

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)

RESULTATS ANNEXES

III.4. RESULTATS ANNEXES

III.4.1. Betteraves sucrières (saison culturale 1998)

Au vu des mauvaises conditions climatiques qui ont accompagné la saison culturale 1998 dès le printemps, nous avons réalisé des prélèvements de sol en cours de culture chez certains agriculteurs afin de contrôler l'intensité du lessivage ainsi que l'azote réellement disponible pour les plantes (tableau 18).

Tableau 18 : Betteraves, 1998 - Résultats des prélèvements de sol effectués sur 90 cm de profondeur entre fin mai et fin juin dans 4 sites. Les résultats sont exprimés en kg N/ha.

Couche de sol (cm)	Site 1 (Floriffoux)		Site 2 (Forville)	Site 3 (Forville)		Site 4 (Thorembais-St-Trond)
	Dose AZOBIL (80 kg N/ha)	Dose fermier (140)	Dose agriculteur (80)	Dose AZOBIL (0)	Dose agriculteur (90)	Dose agriculteur (90)
0-15	42	66	72	15	56	75
15-30	30	33	40	16	29	54
30-45	14	16	31	11	17	37
45-60	10	12	34	13	18	39
60-75	10	12	31	21	20	54
75-90	10	11	20	21	17	50
Total	116	150	228	97	157	309

Les sites (1) et (3) ont reçu sur une partie du champ la dose proposée par le logiciel AZOBIL et sur le reste du champ la dose agriculteur plus élevée. Les sites (2) et (4) ont systématiquement reçu partout une dose plus élevée que celle conseillée, les conseils étant dans les deux cas de 0 kg N/ha.

Nous avons constaté que les pluies tombées en cours de culture n'ont pas provoqué un lessivage important de l'azote et qu'il n'était pas nécessaire d'apporter un supplément d'azote de 20 à 30 kg/ha comme beaucoup d'agriculteurs souhaitaient le faire.

III.4.2. Maïs ensilage (saison culturale 1999)

Nous nous trouvons dans le champ déjà suivi en 1998 à Maubray, dans la région de Tournai. Comme nous l'avons déjà signalé, l'agriculteur a récolté très tôt en 1999, sans nous prévenir. Néanmoins, nous avons eu l'opportunité de suivre l'évolution du reliquat d'azote dans le sol après cette récolte hâtive.

Le cas est particulièrement intéressant puisque nous nous trouvons dans une situation de monoculture de maïs avec apports fréquents et élevés de fumier de bovins (avoisinant les 100 t/ha). En outre, un engrais vert de type Ray-grass a été semé sur la parcelle dans le cadre des mesures agri - environnementales, ce qui permet de mesurer son effet "piège à nitrate". Il s'agit d'un Ray-grass destiné à l'alimentation du bétail (coupe en avril).

Les résultats du suivi réalisé à partir du mois d'octobre et jusqu'au mois de janvier sur une profondeur de sol de 1,5 m sont présentés aux graphiques 36 et 37.

Le graphique 36 présente les résultats de la partie du champ n'ayant pas reçu de fumier pour laquelle le conseil AZOBIL est de 150 kg N/ha et qui, l'année dernière n'avait reçu que du fumier, le conseil AZOBIL étant de 0 kg N/ha. Elle correspond à la **bande 2** décrite en page .

Le graphique 37 reprend les résultats obtenus sur la partie du champ qui a reçu du fumier cette année ainsi qu'un conseil AZOBIL adapté de 85 kg N/ha. Cette parcelle était en situation de surfumure l'année dernière (fumier + 90 kg N/ha). Elle correspond à la **bande 4** décrite en page .

Les résultats montrent qu'une plus grande quantité d'azote est mesurée dès le 07 octobre en 1999 dans la bande 4 que dans la bande 2 : 112 kg/ha pour 98 kg/ha lorsque seul de l'azote minéral a été apporté (bande 2), avec 68 kg N/ha sur 60 cm dans la bande 4 et 44 kg N/ha dans la bande 2. Ainsi, la situation gérée deux années de suite avec le logiciel AZOBIL conduit au respect de l'arrêté wallon du 14 mars 1995 en matière de reliquat d'azote dans la sol après culture, qui fixe à 50 kg N/ha la quantité maximum d'azote minérale présente sur une profondeur de 60 cm. Ces résultats sont probablement la

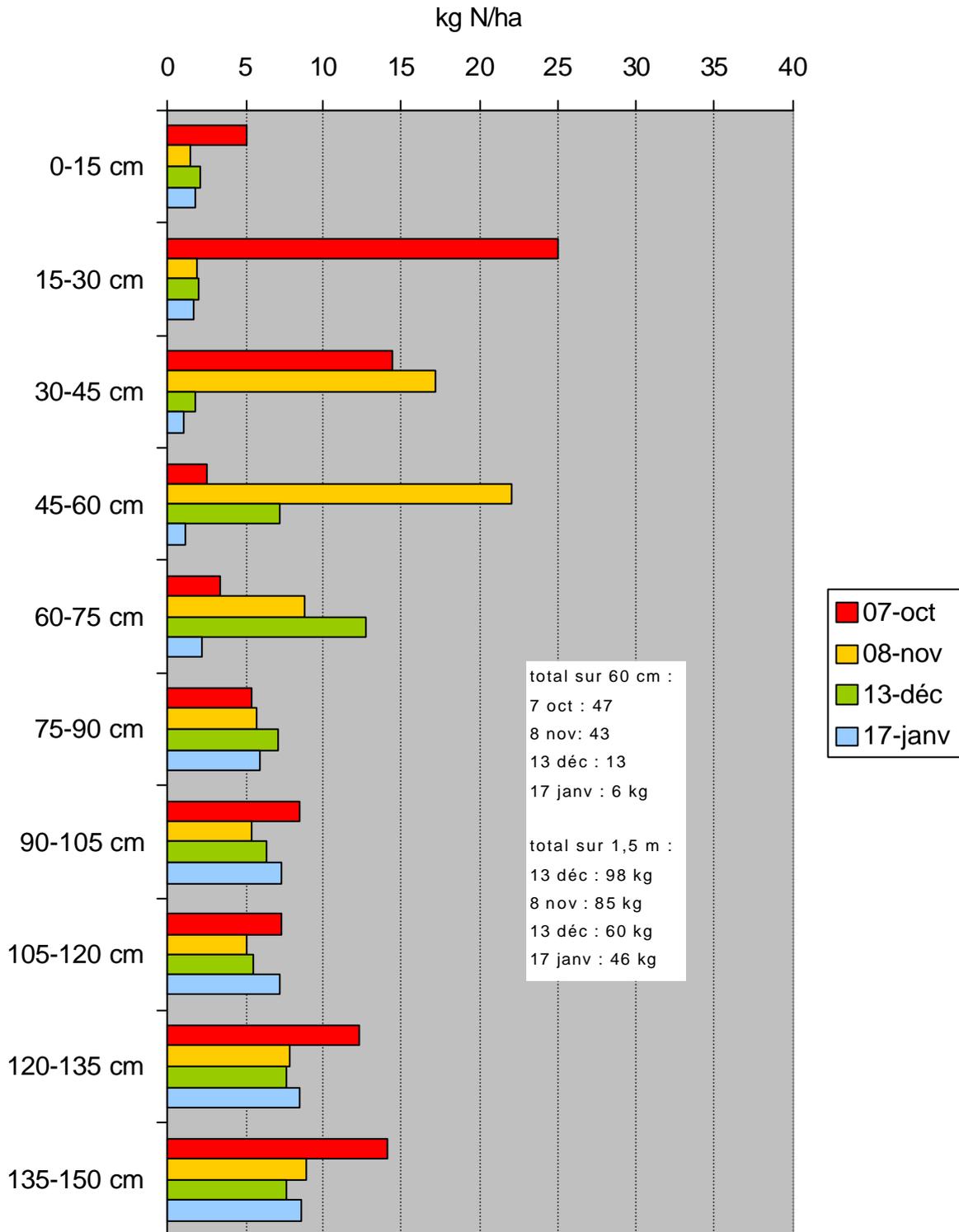
conséquence d'une situation de surfumure en 1998 pour la bande 4 à laquelle s'ajoute un effet de minéralisation tardive du fumier, la prise en compte des matières organiques restant complexe dans une optique de gestion de la fumure azotée.

En outre, les effets de "piège à nitrate" du Ray-Grass sont clairement observés dès le 7 octobre, c'est à dire 3 semaines après le semis (14 septembre 99). A ce moment, la couche 0-15 cm est pauvre en azote minéral (6 kg N/ha) comparativement aux couches sous-jacentes (15-30 cm : 30 kg N/ha ; 30-45 cm : 16 kg N/ha). Un mois plus tard, le prélèvement d'azote par le Ray-Grass se marque jusqu'à 30 cm de profondeur, preuve que la plante se développe avec un total de 5 kg N/ha pour ces deux dernières couches de sol alors que la couche 30-45 cm totalise à elle seule des valeurs supérieures à 15 kg N/ha.

Dès le 13 décembre, nous constatons que le prélèvement par le Ray-Grass est effectif jusqu'à 45 cm puisqu'à son tour la couche 30-45 cm s'est appauvrie avec des valeurs inférieures à 3 kg N/ha. Les résultats du dernier prélèvement réalisé le 17 janvier 2000 montrent une diminution du reliquat sur 1,5 m de 15 à 20 kg N/ha. Cette diminution est à attribuer d'un part au lessivage qui se traduit par une redistribution de l'azote vers le bas du profil (enrichissement des couches profondes visible sur les deux graphiques en dessous de 1m de profondeur) et d'autre part, par un faible prélèvement en azote par la plante dont l'activité photosynthétique est fortement ralentie à cette période plus froide de l'année.

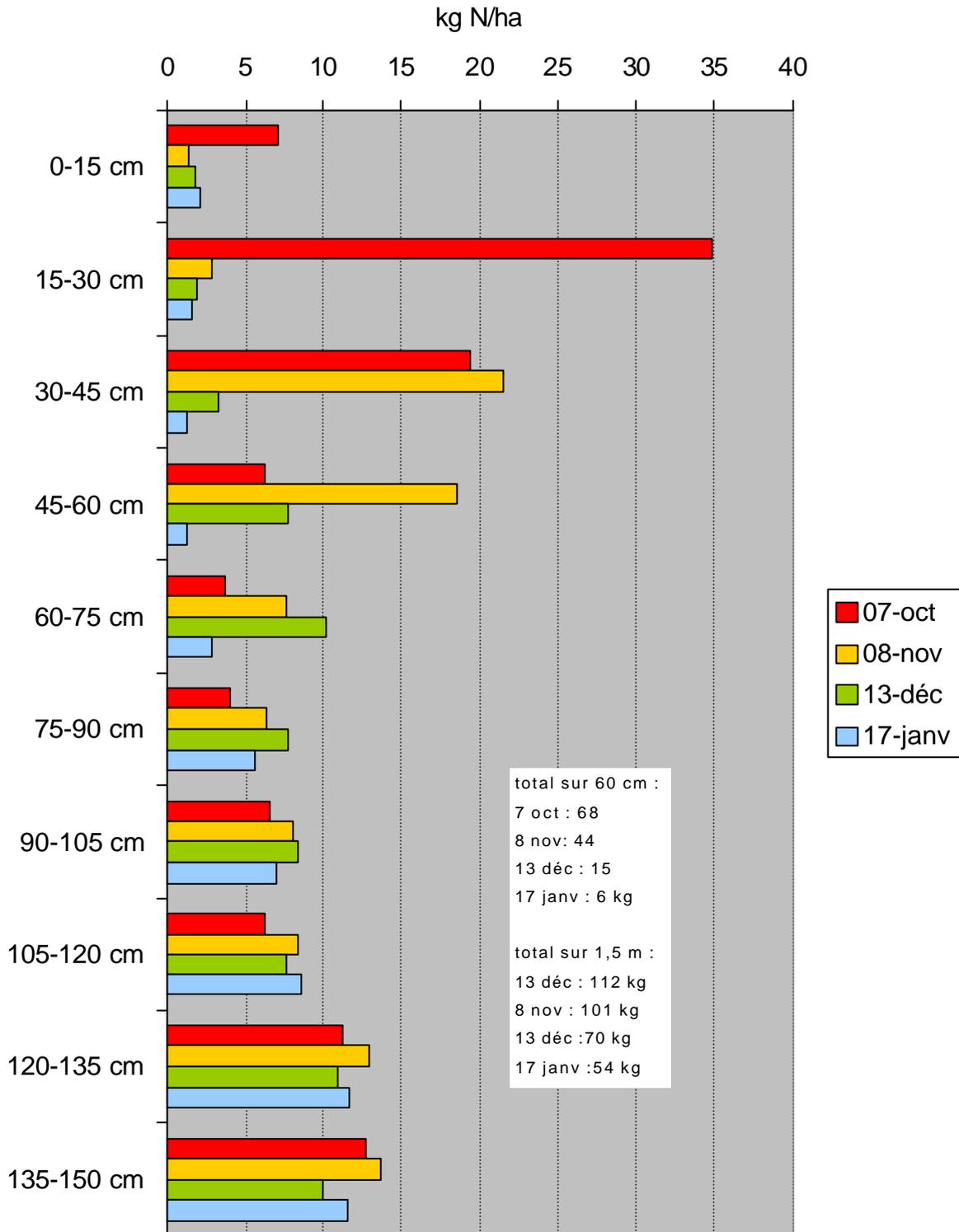
Ainsi, en moyenne, nous mesurons, déduction faite d'un éventuel lessivage, un prélèvement d'une quarantaine de kg N/ha par le Ray-Grass sur les 45^{ets} cm entre le 07 octobre et le 13 décembre 1999.

Maïs ensilage, 1999-2000 (Bande 2)



Graphique 36: Culture de maïs ensilage (1999-2000) – Evolution du reliquat d'azote dans le sol sur 1,5 m de profondeur en automne-hiver pour la bande 2 (Conseil AZOBIL 0 kg N/ha en 1998 ; pas de fumier et conseil 150 kg N/ha en 1999)

Maïs ensilage, 1999-2000 (Bande 4)



Graphique 37: Culture de maïs ensilage (1999-2000) – Evolution du reliquat d'azote dans le sol sur 1,5 m de profondeur en automne-hiver pour la bande 2 (Conseil AZOBIL 0 kg N/ha en 1998 ; pas de fumier et conseil 150 kg N/ha en 1999)

III.4.3. Pomme de terre (saison culturale 1999)

Nous avons réalisé un suivi du reliquat d'azote dans le sol après une culture de pomme de terre implantée par Mme Marguerite Olivier dans le cadre d'un projet IRSIA (convention S 5846 section 1). Nous n'entrerons pas dans le détail des résultats, ceux-ci faisant l'objet de rapports détaillés de cette même convention. Dans notre cas, le but était de compléter les données utiles à M. Casse de l'UHAGx pour la simulation du lessivage des nitrates vers les nappes phréatiques avec le modèle EPICmod.

Il s'agit d'un essai en blocs aléatoires complets avec 7 traitements (7 doses d'azote). Nous ne décrivons ici que les 5 traitements étudiés. Leur choix a été motivé en fonction des reliquats d'azote mesurés à la récolte : nous avons choisi des parcelles très contrastées (reliquats faibles et reliquats élevés). Les traitements suivis sont décrits ci-après :

- 1) témoin 0 kg N/ha pour la variété Agria
- 2) dose AZOBIL – 30 % pour la variété Agria
- 4) dose AZOBIL + 30 % pour les variétés Francine et Agria
- 5) dose AZOBIL – 30 % (+ 30 % urée après émergence) pour les variétés Charlotte et Agria
- 7) dose AZOBIL – 30 % (+ 30 % de nitrate d'ammoniac) pour les variétés Francine et Charlotte

La variété Agria est destinée à la production de frites. La production tubercules à gros calibre (> 50 mm) à teneurs élevées en matière sèche est de ce fait recherchée.

Les variétés Francine et Charlotte sont cultivées pour la production de pomme de terre à chair ferme de part leur excellente tenue à la cuisson. Des calibre compris entre 30 et 60 mm sont souhaités.

Le tableau 19 reprend les quantités totales mesurées sur 60 cm (limite de la zone explorée par les racines) au défanage et à la récolte, et celles mesurées sur 1,5 m cette fois en janvier 2000 afin de contrôler le lessivage qui s'est produit (+ contribution des résidus de récolte). La répartition de l'azote dans le sol en profondeur au défanage, juste après récolte et plus tard, en janvier 2000 est présentée aux graphiques 38 à 45.

