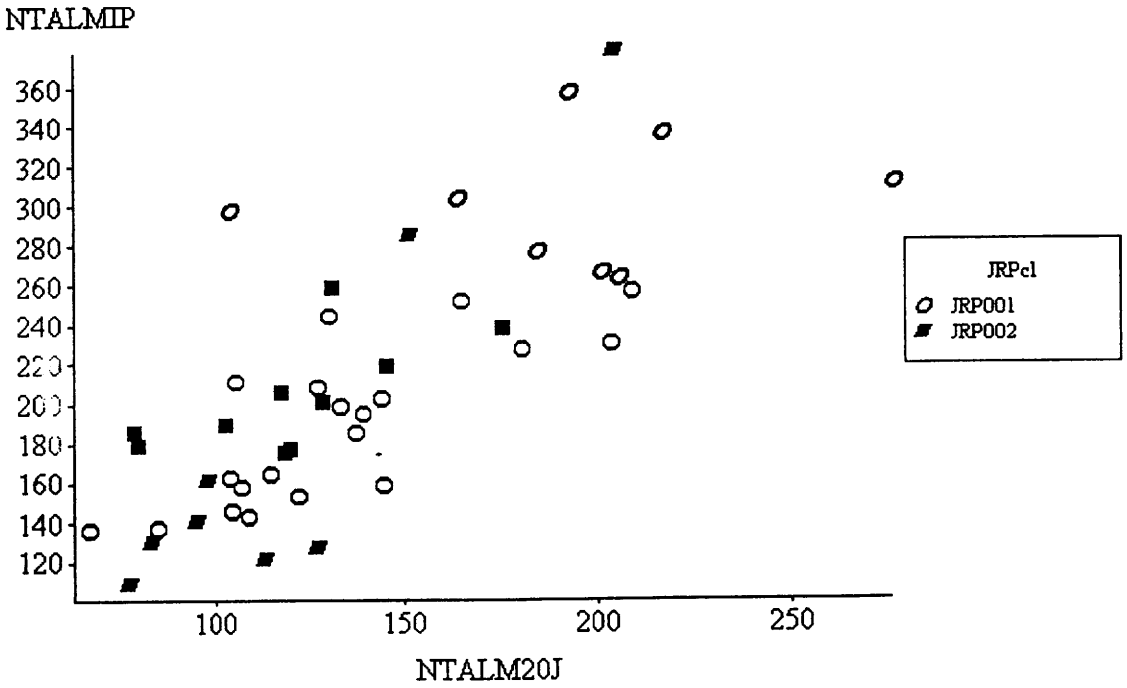
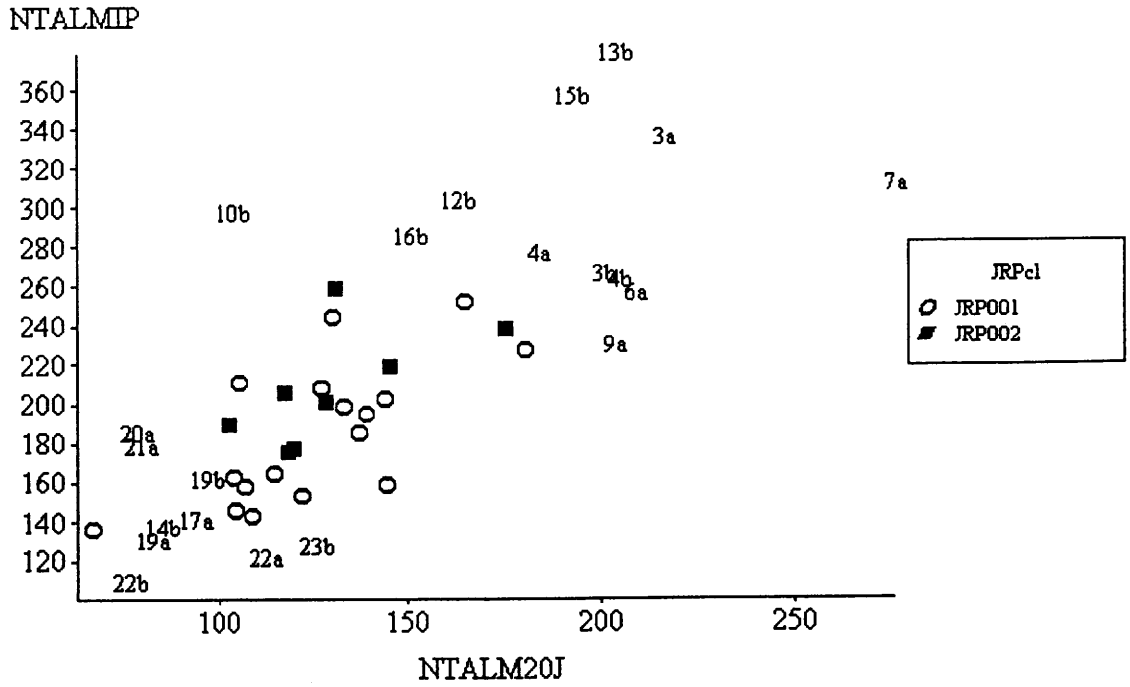


Figure 22 : relation entre le nombre de talle/m² à 20 jour et le nombre de talles/m² à l'initiation paniculaire en fonction de la date d'implantation





g) Conclusion

Ces suivis des pratiques paysannes permettent de mettre en évidence **une composante limitante du rendement principal : le nombre de panicules/m².** Le nombre de panicules/m² reste très limitée **quelle que soit la date d'implantation**. Ceci est principalement du à un potentiel de tallage limité.

Dans le cas des implantations tardives, on met également en évidence un nombre de sites mis en place à la floraison limitée alors que certaines parcelles implantées de façon précoce peuvent compenser un faible nombre de panicules par m² par la formation de grosses panicules (avec de nombreux grains). Cependant, des conditions limitantes à l'initiation paniculaire peuvent aussi affecter la taille des enveloppes dans le cas des implantations précoces et conduire à des poids de 1000 grains faibles. Il existe donc des possibilités de compensation tardive (au moment de l'initiation paniculaire et de la maturation des grains qui permet de compenser ce faible nombre de panicules/m² et d'atteindre des rendements corrects (5 t/ha). Mais ces possibilités de compensations tardives n'ont été observées que pour les repiquages antérieurs au 15 août.

Dans le cas des implantations tardives, le poids de 1000 grains est plutôt limité lors de la phase de remplissage.

Si le taux de stérilité des grains est significativement différent selon la date d'implantation, il affecte relativement peu le rendement, si ce n'est dans le cas des repiquages précoces. On peut penser que des implantations tardives ne permettent pas un développement suffisant des plantes avant la différenciation des épillets. Rappelons que le nombre d'épillets formés par panicule dépend en effet des conditions de croissance et de développement de la plante pendant la phase végétative (il existe une bonne corrélation linéaire en général entre la matière sèche au moment de la différenciation des épillets et le nombre d'épillets différenciés par panicule). Un repiquage tardif se traduit par un raccourcissement du cycle végétatif. Dans notre échantillon la phase repiquage - initiation paniculaire est en moyenne de 49 jours pour les implantations précoces et de 42 jours en moyenne pour les implantations tardives (différence significative au seuil de 0,01 % soit une différence d'une semaine environ). On doit donc s'attendre également à un développement moins important du nombre de fleurs/panicule.

Le repiquage de plants très âgés (plus de 50 jours en pépinière), un long délai entre arrachage et repiquage (+ de 15 jours), un mauvais contrôle de l'enherbement ou des densités de plantations trop faibles sont des facteurs aggravants. Ils affectent à la fois le nombre de panicules/m² et le taux de stérilité des grains. *Cependant, les effets de ces conduites sont partiellement masqués par les problèmes de tallages cités et leur effet ne s'expriment sur le rendement que pour les cas extrêmes.*

La limitation du potentiel de tallage pour les implantations précoces ou tardives peut indiquer des conditions limitantes au moment de la phase végétative qui affecte la croissance et le développement des plantes. On peut penser à des processus de carences en éléments minéraux.

Figure 23 : Schéma d'élaboration du rendement toutes parcelles confondues

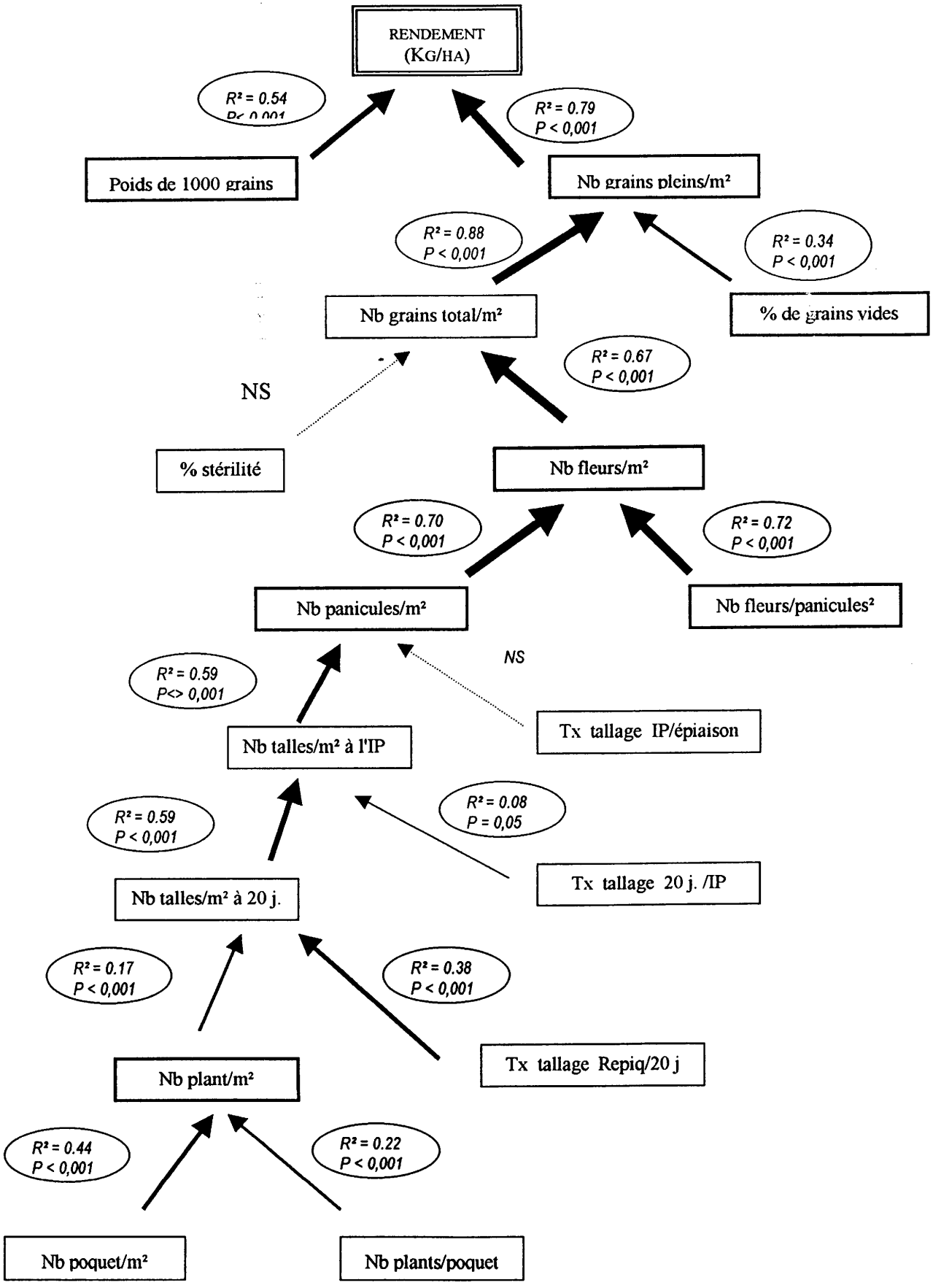
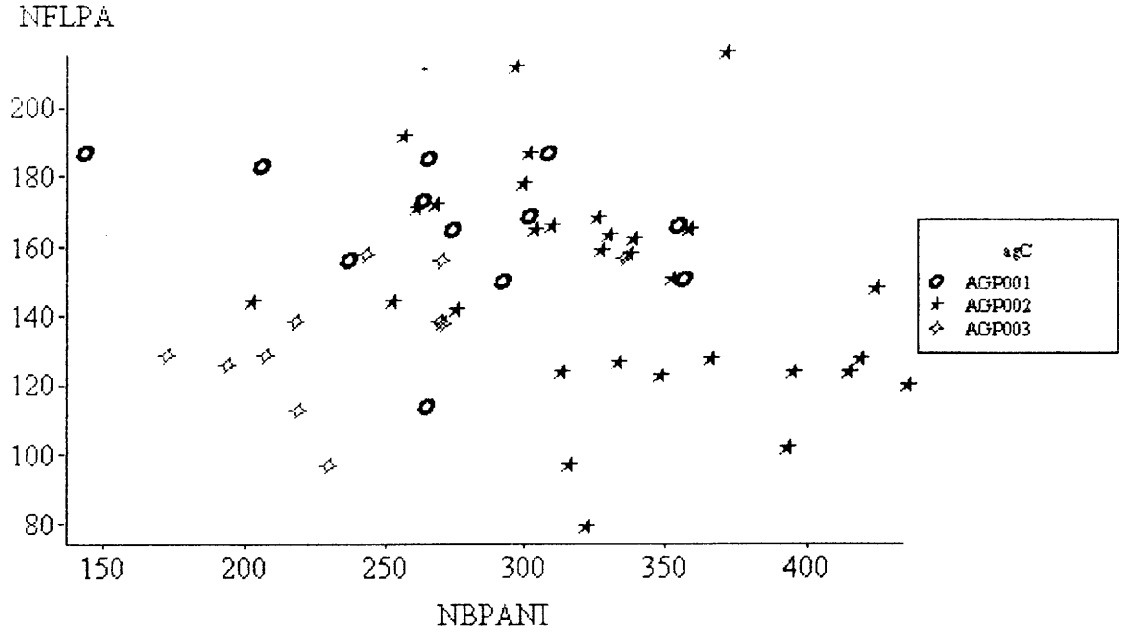


