

Contrat de Recherche S.S.T.C. NP/42/023
Plan d'appui scientifique à une politique de Développement durable
Appui scientifique à la recherche prénormative dans le secteur alimentaire dans un contexte
de développement durable

Gestion intégrée de l'azote en cultures arables et normes nitriques

Rapport d'activité final

Ministère de l'Agriculture et des Classes Moyennes
Centre de Recherche Agronomique de Gembloux
Département Production Végétale
Monsieur Marc Frankinet (Chef de Département)
Madame Sophie Renard (Assistante)

Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux
Unité d'Hydraulique Agricole
Madame Sylvia Dautrebande (Professeur titulaire)
Monsieur Christophe Casse (Assistant)

TABLE DES MATIERES

I.	RESUME OPERATIONNEL EN FRANÇAIS ET EN ANGLAIS	P 1
II.	INTRODUCTION	P 4
III.	RESULTATS	P 6
PARTIE REALISEE PAR LE DEPARTEMENT PRODUCTIONS VEGETALES		
III.1.	Résultats des essais menés en 1998	p 7
III.1.1.	Betteraves sucrières	p 7
III.1.2.	Maïs ensilage	p 12
III.1.3.	Cultures maraîchères	p 13
	a) Epinard de printemps	p 13
	b) Choux de Bruxelles	p 15
III.1.4.	Conclusions pour l'année 1998	p 16
III.2.	Résultats des essais menés en 1999	p 17
III.2.1.	Betteraves sucrières	p 17
III.2.2.	Maïs ensilage	p 22
III.2.3.	Cultures maraîchères	p 22
	a) Epinard	p 22
	b) Haricot Mangetout	p 24
III.2.4.	Conclusions pour l'année 1999	p 16
III.3.	Résultats des essais menés en 2000	p 28
III.3.1.	Betteraves sucrières	p 28
III.3.2.	Maïs ensilage	p 32
III.3.3.	Froment d'hiver	p 42
III.3.4.	Cultures maraîchères	p 43
	a) Epinard de printemps	p 43
	b) Fève de marais	p 43
III.3.5.	Conclusions pour l'année 2000	p 45
III.4.	Résultats annexes	p 46
III.4.1.	Betteraves sucrières	p 46
III.4.2.	Maïs ensilage	p 46
III.4.3.	Pomme de terre	p 50
III.5.	Synthèse des essais menés par le Département en culture de pomme de terre et en froment d'hiver	p 55
III.5.1.	Cas des céréales (froment d'hiver)	p 55
III.5.2.	Cas des pommes de terre	p 61
PARTIE REALISEE PAR L'UNITE D'HYDRAULIQUE AGRICOLE		
IV.	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	P 71
PARTIE REALISEE PAR LE DEPARTEMENT PRODUCTION VEGETALES		
PARTIE REALISEE PAR L'UNITE D'HYDRAULIQUE AGRICOLE		
BIBLIOGRAPHIE		
ANNEXES		

RESUME OPERATIONNEL

Dans un contexte d'agriculture durable et de normalisation en matière d'environnement, le Département Production Végétale du Centre de Recherches Agronomiques de Gembloux, a développé une recherche principalement axée sur les problèmes de pollution des nappes phréatiques par le nitrate d'origine agricole. Il est en effet clairement apparu qu'une exagération de la fumure azotée des cultures conduisait dans tous les cas, outre à un surcoût en engrais, à un reliquat important d'azote dans le sol juste après la récolte, qui s'enrichit encore en automne de la minéralisation des résidus de culture entre autre. Ce reliquat est susceptible d'être entraîné en profondeur de part la solubilité élevée des ions nitrates dans l'eau.

La démarche d'étude que nous avons adoptée visait à proposer un outil utile à la gestion de la fumure azotée des principales cultures arables en Belgique. Notre choix s'est porté sur le logiciel AZOBIL de conseil de fumure azotée (INRA, Laon France) déjà étudié depuis 1994 par le Département Production Végétale en céréales, en betteraves sucrières et en pomme de terre principalement. La validation de l'outil reposait sur les paramètres de rendement en terme quantitatif et qualitatif (pas de pénalisation du rendement après ajustement de la fumure azotée) et de reliquat d'azote dans le profil du sol juste après la récolte de la culture.

Les essais ont été menés sur les principales cultures arables en Belgique dont les risques connus en terme de pollution par les nitrates s'accroissent de la sorte : froment - betterave sucrière – maïs ensilage - pomme de terre – cultures légumières de plein champ. Les résultats montrent que l'utilisation du logiciel AZOBIL ne conduit pas à une pénalisation du rendement, quelle que soit la culture étudiée. En outre, dans la plupart des cas, nous avons mesuré une réduction effective des quantités d'azote présentes dans le profil après culture . Dans certains cas, il s'agit d'emblée d'une quantité d'azote moins élevée dans le profil de sol et dans d'autres, il s'agit d'une masse de résidus végétaux (ex. feuilles de betteraves) moins abondante et donc moins polluante en terme d'enrichissement du profil du sol en nitrate potentiellement lessivable en profondeur.

Au terme de cette étude, nous pouvons avancer plusieurs conclusions. La gestion de la fumure azotée, quoique complexe peut être affinée par un outil tel que le logiciel AZOBIL. Son utilisation est bénéfique pour l'environnement puisqu'il conduit toujours à une réduction des doses appliquées par la pratique et ne pénalise pas son utilisateur. En outre, AZOBIL est convivial et peut être adapté en fonction de paramètres locaux. Cette souplesse permet d'affiner encore le conseil. Bien entendu, il reste certains points plus difficiles à gérer, comme la prise en compte des matières organiques en terme de contribution en azote minéral durant la période de culture. L'étroite relation qui relie la minéralisation à la température conduit à une incertitude. Néanmoins, l'analyse régulière des contributions en azote des matières organiques appliquées sont des éléments qui permettent de préciser le conseil. Nous avons également constaté un manque de précision du logiciel pour les cultures légumières de plein champ. Le logiciel AZOBIL a d'abord été conçu pour les grandes cultures. Sous peu, des informations complémentaires seront diffusées par l'INRA de Laon. En outre, le Département Production Végétale étudie également aussi ce point. Les cultures légumières sont également très sensibles aux aléas climatiques.

Au cours de ces recherches, nous avons également mis en évidence la nécessité d'une gestion de la fumure azotée à l'échelle de la rotation. Des situations pour lesquelles un excès manifeste d'azote dans le sol a été mesuré ne peuvent pas être corrigées après une année et il est nécessaire de gérer sur l'ensemble des cultures.

La législation wallonne actuelle en matière de résidus d'azote dans le sol reste trop globale. En effet, l'arrêté ministériel du Gouvernement wallon du 14 mars 1995 fixe à 50 kg N/ha les quantités d'azote minéral autorisées sur les soixante premiers centimètres du sol. Nos recherches montrent que des adaptations doivent être réalisées en tenant compte non seulement du type de culture (épinard ≠ betterave sucrière) mais aussi de la forme du profil de sol mesuré (excès d'azote dans le bas ou dans le haut du profil) et de la rotation (potentiel de la culture suivante à prélever l'azote en excès). En ce sens, les propositions faites par la Région à l'Europe pour l'application de la Directive Nitrate constituent une avancée notamment en ce qui concerne la notion d'azote potentiellement lessivable (APL) dans le profil du sol. Un APL maximum (seuil de taxation) serait défini annuellement en fonction du climat, du type de culture ou de sol en se basant sur une enquête réalisée dans des situations représentatives.

Summary

In the frame of sustainable agriculture and environmental normalisation, the Crop Production Department of CRA Gembloux has developed a research focused on the risks of enrichment of groundwater through nitrate coming from agricultural activities. Indeed, it clearly appears that an excessive nitrogen fertilisation always leads, in addition to higher costs, to high nitrogen residues in the soil at harvest, also increased by mineralisation process of crop residues in autumn, among other sources.

Our approach is to propound a tool for the management of nitrogen fertilisation of main crops in Belgium. We have choice the software AZOBIL (INRA, Laon France) studied since 1994 in our Department essentially in cereals, sugar beet and potato crops. To validate AZOBIL we have considered the crop yield in term of quantity and quality (no yield decrease due to nitrogen management) and mineral nitrogen residues in the soil at harvest.

Field trials were conducted on main crops in Belgium, for which nitrate leaching risks are well known and increase from winter wheat to sugar beet to silage maize to potato and to vegetable crops. Results shows that the use of AZOBIL does not lead to yield decrease, whatever the crop. Moreover, in most of the situations, we have measured, for AZOBIL treatment, a diminution of soil mineral nitrogen residues at harvest. In some cases, it corresponds to less nitrogen in the soil profile and in other cases, crop residues are less abundant and then less pollutant in term of enrichment of soil profile by potentially leachable nitrate in depth.

To conclude this study, the following recommendations can be propound. Although its complexity, the nitrogen fertilisation management can be improved by a software like AZOBIL. Its use is beneficial for the environment since it leads always to a reduction of the nitrogen rate usually applied by farmers and since it does not penalize the user. Moreover, AZOBIL is easy to run and can be adapted in function of local conditions, which still allow to precise the nitrogen advice. Nevertheless the management of some elements remains difficult, like the consideration of the real contributions of manures in term of mineral nitrogen during the crop period. The close relation between mineralisation and temperature give rise to uncertainties but the regular analyses of manure to determine their nitrogen concentrations can help to give a more accurate advice. A lack of precision is also monitored when AZOBIL is used for field vegetable crops. AZOBIL were initially designed for arable main crops. More information will be soon given from INRA of Laon for vegetables. Moreover, our Department begin a new research project on this problematic. Particular attention must also be paid to the high sensitivity of vegetable crops to climatic conditions.

During this work, we have demonstrated the usefulness of the management of nitrogen fertilisation at the rotation scale. Situations for which a great excess of nitrogen in the soil is monitored can not be corrected after one year but it is necessary to consider the whole crops rotation.

The actual Walloon legislation concerning mineral nitrogen residues in the soil is not sufficiently detailed. Indeed, the Ministerial law of the Walloon Government of the 14th of March 1995 determines at 50 kg N/ha the quantity on mineral nitrogen acceptable on the first 60 centimetres of the soil profile. Our researches shown that adaptations must be realised taken into account not only the crop species (f.i. spinach is different from sugar beet) but also the pattern of the soil profile (excess in the top or in the lower part of the profile) and the rotation (estimate the potential of the following crop to absorb nitrogen). In this way, the recent propositions of the Walloon Region to the European Commission in the frame of the application of the Nitrate Directive are a novelty in terms of potentially leachable nitrogen (PLN) in the soil profile. A maximum PLN (taxation level) would be annually defined in function of information on weather conditions, crops and soil texture collected in basic representative situations.

INTRODUCTION

I. INTRODUCTION

Pour assurer sa durabilité, l'agriculture doit développer des méthodes de production intégrée dont l'objectif de rentabilité doit être compatible avec le maintien des équilibres naturels et de la fertilité des sols, ainsi qu'avec la limitation des pertes en éléments fertilisants et matières actives phytosanitaires dans l'environnement.

Un des problèmes majeurs liés à l'agriculture intensive, est l'enrichissement en nitrate des eaux destinées à la consommation humaine. Dans ce contexte, des normes de plus en plus contraignantes et précises se mettent en place. Guidés par la directive C.E. 80/778 fixant une teneur maximale de 50 mg de nitrate par litre dans l'eau de distribution et alertés par une hausse régulière des teneurs des eaux actuellement exploitées, les décideurs politiques ont attribué une responsabilité à l'agriculture. La législation mise en place (directive C.E. 91/676 et arrêté du Gouvernement wallon du 5 mai 1994) définit les pratiques à encourager ou au contraire à proscrire, fixe les zones à protéger, les quantités maximales d'engrais à épandre et les modalités de surveillance. Complémentairement, des programmes de désintensification de la production agricole et de la réduction d'intrants (règlement C.E. 2078/92) ont vu le jour. Les subventions accordées dans ce cadre sont liées à un cahier des charges basé sur un reliquat d'azote minéral présent après récolte, inférieure à 50 kg N/ha sur 60 cm de profondeur de sol (arrêté ministériel du 14 mars 1995) ou subordonnés à l'établissement de plans de gestion rendant obligatoires les adaptations des niveaux de fumure sur base du bilan prévisionnel des besoins des plantes et des fournitures du sol (arrêté du Gouvernement wallon du 08 décembre 1994). Ainsi, l'évolution actuelle de la législation laisse prévoir que dans des délais plus ou moins courts, l'adoption de tels plans sera rendue quasi obligatoire pour toutes les terres agricoles et que de nouvelles normes, basées comme en Allemagne sur une teneur maximale en azote minéral dans le sol, verront le jour (Isermann, 1990). A ce sujet, les propositions récentes faites par la Région à l'Europe dans le cadre de la Directive Nitrate vont plus loin. En effet, la définition de la notion d'azote potentiellement lessivable dans le profil du sol (APL) pourrait conduire à fixer un seuil de taxation en tenant compte du climat de l'année, du type de culture et du type de sol sur base d'une enquête réalisée dans des situations pratiques.

Dans ce contexte, il convient de s'interroger sur la pertinence des conseils de fumure basés sur un bilan prévisionnel par parcelle pour minimiser la part d'azote minéral, issu aussi bien de la fumure que de la minéralisation de la matière organique du sol, non utilisée par la plante et sur la possibilité d'édicter une norme relative aux reliquats d'azote minéral après récolte.

La nécessité de standardiser les conseils de fumure a conduit l'équipe de Machet et Dubrulle (1990) à modéliser la méthode du bilan prévisionnel (Rémy, 1981). Le programme AZOBIL, mis au point pour le Nord de la France et déjà été utilisé en Wallonie par le réseau Requasud (campagnes annuelles betterave-pomme de terre), par l'introduction de résultats d'analyses et de renseignements pris auprès des agriculteurs, de paramètres édaphiques, du passé agronomique de la parcelle, des caractéristiques propres à la culture (variété, date et densité de semis) et de la fourniture d'azote par le sol, estimée notamment à partir d'une analyse de sol en fin d'hiver (fiche de renseignements AZOBIL, analyse texturale et analyse nitrates dans le sol avant culture en ANNEXES).

En ce qui concerne la normalisation du reliquat d'azote minéral après culture, plusieurs éléments sont à considérer. Ainsi, de nombreuses expérimentations ont montré que pour les cultures de betterave et de céréales, le niveau du reliquat nitrique mesuré à la récolte est un bon indicateur d'une fumure économiquement optimale (Goffart *et al.*, 1992). Il n'en est cependant pas de même pour d'autres plantes comme la pomme de terre ou le colza. En effet, la minéralisation se poursuit, et peut même s'intensifier, durant leur période plus ou moins longue de maturation, pouvant conduire à une répartition en profondeur du reliquat nitrique. En outre, dans le cas des légumineuses (graines ou des cultures maraîchères, qui sont en forte extension en Hesbaye, le reliquat est toujours élevé (Demyttenaere *et al.*, 1992). Ajoutons à cela que les conditions climatiques après récolte et jusqu'au 15 novembre environ sont souvent particulièrement favorables à la minéralisation. De ce fait, le profil s'enrichit en azote minéral proportionnellement au statut organique du sol et à la quantité d'azote organique, très labile, contenue dans les racines et les résidus de culture précédente, ainsi que dans la flore microbienne. C'est pourquoi l'implantation d'une culture ou d'un engrais vert immédiatement après récolte s'avèrent particulièrement efficaces pour prélever ces nitrates à l'automne (Ninane *et al.*, 1995). Parallèlement, la dénitrification qui peut se poursuivre pendant l'hiver diminue le stock minéral.

Il apparaît donc que le reliquat mesuré à la récolte, utilisé dans certains cas comme un indicateur d'une fumure économiquement optimale, n'est pas un critère suffisant pour estimer le risque de lessivage hivernal du nitrate. C'est en effet surtout le stock de nitrate présent dans le sol en début d'hiver et sa répartition dans le profil, directement liés à la succession des cultures, au climat et au type de sol, qui déterminent ce risque.

Par ailleurs, des modèles mathématiques de lessivage du nitrate dans les sols permettent de calculer les quantités entraînées hors de portée de la zone racinaire et, dès lors, susceptibles de polluer les

nappes. Le modèle EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator, US Departement of Agriculture), en particulier, semble bien adapté pour estimer les pertes nitriques à partir de situations agronomiques (Tuller & Cepuder, 1995). Il a été validé dans nos régions au cours d'une étude sur la pollution par le nitrate de la nappe aquifère de Hesbaye (Programme Action-Hesbaye, 1996). Par conséquent, la définition d'un indicateur pertinent du risque de pollution des eaux par le nitrate à partir des sols agricoles doit intégrer les données déjà disponibles sur l'évolution des teneurs en azote minéral du sol et de leur répartition pendant la période automne-hiver et de simuler le lessivage des divers scénarios possibles (climatologie, types de sol, rotations des cultures...). Cette démarche vise à définir des situations critiques et à proposer ensuite des valeurs seuils de teneurs en nitrates au delà desquelles il serait dangereux de se situer avant la période de drainage hivernal.

L'objectif de ce projet est donc de vérifier qu'un conseil de fumure basé sur le bilan prévisionnel AZOBIL des besoins des plantes et des fournitures du sol optimise le rendement et minimise la quantité d'azote minéral présent dans le profil après la récolte, en vue d'être l'objet de normes. Il s'articule autour de 4 grandes étapes (dont le détail est repris dans le cahier des charges du SSTC) :

- 1) Caractérisation des pratiques agricoles par la mise en place d'un réseau de parcelles gérées par le conseil de fumure AZOBIL. La validation du logiciel sera réalisée au travers de la vérification que ce conseil de fumure optimise le rendement et minimise la quantité d'azote minéral présent dans le profil au moment de la récolte des plantes de grande culture en ce compris les cultures légumières. Des expérimentations en cours au Département Productions Végétales pourront également être utiles à ces vérifications.
- 2) A partir de différents scénarios liés à l'occupation du sol (sol non couvert, résidus de récolte, engrais vert, culture déjà réimplantée), identification des situations critiques en début d'hiver et validation, après calibration si nécessaire, du modèle de lessivage EPIC en suivant l'évolution et la répartition du stock d'azote minéral du sol pendant l'automne. Les données disponibles au Département Productions Végétales et celles issues des essais menés au point 1) comprenant la betterave, la pomme de terre, le maïs et le froment d'hiver seront exploitées à cet effet.
- 3) Calcul, à l'aide du modèle EPIC, des quantités perdues par lessivage dans les situations critiques ainsi identifiées et mise en évidence des profils nitriques susceptibles d'entraîner une concentration nitrique des eaux percolantes supérieure ou égale à 50 mg de nitrate par litre.
- 4) Dégager les pratiques à recommander (rotation des cultures, gestion de l'interculture), les mesures à prendre et les normes éventuelles à édicter en vue d'assurer l'objectif de qualité des eaux.

PRELIMINAIRE

RECAPITULATIF DES ESSAIS

Avant d'entrer dans le détail des résultats obtenus chaque année, nous présentons un tableau récapitulatif pour faciliter la lecture du document.

