

# *Fumure azotée en betterave sucrière*

*G. LEGRAND, M. VANSTALLEN*

*Institut Royal Belge pour l'Amélioration de la Betterave  
(IRBAB/KBIVB)  
Tienen (Tirlemont), Belgique*

Cette brochure présente, en partie, l'essentiel des travaux menés par l'IRBAB sur la fumure azotée de la betterave. Sa publication a été financée par le Centre Agricole Betterave - Chicorée (CABC - LCBC)

**Dépôt légal:** D/2000/6430/1

Sauf mention, les illustrations et figures présentées dans cette publication proviennent des collections de l'IRBAB. Elles peuvent être utilisées à des fins de publications pour autant que l'origine soit mentionnée.

# Table des matières

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>2. PHYSIOLOGIE DE LA NUTRITION AZOTÉE DE LA BETTERAVE</b> .....	<b>3</b>
2.1. SYSTÈME RACINAIRE DE LA BETTERAVE SUCRIÈRE .....	3
2.2. ABSORPTION DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS PAR LA BETTERAVE.....	7
2.3. BESOINS EN AZOTE DE LA CULTURE DE LA BETTERAVE .....	8
2.3.1 <i>Effet de la fumure azotée sur le rendement final</i> .....	9
2.3.2 <i>Prélèvement de l'azote par la betterave</i> .....	10
2.3.3 <i>Translocation de l'azote dans la betterave</i> .....	12
2.3.4 <i>Blocage de l'assimilation de l'azote</i> .....	12
<b>3. FUMURE AZOTÉE DE LA BETTERAVE</b> .....	<b>14</b>
3.1. APPORTS D'ÉLÉMENTS AZOTÉS À LA CULTURE .....	14
3.1.1 <i>Azote issu de la réserve de matière organique du sol</i> .....	14
3.1.2 <i>Azote issu du précédent cultural ou de l'interculture</i> .....	16
3.1.3 <i>Azote issu des matières organiques</i> .....	19
3.1.4 <i>Azote issu de l'apport d'un engrais azoté minéral</i> .....	23
3.1.5 <i>Application localisée de la fumure minérale azotée</i> .....	24
3.1.6 <i>Utilisation de l'application localisée en terre nématodée</i> .....	27
3.1.7 <i>Apports fractionnés de fumure minérale azotée</i> .....	27
3.1.8 <i>Législations régionales relatives aux apports d'éléments fertilisants</i> .....	28
3.2. RELIQUAT AZOTÉ APRÈS LA CULTURE .....	31
3.2.1 <i>Considérations sur le reliquat azoté après une culture</i> .....	31
3.2.2 <i>Législations régionales</i> .....	31
3.2.3 <i>Reliquat azoté après betterave</i> .....	32
3.3. AVIS DE FUMURE MINÉRALE AZOTÉE.....	34
3.3.1 <i>Bilan théorique de l'IRBAB</i> .....	35
3.3.2 <i>Avis généralisés</i> .....	41
3.3.3 <i>Avis individualisés, spécifiques à la parcelle</i> .....	45
<b>4. CONCLUSIONS</b> .....	<b>49</b>

## **1. Introduction**

Depuis son instauration en 1932, l'IRBAB a toujours incité les betteraviers à réaliser une fumure azotée de la betterave, basée sur des recommandations issues d'essais scientifiquement établis. Il a ainsi toujours dénoncé l'emploi excessif de certaines fumures azotées dans la culture de la betterave (Legrand et al., 1992).

Le contexte des époques précédentes était essentiellement économique. Le contexte actuel est tout autant économique, mais il implique aujourd'hui des considérations environnementales nouvelles.

Le but premier de ces recommandations est de veiller à maintenir la rentabilité de la culture de la betterave par, entre autres, une utilisation judicieuse de la fumure azotée.

En effet, en plus du montant consacré à la fumure minérale azotée, le paiement de la betterave est proportionnel au rendement sucre/hectare. Il est donc opportun de rappeler régulièrement au betteravier l'incidence souvent néfaste de doses trop importantes d'azote sur la teneur en sucre de la plante et donc sur le rendement financier de la culture, mais aussi sur l'extractibilité du sucre en sucrerie, pour produire du sucre blanc.

En outre aujourd'hui, les doses d'azote trop élevées vont également à l'encontre des législations environnementales nouvelles (teneur en nitrates dans les eaux et le profil du sol).

L'agriculteur d'aujourd'hui doit s'assurer, non seulement d'appliquer une juste fumure azotée pour obtenir le rendement optimal de sa culture, mais également de maîtriser et gérer chaque année le stock d'azote produit par ses terres et dans sa ferme ou importé pour réaliser ses cultures.

Demain, la fumure azotée de la betterave sera la fumure azotée qui couvrira les besoins réels de la culture, en vue d'obtenir un rendement financier maximal tout en veillant à respecter les législations environnementales en vigueur.

Parler de "fumure azotée de la betterave", demain (et dorénavant dans cette brochure), sous-entend qu'elle sera raisonnée et établie selon les conditions précitées et les conseils rappelés ci-après.

La fumure azotée de la betterave sera donc réalisée en sachant combiner de façon optimale :

1. la quantité d'azote minéral présente dans le sol,
2. la quantité d'azote minéral libérée par un apport de matière organique éventuel (fonction de ses caractéristiques et du moment de son application),
3. la quantité complémentaire de fumure minérale azotée, établie sur base d'un avis de fumure, calculé ou analysé.

La fumure azotée ne pourra se réaliser que par la maîtrise de ces trois apports différents de sources d'azote.

De plus, comme l'IRBAB l'a toujours préconisé, elle recourra à l'implantation d'un engrais vert en interculture destinée à limiter l'effet du lessivage hivernal, surtout lorsque des matières organiques auront été appliquées avant l'hiver.

Idéalement, la fumure azotée se fera sur base d'un avis de fumure.

Le bilan théorique, développé par l'IRBAB depuis plus de vingt ans, permet d'approcher la valeur de cet avis, sur base de données connues de l'agriculteur.

L'avis individualisé, basé sur la détermination de la teneur en azote dans le profil de la parcelle (avant l'hiver ou à la sortie de l'hiver, selon les méthodes d'analyse), reste le plus fiable et devrait être privilégié. Cet avis prend en compte les teneurs en azote minéral présent dans les couches du profil du sol.

La réussite de la fumure azotée de la betterave ne peut en aucun cas être jugée en fonction de la couleur du feuillage des plantes en été.

Elle sera appréciée à la récolte, selon le rendement financier obtenu, tenant compte des normes environnementales.

## 2. Physiologie de la nutrition azotée de la betterave

### 2.1. Système racinaire de la betterave sucrière

A la récolte, le pivot de la racine de la betterave sucrière (partie récoltée de la plante, appelée « betterave » elle aussi) est la partie la plus tangible de tout le système racinaire de la plante. Il mesure 25 à 30 cm et pourrait laisser croire que la part la plus importante de ce système racinaire se limite à cette seule partie et est donc peu profond.



Le chevelu de fines racinelles qui compose le restant du système racinaire de la betterave est tout aussi impressionnant (Figure 1).

C'est lui qui apporte à la plante, via sa racine-pivot, l'eau et les éléments nutritifs nécessaires à sa croissance. Ces racinelles peuvent, dès le mois de juillet et si les caractéristiques du sol le permettent, descendre jusque 2,00 - 2,50 m de profondeur, voire au-delà !

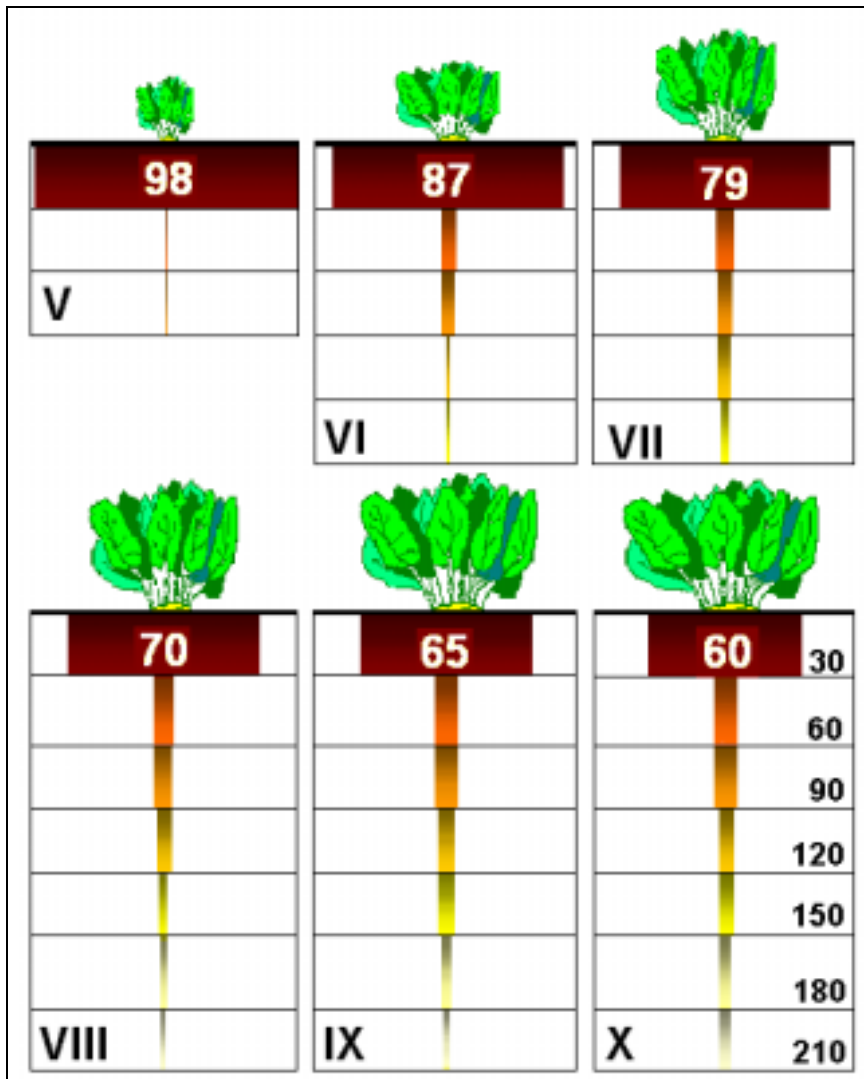


Figure 2.  
Longueur des racines du système racinaire de la betterave, illustrées en % du total, par couches de 30 cm, de mai à octobre (chiffres romains). Les chiffres notés en blanc correspondent au pourcentage relatif de la longueur des racines dans la couche 0 – 30 cm, par rapport au total de toutes les couches. (adapté d'après Märlander & Windt, 1996).

Le volume de terre prospecté par ces racinelles peut être estimé par la longueur totale de toutes les racinelles. Mis à plat, la longueur totale du système racinaire d'une betterave peut atteindre 100 à 200 m/m<sup>2</sup> en mai, 2 à 5 km/m<sup>2</sup> en juin et 6 à 14 km/m<sup>2</sup> en été et en automne (Märländer & Windt, 1996).

Observées sur base du total de leur longueur, la plus grande partie des racinelles se situe cependant dans la couche 0 – 30 cm du sol.

La figure 2 illustre, en pour-cent, les différentes proportions de la longueur du système racinaire de la betterave selon des profondeurs successives de 30 cm, jusqu'à 210 cm, et selon les principales périodes de son développement (de mai à octobre) (Märländer & Windt, 1996). Ainsi, au mois de mai, 98 % de la longueur de toutes les racinelles confondues se situent dans la couche 0 - 30 cm. Au mois de septembre, 35 % de la longueur de toutes les racinelles se situent dans la couche 30 - 210 cm.

Le développement en profondeur (couche 30 – 210 cm) du système racinaire de la betterave se réalise toutefois de juillet à octobre.

A partir de juillet, les racinelles de la betterave descendent profondément pour prospecter le sol et absorber l'eau et les éléments nutritifs.

Alors que seulement 13 % de la longueur des racinelles sont observés dans cette zone en juin, 20 à 40 % se retrouvent dans cette couche, en été et en automne.

A ces profondeurs et à ces périodes, la betterave trouvera de l'eau en suffisance (sauf si son système racinaire a été atrophié par une mauvaise structure du lit de germination, des nématodes, des insectes, des maladies ou des viroses telle la rhizomanie).

S'il s'y trouve également des éléments nutritifs en suffisance, elle continuera à les absorber pour poursuivre son développement.

Selon la profondeur du sol et celle de la nappe phréatique, on considère que la profondeur moyenne d'investigation des racinelles de la betterave est d'au moins 1,50 m.



C'est la raison pour laquelle l'IRBAB s'est équipé, en 1992, d'une sonde hydraulique pouvant aller jusqu'à 1,50 m de profondeur (Figure 3) pour mieux pouvoir étudier la fumure azotée de la betterave dans ses essais de fertilisation et suivre par après la situation du profil azoté de ses plates-formes d'essais.



Figure 3.  
L'IRBAB s'est équipé d'une sonde hydraulique pouvant aller jusqu'à 1,50 m de profondeur pour mieux pouvoir étudier la fumure azotée de la betterave dans ses essais.

## **2.2. Absorption des éléments nutritifs par la betterave**

Les éléments essentiels au métabolisme d'une plante sont le carbone (C) (prélevé sous la forme de CO<sub>2</sub> dans l'air), l'oxygène (O) (prélevé dans l'air par les feuilles et aussi par les racines, dans le sol), l'hydrogène (prélevé surtout par les racines via l'eau (H<sub>2</sub>O) dans le sol) et l'azote (N) (seules les légumineuses fixent l'azote de l'air au niveau des racines).

D'autres éléments majeurs lui sont nécessaires. Ce sont le phosphore (P), le potassium (K), le sodium (Na) et le calcium (Ca).

Quelques autres éléments sont indispensables à la betterave, mais en petites quantités (micro-éléments). Ce sont : le magnésium (Mg) et le bore (B).

Ces deux éléments peuvent être quelque peu absorbés par les feuilles. C'est la raison pour laquelle on les applique en traitements foliaires, lorsqu'ils sont déficients ou bloqués dans le sol (carence, pourriture du cœur). Signalons ici qu'une application foliaire d'un engrais minéral azoté n'est pas directement absorbée par les feuilles, mais bien principalement par les racines de la plante, via le ruissellement de l'eau de pluie sur les feuilles. Dans le cas de la betterave, ces applications azotées sont rarement justifiées.