Figure 24 : Relation entre le nombre de fleurs/m² (NBFLM2) et le nombre de panicules/m² en fonction de l'âge des plants au repiquage (001 < 30 jours 003 plus de 35 jours) **dans le suivi de 49 parcelles de la zone de Niono et Molodo (Ducrot et al, 1996)**

Figure 18 : relation entre le nombre de fleurs/m² (NBFLM2) et le nombre de panicules/m² (NBPANI) en fonction de l'âge des plants au repiquage (001 < 30 jours; 003 plus de 35 jours)



VI.6 - ANNEXE 6 : UNE CROISSANCE LIMITÉE

Figure 25 : Relation entre le rendement en g/m² (Ppady1) et la hauteur des plants en cm la récolte selon la date d'implantation (Hauteur R)

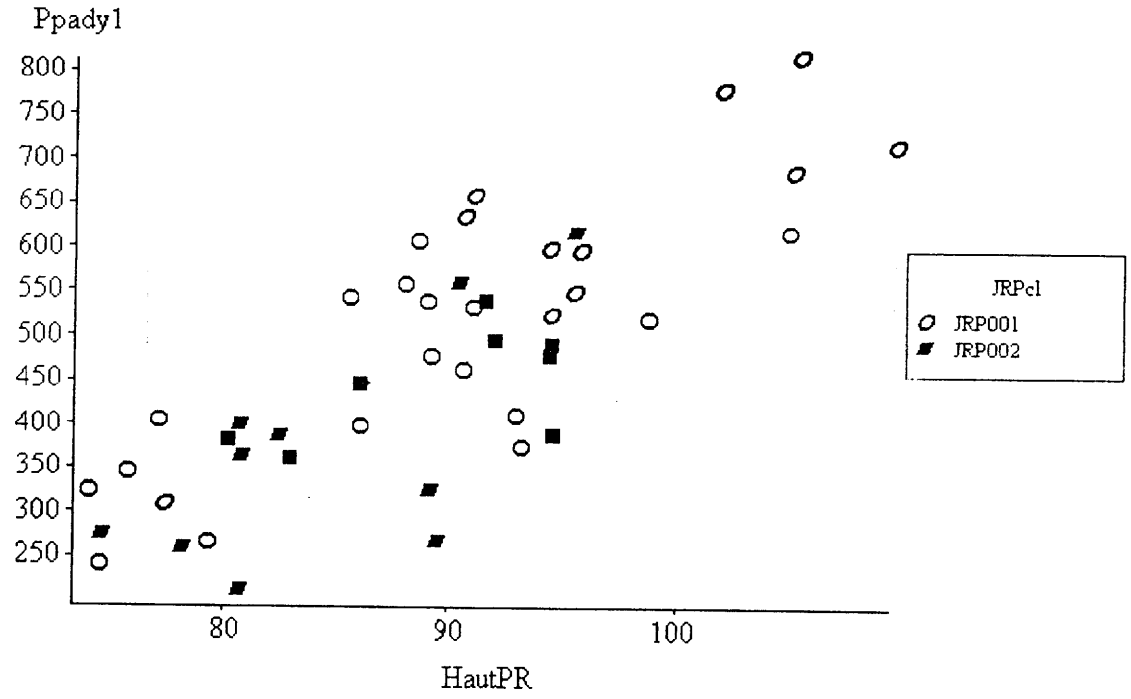
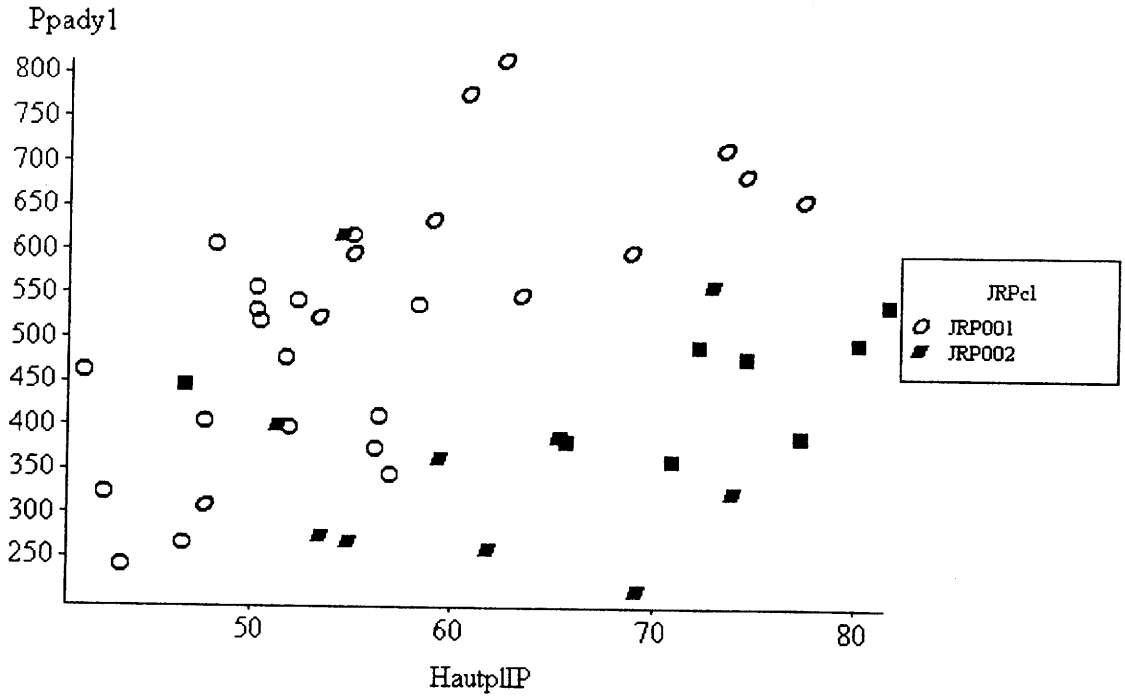


Figure 26 : relation entre le rendement en g/m² (Ppady1) et la hauteur des plants en cm à l'initiation paniculaire selon la date d'implantation (Hauteur IP)



VI.7 - ANNEXE 7 : RELATION ENTRE FACTEURS TECHNIQUES ET COMPOSANTES DU RENDEMENT

Nous avions mis en évidence un effet (limité) de la fertilisation en DAP sur le rendement final, ainsi que de la dose de semis en pépinière. *Dans quelle mesure, la limitation du taux de tallage observé peut-elle être déterminée par les conditions de fertilisation ?*

L'étude des relations linéaires entre facteurs techniques (conduite de la pépinière et de la fertilisation, en tenant compte des dates d'apport[10]) montre **une faible détermination des facteurs techniques sur les composantes du rendement**. En repiquage précoce comme tardif, le nombre de fleurs/panicule dépend faiblement de la quantité de DAP apportée et du deuxième apport d'urée. Mais les coefficients de corrélation restent faibles (Tableau 14). En repiquage précoce, nombre de panicules/m² dépend faiblement de la quantité de DAP apportée. En fait, il semble que l'absence d'apport de DAP limite le nombre de talles fertiles. La variabilité des taux tallage précoce et tardif, du nombre de talles/m² à 20 jours et à l'initiation paniculaire reste très importante pour un même niveau de DAP apporté.

Tableau 14: Déterminants techniques des composantes du rendement

	Nb tal./m² 20 j	Nb tal/m² IP	Nb panic./m²	Nb fleurs/pan	Tx stérilité	PMG
Repiquage à temps						
Qté total de DAP			R^2 =0.15 *	R^2 = 0,22 **		
Qté N au tallage				R^2 = 0.17 *		
Kg urée 2ème apport				R^2 = 0.,16 *		
Qté d'azote à l IP						
Kg/m² semence	0,26**			R^2 = 0.18 *	R^2 = 0;26 **	R^2 = 0.27 **
Dose Urée en Pép.					R^2 = 0.20 *	
Dose DAP en pép.					R^2 = 0.18 *	
Repiquage tardif						
Qté total de DAP				R^2 = 0,25*		
Qté N au tallage				R^2 = 0,18£		
Kg urée 2ème apport						
Qté d'azote à l IP						
Kg/m² semence					R^2 = 0.21 *	
Âge plants à l'arrac	R^2 =0,24 *	0,25 *	0.21 £²	0,21 *		

*** significatif au seuil de 1 % * significatif au seuil de 5 % significatif au seuil de 10 %*

[10] deux type de variables étudiées : la quantité globale d'urée ou la quantité d'urée apporté à la 1ère et 2ème fraction d'un part et d'autre part, les apport d'azote réelle (en U/ha) en début tallage (avant 20 j) au moment du tallage avant 40 jour et à l'initiation paniculaire.

Il est intéressant de noter que les modalités de conduite de la pépinière affectent faiblement le taux de stérilité des grains et le poids de 1000 grains en repiquage précoce.

En revanche, on ne met pas en évidence de corrélation entre les facteurs techniques (notamment niveau de fertilisation durant la phase de tallage) et les variables de tallage en repiquage précoce. Notamment la quantité d'azote apportée au tallage n'affecte pas le tallage mais uniquement le nombre de fleurs/panicule. Comment expliquer ce faible effet de la fertilisation azoté sur le tallage ? Pour les implantations tardives, on met en évidence une relation entre le nombre de talles/m² à 20 jours, à l'initiation paniculaire et le nombre de panicules/m² dépendent faiblement de la durée des plants en pépinière.

En conclusion, l'effet de la fertilisation minérale ne s'exprime que faiblement sur les composantes du rendement en repiquage précoce comme en repiquage tardif. Le DAP affecte faiblement le nombre de panicule/m², et l'azote au tallage comme à l'initiation paniculaire joue surtout sur le nombre d'épillets/m² C'est essentiellement la quantité de DAP et la deuxième fraction d'urée qui affecte le rendement en augmentant sur le nombre de fleurs/panicules, le poids de 1000 grains et plus faiblement le nombre de panicules par m². *Il semble donc que la disponibilité en phosphore pour le peuplement soit impliquée dans les phénomènes de compensations tardives observées.*

VI.8 - ANNEXE 8 : TENEUR EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX DES PLANTS DE RIZ ET ÉLABORATION DU RENDEMENT

VI. 8. 1 - ACP sur les teneurs en élément minéraux des plantes

Une Analyse en Composante principales a été réalisée pour déterminer les relations entre les différents éléments au sein de la plante. Les variables étudiées étaient la teneur en différents éléments ainsi que les rapports N/P, K/mg, K/P, K/Ca, S/K, Ca/P, et Mg/P et N/S Le rendement (Poids de grains à 14 % d'humidité) a été projeté comme variable supplémentaire.