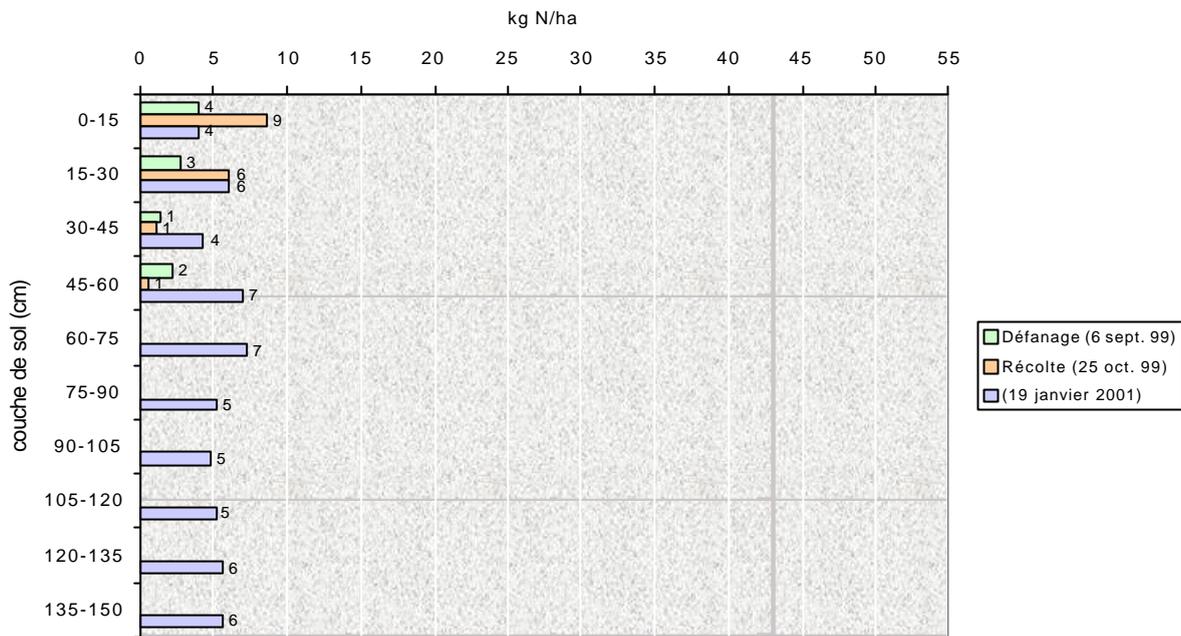
Tableau 19: Pomme de terre, 1999 (Convention IRSIA S 5846 section 1) - Evolution des quantités d'azote mesurées dans le sol au défanage, à la récolte et en janvier pour les variétés Agria, Charlotte et Francine, en fonction des doses d'azote appliquées et des modalités d'apport de l'azote.

Variété	Traitement	Reliquat sur 60 cm			Reliquat sur 1,5 m
		au défanage	à la récolte	le 19 janvier	le 19 janvier
Agria	1	10	16	21	55
	2	6	15	26	60
	4	10	18	29	61
	5	16	13	58	120
Charlotte	5	21	70	23	58
	7	15	80	47	108
Francine	4	19	78	51	101
	7	7	71	51	127

L'examen du tableau 19 et des graphiques 38 à 40 montre que la variété Agria laisse peu de résidus d'azote minéral dans le sol à la récolte (< 20 kg N/ha sur 60 cm de profondeur). De même, les quantités mesurées en janvier ne dépassent pas 30 kg N/ha sur 60 cm (sauf pour le traitement 5) et avoisinent les 60 kg N/ha sur 1,5 m de profondeur à cette même date.

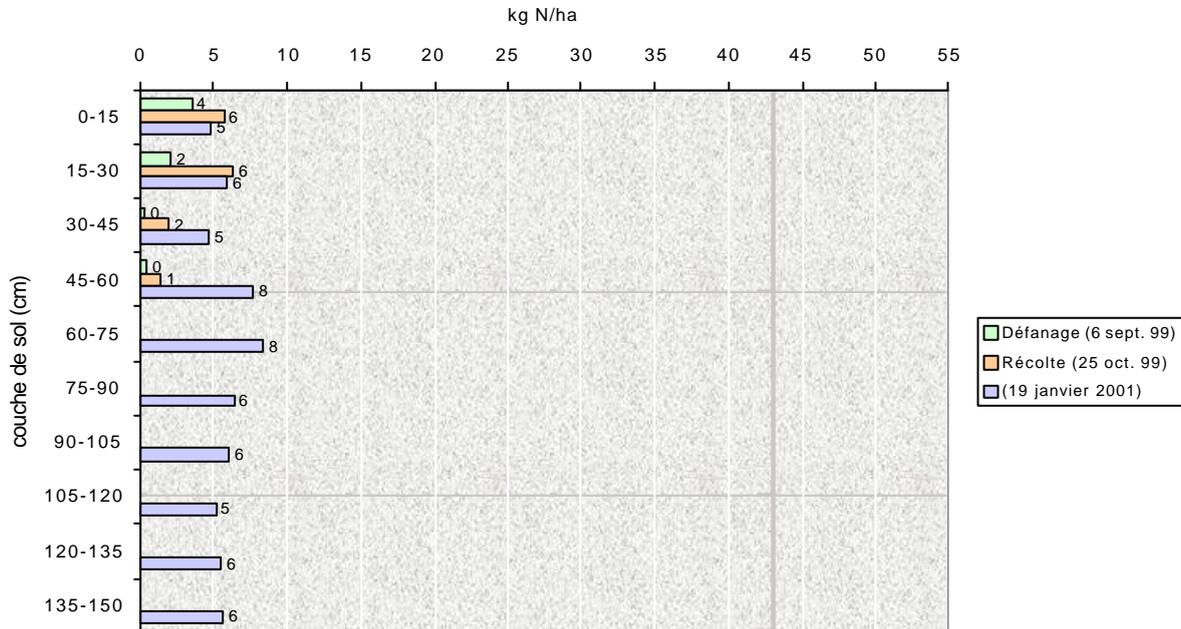
Graphiques 38 à 45 : Pomme de terre, 1999 (Convention IRSIA S5846 section 1) – Suivi du reliquat d'azote dans le sol depuis le défanage en été jusqu'au mois de janvier de l'année suivante lorsque plusieurs variétés et plusieurs doses d'azote sont étudiées.

Variété Agria, Traitement 1



graphique 38

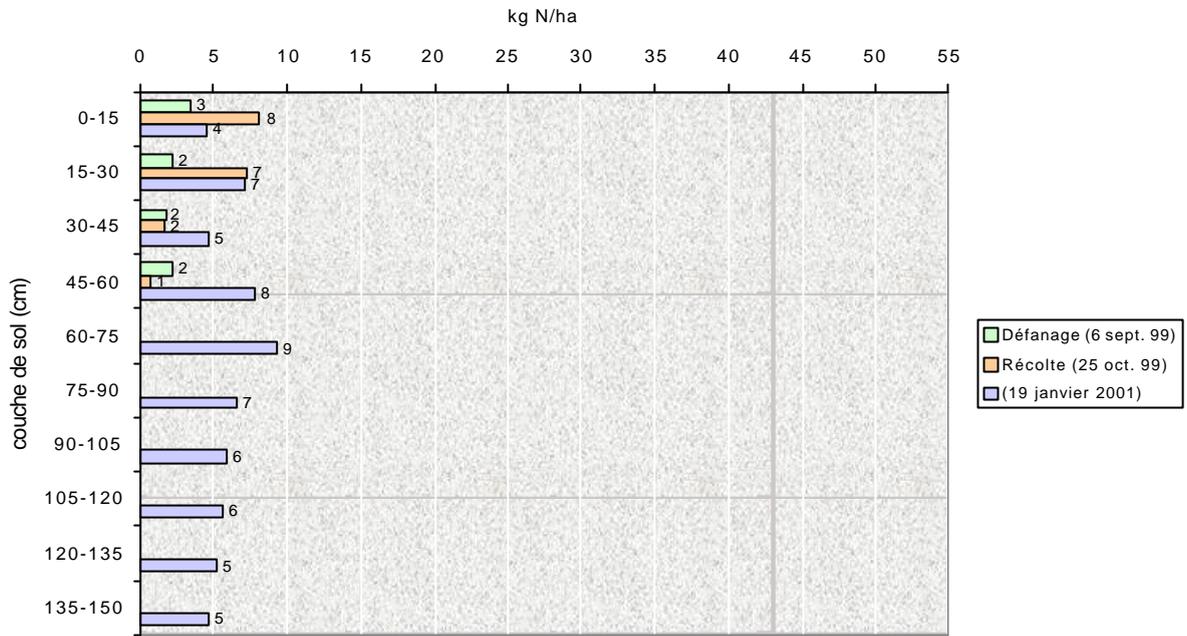
Variété Agria, Traitement 2



graphique 39

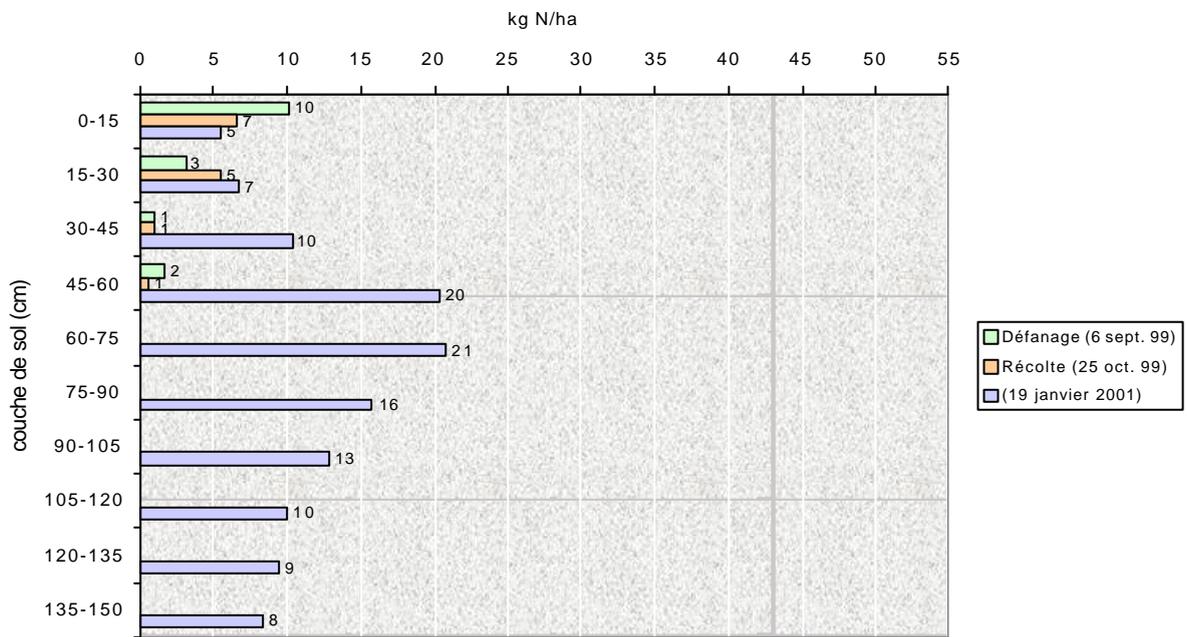
Par contre, les variétés Charlotte et Francine, qui sont défanées et récoltées un mois plus tôt que la variété Agria, laissent déjà des résidus supérieurs à 50 kg N/ha sur 60 cm de profondeur à la récolte. Cet azote se redistribue en profondeur par la suite comme le montrent les quantités mesurées en janvier entre 60 et 1,5 m de profondeur : elles sont supérieures à 80 kg N/ha pour la variété Francine (graphiques 44 et 45) et proches de 50 kg N/ha pour la variété Charlotte (graphiques 42 et 43).