Quoique l'azote constitue presque 80 % de l'air que nous respirons, les plantes le prélèvent dans le sol, par leurs racines, principalement sous la forme d'un ion minéral (lessivable) appelé « nitrate » (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ou sous la forme d'un autre ion (plus volatil) appelé « ammonium » (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>).

Les autres éléments sont également prélevés par les racines sous la forme d'ions minéraux, qui sont des molécules simples (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O,...).

Les formes dites « organiques » de tous ces éléments (molécules complexes principalement formées des quatre premiers éléments cités: "C", "O", "H", "N") composent la matière organique. Ces molécules complexes ne sont pas assimilables par les plantes. Elles doivent pour cela d'abord avoir été décomposées et minéralisées par des bactéries spécialisées du sol (bactéries ammonifiantes du type Nitrosomonas et Nitrobacter).

Les matières organiques qui composent l'humus du sol doivent être digérées ou « minéralisées » par des bactéries spécifiques du sol pour devenir disponibles, dans la phase liquide du sol, pour les racines des plantes.

La vitesse de minéralisation de la matière organique présente dans le sol (humus) sera donc fonction de la température, de l'humidité, du pH et de la porosité du sol qui (dé)favoriseront l'activité des bactéries dites « nitrificatrices ». Elle sera également fonction des caractéristiques et de sa composition (humus jeune, humus ancien,..).

### **2.3. Besoins en azote de la culture de la betterave**

L'azote est un facteur important dans l'élaboration du rendement final de la culture de la betterave. Utilisé de façon non raisonnée, il peut avoir une influence néfaste sur la rentabilité financière et la qualité industrielle de la récolte.

Il faut en moyenne 250 kg N/ha à la betterave sucrière pour obtenir un rendement optimal en sucre par hectare. Une production de 60 t/ha de racines de betteraves correspond à une exportation de 90 à 100 kg N/ha à la récolte. Les feuilles et collets de la betterave contiennent généralement des quantités supérieures d'azote, environ 150 à 160 kg N/ha.

Lorsque l'apport d'éléments fertilisants azotés a été effectué de façon raisonnée, la culture de la betterave laissera, après la récolte, un reliquat azoté de 30 kg N/ha en moyenne dans le sol, mesuré sur une profondeur de 0,90 m.

Les besoins totaux en azote de la culture, procurés au départ de l'azote issu de la minéralisation de l'humus du sol et complétés par un apport azoté (sous forme minérale ou organique) s'établissent donc à 280 kg N/ha.

L'azote intervient dans le métabolisme général de la plante. Il stimule sa croissance et son développement.

Chez la betterave, comme chez les autres végétaux qui produisent des sucres, l'azote n'intervient pas dans la composition des sucres et encore moins dans celle du saccharose<sup>1</sup> (tous les "sucres" sont en effet des "hydrates de carbone", composés uniquement de carbone, d'oxygène et d'hydrogène). Le sucre est métabolisé dans une plante pour en faire une substance énergétique de réserve.

La betterave, plante bisannuelle, élabore du sucre dans ses feuilles pendant l'été et le stocke ensuite dans sa racine en vue d'assurer sa phase reproductive l'année suivante, après l'hiver. En fin de saison, si les racines de la betterave disposent de matières azotées en abondance dans le sol, la betterave aura tendance à poursuivre sa croissance, plutôt que d'emmagasiner dans sa racine le sucre produit dans ses feuilles.

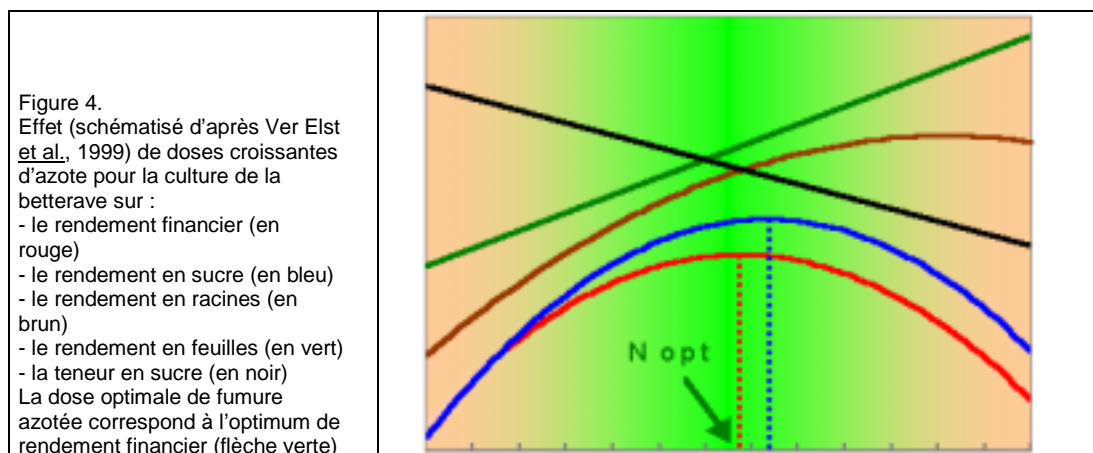
---

<sup>1</sup> Le saccharose est constitué de deux molécules, le glucose et le fructose qui font toutes deux également partie de la famille chimique des "sucres".

### 2.3.1 Effet de la fumure azotée sur le rendement final

La quantité d'azote minéral ou minéralisé disponible est un élément important pour établir le rendement en racines final de la betterave, jusqu'à un certain plateau. Cette quantité d'azote disponible est par contre un élément défavorable à l'augmentation de la teneur en sucre et donc du rendement financier final (Figure 4.)

En outre, la période où la betterave prélèvera cet azote sera également un élément important pour l'élaboration de sa teneur finale en sucre.



Comme le paiement de la betterave est fonction de sa teneur en sucre, il est compréhensible que l'excédent d'azote prélevé par la plante en fin de saison devienne néfaste au rendement financier du planteur puisqu'il interfère négativement sur l'augmentation potentielle de la teneur en sucre.

Pour un même rendement en sucre par hectare, un rendement en racines plus faible et une teneur en sucre plus élevée sont plus avantageux financièrement pour le betteravier que l'inverse.

### 2.3.2 Prélèvement de l'azote par la betterave

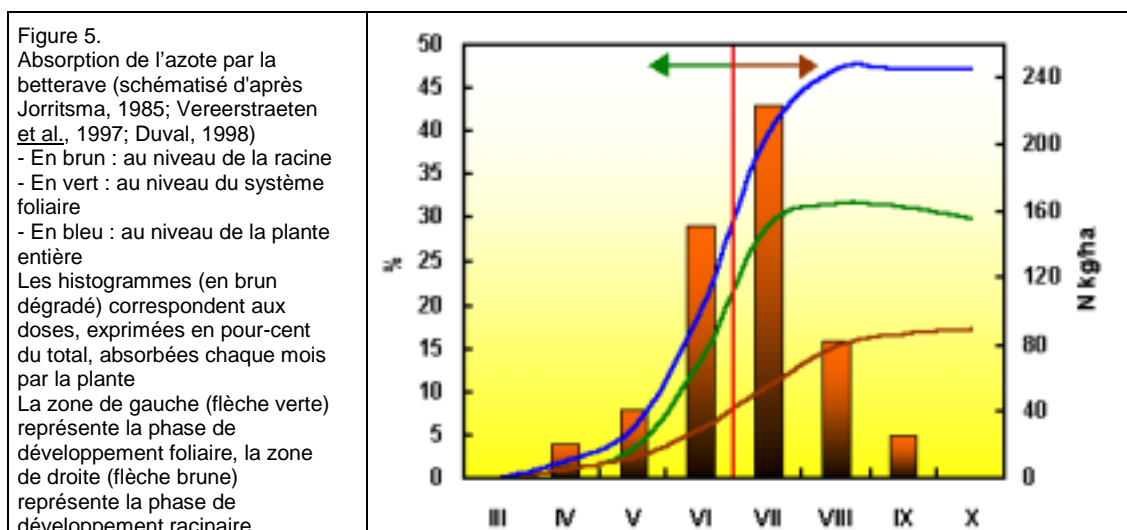
La betterave sucrière commence à prélever l'azote de façon mesurable à un stade précoce (stade 4 feuilles).

La part la plus importante du prélèvement de l'azote se situe avant l'été, lorsque la plante est dans sa phase de croissance foliaire (Figure 5). A ce moment, l'absorption de l'azote se fait principalement à destination du feuillage, afin d'assurer son développement maximal. En conditions normales, le potentiel de photosynthèse est acquis avant les mois les plus ensoleillés (juillet et août).

Durant certaines périodes de la croissance, plus de 300 kg de matière sèche sont produits par jour et par hectare par la betterave, ce qui correspond à des prélèvements d'azote de 3 à 6 kg N/ha/jour (Vlassak, *et al.*, 1983).

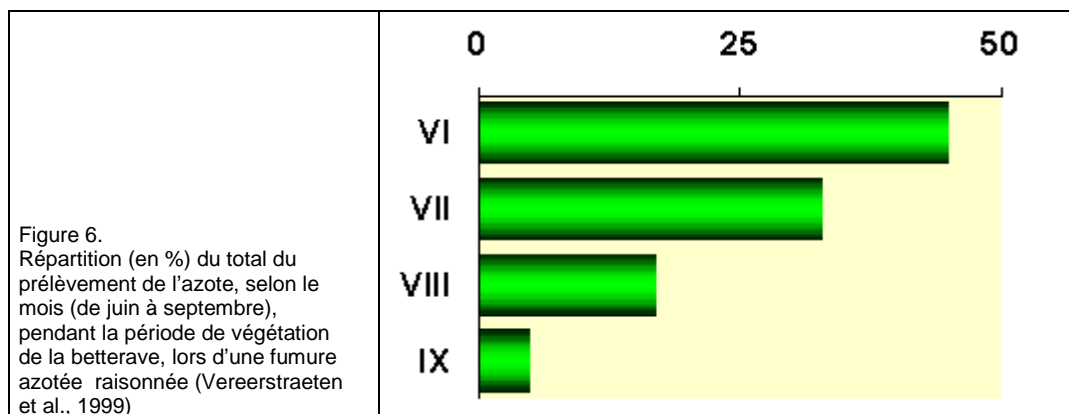
A partir de l'été, l'absorption de l'azote est plutôt destinée au développement du système racinaire. La plante utilise alors l'azote présent dans les feuilles. Les quantités d'azote absorbées par la plante se réduisent, surtout en fin de saison (Vereeerstraeten *et al.*, 1997).

Les courbes de la figure 5 sont établies d'après les résultats obtenus par différents auteurs (Jorritsma, 1985; Vereeerstraeten *et al.*, 1997; Duval, 1998). Ces courbes varient surtout au niveau de l'absorption dans les feuilles et aussi selon les conditions climatiques de l'année et les doses de fumure utilisées.



En juillet, lorsqu'une dose de fumure azotée raisonnée a été appliquée, les essais de l'IRBAB ont démontré que la culture de la betterave a déjà utilisé plus de la moitié de ses besoins en azote minéral (40 % du total en juin) (Vereerstraeten *et al.*, 1999).

Cette assimilation diminue à partir de juillet. L'azote n'est quasi plus assimilé en août. Les quantités prélevées sont faibles et quasi nulles en septembre (5 % du total) (Figure 6).



La betterave a une capacité importante d'absorption de l'azote. Si les quantités totales disponibles pour la plante sont supérieures aux besoins de la culture, l'absorption de l'azote excédentaire peut bouleverser la physiologie de la plante, altérer la synthèse optimale du sucre et s'avérer néfaste à l'extractibilité de ce dernier en usine (on parle dans ce cas d'azote "nuisible", déterminé par la teneur en "azote  $\alpha$ -aminé" dans la râpure de la racine).

Outre l'importance des quantités d'azote disponibles pour la plante, leur localisation dans le sol est primordiale. Leur présence dans les horizons supérieurs (0 - 60 cm) est importante pour assurer un bon développement de la plante en début de croissance.

Par contre, l'azote présent dans les couches plus profondes sera assimilé plus tardivement, à un moment où les phénomènes de translocation de l'azote depuis les feuilles vers la racine suffisent normalement pour assurer la croissance de la plante et la synthèse du sucre.

Le cas échéant, une repousse excessive du feuillage serait favorisée en fin de saison, avec pour conséquences une baisse de la teneur en sucre et du rendement financier escompté.

### **2.3.3 Translocation de l'azote dans la betterave**

Au début de la croissance de la betterave, l'azote prélevé par les racines de la plante se localise principalement dans les feuilles (Figure 5). Il participe au métabolisme général de la plante, qui est le plus important en été avec la photosynthèse. La photosynthèse est particulièrement active chez la betterave car elle assimile plus de 80 % de l'énergie solaire reçue durant les mois de l'été.

En fin de végétation, sauf s'il est stimulé par une source importante d'éléments nutritifs (azote minéral dans les couches plus profondes du profil), le métabolisme de la plante se ralentit.

On observe alors des phénomènes de translocation de l'azote depuis les feuilles vers la racine. Ce flux d'azote est souvent plus important que le prélèvement d'azote par les racines. Ceci correspond avec la phase de maturation de la betterave.

### **2.3.4 Blocage de l'assimilation de l'azote**

Certaines années, un symptôme foliaire de blocage de l'assimilation de l'azote peut être observé dans certains champs de betterave (Figure 7). Ce blocage est généralement causé par des défauts de structure du sol au niveau du lit de germination, au moment du semis.



Figure 7.  
Blocage de l'assimilation de l'azote en été causé par des défauts de structure du sol au moment du semis

On peut citer comme cause des ces défauts de structure :

- un sol trop compacté par les pluies de l'hiver ou pas assez suffisamment ressuyé au moment du semis,
- des zones compactes de restes de la culture précédente et insuffisamment décomposés. Ces restes (p.ex. pailles enfouies) créent une zone néfaste au développement des radicelles et utilisent l'azote minéral du sol pour leur décomposition,
- des zones compactées du sol au niveau du passage de roues ou dans les forrières,
- un épandage irrégulier des matières organiques,
- un semis réalisé dans de mauvaises conditions.

Ces éléments nuisent au bon développement du système racinaire de la betterave. Lors d'étés secs, ces zones se marquent nettement à cette période par un jaunissement du feuillage.

Ce jaunissement disparaît lorsque les conditions d'humidité du sol (retour des pluies) permettent à nouveau une production d'azote minéral par le sol répondant aux besoins de la plante. L'handicap du système racinaire de la betterave à ce stade ne peut plus être récupéré par un complément de fumure azotée minérale appliqué au moment où ces symptômes sont visibles.

Selon les régions, le phénomène de blocage de l'assimilation de l'azote est parfois directement corrélé avec la date de semis.