Chaque année, des essais ont été mis en place en culture maraîchère, en culture de betteraves et de maïs ensilage (tableau 1)

Tableau 1 : Essais mis en place dans le cadre du projet

Année	Type de culture			
	Culture maraîchère	Betteraves	Maïs ensilage	Froment
1998	Choux de Bruxelles (1)	5 sites	1 site	/
	Epinards (1)			
1999	Epinards (1)	5 sites	*	/
	Haricots (1)			

2000	Epinards (1) Fève de marais (1)	4 sites	2 sites	1 site
------	------------------------------------	---------	---------	--------

PROTOCOLE DES ESSAIS

L'optique du projet étant la réalisation d'un grand nombre d'essais afin de représenter les principales cultures arables en Belgique, un protocole unique a été suivi lors de la mise en place des essais dans chaque champ : le conseil établi à partir du logiciel AZOBIL est appliqué sur une largeur de travail du semoir à engrais, le reste du champ recevant la dose d'azote habituellement appliquée par l'agriculteur (figure 1).

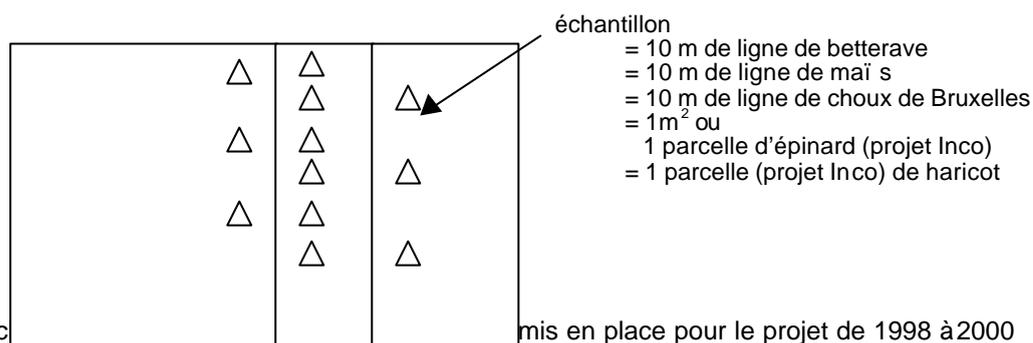


Figure 1: Schéma mis en place pour le projet de 1998 à 2000
En 1998, 4 échantillons ont été prélevés pour chacun des deux traitements et ils ont été répartis d'un seul côté de l'essai. A partir de 1999, 6 échantillons sont prélevés dans la zone dite « AZOBIL » et 6 échantillons sont prélevés de part et d'autre de celle-ci, là où la dose agriculteur a été appliquée. Cette répartition permet le contrôle d'un éventuel gradient latéral de fertilité dans le champ. Le passage de 4 à 6 échantillons a été réalisé afin d'affiner encore le protocole des essais et notamment de permettre une analyse statistique.

Dans certains cas, le protocole a été modifié pour répondre à des impératifs pratiques. Ces modifications sont mentionnées dans le texte.

PARAMETRES MESURES

Pour répondre aux objectifs du projet, nous avons pris en compte, quelle que soit la culture, les paramètres de rendement (quantité et qualité) ainsi que ceux liés à l'environnement (azote dans les résidus de culture et dans le sol). Une réduction des quantités d'azote susceptible de polluer les nappes phréatiques ne doit pas s'accompagner d'une pénalisation du rendement qui serait par ailleurs mal acceptée par la pratique.

La répartition de l'azote dans le profil de sol est également analysée. Le tableau 2 reprend les principaux paramètres pris en compte selon les cultures étudiées.

Tableau 2: Paramètres mesurés lors de la validation du logiciel de conseil de fumure AZOBIL

Culture	Rendement		Environnement	
	Quantitatif (/ha)	Qualitatif	N résidus culture	N sol (reliquat)
Betteraves	t sucre	Azote dans racines*	Feuilles	sur 1,5 m de profondeur
Maïs ensilage	t MS	PBD et VEM	/	
Froment	quintaux grains	Protéines...	Plante (pailles)	
Epinards	t MF	Nitrates	Variable selon coupe	
Haricots	t MF		Plante (sans gousses)	
Choux de Bruxelles	t MF	Calibre	Plante (sans pommes)	

* L'accroissement de la concentration en azote dans les racines constitue une entrave à l'extractibilité du sucre (pureté)

MS = matière sèche

MF = matière fraîche

RESULTATS

III.1. Résultats des essais menés en 1998

III.1.1. Betteraves sucrières

Cinq essais ont été mis en place chez les agriculteurs dans le Brabant Wallon et Namur, la Hesbaye ainsi que le Tournaisis (4 précédents céréales et 1 précédent pomme de terre). Les résultats sont présentés dans le tableau 3 et aux graphiques 1 à 5.

Tableau 3: Résultats des essais menés en culture de betterave sucrière en 1998

Localisation des sites Quantité d'azote apportée		Racines			Feuilles		Sol	
		Matière fraîche (t/ha)	Sucre (%)	(t/ha)	Prélèvement azote (kg/ha)	Matière fraîche (t/ha)	Prélèvement azote (kg N/ha)	Reliquat sur 1,5 m (kg/ha)
Site 1 (Marquain)	Dose Azobil (105)	69	16,3	11,2	MANQUANT	50	157	74
	Dose fermier (150)	59	15,9	9,3		48	160	140
Site 2 (Warcosing)	Dose Azobil (136)	66	16,4	10,8	103	56	169	53
	Dose agriculteur (175)	65	16,5	10,7	96	57	182	89
Site 3 (Floriffoux)	Dose Azobil (80)	71	16,1	11,7	MANQUANT	36	87	13
	Dose agriculteur (140)	72	16,0	11,5		45	113	10
Site 4 (Forville)	Dose Azobil (0)	68	17,7	11,9	83	42	91	11
	Dose agriculteur (90)	67	17,5	11,7	88	62	154	19
Site 5 (Chastre)	Dose Azobil (55)	67	17,0	11,4	92	53	140	20
	Dose agriculteur (150)	76	17,5	12,4	126	73	212	31

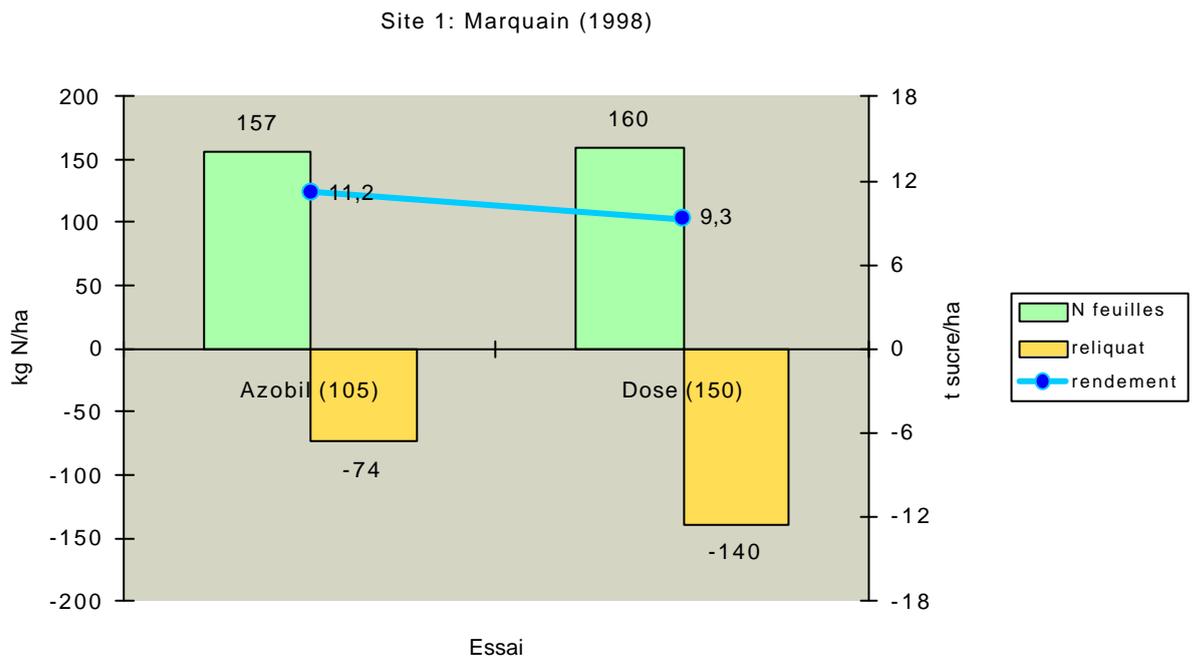
Ils montrent que dans 4 cas sur 5 (sites 1 à 4 du tableau 3 ; graphiques 1 à 4), indépendamment du précédent, le rendement (t sucre/ha) obtenu après application de la dose d'azote conseillée par AZOBIL est supérieur ou égal à celui mesuré dans la zone fertilisée par l'agriculteur.

Dans 3 cas sur 5 (essais 3 à 5 du tableau 3 ; graphiques 3 à 5), nous enregistrons une quantité d'azote nettement plus grande dans la masse foliaire sur la partie du champ ayant reçu une dose d'engrais supérieure à AZOBIL, les reliquats d'azote dans le sol restant inférieurs à 20 Kg N/ha. Ces résultats traduisent une consommation de luxe par la betterave avec un stockage important dans les feuilles. Cet azote, sous forme organique, retournera partiellement dans le sol selon les conditions dans lesquelles les feuilles seront enfouies après la récolte (délai, conditions atmosphériques).

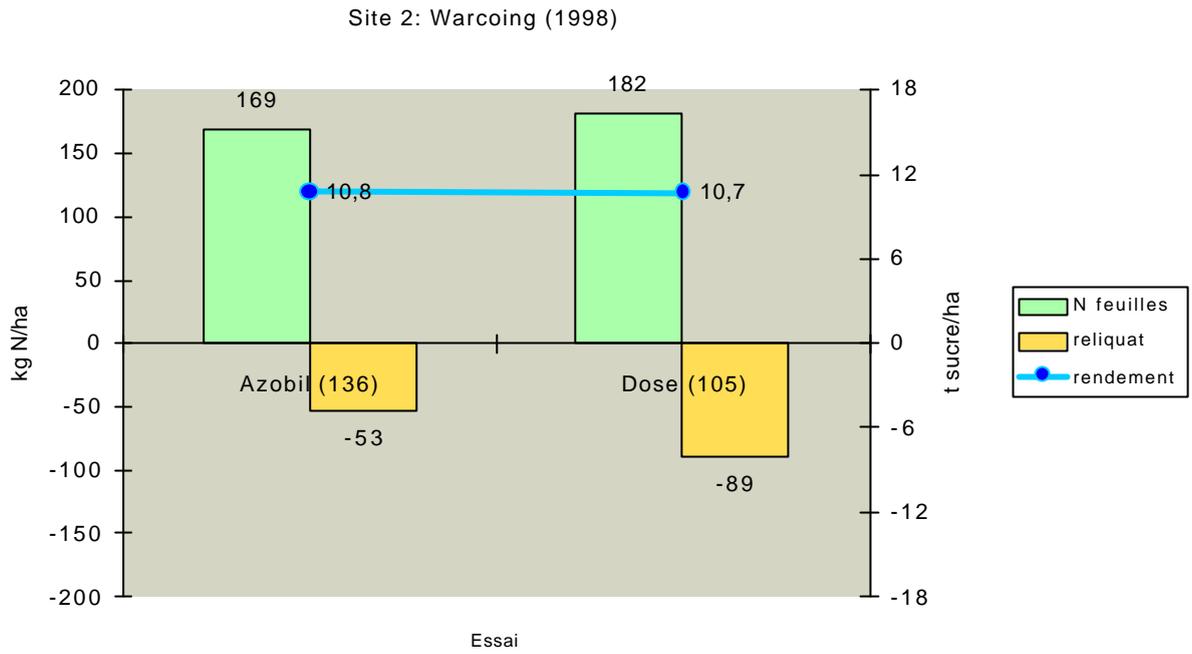
Dans les 2 autres cas (essais 1 et 2 du tableau 3 ; graphiques 1 et 2), les reliquats sont deux fois plus élevés dans la partie du champ qui a reçu la dose d'engrais appliquée par l'agriculteur par rapport à AZOBIL. Ainsi, l'excès d'azote s'est essentiellement traduit par un mauvais épauement du stock d'azote minéral disponible dans le sol, azote qui risque de participer à l'enrichissement en nitrate des eaux des nappes phréatiques pendant la période de drainage (hiver surtout).

A titre d'information et pour permettre une comparaison ultérieure des trois années d'essais, nous présentons un graphique moyen des reliquats mesurés sur 1,5 m de profondeur dans le sol à la récolte (graphique 6).

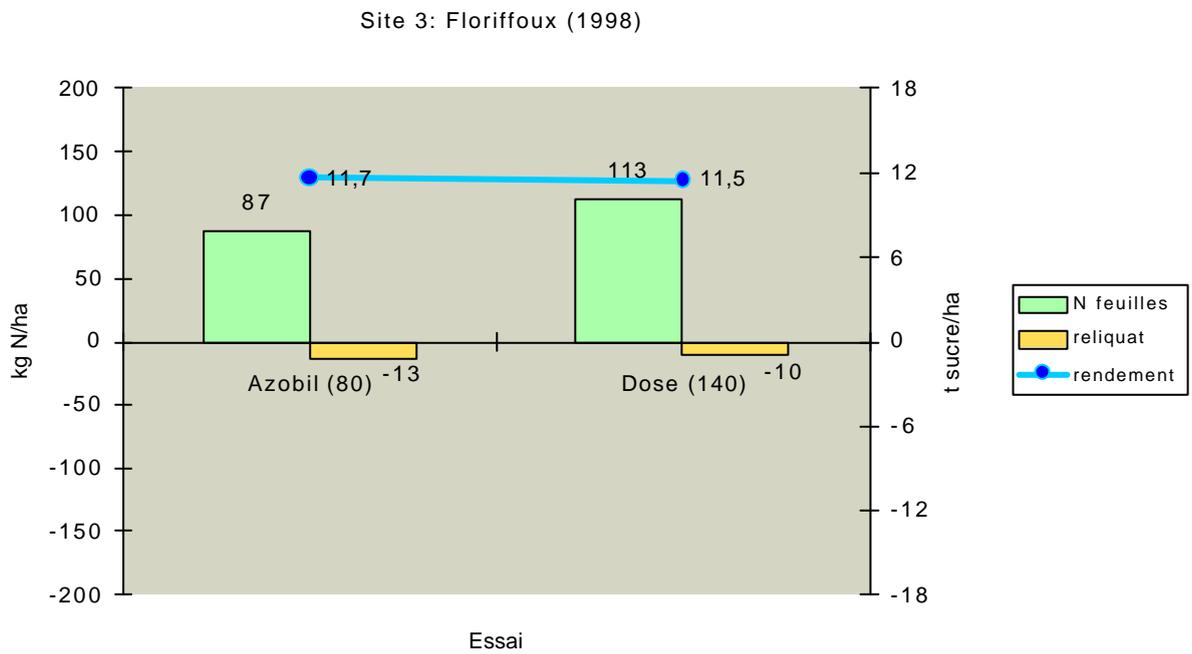
Graphiques 1 à 5 : Culture de betterave – Mise en relation du rendement avec deux paramètres liés à l'environnement (azote contenu dans les feuilles et reliquat d'azote dans le sol à la récolte) dans les 5 sites étudiés.



graphique 1

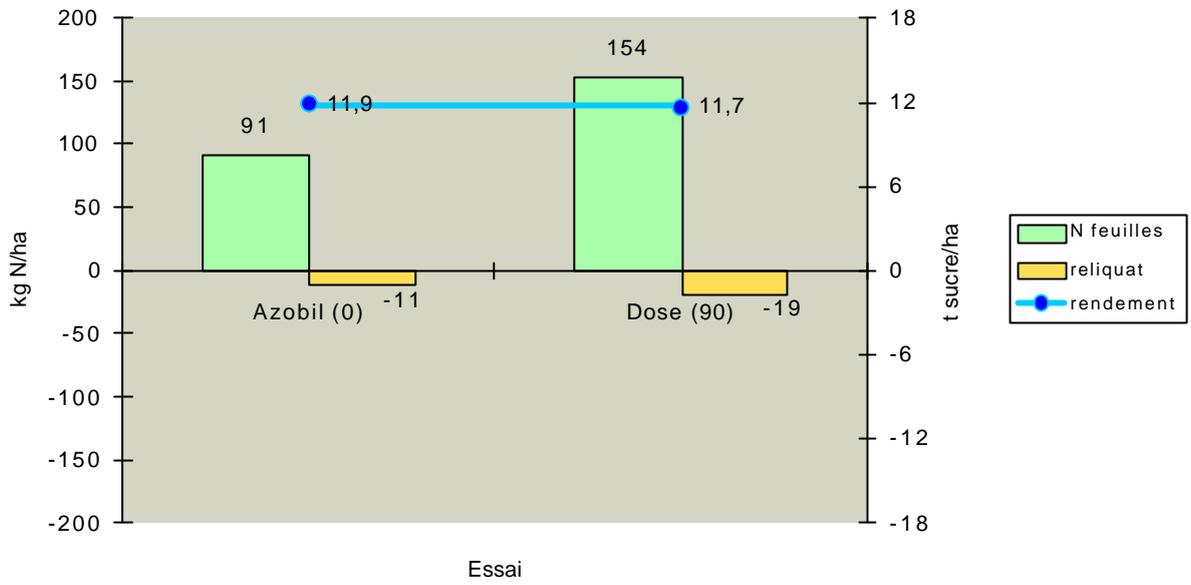


graphique 2



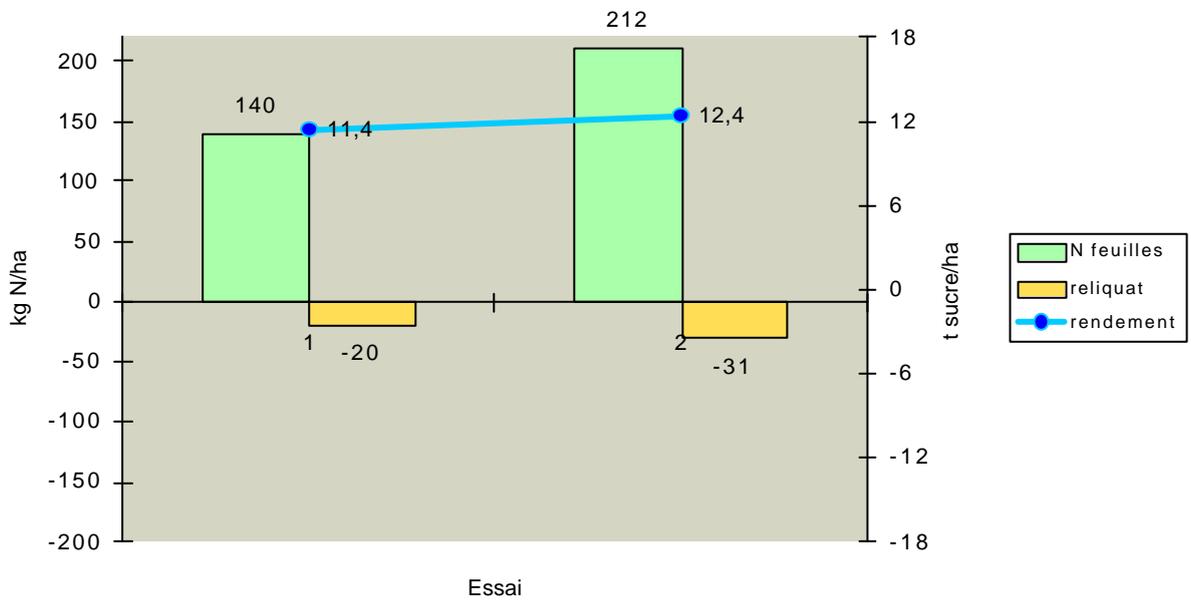
graphique 3

Site 4: Forville (1998)