Variété Agria, Traitement 4



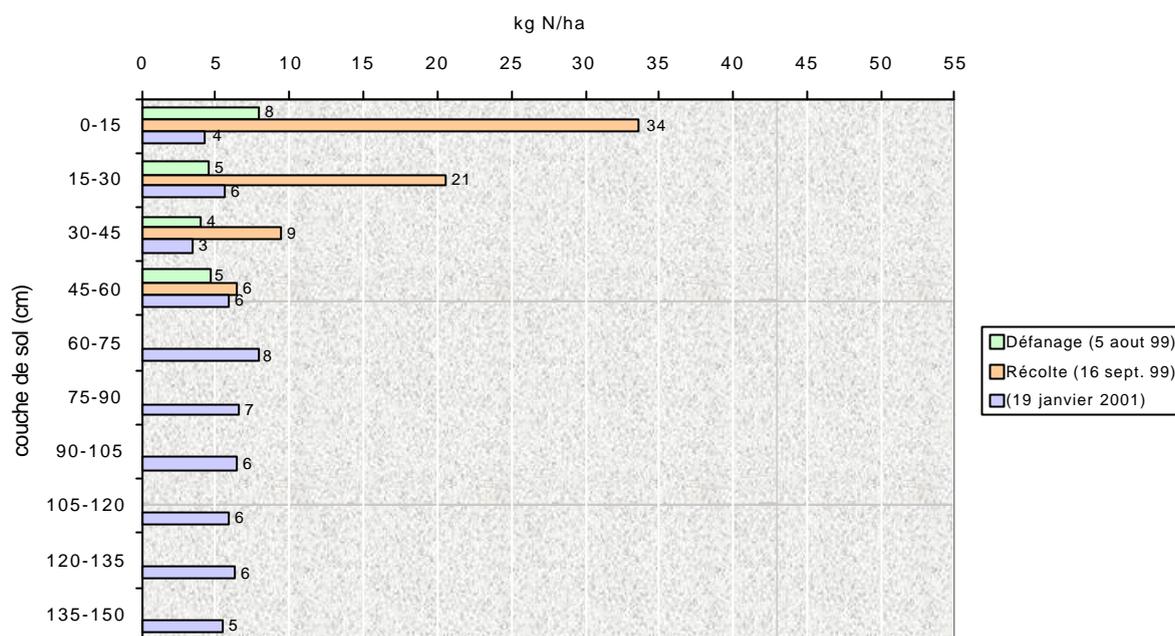
graphique 40

Variété Agria, Traitement 5



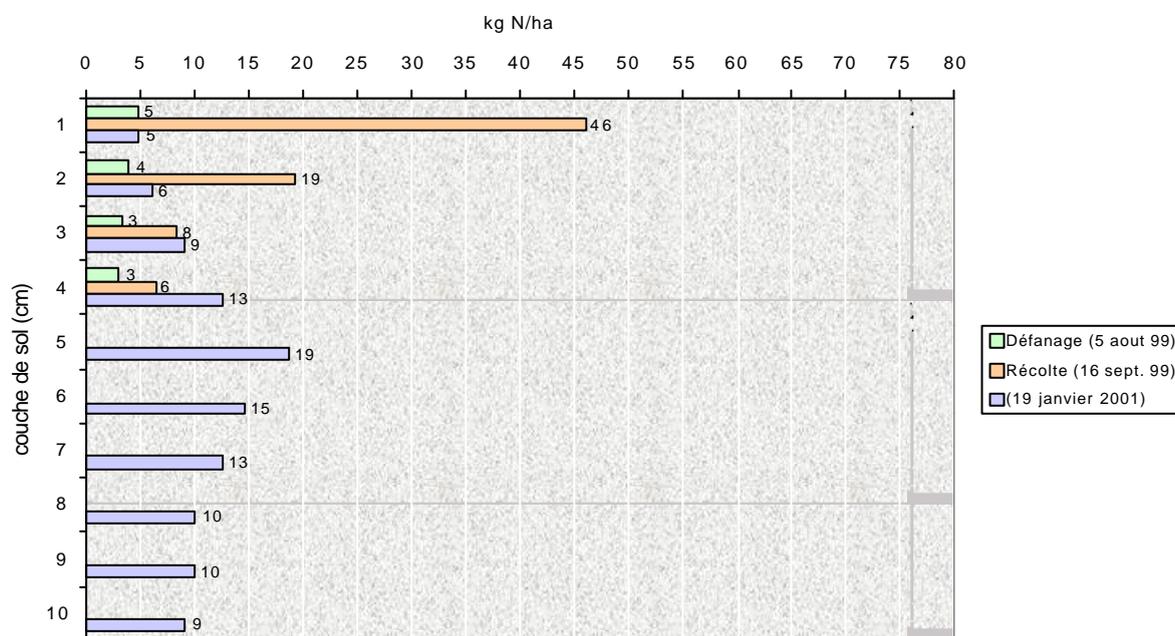
graphique 41

Variété Charlotte, Traitement 5



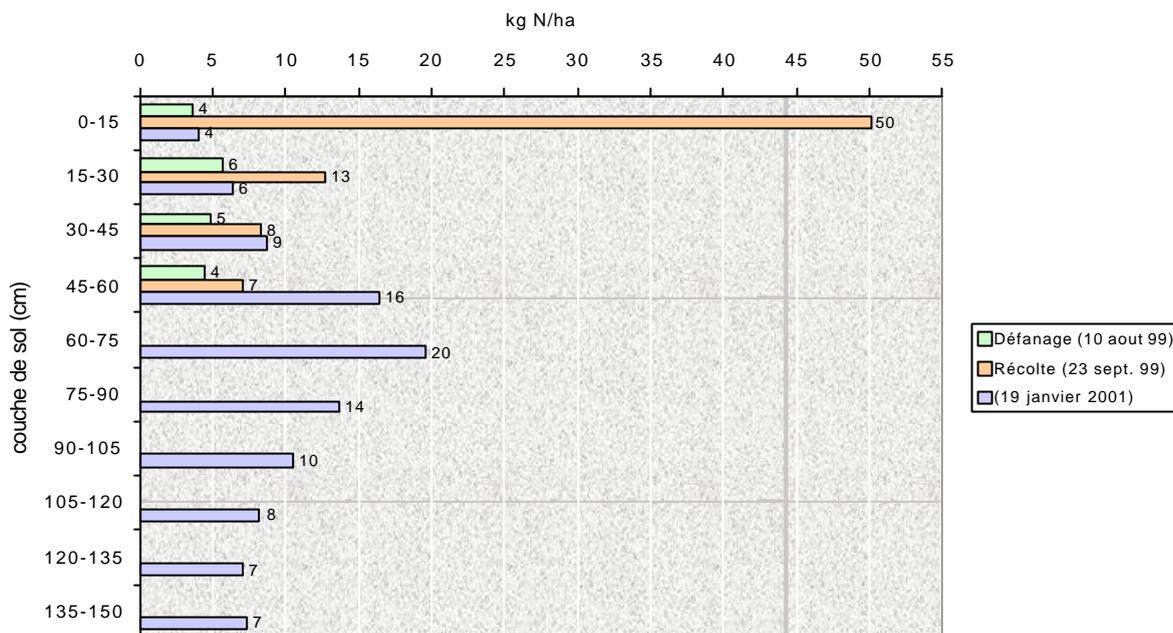
graphique 42

Variété Charlotte, Traitement 7



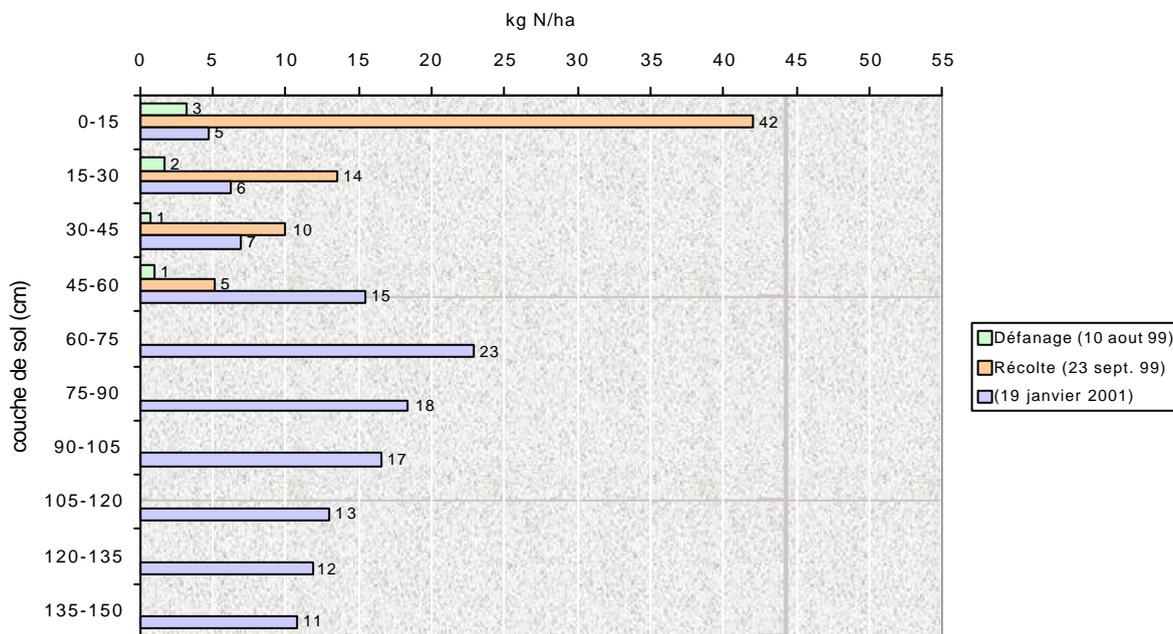
graphique 43

Variété Francine, Traitement 4



graphique 44

Variété Francine, Traitement 7



graphique 45

En conclusion, la durée de culture, en plus de la variété, des doses et des modalités d'apport de l'azote, influence la quantité d'azote effectivement prélevée par les plantes.

SYNTHESE DES ESSAIS POMME DE
TERRE ET FROMENT D'HIVER DU
DEPARTEMENT

III.5. Synthèse des essais menés par le Département en froment d'hiver et culture de pomme de terre

Il s'agit d'essais menés au sein du Département Production végétale notamment dans le cadre de 2 conventions IRSIA, l'une axée sur la problématique de la fumure azotée en culture de pomme de terre (convention S 5846 section 1) et l'autre visant l'établissement d'un réseau de parcelles de références en matière de conseil de fumure azotée du froment d'hiver pour les diverses régions de cette culture en Belgique (convention S 5915). Dans ces essais, la dose AZOBIL a toujours été étudiée, encadrée d'au moins trois autres doses de fumure azotée. Notre objectif est de comparer les résultats obtenus avec AZOBIL aux autres en terme de :

- rendement : ce paramètre sera recalculé pour tenir compte non seulement de l'aspect QUANTITATIF mais aussi de l'aspect QUALITATIF de la culture
- reliquat d'azote dans le sol à la récolte.

Ainsi, pour le froment d'hiver et les pommes de terre, nous pourrions situer AZOBIL pour chaque essai en matière de *productivité* et d'*environnement* et voir le nombre de cas pour lesquels le logiciel conduit à de bons résultats.

III.5.1. Cas des céréales (froment d'hiver)

a) Définition des paramètres retenus pour la validation d'AZOBIL

La marge brute - coût du passage azote ou MARGE BRUTE MODIFIEE

Afin de prendre en compte non seulement la quantité produite mais également la qualité de la récolte, nous avons procédé de la sorte :

- Le revenu financier (rendement à l'hectare multiplié par le prix de base du blé de 4,5 FB) est majoré ou minoré selon les normes de réception SYNAGRA (cfr fiche Annexe I) en cours pour l'année (FROMENT FOURRAGER : humidité, frais de séchage, poids à l'hectolitre, FROMENT PANIFIABLE : à ces critères s'ajoute la qualité panifiable).
- La marge brute est ensuite calculée par déduction du coût des semences et des produits phytosanitaires ainsi que de la moisson par entreprise (14 459 FB/ha).
- Enfin, le coût de l'engrais et le nombre de passages effectués pour épandre celui-ci sont pris en compte, ces paramètres étant variables selon les parcelles suivies.

Nous obtenons ainsi un chiffre qui représente la marge brute - le coût de l'épandage de l'engrais qui s'exprime en FB/ha et que nous appellerons symboliquement "Marge brute modifiée" ou M_{bm} .

La M_{bm} obtenue lorsque la dose d'engrais appliquée est celle proposée par le logiciel AZOBIL est alors comparée à celle obtenue pour des doses inférieures et supérieures d'engrais ainsi qu'à l'optimum économique.

Le reliquat-récolte

Le reliquat-récolte est la quantité d'azote minéral mesurée sur une profondeur de 1,5 m à la récolte de la céréale. Il est un bon indicateur de la quantité d'azote excédentaire, c'est à dire non utilisée par la culture. En outre, la mesure de ce reliquat par couches successives de 15 cm permet d'observer la répartition de l'azote dans le profil et de constater un éventuel lessivage (enrichissement des couches profondes de sol).

La prise en compte de la M_{bm} et du reliquat-récolte permet de mesurer l'impact de la gestion de la fumure à la fois sur la productivité et sur l'environnement.

Quatre essais ont été analysés :

En 1998 :

- 1) Long tours

Quatre situations sont suivies pour un froment PANIFIABLE :

- exportation maximale des sous-produits de cultures
 - restitution maximale, écumes de sucrerie et lisier en tête de rotation
 - exportation de tous les sous-produits, apport de fumier en tête de rotation
 - restitution de tous les sous-produits et engrais vert avant la tête de rotation
- et pour chacune de ces situations, neuf doses d'azote sont étudiées (cfr protocole en Annexe).

2) Havelange

Une situation pour un froment FOURRAGER. Cinq doses d'azote sont étudiées (cfr protocole en Annexe)

D'emblée nous voyons que la dose AZOBIL "stricte" n'a pas été étudiée mais qu'elle est appliquée sous réserve de l'utilisation de l'outil de diagnostic du statut azoté de la plante qu'est JUBIL (mesure de la concentration en nitrate du jus de base de tige). Cet outil conduit ainsi soit à l'application de la dose totale recommandée par le logiciel AZOBIL, soit à une l'application d'une dose inférieure, la troisième fraction azotée n'étant pas appliquée si le diagnostic révèle des teneurs élevées en nitrate dans la plante. En conséquence, nous avons, pour ces deux essais, replacé AZOBIL sur la courbe de la M_{bm} pour voir qu'elle aurait été sa performance par rapport à la dose optimale d'engrais à apporter.

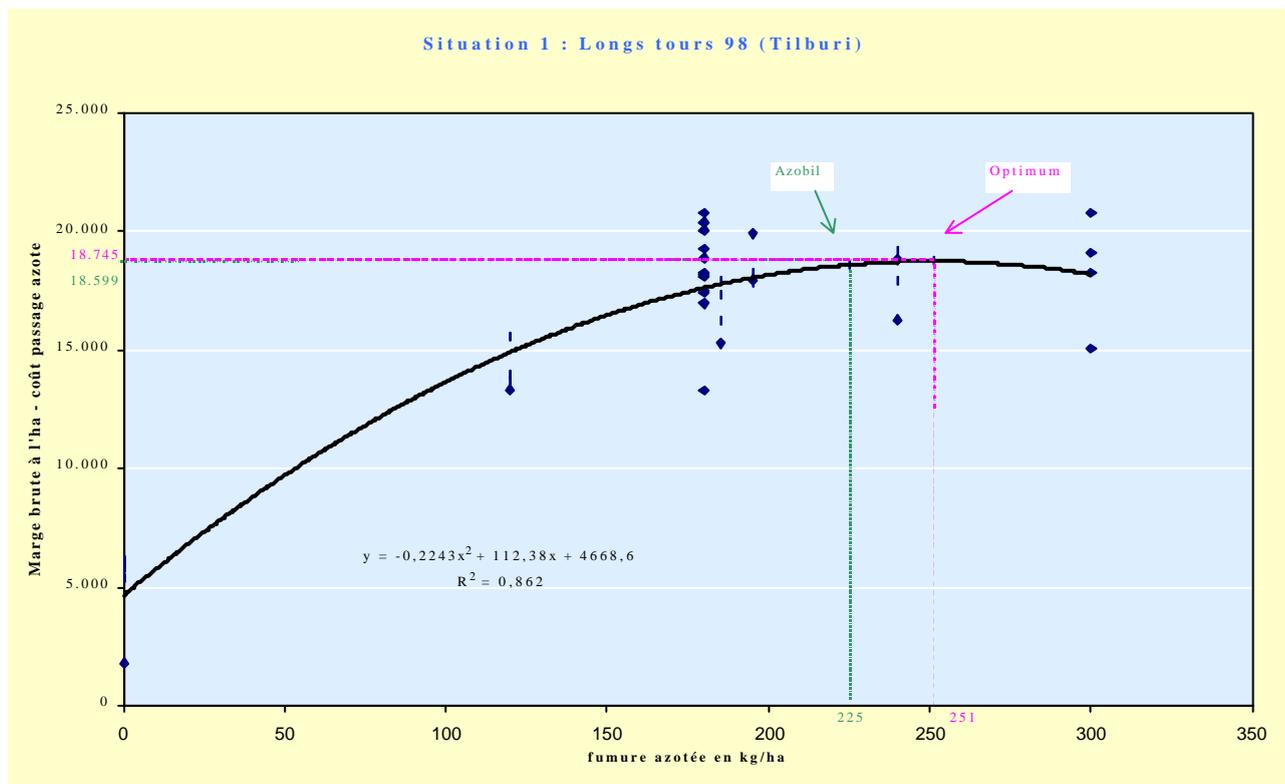
3) Petit Vet

Une situation pour un froment FOURRAGER. Six doses d'azote sont étudiées (cfr protocole en Annexe)

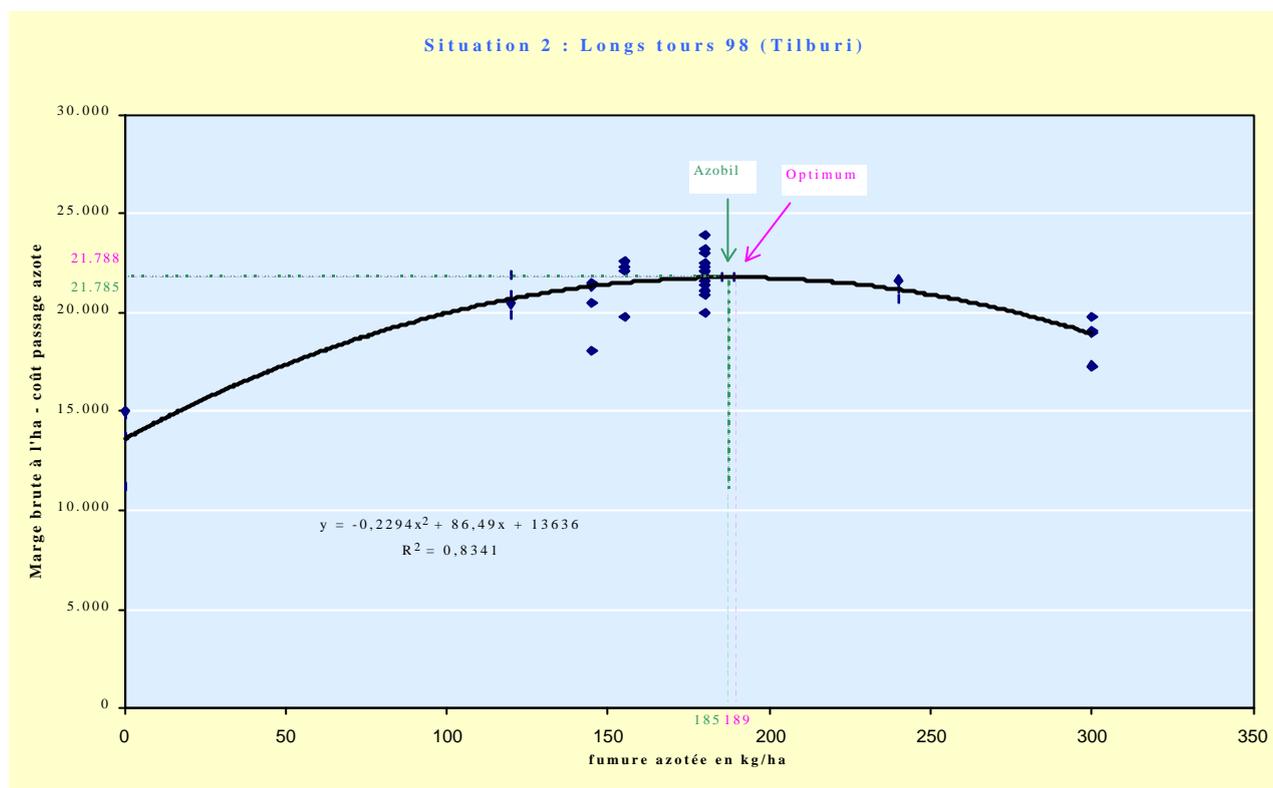
4) Gesves

Une situation pour un froment FOURRAGER. Six doses d'azote sont étudiées (cfr protocole en Annexe)