Ce symptôme foliaire (palissement ou jaunissement du feuillage) se distingue de celui de la rhizomanie par sa répartition dans le champ. Il s'établit selon des zones rectilignes (en lignes dans le champ) alors que la rhizomanie s'étend par taches circulaires.



## 3. Fumure azotée de la betterave

### 3.1. Apports d'éléments azotés à la culture

L'azote nécessaire à la culture de la betterave (280 kg N/ha au total) provient :

1. de la minéralisation de la matière organique du sol (humus),
2. du reliquat de la culture précédente et de la façon dont il a été conservé dans les horizons superficiels par l'implantation d'un engrais vert en interculture,
3. de l'apport de matières organiques produites ou non à la ferme, selon leur vitesse et régularité de minéralisation,
4. de l'application au semis d'un engrais minéral qui sera immédiatement disponible.

#### 3.1.1 Azote issu de la réserve de matière organique du sol

Les matières d'origine végétale ou animale en décomposition dans le sol constituent l'humus. La teneur du sol en humus est souvent exprimée par son taux de carbone. Elle varie selon le type de sol et le type de pratiques agricoles (cfr 3.3.1. Bilan théorique de l'IRBAB).

La matière organique qui compose l'humus du sol est principalement constituée des éléments carbone, oxygène, hydrogène, azote ("C", "O", "H", "N") qui composent les protéines, par exemple. Celles-ci sont constituées de polypeptides dont les unités de base sont les acides aminés. Les radicaux azotés de ces molécules sont dégradés en ions ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) par les bactéries ammonifiantes du sol. D'autres bactéries du sol, les Nitrosomonas et les Nitrobacter, transforment ensuite et respectivement ces ions ammonium en nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) et puis en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ).

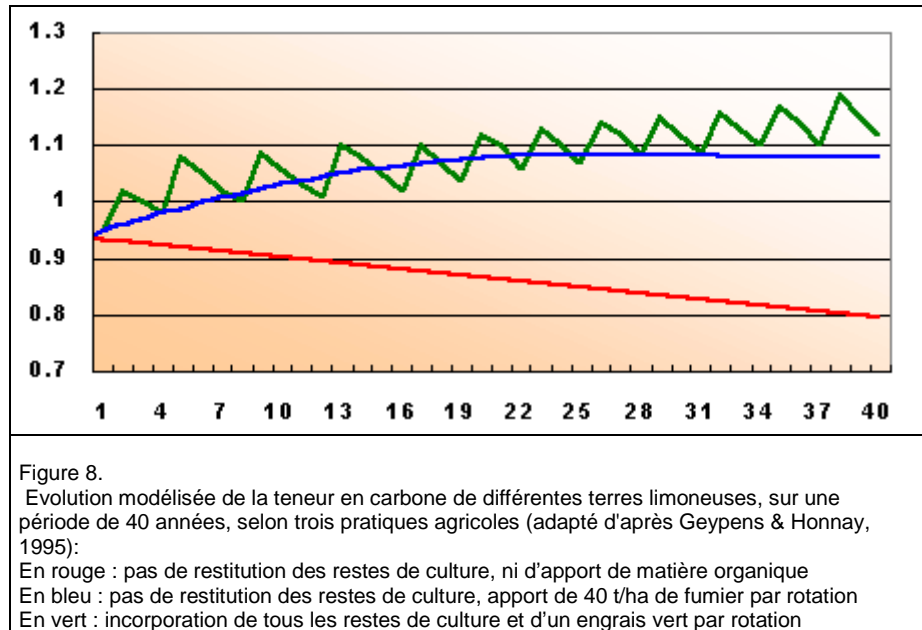
Pour un type de sol, la quantité d'azote minéralisé au départ de l'humus est très similaire d'une année à l'autre. Cet élément peut même être utilisé comme caractéristique d'une terre. Le potentiel de minéralisation est cependant surtout déterminé par les conditions climatiques (sécheresse, température, pluviométrie).

Des tests d'incubation de sol, en conditions de laboratoire (à 5° et 15°C), permettent d'évaluer la quantité d'azote minéral qu'un sol peut produire par minéralisation (= activité des micro-organismes nitrificateurs présents). Cette minéralisation peut déjà être mesurable au-delà de 4°C dans le sol et se réalise tout au long de l'année.

La teneur en humus d'un sol est une valeur qui fluctue peu au fil des années, même en fonction des pratiques agricoles. Ce n'est qu'après plusieurs dizaines d'années que l'on peut mesurer une baisse, un maintien ou une hausse de la teneur en humus (teneur en carbone), selon différentes pratiques agricoles.

Un essai en ce sens a été installé à Liroux, par le Centre de Recherches Agronomiques de Gembloux, depuis 1958 (Frankinet *et al.*, 1986) (Figure 8).

Les terres avec une teneur en matière organique suffisante présentent une meilleure stabilité structurale et une meilleure résistance à la battance. Une teneur élevée en matière organique augmente la capacité de rétention de l'eau du sol (Droeven *et al.*, 1980).



En absence d'apports de fumure organique, on peut établir qu'en fonction de sa teneur en humus, un sol libère en moyenne entre 50 et plus de 100 kg N/ha, entre les mois de mars et juillet. Cette production d'azote minéral irait en s'accumulant dans le profil si une culture ou un couvert végétal n'était pas implanté.

### **3.1.2 Azote issu du précédent cultural ou de l'interculture**

De nombreuses cultures ayant un système racinaire moins développé que la betterave ou plus superficiel peuvent laisser un reliquat azoté important à la récolte.

Les céréales utilisent bien l'azote présent dans le sol et laissent en général un reliquat azoté faible à la récolte.

Le maïs, lorsqu'il a été fertilisé exagérément laisse à la récolte un reliquat azoté important.

La pomme de terre est une plante à enracinement peu profond et qui utilise donc moins efficacement la fumure azotée apportée. Elle laisse à la récolte un reliquat azoté important dont on tiendra compte dans la fumure azotée de la betterave qui suit.

Les cultures de légumes, nécessitant un sol riche en matière organique et en humus ou une fumure azotée importante, laissent souvent un reliquat azoté important, dont il faudra également tenir compte dans l'établissement de la fumure de la betterave qui suit.

#### **CAS DE L'INTERCULTURE**

Un engrais vert est souvent utilisé en interculture, avant la betterave, lorsqu'une matière organique a été appliquée en automne, sur le labour ou sur les chaumes de la céréale précédente. Selon la matière organique appliquée, on utilisera différents types d'engrais vert. Après épandage d'un lisier de porc, on utilisera une moutarde, s'il n'y a pas eu d'apport de matières organiques, on utilisera une légumineuse.

Au cours de son développement, l'engrais vert absorbera l'azote minéral disponible, provenant soit du reliquat de la culture précédente ou de celui appliqué pour son semis ( $\pm 30$  kg N/ha), soit celui déjà libéré par la minéralisation de la matière organique appliquée ou soit encore de l'humus du sol. Les engrais verts méritent ainsi leur appellation de « piège à nitrate ».

Ce n'est que lorsque l'engrais vert sera détruit (par le gel) et enfoui dans le sol que l'azote capté par ces plantes sera progressivement à nouveau libéré, en surface, pour la betterave, au début de sa croissance.

Le tableau 1 présente les principales caractéristiques des engrais verts les plus courants.

	Comportement à l'égard de l'azote minéral	Quantité à semer (kg/ha)	Sensibilité au gel	Couvertur e du sol	Date ultime de semis
<b>Crucifères et autres</b>					
Moutarde	Prélèvement moyen Libération rapide	20 - 25	xxxxx	Très bonne et rapide	20/09
Radis fourrager		20 - 30			05/09
Phacélie		10 - 12		Très bonne	15/08
<b>Graminées</b>					
Ray-grass anglais	Prélèvement tardif	40 - 50	x	Très bonne	30/08
Ray-grass italien	Libération	25 - 35	xx		20/08
Seigle	tardive	150	x		30/09
<b>Légumineuses</b>					
Vesce	Prélèvement important	100 - 125	xxxxx	Très bonne et rapide	01/08
Trèfle	Libération	25 - 40			15/08
Lupin	précoce	150 - 175			15/08

Tabel 1: Belangrijkste kenmerken van de meest voorkomende groenbemesters (xxxxx: vorstgevoelig gewas)

Un engrais vert de légumineuse sera utilisé pour les terres avec une faible teneur en humus, après une culture à faibles reliquats azotés ou à restes de culture riches en matériel cellulosique (rapport C/N élevé), telles des pailles.

On peut appliquer une faible dose d'engrais minéral azoté lors du semis d'un engrais vert, pour stimuler la rapidité de son développement avant l'hiver (maximum 40 à 50 kg N/ha pour les crucifères, maximum 60 à 80 kg N/ha pour les graminées, mais rien pour les légumineuses), surtout si le semis est tardif. Aucune dose n'est recommandée dans le cas d'un apport préalable d'effluents d'élevage.

Avant son enfouissement dans le sol, l'engrais vert devra être préalablement coupé et haché pour déjà accélérer sa décomposition à la surface du sol. Cette étape est importante et devra toujours être réalisée lorsque la masse végétale produite est importante. Ce n'est qu'après cette première phase de décomposition que l'engrais vert pourra être incorporé dans le sol pour y être minéralisé.

La quantité mesurée d'azote libéré par un engrais vert varie de 10 à 40 kg N/ha. Elle est parfois plus faible que la quantité effectivement absorbée par la plante pendant son développement. Cette sous-estimation peut s'expliquer par le laps de temps entre la prise d'échantillons de sol pour l'analyse et l'incorporation de l'engrais vert détruit par le gel. Une partie de l'azote absorbé est déjà retrouvée dans l'analyse du profil. Cette quantité d'azote est plus importante dans la couche supérieure du profil.

Le type d'engrais vert (sensibilité au gel, développement des racines) et les techniques culturales (dates de destruction et d'incorporation) ont une grande influence sur le moment où l'azote absorbé se libérera. Cette minéralisation devra être prise en compte lors du calcul de la fumure azotée de la betterave (Bries et al., 1994).

Les engrais verts résistants au nématode (variétés de moutarde et radis résistants) ou une espèce neutre seront utilisés dans les terres nématodées, pour ne pas favoriser la multiplication de ce parasite.

Leur période végétation sera néanmoins trop courte pour avoir un réel effet dépressif sur les populations de nématode.

Dans certains régions, provinces ou zones naturelles protégées, un subside, sous forme de prime, est octroyé pour l'installation d'un engrais vert en interculture afin de limiter le risque de lessivage hivernal.

#### **CAS D'UNE PRAIRIE**

Une prairie retournée, dans une terre riche en humus ou dans un sol lourd, peut être à l'origine d'une minéralisation importante qui pourrait laisser subsister des reliquats azotés importants, même après une culture de betterave.

#### **CAS DE LA JACHERE**

Après une jachère, la détermination de la fumure azotée sera la mieux établie via un avis individualisé (Hermann et al., 1996).

Dans le cas de jachère en mélange : ray-grass + trèfle violet ou ray-grass + trèfle blanc ou fétuque + luzerne, les fumures proposées pour la betterave qui suit sont respectivement de 150, 140 et 115 kg N/ha, si elles ont été semées avant l'hiver (limitation du lessivage et production plus importante de matières organiques qui iront augmenter le stock d'humus du sol).

La jachère de ray-grass anglais pur libère très peu d'azote car elle engendre plutôt une immobilisation temporaire de l'azote. On conseille généralement d'utiliser le ray-grass en mélange avec le trèfle.

L'apport azoté des différentes jachères sera d'autant réduit si elles ont été récoltées en vue de fourrages. L'apport azoté pour la betterave devra dans ce cas être complété par une dose de 20 à 30 kg N/ha.

Une jachère de radis fourrager, semée avec des variétés résistantes au nématode, est justifiée dans les terres nématodées pour réduire l'infestation. La moutarde, par le fauchage obligatoire, ne pourra continuer à avoir le même effet.

### **3.1.3 Azote issu des matières organiques**

L'utilisation de matières organiques d'origine animale, produites à la ferme ou dont on connaît l'origine et la composition précise, est un élément de valeur intéressante pour établir la fumure azotée de la betterave et aussi pour maintenir les caractéristiques physico-chimiques du sol en général (apports d'éléments humiques et d'oligo-éléments).

Un apport raisonné de fumier de bovin (40 tonnes/ha au maximum) a une action positive évidente sur les paramètres physico-chimiques du sol. L'azote minéral qui en sera issu sera lentement relargué.

Le lisier (et en particulier le lisier de porc), la fiente de poule et le purin sont par contre des matières qui peuvent libérer énormément d'azote et de façon moins contrôlée ou moins facilement prévisible. Un lisier de porc appliqué au printemps libérera directement de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) directement utilisable, ce qui ne sera pas le cas pour une application en automne.

Si l'utilisation de ces produits n'est pas à rejeter, ils doivent être cependant utilisés avec modération et appliqués de façon très homogène (Figure 9.). Il a souvent été démontré, par le passé, que l'emploi exagéré de lisier affecte défavorablement la teneur en sucre et la qualité industrielle des betteraves (Truyens *et al.*, 1975)

L'incorporation du lisier par injection directe dans le sol lors de son épandage évite le problème de l'hétérogénéité de l'application, en plus de celui de la volatilisation de la fraction ammoniacquée et du dégagement d'odeurs désagréables.



Figure 9.  
Un élément difficile à maîtriser lors de l'application des matières organiques est celui de la régularité de leur épandage. Celui-ci se manifeste clairement par après dans les parcelles avec engrais vert

Les applications massives et répétées de ces produits (lisier, fiente, purin) entraînent une surconsommation de l'azote par la betterave. Lorsque cette absorption s'effectue en fin de saison de végétation, elle favorise le développement du système foliaire de la plante au dépens du mûrissement de sa racine. Ceci se traduit par une diminution de la teneur en sucre, du revenu financier par hectare et de la qualité de la récolte.

Si l'excès est trop important à ce moment, cela se traduira en outre par des excédents d'azote résiduels, susceptibles d'être lessivés en hiver.

Il faut également savoir que le coefficient "équivalence engrais minéral" de l'azote issu des matières organiques produites à la ferme est parfois de 20 % à peine et dans le meilleur des cas de 50 à 60 %, selon la date d'application (tableau 2.).

	Été	Automne	Début printemps
Fumier de bovin	25	30	45
Lisier de bovin	20	25	60
Lisier de porc	25	30	65
Fumier de poule	25	30	65
Lisier de poule	25	30	65

Tableaux 2 : Coefficients "équivalence engrais minéral" (%) de l'azote de différentes matières organiques, pour la betterave qui suit, selon leurs dates d'application

Il faut également souligner la difficulté de connaître avec suffisamment de précision la teneur en azote total de certaines matières organiques.

