

# L'analyse du **nitrate** dans le sol, son intérêt en vue d'établir un conseil de fumure adapté à la parcelle

➤ **l'exemple de la betterave sucrière**



Source : Département Production végétale - CRA-W

**J.-P. Destain,**  
Département Production végétale - CRA-W  
**V. Reuter,**  
Département Production végétale - CRA-W

**B. Toussaint,**  
Conseiller pour la qualité du milieu,  
cellule de coordination de l'ASBL **REQUASUD**,  
Laboratoire d'écologie des prairies - UCL

**M.-J. Goffaux,**  
Coordinatrice de la cellule  
de coordination de l'ASBL **REQUASUD**

**M. Martinez,**  
Base de données de l'ASBL **REQUASUD**

**R. Oger,**  
Section Biométrie, Gestion des  
données et Agrométéorologie - CRA-W

**G. Legrand,**  
IRBAB, Tirlemont

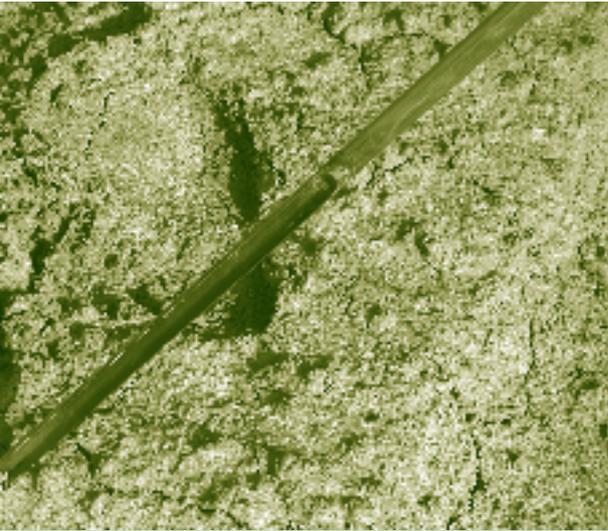


Avec le soutien du  
Ministère de la  
Région wallonne,  
Direction Générale  
de l'Agriculture



Les auteurs tiennent à remercier,

- **Lygie Jacob, Xavier Frand** et **Christine Anceau** de la Cellule de coordination de l'ASBL **REQUASUD**
- **René Vansnick** de la Fédération Wallonne de l'Agriculture - FWA  
pour la relecture du document et leurs suggestions
- L'ensemble du personnel des laboratoires de proximité et du laboratoire d'encadrement référentiel (Département Production végétale - CRA-W) de l'ASBL **REQUASUD**
- La raffinerie Tirlemontoise et ISCAL Sugar  
pour leur collaboration
- La Région wallonne - Direction Générale de l'Agriculture  
pour son soutien financier



Source : Département Production végétale - CRA-W

**4** ■ Introduction

**6** ■ Méthodologie

- 6 Prélèvement des échantillons de sol
- 7 Conservation des échantillons et analyse
- 7 De l'analyse du nitrate au conseil de fumure

**10** ■ La base de données

**12** ■ Facteurs influençant le contenu en  $N_{\text{nitrique}}$  du sol et sa répartition dans le profil

- 12 La région agricole
- 13 Le précédent cultural
- 14 Les apports de matières organiques
- 16 Influence du climat
- 17 Influence du taux d'humus du sol

**18** ■ Perspectives d'utilisation agro-environnementale de la base de données

**19** ■ Conclusion

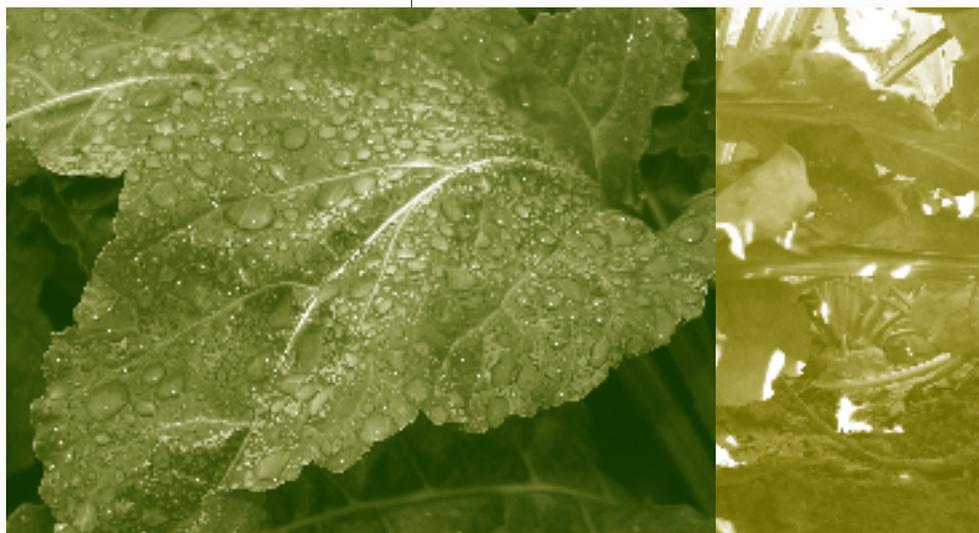
**20** ■ Références bibliographiques

## Introduction

Dans les régions tempérées, la production agricole dépend fortement de l'azote (N) et de l'efficacité de son utilisation. Pour maximiser celle-ci, il faut que les cultures prélèvent l'azote disponible avec la meilleure efficacité possible et à un rythme correspondant à leur besoin physiologique instantané (Destain *et al.*, 1997). La forme de prélèvement est essentiellement le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) qui a une double origine : la minéralisation de la matière organique du sol et l'apport d'engrais azoté. Le nitrate (ou encore azote nitrique) ne représente qu'une très faible partie de l'azote total du sol, soit quelques dizaines de kg/ha pour un stock total de plusieurs milliers de kg/ha, qui est principalement sous la forme organique.

Si le déficit en azote est très préjudiciable au rendement et à la qualité de la récolte (taux de protéine insuffisant dans les grains de céréales, rendement en racines insuffisant en betterave par exemple), l'excès est également pénalisant (verse des céréales, taux de sucre insuffisant en betterave, taux de nitrate trop élevé dans les légumes ou la pomme de terre).

De plus le nitrate en excès, non prélevé, peut migrer dans le profil et enrichir l'eau des nappes phréatiques ou être immobilisé par la flore microbienne, ou encore dénitrifié et renvoyé dans l'atmosphère.