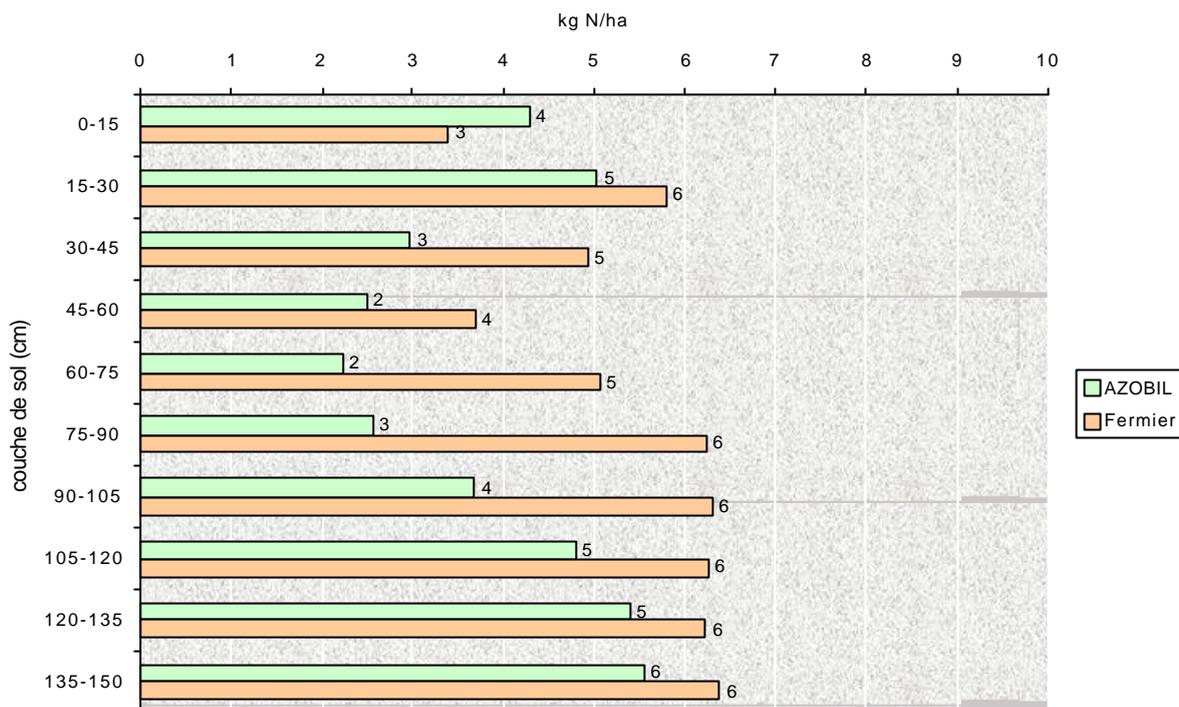


graphique 4

Site 5: Chastre (1998)



graphique 5



Graphique 6 : Profil moyen des reliquats mesurés sur 1,5 m de profondeur dans les 5 essais de 1998 lorsque le conseil AZOBIL ou lorsque la dose fermier ont été appliquées.

III.1.2. Maïs ensilage

Une monoculture de maïs ensilage avec des apports fréquents et importants de matières organiques de type fumier de bovins a été suivie dans la région de Tournai (Maubray). Le rendement s'exprime ici également au travers de la qualité du fourrage. Les résultats sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Résultats de l'essai mené en culture de maïs ensilage en 1998 dans la région de Tournai

Traitements (kg N/ha)	Plante					Sol
	MS (%)	t MS/ha	PDB	N _{plante} (kg N/ha)	VEM	N _{sol} (1,5m) (kgN/ha)
Dose AZOBIL (0)	36,4	19,1	38	197	877	122
Dose fermier (90)	32,8	20,3	41	235	891	137

MS = matière sèche ; PDB = protéines brutes digestibles (g/kg MS) ; VEM = Unité fourragère Lait sur base de la MS (système hollandais)

Les résultats indiquent que le rendement en M.S. et la qualité du maïs (PDB) sont identiques dans les deux cas. Par contre, le maïs récolté dans l'essai AZOBIL présentait un stade de maturité plus avancée que dans la partie fertilisée avec la dose agriculteur (% MS plus élevé).

En ce qui concerne les reliquats d'azote dans le sol, nous mesurons des quantités d'azote un peu plus élevées lorsque la dose d'engrais appliquée est supérieure au conseil AZOBIL. Néanmoins, les quantités mesurées sont très élevées dans les deux cas puisque les reliquats sur 1,5 m de profondeur sont supérieurs à 120 kg N/ha (tableau 5). En effet, 30 à 40 kg sont retrouvés dans l'horizon 0-30 cm. Ils traduisent un effet de minéralisation tardive : cet azote n'a pas été prélevé par le maïs. Entre 30 et 90 cm, le profil est peu riche, et est donc bien épuisé, ce qui n'est pas le cas en dessous de 90 cm où les

40 à 50 kg correspondants traduisent probablement le lessivage de l'azote issu de la minéralisation du fumier (pluies abondantes).

Tableau 5 : Reliquats azotés mesurés en 1998 à Maubray après maïs sur une profondeur de 1,5 m de sol.

Couche de sol	N minéral total (kg/ha)	
	AZOBIL	DOSE AGRICULTEUR
0-15 cm	10	12
15-30 cm	Zone explorée par les racines	25
30-45 cm		19
45-60 cm		9
60-75 cm		8
75-90 cm		10
90-105 cm	12	12
105-120 cm	14	14
120-135 cm	14	14
135-150 cm	15	14
	122	137

Minéralisation tardive

Azote du fumier (lessivage)

III.1.3. Cultures maraîchères

a) Epinard de printemps

Une culture d'épinard d'été a été semée sur une terre ayant porté un épinard de printemps à Boëlhe dans la région de Waremme. Pour ce dernier, une partie de la terre avait reçu 180 kg N/ha et l'autre partie 200 kg N/ha. Nous avons donc considéré deux passés culturaux différents même si l'agriculteur a choisi cette fois d'appliquer la même dose d'engrais que celle proposée par le logiciel AZOBIL (80 kg N/ha).

Outre le rendement et le reliquat d'azote dans le sol, la teneur en NO_3^- des épinards a été mesurée car la plante a tendance à les accumuler et ce paramètre est pris en compte d'un point de vue commercial. Les résultats sont présentés dans le tableau 6.

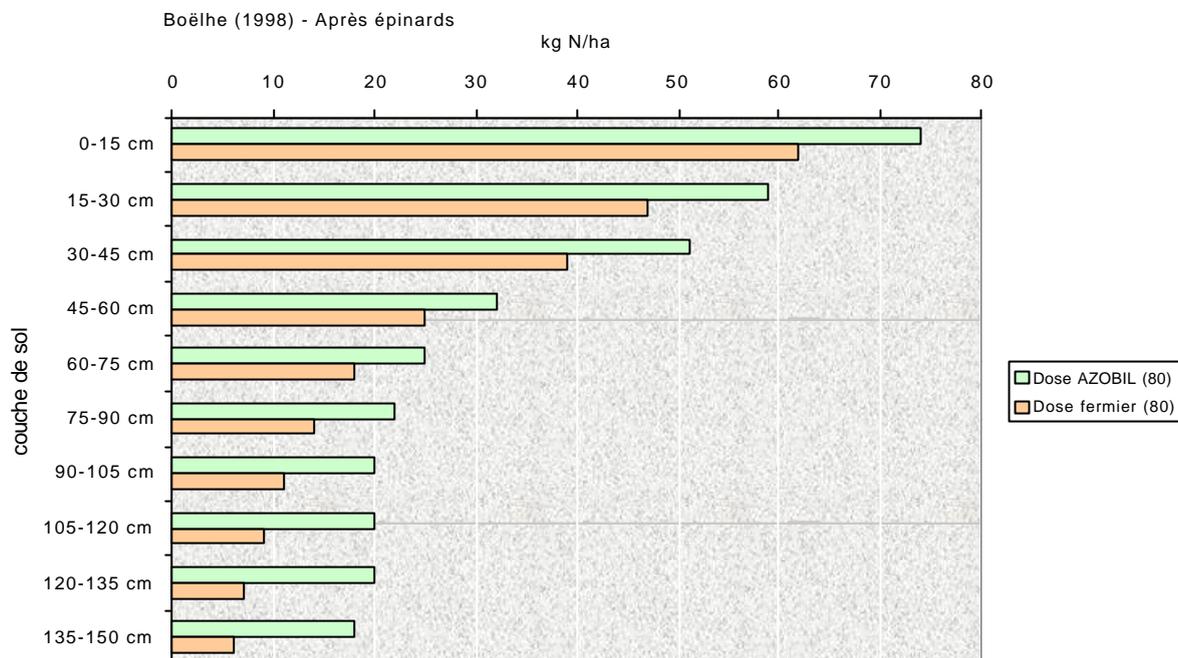
Tableau 6 : Résultats de l'essai mené en culture d'épinards en 1998 à Boëlhe.

Traitement	Rendement (t MF/ha)	Plante		Sol	
		N_{plante} (kg/ha)	Nitrate (ppm)	N_{sol} sur 45 cm	sur 60 cm
Dose AZOBIL (80 kg N/ha)	25,3	86,4	2837	189	222
Dose fermier (80 kg N/ha)	23,1	81,6	3065	148	173

Les résultats montrent que les rendements sont semblables pour les deux parties du champ considérées. Les teneurs en nitrate mesurées dans la plante (> 2800 ppm) dépassent largement les valeurs moyennes de la littérature (1800 ppm) (Duchemin, 1999).

En outre, les teneurs en azote du sol sont déjà largement excédentaires sur 60 cm (> 170 kg N/ha) alors que la prénorme nationale préconise de ne pas dépasser les 50 kg sur cette profondeur (tableau 6).

Le graphique 7 montre qu'une grande quantité d'azote est retrouvée dans les couches superficielles après une telle culture. Néanmoins, nous mesurons déjà en profondeur de l'azote provenant du lessivage en cours de culture.



Graphique 7 : Boëlhe (1998) – Reliquat d'azote dans le sol sur une profondeur de 1,5 m, après épinard pour la dose AZOBIL (80 kg/ha) et la dose fermier (80 kg N/ha) pour lesquels deux passés culturaux différents ont été considérés.

b) Choux de Bruxelles :

Une culture de chou de Bruxelles (variété tardive) succédant à une culture de carottes primeurs a été suivie à Poucet, dans la région de Waremme. Pour cette culture, la pratique applique l'azote en 3 fractions. Dans notre cas, la dose conseil étant trop peu élevée, nous nous sommes limités à l'application de 2 fractions.

Les résultats, qui prennent en compte des facteurs qualitatifs tel que le calibre des pommes sont présentés dans le tableau 7.

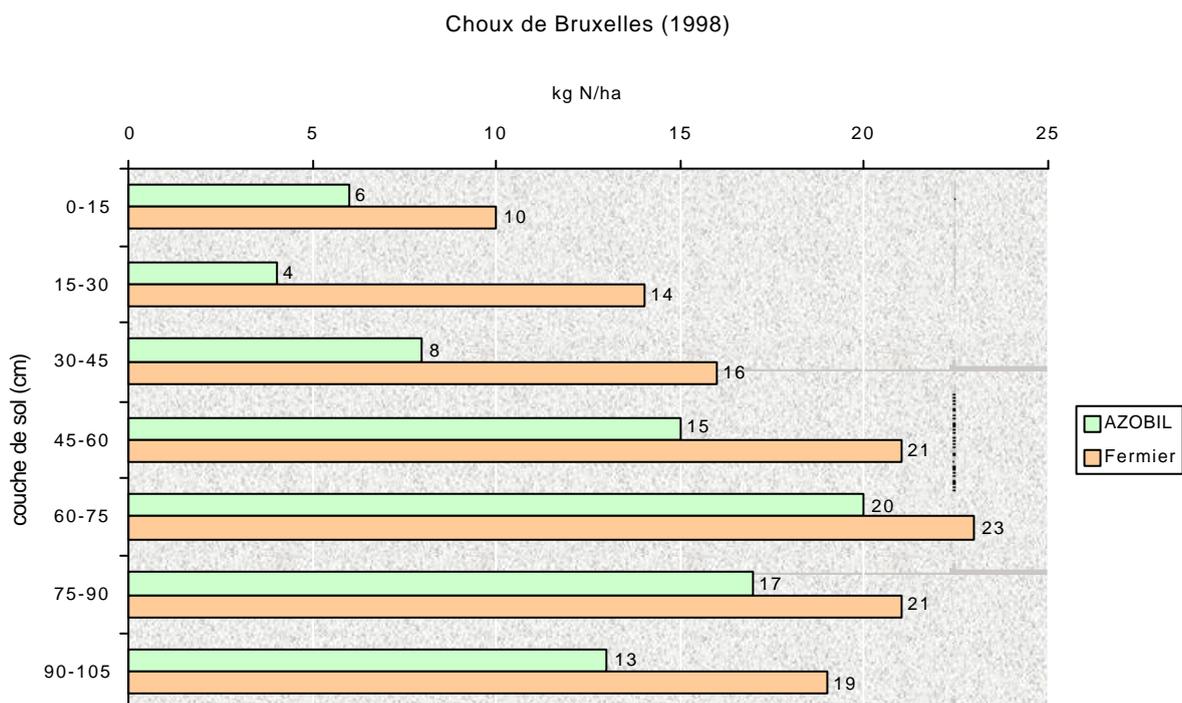
Tableau 7 : Résultats de l'essai mené en culture de chou de Bruxelles en 1998 à Poucet.

Traitement (kg N/ha)	pommes		plante		sol
	Rendement (t MF/ha)	N pomme (kg N/ha)	t MF/ha	N plante (kg N/ha)	N sol sur 1,5 m (kg N/ha)
Dose AZOBIL (120)	33	173	61	185	10
Dose fermier (175)	33	164	54	173	7

Les résultats montrent que les rendements (t MF de pommes/ha et calibre 25-30 mm) sont identiques pour le conseil AZOBIL (120 kg N/ha) et la dose choisie par l'agriculteur (175 kg N/ha). De même, l'azote total exporté par les pommes et la plante elle-même sont du même ordre de grandeur dans les deux cas.

Les reliquats mesurés sur 1,5 m de profondeur de sol sont faibles pour les deux essais (≤ 10 kg N/ha). La seule différence constatée concerne la masse représentée par les plantes. Elle est supérieure dans le cas de la dose AZOBIL.

En cours de culture (début juillet, après l'application de la 2^{ème} fraction d'azote), nous avons effectué des prélèvements de sol sur une profondeur de 1,05 m (graphique 8). Les résultats indiquent que le lessivage suspecté en raison des mauvaises conditions climatiques a été négligeable. L'azote est présent à raison de 20 kg /ha (essai AZOBIL) et de 40 kg/ha (dose agriculteur) sur les 45^{ers} cm (zone déjà explorée par les racines) et à raison de 55 kg/ha (essai AZOBIL) et 85 kg/ha (dose agriculteur) en dessous de 45 cm. A cette époque, l'agriculteur doit encore apporter la troisième fraction dans la partie du champ autre que AZOBIL.



Graphique 8 : Choux de Bruxelles (Poucet, 1998) – Azote minéral présent sur 1,05 m de profondeur en cours de culture

III.1.4. Conclusions pour l'année 1998

Les résultats des suivis de situations mises en place chez les agriculteurs durant la saison culturale 1998 montrent que dans le cas des grandes cultures et des cultures légumières à cycle végétatif long, le conseil AZOBIL donne en général de bons résultats d'un point de vue rendement tout en limitant le niveau des fumures azotées habituellement appliquées.

Nous constatons cependant que les situations les plus difficiles à gérer restent celles pour lesquelles des apports fréquents de matières organiques sont réalisés. En outre, pour les cultures légumières à cycle végétatif court tel que l'épinard, le conseil AZOBIL n'a pas donné de bons résultats en raison notamment de mauvaises conditions climatiques. Cela se traduit par des reliquats d'azote élevés dans le sol après la récolte et, selon la plante, par une accumulation de nitrates dans ses tissus (absorption tardive). Des précisions doivent être également apportées au calcul de la fumure pour ce type de culture exigeantes en azote, point sur lequel l'INRA de Laon travaille actuellement.

III.2. Résultats des essais menés en 1999

III.2.1. Betteraves sucrières

Cinq essais ont été mis en place chez les agriculteurs dans le Brabant Wallon et Namur, la Hesbaye et le Tournaisis (4 précédents céréales et un précédent chicorée).

Les résultats de ces essais sont présentés dans le tableau 8 et aux graphiques 9 à 13. Ils montrent que pour les 4 essais menés dans le Brabant Wallon, le rendement ne diffère pas significativement selon la dose d'azote appliquée. Notons toutefois que dans l'essai de Bovesse, pour lequel l'agriculteur a appliqué sur le reste du champ une dose moins élevée que la dose AZOBIL, le rendement obtenu pour la fumure AZOBIL est en moyenne supérieur à celui obtenu sur le reste du champ.

Pour ces 4 essais, le prélèvement d'azote par la plante (racines et feuilles) ne diffère pas non plus significativement selon la fumure apportée, sauf pour les essais de Tourinnes-Saint-Lambert et de Forville pour lesquels les quantités prélevées par les feuilles sont statistiquement plus grandes lorsque la fumure AZOBIL a été appliquée. Dans l'essai de Forville, le reliquat est également statistiquement plus élevé pour AZOBIL. Néanmoins, les quantités mesurées dans la plante et dans le sol, que ce soit pour les feuilles ou pour les racines sont, d'un point de vue agronomique, du même niveau.

Dans le cas de l'essai mené à Leers-Nord, l'examen des résultats obtenus pour les 4 doses d'azote étudiées (0 kg/ha, 50 kg/ha, 100 kg/ha = AZOBIL et 150 kg/ha) montre qu'il n'y a pas de différence significatives de rendement et de prélèvement d'azote par les racines. Le rendement apparemment plus élevé obtenu pour la dose 50 kg N/ha étant le résultat de la moyenne d'un ensemble fort variable d'échantillons. Par contre, lorsque la dose AZOBIL est dépassée, l'azote prélevé par les feuilles et le reliquat mesuré dans le sol deviennent significativement plus élevés ($\alpha = 5\%$).

Pour les 5 essais menés en 1999, nous constatons que les reliquats mesurés sur 1,5 m de profondeur de sol sont peu élevés, toujours inférieurs à 35kg N/ha, souvent proches de ± 20 kg N/ha, et distribués de façon similaire quels que soient les essais : les 30 à 45 cm en surface sont en général un peu plus riches que les horizons sous-jacents (graphique 13). En 1998, des situations nettement plus riches avaient été rencontrées mais les conditions climatiques particulièrement pluvieuses avaient perturbé le processus d'assimilation de l'azote par la betterave.

De la même manière, nous mesurons des quantités d'azote total moins élevées dans les feuilles qu'en 1998, en moyenne 150 kg/ha en 1998 pour 110 kg/ha en 1999. Nous avons d'ailleurs constaté visuellement à la récolte cette année que les betteraves avaient un bouquet foliaire moins abondant (développé) qu'en 1998. Par contre, les quantités d'azote mesurées dans les racines sont du même ordre de grandeur qu'en 1998 (100-110 kg/ha).

Les essais menés en 1999 ont également permis de mettre en évidence la variabilité à laquelle tout agriculteur est confronté au sein même de son champ et l'existence de gradients de fertilité qui pourraient conduire à des pratiques culturales différenciées (cfr agriculture de précision). Néanmoins le conseil que nous avons adopté, appliqué à la parcelle, est déjà une approche fine de la gestion de la fumure azotée et nous voyons qu'il permet dans la majeure partie des cas traités de répondre à l'objectif de maintien du rendement tout en respectant les exigences environnementales.