Le cas le plus évident est celui du lisier de porc lorsqu'il est échantillonné dans la cuve de stockage ou dans le tonneau d'épandage ou lorsqu'il n'a pas été incorporé dans les 6 à 8 heures qui ont suivi son épandage (volatilisation rapide de la fraction ammoniacale,  $\text{NH}_4^+$ ).

Une erreur de mesure faite sur un échantillon non représentatif et rapportée à la totalité épandue sur une terre peut complètement fausser la dose de fumure minérale azotée que l'on souhaiterait appliquer encore par la suite.

Les autres matières organiques d'origine agro-alimentaire proposées dans la pratique doivent être considérées avec attention. Certaines peuvent s'avérer intéressantes lorsqu'elles sont d'origine connue et lorsque leur composition est stable à la production.

Enfin, l'utilité des matières organiques étrangères au monde agricole doit être appréhendée d'autant plus que leur origine reste imprécise ou que leur composition peut s'avérer instable, surtout entre différentes livraisons.

Toute proposition de matières organiques non produites à la ferme doit être refusée si les documents de livraison ne portent pas le numéro d'autorisation délivré par le Ministère Fédéral de l'Agriculture et le certificat d'utilisation délivré par le Ministère Régional de l'Agriculture (Legrand & Misonne, 1999).

Quelle que soit la matière organique utilisée, il faudra également respecter les périodes et les quantités d'épandage propre à la législation en vigueur dans chaque région (cfr 3.1.8 Législations régionales relatives aux apports d'éléments fertilisants).



Le cas particulier d'une application de lisier au printemps sur un sol labouré ne s'avère intéressant que lorsque la culture de la betterave est réalisée dans des parcelles ayant un grand besoin d'azote. Dans ce cas, le lisier devra être injecté ou incorporé directement après l'application pour conserver une valeur fertilisante élevée. Les dégâts de structure seront évités par l'emploi de pneus à basse pression.

Dans des parcelles où l'avis de fumure minérale azotée est peu élevé (40 kg N/ha, par exemple), il ne sera pas possible de réaliser une économie substantielle d'une partie de la fumure minérale, en la remplaçant par ce type de fumure organique (Vereerstraeten, et al., 1999).

En règle générale et pour autant que les législations environnementales le permettent, il faut éviter d'apporter l'ensemble de la fumure azotée nécessaire à la betterave sous la forme de matière organique uniquement. Il est alors conseillé d'utiliser au moins 1/3 de la dose d'azote nécessaire sous la forme minérale. Celle-ci, appliquée au printemps au semis, sera directement disponible pour la jeune betterave. L'apport complémentaire d'azote sous forme organique prendra le relais de l'apport minéral pendant la croissance de la betterave, selon son degré de minéralisation. Il faudra veiller à ne pas rajouter de fumure minérale si toute la fumure azotée de la betterave est néanmoins faite sous forme organique.

Le degré de minéralisation ou autrement dit la vitesse de décomposition d'une matière organique est évaluée par le rapport de son contenu en carbone et en azote total (rapport C/N). Plus ce rapport est élevé, plus lente sera, dans le sol, la production d'azote nitrique issu de cette matière organique (tableau 3.). La valeur de ce rapport C/N doit cependant être nuancée selon que la matière organique contient déjà ou non une partie de l'azote sous la forme minérale.

Les matières organiques ayant un rapport C/N supérieur à 14 libèrent très peu d'azote en première et deuxième année. C'est la raison pour laquelle une paille enfouie nécessite un apport de 30 kg N/ha pour pouvoir être plus rapidement minéralisée.

<b>Rapport C/N</b>	<b>5</b>	<b>5 - 8</b>	<b>8 - 10</b>	<b>10 - 20</b>
Disponibilité de l'azote	70 %	50 %	40 %	20 %

Tableau 3 : Disponibilité de l'azote minéral issu d'une matière organique au cours de l'année qui suit son application, en fonction de son rapport C/N. (à nuancer selon que la matière organique contient déjà ou non une partie de l'azote sous la forme minérale)

Il a toujours été conseillé (Decoux & Vanderwaeren, 1934) de faire suivre l'application d'une matière organique en automne par l'implantation d'un couvert végétal. Les raisons actuelles qui justifient cet emploi sont destinées à :

- limiter le risque de lessivage de l'azote minéralisé,
- protéger le sol contre le ravinement,
- disposer, pour la betterave qui suit, de l'azote minéral, retenu provisoirement en surface par cette interculture.

En aucun cas l'utilisation de matières organiques en culture de la betterave ne doit constituer une solution de facilité pour leur permettre une évacuation plus aisée.

### 3.1.4 Azote issu de l'apport d'un engrais azoté minéral

L'engrais azoté minéral s'applique à une dose précise et au moment le plus adéquat. Il est le complément de l'azote issu du sol, d'un précédent cultural et/ou des matières organiques éventuellement utilisées. Sa dose d'utilisation est déterminée par un avis de fumure, calculé ou établi par analyse.

Lorsque l'application est réalisée au semis, ou juste avant, les quantités ne peuvent dépasser 120 à 130 kg N/ha. La salinité trop élevée d'une dose supérieure pourrait être néfaste pour les jeunes plantules de betterave, surtout si une application de potasse a été également réalisée. Si un complément se justifie néanmoins, il sera également appliqué entre les stades 2 et 6 feuilles de la betterave.

Les engrais minéraux azotés les plus courants sont rappelés au tableau 4.

Engrais minéraux azotés	Composition	N (%)	Equivalent base
Nitrate d'ammoniaque 27 %	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	27	- 16
Nitrate d'ammoniaque 27% + Mg 4%	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + MgO	27	- 9,5
Nitrate de calcium	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	15,5	+ 12
Nitrate du Chili	NaNO <sub>3</sub>	16	+ 17
Phosphate d'ammoniaque double	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	18	- 38
Phosphate d'ammoniaque simple	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	12	- 37
Solution azotée	CO(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> + NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	30	- 30

Tableau 4 : Caractéristiques des principaux engrais minéraux azotés utilisés en culture betteravière.

Comme certains engrais ont un équivalent base (équivalence en kg de CaO par 100 kg d'engrais) parfois très négatif (pouvoir acidifiant élevé), leur usage répété doit être pris en compte pour la correction de l'acidité du sol.

On considère qu'il y a de faibles différences de rapidité d'absorption entre ces différents engrais, mais non entre les formes solides et les formes liquides. Le coefficient d'utilisation de l'azote minéral des formes solides est meilleur que celui des formes liquides (Roussel et al., 1974)

### **3.1.5 Application localisée de la fumure minérale azotée**

L'application localisée de l'engrais minéral azoté au semis est une technique relativement ancienne. Elle était développée dans les cultures en lignes, aux Etats Unis, avant 1940, lorsque la production des engrais azotés était chère (Decoux, 1946).

Des raisons économiques et environnementales ont incité l'IRBAB à développer à nouveau cette technique dans la culture de la betterave depuis les années 1988 (Vlassak et al., 1990; Vandergeten et al., 1997).

Les résultats obtenus avec cette technique ont été prometteurs.

La technique consiste à enfouir l'azote (solide ou liquide) de façon localisée, à quelques centimètres de la ligne de semis (6 cm) et à faible profondeur (6 cm) (Figure 10).

Comme l'azote est directement et plus efficacement disponible pour la plantule de betterave dès qu'elle a ébauché son système racinaire latéral (effet « starter »), une dose recommandée de fumure minérale azotée de 120 kg N/ha peut être ramenée à 90 voire 60 kg N/ha, sans modifier le rendement financier (Vandergeten et al., 1992).



Figure 10.  
De 1988 à 1995, l'IRBAB a démontré la faisabilité et l'intérêt de l'application localisée de la fumure azotée de la betterave au moment du semis (Vandergeten et al., 1992).

Par rapport à une application généralisée, les essais de l'IRBAB ont mis en évidence plusieurs avantages de l'application localisée (Vandergeten, 1992) qui sont:

- une application au moment du semis,
- une assimilation meilleure et plus rapide de l'engrais minéral,
- l'absence de redoublages,
- une réduction (- 30, voire - 50 %) de la dose d'azote minéral recommandée pour un épandage généralisé,
- un risque moins élevé de lessivage et une absence de pertes par ruissellement ou par évaporation ammoniacale,
- une augmentation de 1,4 t/ha de rendement en racines et une augmentation de 0,44 point de teneur en sucre, soit un gain de rendement en sucre (+ 616 kg/ha) et de rendement financier (+ 6 %) en faveur de l'application localisée (Figure 11.).

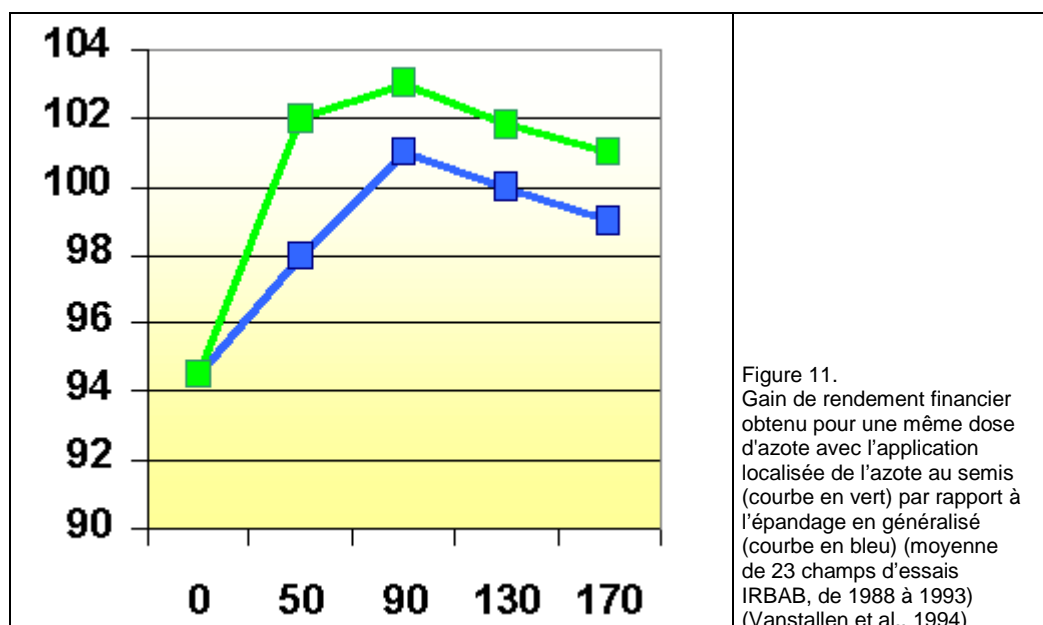


Figure 11.  
Gain de rendement financier obtenu pour une même dose d'azote avec l'application localisée de l'azote au semis (courbe en vert) par rapport à l'épandage en généralisé (courbe en bleu) (moyenne de 23 champs d'essais IRBAB, de 1988 à 1993) (Vanstallen et al., 1994)

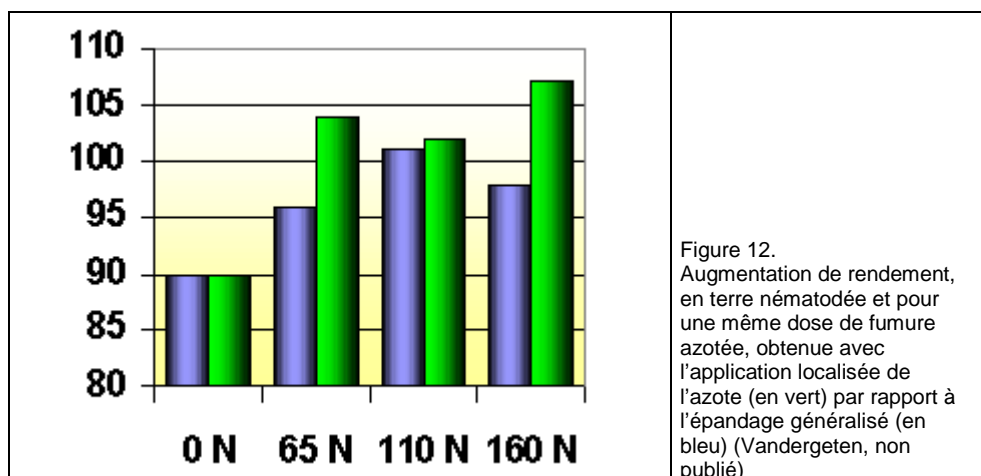
L'application localisée de faibles doses d'azote minéral ( $\pm 40$  kg N/ha) sur une terre ayant reçu un apport de matière organique (lisier) a apporté un gain de rendement sucre de 4 %, par rapport à l'équivalent appliqué en généralisé (Vanstallen *et al.*, 1994). Cette combinaison peut s'avérer intéressante dans les zones d'élevage.

Le développement de l'application localisée en Belgique, si elle n'a pas eu le développement escompté (beaucoup de semis sont faits chez nous par entreprise) comme en France (où beaucoup de betteraviers réalisent leurs semis eux-mêmes et ont adapté leurs semoirs), a eu un impact psychologique très important chez les betteraviers. Elle a démontré que l'on pouvait mieux ajuster les doses d'azote aux besoins réels de la culture.

Cette technique se justifie pleinement dans les zones vulnérables pour l'eau et dans les sols légers très perméables. La localisation de l'azote au semis n'affecte pas le nombre de plants par hectare, même à forte dose.

### 3.1.6 Utilisation de l'application localisée en terre nématodée

Dans les terres nématodées, l'utilisation de l'application localisée de l'azote minéral est très justifiée (Vandergeten *et al.*, 1997). Elle favorisera un développement plus rapide du système racinaire de la jeune plantule. Celui-ci aura déjà pris une certaine avance dans son développement avant que les attaques de nématodes ne viennent freiner son développement. Cette avance se marquera au niveau du rendement final (Figure 12).



### 3.1.7 Apports fractionnés de fumure minérale azotée

L'apport fractionné de l'azote minéral n'est généralement pas justifié dans nos conditions de culture, sauf dans les sols sablonneux ou sablo-limoneux très filtrants. Il permet dans ce cas d'éviter qu'une pluie trop importante après le semis ne mette l'azote minéral temporairement hors de portée des racelles de la jeune plantule.

La fumure minérale azotée est généralement appliquée en une seule fois, au semis ou 15 jours avant le semis de la betterave.