L'ACP a été réalisée sur la totalité des parcelles puis sur les groupes des parcelles tardives et des parcelles précoces. Les résultats sont présentés dans les feuilles analyse 1, analyse 2, analyse 3 suivantes.

Les trois premiers axes de l'analyse expliquent près de 61 % de la variabilité du nuage de points et plus de 70 % lorsqu'on différencie les parcelles selon la date de repiquage.

On met évidence l'existence de trois groupes de teneurs en éléments minéraux dans les trois cas plus ou moins liées:

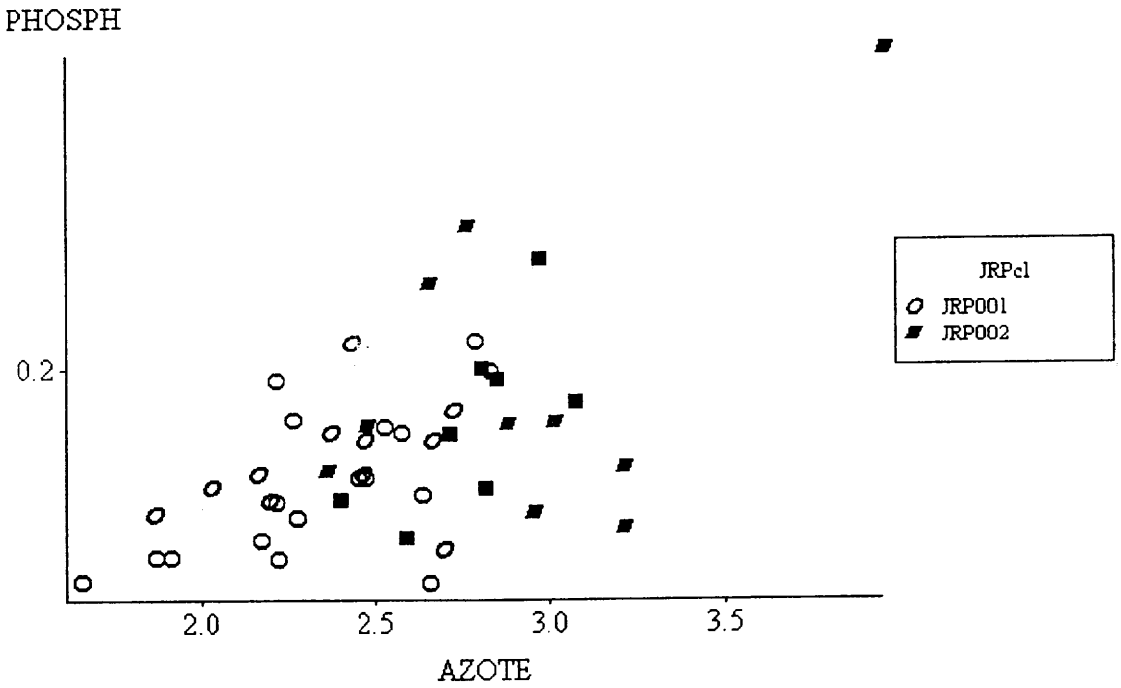
- N, S, Mg,
- P, N/K, S/K
- Al, Al/P, Al/S

Le rendement semble positivement corrélé au groupe Al (toutes parcelles confondues), à la teneur en azote souffre et aluminium en repiquage précoce et aux teneurs en souffre et azote en repiquage tardif.

La corrélation entre teneur en soufre et teneur en azote ne doit pas surprendre, le soufre intervenant dans le métabolisme des acides aminés. Des carences en soufre sont souvent associées à une limitation de la teneur en azote des plants. En outre, le ratio N/S varie dans la plante au cours de sa croissance et la teneur en soufre est un bon indicateur de ce ratio (Yoshida, 1981).

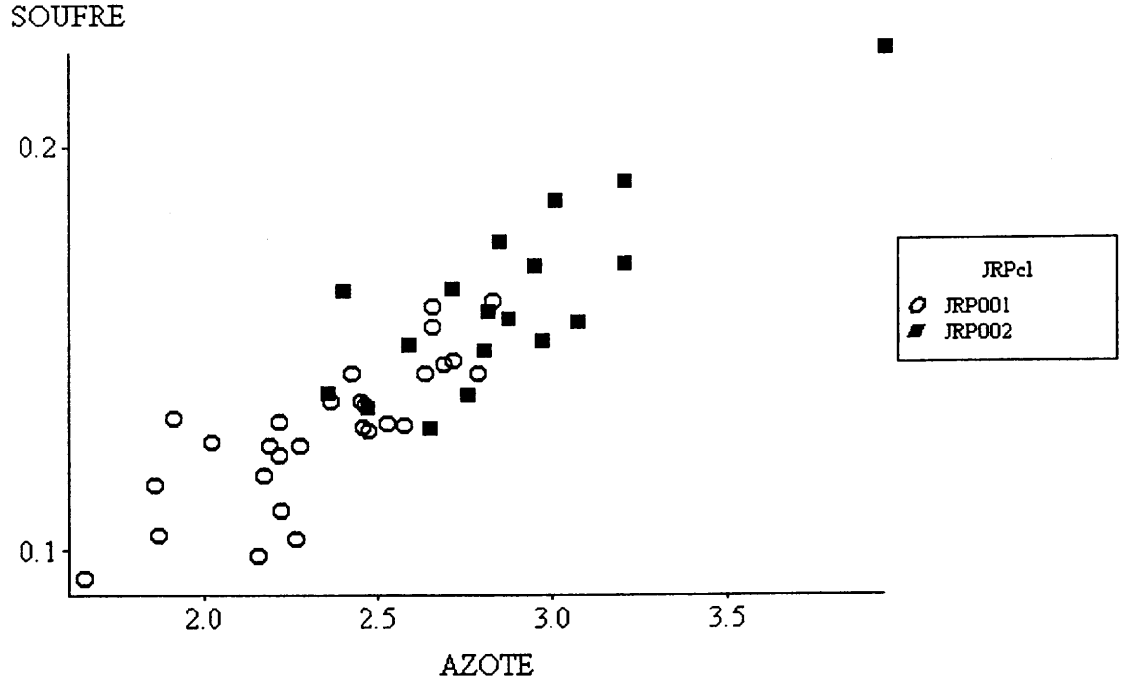
C'est surtout le rapport relatif entre le potassium et les autres éléments minéraux, notamment le soufre et l'azote qui semble déterminant. Il est intéressant de noter l'importance prise par l'élément Al en relation avec le phosphore le souffre et le fer.

Figure 27 : relation entre les taux d'azote et le souffre (en %)



Précoce $R^2 = 0,27$ p =0,004 ; tardif $R^2 = 0.27$ p = 0.02

Figure 28 : Relation entre les teneurs en azote et en phosphore (en %) dans les feuilles au moment de l'initiation paniculaire en fonction de la date d'implantation.

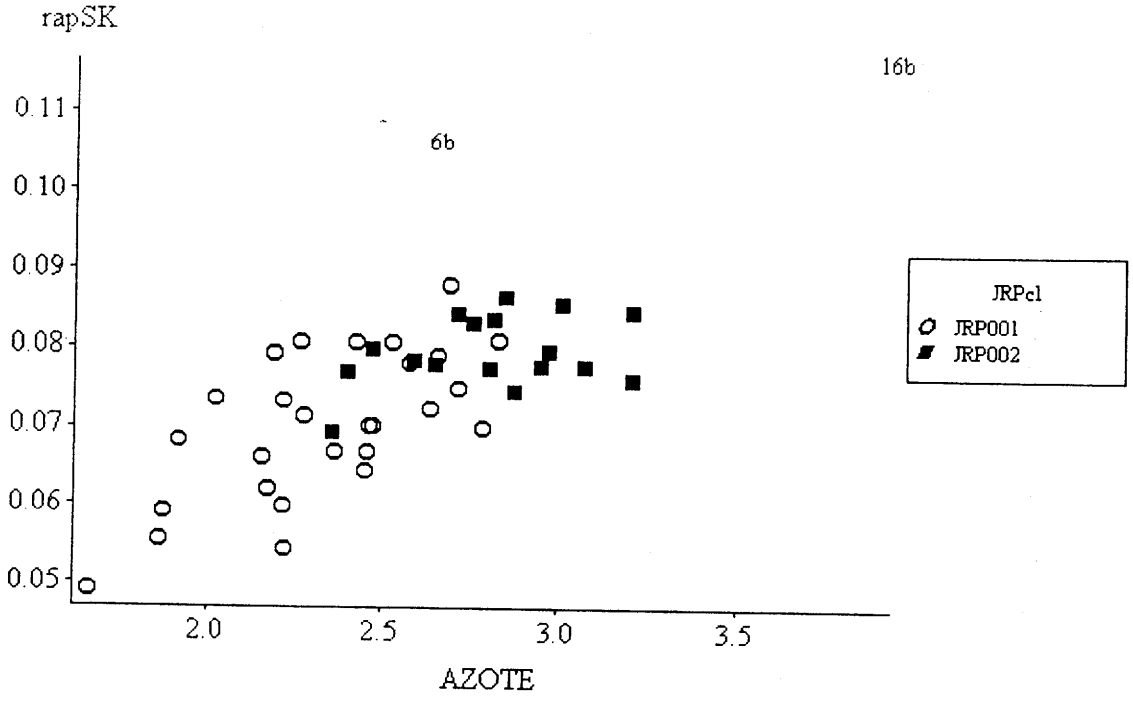


Précoce $R^2 = 0.64$ p<0.001 tardif $R^2 = 0.66$ p< 0.001

Le graphe entre le taux d'azote et le rapport S/K met en évidence l'existence d'une relation particulière entre ces deux facteurs. La courbe tend à former un pallier pour le rapport S/K quelle que soit la teneur en azote pour un taux d'azote dans la plante supérieur à 2,5 %. Deux parcelles (6b et 16b) se distinguent. On sait qu'il existe une bonne relation linéaire entre azote et soufre. Par conséquent en repiquage tardif, le rapport S/K est limité à la fois par la teneur en soufre et en potassium. En repiquage précoce, le K semble proportionnellement moins limitant.

Figure 29 : relation entre le rapport S/K et le taux d'azote dans la plante en fonction de la date d'implantation

Précoce : $R^2 = 0.40$ $p < 0.001$; Tardif $R^2 = 0.58$ $p < 0.001$



Analyse 1 : Résultats de l'Analyse Factorielle des Correspondances sur l'ensemble des parcelles et représentation des variables dans le plan de l'axe 1 et axe 2

Données centrées réduites

Variables actives	: 25	supplémentaires	: 1
Individus actifs	: 44	supplémentaires	: 0
Individus manquants	: 0	Hors norme	: 0

	VALEUR PROPRE	%	% CUMULE	HISTOGRAMME
001	5.766	23.063	23.063	==============================
002	4.968	19.873	42.936	==========================
003	4.807	19.230	62.166	=========================
004	2.752	11.008	73.174	==============
005	1.891	7.566	80.740	=========
006	1.150	4.599	85.339	=====
007	1.032	4.130	89.468	=====
008	0.854	3.416	92.885	====
009	0.580	2.321	95.206	===
010	0.535	2.138	97.344	==
011	0.313	1.252	98.597	=
012	0.117	0.467	99.063	
013	0.094	0.378	99.441	
014	0.054	0.216	99.656	
015	0.028	0.114	99.770	
016	0.019	0.076	99.846	
017	0.011	0.045	99.892	
018	0.008	0.033	99.925	
019	0.005	0.019	99.944	
020	0.004	0.018	99.962	

TOTAL 25.000

LES VARIABLES

COORD : COORDONNEES DES VARIABLES SUR LES AXES
COS2 : COORD*COORD (COSINUS CARRES)
CTR : PART (en %) DE LA VARIABLE DANS LA CONSTRUCTION DU FACTEUR
QLT : QUALITE DE LA REPRESENTATION D'UNE VARIABLE SUR LES AXES SELECTIONNES