Tableau 8 : Résultats des essais menés en culture de betterave sucrière en 1999

Localisation des sites - Quantité d'azote apportée		Racines			Feuilles		Sol	
		Matière fraîche (t/ha)	Sucre		Prélèvement azote (kg N/ha)	Matière fraîche (t/ha)	Prélèvement azote (kg N/ha)	Reliquat sur 1,5 m (kg N/ha)
%	(t/ha)							
Site 1 (Tourinnes –St-L)	Dose Azobil (120)	96	16.9	16.3	119	43	121 ^a	23
	Dose fermier (180)	95	16.7	16	119	39	110 ^b	20
Site 2 (Warisoulx)	Dose Azobil (80)	98	17	16.6	123	49	115	13
	Dose fermier (145)	97	17	16.6	136	52	126	11
Site 3 (Bovesse)	Dose Azobil (175)	86	17.9	15.4	105	30	90	23 ^o
	Dose fermier (140)	77	17.9	13.8	90	25	72	22 ^o
Site 4 (Forville)	Dose Azobil (135)	87	18.1	15.8	122	29	91 ^c	18 ^e
	Dose fermier (150)	90	18.1	16.3	121	28	84 ^d	14 ^f
Site 5 (Leers-Nord)	Dose 0	83	17.4	14.4	106	39	*117 ^h	**22 ^j
	Dose 50	92	17.5	16.1	119	42	131 ^h	22 ^j
	Dose Azobil (100)	79	17.2	13.6	113	44	145 ^h	25 ^j
	Dose 150	78	17.2	13.3	122	48	162 ^g	35 ⁱ

^o reliquats mesurés sur 60 cm car présence de drains dans la terre

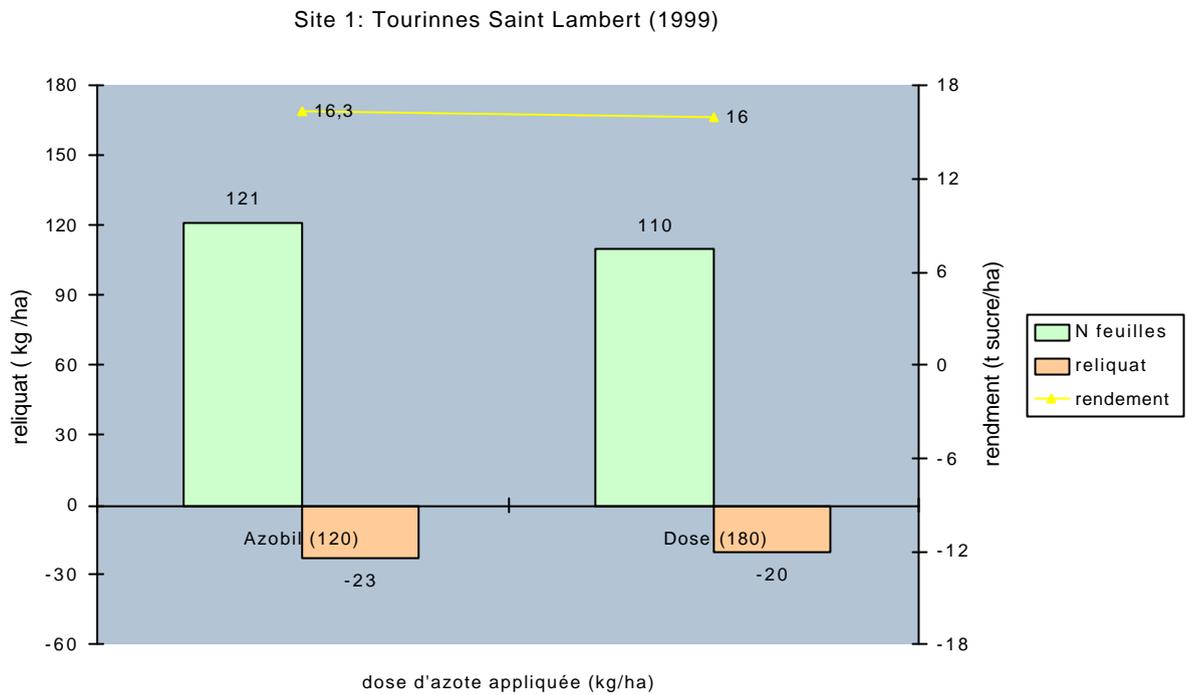
* significatif

** hautement significatif

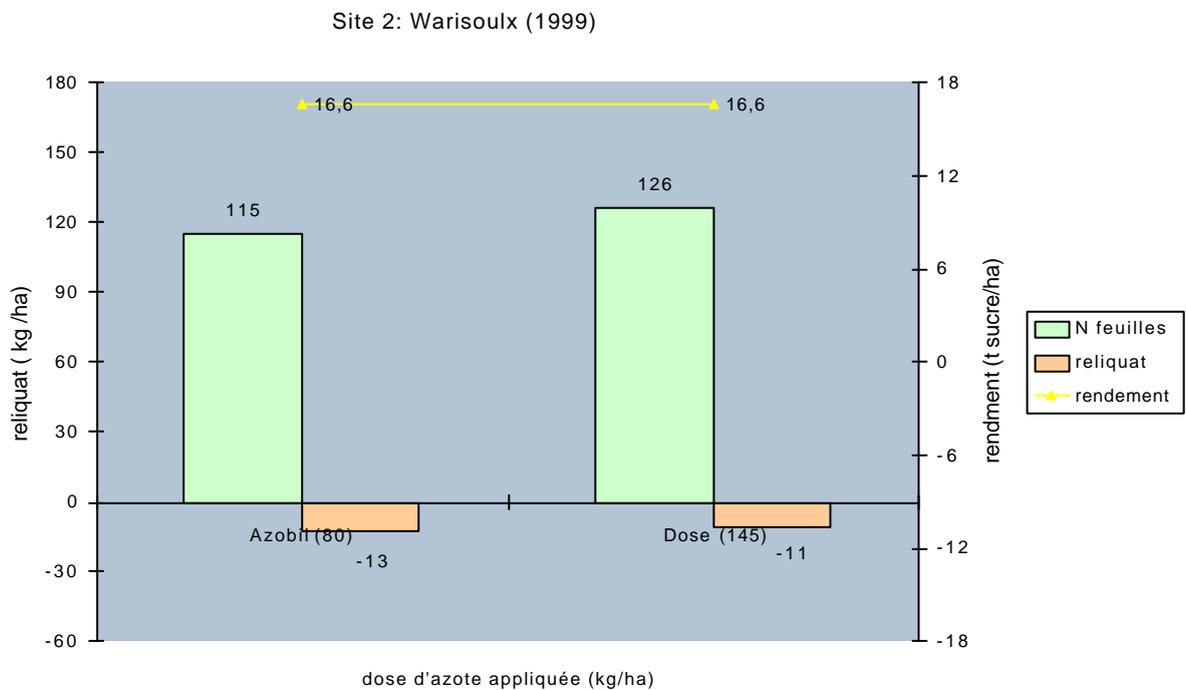
Les valeurs suivies d'une même lettre (pour c, d, g, h, i, j) ne sont pas significativement différentes au sens de Newman et Keuls

pour $\alpha = 5\%$
pour $\alpha = 10\%$

Graphique 9 à 13 : Culture de betterave - Mise en relation du rendement avec deux paramètres liés à l'environnement (azote contenu dans les feuilles et reliquat d'azote dans le sol à la récolte) dans les 5 sites étudiés.

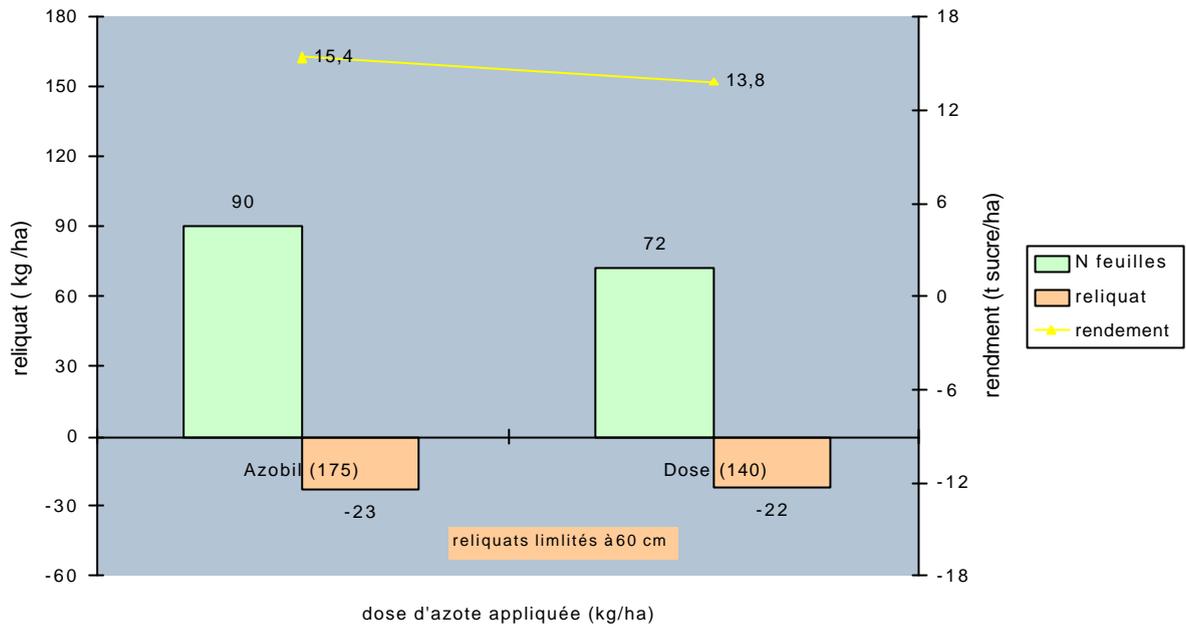


graphique 9



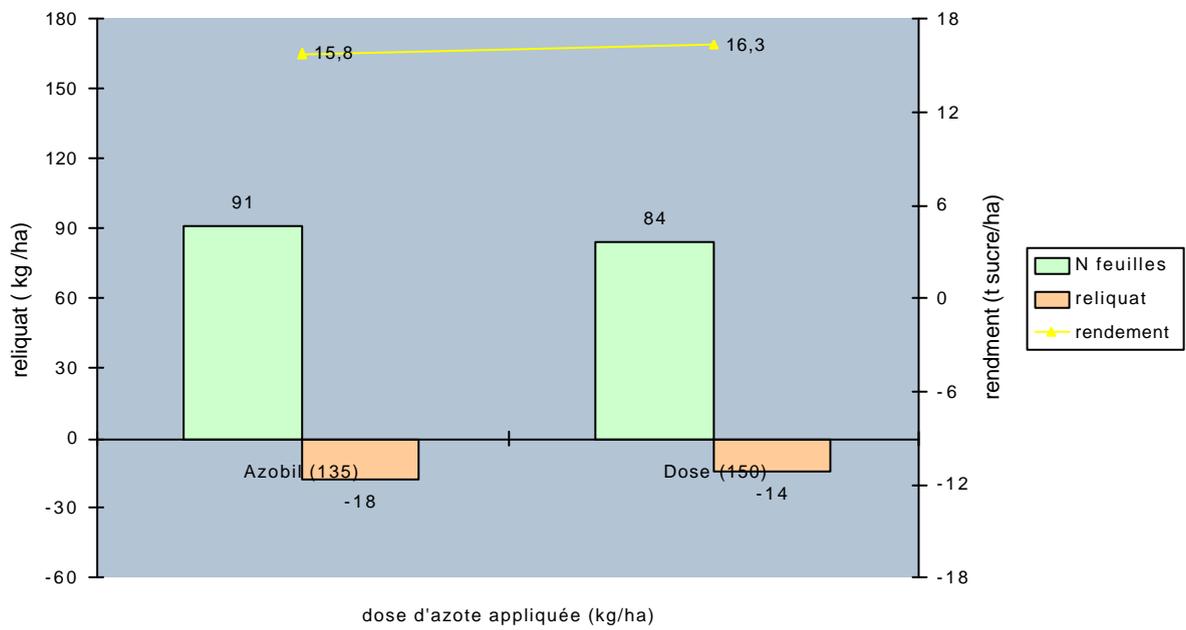
graphique 10

Site 3: Bovesse (1999)



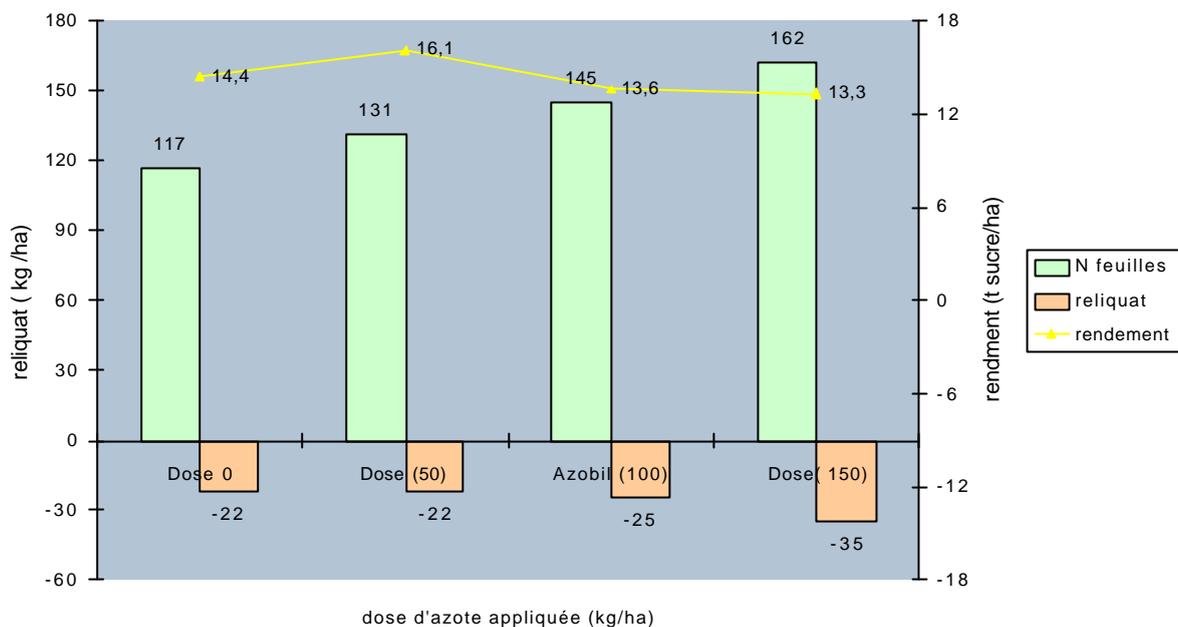
graphique 11

Site 4: Forville (1999)



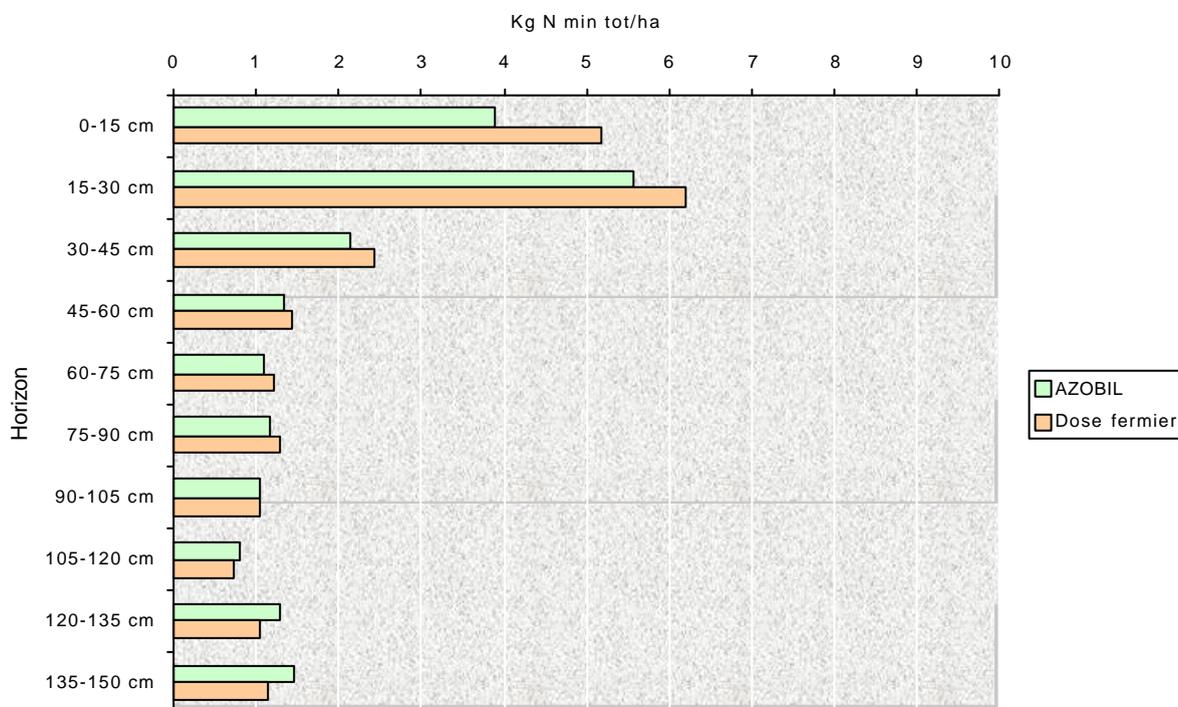
graphique 12

Site 5: Leers-Nord (1999)



graphique 13

Graphique 14: Profil moyen des reliquats mesurés sur 1,5 m de profondeur dans les 5 essais de 1999 lorsque le conseil AZOBIL ou lorsque la dose fermier ont été appliqués.



III.2.2. Maïs ensilage

Un essai a été mis en place sur le même champ qu'en 1998, dans la région de Tournai (suivi d'un monoculture avec apports importants de matière organique). Une partie du champ a reçu du fumier.

Pour cette dernière, comme pour le reste du champ, un conseil de fumure AZOBIL adapté a été donné. En outre, la partie sans fumier possède deux passés culturaux différents (dose d'azote minéral apportée l'année précédente) dont nous avons tenu compte. Nous ne disposons d'aucun résultats de rendement de la culture car l'agriculteur a récolté exceptionnellement tôt, sans tenir compte de notre essai. Néanmoins, nous avons réalisé un suivi du reliquat azoté, depuis la récolte jusqu'au printemps (cfr partie «Résultats annexes »). Ces mesures en situation riche en azote avant la période de drainage hivernal ont été exploitées par la suite par M. Casse (UHAGx) dans le cadre de la simulation du lessivage avec le modèle EPIC.