Lorsque, dans les sols légers, on pratique le fractionnement de la dose d'azote minéral, la règle est d'appliquer 2/3 de la dose avant ou au semis et le 1/3 restant lorsque la betterave est au stade 2 feuilles au moins et 6 feuilles au plus.

Un fractionnement de la fumure minérale azotée n'a de raison d'être que s'il s'agit d'un véritable fractionnement de la dose conseillée et non pas d'un surplus apporté à la culture. Au delà d'une dose de 160 kg N/ha, on conseille, pour tous les types de sol, d'appliquer une dose de 140 kg N/ha avant le semis et le reste avant le stade 2 - 4 feuilles de la betterave.

Tout apport d'azote au-delà du stade 6 feuilles de la betterave est déconseillé. Croire qu'un complément d'azote minéral appliqué au moment de la fermeture des lignes procurerait un « coup de fouet » à la culture, car on en voit le résultat à la couleur du feuillage, a généralement un effet négatif sur le rendement sucre à la récolte.

### **3.1.8 Législations régionales relatives aux apports d'éléments fertilisants**

Après de nombreuses années de fréquentes applications de matières organiques d'origine animale, de nombreuses régions d'élevage en Europe ont révélé des teneurs en azote minéral (nitrates) trop élevées dans leurs sols. Certaines quantités se retrouvaient dans les eaux de pompage, destinées à l'eau de distribution.

La directive « nitrates » EC/91/676 vise à réduire la présence de nitrates d'origine agricole dans les eaux (douces) superficielles ou souterraines des zones vulnérables. Leur concentration ne peut dépasser 50 mg/l. Cette directive oblige les Etats membres à prendre des dispositions nationales ou régionales pour inciter les agriculteurs des zones concernées à respecter des pratiques agricoles adéquates.

En région flamande, un "plan d'action lisier" (MAP, « Mest Actie Plan ») a été élaboré dès les années 1990 et adapté par la suite. Des normes et des limites ont été définies pour l'épandage et le moment d'application des matières organiques azotées (et phosphatées), selon des zones sensibles ou non.

Depuis la fin de l'année 2000, on ne peut plus épandre dans cette région de matières azotées entre le 21 septembre et le 15 février (sauf du fumier ou d'autres matières azotées, pauvres en ammoniacale).

On ne peut rien épandre entre le 1 septembre et le 15 février dans les zones sensibles (zones vulnérables pour l'eau et les nitrates, zones naturelles ou écologiques protégées).

Aucun épandage ne peut être effectué le week end ou un jour férié (sauf des engrais chimiques), ni avant 7 heures ni après le coucher du soleil, ni sur les terres gorgées d'eau, gelées ou enneigées, ni à moins de 5 mètres des cours d'eau.

L'application sur un sol en pente ne peut conduire à un ruissellement.

Les fumiers et les autres matières azotées dont l'azote organique est lentement minéralisé doivent être incorporés dans les 24 heures.

Les matières azotées d'origine animale et les autres matières riches en azote doivent être appliquées par injection ou incorporées dans les 4 heures, lorsqu'elles sont appliquées sur des terres non mises en culture.

Sur une terre cultivée (p. ex. prairie ou engrais verts), on peut réaliser l'application par injection superficielle ou avec des tuyaux traînants, par incorporation suivi d'un arrosage dans les 2 heures ou par épandage par temps de pluie.

Les doses d'application d'azote total admises sont fixées pour chaque type de culture. Ces doses sont présentées au tableau 5, selon les années à venir et selon l'origine de l'azote.

La dose de phosphore appliquée est également limitante. La limite est fixée à 110 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha à partir de 2001. Elle sera de 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha à partir de 2003.

<b>Normes forfaitaires standards pour la culture de la betterave</b>	<b>Azote total (kg N/ha)</b>	<b>Azote d'origine animale ou autre (kg N/ha)</b>	<b>Azote d'origine chimique (kg N/ha)</b>
Du 01/01/2000 au 31/12/2000	300	300	200
Du 01/01/2001 au 31/12/2001	275	225	200
A partir du 01/01/2003	275	200	200
<b>Idem, mais dans les zones vulnérables</b>			
A partir du 01/01/2000	275	170	175
<b>Idem, mais dans les zones protégées (*)</b>			
	0	0	0

Tableau 5 : Normes forfaitaires des doses et formes d'azote autorisées en Flandres par le MAP, pour la culture de la betterave et selon les zones définies.

Il y a une exception (Tableau 5, (\*)) pour les exploitations familiales, antérieures à 1997 et situées dans les zones protégées. Celles-ci peuvent utiliser les normes des zones standards.



Une redevance de 0,9 BEF par kg d'azote total (et aussi de phosphate total) appliqué depuis le début de l'année 2000, d'origine chimique ou autre, mais non produit à la ferme, doit être versée à l'organisation concernée (Mestbank - Vlaams Landmaatschappij). Une autre redevance (0,45 BEF par kg d'azote total (et aussi de phosphate total)) est prélevée également pour les matières organiques produites à la ferme.

Actuellement en région wallonne, un projet de directive « nitrates », basé sur la directive européenne EC/91/676 est en cours d'application, dans le cadre plus large d'une agriculture durable. Plusieurs zones vulnérables ont été désignées (périmètres des sables Bruxelliens en Brabant wallon et de la zone Crétacée en Hesbaye) et des dispositions ont été prises en matière de bonnes pratiques agricoles.

D'autres zones (Comines Warneton, Sud Namurois) sont à désigner. Le pays de Herve aura un statut particulier (dominance de prairies).

Les dispositions particulières mises en œuvre dans ces zones concerneront le respect d'un ensemble de pratiques agricoles favorables à une meilleure qualité des eaux. La plupart de ces pratiques sont issues de la révision du "Code de bonnes pratiques agricoles" (version 1998) établi par le Comité Nitrates.

Une des prescriptions relatives aux quantités d'azote appliquées propose de limiter la dose totale à 330 kg N/ha pour la betterave (minéral + organique).

Des plafonds d'épandage seront fixés pour les quantités applicables de fertilisants organiques, selon les zones. Dans les zones vulnérables, la limite serait en moyenne de 80 kg N/ha/an d'origine organique sur les cultures et 210 kg N/ha/an sur les prairies ("norme 80/210"). Dans une démarche de qualité (normes dérogatoires), les limites seraient de 130/250, sans dépasser 210 kg sur la surface totale de l'exploitation.

La démarche de qualité comprend: la réalisation de profils azotés, la prise en compte des apports totaux d'azote (minéral + organique), des pratiques et modes de gestion agronomiques favorables à une meilleure gestion de l'azote (priorité aux engrais verts, choix de doses et de périodes optimales d'épandage pour les effluents organiques,...).

## **3.2. Reliquat azoté après la culture**

### **3.2.1 Considérations sur le reliquat azoté après une culture**

Dans le sol, l'ion nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) a la particularité d'être mobile et d'être peu retenu par les composants physico-chimiques du sol (argile, limon, ...) (à l'inverse des ions phosphates).

Dans les terres riches en azote organique minéralisé et où la nappe phréatique est proche de la surface, l'ion nitrate sera rapidement entraîné par le lessivage provoqué par les pluies vers l'eau du sol, avant qu'il n'ait été prélevé par une culture.

La vitesse de migration est fonction de la concentration en nitrate, du type de sol, de l'importance de la pluviométrie et du recouvrement du sol (en hiver).

### **3.2.2 Législations régionales**

En Flandres, afin de ne pas dépasser dans l'eau du sol la limite de teneur en nitrate imposée par l'Union Européenne (50 mg  $\text{NO}_3^-$ /l d'eau du sol) (directive EC/91/676), les normes récentes du programme MAP II (Mest Actie Plan – plan d'action lisier, dernière version) ont fixé le niveau de reliquat azoté dans le profil du sol (0 à 90 cm), entre le 1 octobre et le 15 novembre, à 90 kg  $\text{N-NO}_3^-$ /ha. Cette norme, si elle n'est pas dépassée, permet de limiter le risque de lessivage hivernal de l'azote vers la nappe phréatique.

Dans les sols riches en humus, cette norme sera difficile à respecter si des apports importants de matière organique ont été effectués depuis plusieurs années et continuent à être réalisés.

Un subside, sous forme de prime, peut être obtenu dans les zones vulnérables pour l'eau, après accord avec l'autorité concernée (Mestbank - Vlaams Landmaatschappij) pour une période de cinq ans et pour autant que le reliquat azoté soit inférieur à 90 kg N/ha.

### 3.2.3 Reliquat azoté après betterave

Lorsque l'ensemble de la fumure azotée (minérale + organique) a été appliqué de façon raisonnée, la culture de la betterave sucrière et les céréales présentent les reliquats azotés les plus faibles en automne, par comparaison avec la culture de la pomme de terre, du maïs ou des légumes de plein air.

Si l'on retrouve une quantité trop importante de reliquat azoté à la récolte de la betterave, c'est que le champ en question a reçu une fumure organique surabondante souvent durant plusieurs années (Vereerstraeten, 1999).

La quantité de reliquat azoté après betterave est également variable d'une année à l'autre, selon les conditions climatologiques de la saison de végétation.

Lors d'une application de fumure azotée raisonnée ou d'une fumure azotée moyenne (120 kg N/ha, peu de matière organique), le reliquat azoté équivaut généralement à 50 kg N/ha, pour un profil de 1,50 m de profondeur.

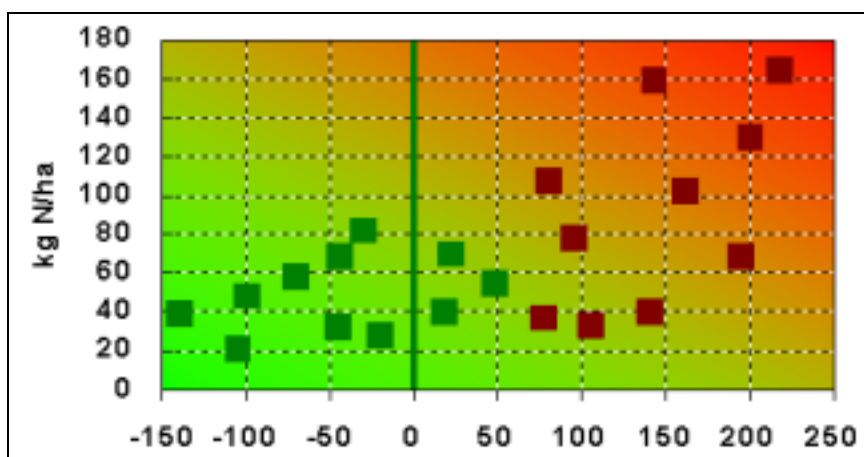


Figure 13.  
Effet de fertilisations minérales azotées supérieures (points en rouge) ou inférieures (points en vert) à la dose optimale sur le reliquat azoté (kg N/ha) mesuré après la culture de la betterave, sur un profil de 1,50 m. L'axe horizontal représente l'écart de fumure par rapport à la dose optimale (ligne verticale en vert = dose optimale ramenée à "zéro") (Vereerstraeten, 1999)

La figure 13. présente les reliquats azotés mesurés par l'IRBAB dans 21 sites d'essais, de 1995 à 1998. La dose de fumure minérale azotée optimale (rendement financier) de chacun de ces essais correspond au point « zéro » sur l'axe horizontal.

Les points situés à gauche de cet axe (points en vert) correspondent aux essais ayant reçu une dose d'azote minéral inférieure à la dose optimale. La moyenne de leur reliquat azoté est de 53 kg N/ha.

Les points situés à droite de l'axe (points en rouge) correspondent aux essais ayant reçu une dose d'azote minéral supérieure à la dose optimale. Cette situation était le plus souvent due à un apport important de matière organique riche en azote (lisier de porc). Les reliquats azotés y sont pour certains cas très élevés (7 cas sur 10), pour d'autres satisfaisant (3 cas sur 10).

Cette dernière situation peut s'expliquer par les quantités de précipitations observées entre le mois d'août et la récolte.

Le type de sol peut également faciliter le lessivage de l'azote vers les couches plus profondes (sol sablo-limoneux).

Une campagne d'investigation a été réalisée par le Provinciaal Onderzoeks- en Voorlichtingscentrum voor Land- en Tuinbouw (POVLT) de Rumbek Beitem pendant la période critique en 1999 (Seynnaeve, 2000).

La betterave, avec la culture de chicorée à inuline et celle de la chicorée witloof étaient parmi les cultures présentant la situation la plus correcte (respectivement 83, 100 et 93 % des parcelles investiguées présentaient un résidu en azote inférieur à 90 kg N/ha).

Selon les pratiques culturales, la pomme de terre et les cultures de légumes peuvent laisser d'importants reliquats azotés à la récolte. Les céréales en laissent peu à ce moment, mais la situation du profil azoté en début d'hiver (importance du moment de l'échantillonnage) peut évoluer en fonction des conditions climatiques observées après la récolte.

L'implantation d'un engrais vert après la récolte d'une de ces cultures permet également de limiter le risque de dépasser la norme de reliquat azoté actuellement établie en Flandres.

### **3.3. Avis de fumure minérale azotée**

La betterave est une culture de printemps, semées après une période d'interculture, généralement longue (de septembre à avril, soit 8 mois environ), pendant laquelle la production d'azote minéral résultant de l'activité du sol aura été soumise à différentes influences.

La concentration en azote minéral dans les horizons de culture à la sortie de l'hiver fluctue très fort d'une année à l'autre et d'un endroit à l'autre. Cette concentration est fonction :

- des caractéristiques physico-chimiques et des particularités du sol,
- du précédent cultural,
- de l'utilisation d'un engrais vert,
- des apports de matière organique, effectués le plus souvent en tête de rotation,
- des conditions de lessivage et de minéralisation rencontrées au cours de l'automne et de l'hiver,

Tous ces facteurs interfèrent ensemble et influencent non seulement la concentration en azote minéral dans le sol, mais aussi sa répartition dans le profil.

Un avis de fumure minérale azotée est donc particulièrement nécessaire pour conseiller le betteravier dans la quantité optimale d'azote minéral à apporter, afin d'obtenir un rendement financier optimal (Hofman et al., 1979).

Cet apport d'azote minéral est destiné à compléter celui qui sera disponible ou produit dans le sol.

Différentes possibilités permettent au betteravier de déterminer la dose de fumure minérale azotée à apporter à sa culture.

Ce sont :

- le bilan théorique de l'IRBAB, établi sur base de quelques données théoriques,
- l'avis généralisé, moyenne orientative établie par différents laboratoires d'analyses pour différente zone betteravière,
- l'avis individualisé, à privilégier car réalisé au niveau de la parcelle.