VARIABLES ACTIVES		FACTEUR 01			FACTEUR 02			FACTEUR 03		
	QLT	COORD	COS2	CTR	COORD	COS2	CTR	COORD	COS2	CTR
AZOTE	96.1	0.848	0.719	12.47	0.156	0.024	0.49	0.271	0.073	1.52
PHOSPH	84.6	0.666	0.444	7.70	0.481	0.231	4.66	-0.166	0.028	0.58
POTAS	87.4	0.076	0.006	0.10	-0.601	0.362	7.28	0.333	0.111	2.30
CALC	78.6	0.395	0.156	2.71	-0.484	0.234	4.71	0.503	0.253	5.27
MAGNES	90.2	0.753	0.566	9.82	-0.084	0.007	0.14	0.387	0.150	3.12
SODIUM	50.3	0.572	0.327	5.67	-0.314	0.099	1.99	-0.028	0.001	0.02
CHLORE	25.7	-0.147	0.022	0.37	-0.275	0.076	1.53	-0.254	0.065	1.35
SOUFRE	92.3	0.695	0.483	8.38	0.037	0.001	0.03	0.433	0.187	3.90
FER	67.0	0.457	0.209	3.62	-0.199	0.040	0.80	-0.549	0.301	6.26
MAGAN	61.7	0.089	0.008	0.14	-0.399	0.159	3.20	0.478	0.228	4.75
ZINC	53.5	-0.069	0.005	0.08	0.012	0.000	0.00	-0.319	0.102	2.12
ALUMIN	94.6	0.567	0.321	5.57	-0.518	0.269	5.41	-0.595	0.354	7.35
rapNP	89.8	0.332	0.110	1.91	-0.305	0.093	1.87	0.494	0.244	5.07
rapKmg	88.3	-0.642	0.412	7.14	-0.238	0.057	1.14	-0.196	0.038	0.80
rapKp	97.5	-0.420	0.177	3.07	-0.746	0.557	11.20	0.338	0.114	2.38
rapKca	87.8	-0.327	0.107	1.86	0.031	0.001	0.02	-0.260	0.068	1.41
rapSK	84.9	0.715	0.512	8.87	0.473	0.224	4.51	0.233	0.054	1.13
rapCaP	93.6	-0.123	0.015	0.26	-0.696	0.484	9.74	0.498	0.248	5.15
rapMGP	77.0	0.223	0.050	0.86	-0.557	0.310	6.24	0.588	0.346	7.20
fe_mn	80.7	0.264	0.070	1.21	0.149	0.022	0.45	-0.720	0.519	10.79
rapALFe	64.9	0.279	0.078	1.35	-0.622	0.387	7.80	-0.263	0.069	1.44
rapKAL	86.0	-0.519	0.269	4.67	0.394	0.155	3.12	0.634	0.402	8.37
rapALS	95.9	0.224	0.050	0.87	-0.530	0.281	5.65	-0.761	0.580	12.06
rapALP	95.6	0.313	0.098	1.70	-0.757	0.574	11.54	-0.521	0.272	5.65
rapNK	94.6	0.743	0.552	9.57	0.568	0.323	6.50	0.034	0.001	0.02
TOTAL				100.00			100.00			100.00

VARIABLES ACTIVES		FACTEUR 04			FACTEUR 05		
	QLT	COORD	COS2	CTR	COORD	COS2	CTR
AZOTE	96.1	0.356	0.127	4.61	0.132	0.018	0.93
PHOSPH	84.6	0.067	0.005	0.16	-0.371	0.138	7.29
POTAS	87.4	0.610	0.373	13.54	-0.153	0.023	1.24
CALC	78.6	-0.373	0.139	5.05	0.061	0.004	0.20
MAGNES	90.2	-0.131	0.017	0.62	-0.402	0.162	8.54
SODIUM	50.3	0.263	0.069	2.51	-0.086	0.007	0.39
CHLORE	25.7	-0.229	0.052	1.91	0.206	0.042	2.25
SOUFRE	92.3	0.498	0.248	9.00	0.061	0.004	0.20
FER	67.0	0.300	0.090	3.28	0.175	0.031	1.62
MAGAN	61.7	0.130	0.017	0.61	-0.452	0.205	10.82
ZINC	53.5	0.317	0.100	3.65	-0.573	0.328	17.35
ALUMIN	94.6	0.031	0.001	0.04	-0.044	0.002	0.10
rapNP	89.8	0.327	0.107	3.89	0.587	0.344	18.20
rapKmg	88.3	0.565	0.319	11.60	0.239	0.057	3.03
rapKp	97.5	0.327	0.107	3.89	0.140	0.020	1.04
rapKca	87.8	0.819	0.670	24.36	-0.179	0.032	1.70

Analyse 2 : Résultats de l'Analyse Factorielle des Correspondances sur les parcelles précoces et représentation des variables dans le plan de l'axe 2 et l'axe 3

Données centrées réduites

Variables actives : 25 supplémentaires : 1
Individus actifs : 28 supplémentaires : 0
Individus manquants : 0 Hors norme : 0

	VALEUR PROPRE	%	% CUMULE	HISTOGRAMME
001	5.794	23.177	23.177	==============================
002	4.807	19.228	42.405	=========================
003	4.236	16.945	59.350	======================
004	2.890	11.559	70.909	===============
005	2.164	8.654	79.563	===========
006	1.553	6.214	85.777	========
007	1.181	4.723	90.500	======
008	0.961	3.843	94.343	====
009	0.474	1.896	96.239	==
010	0.437	1.750	97.989	==
011	0.283	1.130	99.120	=
012	0.128	0.513	99.633	
013	0.034	0.138	99.770	
014	0.017	0.070	99.840	
015	0.015	0.058	99.899	
016	0.010	0.040	99.939	
017	0.006	0.024	99.962	
018	0.003	0.014	99.976	
019	0.002	0.009	99.985	
020	0.002	0.007	99.992	

TOTAL 25.000

LES VARIABLES

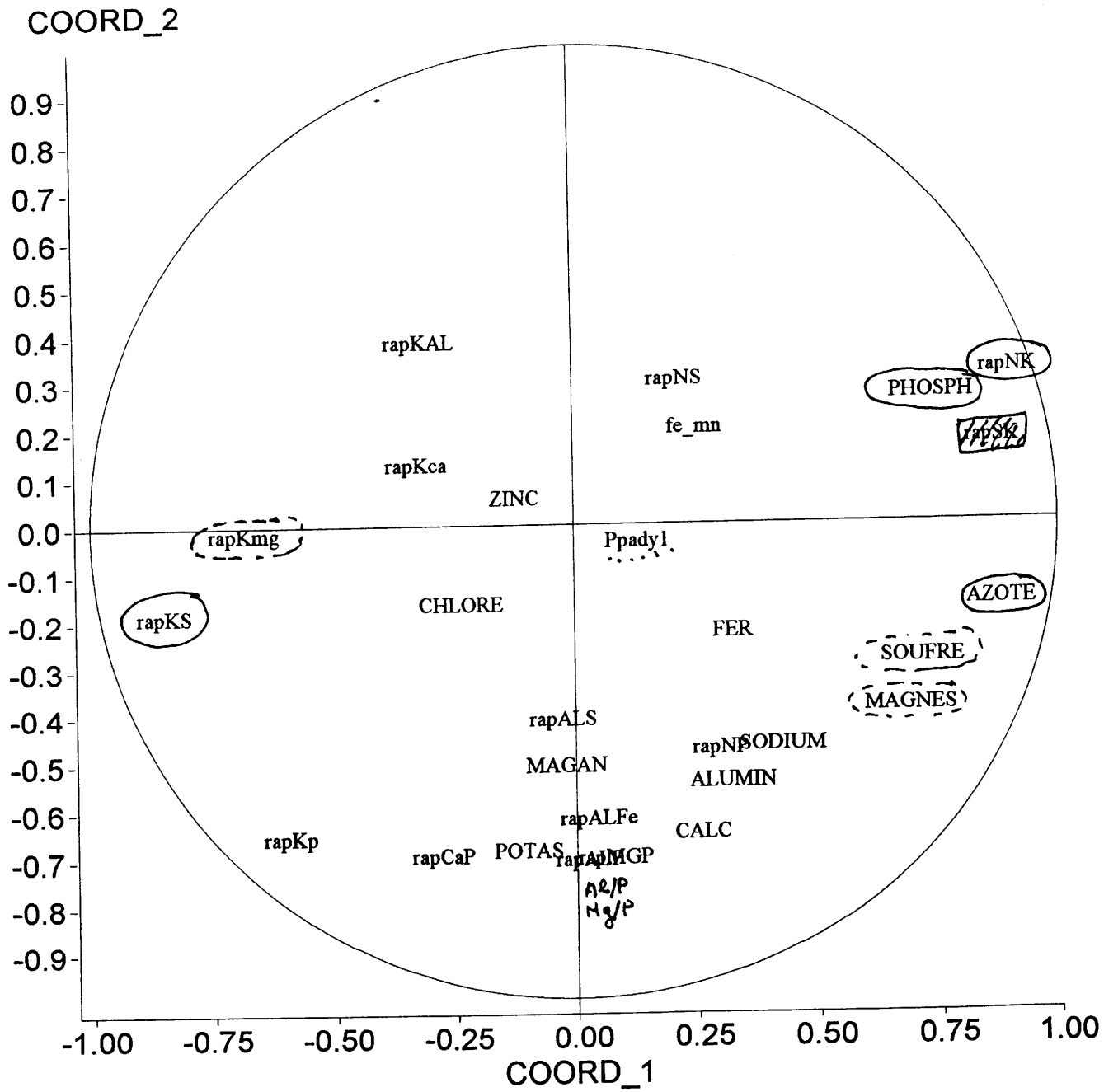
COORD : COORDONNEES DES VARIABLES SUR LES AXES
COS2 : COORD*COORD (COSINUS CARRES)
CTR : PART (en %) DE LA VARIABLE DANS LA CONSTRUCTION DU FACTEUR
QLT : QUALITE DE LA REPRESENTATION D'UNE VARIABLE SUR LES AXES SELECTIONNES

VARIABLES ACTIVES		FACTEUR 01			FACTEUR 02			FACTEUR 03		
	QLT	COORD	COS2	CTR	COORD	COS2	CTR	COORD	COS2	CTR
AZOTE	92.8	0.470	0.221	3.81	-0.655	0.429	8.92	0.388	0.150	3.55
PHOSPH	61.8	0.434	0.188	3.24	-0.253	0.064	1.33	0.231	0.054	1.27
POTAS	84.8	-0.598	0.358	6.17	0.125	0.016	0.32	0.523	0.273	6.45
CALC	64.5	-0.454	0.206	3.56	-0.441	0.194	4.04	-0.265	0.070	1.66
MAGNES	76.5	-0.285	0.081	1.40	-0.588	0.345	7.19	-0.447	0.200	4.71
SODIUM	36.4	-0.162	0.026	0.45	-0.154	0.024	0.50	0.303	0.092	2.17
CHLORE	29.4	-0.128	0.016	0.28	0.093	0.009	0.18	0.135	0.018	0.43
SOUFRE	87.0	0.322	0.104	1.79	-0.453	0.205	4.26	0.431	0.186	4.39
FER	84.9	-0.082	0.007	0.12	-0.452	0.204	4.24	0.782	0.611	14.42
MAGAN	74.3	-0.376	0.142	2.45	-0.002	0.000	0.00	-0.127	0.016	0.38
ZINC	70.1	-0.331	0.110	1.89	0.276	0.076	1.58	0.446	0.199	4.70
ALUMIN	93.5	-0.547	0.299	5.16	-0.663	0.440	9.15	0.414	0.171	4.04
rapNP	79.9	0.178	0.032	0.55	-0.506	0.256	5.32	0.196	0.038	0.90
rapKmg	94.7	-0.176	0.031	0.54	0.533	0.284	5.91	0.712	0.507	11.97
rapKp	96.1	-0.750	0.563	9.71	0.314	0.098	2.05	0.234	0.055	1.29
rapKca	85.8	-0.056	0.003	0.05	0.525	0.276	5.74	0.682	0.465	10.98
rapSK	82.8	0.736	0.542	9.36	-0.491	0.241	5.01	-0.039	0.002	0.04
rapCaP	93.8	-0.605	0.366	6.32	-0.124	0.015	0.32	-0.333	0.111	2.61
rapMGP	77.2	-0.569	0.324	5.59	-0.338	0.114	2.38	-0.573	0.328	7.75
fe_mn	88.9	0.238	0.057	0.98	-0.317	0.101	2.09	0.562	0.316	7.46
rapALFe	67.1	-0.601	0.361	6.23	-0.178	0.032	0.66	-0.450	0.203	4.78
rapKAL	89.5	0.312	0.097	1.68	0.818	0.669	13.92	-0.116	0.014	0.32
rapALS	93.1	-0.737	0.544	9.38	-0.367	0.134	2.80	0.178	0.032	0.75
rapALP	90.2	-0.714	0.509	8.79	-0.518	0.268	5.58	0.334	0.111	2.63
rapNK	94.0	0.780	0.608	10.50	-0.560	0.313	6.52	-0.118	0.014	0.33
TOTAL				100.00			100.00			100.00