III.2.3. Cultures maraîchères

a) Epinard

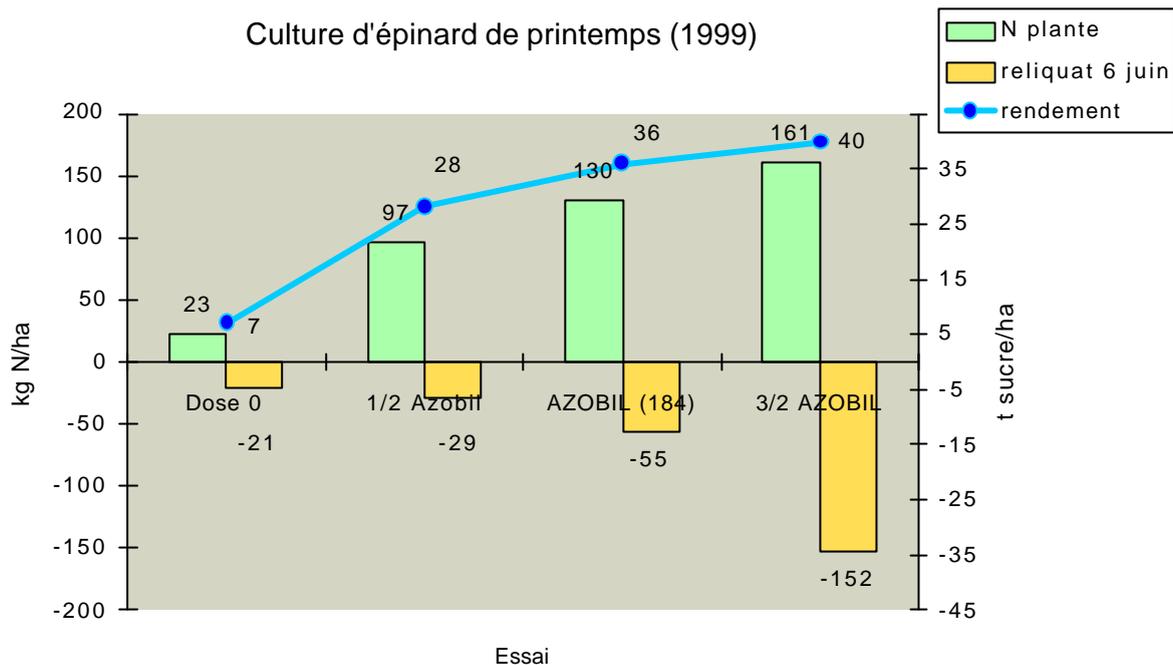
L'essai suivi (culture d'épinard de printemps) fait partie d'un programme de recherche géré par le Centre maraîcher de Hesbaye (CMH). Il est situé à Boëlhe, dans la région de Waremme. Le protocole diffère de celui décrit en page dans le PRELIMINAIRE. Il s'agit d'un essai en blocs aléatoires complets avec 3 facteurs [doses d'azote (4), irrigation (2) et blocs (4)], soit un total de 32 parcelles. Les doses d'azote appliquées sont fixées par rapport au conseil établi avec le logiciel AZOBIL (0 N, 1/2 AZOBIL, AZOBIL, 3/2 AZOBIL).

L'eau utilisée pour l'irrigation est celle produite par l'usine de traitement et de conditionnement des légumes Hesbaye-Frost située à Geer. L'eau de lavage des légumes est en effet réutilisée, après décantation, pour l'irrigation des cultures légumières de la région. Dans ce cas précis, les conditions climatiques (pluies en suffisance) n'ont pas nécessité l'irrigation des épinards, sauf en fin de culture où le dispositif des bâches devant permettre de ne pas irriguer certaines parcelles n'a pas été mis en place par le CMH, pour des raisons pratiques. En conséquence, nous avons considéré 8 répétitions par dose d'azote appliquée et non 4 comme annoncé. Les résultats sont présentés dans le tableau 9 et au graphique 15.

Tableau 9 : Résultats de l'essai mené en culture d'épinard de printemps en 1999 à Boëlhe

Traitements	Plante			Sol	CAU _N
	Rendement moyen FRAIS (t/ha)	[NO ₃] moyen (ppm)	[N _{tot}] moyen (kg/ha)	Reliquat sur 90 cm (kg/ha)	
Dose 0 N	7	73	23	21	–
Dose 1/2 Azobil (93 U)	28	273	97	29	80 %
Dose Azobil (184 U)	36	1003	130	55	58 %
Dose 3/2 Azobil (278 U)	40	1644	161	152	50 %

CAU_N = coefficient apparent d'utilisation de l'azote de l'engrais
= [(N exportée par la culture - N exportée par le témoin 0) X 100] / (kg N /ha apportés à la culture)



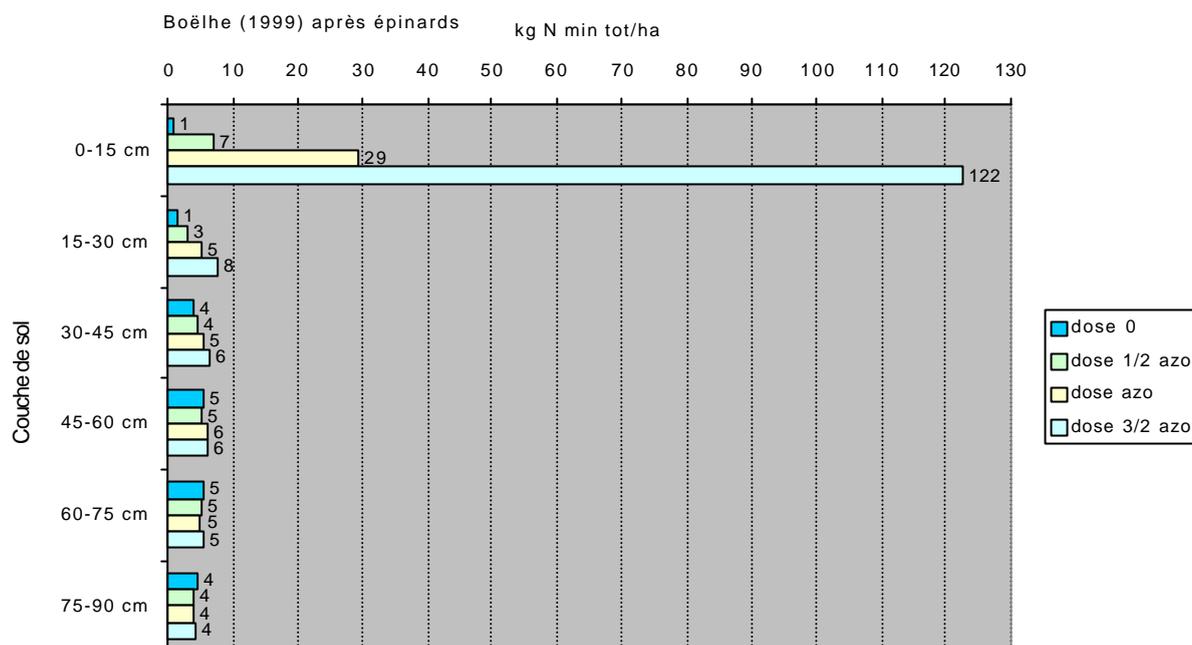
Graphique 15: Culture d'épinard de printemps (Boëlhe, 1999)- Mise en relation du rendement avec deux paramètres liés à l'environnement (azote contenu dans la plante et reliquat d'azote dans le sol à la récolte).

Les résultats montrent que le rendement s'accroît avec la dose d'azote appliquée mais que le gain de rendement par rapport à la quantité d'azote apportée diminue fortement lorsqu'une dose supérieure à celle conseillée par le logiciel AZOBIL est appliquée. Nous constatons d'ailleurs une moins bonne utilisation de l'azote lorsque les quantités apportées s'accroissent (CAU = 80 % pour 1/2 AZOBIL, 58 % pour AZOBIL et 50 % pour 3/2 AZOBIL). En outre, le reliquat d'azote dans le sol à la récolte, faible pour les doses 0N et 1/2 Azobil (~20 kg N/ha) reste acceptable pour la dose AZOBIL (55 kg N/ha) mais franchement excessif pour la dose 3/2 AZOBIL (152 kg N/ha).

L'examen de la répartition de l'azote dans le profil montre que l'accroissement des quantités d'azote en fonction de la dose appliquée est essentiellement mesuré dans la couche 0 - 15 cm (tableau 10 et graphique 16), une partie de celui-ci étant retrouvé sous forme de NH_4^+ . Ce dernier provient des résidus d'épinards dont la décomposition est rapide.

Tableau 10: Culture d'épinard de printemps (Boëlhe, 1999) - Quantité d'azote mesurée à la récolte (6 juin) dans la couche 0-15 cm.

Fumure en kg N/ha	NO_3^- (kg N/ha)	NH_4^+ (kg N/ha)
Dose 0	1	0
Dose 1/2 AZOBIL (93)	7	1
Dose AZOBIL (184)	29	10
Dose 3/2 AZOBIL (278)	122	35



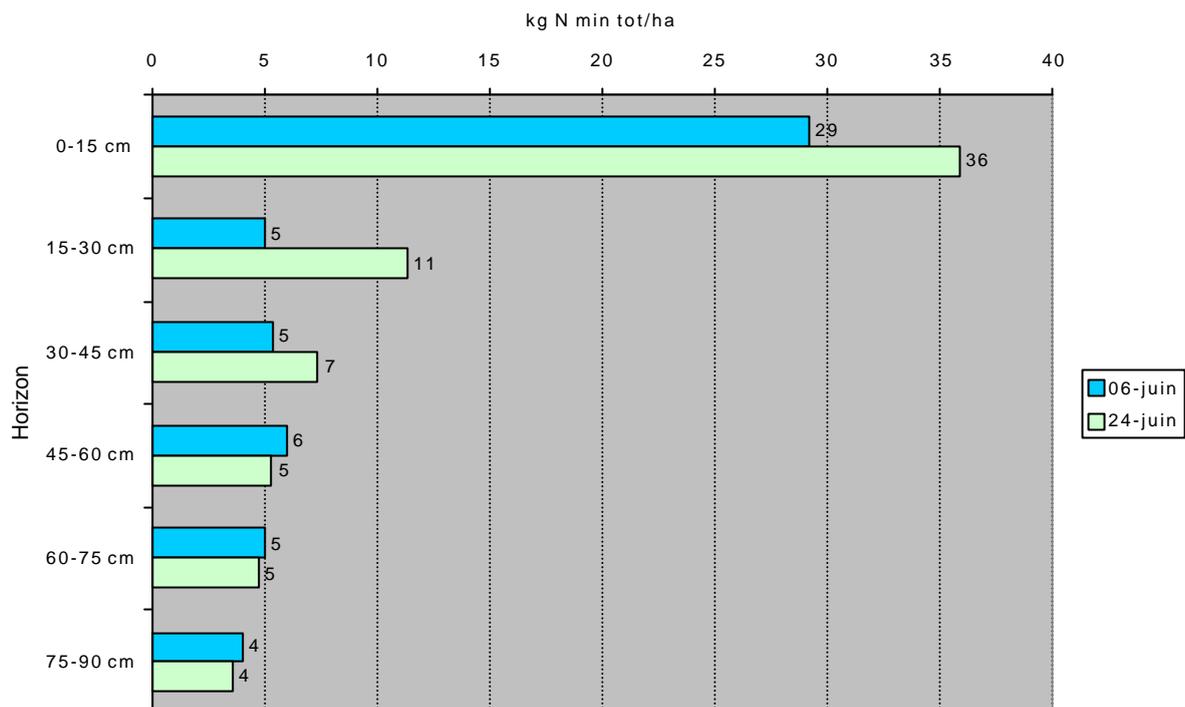
Graphique 16: Boëlhe (1999) – Evolution du reliquat d'azote dans le sol en fonction de la fumure appliquée en épinard de printemps.

Parallèlement, une augmentation de la quantité d'azote exportée par la plante et de la teneur en nitrate dans la plante est mesurée en fonction de la dose d'azote appliquée. Néanmoins, en ce qui concerne les nitrates, les valeurs mesurées restent en moyenne acceptables pour tous les traitements d'azote appliqués.

b) Haricot Mangetout

Cette culture suit la culture d'épinard implantée à Boëlhe que nous venons de décrire. Les haricots ont été semés le 03 juillet 1999. Vu le délai de 3 semaines entre la récolte des épinards et le semis des haricots, nous ne nous sommes pas basés sur le prélèvement de sol réalisé le 4 juin, juste après la récolte des épinards pour établir le conseil AZOBIL. Un second prélèvement a été réalisé le 24 juin. L'évolution du profil en fonction du temps est représenté au graphique 17.

Le dispositif expérimental de l'essai est un Split plot avec 3 facteurs [dose d'azote (4), irrigation (2) et blocs (4)] soit un total de 32 parcelles. Comme pour les épinards, les doses d'azote appliquées sont fixées par rapport au conseil établi avec le logiciel AZOBIL (0 N, 1/2 AZOBIL, AZOBIL, 3/2 AZOBIL), la dose AZOBIL de référence étant le conseil obtenu sur base des parcelles ayant reçues la dose AZOBIL pour la culture d'épinard de printemps.



Graphique 17: Boëlle 1999- Evolution du reliquat d'azote dans le sol entre la récolte des épinards et le semis des haricots

L'essai a été irrigué à deux reprises (03 et 13 septembre 1999). L'eau a été analysée par le Département Production végétale et nous avons mesuré des quantités totales d'azote négligeables pour ces deux irrigations, de l'ordre de 17 kg/ha. Nous considérons dans ce cas que l'azote de l'eau n'interfère pas avec la fumure azotée apportée.

Les résultats de l'essai sont présentés dans le tableau 11 et au graphique 18. Ils montrent que l'existence d'une différence de rendement significative selon la fumure appliquée et pour une même fumure, en fonction de l'irrigation, les parcelles irriguées étant plus productives. De même, une différence significative de prélèvement d'azote par le haricot est mesurée en fonction de la dose d'azote appliquée, les quantités prélevées étant significativement plus élevées pour les doses AZOBIL et 3/2 AZOBIL que pour les doses 0 N et 1/2 AZOBIL qui ne se distinguent pas. En outre, la quantité d'azote prélevée par la plante (sans les haricots ni les racines) est significativement plus importante pour la dose 3/2 AZOBIL que pour les trois autres doses. Enfin, le reliquat d'azote dans le sol mesuré sur 60 cm de profondeur est significativement plus élevé pour la dose 3/2 AZOBIL, dépassant les 50 kg fixés par l'arrêté du Gouvernement wallon du 14 mars 1995.

Nous mesurons un reliquat significativement plus élevé, pour chaque fumure, dans les parcelles non irriguées, ce qui traduit une meilleure absorption de l'azote en conditions non limitantes en eau comme le montre la graphique 15 sur lequel nous constatons que l'allure des deux courbes est différente, surtout lorsque le conseil AZOBIL est dépassé. En ce qui concerne les racines, les valeurs du tableau doivent être prises à titre indicatif car malgré le soin apporté à la prise de ces échantillons, nous n'avions jamais la certitude d'avoir l'entièreté de la racine.

L'observation des racines a néanmoins permis de mettre en évidence une quantité décroissante de nodosités en fonction de l'accroissement de la dose d'azote, cette quantité étant nettement plus importante pour la dose 0 N que pour les trois autres doses. Ainsi, en situation limitante en azote, la fonction symbiotique s'active.

Tableau 11 : Résultats de l'essai mené en culture de haricot en 1999 àBoëhle dans le cadre du projet INCO

Traitement FUMURE – (kg N/ha)	Facteur IRRIGATIO N	Haricots		Plante		Racines		Sol	
		(t MF/ha)	Exportation azote*** (kg N/ha)	(t MF/ha)	Nplante* (kg N/ha)	(kg MF/ha)	Nracines	Reliquats (kg N/ha) sur 45 cm	sur 60 cm
Dose 0	Irrigué	18,1	67	19,7	85	756	2,8	22	27
	Non irrigué	20,5	70	25,2	117	1145	5,4	12	15
Dose 1/2 AZOBIL (27)	Irrigué	18,9	68 ^a	21,7	95	821	2,6	23	29
	Non irrigué	21,4	73	23,7	110	943	4,5	16	21
Dose AZOBII (51)	Irrigué	20,0	77 ^b	17,6	88	670	3,6	30	36
	Non irrigué	22,4	78	23,6	110	950	4,5	18	23
Dose 3/2 AZOBIL (77)	Irrigué	20,6	84	29,5	149	965	4,6	75	82
	Non irrigué	24,0	87	23,3	122	914	4,7	39	44

Moyennes par fumure
Calculs effectués sur base d'une densité de 2888 plants/ha

Reliquat > 50 kg N/ha sur 60 cm

*** hautement significatif

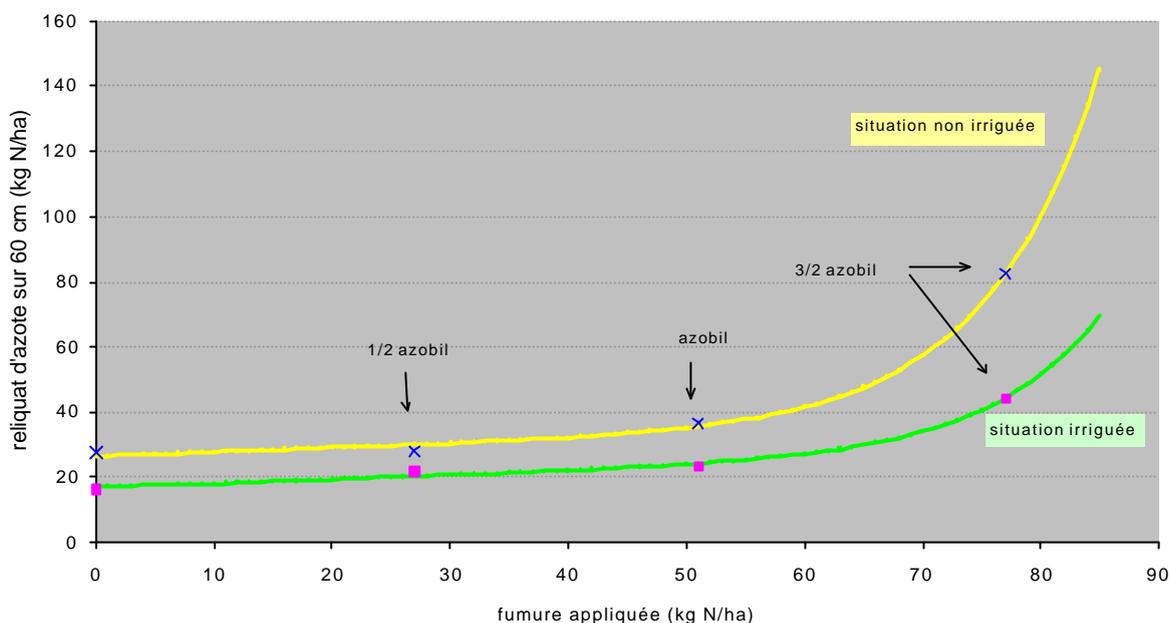
* significatif

en ce qui concerne la fumure appliquée

Les valeurs suivies d'une même lettre (pour a, b et c) ne sont pas significativement différentes au sens de Newman et Keuls (pour y et z)

pour $\alpha = 5 \%$
pour $\alpha = 10 \%$

Evolution du reliquat récolte sur 60 cm en situation irriguée et non irriguée



Graphique 18: Culture de haricot (Boëlhe, 1999) - Evolution du reliquat d'azote dans le sol sur 60 cm de profondeur en fonction de la fumure appliquée en situation irriguée et non irriguée.

En conclusion, il ressort de cet essai que l'application de la dose d'azote conseillée par le logiciel AZOBIL est un bon compromis entre rendement et environnement, le gain de rendement obtenu pour une dose plus élevée se faisant en quelque sorte au détriment de l'environnement puisque le reliquat augmente alors considérablement, jusqu'à dépasser les 50 kg.