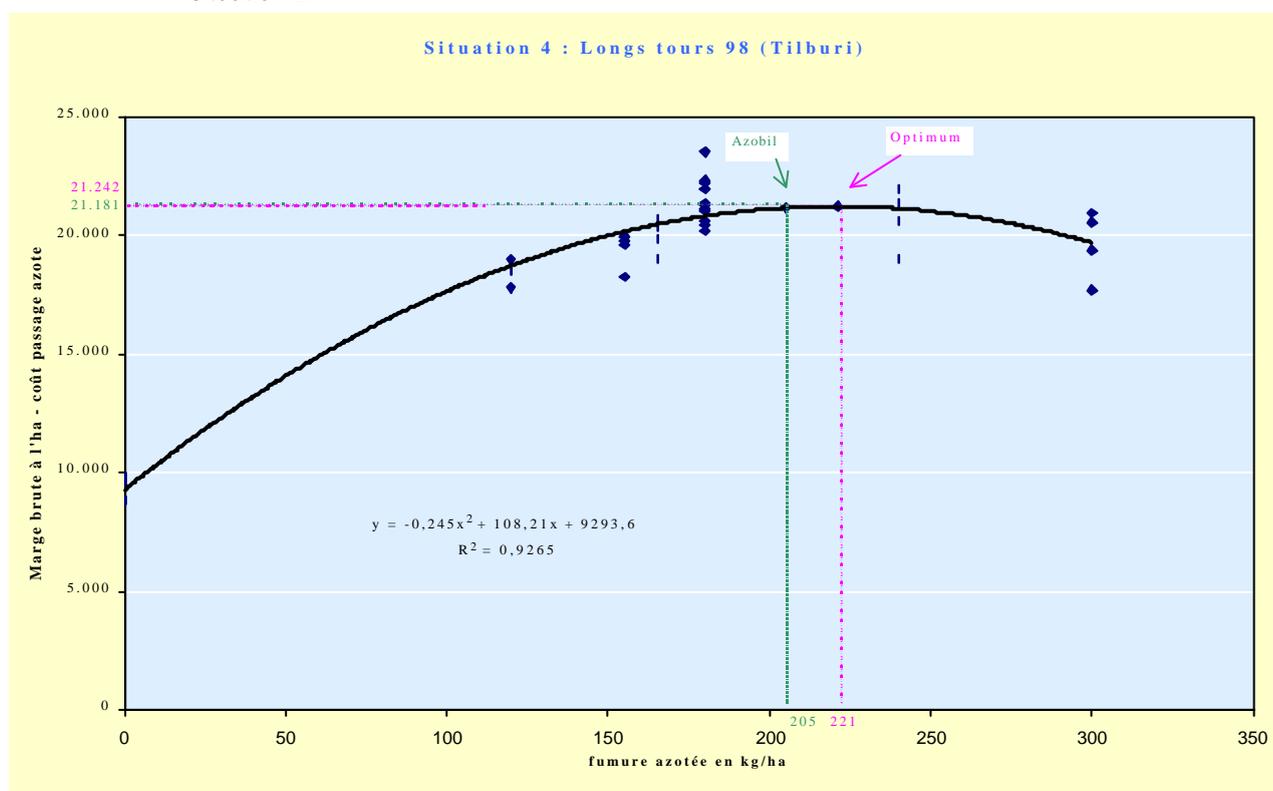
Les résultats de ces essais sont présentés aux graphiques 45 à 51



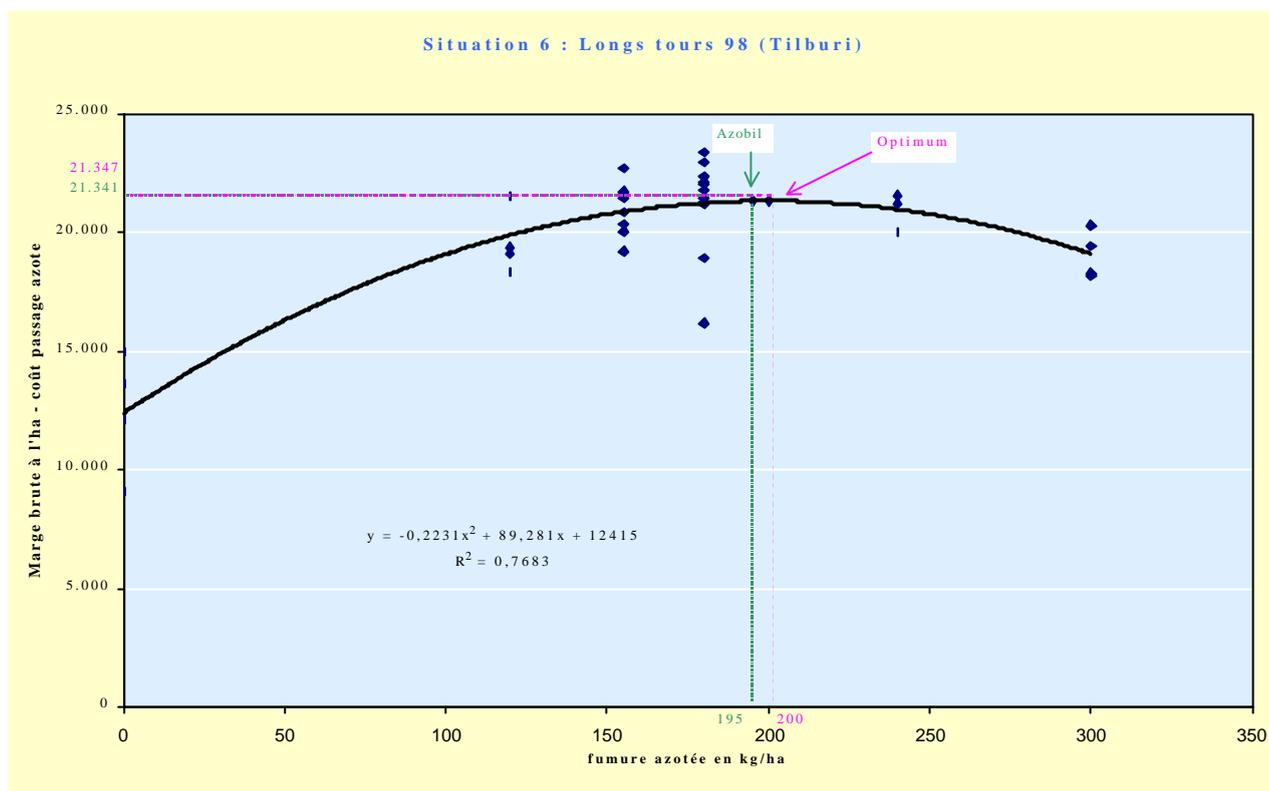
Graphique 45: Long Tours (1998) - Courbe de réponse à l'azote pour la variété Tilburi dans la situation 1.



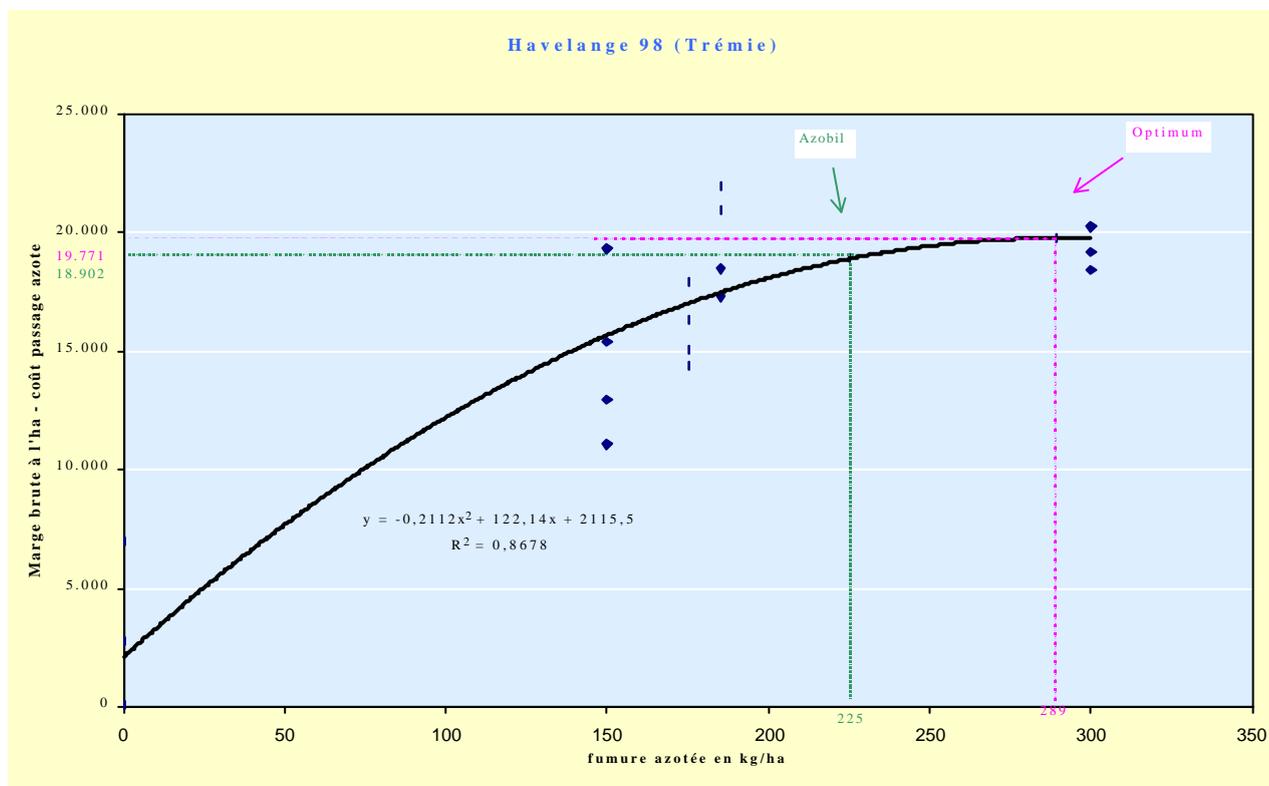
Graphique 46: Long Tours (1998) - Courbe de réponse à l'azote pour la variété Tilburi dans la situation 2.



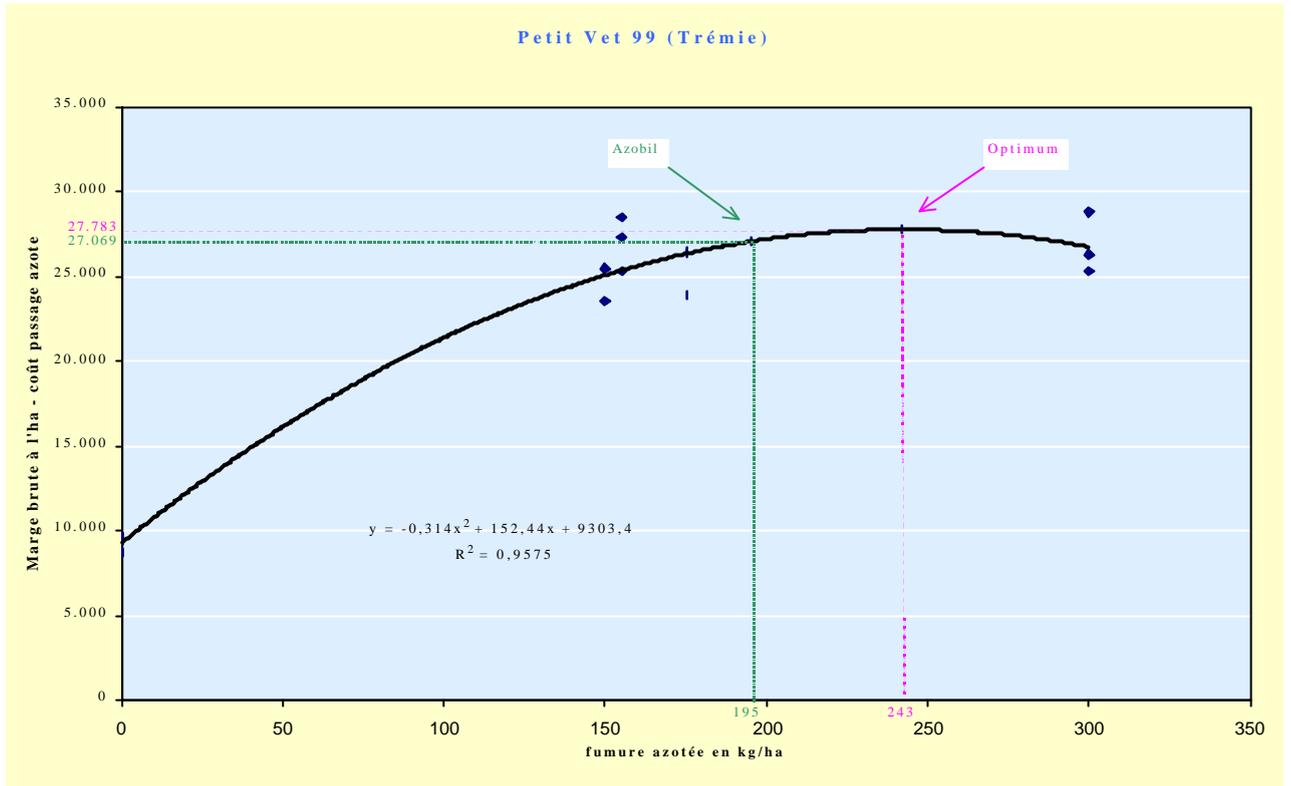
Graphique 47: Long Tours (1998) - Courbe de réponse à l'azote pour la variété Tilburi dans la situation 4.



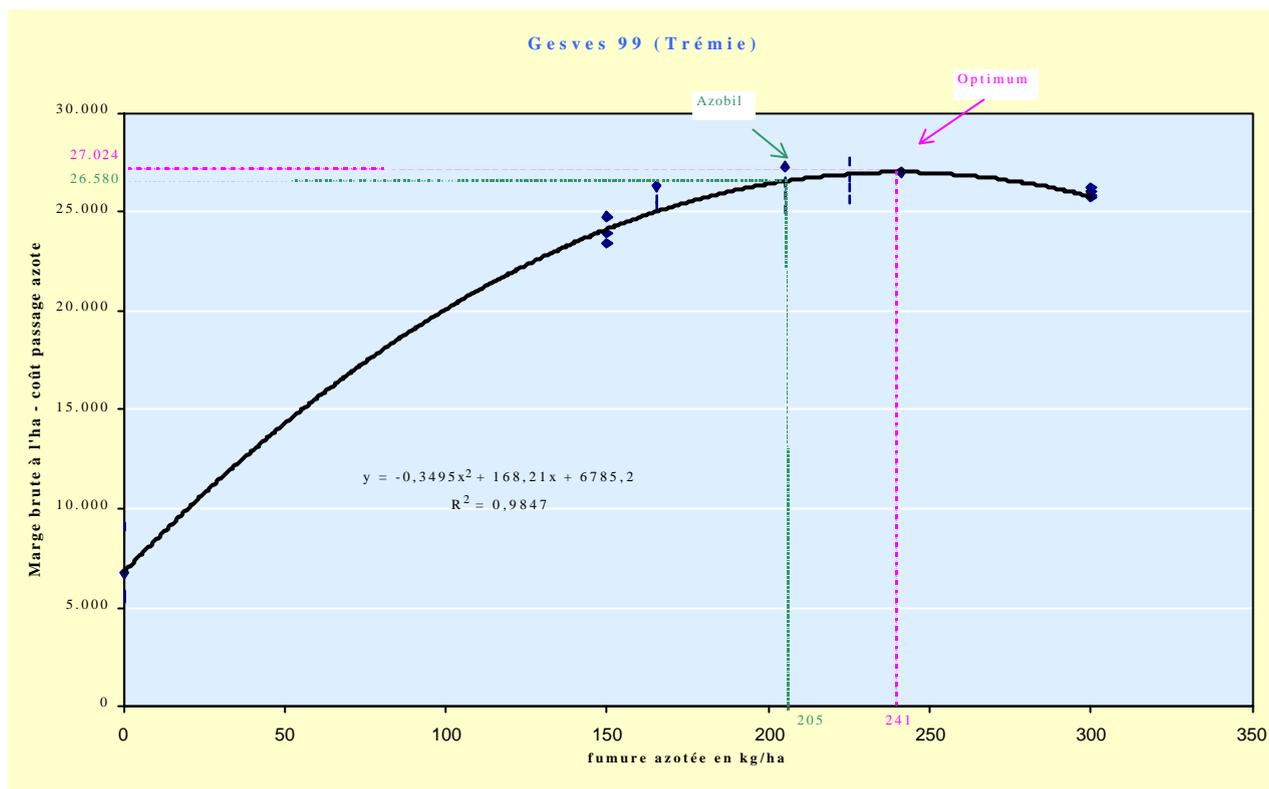
Graphique 48: Long Tours (1998) - Courbe de réponse à l'azote pour la variété Tilburi dans la situation 6.



Graphique 49: Havelange (1998) - Courbe de réponse à l'azote pour la variété Trémie.



Graphique 50: Petit Vet (1999) - Courbe de réponse à l'azote pour la variété Trémie.