VARIABLES ACTIVES		FACTEUR 04			FACTEUR 05		
	QLT	COORD	COS2	CTR	COORD	COS2	CTR
AZOTE	92.8	-0.174	0.030	1.04	0.313	0.098	4.51
PHOSPH	61.8	0.521	0.271	9.39	0.203	0.041	1.90
POTAS	84.8	-0.201	0.040	1.39	0.401	0.161	7.43
CALC	64.5	-0.415	0.172	5.96	0.049	0.002	0.11
MAGNES	76.5	0.320	0.102	3.55	0.192	0.037	1.70
SODIUM	36.4	0.465	0.216	7.48	0.077	0.006	0.28
CHLORE	29.4	-0.172	0.030	1.02	-0.470	0.221	10.21
SOUFRE	87.0	-0.283	0.080	2.77	0.544	0.296	13.68
FER	84.9	0.029	0.001	0.03	-0.163	0.026	1.22
MAGAN	74.3	0.255	0.065	2.25	0.721	0.520	24.04
ZINC	70.1	0.562	0.315	10.91	-0.035	0.001	0.06
ALUMIN	93.5	0.157	0.025	0.86	-0.007	0.000	0.00
rapNP	79.9	-0.664	0.441	15.26	0.181	0.033	1.51
rapKmg	94.7	-0.345	0.119	4.11	0.081	0.007	0.30
rapKp	96.1	-0.472	0.223	7.71	0.150	0.022	1.04
rapKca	85.8	0.196	0.038	1.33	0.274	0.075	3.48

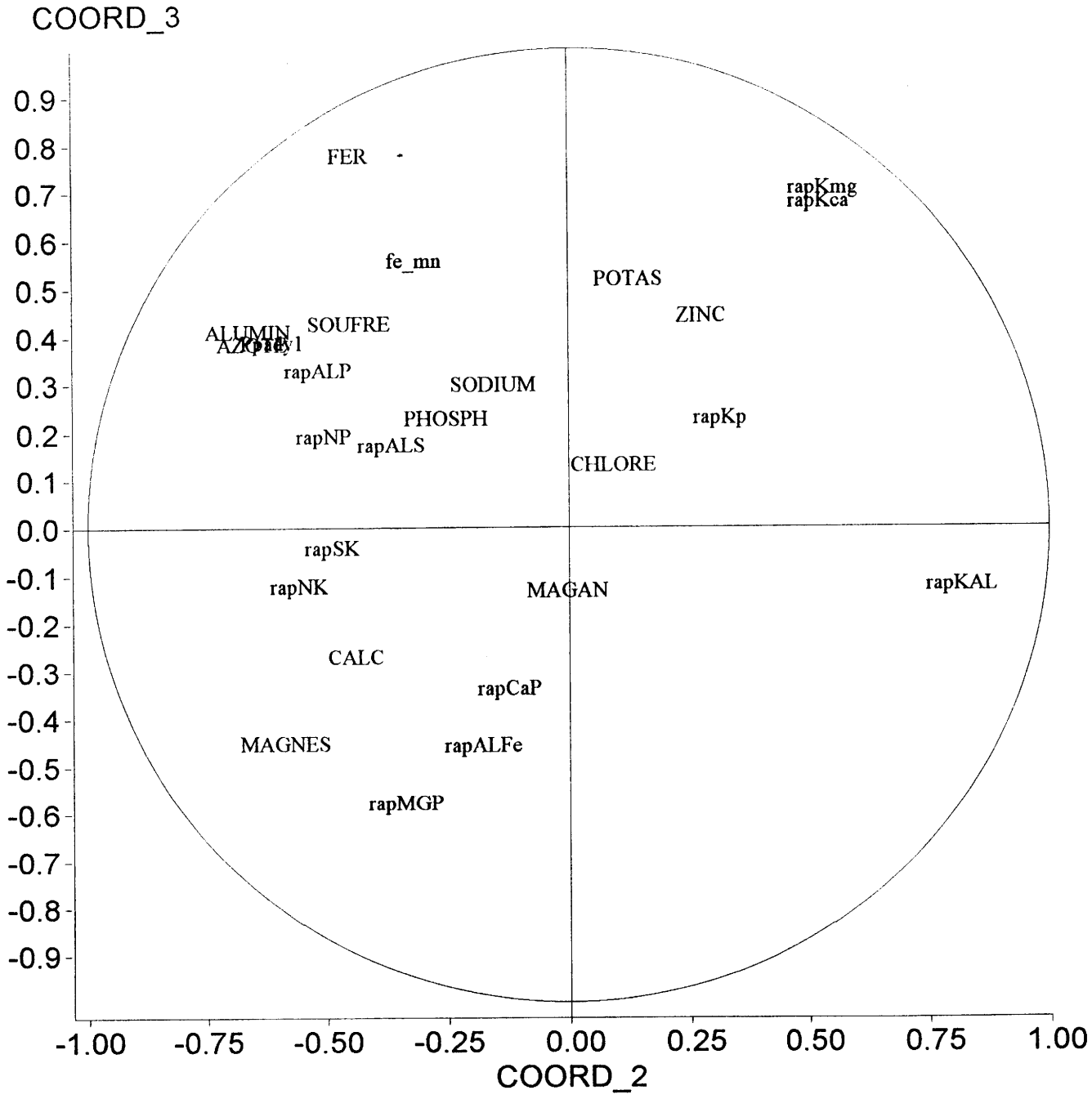
rapSK	84.9	0.113	0.013	0.46	0.215	0.046	2.44
rapCaP	93.6	-0.330	0.109	3.97	0.283	0.080	4.23
rapMGP	77.0	-0.227	0.051	1.86	-0.114	0.013	0.68
fe_mn	80.7	0.098	0.010	0.35	0.432	0.186	9.85
rapALFe	64.9	-0.232	0.054	1.95	-0.247	0.061	3.22
rapKAL	86.0	0.169	0.029	1.04	-0.068	0.005	0.24
rapALS	95.9	-0.190	0.036	1.31	-0.107	0.011	0.61
rapALP	95.6	0.020	0.000	0.01	0.109	0.012	0.63
rapNK	94.6	-0.095	0.009	0.33	0.246	0.061	3.21
TOTAL				100.00			100.00

UPPLEMENTAI RES		FACTEUR 01		FACTEUR 02		FACTEUR 03		FACTEUR 04		FACTEUR 05	
	QLT	COORD	COS2	COORD	COS2	COORD	COS2	COORD	COS2	COORD	COS2
Ppady1	15.1	0.168	0.028	-0.027	0.001	-0.295	0.087	0.149	0.022	0.112	0.012



rapSK	82.8	-0.132	0.018	0.61	0.161	0.026	1.20
rapCaP	93.8	-0.662	0.438	15.15	-0.088	0.008	0.35
rapMGP	77.2	-0.049	0.002	0.08	0.058	0.003	0.15
fe_mn	88.9	-0.187	0.035	1.22	-0.617	0.380	17.58
rapALFe	67.1	0.198	0.039	1.35	0.191	0.037	1.69
rapKAL	89.5	-0.289	0.083	2.89	0.176	0.031	1.44
rapALS	93.1	0.321	0.103	3.56	-0.343	0.118	5.45
rapALP	90.2	-0.048	0.002	0.08	-0.104	0.011	0.50
rapNK	94.0	-0.010	0.000	0.00	-0.062	0.004	0.18
TOTAL				100.00			100.00

SUPPLEMENTAI RES		FACTEUR 01		FACTEUR 02		FACTEUR 03		FACTEUR 04		FACTEUR 05	
	QLT	COORD	COS2	COORD	COS2	COORD	COS2	COORD	COS2	COORD	COS2
Ppady1	57.3	-0.043	0.002	-0.613	0.375	0.392	0.154	0.164	0.027	0.125	0.016



Analyse 3 : Résultats de l'Analyse Factorielle des Correspondances sur les parcelles tardives et représentation des variables dans le plan de l'axe 1 et l'axe 3

ANALYSE FACTORIELLE EN COMPOSANTES PRINCIPALES 04/01/1990 05:01:08

C:\MACINA\MACINAGG.WST (18 individus 25 variables)

Données centrées réduites

Variables actives	: 25	supplémentaires	: 1
Individus actifs	: 18	supplémentaires	: 0
Individus manquants	: 0	Hors norme	: 0

	VALEUR PROPRE	%	% CUMULE	HISTOGRAMME
001	7.601	30.405	30.405	==============================
002	5.622	22.487	52.892	======================
003	4.861	19.444	72.337	===================
004	2.568	10.272	82.609	==========
005	1.373	5.491	88.100	=====
006	1.025	4.102	92.201	====
007	0.669	2.677	94.878	==
008	0.449	1.796	96.674	=
009	0.360	1.440	98.114	=
010	0.251	1.004	99.118	
011	0.122	0.487	99.605	
012	0.039	0.155	99.761	
013	0.028	0.112	99.873	
014	0.017	0.067	99.939	
015	0.011	0.044	99.983	
016	0.003	0.013	99.996	
017	0.001	0.004	100.000	

TOTAL 25.000

LES VARIABLES

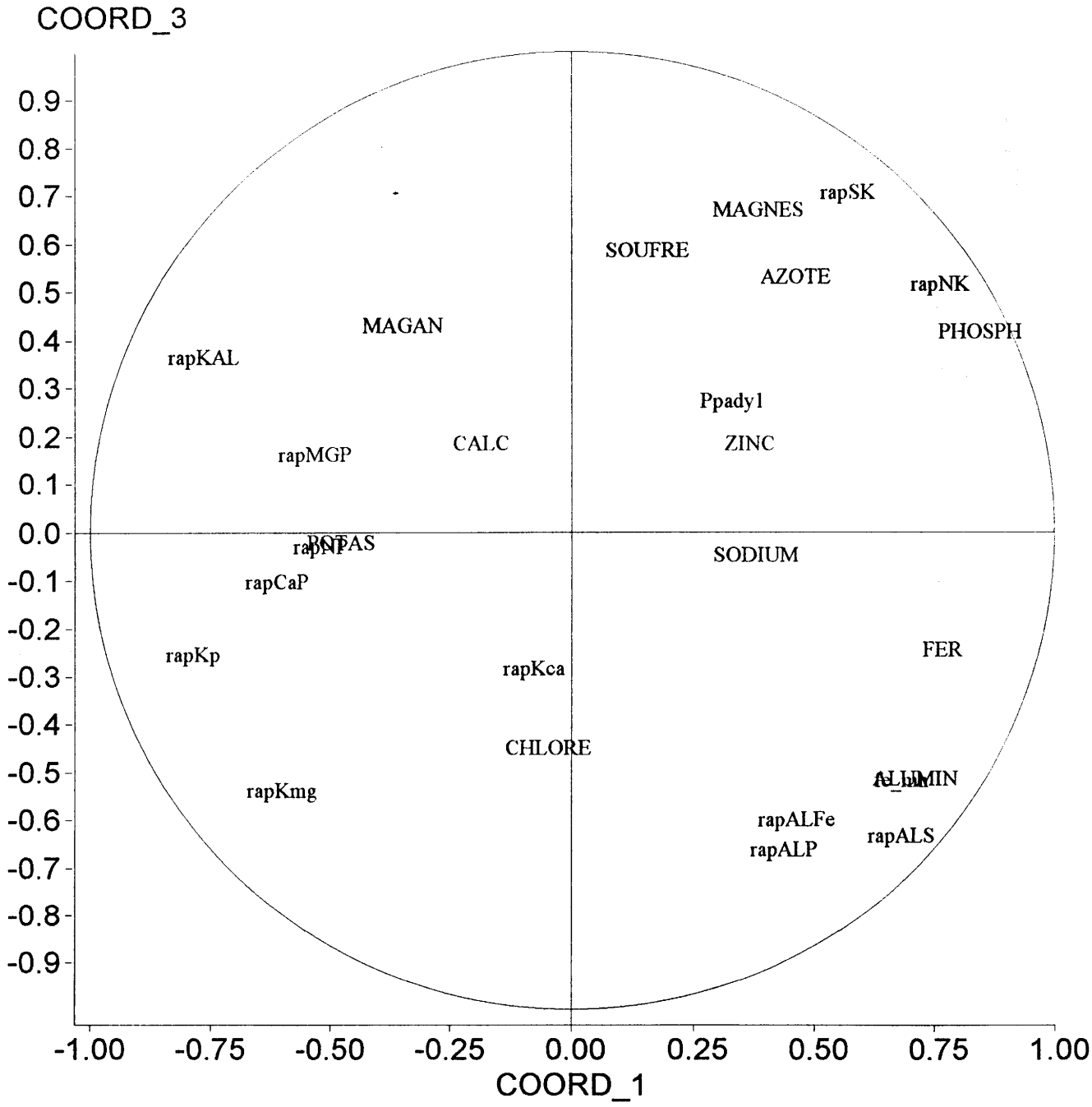
COORD : COORDONNEES DES VARIABLES SUR LES AXES
COS2 : COORD*COORD (COSINUS CARRES)
CTR : PART (en %) DE LA VARIABLE DANS LA CONSTRUCTION DU FACTEUR
QLT : QUALITE DE LA REPRESENTATION D'UNE VARIABLE SUR LES AXES SELECTIONNES