III.2.4. Conclusions pour l'année 1999

L'analyse des essais menés en 1999 renforce l'intérêt de l'utilisation d'AZOBIL. En effet, dans le cas des betteraves, l'objectif de rendement est toujours atteint sans que le reliquat d'azote ne dépasse la norme, l'application d'une dose supérieure ne permettant pas d'augmenter le rendement.

Pour le maïs ensilage, nous avons mesuré des reliquats élevés dans le sol mais respectant la norme du Gouvernement wallon du 14 mars 1995 lorsque la gestion de la parcelle a été effectuée deux années de suite avec AZOBIL. Deux années ont en effet été nécessaires car la parcelle était extrêmement chargée en azote auparavant, l'agriculteur pratiquant une surfumure à priori (pas d'analyses de sol) par l'addition de matières organiques en excès et d'une fumure minérale élevée.

Dans le cas des cultures légumières traitées (épinard de printemps et haricot Mangetout), le dépassement de la dose AZOBIL a conduit à une forte augmentation du reliquat azoté dans le sol, au-delà de l'arrêté wallon du 14 mars 1995 et à un accroissement des quantités d'azote mesurées dans la plante. Nous constatons également que l'irrigation a un effet bénéfique sur le rendement des légumes et permet une diminution du reliquat azoté dans le sol dans tous les cas.

III.3. Résultats des essais menés en 2000

III.3.1. Betteraves sucrières

Quatre sites ont été suivis en 2000 dans le Brabant Wallon et Namur, la Hesbaye et le Tournaisis. Pour l'essai situé dans le Tournaisis, le protocole expérimental est différent du protocole classique puisque 5 doses d'azote ont été étudiées :

- 0 N
- 30 kg N/ha (sans apport de fumier)
- AZOBIL (30 kg N/ha)

- 60 Kg N/ha
- 90 kg N/ha

Les résultats sont présentés dans le tableau 12 aux graphiques 19 à 22 . Ils montrent que pour deux des trois essais menés dans le Brabant Wallon (Site 1 et 3), le rendement en sucre ne diffère pas significativement selon la dose d'azote appliquée. Par contre, dans le site 2, nous mesurons un rendement significativement plus élevé $\alpha = 10 \%$ de l'ordre de 16,4 t/ha en moyenne pour la dose AZOBIL que pour la dose appliquée par l'agriculteur (15,5 t/ha).

Pour deux de ces trois sites (site 2 et 3), nous enregistrons des concentrations en azote dans les feuilles significativement plus petites pour la dose AZOBIL que pour les doses plus élevées (site 2 = 20 %, site 3 = 10 %).

Aucune différence significative de concentration en azote dans la racine n'est apparue entre les différentes doses d'azote.

En ce qui concerne les reliquats d'azote dans le sol, les conditions climatiques particulièrement pluvieuses en automne 2000 ne nous ont pas permis de réaliser les prélèvements dans les sites 2 et 4. Les mesures réalisées dans les sites 1 et 3 ne montrent aucune différence significative entre les doses d'azote appliquées. En outre, les quantités d'azote dans le profil sont inférieure à 30 kg/ha sur 1,5 m de profondeur et sont par conséquent largement inférieures à l'arrêté gouvernemental du 14 mars 1995 qui fixe la limite à 50 kg/ha sur 60 cm de profondeur.

Dans le cas du site 4 implanté dans la région de Tournai, nous avons comparé successivement les résultats obtenus pour la dose AZOBIL et chacune des autres doses d'azote testées (ON, 30N sans fumier, 60N et 90N). La concentration en azote dans les feuilles de betteraves est significativement plus faible pour la dose AZOBIL que pour la dose 60N ($\alpha = 5 \%$) et la dose 90N ($\alpha = 20 \%$) alors qu'elle est significativement plus élevée pour la dose AZOBIL que la dose 30N sans fumier ($\alpha = 5 \%$). Par contre, nous n'avons mesuré aucune différence de concentration en azote dans les racines pour les différentes doses appliquées.

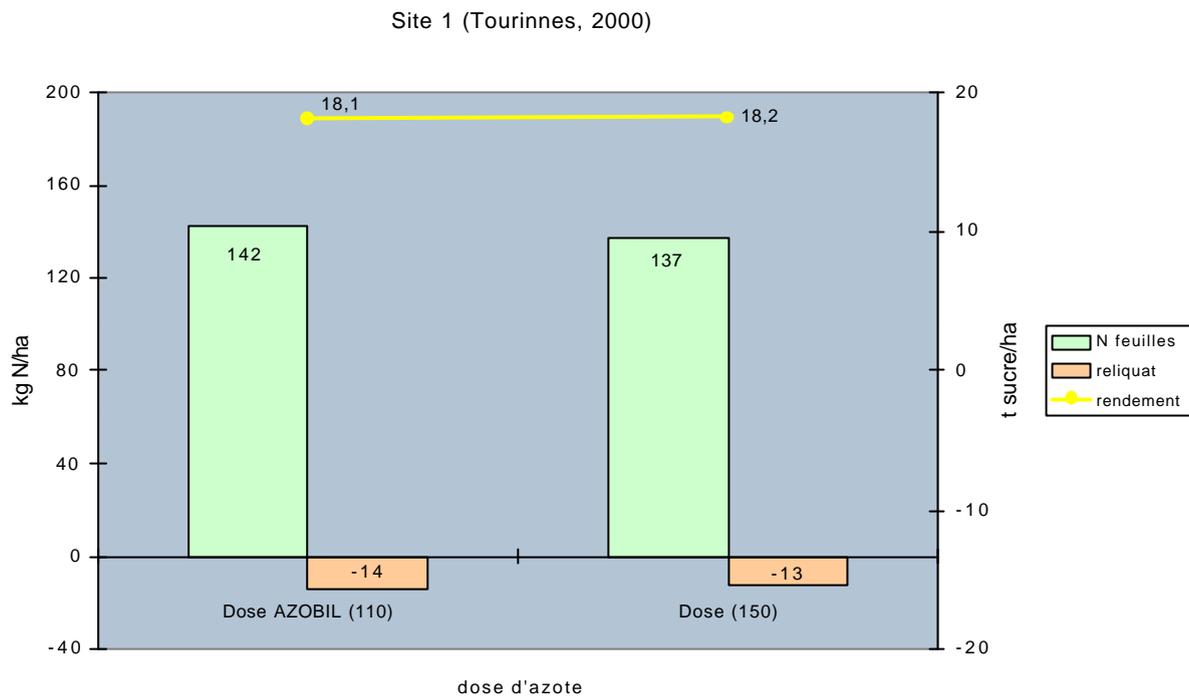
Les résultats de ces quatre essais montrent que le conseil du logiciel AZOBIL est tout à fait pertinent dans le cadre de la gestion raisonnée de la fumure azotée puisque, outre le maintien d'un rendement tout à fait dans les normes pour l'année, et non pénalisé par rapport à une fumure plus élevée, le reliquat d'azote dans le sol reste faible, même sur 1,5 m. En outre, les quantités d'azote stockées dans le feuillage de la plante sont généralement plus faibles pour AZOBIL que pour les autres doses appliquées. Pourquoi mettre plus d'azote ?

Tableau12 : Résultats des essais menés en culture de betteraves en 2000

Localisation sites et quantité d'azote apporté	Feuilles		Racines				Sol
	Matière fraîche (t/ha)	Prélèvement azote (kg/ha)	Matière fraîche (t/ha)	Sucre % t/ha		Prélèvement azote (kg/ha)	Reliquats sur 1,5 m (kg/ha)
Site 1 (Tourinnes) Dose AZOBIL (110 U) Dose fermier (150 U)	62	142	106	17	18,1	113	14
	59	137	104	17,5	18,2	117,8	13
Site 2 (Cognelée) Dose AZOBIL (50 U) Dose fermier (90 U)	55	144	93	18	16,4	120	MANQUANT*
	57	158	86	18	15,5	116	
Site 3 (Forville) Dose AZOBIL (40 U) Dose fermier (140 U)	53	133	79	17,4	13,7	98	28
	60	159	82	17,5	14,3	107	25
Site 4 (Leers-Nord) Dose 0 U Dose 30 U (sans f) Dose AZOBIL (30 U) Dose 60 U Dose 90 U	48	143	112	17,5	19,5	148	MANQUANT*
	40	120	116	17,2	19,9	156	
	44	137	111	17,2	19	150	
	58	166	111	16,7	18,6	151	
	51	162	118	17,2	20,2	182	

* Les mauvaises conditions climatiques (pluies abondantes en automne) n'ont pas permis l'accessibilité aux champs afin d'effectuer ces prélèvements. En outre, dans de telles conditions, les carottes de sol des couches profondes (en-deçà du mètre) contiennent plus d'eau que de terre et faussent les résultats d'analyse.

Graphiques 19 à 22 : Culture de betterave – Mise en relation du rendement avec deux paramètres liés à l'environnement (azote contenu dans les feuilles et reliquat d'azote dans le sol à la récolte) dans les 4 sites étudiés.

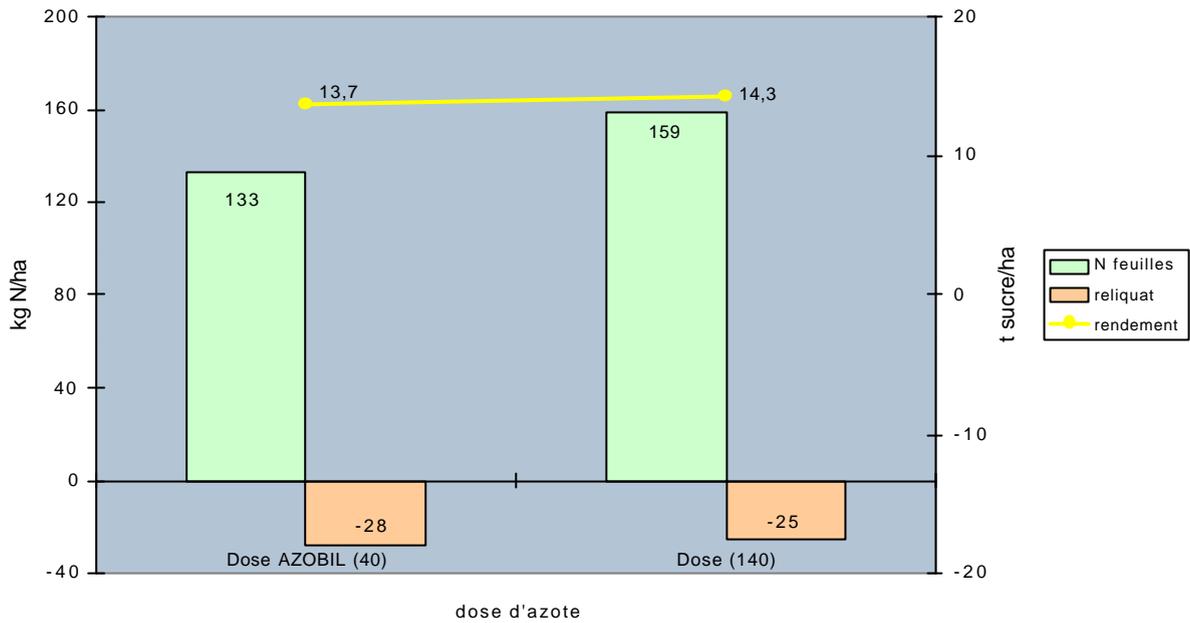


graphique 19



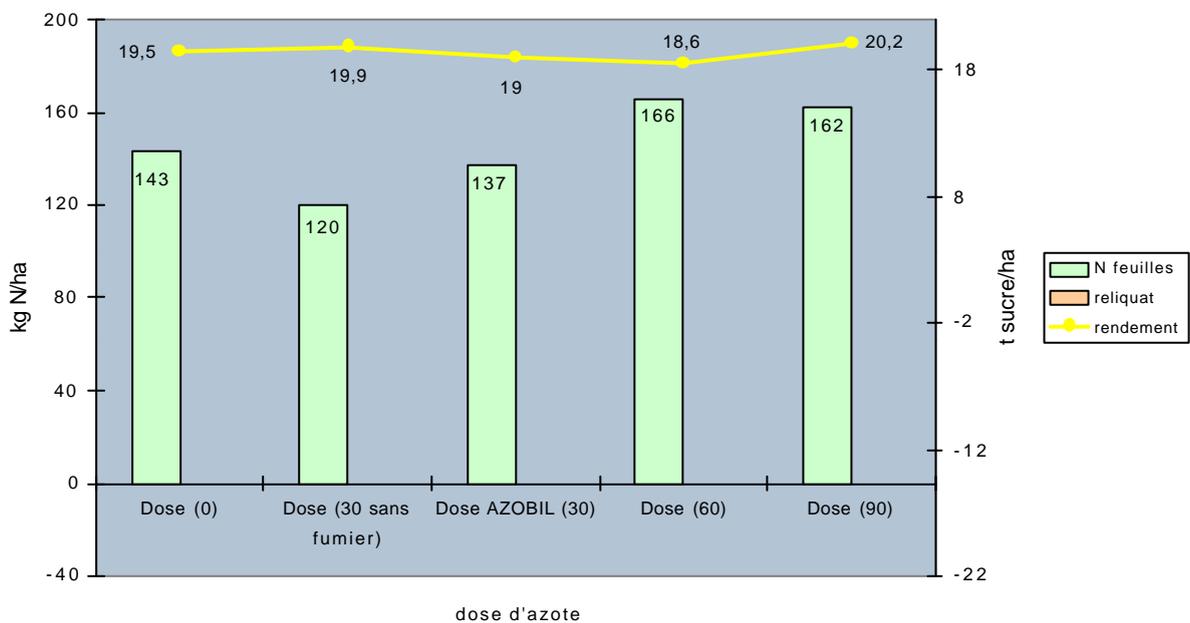
graphique 20

Site 3 (Forville, 2000)



graphique 21

Site 4 (Leers-Nord, 2000)



graphique 22

III.3.2. Maïs ensilage

Deux essais ont été implantés, l'un dans la région de Tournai (Site 1), à l'endroit où les essais 1998 et 1999 avaient précédemment été installés ; l'autre dans le Brabant Wallon, en collaboration avec le Centre Indépendant de Promotion Fourragère de Louvain-la Neuve (CIPF) (Site 2).

a) Site 1 (Maubray)

Quatre bandes d'essais ont été délimitées dans une partie du champ en fonction des essais que nous avons réalisés en 1998 et 1999 (passé cultural différent). Nous les nommerons : 'bandes 1 à 4' (tableau 13).

Tableau 13: Culture de maïs ensilage (Maubray, 2000) – Description du passé cultural (fumure azotée) des 4 traitements étudiés.

	1998	1999	2000
Bande 1	Fumier 90 U (fermier)	Pas de fumier (excès) 150 U (Azobil)	Fumier 75 U (fermier)
Bande 2	Fumier 0 U (Azobil)	Pas de fumier (excès) 150 U (Azobil)	Fumier 60 U (Azobil)
Bande 3	Fumier 90 U (fermier)	Pas de fumier (excès) 150 U (Azobil)	Fumier 75 U (fermier)
Bande 4	Fumier 90 U (fermier)	Fumier 85 U (Azobil)	Fumier 75 U (fermier)

La bande 2 constitue notre référence AZOBIL puisque tout au long des trois années, elle a reçu la dose d'azote conseillée par le logiciel. Pour celle-ci, l'alternance « avec » et « sans fumier » est également intéressante.

Les bandes 1 et 3 ont reçu les mêmes fumures au cours de ces trois années mais la bande 3 se trouvait à la limite de la zone sans fumier en 1999, c'est à dire la plus proche du fumier appliqué cette année-là avec néanmoins un conseil en azote minéral élevé (150 U) puisque calculé en absence de fumier.

La bande 4 a reçu du fumier au cours des trois années. En 1999, le conseil AZOBIL a été calculé pour cette partie en tenant compte du fumier (85 U).

A l'exception de la bande 2, le conseil AZOBIL a été donné une seule fois au cours des trois années, en 1999. En 1998 et en 2000, l'agriculteur a pratiqué comme il en avait l'habitude et a appliqué une dose d'azote plus élevée que celle conseillée par le logiciel.

Avant de présenter les résultats, signalons que les mauvaises conditions climatiques locales (pluies abondantes) rencontrées au printemps 2000 ont fortement retardé le semis du maïs qui a finalement eu lieu le 12 juin 2000. Par conséquent, le maïs a été récolté dans un état de maturité peu satisfaisant vu le délai de culture court et le manque de jours chauds et ensoleillés.

Les résultats sont présentés dans le tableau 14.

Tableau14 : Résultats de l'essai mené en maïs ensilage à Maubray (Site 1)

Traitement	Plante				Sol
	T MS/ha	N plante	PBD	VEM	N sol (1,5m)*
Bande 1	13.3	165	45.8	916	66.3 ^a
Bande 2	12.8	150	43.3	912.1	68.5 ^a

Bande 3	13.5	175	47.4	909.6	106.1 ^b
Bande 4	13.3	176	49.2	905.1	86.7 ^b

PBD = protéines brutes digestibles (g/kg MS)

VEM = unité fourragère Lait sur base de la MS (système hollandais)

N_{sol} et N_{plante} sont mesurés en kg N/ha

* = significatif en ce qui concerne la fumure appliquée

Les valeurs suivies d'une même lettre en exposant ne sont pas significativement différentes au sens de Neuman et Keuls pour $\alpha = 5\%$

L'examen du tableau met en évidence, comme nous venons de le signaler, un défaut de maturité et de production à la récolte : le pourcentage de matière sèche n'excède pas les 24 % et la production de matière sèche plafonne à 13,5 t/ha.

L'analyse statistique des résultats au sens de Neuman & Keuls montre qu'aucune différence significative n'est mesurée entre les quatre bandes étudiées pour le rendement en matière sèche, la valeur du fourrage (PBD et VEM) ainsi que l'azote exporté par la plante entière (sans les racines). Par contre, les reliquats mesurés dans les bandes 1 et 2 sont significativement plus petits que ceux des bandes 3 et 4, la différence étant surtout marquée pour la bande 3.

L'examen des profils de sol mesurés sur 1,5 m de profondeur par couche de 15 cm montre des similitudes quant à la répartition de l'azote (graphiques 23 à 26) : beaucoup d'azote entre 0 et 60 cm⁽¹⁾, un creux dans la distribution entre 60 cm et 1,2 m⁽²⁾ et ensuite un enrichissement du profil en profondeur à partir de 1,2 m⁽³⁾.

⁽¹⁾ Il s'agit de l'azote non absorbé auquel vient s'ajouter un part de minéralisation tardive due notamment aux restitutions fréquentes de matières organiques sur le champ (tous les moins de 3 ans).