Source : IRBAB

L'analyse du profil en N minéral est avant tout une démarche proactive de gestion de l'azote pour l'agriculteur qui attend un conseil pertinent pour sa parcelle. Elle répond également à des exigences commerciales particulières, c'est ainsi que certains contrats spécifiques passés avec l'industrie ou des cahiers de charges bien particuliers contraignent le producteur à recourir à l'analyse en vue d'une recommandation de fumure (ex : pomme de terre Terra Nostra).

On a choisi pour ce travail d'extraire de la base de données **REQUASUD** les données relatives aux parcelles dont la culture

projetée est la betterave sucrière. Pour cette culture, les agriculteurs comme les industriels sont particulièrement motivés pour limiter la fumure azotée aux besoins et ainsi garantir le rendement optimum, une richesse saccharine et une extractibilité du sucre maxima.

La betterave est une culture qui épuise en général bien le profil en N minéral du sol, mais qui en fait aussi souvent une consommation de luxe, si celui-ci est en excès. Ainsi, comme de très nombreux auteurs étrangers, Boon (1979) observe une évolution négative de la richesse saccharine - de 17,8 à 15,3 % - pour

une fumure passant de 0 à 300 kg N/ha, un optimum de rendement à 120 kg N/ha avec une richesse de 17,1 % et une production de sucre égale à 10 tonnes/ha. Par ailleurs dans une situation de sol riche en azote minéral, Fromont (1992) constate une tendance similaire, quoique moins accentuée pour le taux de sucre : sans différence de rendement global, il observe un stockage croissant de l'azote dans les feuilles (tableau 1). Ces feuilles, après enfouissement, sont susceptibles de se minéraliser rapidement et d'enrichir considérablement le profil avec un risque évident de pertes.

Cette synthèse permet d'établir un conseil moyen diffusé chez tous les agriculteurs – planteurs de betteraves et dans la presse spécialisée (Legrand *et al.*, 2004).

Un autre intérêt du choix des betteraves pour réaliser cette étude synthétique des analyses de nitrate réside dans la place de cette culture en tête de rotation ; on lui destine généralement les apports de matières organiques diverses. Ces matières qui sont indispensables pour maintenir un taux d'humus favorable du sol (gage d'une bonne stabilité structurale) sont également une source d'éléments nutritifs, dont l'azote. Elles permettent de

réaliser des économies sur la fertilisation minérale. Une analyse du profil permet d'adapter cette fertilisation en fonction de l'apport organique. Parmi les recommandations de fumure qui en résultent, il n'est pas rare de trouver des situations où il faut éviter tout apport d'azote minéral.

Les objectifs de cette publication sont de réaliser une synthèse de ces résultats de profils avant culture betteravière, d'en examiner la variabilité et d'en identifier les causes (influence des paramètres culturels, climatiques).



Source : Filigrane



Source : IRBAB

La base de données **REQUASUD** contient un grand nombre de résultats d'analyse de nitrate, suite à la campagne de mesures demandée par le secteur sucrier (Raffinerie Tirlémontoise et ISCAL Sugar). Ces mesures sont effectuées par les laboratoires des services directs du réseau **REQUASUD** dans des champs représentatifs choisis par le secteur sucrier. Chaque année, le laboratoire d'encadrement référentiel du Département Production végétale du CRA-W en assure la synthèse et élabore des conseils de fumure à l'aide d'un logiciel décisionnel AZOBIL (Machet et Dubrulle, 1990) en se basant sur ces profils en N<sub>nitrique</sub>.

**Tableau 1**  
Evolution du rendement racinaire de la betterave sucrière, du taux de sucre, du rendement en feuilles et de leur contenu en N, en fonction de la fumure (essai réalisé à Walhain) (Fromont, 1992)

Fumure	Racine (T/ha)	Sucre (%)	Sucre (kg/ha)	Feuille (T/ha)	Feuille (kg N/ha)
0 N	69	17.6	12100	52	90
40 N	70	17.5	12200	-	-
80 N	69	17.4	12100	65	148
120 N	71	17.1	12200	65	179

# 1. Méthodologie

L'analyse minérale classique des terres permet d'estimer la réserve du sol et sa capacité à libérer en quantité suffisante l'élément nutritif considéré (P, K, Mg, oligo-éléments) ; lors de cette analyse, on ne prend en compte que la fraction disponible.

Par contre, le but de l'analyse des nitrates est de quantifier un stock présent et disponible pour la plante à un moment donné. Il faut en effet rappeler que le nitrate est la forme presque exclusive de prélèvement de l'azote par les cultures en climat tempéré. De plus, il ne faut jamais perdre de vue que le contenu en nitrate est très fluctuant en fonction de la minéralisation, des apports d'engrais organiques ou minéraux, du prélèvement par les plantes et des mécanismes de pertes parmi lesquels le lessivage est souvent le plus important.

## 1.1. Prélèvement des échantillons de sol

Le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), qu'il soit produit dans la couche arable par la minéralisation des matières organiques et de l'humus ou qu'il soit apporté par l'engrais, n'est pas absorbé sur les colloïdes du sol ; c'est pourquoi il est susceptible de migrer en profondeur. Pour cette raison, on ne peut se limiter à doser  $\text{NO}_3^-$  dans la couche labourée, il faut au moins s'intéresser à tout le profil susceptible d'être colonisé par les racines. Celui-ci va de 0 à 90 cm pour les plantes à enracinement profond (betterave, céréales, chicorée, ...) et de 0 à 45 ou 60 cm pour des cultures à enracinement superficiel (cultures légumières, pomme de terre). En prairie, la profondeur de prélèvement se limite à 30 cm.



Source : Département Production végétale - CRA-W



Source : Département Production végétale - CRA-W



En région wallonne, la taille moyenne des parcelles se situe souvent entre 3 et 4 ha. Cependant, étant donné l'hétérogénéité des sols agricoles, on recommande un minimum de 10 points de prélèvement, indépendamment de la taille de la parcelle. Ce nombre peut aller parfois jusqu'à 20 points notamment dans des situations où le stock en  $N_{\text{nitrique}}$  est suspecté d'être plus important (GRENERA, 2003). Les sondages, le plus souvent manuels, sont effectués à l'aide de sondes gouges d'un diamètre de 1,5 à 2 cm ; dans une terre cultivée sans cailloux, ces gouges permettent d'atteindre la profondeur de 90 cm en 3 coups de sonde (0-30, 30-60, 60-90).

On peut avoir aussi recours au sondage hydraulique (mini-tracteur, quad), qui utilise également une gouge ou plusieurs sondes de type emporte-pièce de diamètre dégressif avec la profondeur ; ce système évite toute contamination entre les 3 horizons. Pour certaines études particulières, relatives notamment à la migration de l'azote, on peut atteindre, voire dépasser, la profondeur de 1,5 m et détailler le profil de 15 en 15 cm.