### 3.3.1 Bilan théorique de l'IRBAB

Le bilan théorique a été développé par l'IRBAB depuis presque vingt ans (Vanstellen & Vandergeten, 1985) et régulièrement affiné depuis lors (Vandergeten & Vereerstraeten, 1996). Il approche la valeur proposée par l'avis individualisé, basé sur une analyse du sol, mais ne le remplace pas pour autant. Il permet à chacun de situer son niveau de fertilisation, avec une certaine approximation.

Lors de conditions climatiques très particulières, le bilan théorique peut tenir compte des conditions de lessivage et de minéralisation de l'azote organique au cours de l'automne et de l'hiver (cas de l'hiver 1998-1999).

Le bilan théorique est facilement déterminé par l'équation suivante (Vandergeten & Vereerstraeten, 1996):

$$N_{\text{théor}} = \text{SOL} + \text{PART} + \text{PREC} + \text{EVERT} + \text{MORG}$$

où:

- **SOL** = quantité de base d'azote minéral (kg N/ha) produite par le sol, précisée selon le type de sol et sa teneur en carbone ou en humus,
- **PART** = quantité à ajouter selon les particularités du sol,
- **PREC** = quantité à ajouter ou à déduire selon le précédent cultural,
- **EVERT** = quantité à déduire selon le type d'engrais vert utilisé,
- **MORG** = quantité à déduire selon le type et la quantité de matière organique appliquée

#### **SOL**

Une partie importante de l'azote utilisé par la betterave est fournie par le sol. Plus la réserve du sol en azote organique est élevée, plus il y aura d'azote minéral produit par la minéralisation.

La valeur de SOL est fonction du type de sol et de sa teneur en carbone (ou en humus). Elle varie de 100 à 210 kg N/ha.

Teneur en carbone (%)	Teneur en humus (%)	Caractéristiques du sol	Sol limoneux ou sablo-limoneux	Sol humique, argileux ou poldérien
< 1,2	< 2,1	généralement terre où la restitution en matière organique se limite aux restes de culture	<b>180</b>	<b>210</b>
1,2 - 1,6	2,2 - 2,8	généralement terre qui reçoivent des quantités réduites de matière organique	<b>160</b>	<b>190</b>
1,6 - 2,0	2,8 - 3,4	généralement terre avec des applications régulières de matière organique	<b>140</b>	<b>170</b>
> 2	> 3,4	terre recevant régulièrement de fortes quantités de matière organique ou prairie récemment mise en culture	<b>100</b>	<b>130</b>

### PART

Les particularités du sol (terre froide, profondeur du sol, structure, infestation de nématodes, ...) peuvent justifier un apport complémentaire d'azote.

La valeur de PART varie de 0 à + 30 kg N/ha.

PART Particularités du sol	Apport complémentaire d'azote (kg/ha)
- Aucune	0
- Infestation de nématodes	+ 25
- Mauvaise structure	+ 30
- Terre froide	+ 30
- Faible profondeur (pierres,...)	+ 30
CORR99	(+ 25)

Il a été proposé, en 1999 uniquement, d'ajouter une correction climatique exceptionnelle dans le calcul du bilan théorique (Vereerstraeten & Vandergeten, 1999).

La très forte pluviométrie observée de septembre 1998 à janvier 1999 (plus de 560 mm à Uccle; norme: 340 mm) avait entraîné un lessivage de l'azote vers la couche 30 - 60 cm. L'azote des couches plus profondes (60 - 90 cm) observé en novembre 1998 avait également migré plus en profondeur.

A cette occasion, une valeur corrective de + 25 kg N/ha (CORR99) a été proposée pour le calcul du bilan théorique sauf pour les terres où la teneur en humus est supérieure à 2,8 %, celles avec un engrais vert ou destinées à un semis direct, ou pour celles ayant reçu d'importantes applications de matière organique au cours des premiers mois de l'année 1999.

### PREC

Le précédent cultural peut fournir des quantités non négligeables d'azote à la betterave.

Le système racinaire peu profond de la pomme de terre ou une culture de légumineuse procure généralement un reliquat d'azote appréciable qui doit être défalqué du bilan théorique.

A l'inverse, une paille enfouie nécessite un apport supplémentaire d'azote (pour accélérer sa minéralisation par les bactéries du sol qui autrement prélèveraient l'azote minéral du sol pour minéraliser cette matière dont le C/N est élevé). La valeur de PREC varie de - 40 à + 25 kg N/ha. Elle est présentée ici pour des précédents culturaux sans exagération de fumure azotée.

PREC Effet du précédent cultural	Apport complémentaire ou diminution de la dose d'azote (kg/ha)
- céréale, paille enfouie sans azote	+ 25
- céréale, paille enfouie avec azote	0
- céréale, paille enlevée	0
- maïs	0
- pomme de terre	- 25
- colza	- 25
- pois, haricot	- 25
- luzerne, féverole	- 40
- pomme de terre non récoltée	- 40

Il est arrivé, ces dernières années, lors d'automnes et d'hivers trop pluvieux, des cas où le précédent pomme de terre n'a pu être récolté. Dans ce cas, il a été conseillé de soustraire en plus un équivalent d'apport azoté de 40 kg N/ha (Vandergeten & Vereerstraeten, 1996).



## EVERT

L'intérêt des engrais verts en interculture est de maintenir ou d'apporter naturellement une quantité d'azote organique minéralisable au printemps (fonction de la durée de végétation de l'engrais vert, de la date et de la qualité de son enfouissement, ...)

Cette interculture prévient en outre le lessivage hivernal en profondeur de l'azote minéral présent dans les horizons superficiels du sol. Cet équivalent d'apport d'azote organique est rapidement disponible pour la jeune betterave, lorsque l'engrais vert enfoui est peu lignifié (C/N faible). En général, les graminées libèrent 10 à 25 kg N/ha, les moutardes et les radis 15 à 40 kg N/ha, les légumineuses de 20 à 60 kg N/ha. La valeur de EVERT utilisée pour le bilan théorique est donc négative et varie de - 18 à - 40 kg N/ha.

EVERT Effet de l'engrais vert en interculture	Diminution de la dose d'azote (kg/ha)
- aucun	0
- graminées (ray-grass,...)	- 18
- moutarde, radis	- 25
- légumineuses (vesce,...)	- 40

## MORG

Une bonne connaissance de la composition de la matière organique utilisée est indispensable grâce à une analyse d'échantillons représentatifs et fiables. Il est essentiel de savoir que l'azote libéré par ces matières varie fortement selon leurs caractéristiques (rapport C/N parfois élevé, niveau de décomposition insuffisant, moment d'application trop tardif, ...).

Les coefficients d'utilisation par la betterave de l'azote total présent dans ces matières varient de 20 à 65 %.

Les valeurs proposées de MORG sont à défalquer du calcul du bilan théorique.

Elles varient de - 0,5 à - 16,9 kg N/ha/tonne de matière, selon l'origine de la matière organique et le moment de son application. Elles doivent être adaptées selon le tonnage appliqué.

Quoiqu'il ne soit pas pris en compte dans le bilan théorique, on peut signaler ici l'effet synergique de l'incorporation simultanée de la paille et de l'écume de sucrerie. Le bilan de l'azote minéral produit par l'association "incorporation de l'écume + paille" s'avère supérieur à celui respectivement produit par l'écume de sucrerie et par la paille séparément (Crohain & Rixhon, 1968).

MORG  Apport en azote minéral de matières organiques ou de produits en contenant	Composition		Azote disponible pour la betterave en fonction du moment d'application **		
	Matière sèche (%) *	Azote total (kg/t) *	Eté	Automne	Début printemps
			Quantités (kg/t de matière) à défalquer du bilan théorique		
<b>Ecume de sucrerie</b>	60,0	3,7	1,5	1,5	1,5
<b>Fumier</b>					
- bovin (stabulation libre)	21,5	5,5	1,4	1,7	2,5
- porc (paille)	23,0	7,5	1,9	2,3	4,9
- poule (sec)	60,0	24,3	6,1	7,3	15,8
- poule (paille hachée)	53,0	15,8	4,0	4,7	10,3
- poulet de chair	58,0	26,0	6,5	7,8	16,9
- dinde	45,0	17,4	4,4	5,2	11,3
- cheval	31,0	5,0	1,3	1,5	2,3
<b>Purin</b>					
- bovin	2,5	4,0	0,8	1,0	2,4
- porc	2,0	6,5	1,6	2,0	4,2
- truie	1,0	2,0	0,5	0,6	1,3
<b>Lisier</b>					
- porc	7,5	6,5	1,6	2,0	4,2
- truie	5,5	3,6	0,9	1,1	2,3
- bovin	9,5	4,4	0,9	1,1	2,6
- veau (viandeux)	2,0	3,0	0,6	0,8	1,8
- poule	14,5	10,6	2,7	3,2	6,9
<b>Compost</b>					
- champignon	35,0	6,9	0,7	0,7	0,7
- déchets verts (GFT)	70,0	9,1	0,9	0,9	0,9
<b>Fiente de poule</b>					
- sur copeaux	60	20	5,0	6,0	12,0
- sèche	60	25	6,3	7,5	16,3
* Données publiées par le "Informatie en Kennis Centrum - Akkerbouw en Groenteteelt in de Vollegrond" (IKC-agv), 1992					
** Coefficients utilisés par l'IRBAB (Vandergeten & Vereerstraeten, 1996)					

<b>Exemple de calcul</b> (sur base de Vereerstraeten & Vandergeten, 1999)			
Pour estimer une fumure minérale azotée par le bilan théorique, il suffit d'additionner (ou de soustraire) les valeurs des données présentées dans les 4 tableaux présentés, en adaptant la valeur de MORG selon la quantité utilisée (t/ha).			
Données :	-	Terre limoneuse avec une teneur en carbone inférieure à 1,2%	
	-	Présence quasi généralisée de nématodes	
	-	Précédent céréales, pailles enfouies sans azote	
	-	Apport de 10 tonnes d'écume de sucrerie	
	-	Apport de 40 tonnes de fumier de bovin appliquées en fin d'été	
	-	Implantation d'un engrais vert de moutarde	
Calcul :	SOL	=	+ 180 kg N/ha (teneur en carbone < 1,2 %)
	PART	=	+ 25 kg N/ha (infestation de nématodes)
	PREC	=	+ 25 kg N/ha (consommation de l'azote par la paille enfouie)
	EVERT	=	- 25 kg N/ha (engrais vert de moutarde)
	MORG	=	- 15 kg N/ha (écume de sucrerie: 1,5 kg N/ha x 10 t/ha)
	MORG	=	- 56 kg N/ha (fumier de bovin: 1,4 kg N/ha x 40 t/ha)
	Totaal	=	+ 134 kg N/ha

Dans la clientèle de certaines sucreries, le bilan théorique développé par l'IRBAB peut être directement calculé par l'agronome de sucrerie. Un système expert, installé sur son ordinateur, réalise directement le calcul après encodage des données nécessaires. Ce service sera prochainement disponible sur le site Internet de l'IRBAB.

Des expérimentations, ayant toutes le même protocole d'essai ont été réalisées de 1995 à 1998 par l'IRBAB (31 champs d'essais), avec des doses croissantes d'azote minéral (0, 40, 80, 120, 160, 200, 240, 280 kg N/ha) (Vereerstraeten & Vandergeten, 1999).

La récolte de ces sites d'essais a permis d'établir la fertilisation minérale azotée optimale pour chacun des champs concernés. Cette fertilisation optimale correspondait au rendement financier réel le plus élevé.

La Figure 14 présente le rendement financier le plus élevé de chaque champ, aligné à 100 % (chiffres relatifs). L'utilisation du bilan théorique a permis d'atteindre en moyenne 98,15 % du rendement financier optimal.

Dans la majorité des cas, la différence est due à une surfertilisation. Dans un seul cas sur 31, la petite différence observée est à imputer à une fertilisation trop faible.

Il est donc inutile d'ajouter en complément de fumure minérale azotée par rapport à l'avis de fumure obtenu par le bilan théorique.

L'utilisation du bilan théorique doit au minimum être réalisée lorsqu'on ne souhaite pas faire établir un avis individualisé de fumure minérale azotée par un laboratoire d'analyse.

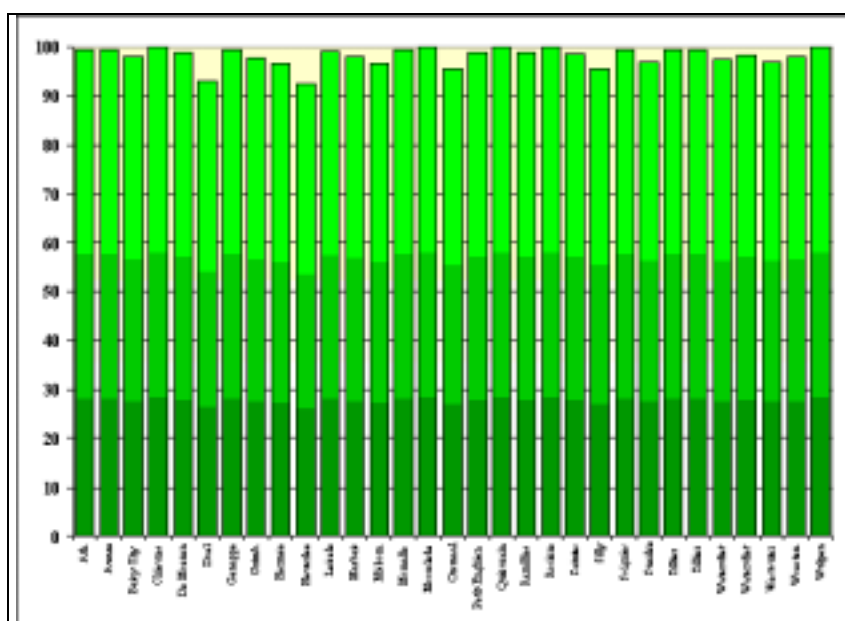


Figure 14. Rendement financier en % (moyenne 98,15 %) obtenu dans 31 parcelles d'essais de l'IRBAB, de 1995 à 1998, avec un avis de fumure azotée basé sur la méthode du bilan théorique, comparé au rendement financier réel (établi à 100 %) (Vereerstraeten & Vandergeten, 1999).

### 3.3.2 Avis généralisés

Depuis quelques années, des avis généralisés de fumure azotée sont établis pour la betterave, parfois à la demande de diverses sucreries, au printemps, selon les situations les plus fréquentes. Ils sont destinés à orienter le betteravier dans la dose de fumure minérale azotée à appliquer, surtout par rapport à celles des années antérieures. Ces avis généralisés sont proposés par la chaîne Nitrates du réseau Réquasud ou par le Service Pédologique de Belgique.