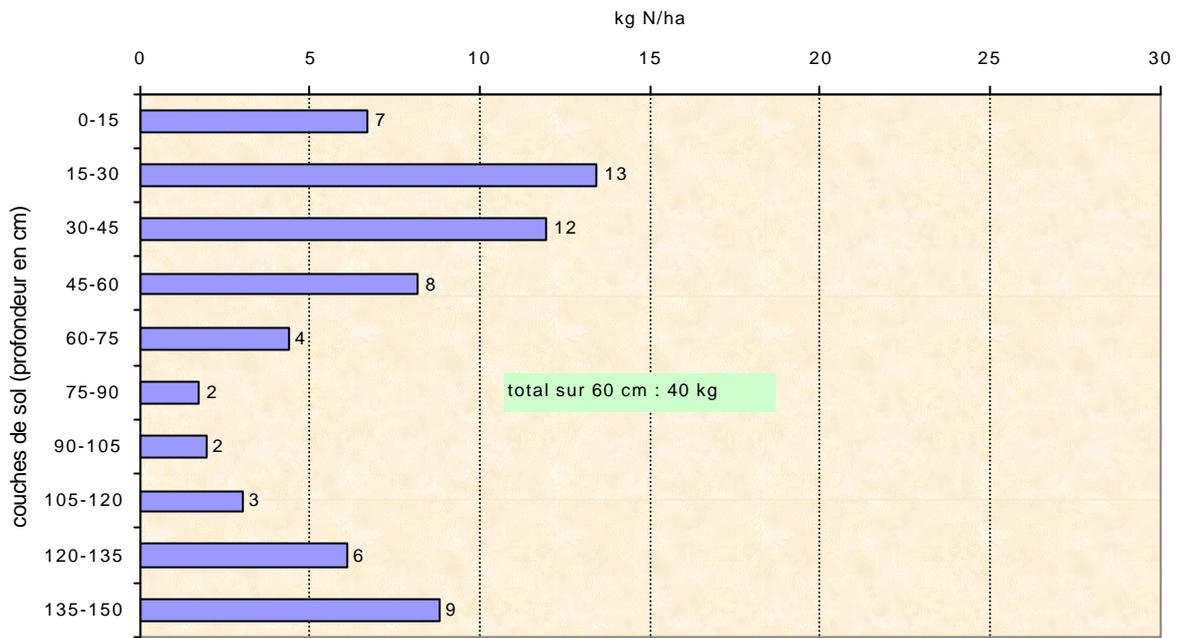
⁽²⁾ Zone bien exploitée par les racines jusqu'en fin de culture

⁽³⁾ Zone profonde, moins bien exploitée par les racines en fin de culture et dans laquelle l'azote lessivé s'accumule.

Pour les bandes 3 et 4, l'excès d'azote se situe essentiellement entre 0 et 60 cm

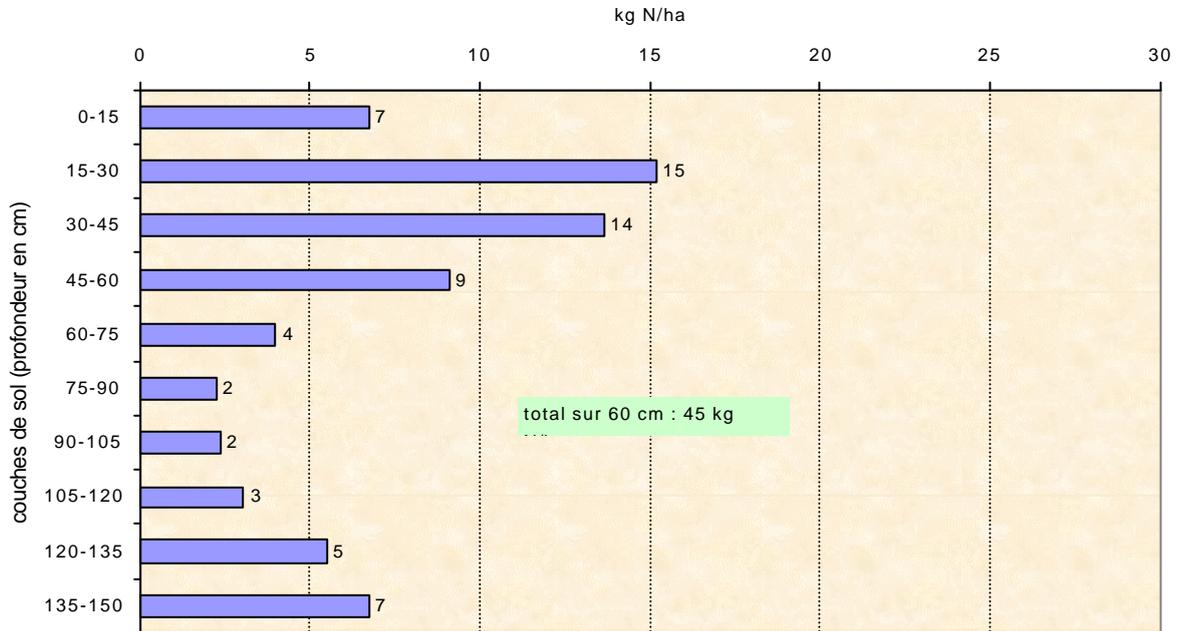
Graphiques 23 à 26 : Maïs ensilage (Maubray, 2000) - Répartition de l'azote dans le profil de sol sur 1,5 m de profondeur, à la récolte, pour les 4 situations culturales étudiées (avec ou sans matières organiques).

Maubray, 2000 (bande 1)



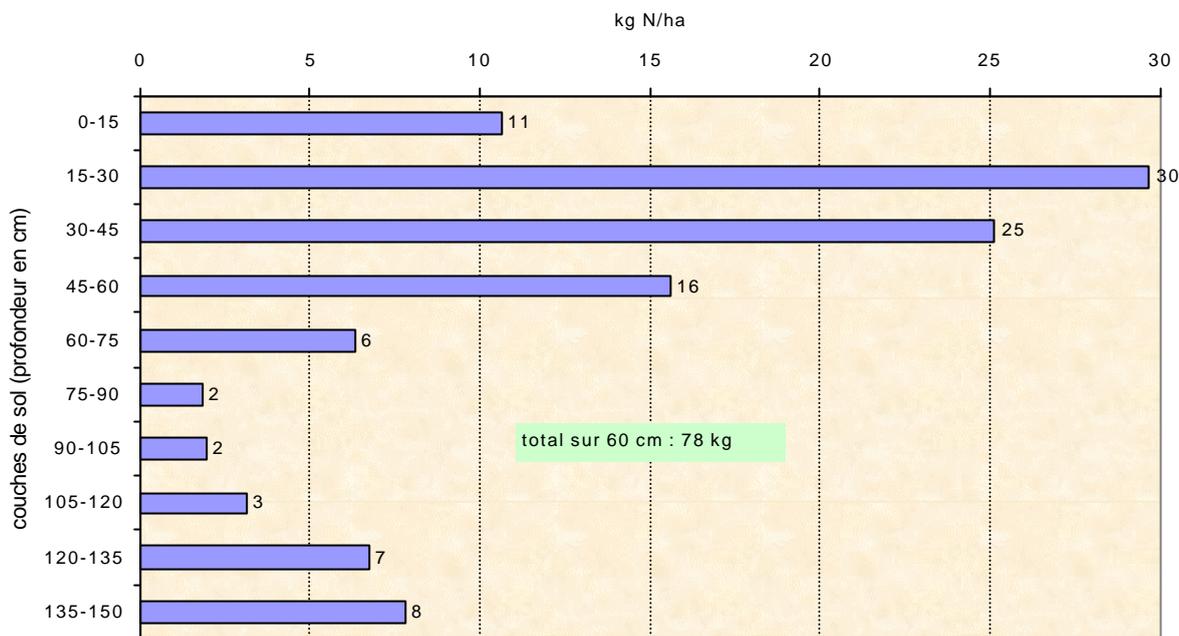
graphique 23

Maubray, 2000 (Azobil, bande 2)



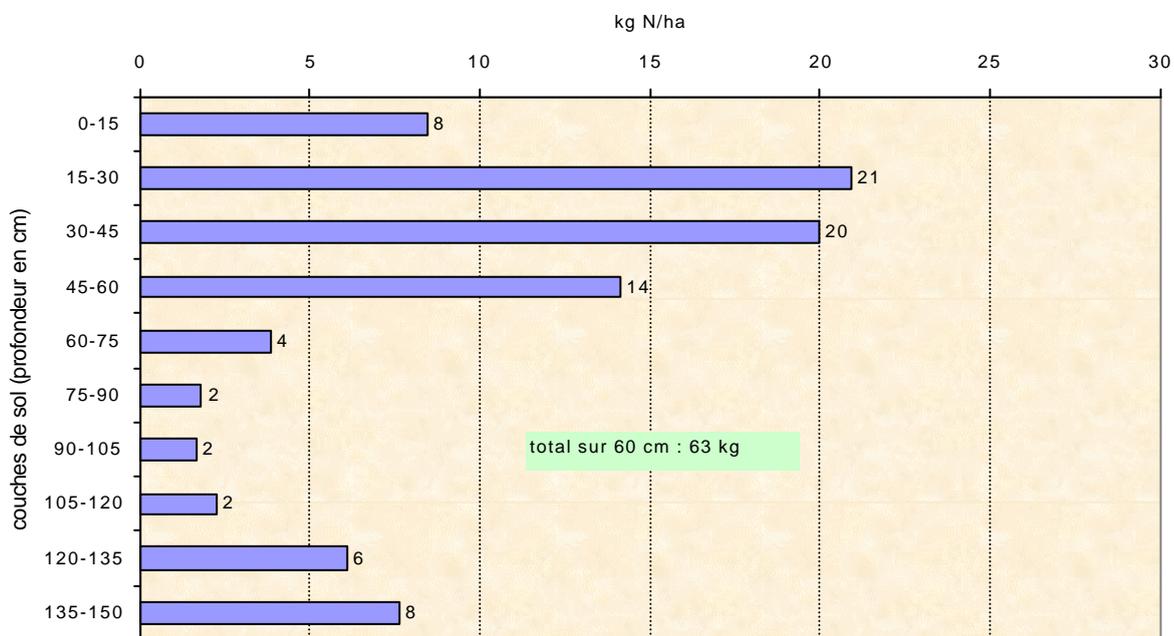
graphique 24

Maubray, 2000 (bande 3)



graphique 25

Maubray, 2000 (bande 4)



graphique 26

En conclusion, dans une situation culturale défavorable comme celle-ci, le conseil de fumure azotée donné par le logiciel AZOBIL conduit à des résultats similaires à ceux obtenus par l'agriculteur, en tout cas non pénalisant au niveau du rendement et de la qualité du fourrage. Néanmoins, nous mesurons un effet négatif à long terme d'une gestion sans AZOBIL puisque le reliquat augmente. Une mauvaise

gestion associée à des apports fréquents et importants de matières organiques (fumier de bovin décomposé toujours en quantités supérieures à 80 t/ha) laisse donc des traces. Pourtant cette année, la différence de fumure minérale entre AZOBIL (60 kg N/ha) et la dose appliquée par l'agriculteur (75 kg N/ha) n'était pas excessive.

b) Site 2 (Corroy-le-Grand)

L'essai a été mis en place sur une terre de la ferme expérimentale du CIPF. Nous nous trouvons dans une situation de monoculture de maïs ensilage avec des apports fréquents de matières organiques (tous les moins de trois ans) généralement sous forme de fumier de bovins pailleux (peu décomposé). Au printemps, juste avant le labour, 28 m³ de lisier de porc ont été épandus sur la terre. Compte tenu de cette donnée, le conseil AZOBIL a été calculé. La fourchette proposée par AZOBIL pour un objectif de rendement minimum de 14 t MS/ha et pour un maximum de 18 t MS/ha (rendement escompté sur cette terre) était de 30 kg N/ha à 85 kg N/ha. Par conséquent, nous avons choisi la dose de 85 kg/ha comme dose de référence.

L'essai a été réalisé selon un dispositif en blocs aléatoires complets avec 4 répétitions (4 blocs) et 6 traitements (6 doses d'azote) selon le schéma suivant :

3	4	5	6	1	2
1	6	2	3	4	5
6	5	4	2	3	1
2	3	1	4	5	6

- Traitement
- 1 = témoin sans azote minéral et sans lisier
 - 2 = pas d'azote minéral
 - 3 = dose minérale correspondant à la dose AZOBIL (= 42 kg N/ha)
 - 4 = dose minérale correspondant à la dose AZOBIL (= 85 kg N/ha)
 - 5 = dose minérale correspondant à la dose 3/2 AZOBIL (= 127 kg N/ha)
 - 6 = dose minérale excessive (= 170 kg N/ha)

Les parcelles 2 à 6 ont reçu 28 m³ de lisier de porc

Les résultats sont présentés dans le tableau 15 et les graphiques 27 à 34.

Le tableau 15 montre que le rendement en MS et l'azote total exporté par la plante sont significativement moins élevés pour le témoin que pour les autres doses d'azote étudiées. En outre, l'examen de la courbe de réponse du maïs à l'azote (graphique 27) laisse apparaître un plafonnement du rendement dès que la dose « lisier seul » (traitement 2) est atteinte.

Nous mesurons des valeurs de VEM significativement plus élevées pour les doses AZOBIL, 3/2 AZOBIL et la dose excessive que pour le témoin, le lisier seul et la dose 1/2 AZOBIL.

En ce qui concerne le reliquat d'azote minéral dans le sol (RAMS), nous mesurons un accroissement lorsque la dose « lisier seul » est dépassée (de 92 kg N/ha à 168 kg N/ha) mais il ne devient significatif qu'au-delà de la dose AZOBIL (de 144 kg N/ha à 382 voire 399 kg N/ha) (graphique 28). Un examen plus approfondi du RAMS (graphiques 29 à 34) montre que cet accroissement se traduit par un enrichissement dans la zone comprise entre 0 et 60 cm de profondeur, la majeure partie de l'azote étant située dans la couche 15-30 cm. L'azote apporté en excès se retrouve donc essentiellement en surface mais tend déjà à se redistribuer en profondeur. Nous nous trouvons par conséquent dans des situations qui présentent déjà un risque de pollution dès la dose 1/2 AZOBIL, risque qui devient inévitable pour les doses 3/2 AZOBIL et « excessive ». En effet, même si un engrais vert était implanté, plus de 200 kg serait tout simplement lessivés vers la nappe phréatique.

Cet essai montre également la difficulté de gérer la fumure azotée en présence de matières organiques : la variabilité du RAMS des parcelles pour un même traitement devient importante dès que la matière organique est appliquée, alors que pour le témoin, les prélèvements donnent des résultats peu variables.

Tableau 15 : Résultats de l'essai de maïs ensilage mis en place Corroy-le-Grand en 2000 (Site 2)

Traitement (kg N/ha)	Plante				Sol
	T MS/ha**	N plante**	PBD*	VEM	N sol (1,5m)**
1 Témoïn sans azote	15.9 ^a	165 ^c	32 ^e	936	45 ^g
2 Lisier 28 m ³	18.6 ^b	202 ^d	37 ^e	929	92 ^g
3 Dose 1/2 AZOBIL (42)	18.1 ^b	196 ^d	37 ^e	908	168 ^g
4 Dose AZOBIL (85)	18.8 ^b	211 ^d	42 ^f	939	144 ^g
5 Dose 3/2 AZOBIL (127)	19.0 ^b	232 ^d	43 ^f	952	382 ^h
6 Dose excessive (170)	19.1 ^b	212 ^d	42 ^f	922	399 ^h

Description des contributions pour chaque traitement :

- 2 28 m³ lisier contribuent pour 56 kg N/ha
- 3 98 kg N/ha (28 m³ lisier + 42 kg N :ha)
- 4 141 kg N/ha (28 m³ lisier + 85 kg N/ha)
- 5 183 kg N/ha (28 m³ lisier + 127 kg N/ha)
- 6 226 kg N/ha (28 m³ lisier + 170 kg N/ha)

N_{plante} et N_{sol} sont mesurés en kg/ha

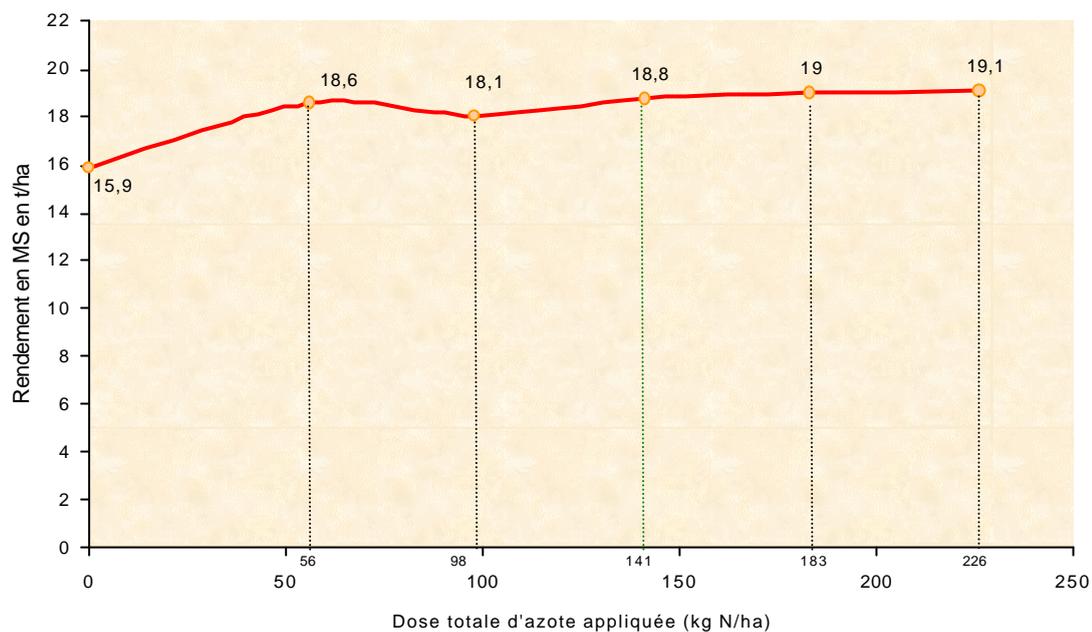
PBD = protéines brutes digestibles (g/kg MS)

VEM = unité fourragère Lait sur base de la matière sèche (système hollandais)

*ou ** = significatif ou très significatif en ce qui concerne la fumure appliquée.

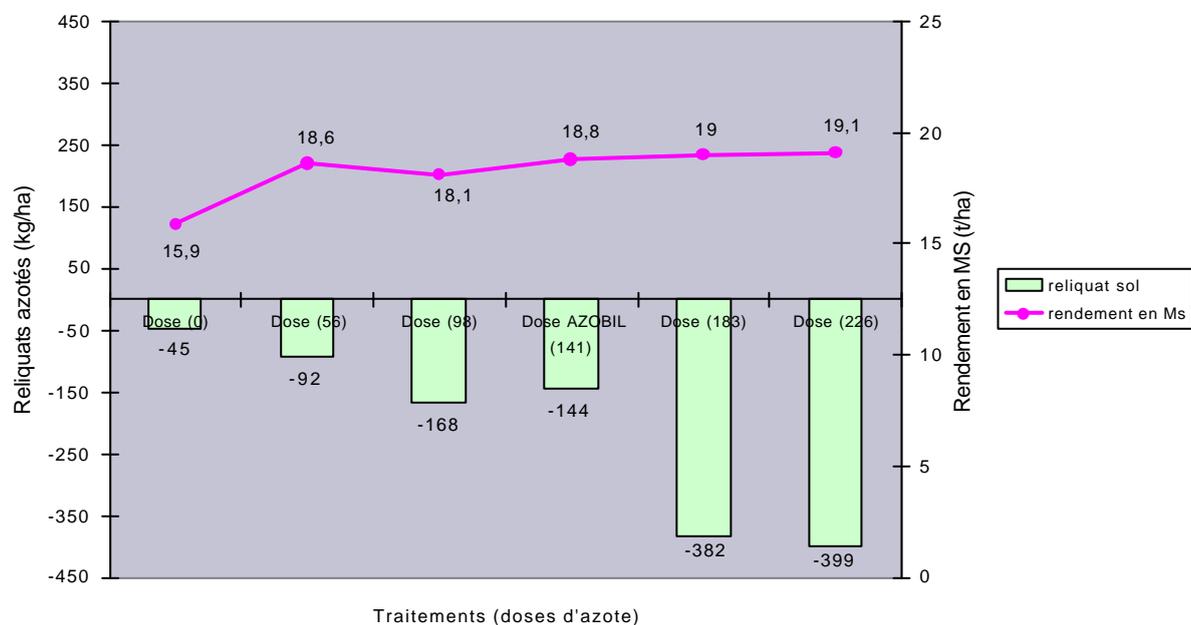
Les valeurs suivies d'une même lettre en exposant dans chaque colonne ne sont pas significativement différentes au sens de Neuman et Keuls pour $\alpha = 5\%$

Maï s ensilage (Corroy-le-Grand, 2000)



Graphique 27: Corroy-le-Grand, 2000 (Site 2) – Courbe de réponse du maï s ensilage à l'azote

Maï s ensilage (Corroy-le-Grand, 2000)



Graphique 28: Corroy-le-Grand, 2000 – Mise en relation du rendement avec un paramètre lié à l'environnement, le reliquat d'azote dans le sol à la récolte.