## 1.2. Conservation des échantillons et analyse

Les échantillons sont placés dans des sacs plastiques à l'abri du soleil et acheminés dans des frigo-box le jour même au laboratoire, car il faut éviter que l'activité microbienne ne modifie le contenu en nitrate. Un stockage de durée limitée (< 5 jours) peut être envisagé en chambre froide.

Au laboratoire, les carottes de terre sont soigneusement émietées et l'échantillon est homogénéisé par tamisage sur un tamis à maille de 8 mm. Une partie aliquote de minimum 30 g est mélangée à une solution de KCl 0,1N pendant 30 min (rapport poids de terre/ volume d'extractant = 1/5) pour l'extraction du nitrate. Après décantation et filtration, les extraits sont analysés directement ou stockés en chambre froide (48 heures maximum) ou encore congelés.

Le dosage du nitrate peut s'opérer suivant différentes méthodes ; le réseau REQUASUD a adopté la méthode colorimétrique qui consiste en une réduction du

nitrate en nitrite (à l'aide de cadmium, d'hydrazine, etc.) suivie du dosage par la réaction de Griess-Ilosvay modifiée (Bremner, 1965).

Afin de garantir la qualité des résultats, les laboratoires du réseau participent chaque année à 3 essais interlaboratoires (EIL)<sup>1</sup> où 7 échantillons sont analysés en double aveugle. Les critères statistiques de biais, répétabilité, ordonnée à l'origine et pente de la droite de régression des résultats de chaque laboratoire par rapport à la moyenne générale rendent compte de l'exactitude des résultats.

## 1.3. De l'analyse du nitrate au conseil de fumure

Pour passer de l'analyse à la recommandation de fumure, il faut collecter les informations sur la gestion de la parcelle et les intégrer dans un logiciel décisionnel de calcul de la fumure. C'est la méthode du bilan prévisionnel qui a été retenue par les laboratoires du réseau. Le logiciel AZOBIL développé en France par l'INRA de Laon (figure 1) est utilisé dans les cam-

pages "fumure N en betterave", évoquées plus haut.

La balance entre besoins et fournitures doit être équilibrée (figure 1). Le plateau de gauche de cette balance comprend les besoins en azote de la culture estimés sur base forfaitaire ou en fonction d'un objectif de rendement, les pertes et les reliquats inévitables. Celui de droite comprend l'azote minéral déjà présent dans le sol et l'azote produit en cours de saison ; cette prévision de minéralisation est basée sur les renseignements relatifs à la phytotechnie de la parcelle. En complément à cette fourniture d'azote par le sol, la fumure N conseillée permet d'équilibrer la balance.

Le tableau 2 reprend 4 exemples pratiques de calcul de la recommandation de fumure par le logiciel AZOBIL. L'azote

Figure 1

Bases quantitatives du conseil à la parcelle

Méthode du bilan AZOBIL (INRA, Laon, France) (Destain *et al.*, 2005)

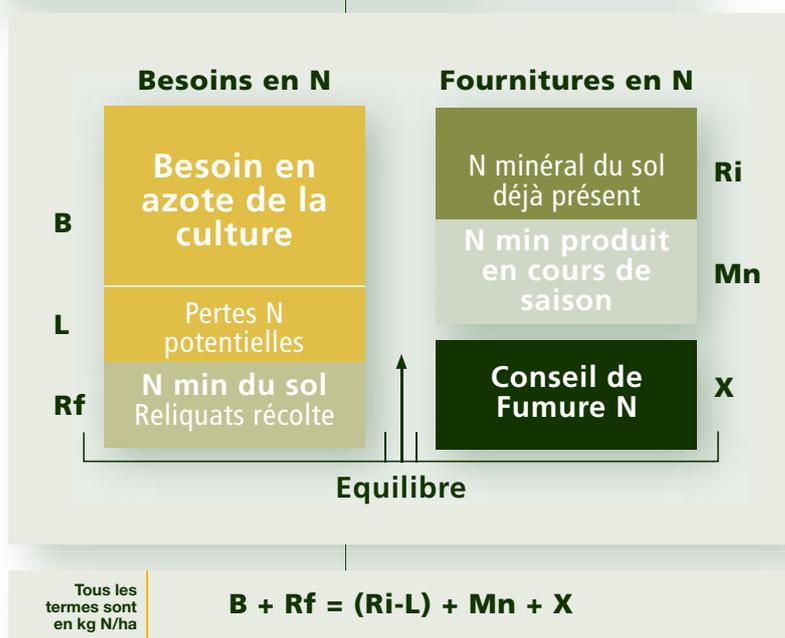


Tableau 2

Exemple de calcul de la fumure N d'une culture de betterave par le logiciel AZOBIL pour un sol limoneux de Hesbaye

	Parcelle 1	Parcelle 2	Parcelle 3	Parcelle 4	
<b>N présent dans le profil</b>	52	95	123	127	
<b>Minéralisation attendue pendant la période culturale</b>	<b>Taux de carbone</b>	C% 0.8	C% 1.0	C% 1.2	C% 1.4
	<b>Minéralisation humus</b>	= 61	= 83	= 100	= 100
	<b>Apport matière organique</b>	-	Automne Fumier bovin (40t/ha) = 14	Automne Lisier (30m³/an) = 12	Automne Fientes (8t/ha) = 50
	<b>Précédent cultural</b>	Céréales = 0	Céréales = 0	Céréales pailles enfouies = -20	Céréales = 0
	<b>Engrais vert CIPAN*</b>	-	Ray-grass = 5	Moutarde = 15	Moutarde = 10
<b>Total fourniture N (kg/ha)</b>	113	197	230	287	
<b>Besoin culture 240 kg N/ha</b>					
<b>Fumure (calcul théorique)</b>	127	43	10	0	
<b>Fumure proposée</b>	140	45	30	0	

Source : Département Production végétale - CRA-W

\* CIPAN : Culture Intercalaire Piège A Nitrate (moutarde, phacélie ou ray-grass).



Source : Département Production végétale - CRA-W

présent dans le profil qui est dosé en fin février, début mars résulte tant de la minéralisation automnale que des apports organiques effectués en fin d'été ou début d'automne.

Le poste minéralisation pendant la période culturale a 3 composantes :

La première composante est la fourniture en N à partir de l'humus du sol, celle-ci dépend de deux facteurs de variation : le climat et le taux de carbone.