VARIABLES ACTIVES		FACTEUR 01			FACTEUR 02			FACTEUR 03		
	QLT	COORD	COS2	CTR	COORD	COS2	CTR	COORD	COS2	CTR
AZOTE	96.5	0.461	0.212	2.79	-0.520	0.270	4.80	0.534	0.285	5.86
PHOSPH	94.2	0.846	0.715	9.41	0.161	0.026	0.46	0.420	0.176	3.63
POTAS	92.0	-0.479	0.229	3.02	-0.717	0.514	9.14	-0.018	0.000	0.01
CALC	94.5	-0.187	0.035	0.46	-0.676	0.458	8.14	0.189	0.036	0.73
MAGNES	93.7	0.384	0.148	1.94	-0.495	0.245	4.36	0.673	0.454	9.33
SODIUM	65.7	0.379	0.144	1.89	-0.691	0.478	8.50	-0.044	0.002	0.04
CHLORE	50.6	-0.048	0.002	0.03	-0.243	0.059	1.05	-0.446	0.199	4.09
SOUFRE	93.5	0.156	0.024	0.32	-0.587	0.344	6.12	0.590	0.348	7.15
FER	80.8	0.767	0.588	7.73	-0.360	0.130	2.31	-0.242	0.058	1.20
MAGAN	63.8	-0.350	0.122	1.61	-0.555	0.308	5.47	0.435	0.189	3.89
ZINC	85.0	0.365	0.133	1.75	0.247	0.061	1.09	0.187	0.035	0.72
ALUMIN	95.1	0.711	0.505	6.64	-0.428	0.183	3.26	-0.511	0.261	5.36
rapNP	88.6	-0.522	0.272	3.58	-0.664	0.441	7.85	-0.025	0.001	0.01
rapKmg	91.3	-0.604	0.365	4.80	0.065	0.004	0.08	-0.534	0.285	5.86
rapKp	98.5	-0.787	0.619	8.15	-0.491	0.241	4.29	-0.250	0.062	1.28
rapKca	95.0	-0.077	0.006	0.08	0.300	0.090	1.60	-0.280	0.079	1.62
rapSK	89.9	0.568	0.323	4.25	-0.158	0.025	0.44	0.710	0.503	10.36
rapCaP	92.7	-0.613	0.376	4.95	-0.618	0.382	6.80	-0.099	0.010	0.20
rapMGP	91.6	-0.534	0.285	3.74	-0.676	0.458	8.14	0.166	0.027	0.56
fe_mn	83.8	0.682	0.465	6.12	0.225	0.051	0.90	-0.513	0.263	5.41
rapALFe	89.7	0.463	0.214	2.82	-0.497	0.247	4.40	-0.596	0.355	7.30
rapKAL	92.1	-0.765	0.585	7.69	0.444	0.197	3.50	0.369	0.136	2.80
rapALS	94.8	0.681	0.464	6.11	-0.274	0.075	1.34	-0.629	0.396	8.14
rapALP	96.7	0.435	0.189	2.49	-0.580	0.336	5.99	-0.658	0.433	8.91
rapNK	92.3	0.762	0.581	7.64	-0.004	0.000	0.00	0.519	0.269	5.53
TOTAL				100.00			100.00			100.00

VARIABLES ACTIVES		FACTEUR 04			FACTEUR 05		
	QLT	COORD	COS2	CTR	COORD	COS2	CTR
AZOTE	96.5	-0.307	0.094	3.66	0.323	0.104	7.59
PHOSPH	94.2	0.121	0.015	0.57	0.103	0.011	0.77
POTAS	92.0	-0.417	0.174	6.77	0.057	0.003	0.24
CALC	94.5	0.637	0.405	15.79	0.109	0.012	0.87
MAGNES	93.7	0.087	0.008	0.29	-0.288	0.083	6.03
SODIUM	65.7	-0.183	0.033	1.30	0.023	0.001	0.04
CHLORE	50.6	0.494	0.244	9.49	-0.041	0.002	0.12
SOUFRE	93.5	-0.466	0.218	8.47	0.040	0.002	0.12
FER	80.8	0.039	0.001	0.06	0.175	0.031	2.24
MAGAN	63.8	0.128	0.016	0.64	-0.053	0.003	0.21
ZINC	85.0	-0.221	0.049	1.90	-0.757	0.572	41.70
ALUMIN	95.1	-0.009	0.000	0.00	-0.041	0.002	0.12
rapNP	88.6	-0.354	0.126	4.89	0.215	0.046	3.37
rapKmg	91.3	-0.376	0.142	5.51	0.343	0.118	8.57
rapKp	98.5	-0.248	0.061	2.39	-0.035	0.001	0.09
rapKca	95.0	-0.859	0.738	28.73	-0.194	0.038	2.74
rapSK	89.9	-0.219	0.048	1.87	0.004	0.000	0.00
rapCaP	92.7	0.399	0.159	6.21	-0.010	0.000	0.01
rapMGP	91.6	0.036	0.001	0.05	-0.381	0.145	10.57

fe_mn	83.8	-0.134	0.018	0.70	0.204	0.042	3.04
rapALFe	89.7	-0.065	0.004	0.16	-0.277	0.077	5.58
rapKAL	92.1	0.018	0.000	0.01	0.050	0.003	0.18
rapALS	94.8	0.104	0.011	0.42	-0.040	0.002	0.11
rapALP	96.7	-0.054	0.003	0.11	-0.068	0.005	0.33
rapNK	92.3	-0.005	0.000	0.00	0.271	0.074	5.37
TOTAL				100.00			100.00

SUPPLEMENTAI RES		FACTEUR 01		FACTEUR 02		FACTEUR 03		FACTEUR 04		FACTEUR 05	
	QLT	COORD	COS2	COORD	COS2	COORD	COS2	COORD	COS2	COORD	COS2
Ppady1	30.8	0.328	0.108	0.070	0.005	0.276	0.076	-0.340	0.116	-0.062	0.004



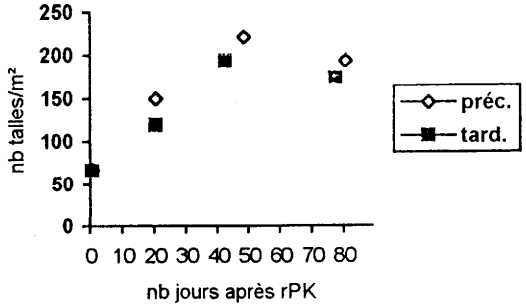
VI. 8. 2 - Teneur en azote

La teneur en azote dans la plante varie entre 1,67 % et 3, 95 % pour une moyenne de 2,55 % (C.V. 16 %) **ce qui est faible**. Rappelons que le seuil de déficience pour le riz est estimé à 2,5 % de la matière sèche pour une analyse de feuilles collectées au moment du tallage (Yoshida, 1981). La différence de teneur en azote entre repiquage précoce et repiquage est significative au seuil 0.001 avec une teneur en azote moyenne de 2,35 (CV 13 %) en repiquage précoce et 2,87 (C.V. 12.5 %) en repiquage tardif.

Les teneurs des éléments suivants N, P, K, Ca, Mg, Na et S sont significativement plus élevées en repiquage tardif qu'en repiquage précoce au seuil de 5 %. Les rapports N/P, K/Mg, S/K et Mg/P diffèrent également significativement. Ces différences sont particulièrement fortes (au seuil de 4 $^{0}/_{00}$) pour les éléments N, Mg, S et pour rapport S/K.

Il semble donc qu'il y ait des différences importantes dans le métabolisme de ces éléments selon la date de repiquage. Les repiquages tardifs, nous l'avons vu, s'accompagnent d'une croissance et d'un développement plus lent et d'une vitesse de tallage plus faible. L'accumulation de matière sèche est moins importante qu'en repiquage précoce (Figure 30).

Figure 30 : Évolution de la vitesse du tallage selon la date d'implantation



A quoi peut-être due une augmentation de la concentration en éléments minéraux dans les peuplement tardifs ?

- Il peut s'agir d'une augmentation des niveaux de prélèvement en éléments minéraux dans la solution du sol (vitesse de prélèvement) en repiquage tardif au moment du tallage, hypothèse qui paraît peu probable.

- Ces éléments minéraux peuvent se concentrer dans la plante avec la diminution de la matière sèche et ce en dépit de la limitation de la matière sèche en valeur absolue. Cela peut être notamment le cas de carence : en supposant que la plante prélève dans le milieu de façon précoce la majeure partie éléments P, K et S qu'elle peut récupérer (parce que les teneurs du sol ou de la solution du sol sont faibles), ces teneurs tendront à diminuer au fur et à mesure de l'augmentation de la matière sèche, et donc de la croissance de la plante. Plus cette croissance est importante, plus le taux est dilué dans la plante.

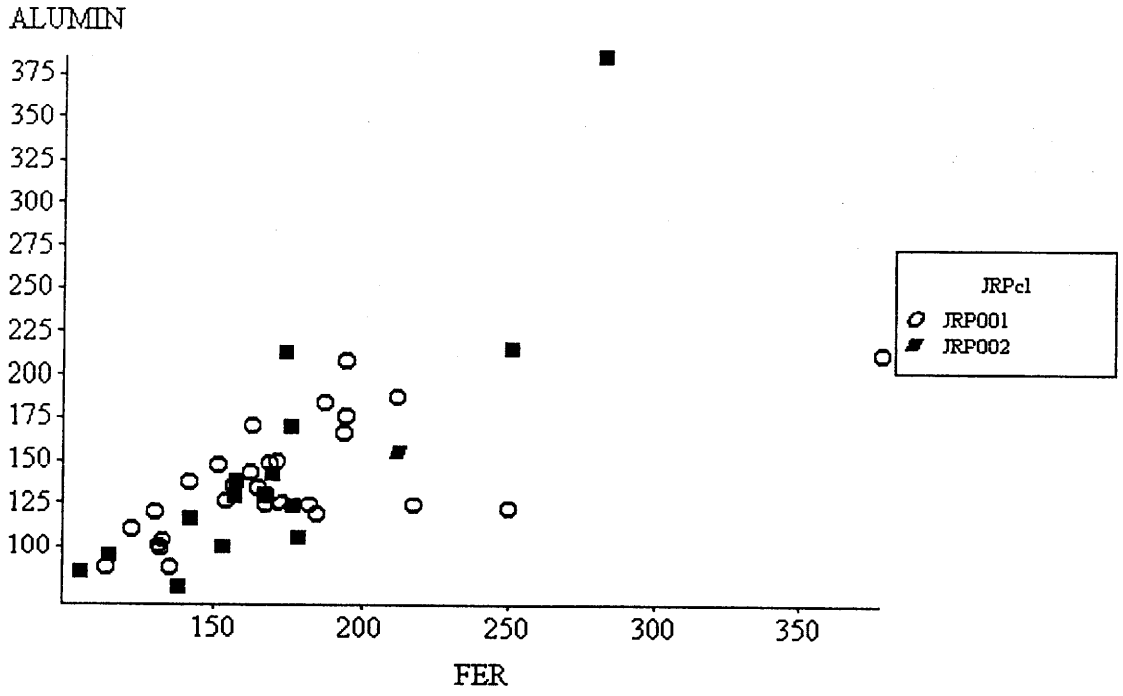
VI. 8. 3 - Une toxicité ferrique localisée ?