Pour obtenir une meilleure précision et/ou surtout si l'intention est d'appliquer une dose s'écartant fortement de ces valeurs moyennes, il sera indispensable de réaliser un avis individualisé de fumure azotée pour chaque parcelle.

Ces valeurs sont établies sur base de prélèvements effectués à la sortie de l'hiver (février, mars), sur un profil de 90 cm de profondeur. Leur niveau dépendra des conditions hivernales de minéralisation (douceur de l'hiver), mais aussi des conditions hivernales de lessivage de l'azote (importance de la pluviométrie).

#### **Avis généralisés proposés par la chaîne Nitrates du réseau Réquasud**

Ces avis sont établis en collaboration avec les laboratoires d'analyses du réseau Réquasud - chaîne Nitrates. Ils sont établis sur base de plus de 200 avis individualisés, réalisés dans la zone betteravière, et représentatifs des précédents et des fumures organiques les plus courantes (Meeùs et al., 2000).

Les situations les plus courantes sont:

- précédent céréale, sans apport de matière organique, avec paille enlevée ou enfouie,
- précédent céréale, avec apport de fumier, de lisier ou de fiente de poule, avec paille enlevée.

Une fois établis, les avis généralisés sont aussitôt transmis aux sucreries concernées et au service d'avertissement de l'IRBAB.

La figure 15 illustre la variabilité de ces avis généralisés en fonction des situations les plus courantes et de la pluviométrie au cours de la saison hivernale. On y observe que la pluviométrie reste un des facteurs déterminants.

L'hiver 1998-1999 (froid, humide et avec une pluviométrie abondante) a réduit le stock d'azote minéral disponible dans le sol à la sortie de l'hiver. Les avis généralisés sont plus élevés en 1999 qu'en 1997 et 1998, surtout dans le cas d'apports de matière organique dont l'effet apparaît peu.

Pour les matières organiques à action rapide, le faible écart en 1999 entre les avis avec apport de lisier ou de fiente de poule et ceux avec fumier de bovin est dû au peu d'azote présent dans tous les profils.

On y observe également que le précédent céréale paille enlevée présente la plus faible variabilité (moyenne de 5 ans: 95 kg N/ha).

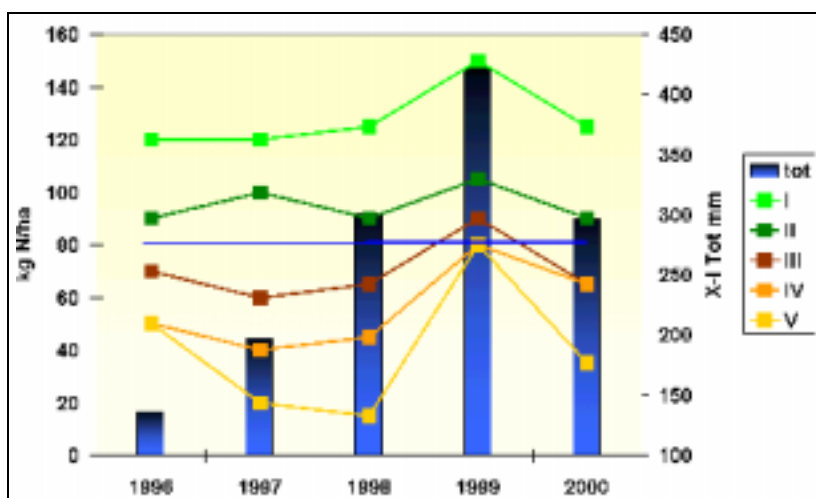


Figure 15.  
Niveaux des valeurs moyennes optimales de fumure minérale azotée conseillée pour la betterave, de 1996 à 2000, selon les situations les plus courantes et la pluviométrie de l'hiver (avis établis par le réseau Réquasud).

**Légende:**

X-I Tot mm: pluviométrie totale de octobre à janvier, à Uccle (norme: 275 mm, ligne bleue horizontale)

kg N/ha: valeur moyenne conseillée de fumure minérale azotée par hectare

I: précédent céréale sans apport de matière organique, paille enfouie

II: précédent céréale sans apport de matière organique, paille enlevée (avec ou sans engrais vert)

III: précédent céréale avec apport de fumier sous engrais vert, paille enlevée

IV: précédent céréale avec apport de lisier sous engrais vert, paille enlevée

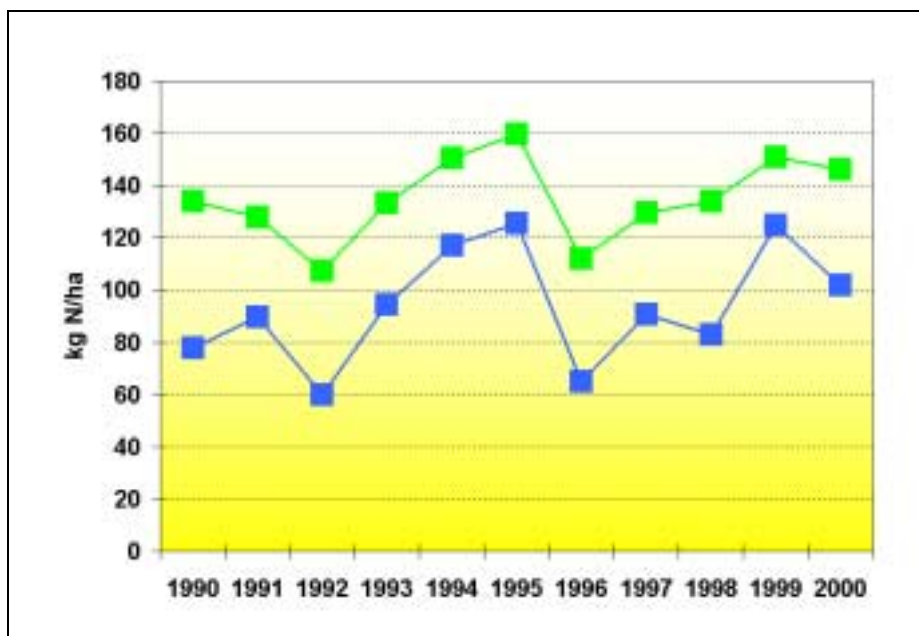
V: précédent céréale avec apport de fiente de poule (8 t/ha) sous engrais vert, paille enlevée

**Avis généralisés proposés par le Service Pédologique de Belgique**

Les avis de fumures azotées proposés par le Service Pédologique de Belgique sont établis selon deux situations : via l'analyse standard de la couche superficielle (0 - 23 cm) du sol et via la méthode de l'index azote basée sur des échantillonnages en profondeur du sol, prélevés par couche de 30 cm, jusqu'à 90 cm.

Un avis de fumure azotée est établi pour certaines parcelles selon la l'analyse standard du sol, sur base de facteurs tels que la moyenne des besoins en azote pour la culture, la teneur en humus de la couche superficielle (pourcentage en carbone), le type de sol, le précédent, la rotation complète (effet des engrais verts, des précédents légumineuses,...) et l'arrière effet éventuel d'anciennes prairies. A l'inverse des avis très détaillés de fumure azotée basés sur la méthode de l'index azote (cfr 3.3. Avis individualisés spécifiques à la parcelle), les avis généralisés établis par l'analyse standard de sol doivent être interprétés comme une recommandation orientative. Ces avis suffisent pour une rotation classique. Par contre, lors de l'utilisation de différents types de matière organique (fumier, compost, ...), d'autres facteurs doivent être pris en compte, en plus de celui de la réserve en azote minéral du profil du sol, pour pouvoir établir un avis précis. C'est ce qui est réalisé par la méthode de l'index azote.

Un aperçu de l'évolution des avis de fumure moyens, basé sur les statistiques des avis individualisés spécifiques à la parcelle, est publié chaque année par le Service Pédologique de Belgique, selon l'historique de la parcelle. La figure 16 présente la moyenne des avis de fumure azotée de ces 10 dernières années établis pour la betterave, selon que les parcelles ont reçu ou non une application d'effluent d'élevage avant l'échantillonnage.



Figuur 16.  
Evolutie van de gemiddelde stikstofbestedingsadviezen voor bieten op basis van de N-indexmethode van de Bodemkundige Dienst van België :  
- in groen : algemeen advies voor percelen zonder organische bemesting  
- in blauw : algemeen advies voor percelen met organische bemesting

L'effet de l'azote issu de l'application d'effluent d'élevage apparaît clairement sur cette figure. La publication de cet aperçu est destinée à permettre aux agriculteurs de comparer le niveau de leur avis individualisé avec celui de l'avis généralisé. Les avis individualisés établis par la méthode de l'index azote révèlent cependant une telle variation (grandes différences au niveau de la fourniture en azote spécifique à la parcelle) qu'il faut rester prudent avec les valeurs proposées par les avis généralisés.

### **3.3.3 Avis individualisés, spécifiques à la parcelle**

L'avis individualisé est établi d'après l'analyse du sol de la parcelle, réalisée par un laboratoire d'analyse spécialisé (voir liste en annexe). Il est l'avis le plus adapté aux caractéristiques d'une parcelle en particulier.

#### **Avis établis par la chaîne Nitrates du réseau Réquasud**

Depuis 1995, le Centre de Recherches Agronomiques de Gembloux a développé un système d'avis individualisé de fumure basé sur une méthode mise au point par des scientifiques de l'INRA de Laon (France).

Cette méthode, dénommée « méthode Azobil », intègre la production d'azote minéral par le sol dans le calcul de la fumure.

La production d'azote minéral est estimée d'après la quantité présente en fin d'hiver, pour un prélèvement jusqu'à 90 cm et d'après la quantité qui sera produite par le sol au cours de la période de végétation de la culture.

L'emploi de cette méthode, adaptée aux conditions belges, a été proposé par le Centre de Recherches Agronomiques (CRA) de Gembloux aux laboratoires d'analyses de la chaîne Nitrates (laboratoires de mesure de l'azote minéral et d'avis de fumure) du réseau Réquasud. Ceux-ci collectent les renseignements nécessaires et réalisent les analyses de deux paramètres indispensables à l'avis de fumure par la méthode Azobil, à savoir :

- le contenu en azote minéral du profil, par couches de 30 cm et jusqu'à 90 cm,
- le taux de carbone organique dans la couche 0 – 30 cm

Selon les cas, le laboratoire d'encadrement référentiel de la chaîne Nitrates du Réseau Réquasud (CRA, Gembloux) détermine ou conseille l'avis de fumure à l'aide du logiciel Azobil.



La démarche en cours entamée entre les divers laboratoires du réseau Réquasud est d'harmoniser les appréciations qui conduisent à l'établissement de l'avis de fumure. Elle est également de limiter les divergences antérieures trouvant leurs origines dans la complexité du calcul précis de fumure minérale azotée.

Le logiciel Azobil permet d'apprécier avec un maximum de précision les situations où le stock d'azote minéral dans le profil est important (situations souvent les plus délicates à apprécier). Il présente aussi la possibilité de corriger l'avis de fumure sur base des précipitations printanières rencontrées localement.

### **Avis établis par le Service Pédologique de Belgique**

Le Service Pédologique de Belgique réalise également de très nombreuses analyses de sol pour la culture de la betterave, en début d'année, en Belgique et dans le Nord de la France, afin de déterminer leur réserve en azote minéral. Des avis très précis de fumure minérale sont établis par la méthode de l'index azote (N-index).

La méthode de l'index azote détermine la quantité d'azote disponible et celle qui le sera pour la culture de la betterave. L'avis de fumure est établi sur base de la valeur de l'index azote. L'index azote est établi sur base de 18 éléments qui ont chacun un effet spécifique sur la fourniture de l'azote par le sol.

Ces éléments peuvent être répartis en trois groupes qui sont:

- l'azote minéral disponible dans le sol au moment de l'échantillonnage,
- les facteurs qui, après l'échantillonnage, vont favoriser la disponibilité de l'azote pour la culture,
- les facteurs qui ont une incidence négative sur la disponibilité de l'azote.

Des échantillons de sol sont prélevés, par couche de 30 cm, jusqu'à 90 cm de profondeur, afin de déterminer l'azote disponible dans le sol. L'analyse de ces diverses couches permet d'avoir une bonne représentation de la répartition de l'azote dans le profil du sol. La mesure faite jusqu'à 90 cm de profondeur est essentielle pour la betterave puisqu'elle peut aller prélever en profondeur l'azote disponible. Les échantillons de sol sont prélevés de janvier à mai. Un échantillonnage plus précoce (avant l'hiver) n'est pas adapté à la méthode de l'index azote. Dans ce cas, la quantité et la distribution de l'azote minéral dans le profil du sol peut encore fortement évoluer et aboutir à l'établissement d'un avis insuffisamment fiable. L'azote minéral (N-NO<sub>3</sub> et N-NH<sub>4</sub>) de chaque

échantillon de sol (par 30 cm) est analysé. Les résultats de l'analyse, corrigés selon le poids spécifique apparent des couches de sol, sont exprimés en kg/ha. Un contrôle de la qualité de l'échantillon est établie par le dosage de l'azote ammoniacal. Une teneur trop élevée en azote ammoniacal peut être à l'origine d'une erreur pendant ou après l'échantillonnage ou due au fait que l'échantillon a été prélevé sur une parcelle récemment fertilisée. Un complément d'information est demandé dans ce cas. Les valeurs mesurées sont communiquées sur le bulletin d'analyse.

Une grande quantité d'azote minéral issu de la minéralisation de l'humus du sol est chaque année disponible pour la betterave. Cette minéralisation est prise en compte dans la méthode de l'index azote selon l'élément carbone. Celui-ci est basé sur la teneur en carbone de la couche supérieure du sol, la texture du sol et le système racinaire de la culture. La stimulation de la minéralisation par un chaulage récent ou par le labour d'une prairie est également prise en compte. La détermination de la valeur des autres éléments qui favoriseront la production d'azote après l'échantillonnage est établie selon diverses informations relatives à la parcelle. Divers précédents (pois, haricots, betterave,...) doivent être pris en compte, en fonction de l'azote issu des restes de récolte. La fourniture d'azote par un engrais vert est fonction du type utilisé et de son développement. Lors de l'application d'une fumure organique, la quantité d'azote minéral libérée par la fraction organique au cours de la saison de végétation est également évaluée. La quantité, le type de matière organique et la date de son application doivent être communiqués.