- La température moyenne annuelle est de 9°C, et si cette température varie de 1°C, la minéralisation varie de 20 %.
- Le taux de carbone est réparti en 6 classes : 0-0,65 % ; 0,65-0,85 % ; 0,85-1,10 % ; 1,1-1,5 % ; 1,5-2 % ; >2 % et un saut de classe correspond à  $\pm$  20 kg N avec une limite supérieure de minéralisation à 120 kg N.

En réalité, dans la zone d'extension de la culture betteravière, la température moyenne varie peu (-1°C pour le Condroz par rapport à la zone limoneuse) et le taux de carbone se situe dans les 2 classes principales 1,1-1,5 et 1,5-2 %.

La deuxième composante est l'apport de matière organique avant la culture dont l'effet sera très variable selon la période d'apport. Par exemple, 40 T de fumier décomposé appliqué à l'automne fourniront 16 kg N lors de la minéralisation au printemps suivant. Ce même fumier, appliqué au printemps avant culture, devra être considéré comme un apport de 40 kg N. Pour un apport de 40 m<sup>3</sup> de lisier, il faudra compter respectivement 16 et 80 kg N pour la minéralisation printanière. Bien sûr, ces matières organiques apportées à l'automne auront induit des différences dans le contenu en nitrate du profil au printemps suivant (les exemples du tableau 2 vont de 52 à 127 kg N).

La troisième composante est le précédent cultural. Dans les exemples repris ici, il s'agit d'une céréale avec paille enlevée et ce précédent cultural ne joue pas. Dans la pratique, il est négatif pour une paille enfouie (-20 kg N) et peut être positif (jusqu'à 20 ou 30 kg N) si le précédent est une culture de pomme de terre ou de pois. Bien sûr, le précédent joue également sur l'azote analysé dans le profil en sortie d'hiver.

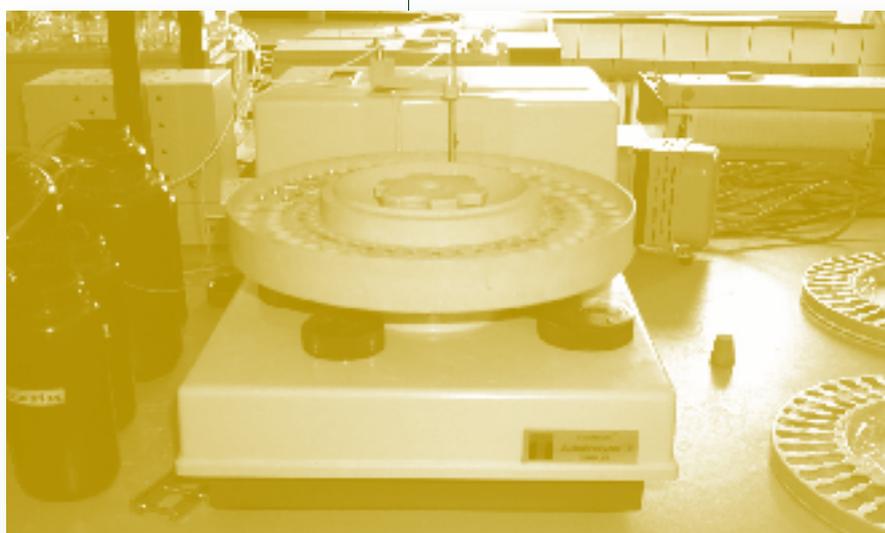
Quant à la Culture Intercalaire non légumineuse (moutarde, phacélie ou ray-grass), elle a en général un effet modérément positif, soit +20 à +40 kg N. Lorsque cette culture n'est pas enfouie, il faut diviser cet apport par 2 et même davantage s'il s'agit d'un ray-grass. Quand il s'agit d'une légumineuse l'effet positif observé est de 30 à 60 kg N.

Dans les exemples présentés dans le tableau 2, la fourniture "naturelle" en N par la minéralisation varie de 113 à 287 kg N, ce qui permet de couvrir de 50 à 100 % des besoins de la betterave. Cette variation est couramment observée dans les champs destinés à cette culture ainsi qu'il sera montré par la suite. Les ajustements de fumure qui en résultent sont donc importants, ceci se traduisant par des économies non négligeables.

<sup>1</sup> **L'essai interlaboratoire (EIL) est un moyen utilisé pour évaluer la performance d'un laboratoire en matière d'analyse grâce à des comparaisons interlaboratoires. Lors de ces essais interlaboratoires, des sous-échantillons sont sélectionnés dans une source de matériaux. Dans le cas qui nous occupe, il s'agit d'un échantillon de sol. Ces sous-échantillons sont distribués simultanément aux laboratoires d'essais participants pour la réalisation d'analyses en parallèle. Une fois l'essai exécuté, les résultats sont envoyés à l'organisme de coordination et comparés avec la (les) valeur(s) de référence acceptée(s) afin de donner une indication de la performance de chaque laboratoire et du groupe pris dans son ensemble (Guide ISO/CEI 43-1:1997: Essais d'aptitude des laboratoires par intercomparaison - Partie 1: Développement et mise en œuvre de systèmes d'essais d'aptitude).**

## 2. La base de données

Constituée dès 1994 et alimentée par les laboratoires du réseau, la base de données **REQUASUD** comporte plus de 37.000 résultats validés (tableau 3). Chaque résultat correspond à un horizon de 30 cm et provient d'un profil réalisé sur 60 cm ou le plus souvent sur 90 cm. Cela représente donc plus de 10.000 profils complets. Ces profils sont réalisés majoritairement en hiver et au printemps. On peut s'attendre, dans le futur, à une augmentation des déterminations réalisées à l'automne, suite à l'application du PGDA (Programme de Gestion Durable de l'Azote).



La base de données peut être stratifiée en fonction de différents critères repris dans le signalétique de chaque analyse. Parmi ces critères, on retrouve la nature de la culture, la région agricole, l'historique cultural (en particulier le précédent) et les apports en matières

organiques avant l'analyse ; dans le cas de la betterave, par exemple, ces apports ont lieu le plus souvent à l'automne précédent.

La répartition des échantillons analysés par culture montre une préon-

Tableau 3

Nombre d'effectifs présents dans la base de données nitrates - **REQUASUD** (situation décembre 2005)

Période de prélèvement des échantillons	Horizon 1 0 – 30 cm	Horizon 2 30 – 60 cm	Horizon 3 60 – 90 cm
Hiver 1 <sup>er</sup> déc – 28 fév	4810	4496	4065
Printemps 1 <sup>er</sup> mars – 31 mai	7043	6605	4624
Été 1 <sup>er</sup> juin – 31 août	407	361	281
Automne 1 <sup>er</sup> sept. – 30 nov.	2012	1203	1137
Total	14272	12665	10107
<b>Total analyses 3 horizons</b>	<b>37044</b>		



Source : Département Production végétale - CRA-W

dérance de 2 cultures tête de rotation : la betterave sucrière et la pomme de terre (tableau 4) pour les prélèvements de printemps.