Graphique 51: Gesves (1999) - Courbe de réponse à l'azote pour la variété Trémie.

Dans tous les cas, nous constatons que la dose conseillée par le logiciel AZOBIL est toujours légèrement en deçà de la dose économique optimale : AZOBIL ne conseille jamais pour ces 7 situations une dose excessive.

Dans deux cas (Long tours, situations 2 et 6), la M_{bm} obtenue avec AZOBIL se confond avec l'optimum (moins de 10 FB/ha de différence). Dans tous les autres cas, la différence de M_{bm} entre AZOBIL et l'optimum économique reste inférieure à 1000 FB/ha avec seulement deux situations qui dépassent 500 FB/ha (Havelange 98, Petit Vet 99). Ainsi, les différences observées sont toujours inférieures à 5 % de la M_{bm} de l'optimum économique.

En outre, lorsque la fumure de l'optimum économique n'est pas dépassée, les reliquats mesurés sur 1,5 m de profondeur sont, dans toutes les situations et pour toutes les fumures étudiées inférieurs à 40 kg N/ha, ce qui signifie que la norme du Gouvernement wallon du 14 mars 1995 fixant à 50 kg/ha les quantités d'azote minéral autorisées sur 60 cm de profondeur est toujours respectée. Ainsi, AZOBIL permet, pour les 7 situations suivies de répondre à l'objectif de rendement et au souci de respect de l'environnement.

III.5.2. Cas des pommes de terre

Les résultats qui vont être présentés concernent uniquement la variété Bintje cultivée en Belgique à raison de 70 à 80 % de la surface totale en pomme de terre.

a) Définition des paramètres retenus pour la validation d'AZOBIL

La marge brute – coût du passage azote ou MARGE BRUTE TOTALE

Comme pour les céréales, nous considérons, outre la quantité produite, la qualité de la récolte en tenant compte des calibres de pomme de terre :

- Le revenu financier est calculé sur base d'une moyenne des prix pratiqués ces 10 dernières années en Belgique pour les calibres 35-50 mm (2 FB/kg) et pour les calibres supérieurs à 50 mm (3,6 FB/kg), le marché étant fortement soumis à la spéculation.
- De ce revenu financier sont déduits le coût de l'engrais (20 FB/kg) et du passage de l'épandeur d'engrais (500 FB/ passage). La totalité de l'azote est épandue à la plantation dans tous les cas étudiés. Nous n'avons pas tenu compte du coût des plants, des produits phytosanitaires et liés à la récolte.

Le paramètre ainsi obtenu est qualifié de « Marge brute totale » ou M_{bt} , le rapport des deux calibres étant additionné.

La M_{bt} obtenue après application de la dose conseil AZOBIL est comparée à celle obtenue pour des doses inférieures et supérieures d'engrais ainsi qu'à l'optimum économique.

Le reliquat-récolte

Celui-ci est pris en compte, en plus du rendement, pour la validation du logiciel AZOBIL, comme dans le cas des céréales mais pour les pommes de terre, nous nous limitons à sa mesure sur 60 cm de profondeur de sol (limite de la zone exploitée par les racines).

Douze essais ont été analysés. Ils sont repris dans le tableau 20.

Tableau 20: Pomme de terre – Essais étudiés dans le cadre de la validation du logiciel AZOBIL. (La dose AZOBIL est écrite **en caractère gras**).

Année	Sites	Doses d'azote expérimentées (kg N/ha)			
1996	1 Gembloux	0	90	150	210
1997	2 Gembloux	0	90	150	210
	3 Gembloux	0	50	100	150
	4 Gembloux	0	50	100	150
	5 Masnuy	0	86	115	144
1998	6 Gembloux	0	108	180	252
	7 Gouy	0	132	176	220
1999	8 Gembloux	0	119	170	221
	9 Marcq	0	105	150	195
	10 Incourt	0	112	160	208
	11 Franière	0	119	170	221
	12 Pontillas	0	88	125	163

Pour 9 des 12 situations (sites 1 à 6, 8 et 10-11), l'optimum économique a été calculé sur base de la courbe quadratique classique de réponse à l'azote (tableau 21). Pour les situations 7, 9 et 12 nous avons observé une nette inadéquation de cette courbe aux valeurs mesurées. Dans ces trois cas, la courbe quadratique plateau proposée par Liesch (2000) semble mieux adaptée. Néanmoins, ne disposant pas des modules de calcul correspondants, nous n'avons pas pu modéliser dans ces trois cas.

Tableau 21 : Pomme de terre – Optimum économique calculé pour 9 des 12 situations suivies.

Année	Sites		OPTIMUM ECONOMIQUE		AZOBIL	
			Dose d'azote (kg N/ha)	M_{bt} (FB)	Dose d'azote (kg N/ha)	M_{bt} (FB)
1996	1	Gembloux	138	160 996	150 (+)	161 640
	2	Gembloux	177	198 887	150 (-)	193 200
1997	3	Gembloux	203	176 454	180 (-)	176 440
	4	Gembloux	97	225 917	100 (=)	216 000
	5	Masnuy	98	194 628	100 (=)	186 320
1998	6	Gembloux	127	191 105	115 (-)	193 080
	7	Gouy				
1999	8	Gembloux	185	206 213	170 (-)	201 240
	9	Marcq				

10	Incourt	82	230 158	160 (+)	230 040
11	Franière	141	148 652	170 (+)	245 280
12	Pontillas				

(+) = dose AZOBIL plus élevée que la dose optimale ; (=) = dose AZOBIL égale à la dose optimale
 (-) = dose AZOBIL moins élevée que la dose optimale

Parmi ces 9 situations, nous enregistrons 4 cas pour lesquels la dose conduisant à l'optimum économique est supérieure à celle du logiciel AZOBIL, 3 cas pour lesquels elle est inférieure à la dose AZOBIL et 2 cas pour lesquels elles sont égales.

L'examen des M_{bt} optimales et M_{bt} AZOBIL montre que les gains ou les pertes réalisées plafonnent à 5 % de la M_{bt} optimale pour les 9 situations décrites. Pour 8 d'entre-elles, les différences de doses d'azote entre l'optimum économique et la dose AZOBIL se situent dans une gamme de 10 à 20 % en plus ou en moins de la dose AZOBIL, sauf pour la situation 10 pour laquelle l'optimum calculé représente quasi la moitié de la dose AZOBIL (49 %).

Le tableau 22 reprend dans les trois cas de figure rencontrés (dose optimale <, > ou = à la dose AZOBIL) les reliquats mesurés sur 60 cm de profondeur. Les graphiques 52 à 63 présentent les M_{bt} obtenues pour chacune des 12 situations et pour toutes les fumures étudiées, en regard des reliquats d'azote minéral mesurés dans le sol à la récolte.

Tableau 22 : Pommes de terre – Reliquats mesurés sur 60 cm de profondeur pour la dose AZOBIL dans les 9 situations pour lesquelles l'optimum économique a été calculé.

	Année	Sites	Reliquats AZOBIL sur 60 cm
dose optimale < dose AZOBIL	1996	1 Gembloux	59
	1999	10 Incourt	41
		11 Franière	25
dose optimale = dose AZOBIL	1997	4 Gembloux	73
		5 Gembloux	61
	1997	2 Gembloux	58
Dose optimale > Dose AZOBIL	1998	3 Gembloux	50
	1997	6 Masnuy	76
	1999	8 Gembloux	29

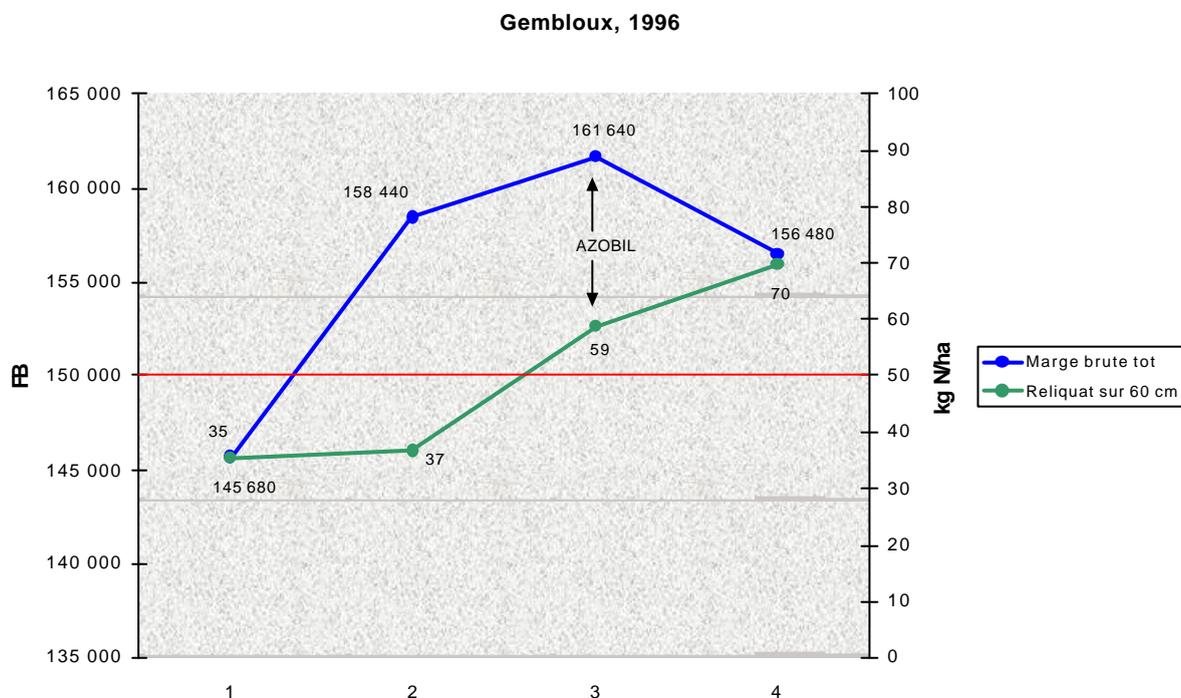
Pour les 3 cas où la dose optimale est inférieure à la dose AZOBIL (tableau 22, situations 1, 10 et 11), les reliquats mesurés lorsque la dose AZOBIL a été appliquée sont inférieure à 50 kg N/ha dans 2 cas et à 60 kg N/ha dans le troisième cas. Dans ce dernier cas, les 10 kg N/ha (tableau 22, situation 1) en excès par rapport à la norme de 50 kg N/ha fixée par le Gouvernement wallon le 14 mars 1995 peuvent être négligés. En effet, la dose optimale étant inférieure à la dose AZOBIL, l'hypothèse d'une réduction de ce reliquat est plausible en cas d'application de la dose optimale.

Les situations 4 et 5 (tableau 22) pour lesquelles la dose optimale correspond à la dose AZOBIL conduisent à des reliquats qui dépassent 50 kg N/ha sur 60 cm. Par contre, la dose ½AZOBIL qui a également été testée dans ces 2 situations (graphiques 55 et 56, 2 = 50 kg N/ha) conduit à une réduction du reliquat de 10 kg N/ha (60 kg N/ha pour la situation 4, 53 kg N/ha pour la situation 5), tout en maintenant des rendements proches de l'optimum économique.

Lorsque la dose optimale dépasse la dose AZOBIL, les reliquats sont inférieures ou égales à 50 kg N/ha sur 60 cm de profondeur dans 3 cas sur 4 (tableau 22, situations 2, 3 et 6) et devraient tendre à la hausse lorsqu'une dose plus élevée est apportée. La situation 8 donne des résultats satisfaisants en terme de M_{bt} mais également en terme de reliquats (29 kg N/ha).

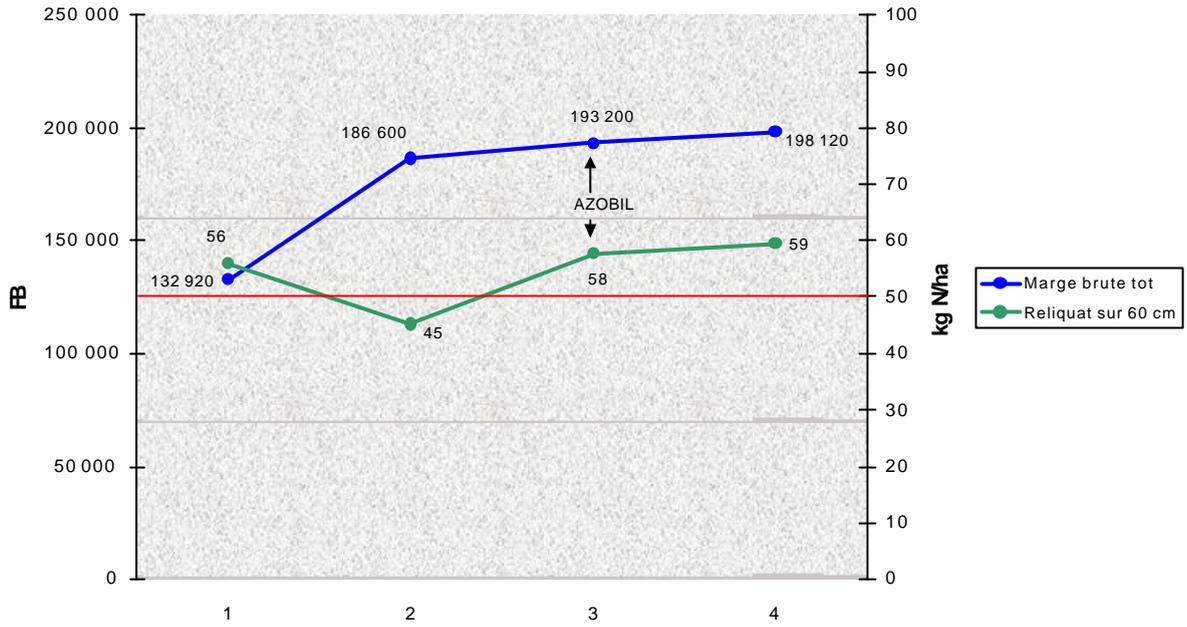
Les situations 7, 9 et 12 (graphiques 58, 60 et 63) pour lesquelles la M_{bt} continue à croître jusqu'à la dose 4 testées (excessive) présentent des situations contrastées au niveau des reliquats d'azote dans le sol. En effet, les reliquats mesurés dans les situations 7 et 12 sont inférieurs à 50 kg N/ha alors que pour la situation 9, ils sont supérieurs à 70 kg N/ha dès que la dose 0 kg N/ha est dépassée et atteignent 150 voire 180 kg N/ha.

Graphiques 52 à 63 : Pommes de terre – Marge brute totale et reliquats mesurés sur 60 cm de profondeur pour les 4 doses de fumure azotée expérimentées et pour les 12 situations étudiées.