Graphique 29 à 34 : Maï s ensilage (Corroy-le-Grand, 2000) - Répartition de l'azote dans le profil de sol sur 1,5 m de profondeur, à la récolte, pour les 6 niveaux de fumures azotées testés.

Corroy-le-Grand, 2000 (témoin sans azote)



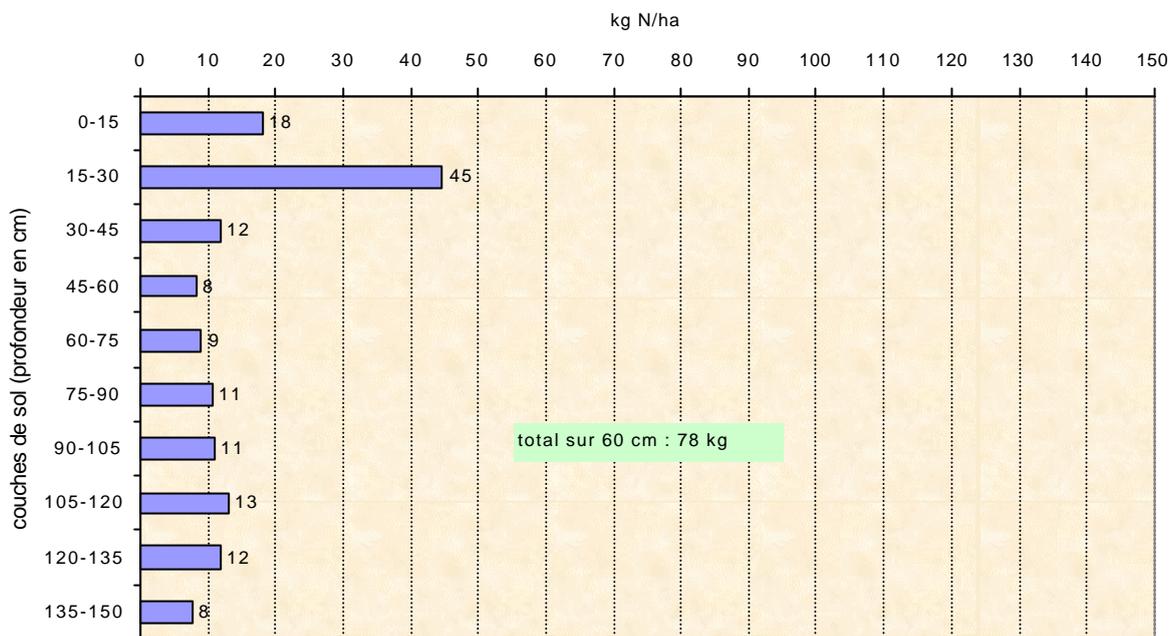
graphique 29

Corroy-le-Grand, 2000 (28 m³ lisier)



graphique 30

Corroy-le-Grand, 2000 (dose 1/2 AZOBIL)



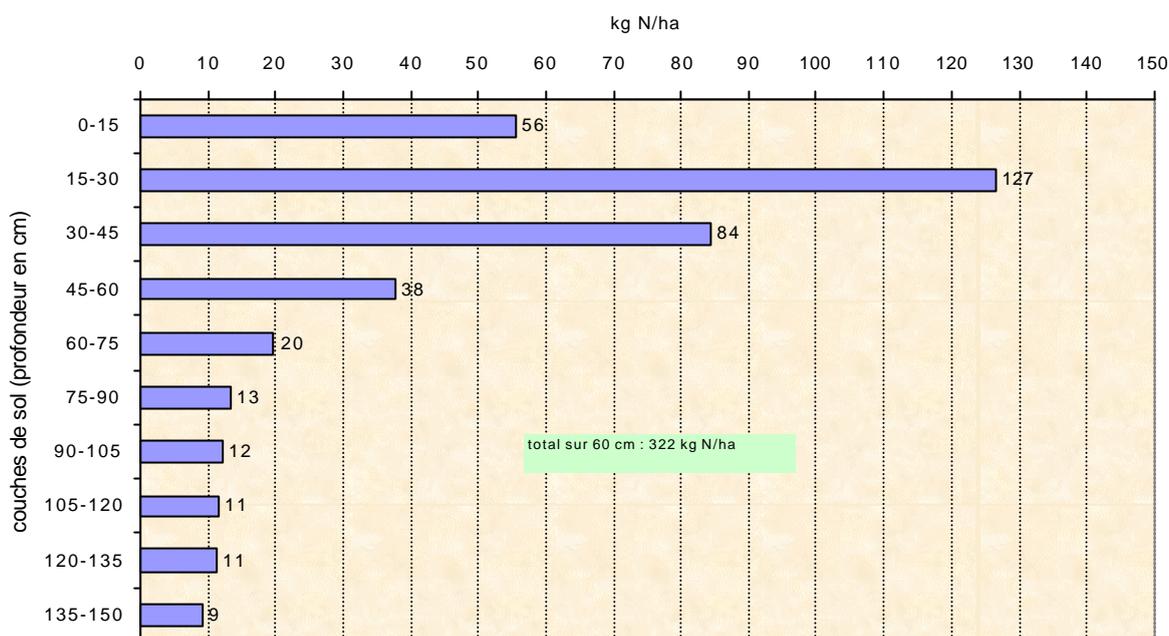
graphique 31

Corroy-le-Grand, 2000 (dose AZOBIL)



graphique 32

Corroy-le-Grand, 2000 (dose 3/2 AZOBIL)



graphique 33

Corroy-le-Grand, 2000 (dose excessive)



graphique 34

En conclusion, cet essai conduit sur une parcelle bien gérée en matière de fumure azotée par le CIPF depuis plusieurs années, montre bien que l'application régulière de matières organiques complique le calcul de la fumure. Les phénomènes liés à la minéralisation de ces matières organiques, la variabilité de leur composition et les difficultés d'homogénéité de leur épandage restent autant d'éléments qui entravent la précision du conseil donné. Ainsi, l'utilisation d'un outil comme AZOBIL permet, dans ce

cas, outre l'obtention d'un rendement proche du maximum, de limiter les problèmes de pollution de l'environnement par les nitrates, même si une certaine imprécision existe au niveau du conseil.

III.3.3. Froment d'hiver

L'essai suivi s'intègre dans le cadre du projet INCO pour lequel, après la succession épinard de printemps-haricot que nous avons suivi en 1999, une culture de froment a été implantée. Il s'agit de la variété RENAN qui est une variété panifiable. Sur base des reliquats présents dans le sol dans les parcelles ayant reçu le conseil AZOBIL en épinard et en haricot, nous avons établi un conseil AZOBIL pour le froment. A nouveau, la répartition des doses d'azote étudiées a été réalisée de la façon suivante :

- 1) témoin sans azote
- 2) dose AZOBIL (75 kg N/ha)
- 3) dose AZOBIL (150 kg N/ha)
- 4) dose 3/2 AZOBIL (221 kg N/ha)

Le tableau 15 présente les résultats obtenus. Ils montrent que de manière générale, le rendement est peu élevé, ne dépassant pas 80 quintaux/ha. Ces résultats ne sont pas surprenants pour une variété ancienne tel que RENAN.

Lorsque la dose d'azote apportée croît, le rendement s'accroît jusqu'à la dose conseil AZOBIL (75 q/ha) puis plafonne et tend même à diminuer en moyenne (74 q/ha)

Le taux de protéines augmente avec un excellent taux déjà pour la valeur conseil AZOBIL (> 14.5 %)

Les reliquats mesurés sur 1,5 m de profondeur sont peu élevés pour les doses 0N, 1/2 AZOBIL et AZOBIL (de l'ordre de 20-30 kg N/ha) alors qu'un excès est mesuré pour la dose 3/2 AZOBIL (80 kg N/ha).

Tableau 15 : Résultats de l'essai mené en culture de froment d'hiver en 2000

Fumure apportée (kg N/ha)		Rendement (q/ha) A 15 % HR	Protéines (%)	N sol (sur 1,5 m) Kg N/ha
Irrigation du haricot précédent				
Témoin sans azote	Irrigué	56,4	12	23
	Non irrigué	58,5	12,4	23
	Moyenne	57,4	12,2	23
1/2 AZOBIL (75)	Irrigué	71,9	13,6	20
	Non irrigué	72,5	13,5	23
	Moyenne	72,2	13,6	22
AZOBIL (150)	Irrigué	75,4	14,7	28
	Non irrigué	75	14,5	31
	Moyenne	75,2	14,6	29
3/2 AZOBIL (221)	Irrigué	75,4	15,1	85
	Non irrigué	74	14,9	81
	Moyenne	74,7	15	83

Nous ne mesurons pas d'effet de l'irrigation de la culture de haricot qui précède celle de froment

III.3.4. Cultures maraîchères

Les deux parcelles suivies ont été mises en place par le C.M.H. dans le cadre de l'O.P. APLIGEER.

a) Epinards de printemps

Outre le témoin, trois doses croissantes d'engrais azoté ont été étudiées selon le schéma :

- un témoin 0 unités d'azote
- la moitié de la doses conseil AZOBIL
- la dose AZOBIL
- Trois demi de la dose AZOBIL

Les résultats sont présentés dans le tableau 16.

Tableau 16 : Synthèse des résultats obtenus en culture d'épinard de printemps

Traitement kg N/ha)	Rendement T MF/ha	N total exporté T/ha	Nitrate ppm	Reliquat sol Kg N/ha
------------------------	----------------------	-------------------------	----------------	-------------------------

				sur 90 cm	sur 60 cm
Dose 0	12,1	59	357	62	32
Dose 1/4 AZO	20	123	2241	96	68
Dose AZOBIL	20,2	133	3403	162	126
Dose 3/2 AZO	19,9	134	3633	255	226

Ces résultats montrent que le témoin 0 unités d'azote a été limitant pour la culture. Cela se traduit par un rendement médiocre avoisinant les 10 t/ha. En outre, les teneurs en nitrate et en azote total des plantes sont extrêmement faibles, de même que le reliquat d'azote anormalement bas pour une culture tel que l'épinard.

Pour les doses 1/4 AZOBIL, AZOBIL et 3/2 AZOBIL, nous mesurons des rendements équivalents, proches de 20 t/ha. Ainsi, le rendement plafonne rapidement. De même, les teneurs en azote total des plantes sont constantes pour ces trois doses (proche des 130 kg N/ha) Par contre, nous observons un accroissement des teneurs en nitrate (de 2241 à 3403 à 3633 ppm) dans la plante en fonction de la dose d'azote appliquée, La même progression étant retrouvée en terme de reliquat d'azote dans le sol (de 68 à 126 à 226 kg N/ha)

Ainsi, nous constatons une mauvaise assimilation de l'azote par la plante : l'absorption est intervenue tardivement limitant par conséquent l'accroissement de la biomasse de la plante et favorisant l'accumulation de nitrate dans le végétal. Ce retard d'assimilation s'explique pour une part par d'abondantes pluies après une application d'herbicide de post-émergence et pour une part suite à un manque d'ensoleillement en mai 2000.

b) Fèves de marais

Ne disposant pas d'informations pour la fertilisation azotée des fèves de marais avec le logiciel AZOBIL, nous nous sommes basés sur les pratiques culturales du périmètre entourant Hesbaye Frost s.a. et sur les renseignements culturaux acquis pour la parcelle suivie. Le conseil donné est de 50 kg N/ha pour tout le champ. Néanmoins, afin de mesurer la variabilité rencontrée, nous avons délimité 10 parcelles, chacune d'elles faisant l'objet de deux prélèvements d'échantillons de plantes et de sol. Les résultats sont présentés dans le tableau 17.

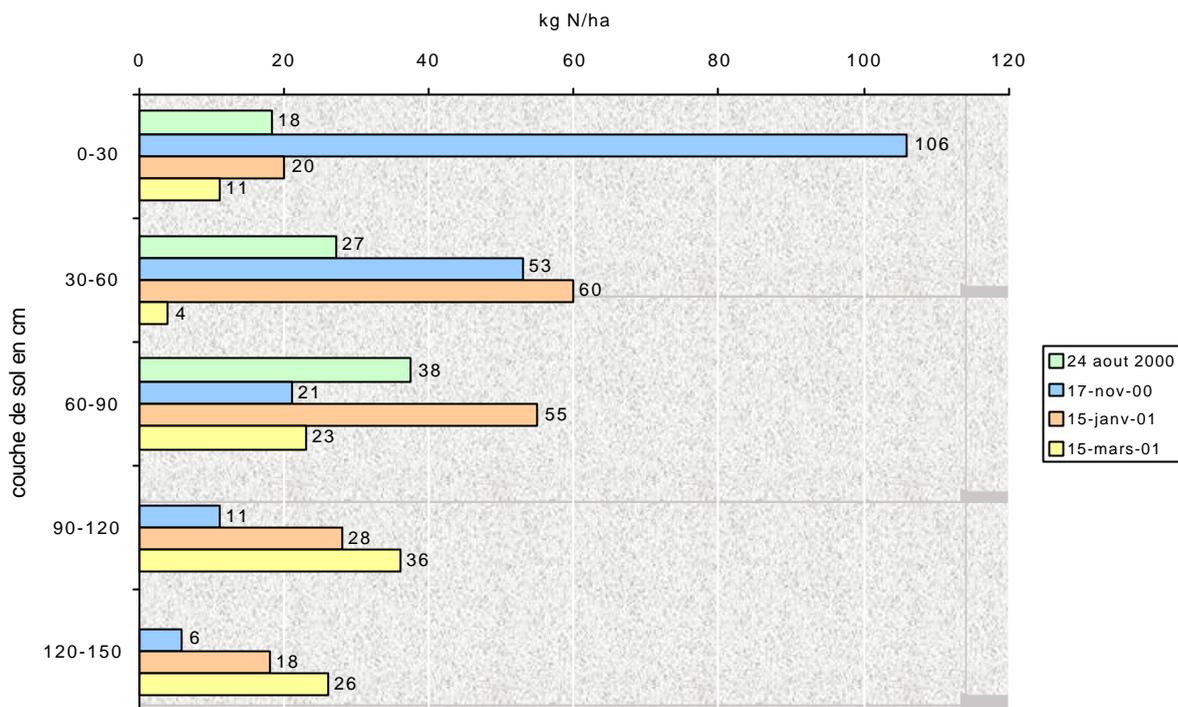
Tableau 17 : Synthèse des résultats acquis en 2000 pour la culture de fèves de marais

	Gousses + fèves	Racines	Plante (tiges + feuilles)
Rendement (t MF/ha)	8,6 (1,5)	11,3	63,8
% MS	12	20	14
N total exporté (kg/ha)	97	33	181
Reliquat sol (kg N/ha)	Sur 60 cm	45	
	Sur 90 cm	83	
Azote exporté par plante entière (Kg /ha)	311		

Ces résultats montrent que le rendement en fèves (1,5 t/ha) est extrêmement faible (peu de fèves et souvent avortées). Ceci s'explique par les conditions climatiques défavorables rencontrées au mois de juillet (précipitation plus du double de la normale et insolation moins de deux fois en dessous des normales saisonnières) qui ont fortement retardé la croissance des plantes et provoqué en fin de culture la pourriture des feuilles des étages inférieurs. Cela se traduit par une mauvaise absorption de l'azote et un accroissement de la quantité d'azote qui migre en profondeur comme le montre la profil mesuré : en moyenne, il reste 45 kg N/ha sur 60 cm, ce qui n'est pas excessif, mais juste en dessous, sur 30 cm (couche 60-90 cm), près de 40 kg N/ha sont en moyenne mesurés.

Malgré ce retard d'absorption, les quantités d'azote total enregistrées dans la plante sont élevées, de l'ordre de 300 kg/ha (même en retirant la contribution des fèves en azote puisqu'elle sont exportées). Ainsi, les résidus constituent une source importante d'azote qui va être restituée au sol; moyennant des pertes (volatilisation notamment) variables selon le délai d'enfouissement. La gestion de l'interculture devient alors essentielle pour tenter de maintenir une partie de cette azote en surface.

Nous avons eu la possibilité de réaliser un suivi du reliquat d'azote dans le sol depuis la récolte jusqu'en mars 2001. Les résultats sont présentés au graphique 35..



Graphique 35: Fève de marais (Geer, 2000-2001) – Evolution du reliquat d'azote dans le sol sur 1,5 m de profondeur après fève de marais suivi d'un froment d'hiver.

Il sont très intéressants. En effet, nous mesurons un accroissement important des quantités d'azote dans le profil principalement dans la couche 0-30 cm (de 18 kg N/ha à 106 kg N/ha) dès le 17 novembre 2000 suite à la minéralisation des résidus de fèves. Dans les couche sous-jacente (30-60 cm et 60-90 cm), nous enregistrons également des quantités d'azote en progression dues au lessivage de cet excès d'azote en surface. A partir du 15 janvier 2000, la tendance au lessivage s'accroît et le profil s'inverse : il s'enrichit en profondeur tandis que le haut du profil s'appauvrit aussi parce-que le froment semé dès le 15 octobre prélève une partie de cette azote (environ 30 kg N/ha jusqu'à l'application de la première fraction azotée).

III.3.5. Conclusion pour l'année 2000

Les résultats obtenus en 2001 sont similaires à ceux des deux années précédentes. En effet, nous enregistrons toujours d'excellents résultats pour les betteraves lorsque le conseil AZOBIL est appliqué. Pour le froment, nous pouvons tirer la même conclusion : le rendement obtenu avec AZOBIL est tout à fait correct tandis que le reliquat d'azote est lui aussi tout à fait acceptable.

Dans le cas du maïs, nous voyons que la principale difficulté reste l'application généralisée de matières organiques (fumier ou lisier) qui jouent sur les quantités d'azote libérées en cours de culture et surtout de façon décalées en fin d'été par rapport à la cinétique de prélèvement de l'azote par la plante. Par conséquent, la gestion du reliquat à la récolte est difficile, la limite actuelle de 50 kg N/ha sur 60 cm de profondeur de sol, fixée par le Gouvernement wallon, est dépassée.

En ce qui concerne les cultures légumières, les résultats des deux essais menés en épinard de printemps et en fèves de marais sont loin du maximum espéré en raison de mauvaises conditions climatiques qui ont fortement perturbé l'assimilation de l'azote en cours de culture provoquant, pour les épinards, une accumulation de nitrates dans la plante en fin de culture, et pour les fèves un avortement de la majorité des gousses et donc un rendement peu satisfaisant. Par conséquent, dans les deux cas, des reliquats trop importants sont mesurés dans le sol à la récolte. Ainsi, ces cultures sont fortement dépendantes des aléas climatiques, malgré la gestion de la fumure azotée pratiquée dans une optique environnementale.