Pour la betterave sucrière, le tableau 5 reprend la répartition des profils réalisés par région agricole.

La base de données est alimentée essentiellement par des analyses réalisées entre le 15 février et le 15 mars. Parmi ces situations, plus de la moitié des résultats proviennent des campagnes d'analyse demandées par la Raffinerie Tirlémon-

toise et ISCAL Sugar : les prélèvements y sont réalisés dans des champs répartis sur l'ensemble de la zone betteravière et représentatifs des conditions phytotechniques les plus courantes. L'objectif de ces campagnes d'analyse est de donner un conseil moyen pour ces situations représentatives, conseil qui est à considérer comme un «repère» pour l'agriculteur afin d'orienter son niveau de fumure.

Tableau 4

Répartition des échantillons prélevés au printemps par culture (situation décembre 2004)

Nature de la culture	Nombre d'échantillons prélevés
<b>Betterave sucrière</b>	2374
<b>Pomme de terre</b>	1630
<b>Froment d'hiver</b>	968
<b>Maïs fourrage</b>	493
<b>Légumes</b>	312
<b>Orge d'hiver</b>	146
<b>Chicorée</b>	113
<b>Orge de brasserie</b>	109
<b>Autres</b>	885

Source : Base de données nitrates - ASBL REQUASUD

Tableau 5

Répartition des profils en N<sub>nitrique</sub> réalisés par région agricole

Région agricole	Région sablo-limoneuse	Région limoneuse	Condroz	Région herbagère	Autres
<b>Betteraves</b>	235	1781	704	78	17

Source : Base de données nitrates - ASBL REQUASUD

### 3. Facteurs influençant le contenu en N<sub>nitrique</sub> du sol et sa répartition dans le profil

L'influence des principaux critères de stratification des données sur le contenu en N<sub>nitrique</sub> du sol et sa répartition dans le profil seront analysés dans ce chapitre.



Source : Département Production végétale - CRA-W

#### 3.1. La région agricole

La betterave est une culture exigeante qui extériorise au maximum son potentiel de rendement sur des sols limoneux ou limono-argileux profonds bien drainés (type Aba), présentant très peu ou pas de cailloux.

Il n'est pas étonnant d'observer que plus de 60 % des parcelles analysées sont situées dans la zone limoneuse ; le Condroz (25 %) et la région sablo-limoneuse (8 %) sont aussi des zones d'extension de la culture. Du point de vue climatique, on

Tableau 6

Contenu en N<sub>nitrique</sub> (kg N/ha) du sol entre le 15/2 et le 15/3 avant culture de betterave – Influence de la région agricole

Région	Effectif	Profondeur	Moy	Min	Max	Écart-type
Limoneuse	1781	0-30 cm	20.5	0.2	131.2	13.0
		30-60 cm	26.3	0.2	222.4	24.7
		60-90 cm	26.5	0.2	186.0	22.1
		0-90 cm	73.3			
Condroz	704	0-30 cm	23.6	1.00	205.0	21.2
		30-60 cm	25.8	1.00	145.0	18.0
		60-90 cm	24.4	2.00	142.5	18.9
		0-90 cm	73.8			
Région sablo-limoneuse	235	0-30 cm	17.2	1.0	122.0	14.9
		30-60 cm	18.1	0.7	67.0	11.1
		60-90 cm	17.7	1.0	69.0	12.0
		0-90 cm	53.0			
Toutes régions confondues	2815	0-30 cm	21.4			
		30-60 cm	26.1			
		60-90 cm	25.7			
		0-90 cm	73.2			

Source : Base de données nitrates - ASBL REQUASUD

peut observer en moyenne 1°C en moins dans le Condroz (8°C au lieu de 9°C) ; cette différence peut avoir des conséquences sur le niveau de nitrification et par conséquent sur la recommandation de fumure en découlant.

Les valeurs moyennes de contenu en N<sub>nitrique</sub> observées au printemps et leur variation, par région agricole sont reprises dans le tableau 6.

Sur base du contenu moyen, l'azote minéral est assez équitablement réparti entre les 3 horizons. De plus, la zone

limoneuse et le Condroz présentent des valeurs moyennes très proches (73 kg N par ha sur tout le profil), tandis que la teneur moyenne est plus basse en région sablo-limoneuse (53 kg N par ha) ; cette situation est probablement due à la redistribution des quantités minéralisées en automne suite à la pluviosité hivernale. Ces différences entre les régions naturelles sont vraisemblablement liées d'une part à une moindre capacité de rétention en nitrate des sols à texture plus grossière et d'autre part aux pratiques agricoles, notamment à des restitutions de matières organiques moins fréquentes et moins importantes.

Pour chaque région, les écarts entre valeurs extrêmes sont importants. Il en est de même pour l'écart-type observé qui est parfois du même ordre de grandeur que la moyenne.

### 3.2. Le précédent cultural

Parmi les précédents culturaux de la betterave, la céréale est largement dominante (plus de 78 % des cas), suivent le lin et le maïs (3-4 %) (tableau 7).

Tableau 7

Contenu en N<sub>nitrique</sub> (kg N/ha) du sol entre le 15/2 et le 15/3 avant culture de betterave – Influence du précédent cultural

Précédent	Effectif	Profondeur	Moy	Min	Max	Écart-type
<b>Céréales</b>	2189	0-30 cm	21.6	0.2	192.4	16.6
		30-60 cm	25.4	0.1	222.4	22.2
		60-90 cm	24.2	0.1	186.0	20.2
		0-90 cm	71.2			
<b>Lin</b>	119	0-30 cm	23.2	8.0	99.1	12.2
		30-60 cm	37.9	6.9	149.8	30.1
		60-90 cm	35.6	3.0	115.5	20.0
		0-90 cm	96.7			
<b>Maïs fourrage</b>	86	0-30 cm	17.3	1.0	74.0	11.3
		30-60 cm	24.5	1.0	213.3	27.1
		60-90 cm	28.2	0.1	119.2	19.2
		0-90 cm	70.0			
<b>Pomme de terre</b>	68	0-30 cm	18.8	3.0	102.4	17.1
		30-60 cm	22.2	4.3	93.0	17.4
		60-90 cm	26.4	5.0	90.1	17.7
		0-90 cm	67.4			
<b>Colza</b>	64	0-30 cm	19.5	4.2	63.3	11.2
		30-60 cm	37.1	6.0	145.0	34.2
		60-90 cm	38.2	3.0	142.5	31.4
		0-90 cm	94.8			
<b>Haricot</b>	17	0-30 cm	21.6	10.0	45.0	9.0
		30-60 cm	26.7	8.0	50.8	11.8
		60-90 cm	39.3	13.0	104.4	22.0
		0-90 cm	87.6			
<b>Ray-grass</b>	27	0-30 cm	19.9	9.0	37.0	8.1
		30-60 cm	21.1	4.0	66.0	14.3
		60-90 cm	18.4	0.1	50.0	12.5
		0-90 cm	59.4			