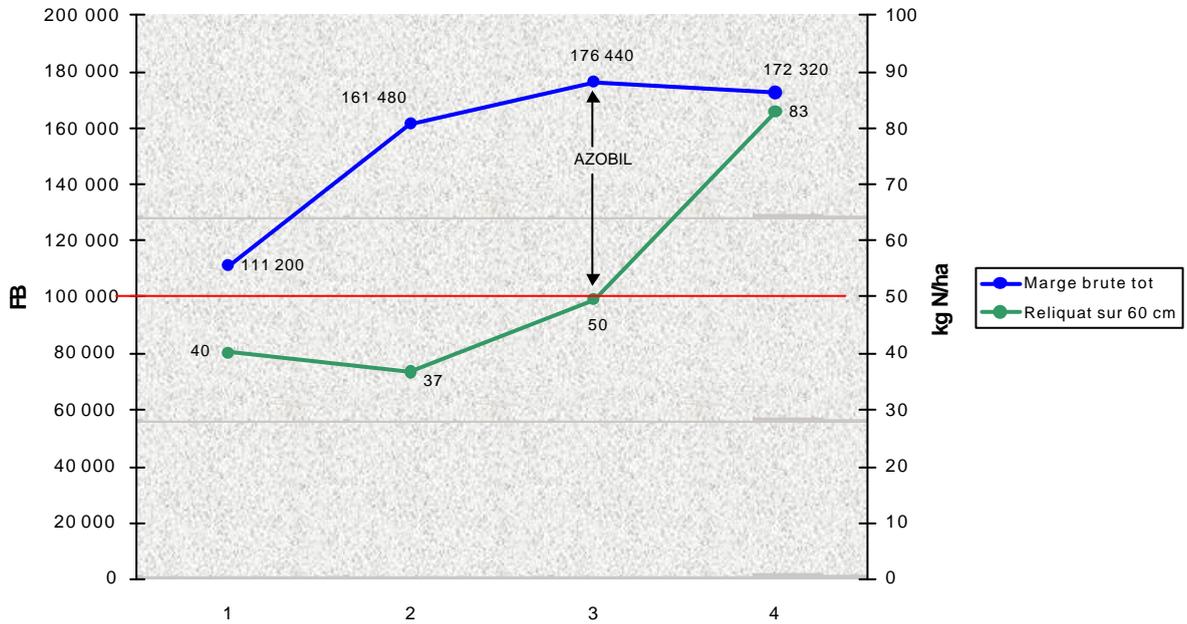
Graphique 52 : Situation 1 (1 = 0 kg N/ha, 2 = 90 kg N/ha, 3 = 150 kg N/ha, 4 = 210 kg N/ha)

Gembloux, 1997



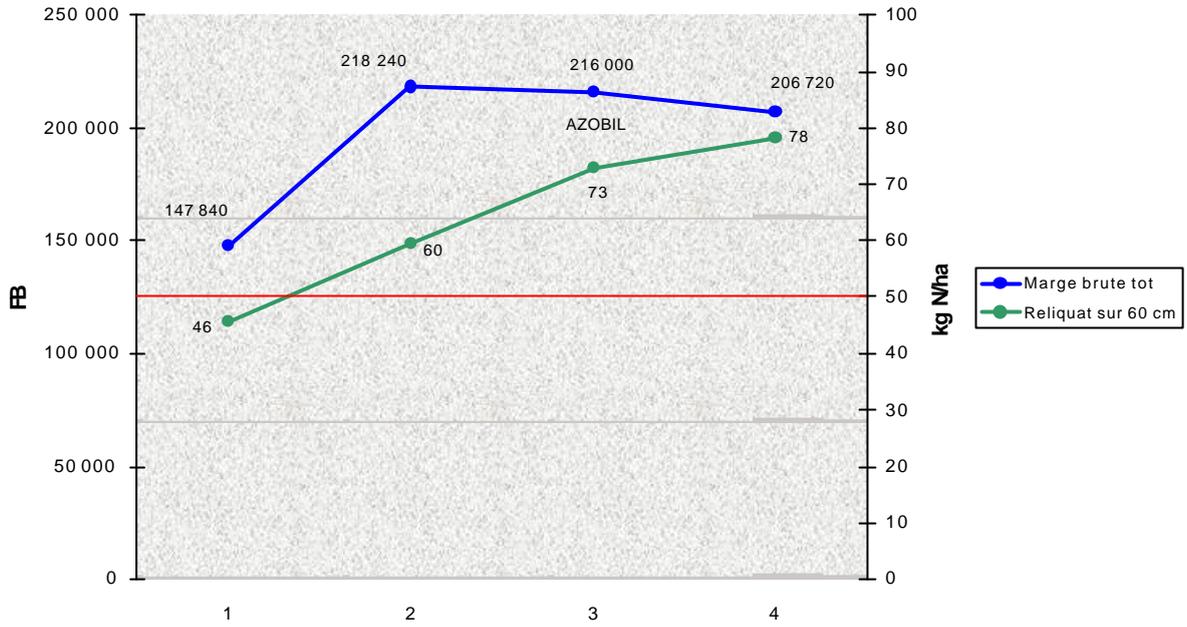
Graphique 53 : Situation 2 (1 = 0 kg N/ha, 2 = 90 kg N/ha, 3 = 150 kg N/ha, 4 = 210 kg N/ha)

Gembloux, 1998



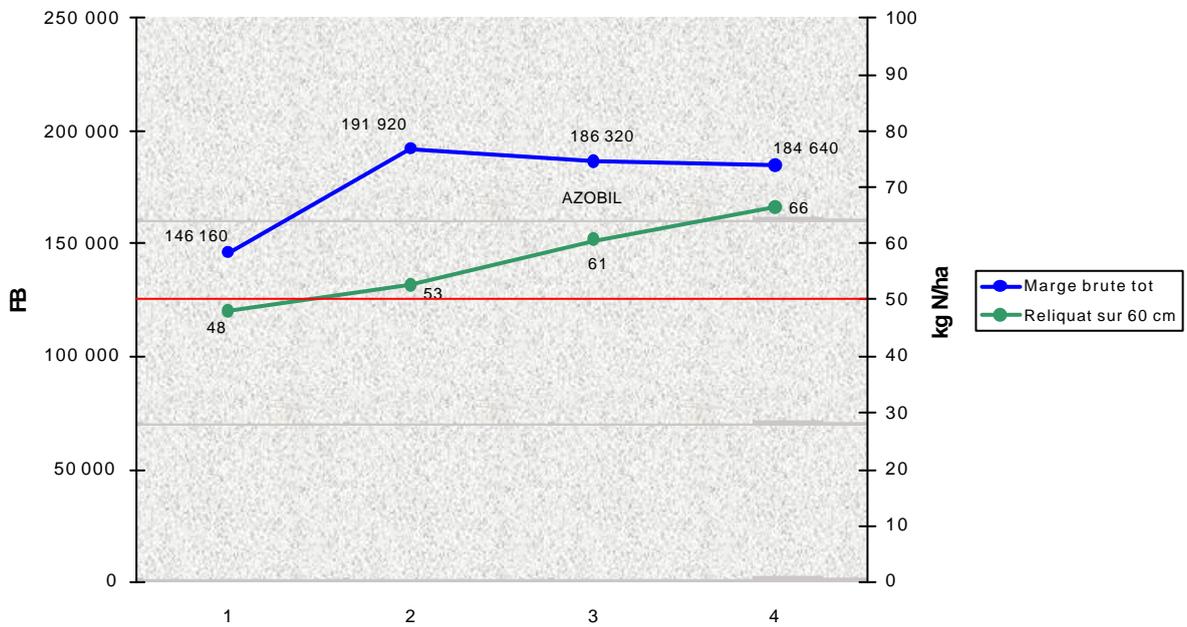
Graphique 54 : Situation 3 (1 = 0 kg N/ha, 2 = 108 kg N/ha, 3 = 180 kg N/ha, 4 = 252 kg N/ha)

Gembloux, 1997



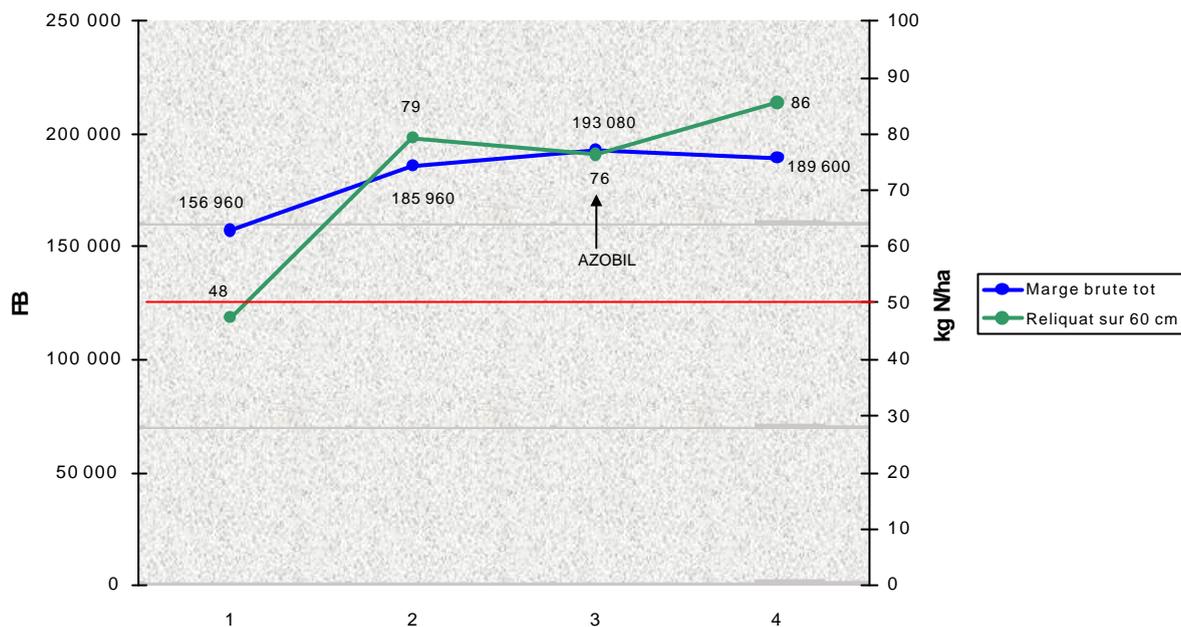
Graphique 55 : Situation 4 (1 = 0 kg N/ha, 2 = 50 kg N/ha, 3 = 100 kg N/ha, 4 = 150 kg N/ha)

Gembloux, 1997



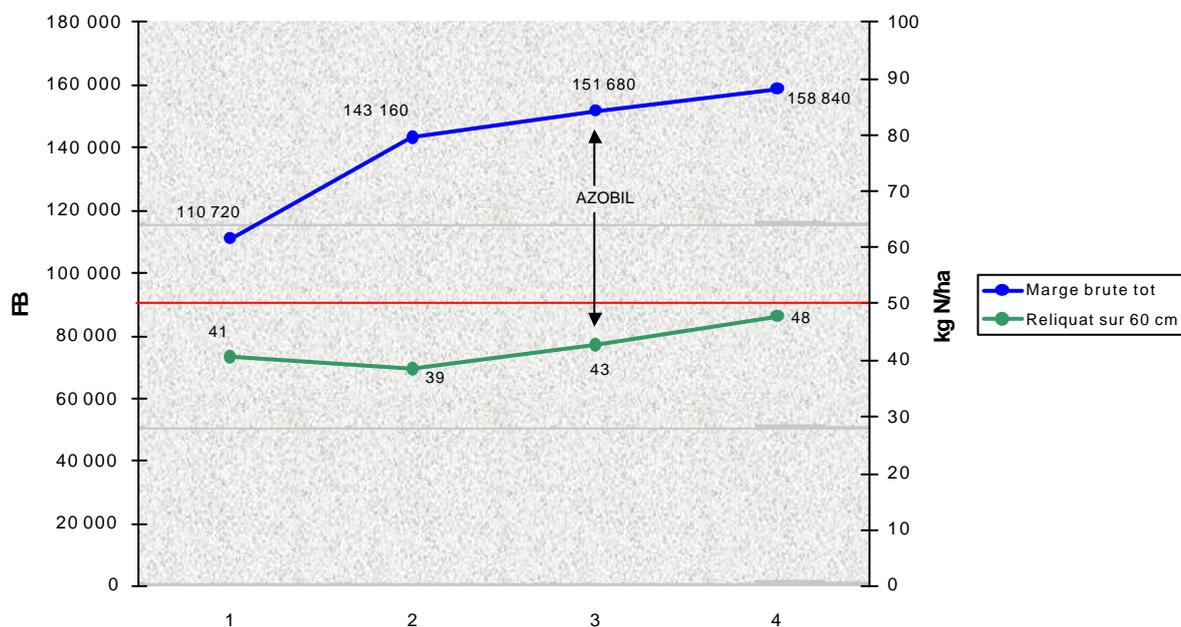
Graphique 56 : Situation 5 (1 = 0 kg N/ha, 2 = 50 kg N/ha, 3 = 100 kg N/ha, 4 = 150 kg N/ha)

Masnuy, 1997



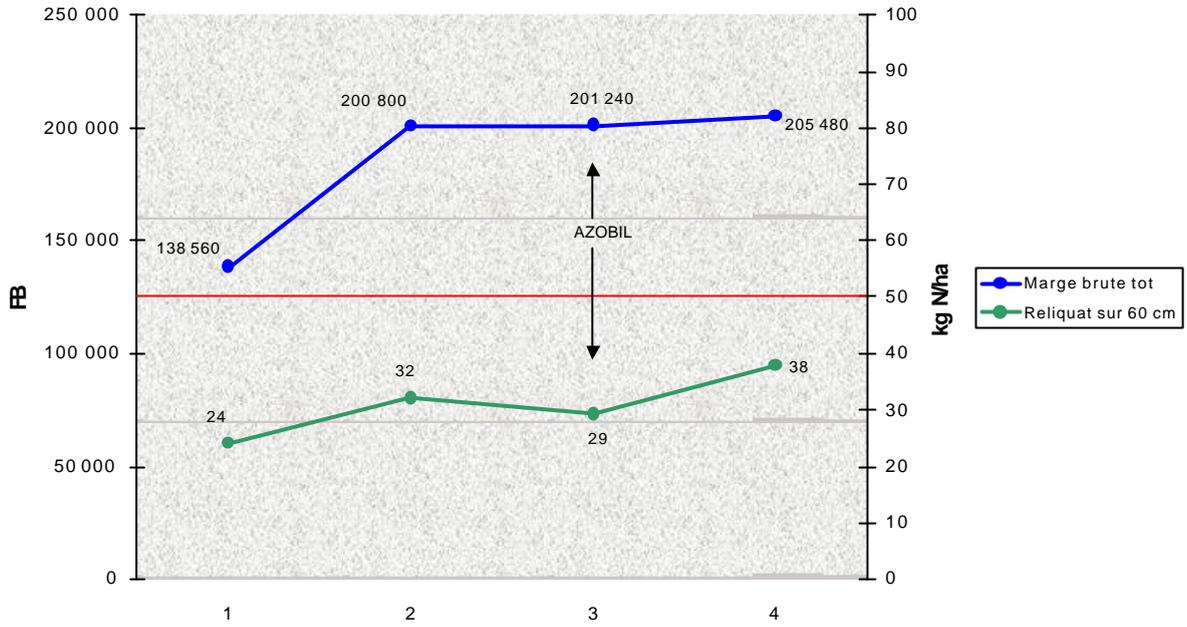
Graphique 57 : Situation 6 (1 = 0 kg N/ha, 2 = 86 kg N/ha, 3 = 115 kg N/ha, 4 = 144 kg N/ha)

Gouy, 1998



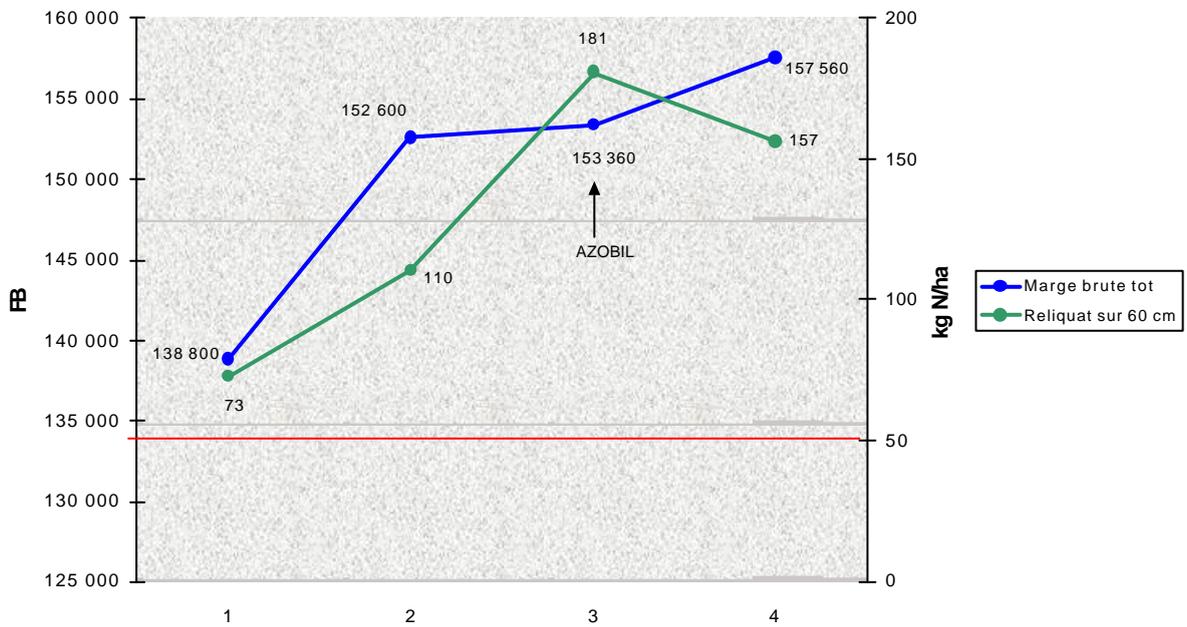
Graphique 58 : Situation 7 (1 = 0 kg N/ha, 2 = 132 kg N/ha, 3 = 176 kg N/ha, 4 = 220 kg N/ha)