Les éléments qui interfèrent avec le processus de minéralisation interviennent négativement dans le calcul de l'index azote. Une structure trop compacte ou un pH trop faible du sol peuvent freiner la minéralisation. En fonction de la date de prélèvement, de la texture du sol et de la culture, un lessivage éventuel de l'azote pendant la période comprise entre le moment de l'échantillonnage et le moment du prélèvement maximum de l'azote par la culture est pris en compte.

La formule générale de l'établissement de l'avis de fumure azotée est du type:

$$\text{Avis Azote (kg N/ha)} = A - b * \text{index azote}$$

Après de nombreuses années d'essais, dont certains réalisés antérieurement en collaboration avec l'IRBAB (Boon & Vanstallen, 1983), sur base du coefficient de corrélation entre l'index azote et la dose optimale de fumure azotée et sur base de la littérature, les valeurs de A et b ont été établies pour chaque culture. La date d'arrachage est également prise en compte dans le cas spécifique de

la betterave pour l'établissement de l'avis de fumure. Un avis de fumure légèrement inférieur est proposé pour un arrachage précoce. La base de l'avis de fumure est une donnée qui est régulièrement affinée sur base des résultats de la recherche.

#### **Avis établis par d'autres laboratoires**

Depuis quelques années, la sucrerie de Furnes proposent également à sa clientèle betteravière de réaliser des analyses de sols pour obtenir un avis de fumure azotée. Cette analyse est réalisée par la méthode EUF (électro-ultra filtration) en Allemagne. Elle se base sur un échantillonnage réalisé en juillet, dans la couche arable 0 - 30 cm. L'azote minéral qui sera libéré par minéralisation ou qui sera présent dans le sol avant le semis de la betterave est évalué par cette technique. Les autres éléments minéraux présents dans cette couche de sol (phosphore, potassium, magnésium, sodium, calcium, bore, ...) sont également déterminés au cours de cette analyse. Environ 2/3 de la clientèle de la sucrerie de Furnes pratiquent ces analyses.

De nombreuses institutions, provinciales ou régionales, encouragent les agriculteurs à recourir à l'analyse de sol et à l'avis de fumure individualisé pour gérer la fumure azotée de leurs cultures. Certaines interviennent directement à ce niveau par l'octroi de subsides ou de primes. Les laboratoires d'analyses vous renseigneront certainement à ce sujet.

## 4. Conclusions

- **l'azote est un facteur important dans l'élaboration du rendement financier de la betterave. Son apport ne doit pas être sous estimé, ni surestimé, mais correctement évalué**
- **l'humus du sol, le reliquat de la culture précédente, les engrais minéraux et les matières organiques doivent assurer ensemble un apport total de 280 kg N/ha pour répondre aux besoins et caractéristiques de la betterave**
- **le coût d'une analyse réalisée pour l'avis de fumure azotée ne constitue pas une dépense, mais un investissement dans une culture, établie dans l'esprit d'une optimisation du rendement et d'une démarche de qualité**
- **une gestion optimale des apports d'azote privilégie l'analyse du sol et celles des matières organiques utilisées. L'avis de fumure obtenu par le bilan théorique de l'IRBAB permet d'approcher le rendement financier maximal par hectare**
- **certaines matières organiques sont très riches en azote (lisier, fiente de poule, ...) qu'elles libèrent rapidement, mais parfois de façon moins contrôlable lorsqu'elles sont appliquées au printemps**
- **lorsque la législation environnementale le permet, l'apport des quantités d'azote nécessaires via l'utilisation de matières organiques ne peut dépasser 2/3 de la dose totale conseillée.**
- **Comme les autres paramètres de culture, la fumure azotée veille à produire un maximum de sucre blanc par hectare, au moindre coût et dans le respect des législations environnementales**

## **Remerciements**

Nous remercions Monsieur J.P. Destain, du Département Production Végétale (Centre de Recherches Agronomiques de Gembloux) et Monsieur J. Bries, du Service Pédologique de Belgique pour leurs commentaires apportés à la rédaction de ce fascicule.

## Bibliographie

- Boon, R. & Vanstallen, R., 1983. Avis de fumure azotée pour betteraves sucrières sur base de l'analyse de terre. Proceedings of the IIRB Symposium on "Nitrogen and sugar beet", 433-445.
- Bries, J., Monin, B., Vandendriessche, H., Smeets, E., Geypens, M., 1994. Influence des engrais verts sur les conseils de fumure azotée en betteraves sucrières. Le Betteravier, février, No 292, 36-37.
- Duval, R., 1998. Fertilisation azotée: raisonnement des doses par la méthode du bilan. Le Betteravier Français, No 708, 13-16.
- Crohain, A., Rixhon, L., 1968. La valeur fertilisante pratique d'un engrais vert de vesce, d'une paille de céréale et d'écumes de sucrerie. Bull. Rech. Agron. Gembloux, 3, 392-429.
- Decoux, L., 1946. La production de la betterave sucrière aux Etats-Unis, au lendemain de la guerre. Publication de l'IBAB, 14/3, 49-132.
- Decoux, L., Vanderwaeren, J., 1934. Prescriptions générales pour la culture de la betterave. Publication de l'IBAB, 2/1, 15-20.
- Droeven, G., Rixhon, L., Crohain, A., Raimond, Y., 1980. Long term effects of different systems of organic matter supply on the humus content and the structural stability of soils with regard to the crop yields in loamy soils. Proceedings of the land Use Seminar on soil degradation, Wageningen, 1980, 203-222.
- Frankinet, M., Raimond, Y., Rixhon, L., Destain, J.P., Grevy, L., 1986. Gestion des matières organiques: résultats de 25 années d'essais. in: Colloque "la Gestion de la Matière Organique des Sols", Ath, 10/12/1986, 16 pp.
- Geypens, M. & Honnay, J.P., 1995. Landbouwkundige en milieugerichte functies van de organische stof in bodem. Edt IWONL. Comité voor Onderzoek van de Organische Stof in de Bodem, 167 pp.
- Hermann, O., Vereerstraeten, R., Clotuche, P., Peeters, A., 1996. Incidence de différents types de jachères sur la culture de la betterave et sur la disponibilité de l'azote. Le Betteravier, juin, No 318, 7-8.
- Hofman, G., Ossemerct, C., Van Cleemput, O., Ide, G., Van Ruymbeke, M., 1979. L'avis de fumure azoté pour betterave sucrière basé sur le reliquat azoté du profil à la fin de l'hiver est prometteur. Publication de l'IBAB, 47/4, 195-210.
- Jorritsma, J., 1985. De teelt van suikerbieten. IRS Edt, 286 pp.
- Legrand, G., Misonne, J.F., 1999. Les boues de stations d'épuration ont-elles un intérêt agronomique pour la filière betterave-sucre ? Le Betteravier, février, No 347, 49-52.
- Legrand, G., Tits, M., Hermann, O., Vandergeten, J.P., Vanstallen M., Vigoureux, A., Wauters, A., Misonne, J.F., 1992. Mémento IRBAB/KBIVB, 1932-1992. IRBAB Edt, 308 pp.
- Legrand, G., Vanstallen, M., Meeüs, K., Destain, J.P., 2000. Suivi hivernal et printanier du profil azoté dans les plates-formes d'essais de l'IRBAB. Le Betteravier, juin, No 362, 9-10.
- Märländer, B., Windt, A., 1996. Entwicklung des Faserwurzelsystems und dessen Bezug Nährstoffaufnahme und Wachtsum der Zuckerrübe. Proceedings of the 59th IIRB Congress, 187-198.
- Meeüs, K., Destain, J.P., Vrebos, D., Toussaint, B., Legrand, G., 2000. Utilisation du logiciel Azobil en région wallonne dans le cadre de campagnes d'avis de fumure REQUASUD. Le Betteravier, février, No 358, 27-28.
- Roussel, N., Jardin, A., Roelants, W., 1974. La fumure minérale azotée pour betterave sucrière. Publication de l'IBAB, 42/3, 121-143.
- Seynnaeve, M., 2000. Onderschreiden maximale reststikstofgrens geen eenvoudige zaak ! Landbouw & Techniek, Augustus, 11-13.
- Truyens, L., Vanstallen, R., Vlassak, K., 1975. Etude comparative de l'emploi de lisier et de fumier en culture betteravière. Publication de l'IBAB, 43/4, 149-162.
- Vandergeten, 1992. Betterave: localisation de l'azote au semis: bilan de 4 années d'expérimentations par l'IRBAB. Le Sillon Belge, 17/04/1992, 17-18.
- Vandergeten, J.P., Duval, R., Vereerstraeten, R., 1997. Enfouissement localisé de doses réduites d'engrais azoté en culture betteravière: aspects économiques, mécaniques et écologiques. Proceedings of the 60th IIRB congress, 63-90.
- Vandergeten, J.P., Vanstallen, M., Guiot, J., Goffart, J.P., Hofman, G., Van Meirvenne, M., Destain, J.P., François, E., Vlassak, K., Geypens, M., Vandendriessche, H., 1992. Impact de nouvelles techniques d'application d'azote en betteraves sucrières sur le rendement et l'environnement. Revue de l'agriculture, 45/2, 363-379.
- Vandergeten, J.P., Vereerstraeten, R., 1996. Détermination théorique de la fertilisation azotée de la betterave. Le Betteravier, février, No 314, 25-26.
- Vanstallen, M., Vandergeten, J.P., Degeest, P., 1994. L'application de matières organiques et la localisation d'azote au semis : une bonne combinaison pour la betterave sucrière. Le Betteravier, février, No 292, 33-34.
- Vanstallen, R., Vandergeten, J.P., 1985. Fumure en culture betteravière. Edt IRBAB/KBIVB, 36 pp.
- Vereerstraeten, R., 1999. Reliquat azoté après betterave. Le Betteravier, février, No 347, 43-44.
- Vereerstraeten, R., Bries, J., Hofman, G., 1999. Fumure organique en betterave sucrière. Le Betteravier, février, No 347, 45-48.
- Vereerstraeten, R., Engels, P., Vandergeten, J.P., 1995. Analyses de sol, des avis de fumure applicables à grande échelle ? Le Betteravier, février, No 303, 36-38.
- Vereerstraeten, R., Hofman, G., Vandergeten, J.P., 1997. Etude de la dynamique de l'azote dans le sol et possibilité d'ajustements des avis de fumure azotée pour la betterave selon les besoins économique et écologique actuels. Proceedings of the 60th IIRB Congress, 379-385.

- Vereerstraeten, R., Meeùs, K., Hofman, G., 1998. Evolution de l'azote dans le profil du sol. Le Betteravier, février, No 336, 40-42.
- Vereerstraeten, R., Vandergeten, J.P., 1999. La fertilisation azotée de la betterave sucrière sur base du bilan théorique de l'IRBAB. Quelles quantités d'azote après l'hiver pluvieux 1998-1999. Le Betteravier, mars, No 348, 7-8.
- Vereerstraeten, R., Meeùs, K., Hofman, G., 1999. Minéralisation de l'azote 1998. PAS anormale ? Le Betteravier, février, No 347, 39-42.
- Ver Elst, P., Vanongeval, L., Bries, J., 1999. Praktijkgids bemesting suikerbieten. Edt Bodemkundige Dienst van België, 64 bzd.
- Vlassak, K., Jeurissen, C., Vanstallen, R., 1983. Effets du prélèvement d'azote par la plante sur la croissance et le rendement de la betterave sucrière. Publication de l'IRBAB, 51/3, 115-127.
- Vlassak, K., Vandergeten, J.P., Vanstallen, M., 1990. Effect of nitrogen fertilizer placement on yield and quality of sugar beets. 10th World Fertilizer Congress of CIEC, Nicosia, Cyprus, 21-27/10/1990, 313-320.

Nous nous sommes inspirés, pour la rédaction de cette brochure, de nombreuses recherches faites à l'IRBAB, mais également des travaux et de l'expérience de nombreux chercheurs, souvent cités dans des ouvrages de vulgarisation. Nous sommes donc conscients que de nombreuses références bibliographiques originelles peuvent faire défaut.

Adresses en Belgique où un avis de fumure azotée peut être obtenu pour la culture  
de la betterave sucrière

asbl **Agri-Qualité** :

Laboratoire de la Qualité du Lait  
Resp : E Piraux  
Chemin St Landry, 35, bte 2  
**7060 Soignies**  
Tél : 067 33 32 68 – Fax : 067 33 47 56

asbl **Brabant Wallon Agro-Qualité**

Centre Provincial de l'Agriculture et de la Ruralité  
Resp : F Demeuse  
Rue St Nicolas, 17,  
**1310 La Hulpe**  
Tél : 02 653 40 97 – Fax : 02 652 15 79

asbl **CARAH** :

Laboratoires du CARAH,  
Resp : M Van Koninckxloo  
Rue Paul Pastur, 11  
**7800 Ath**  
Tél: 068 26 46 50 - Fax : 068 28 56 60

asbl **Céréales Plus**

Station Provinciale d'Analyses Agricoles  
Resp : D Vanvyve  
Rue de Dinant, 119a,  
**4557 Tinlot-Scry**  
Tél : 085 51 15 21 – Fax : 085 51 26 66

asbl **Iqualux**

Centre d'Information agricole de la Province du  
Luxembourg  
Resp : B Toussaint  
Michamps  
**6600 Bastogne**  
Tél : 061 21 18 32 – Fax : 061 21 18 17

asbl **OPA Qualité Ciney**

Laboratoire de l'Office Agricole de la Province de  
Namur

Resp : J Balon  
Domaine de St Quentin  
**5590 Ciney**  
Tél : 083 21 47 03 – Fax : 083 21 76 03

**Département Production Végétale**

Centre de Recherches Agronomiques de  
Gembloux  
Resp. : M. Frankinet  
Laboratoire de référence pour la chaîne Nitrates du  
réseau Réquasud  
Rue du Bordia, 4,  
**5030 Gembloux**  
Tél : 081 62 50 18 – Fax : 081 61 41 52

**Service Pédologique de Belgique**

Resp. : M. Geypens  
W. de Croylaan, 48,  
**3001 Heverlee**  
tel. : 016 31 09 22 – Fax : 016 22 42 06

**Vakgroep Bodembeheer & Bodemhygiene,**

Faculteit Landbouwkundige & Toegepaste  
Biologische Wetenschap, Universiteit Gent  
Resp.: G. Hofman  
Coupure, 653,  
**9000 Gent**  
Tél.: 09 264 60 54 - Fax: 09 264 62

**Suikerfabriek van Veurne**

Resp.: M. Neyrinck  
Zuidburgweg 40  
**B-8630 Veurne**  
Tél: 058 31 01 90 - Fax: 058 31 43 61