Source : Base de données nitrates - ASBL REQUASUD

Les contenus moyens en N<sub>nitrique</sub> observés entre 0 et 90 cm sont les plus élevés après lin, colza et haricot. Pour les 2 premières cultures, il s'agit de précédents récoltés tôt : la minéralisation automnale a donc pu être très importante. Suite à la pluviosité hivernale, l'azote accumulé s'est réparti sur tout le profil et on observe même les teneurs moyennes les plus élevées entre 60 et 90 cm. Bien qu'il s'agisse d'une légumineuse, la culture de haricot est aussi très consommatrice d'azote. En raison d'un rapport C/N très supérieur à 10, sa biomasse racinaire, qui est importante, résiste à la minéralisation. Lors de l'enfouissement, elle immobilisera l'azote du sol et peut accroître le déficit en azote minéral pour une période plus

ou moins longue (Geypens et Honnay, 1995), ce qui explique aussi un profil plus pauvre que le colza par exemple.

Pour l'ensemble des précédents culturels, la variabilité observée (écart-type) apparaît à nouveau très importante.

### 3.3. Les apports de matières organiques

La betterave sucrière est une tête de rotation particulièrement exigeante en azote et l'agriculteur lui réserve bien souvent les engrais de ferme qui sont épanchés en automne. Il n'est dès lors pas étonnant que la proportion de parcelles qui n'ont pas reçu de matières organiques

représente moins de 20 % (526 sur 2815) de l'ensemble des profils analysés. Dans 32 % des cas (926 sur 2815), ce sont des fumiers bovins qui sont appliqués (tableau 8). Par ailleurs l'écume de sucrerie, amendement calcaire contenant un peu de matière organique aisément minéralisable et du phosphore, est appliquée pour entretenir ou corriger le pH dans 13 % des parcelles échantillonnées.

Enfin, il faut signaler que, si les apports de lisier ne sont pas fréquents (moins de 5 % des parcelles), les agriculteurs sans bétail ou en déficit de matières organiques appliquent assez fréquemment des fientes de volaille (10 % des cas, souvent concentrés en Hesbaye).

Tableau 8

Contenu en N<sub>nitrique</sub> (kg N/ha) du sol entre le 15/2 et le 15/3 avant culture de betterave – Influence des apports de matières organiques

Nature des apports organiques	Effectif	Profondeur	Moy	Min	Max	Écart-type
<b>Pas d'apport</b>	526	0-30 cm	18.3	0.2	205.0	14.5
		30-60 cm	21.6	0.0	145.0	16.7
		60-90 cm	21.0	0.0	97.3	15.8
		0-90 cm	60.9			
<b>Écume de sucrerie</b>	358	0-30 cm	18.1	3.0	45.6	8.2
		30-60 cm	22.0	5.0	134.5	14.4
		60-90 cm	21.3	1.0	116.5	15.3
		0-90 cm	61.4			
<b>Fumier bovin</b>	926	0-30 cm	23.0	3.0	149.0	18.7
		30-60 cm	25.7	1.0	213.3	20.5
		60-90 cm	24.1	0.1	129.0	16.6
		0-90 cm	72.8			
<b>Lisier bovin</b>	42	0-30 cm	23.3	4.4	82.3	17.2
		30-60 cm	21.5	2.6	80.4	18.1
		60-90 cm	20.8	2.0	106.0	20.3
		0-90 cm	65.6			
<b>Lisier porcin</b>	77	0-30 cm	24.6	3.0	99.0	16.2
		30-60 cm	28.2	4.5	74.8	15.7
		60-90 cm	26.9	3.0	69.0	15.8
		0-90 cm	79.7			
<b>Fientes de volaille</b>	276	0-30 cm	30.8	7.0	88.0	17.5
		30-60 cm	47.9	3.0	222.4	43.4
		60-90 cm	45.3	7.0	167.0	33.8
		0-90 cm	124.0			

Source : Base de données nitrates - ASBL REQUASUD

Le contenu moyen en N<sub>nitrique</sub> entre 0 et 90 cm est le plus élevé (124 kg N/ha) après application de fientes de volaille, où la dose d'épandage déclarée varie bien souvent entre 5 et 10 T/ha. Dans ce cas, l'amplitude de variation (valeur Max – valeur Min) est très élevée et supérieure à 400 kg N/ha. Par ailleurs, 25 % des échantillons présentent sur tout le profil un contenu moyen supérieur à 150 kg N/ha (tableau 9) ; compte tenu de la minéralisation, ces sols ne nécessitent évidemment aucun apport d'engrais minéral azoté. Par contre, 10 % des échantillons contiennent déjà trop d'azote avant la période de minéralisation. Dans le cas d'application de fientes de volaille, on trouve aussi proportionnellement plus d'azote en profondeur, c'est-à-dire à 30-60 cm et surtout à 60-90 cm ; ce qui constitue en quelque sorte une réserve que la plante exploitera ultérieurement. Cette absorption tardive peut limiter le taux de sucre de la betterave.

Par ailleurs, il faut souligner qu'il est



Source : Département Production végétale - CRA-W

difficile de prévoir l'effet des applications des effluents d'élevage sur le contenu en azote du profil, celui-ci étant en effet très dépendant de l'époque d'application et de la composition très variable des effluents (une analyse de ceux-ci est recommandée), ainsi que de la maîtrise des

quantités épandues. Cela justifie d'autant plus la pertinence de la démarche d'analyse du profil.