Gembloux, 1999



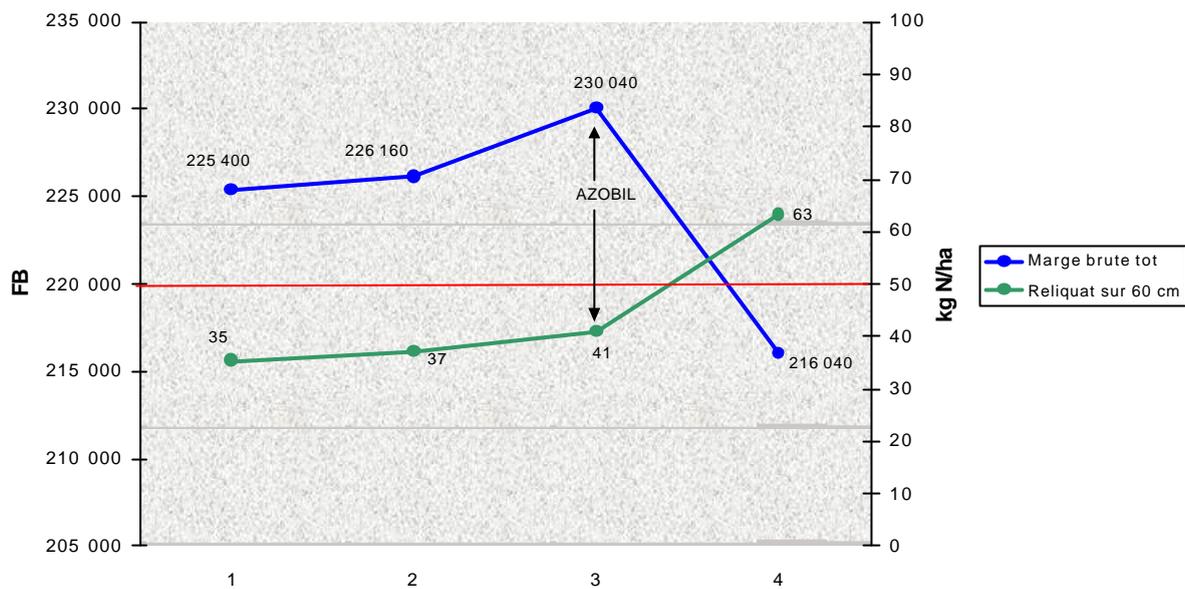
Graphique 59 : Situation 8 (1 = 0 kg N/ha, 2 = 119 kg N/ha, 3 = 170 kg N/ha, 4 = 221 kg N/ha)

Marcq, 1999



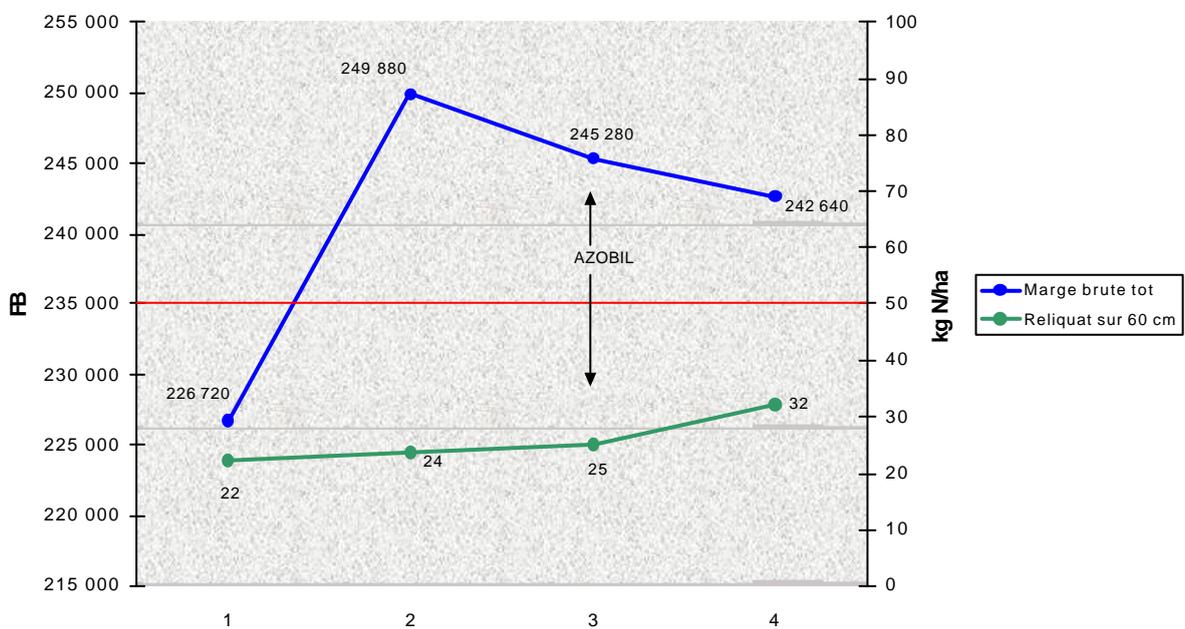
Graphique 60 : Situation 9 (1 = 0 kg N/ha, 2 = 105 kg N/ha, 3 = 150 kg N/ha, 4 = 195 kg N/ha)

Incourt, 1999



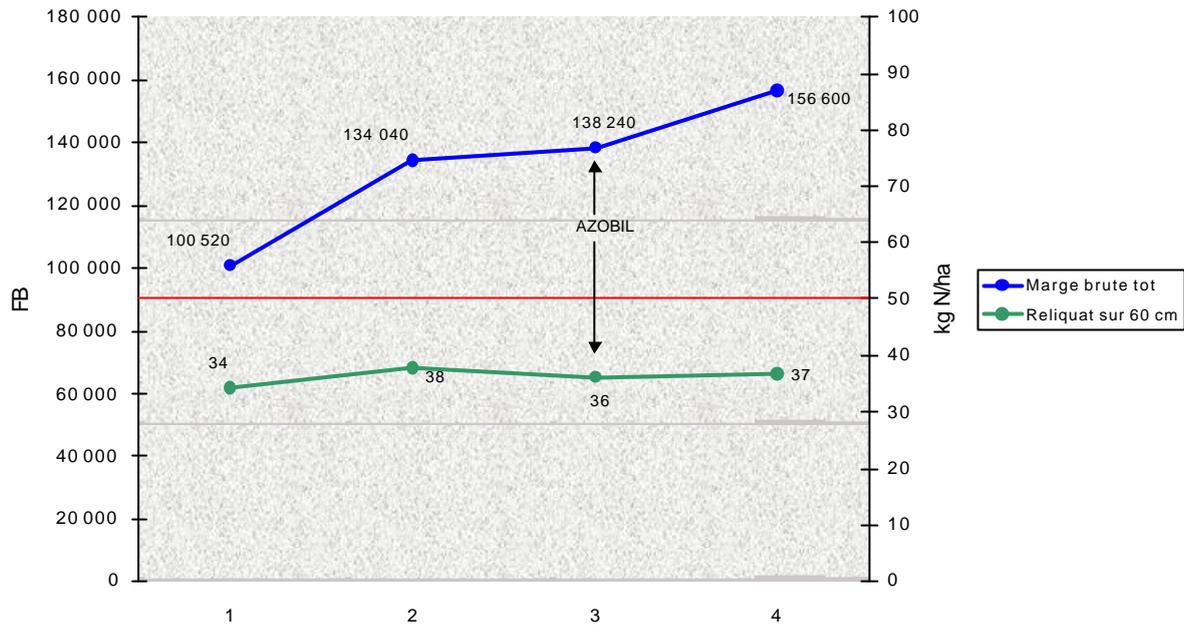
Graphique 61 : Situation 10 (1 = 0 kg N/ha, 2 = 112 kg N/ha, 3 = 160 kg N/ha, 4 = 208 kg N/ha)

Franière, 1999



Graphique 64 : Situation 11 (1 = 0 kg N/ha, 2 = 119 kg N/ha, 3 = 170 kg N/ha, 4 = 221 kg N/ha)

Pontillas, 1999



Graphique 63 : Situation 12 (1 = 0 kg N/ha, 2 = 88 kg N/ha, 3 = 125 kg N/ha, 4 = 163 kg N/ha)

Contrairement aux céréales, la fumure azotée des pommes de terre, même gérée avec un logiciel de conseil de fumure comme AZOBIL, reste difficile à maîtriser. En effet, même si dans 8 cas sur 12 (situations 1 à 6, 8 et 11) la dose optimale est proche de la dose AZOBIL, les reliquats d'azote minéral dans le sol à la récolte sont supérieurs à 50 kg N/ha ou susceptibles de l'être dans 5 cas (situations 2 à 6).

Dans l'optique de mieux gérer ces situations et de prendre en compte les incertitudes de fournitures en azote et de développement de la culture en cours de saison, des pistes sont avancées en matière de suivi du statut azoté de la plante afin d'ajuster la fumure azotée aux besoins de la culture. Ainsi, le fractionnement de la dose totale permet, en fonction de la réponse des outils de diagnostic azoté en cours de culture, de la corriger en cas d'excès (Olivier *et al.*, 1999 ; Haase *et al.*, 2000 ; Olivier *et al.*, 2000).

CONCLUSIONS - RECOMMENDATIONS

IV. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

IV.1. Essais menés par le Département Production Végétale

Afin d'organiser cette partie, nous aborderons successivement les conclusions des essais menés en betteraves sucrières, en maïs ensilage, en cultures maraîchères, en froment d'hiver et en pommes de terre.

Synthèse des résultats obtenus

Les résultats des essais menés en culture de betterave sucrière montrent que dans 2 cas sur 14 (site 5 en 1998 et site 3 en 2000), le conseil AZOBIL a conduit à un rendement en sucre inférieur à celui obtenu lorsque la dose habituelle plus élevée est appliquée par l'agriculteur. Pour ces 14 situations, les quantités d'azote mesurées dans les feuilles, pour AZOBIL et la dose agriculteur, sont du même ordre de grandeur du point de vue agronomique dans 11 cas. Pour les 3 autres cas (sites 3 à 5 de 1998), les quantités enregistrées lorsque la dose agriculteur a été appliquée sont deux fois plus élevées que celles mesurées lorsque le conseil AZOBIL a été appliqué. Les reliquats d'azote à la récolte sont généralement plus faibles (\approx 10-20 kg N/ha) dans 10 cas sur 12 (2 mesures manquantes) alors qu'une quantité deux fois plus petite est mesurée pour la dose AZOBIL par rapport à la dose agriculteur dans les sites 1 et 2 de 1998.

Ainsi, en betterave sucrière, dans 86 % des cas, la réduction de la dose d'azote habituellement appliquée ne conduit pas à une pénalisation du rendement. Dans 50 des cas, un accroissement du rendement a même été enregistré. En outre, une réduction des quantités d'azote dans les résidus de culture (feuilles) (21 % des cas) ou dans le sol (14 % des cas) sont mesurés lorsque le conseil AZOBIL est suivi.

Dans le cas du maïs ensilage, les résultats obtenus en 1998 dans le site 1 étudié sont similaires d'un point de vue agronomique en terme de rendement (quantité et qualité du fourrage) et de reliquat azoté dans le sol lorsque la dose AZOBIL (conseil 0 kg N/ha) ou lorsque la dose agriculteur plus élevée a été appliquée. Le reliquat mesuré est élevé, supérieur à 100 kg N/ha. Nous avons cependant mesuré une maturité plus précoce dans le cas AZOBIL (taux de MS plus élevé). En 2000, les essais menés en monoculture de maïs sur ce même site ont conduit à des conclusions semblables sauf pour le reliquat d'azote dans le sol qui est cette fois plus faible pour la dose AZOBIL. En outre, le niveau des reliquats mesurés en 2000 (< 70 kg N/ha) est deux fois plus faible que celui des reliquats mesurés en 1998 (\approx 140 kg N/ha). Ces résultats montrent que la gestion d'une situation en excès (conseil AZOBIL de 0 kg N/ha en 1998 pour atténuer l'effet de trop de fumier de bovin) ne conduit pas à de bons résultats dès la première année. Par contre, en 2000, alors que nous nous trouvons dans le cas d'un maïs implanté tardivement, en raison des conditions climatiques défavorables au printemps (pluie), nous atteignons des niveaux de reliquats dans le sol plus acceptables. Dans le cas du site 2 suivi en 2000, le conseil AZOBIL a donné de bons résultats en terme de rendement mais il apparaît clairement, après examen des doses d'azote plus faibles expérimentées dans cet essai que ce conseil est excessif (déjà un bon rendement sans apport d'azote minéral) et conduit à des niveaux de reliquats élevés (> 140 kg N/ha). Nous nous trouvons dans une situation difficile à gérer de par l'application de lisier de porcs. La variabilité des résultats montre la difficulté de prévoir les contributions en azote de ce type de matière organique. Ici, l'épandage n'est pas mis en cause mais il semble que ce soit plutôt la variabilité de la composition du lisier qui est grande.

De 1998 à 2000, 6 essais ont été menés en cultures maraîchères de plein champ dont 1 en choux de Bruxelles, 3 en épinards, 1 en haricot et 1 en fèves des marais.

En choux de Bruxelles, les résultats obtenus lorsque le conseil AZOBIL a été suivi sont du même ordre que ceux obtenus avec la dose agriculteur plus élevée. Outre l'obtention d'un bon rendement en terme de qualité et de quantité, un reliquat d'azote dans le sol peu élevé a été mesuré dans les deux cas (\approx 10 kg N/ha).

Parmi les 3 sites suivis en épinard, 2 d'entre eux conduisent à des résultats peu satisfaisants déjà avec la dose AZOBIL en terme d'environnement puisque des reliquats d'azote dans le sol > 100 kg /ha sont mesurés sur 60 cm de profondeur, et en terme de qualité du produit (teneurs en nitrates excédentaires), même si en contrepartie, le rendement obtenu est bon. Ces résultats sont en partie expliqués par les mauvaises conditions climatiques qui ont retardé l'assimilation de l'azote laissant ainsi de grandes quantités d'azote dans le sol et conduisant à une accumulation de nitrates en fin de culture. Par contre, dans le troisième site expérimenté en 1999, le logiciel AZOBIL a donné de très bons résultats que ce soit en terme de rendement (quantité et nitrates) ou d'environnement (reliquat d'azote dans le sol < 60 kg/ha sur 90 cm de profondeur).

De très bons résultats ont également été obtenus en haricot. Il apparaît de façon très nette que le dépassement de la dose AZOBIL ne conduit pas à un meilleur rendement mais par contre donne lieu à un accroissement des concentrations en azote des résidus de culture (plante) et de reliquat d'azote dans le sol sur 60 cm de profondeur (accroissement de plus de 50 kg N/ha dans les parcelles irriguées).

L'essai suivi en fèves des marais avec une dose d'azote unique calquée sur la pratique n'a pas donné de bons résultats. Le rendement en gousses est anormalement faible (1,5 t/ha) tandis que les quantités d'azote présentes dans les résidus (> 300 kg N/ha) et dans le sol (> 80 kg/ha sur 90 cm) sont élevées. Comme pour les épinards, les mauvaises conditions climatiques sont à l'origine des résultats obtenus.

Pour l'essai suivi en froment d'hiver après une double culture légumière (épinard-haricot), la dose conseil AZOBIL a donné de bons résultats. Son dépassement conduit à un plafonnement des rendements (quantités et protéines) et à un accroissement important des reliquats d'azote dans le sol (de 29 à 83 kg N/ha sur 1,5 m de profondeur).

L'analyse des données acquises aux cours d'essais antérieurs menés en froment d'hiver par le Département Production Végétale a montré que le conseil du logiciel AZOBIL conduisait dans tous les cas à des valeurs proches de celles de l'optimum de rendement.

Dans le cas des pommes de terre, l'analyse des essais menés par le Département Production Végétale depuis 1996 montrent que l'application du conseil du logiciel AZOBIL conduit dans 8 cas sur 10 à un rendement économique proche de l'optimum. Néanmoins, 5 cas sur 8 conduisent à des reliquats qui dépassent la valeur de 50 kg N/ha sur 60 cm de profondeur fixée par l'arrêté du Gouvernement wallon du 14 mars 1995.