Une des hypothèses de limitation des rendements émise par la recherche était une toxicité ferrique, les taux de fer dans le sol pouvant être localement très élevés.

La teneur moyenne en Fe des échantillons de plantes est de 173 ppm variant entre 105 ppm et 378 ppm – C.V. de 41 %). 3 % des placettes ont des taux de Fe 255 ppm alors que le seuil de toxicité est estimé à 300 ppm (Yoshida S., 1981). On peut se demander si les niveaux particulièrement élevés de Fe observés dans ces 7 parcelles (notamment dans la placette 4b) ne sont pas liés à des contaminations au moment des prélèvements d'autant plus que ces placettes ne sont pas associées à des niveaux pH particulièrement bas (pH >5.5 sauf pour une placette 5B). Si on exclue ses placettes "litigieuse", il existe une corrélation négative avec le pH **mais très faible**. 4 bassins ont des teneurs en Fe supérieur à 200 ppm en moyenne (5a, 5b, 23a, 23b) mais les teneurs restent en dessous du seuil critique tant en moyenne qu'au niveau placette. Il n'y a pas de différence de teneur en Fe selon la date d'implantation. ***L'hypothèse d'une toxicité ferrique nous paraît très improbable***. Localement cependant, il est possible que de telles toxicités existent.

Il existe une corrélation entre la teneur en fer et en aluminium dans la plante (R^2 = 0,46) mais le niveau d'aluminium n'est pas lié au pH notamment au pH acide; la parcelle 23a se distingue par un taux d'aluminium particulièrement élevé susceptible d'entraîner une toxicité en aluminium. On ne met en évidence de relation entre le pH des sols et la teneur en aluminium (pH labo ou in situ).

Figure 31 : relation entre la teneur en fer et en aluminium dans les plantes



VI.9 - RELATION ENTRE TENEUR EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX ET L'ÉLABORATION DU RENDEMENT

VI. 9. 1 - Relation entre conduite technique et teneur en éléments minéraux

On peut se demander comment les modalités de conduites techniques, et notamment d'apport minéral affecte les concentrations en éléments dans les plantes.

La teneur en azote dans les feuilles tend à augmenter avec les apports d'engrais minéraux, notamment la deuxième fraction d'urée et le DAP. Il en est de même pour la teneur en Phosphore, le rapport K/P et S/K. Compte tenu de la période de collecte de l'échantillon (fin tallage/début initiation paniculaire), il est logique que la teneur en azote des plantes soit corrélée à la deuxième fraction d'urée. Les apports en P semble également joué sur le métabolisme des plantes. Notons cependant que les effets de la fertilisation minérale sont relativement peu marqués (faible de coefficient de corrélation inférieure à 30 %)

De forts apports d'engrais en pépinière tendent à diminuer les teneurs en potassium, en soufre, en N/P et K/P dans les plantes. Ces résultats doivent cependant être nuancés car il semble que les plus fortes doses d'engrais apportés en pépinières soit sur les moins "fertiles" (faible teneur en potassium). Cet effet est surtout sensible dans le cas des implantations tardives. Doses de semis en pépinières et teneur en soufre, azote, rapport S/K sont négativement corrélées. Une densité élevée de semis en pépinière, donc une forte concurrence précoce tend à décroître la teneur en S, N et S/K.

En ce qui concerne le potassium, les teneurs relatives (par rapport aux autres éléments minéraux) semblent plus significatives que la simple teneur en potassium. Pour le potassium comme pour le soufre, il semble que la teneur soit limité dès la conduite de la pépinière alors que des compensations tardives existent apparemment le l'azote et le phosphore. On peut donc penser qu'il existe des carences précoces en soufre et potassium, qui se traduisent par un déséquilibre de faibles teneurs en soufre dans la plante, un métabolisme de l'azote perturbé dès la phase de tallage et un déséquilibre dans le prélèvement du potassium.

On met en évidence un effet limité de la fertilisation minérale (urée fractionné, DAP) sur la teneur en azote et phosphore. Seule les apports de DAP et la deuxième fraction d'urée affecte les teneurs en azote et phosphore mais la variabilité des réponses est forte. Les CV des teneurs en azote et phosphore sont aussi importants (15 %) dans les parcelles témoin que dans les parcelles à fertilisation contrôlée. On met en évidence l'existence d'une compétition pour le soufre et le potassium qui interviendrait dès la phase de pépinière.

Figure 32 : Relation entre la densité de semis en pépinière (sempepdos) et la teneur en soufre dans les feuilles en fin tallage

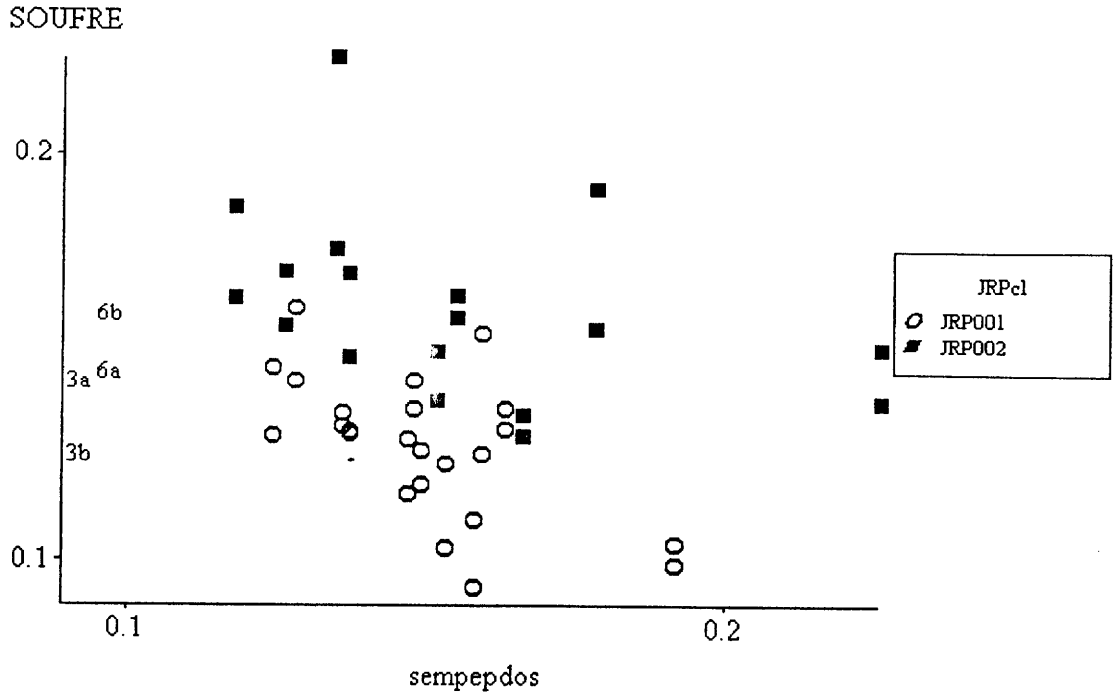
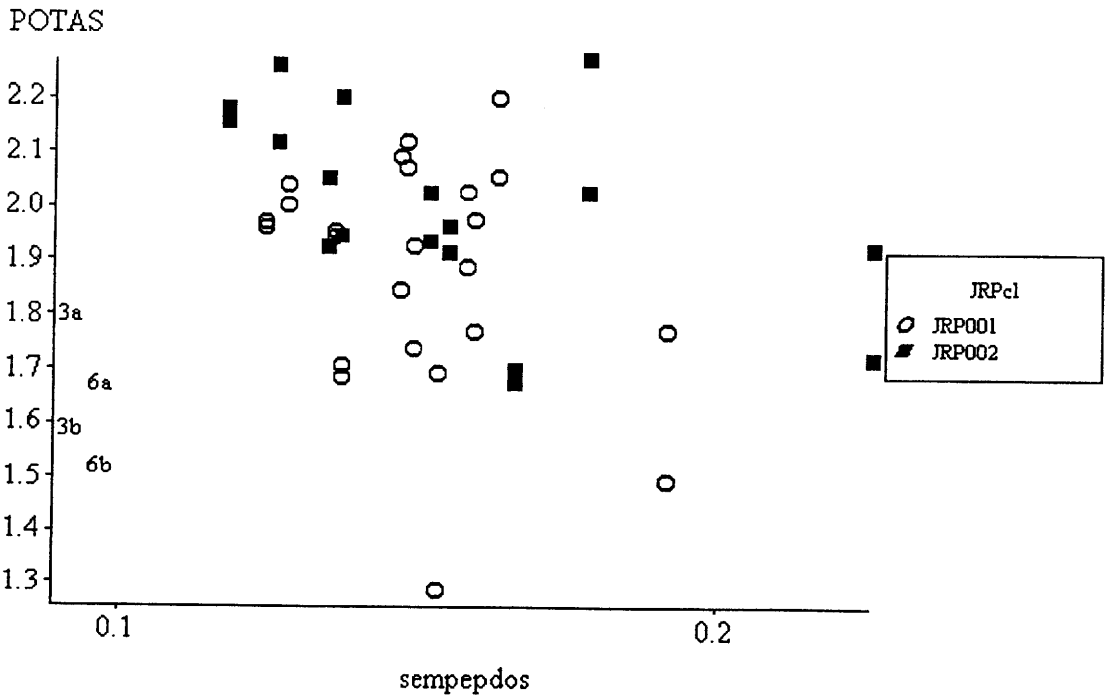


Figure 33 : relation entre la densité de semis en pépinière et la teneur en potassium dans la plante en fin tallage



VI. 9. 2 - Relation entre teneur en éléments minéraux, rendement et composantes du rendement

a) Relation avec le rendement final

Les corrélations entre rendement et teneur en éléments minéraux sont présentées dans le tableau suivant. Elles sont relativement faibles.

Tableau 15 : Coefficient de corrélation linéaire entre le rendement en grain à 14 % d'humidité (Ppady1) et la teneur en éléments minéraux selon la date d'implantation.
Seules les corrélations significatives sont prises en compte

	Précoce	Précoce et fertilisat° contrôlée	Tardif	Tardif et fertilisat°contr
Teneur en azote	$R^2 = 0,27$ ***	0.36*		
Teneur en P	$R^2 = 0.17$ *			
Teneur en soufre	$R^2 = 0.31$ ***	0.53**	$R^2 = 0.20$ *	0.47*
Teneur en fer	$R^2 = 0.41$ **			
Teneur en Al	$R^2 = 0.46$ ***			
Rapport S/K	$R^2 = 0.10$ *		$R^2 = 0.35$ **	
Rapport N/S	*	0.50**		

*Significatif *** au seuil de 1 ‰ ** de 1 % * de 10 %*

En repiquage précoce, le rendement est corrélé positivement à différents éléments comme l'azote, le soufre, le phosphore, le fer, l'aluminium, et le rapport S/K. Nous avons vu qu'il existe de bonnes relations entre azote, soufre, rapport S/K. Les corrélations sont relativement faibles *mais elles sont meilleures si on élimine la variabilité liée à la fertilisation* (analyse sans les bassins témoins) en dépit d'un nombre plus faible d'individus (ce qui se traduit par une signification de la corrélation moins bonne).

La corrélation avec le soufre existe en repiquage précoce comme tardif. Notons qu'on ne met pas en évidence de corrélation linéaire entre le potassium et le rendement en grains. En revanche le rapport S/K est linéairement corrélé au rendement en repiquage tardif comme en repiquage précoce.

Le rapport K/Al est également bien corrélé au rendement en grains en dehors de quelques parcelles (14a, 14b-zone de fertilité C- 21a 23a et 23b - zone de fertilité. On peut également penser à des interactions avec le soufre : il existe une corrélation faible mais positive entre le rapport Al/S et le rendement.

b) Cas des implantations précoces

L'analyse des corrélations linéaires entre teneur et composantes du rendement sont récapitulées dans le tableau suivant. Ne sont répertoriées que les corrélations significatives. Des corrélations ponctuelles existent (comme le % de stérilité des grains avec Mn) mais elles sont faibles et peu significatives. Ce tableau met en évidence l'existence *de différentes corrélations faibles entre N, S et les rapports N/K, K/Al et N/S* et les composantes du rendement.