Tableau 9

Contenu en N<sub>nitrique</sub> (kg N/ha) du sol entre le 15/2 et le 15/3 avant culture de betterave – valeur moyenne et pourcentiles - Influence des apports de matières organiques

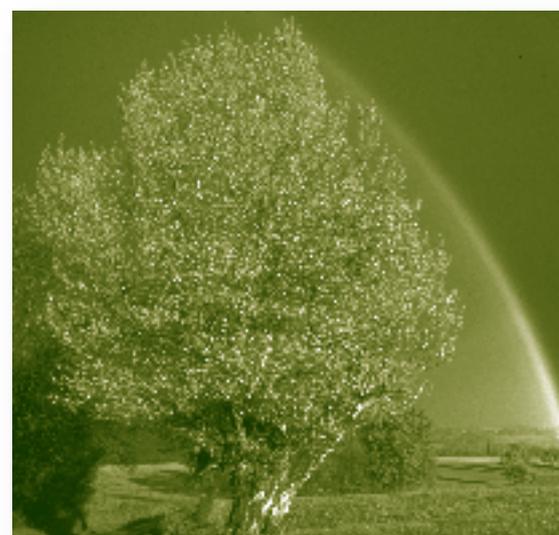
Nature des apports organiques	Moyenne 0-90 cm	Pourcentile* 50	Pourcentile* 75	Pourcentile* 90
Pas d'apport	60.9	48.0	76.8	115
Ecume de sucrerie	61.4	50.8	65.5	105.4
Fumier bovin	72.8	57.0	88.1	136.5
Lisier bovin	65.6	45.4	82.5	129.7
Lisier porcin	79.7	66.4	105.2	137.3
Fientes de volaille	124	90.8	153.2	265.2

Source : Base de données nitrates - ASBL REQUASUD

\*Les pourcentiles sont des valeurs seuil telles que 50%, 75% ou 90% des observations leur sont inférieures

### 3.4. Influence du climat

En ce qui concerne le climat de l'automne et de l'hiver précédant le prélèvement, 2 caractéristiques ont été retenues pour la période 2000-2005 : la température moyenne et les précipitations cumulées de septembre à février. Deux années extrêmes sont relevées, 2002 avec une pluviosité très importante et 2005 avec une sécheresse marquée et une température moyenne plus basse. Sans apport organique, le contenu en N minéral est le plus élevé en 2004 et en 2005 ; avec fumier, le maximum se situe en 2005 et avec lisier, en 2003. La répartition de l'azote avec lisier montre un enrichissement dans les horizons 30-90 en 2003, 2004, et en surface (0-60 cm)



Source : Filigrane

Tableau 10

Contenu moyen en N<sub>nitrique</sub> (kg N/ha) du sol entre le 15/2 et le 15/3 avant culture de betterave – Influence de la température moyenne et des précipitations de l'automne – hiver précédent

Années	Temp. moy Sept-fév °C	Précipitations Sept-fév mm	Profil en N minéral				
			Profondeur	Sans apport	Avec Fumier	Avec lisier	Moyenne 0-90
<b>Automne – Hiver 2000-2001</b>	7.8	442	0-30 cm	16	15	18	48
			30-60 cm	14	19	18	
			60-90 cm	10	19	14	
			0-90 cm	40	53	50	
<b>2001-2002</b>	7.3	610	0-30 cm	12	16	17	51
			30-60 cm	13	19	25	
			60-90 cm	12	16	24	
			0-90 cm	37	51	66	
<b>2002-2003</b>	6.6	418	0-30 cm	13	20	23	56
			30-60 cm	13	19	24	
			60-90 cm	13	17	26	
			0-90 cm	39	56	73	
<b>2003- 2004</b>	6.6	279	0-30 cm	16	15	17	59
			30-60 cm	18	21	24	
			60-90 cm	16	23	28	
			0-90 cm	50	59	69	
<b>2004-2005</b>	6.8	189	0-30 cm	21	21	22	56
			30-60 cm	16	22	20	
			60-90 cm	12	18	17	
			0-90 cm	49	61	59	

Source : Base de données nitrates - ASBL REQUASUD

### 3.5. Influence du taux d'humus du sol

Si la matière organique du sol joue un rôle majeur sur l'intensité de la minéralisation et donc sur la fourniture en azote minéral, on n'observe cependant pas de corrélation entre taux de carbone et contenu du profil en azote minéral (tableau 11). Cela n'a rien d'étonnant car, à travers l'ensemble des situations analysées, la variation du taux de carbone du sol est très faible : en effet si on considère les classes précédemment définies par le logiciel AZOBIL, toutes les valeurs moyennes données ici se trouvent pratiquement dans la même classe. Chenu (2003) a récemment mis en évidence que la qualité des matières organiques, plus que leur quantité, influence la production d'azote minéral, en induisant une répartition dans le sol entre fractions minéralisables à court-terme (biomasse microbienne, matière particulière à granulométrie fine) et fractions plus réticentes à la minéralisation (matières colloïdales).

Les pratiques de restitution récentes de matières organiques, leur rythme d'apport ainsi que la nature de celles-ci apparaissent plus déterminantes que le stockage de l'humus à long terme dans le sol.

en 2005. L'effet de la pluviosité abondante observée en 2002 se traduit donc par une migration d'azote en profondeur dans le cas d'une matière organique à action rapide (lisier contenant plus de 50 % d'azote ammoniacal).

De manière globale, c'est en 2004 (année sèche, température supérieure à la moyenne de novembre à février) que le contenu en azote est le plus élevé. Il est le plus bas en 2001, année caractérisée par une pluviosité très régulière sur toute la période sans être excessive, ce qui a réparti l'azote sur tout le profil et dans toutes les situations (tableau 10).



Source : Département Production végétale - CRA-W

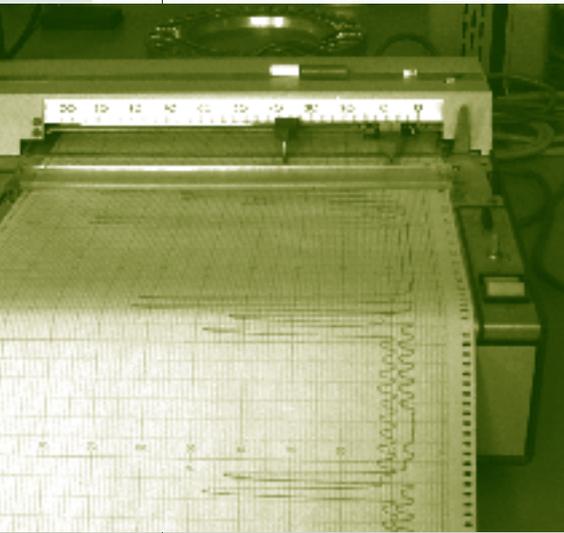
Tableau 11

Relation entre le taux de carbone dans la couche arable et le contenu du profil en N minéral – Campagne betterave 2003

	Carbone (%C)	Contenu du profil en N-NO <sub>3</sub> (kg N/ha sur 0-90 cm)
<b>Hainaut (RT)</b>	1.23	40 ± 19
<b>Namur</b>	1.38	42 ± 18
<b>Brabant</b>	1.14	32 ± 11
<b>Liège</b>	1.07	93 ± 45
<b>Hainaut (Fontenoy)</b>	1.05	62 ± 34

Source : Base de données nitrates - ASBL REQUASUD

## 4. Perspectives d'utilisation agro-environnementale de la base de données



Source : Département Production végétale - CRA-W

Pour l'instant, la grande majorité des situations analysées sont considérées dans une optique de recommandation de fumure et l'exemple de la culture de betterave a largement démontré l'utilité de l'analyse du profil en azote minéral au niveau de la parcelle. Dans la perspective d'une agriculture de précision, une analyse ciblée de chaque situation s'impose afin que l'agriculteur puisse la gérer distinctement. La variabilité observée est en effet énorme, même si les principaux facteurs qui en sont la cause ont pu être identifiés (précédent cultural, apport de matières organiques, climat).