Conclusions

En conclusion, les résultats obtenus avec le logiciel AZOBIL sont en partie liés aux cultures surtout pour le reliquat d'azote dans le sol. Ainsi, nous obtenons de très bons résultats en betterave sucrière et en froment d'hiver, même lorsque des matières organiques sont appliquées. Il s'agit de cultures à enracinement profond (> 90 cm), avec une durée de culture longue (≅ 10 mois) leur permettant de récupérer de l'azote dans le bas du profil. Dans le cas du maïs, la gestion de la fumure azotée est rendue plus difficile pour plusieurs raisons. Soulignons d'abord le fait que ces cultures sont quasiment toujours installées sur des terres de peu de valeur agronomique et sur lesquelles les restitutions organiques sont très fréquentes. En outre, les contributions en azote de ces dernières sont souvent mal prises en compte dans le calcul de la fumure azotée par les agriculteurs. Ces éléments conduisent à des situations de profils de sol extrêmement chargés en azote. Comme nous l'avons vu, cela signifie qu'une durée de deux, voire trois ans est nécessaire pour retrouver un profil acceptable et pouvoir alors vraiment gérer la situation avec le logiciel AZOBIL. En outre, il restera quand-même toujours plus d'azote qu'en betterave ou en froment car la cinétique de prélèvement par la plante est différente. Nous constatons après maïs des profils subdivisés en 3 zones majeures : une zone enrichie en surface, une zone très appauvrie entre 60 cm et 1 m de profondeur et à nouveau une zone enrichie en profondeur. Les matières organiques de type fumier libèrent encore de l'azote en surface en fin de culture alors que le maïs ne prélève plus de façon efficace en surface. Le creux correspond à la zone bien exploitée par la plante jusqu'à la fin de la culture et l'azote présent dans la partie inférieure du profil traduit surtout un ralentissement du prélèvement en fin de culture.

Il s'agit donc, dans une culture telle que le maïs, de bien prendre en compte les pratiques culturales habituelles afin de limiter au maximum les risques de pollution par les nitrates.

Les cultures maraîchères constituent un ensemble complexe de par la variété des espèces qu'elles intègrent (cultures à cycle végétatif long ou court, doubles cultures, légumes feuilles ou racines...). Nos travaux ont été réalisés sur les cultures les plus pratiquées en Hesbaye et les plus à risque en terme de fumure azotée. Parmi celles-ci, les meilleurs résultats en terme de gestion avec le logiciel AZOBIL ont été obtenus en choux de Bruxelles, en haricot et même en épinard. D'emblée, il apparaît que les cultures à cycle végétatif court tel que l'épinard ou les fèves de marais sont extrêmement sensibles aux conditions climatiques. Même bien gérées, elles peuvent devenir polluantes en azote dans des conditions climatiques défavorables (t° trop fraîches, manque d'ensoleillement). En outre, vu la faible capacité d'enracinement de ces cultures, la quantité d'azote qui leur est apportée est toujours surestimée afin d'être certain qu'elles puissent disposer de l'azote qui est nécessaire à l'expression du potentiel de rendement maximum. Ainsi, le raisonnement de la fertilisation azotée des cultures maraîchères avec le logiciel AZOBIL est tout à fait d'actualité mais nécessite quelques adaptations de base (accroître le nombre de cultures pour lesquelles le conseil peut être calculé, meilleure prise en compte du besoin des plantes...) ainsi que des adaptations locales (doubles cultures, durées des cultures, irrigation...).

Pour une culture telle que la pomme de terre, la gestion de la fumure azotée n'est pas évidente, même lorsqu'un outil de gestion comme AZOBIL est utilisé. Les résultats du Département Production Végétale montrent que la pratique actuelle en Belgique, qui consiste à appliquer la totalité de la dose d'azote à la plantation, n'est pas toujours adaptée à la cinétique de prélèvement d'azote par la plante. Le fractionnement de la dose totale et son raisonnement en fonction du statut azoté mesuré en cours

de culture semble donner de meilleurs résultats et laisse toujours la possibilité de réduire la dose totale prévue au départ. Le facteur variété dont dépend notamment la durée de culture est à prendre en compte lors du calcul de la fumure. Notons également que même en condition d'application d'une dose raisonnée sur base d'AZOBIL, le niveau des reliquats après pomme de terre est plus élevé qu'après froment ou betteraves. Dans les situations avec apports importants et fréquents d'amendements organiques (non rencontrées dans les essais décrits dans ce rapport), ces reliquats peuvent même doubler, voire tripler. Cet aspect est propre à la culture de pomme de terre et s'explique au même titre que pour les légumes, par un enracinement peu dense et peu profond limitant la capacité de récupération de l'azote comparativement aux céréales ou à la betterave.

Il s'ensuit que l'application de la méthode AZOBIL en pomme de terre est tout à fait justifiée, elle permet, en première approche, d'établir une dose conseil totale en azote spécifique à la parcelle, qui représente une amélioration importante par rapport à la pratique courante qui se base le plus souvent sur des recommandations en azote excessives par rapport aux besoins de la culture. La méthode AZOBIL permet une économie substantielle en engrais azoté (dont le coût a récemment doublé) et une limitation significative des reliquats d'azote dans le sol à la récolte.

En guise de conclusion générale, nous dirons que le logiciel AZOBIL est un outil pertinent en matière de gestion de la fumure azotée des grandes cultures et des cultures légumières non seulement en terme de potentiel de rendement mais aussi en terme de respect de l'environnement (limitation des pertes en nitrates vers les nappes phréatiques). En outre, la convivialité de cet outil permet la prise en compte des avancées de la recherche et des facteurs locaux.

En ce qui concerne la législation actuelle et future en matière de normes pour la pollution par les nitrates, l'actuel Arrêté wallon qui fixe à 50 kg N/ha la quantité d'azote minéral autorisée sur 60 cm de profondeur est trop généraliste. La première remarque est que les flux d'azote en dessous de ces 60 cm sont déterminant en matière de risque de lessivage. En d'autres termes, il est non seulement nécessaire de considérer le profil au moins sur 90 cm de profondeur (sur 1,5 m si possible) mais il faut également prendre en compte la forme du profil, c'est à dire la répartition de l'azote en profondeur (figures 64 et 65). En outre, s'il est normal de mesurer un profil de 15 kg N/ha sur 1,5 m après une culture de betterave sucrière ou une culture de froment d'hiver menée à l'optimum, une telle situation est irréaliste après un épinard ou une pomme de terre. En d'autres termes, les limites doivent être modulées en fonction des cultures.

Notre proposition serait la suivante et pourrait servir de repère pour la future norme d'azote potentiellement lessivable (APL) modulable en fonction des conditions climatiques de l'année :

Limite de reliquat d'azote acceptable dans le sol juste après la récolte :

Culture		Reliquat maximum autorisé à la récolte
Betterave sucrière Froment		30 kg N/ha sur 1,5 m
Maïs ensilage		80 kg N/ha sur 1,5 m
Cultures maraîchères		à cycle végétatif long à cycle végétatif court
		30 kg N/ha sur 1,5 m 80 kg N/ha sur 1,5 m dont 50 kg dans couche 0-60 cm
Pomme de terre	En système avec restitution nulle à faible en m.o.*	60 kg N/ha sur 60 cm
	En système avec restitutions importantes et fréquentes en m.o.	90 kg N/ha sur 60 cm

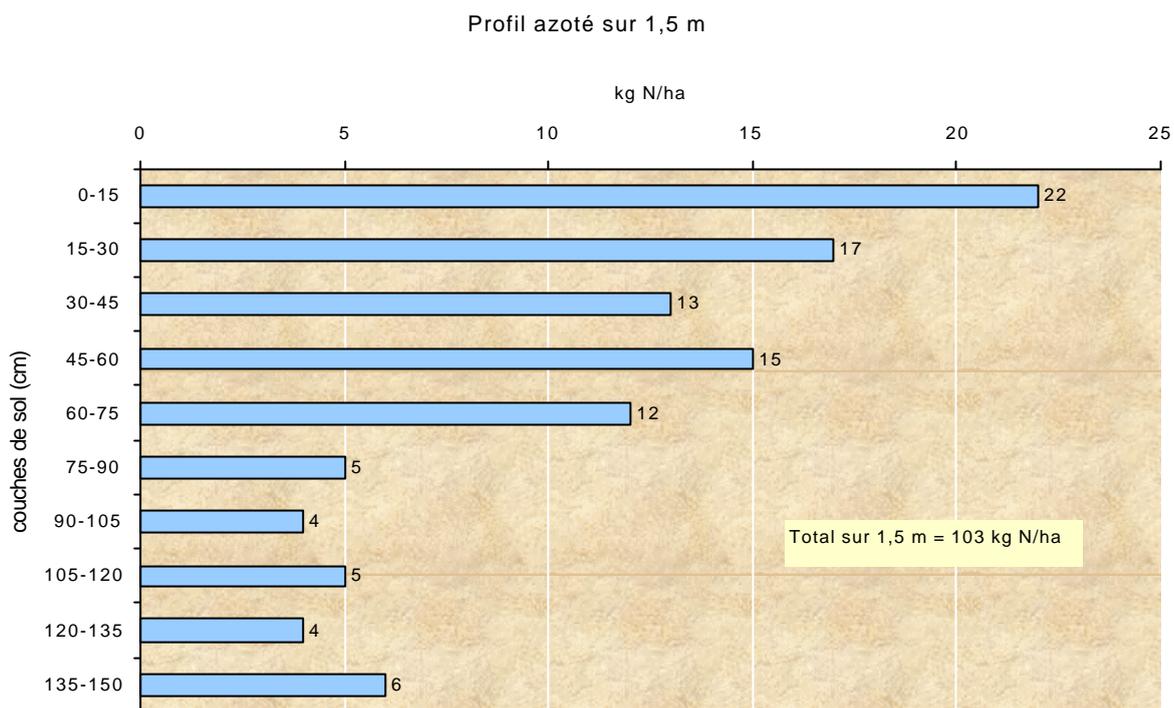
* m.o. = matières organiques

Dans le cas d'un dépassement (soit un excès manifeste, soit une répartition de l'azote surtout en profondeur**), il faudrait imposer à l'agriculteur de récupérer une partie de cet azote :

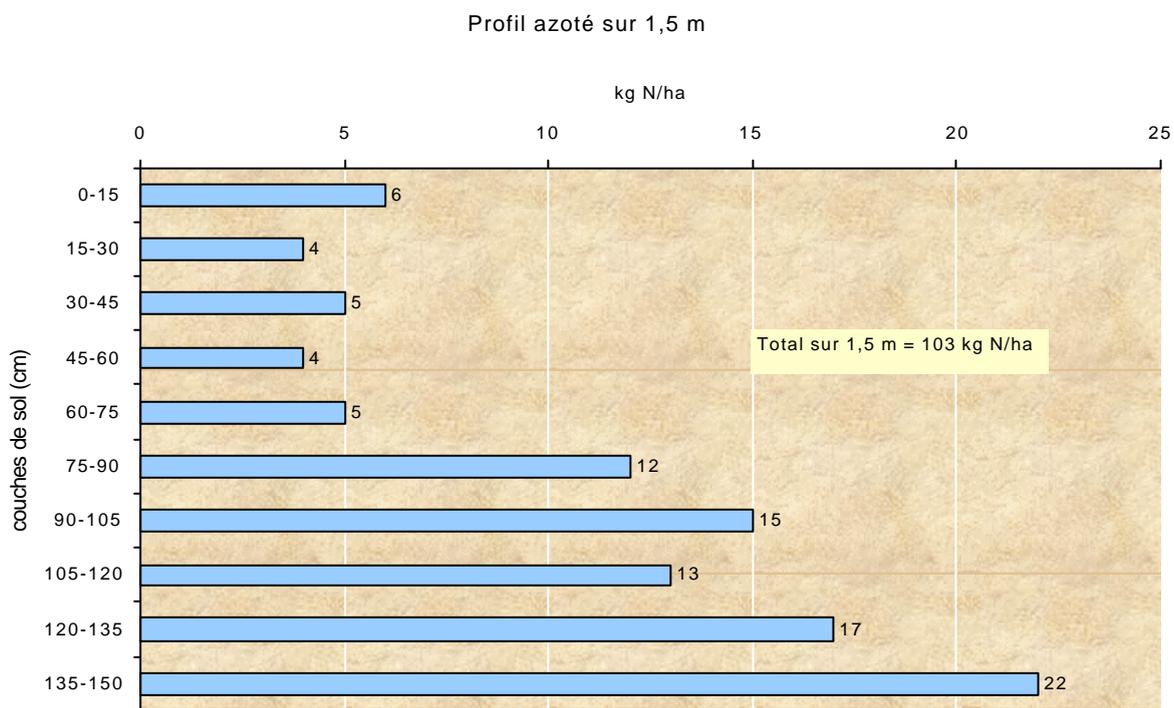
- soit par la culture d'un engrais vert si il est possible de l'implanter
- soit par la mise en place rapide (dès l'automne) d'une culture à enracinement profond (froment d'hiver, colza...).

** En profondeur signifie en dessous des 60 premiers centimètres sur lesquels l'azote peut raisonnablement être récupéré par la suite

1)



2)



Figures 64 et 65

Allures contrastées de profils de sol en azote minéral (1 = azote en surface, 2 = azote dans le bas du profil) montrant qu'à quantités égales, la répartition de l'azote dans le profil considéré entraîne un risque de lessivage différent.

En outre, les effets de ces cultures sur l'évolution du profil en azote minéral seront mesurés en fin d'automne par une nouvelle analyse dans le cadre des démarches QUALITE. Lorsqu'un agriculteur se

trouvera à plusieurs reprises en situation d'excès, il conviendra de rediscuter son agréation « démarche qualité » jusqu'à ce que sa situation s'améliore.

Il faut bien évidemment aussi tenir compte des aléas climatiques qui peuvent conditionner fortement le niveau des reliquats pour certaines cultures.

Nous avançons ici des pistes, sur base des résultats d'essais obtenus dans le cadre de cette convention de recherche, pistes qui doivent être matière à discussion dans l'optique de la législation future concernant les normes nitriques.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- Demyttenaere, P. ; Hofman, G. ; Van Ruymbekke, M. ; Verstegen, P. et Van Meirvenne, M., 1992 – Azote résiduel dans le sol en cultures maraîchères, en Flandre occidentale. *Revue de l'agriculture*, vol 45 (2), pp 447-456.
- Goffart, J-P, Couvreur, L., Roisin, C., Guiot, J., Destain, J-P et Meeus-Verdinne, K., 1992 – Nutrition azotée des céréales et environnement. Application au froment d'hiver – *Revue de l'agriculture*, vol 45 (2), pp 331-345.
- Haase, N.U., Goffart, J-P, Mackerron, D.R.L. and Young, M-W, 2000 – Determination of crop nitrogen status using invasive methods. – In: Management of nitrogen and water in potato production. Eds: A. Haverkort and D.K.L. Mackerron, Wageningen Press, The Netherlands, pp 55-71
- Isermann, K., 1990 – Share agriculture in nitrogen and phosphorus emissions into the surface waters of Western Europe against the background of their eutrophication. - *Fertilizer Research*, 26, pp 253-269
- Liesch, J-C, 2000 – Rénovation de l'écriture et du paramétrage de la méthode du bilan d'azote sur pomme de terre et effet de la dose d'azote sur des critères qualitatifs et environnementaux – Mémoire de fin d'études de l'Institut Supérieure Agricole de Beauvais en collaboration avec l'INRA de Laon-Péronne et l'ITCF de Boigneville, pp 47-50
- Machet, J-M, Dubrulle, P. – Azobil: a computer program for fertilizer N recommendations based on a predictive balance sheet method – In: Proceedings of first congress of the European Society of Agronomy, Eds: A. Scaife, Paris 5th – 7th December 1990
- Ninane, V. ; Goffart, J-P, Meeus-Verdinne, K. ; Destain, J-P, Guiot, J. et François, E., 1995 – Engrais verts et environnement. – In: Matières organiques dans le sol : conséquences agronomiques et environnementales, Eds : Geypens M. et Honnay J.P. (IRSIA), Comité de Recherche sur la Matière Organique du Sol , pp 92-96
- Olivier, M. ; Goffart, J-P, Sinnaeve, G., 1999 – Evaluation of invasive methods to assess the nitrogen status of the potato crop in the course of the season. – In: Abstracts of Conference Papers, 14th Triennial Conference of the EASR, Sorrento, Italy, 2-7 May 99, pp 134-135
- Olivier, M. ; Goffart, J-P, Destain, J-P, 2000 – Raisonement de la fumure azotée en pomme de terre de consommation. Un nouveau concept. – Dans : « La pomme de terre de consommation », Gembloux, le 1^{er} mars 2000, Eds : CRAGx, Gembloux, Belgique, pp 19-32
- Programme Action-Hesbaye, 1996 – Rapport de synthèse. Centre de Recherches Agronomiques de Gembloux, Faculté Universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux et Université de Liège. CEE, Ministère de la Région Wallonne, Société Wallonne de Distribution d'Eau et Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux.
- Rémy, J-C, 1981 – Etat actuel et perspectives de la mise en œuvre des techniques de prévision de la fumure azotée – *CR Acad. Agric. France*, 67, pp 859-874.
- Tuller, M. and Cepuder, P., 1995 – Estimating percolation and nitrate leaching with the numeric simulation model EPIC. – In: Proceedings of the 9th International Symposium of CIEC, Eds : Welte E. et al. (CIEC) Goettingen, 25-30 september 1995, Kusadasi-Söke/Turkey