Figure 34 : Corrélations linéaires entre teneur en éléments minéraux et composantes du rendement dans 18 bassins implantés avant le 15 août

	Nb tal./m² 20 j	Nb tal/m² IP	Nb panic/m²	Nb fl./panicule	% stérilité	PMG
% N				**0.24*** **		
% P						
% K						
% mg						
% S		0.10*	0.15**	**0.32*** **	0.15**	0.15*
Al		0.22**	0.22***	**0.32*** **		0.12**
Fe					0.11*	0.11*
N/P		-				
K/P						
S/K				0.14**		
K/al		0.14**	0.21**	0.29***	0.11*	
N/S	0.15*	0.14**				0.17**

Tableau 16 : Coefficient de corrélation entre composantes du rendement et teneur en éléments minéraux sur les 14 bassins modalité de fertilisation contrôlée (implantation précoce)

	Nb tal./m² 20 j	Nb tal/m² IP	Nb panic/m²	Nb fl./panicule	% stérilité	PMG
% N				**0.55*** **	0.35**	
% P						
% K						
% mg						
% S			0.30**	**0.56*** **	**0.47*** **	0.42**
N/P					0.41**	
K/P						
K/S						
K/al						
N/S	0.41**	0.22*	0.28**	0.35**	0.37**	**0.62*** **
K/Mg					0.26*	
al			*		*	
Mn	0.37**	0.42**				0.30**

Toutes les composantes du rendement sont liées au taux de soufre dans la plante et/ou au rapport N/S.

Les corrélations sont cependant très faibles aussi nous avons analysé ces relations en éliminant le facteur de variabilité lié à la fertilisation (c'est à dire en ne travaillant que sur les 14 bassins où la fertilisation était contrôlée dans le cas des implantations précoces). On met en évidence les mêmes relations linéaires mais les coefficients de corrélation sont meilleurs en dépit d'un plus faible nombre d'individus. *Ainsi, la variabilité de la teneur en soufre dans la plante explique 56 % de la variabilité du nombre de fleurs/panicule, du taux de stérilité et 42 % de la variabilité de PMG,53 % de la variabilité du rendement, à même niveau de fertilisation minérale*, dans les parcelles implantées à temps.

L'analyse du graphe N/S et PMG (Figure 35) permet de dégager deux groupes de parcelles "à temps".

- Celles pour laquelle, le rapport N/S est supérieur ou égal à 18 avec des PMG faibles (moins de 27 g (courbe A) :
- Celles pour lequel le rapport N/S est limité (inférieur à 18) avec un PMG élevé

Or, nous avons vu que dans les bassins précoces, les poids de 1000 grains forts étaient associés à un fort nombre de grains/m² donc un nombre de fleurs/panicule élevé et un nombre de panicules/m² faible à moyen. En revanche les PMG faibles sont associés à des faibles nombres de fleurs/panicule et de très faibles nombres de panicules/m². On peut donc penser que les phénomènes de compensation tardive (rattrapage du faible nombre de panicules/m² par un nombre de sites mis en place à la floraison élevé et un remplissage suffisant des grains) sont possibles dans les plantes pour lequel le rapport N/S à l'initiation paniculaire est limité (inférieure à 19). Plus la teneur en soufre par rapport au taux d'azote est élevé, plus des possibilités de compensation. Ceci correspond plutôt des rapports N/K faibles c'est à dire à une plus grande concentration relative en potassium qu'en azote. On met en effet en évidence une liaison linéaire entre les rapports N/S et N/K (R^2=0.40, $p<5$ % pour les parcelles précoces). Rappelons que Veldkamp et al (1991) déterminent le seuil de déséquilibre su rapport N/S à un minimum de 15 (stade tallage maximum, partie aérienne).

Parmi les principaux élément minéraux, **seul l'azote est déterminant sur le nombre de fleurs par panicule** ce qui est logique : Les prélèvements ont été effectués sur des feuilles en fin tallage/début initiation paniculaire c'est à dire au moment ou peu avant la différenciation des épillets. Rappelons que les teneurs en azote sont voisines ou inférieure du seuil de carence dans près de la moitié des parcelles suivies.

Notons que la teneur en aluminium ou la teneur relative Al/K affecte faiblement la plupart des composantes. Ces corrélations semblent lié à, la variabilité des niveaux de fertilisation. Si on élimine la variabilité due à la fertilisation (en ne travaillant que sur les bassins à même niveaux et date d'application) ces relations entre Al, K/Al n'apparaissent plus.

Figure 35 : Relation entre le rapport N/S et le poids de 1000 grains dans les parcelles précoces

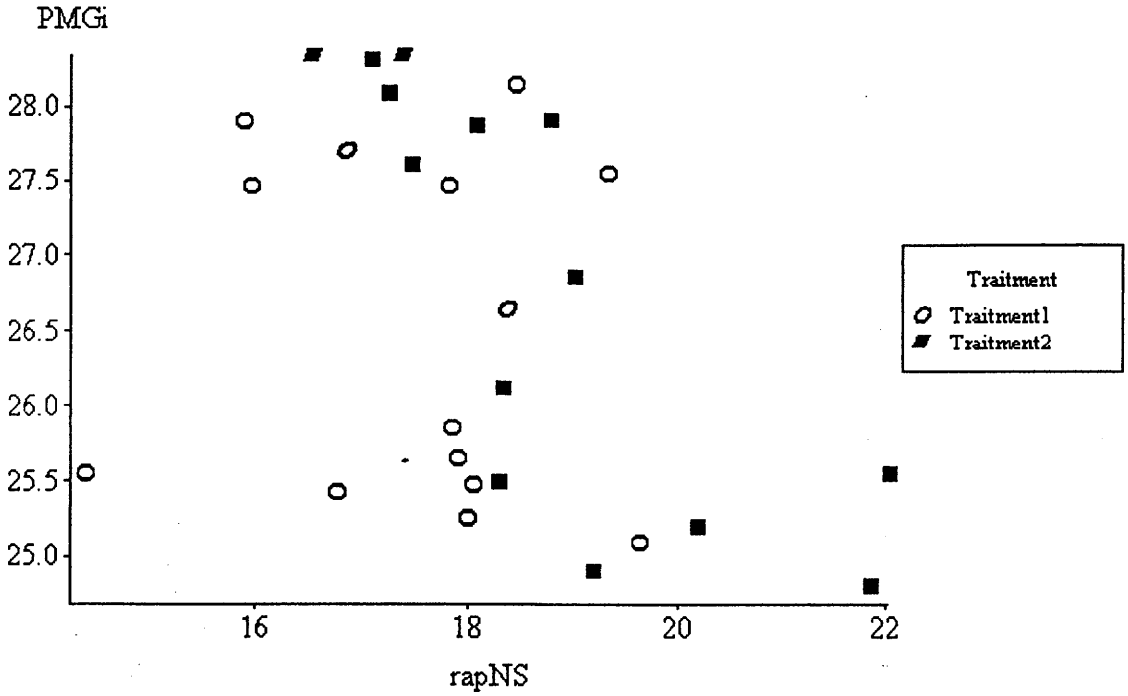
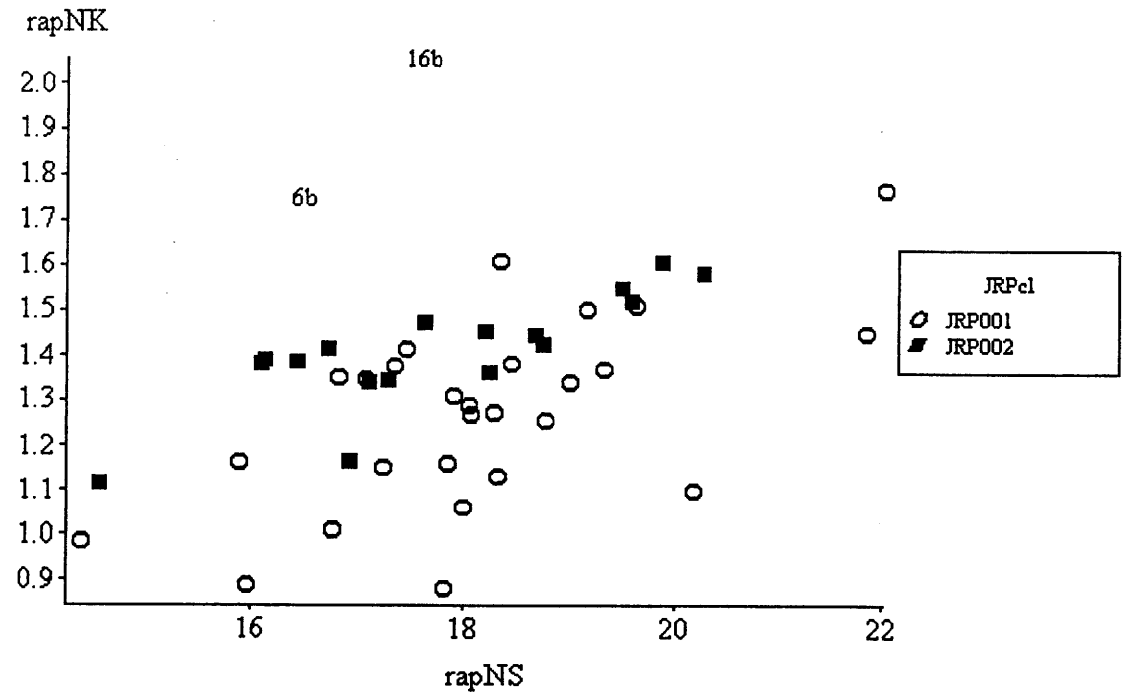


Figure 36 : relation entre le rapport N/S et le rapport N/K selon la date d'implantation



c) Cas des implantations tardives

De la même façon presque toutes les composantes du rendement, en dehors du taux de stérilité sont affectées positivement par la teneur en soufre ou par le rapport N/S. Ainsi le rapport N/S explique près de 62 % de la variabilité du nombre de panicules/m² dans les parcelles tardives. Le nombre de panicules/m² dépend également de la teneur en azote et le nombre de fleurs/panicules est lié à la teneur en P, en K et au rapport P/K.

Si on ne considère que les parcelles à fertilisation contrôlée (9 cas) la teneur en soufre explique 88 % de la variabilité du nombre de panicules/m² et le rapport S/K près de 70 % tandis quel nombre de fleurs/panicules est corrélé au rapport N/P (R^2 = 75 %).

d) Conclusion

On retiendra que quelle que soit la date d'implantation, toutes les composantes du rendement sont corrélées significativement au rapport à la teneur en soufre ou au rapport N/S. Si on élimine la variabilité liée aux pratiques de fertilisation en ne travaillant que sur les bassins à fertilisation contrôlée, la part de la variabilité du rendement expliqué par la teneur en soufre ou le rapport N/S augmente.

La teneur relative en potassium (par rapport à la teneur en N, en Al, en phosphore) contribue également à expliquer la variabilité de certaines composantes du rendement.

Figure 37 : Coefficients de corrélation linéaire entre la teneur en éléments minéraux et les composantes du rendement dans les 18 bassins implantés après le 15 août

	Nb tal./m² 20 j	Nb tal/m² IP	Nb panic/m²	Nb fl./panicule	% stérilité	PMG
% N			**0.40*** **			
% P			0.20*	0.25**		
% K				0.29**		
% mg			0.31**			
% S	0.19*	**0.37*** **	**0.56*** **			0.17*
N/P				0.20*	0.21*	
K/P				0.36***	0.21*	
K/S						0.27**
K/al						
N/S		0.32**	0.62***	0.24**		

Tableau 17: Coefficient de corrélation (R^2) entre la teneur en éléments minéraux et composantes du rendement dans 9 bassins à fertilisation contrôlée implantée après le 15 août

	Nb tal./m² 20 j	Nb tal./m² IP	Nb panic/m²	Nb fl./panicule	% stérilité	PMG
% N			**0.77*** **			
% P						
% K						
% mg			**0.74*** **			
% S	0.35*	0.49**	**0.88*** **			0.37*
N/P				**0.75** **		
K/P				0.37*		
K/S						
K/al					0.49**	
N/S	0.37*	0.52**				
K/Mg			0.40*			
S/K			**0.70*** **			
Mg/P				0.41*		
al					*	
Zn					*	
Mn			0.41*			