La production d'azote minéral par le sol, résultat d'un processus microbien et d'une interaction de facteurs climatiques, pédologiques et de gestion phytotechnique, sera toujours difficile à prévoir. Or, il est important de gérer l'azote au plus juste, ainsi qu'il a été rappelé dans l'introduction, puisqu'à l'heure actuelle l'exploitation agricole est de plus en plus souvent suivie pour sa performance environnementale. L'analyse régulière des parcelles est un outil à la disposition de l'agriculteur, qui lui assure une bonne maîtrise de sa gestion de l'azote.

Quant à la base de données du réseau **REQUASUD**, elle peut également constituer une référence en termes de comparaison de pratiques agronomiques. Elle pourra ainsi fournir des informations sur l'évolution des pratiques de gestion de l'azote qui découlent de l'application du PGDA (Programme de Gestion Durable de l'Azote). On peut penser que très rapidement les données rassemblées permettront de valider la performance du PGDA, ce qui est explicitement demandé par l'Union Européenne. Le risque de migration de l'azote vers les nappes phréatiques, apprécié par la norme APL (Azote Potentiellement Lessivable, résultant d'une analyse de profil en fin d'automne) pourra être mis en parallèle avec l'évolution à moyen et long terme du contenu en nitrate des eaux des différents captages.

Enfin, dans la perspective d'une évolution de la législation dans le domaine de l'émission des gaz à effet de serre et en particulier du protoxyde d'azote ( $N_2O$ ), il deviendra crucial de mettre en évidence les périodes à risques et les pratiques agricoles entraînant une concentration très importante en nitrate. Ici aussi, la base de données pourra être exploitée.

## Conclusion

Dans cette brochure, l'exploitation de la base de données nitrate du Réseau **REQUASUD** a été réalisée pour une culture tête de rotation, la betterave sucrière, culture pour laquelle le problème de l'azote reste une préoccupation majeure tant de l'agriculteur que de l'industriel. Il conviendra dans un avenir proche de continuer l'exploitation de la base de données, notamment pour les situations où la gestion de l'azote s'avère également très délicate (cultures légumières, pomme de terre).

Plus que tout autre paramètre, le nitrate rend compte des pratiques phytotechniques (rotation, précédent, apport organique), mais il est également un paramètre de gestion et de mesure de performance environnementale suivant la période à laquelle il est estimé.

Beaucoup plus fluctuant que les autres paramètres analytiques du sol, il doit être analysé idéalement avant chaque saison culturale et on ne peut généralement pas, à des fins de recommandation de fumure, se baser sur des valeurs moyennes de situations similaires car elles sont trop variables dans l'espace et le temps.

Cependant, si le nitrate apparaît comme un paramètre très pertinent en vue de la gestion des apports d'azote en terre cultivée, ce paramètre pris seul ne donne pas des résultats satisfaisants en prairie pâturée. La variabilité spatiale y apparaît trop importante (en fonction des restitutions d'azote par les urines) ; idéalement une autre forme d'azote, l'ammonium, dont la concentration est très supérieure en sol de prairie par rapport aux sols de culture, pourrait constituer un meilleur critère de saturation en azote.

A terme et compte tenu de son analyse déjà pratiquée dans certains laboratoires du réseau, les données relatives à la teneur en azote sous forme d'ammonium pourraient contribuer à enrichir la base de données.

## Références bibliographiques

**Boon, R. (1979).** Résultats des recherches concernant l'azote. *Agriculture* 27 (3), 331-382.

**Bremner, J.M. (1965).** Inorganics forms of nitrogen. In: *Methods of soil analysis. Part 2.*, al. C.A. Black et. Madison, ASA, 9, 1179-1237.

**Chenu, C. (2003).** Comment caractériser les matières organiques du sol. In: *Les fertilités du sol et les systèmes de culture*, Thevenet et Faedy-Blas Ed. GEMAS-COMIFER, 107-126.

**Destain, J.-P., François, E., Goffart, J.-P., Herman, J.-L., Meeus-Verdinne, K. and Bodson, B. (1997).** Améliorer l'efficacité de l'azote, priorité économique, nécessité environnementale. *Efficacité de l'azote en production végétale et animale*, CRA-Gembloux, 4-9.

**Destain, J.-P., Godden, B., Luxen, P., Reuter, V., Goffart, J.-P., Frankinet, M. and Bodson, B. (2005).** De la connaissance approfondie du cycle de l'azote à sa maîtrise par l'emploi d'outils décisionnels et de pilotage de la fumure en Région Wallonne. *Gestion environnementale de l'agriculture. B. Soudi et al. Ed.*, Rabat (Maroc), 9 et 10 juin, 55-66.

**Fromont, D. (1992).** Bilan de la fumure azotée minérale de la betterave sucrière réalisé à l'aide de l'isotope <sup>15</sup>N. FUSAGx, These, 104p.

**Geypens, M. and Honnay, J.-P. (1995).** Matières organiques dans le sol : Conséquences agronomiques et environnementales. IRSIA. 167p.

**GRENERA (2003).** Cahier des charges pour la mesure de l'azote nitrique dans les sols agricoles dans le cadre du PGDA.

**Legrand, G., Vanstallen, M., Destain, J.-P., Toussaint, B. et Ver Elst, P. (2004).** Fumure azotée en betterave sucrière en 2005 et matières organiques. *Le Betteravier* 406, 7-11.

**Machet, J.-M. and Dubrulle, P. (1990).** AZOBIL : a computer program for fertilizer N recommendations based on a predictive balance sheet method. *Scale Ed. Proc. of 1st Congress of ESA, Paris, 2-2.*

**Nitrawal (2004).** Eau - Nitrate - Informations et conseils techniques pour la gestion durable de l'azote. 124p.

édité et distribué par :  
ASBL **REQUASUD**  
chaussée de Namur, 24  
B - 5030 Gembloux  
Belgique

Dépôt légal : D/2006/8689/1