

# Minéralisation de l'azote de la vinasse de sucrerie apportée à la betterave

Caroline Le Roux<sup>1</sup>, Nathalie Damay<sup>1</sup>, Jean-Michel Chassine<sup>2</sup>, Jean-Marie Machet<sup>3</sup>

<sup>1</sup> LDAR : Laboratoire Départemental d'Analyses et de Recherche de l'Aisne – [cleroux@cg02.fr](mailto:cleroux@cg02.fr),  
[ndamay@cg02.fr](mailto:ndamay@cg02.fr)

<sup>2</sup> Tereos – Service agronomie Origny-Sainte-Benoite - [jmchassine@tereos.com](mailto:jmchassine@tereos.com)

<sup>3</sup> INRA : Institut National de la Recherche Agronomique – Unité AgroImpact Laon-Mons – [machet@laon.inra.fr](mailto:machet@laon.inra.fr)

## I. Contexte

Les vinasses sont des coproduits issus de l'industrie sucrière, obtenus lors de la production de sucre et d'alcool à partir de la betterave à sucre. Après cristallisation et extraction du sucre, les sirops sucrés sont dilués et entrent en fermentation sous l'action de levures. La distillation permet de séparer les alcools de la vinasse qui est ensuite concentrée. Elles sont utilisées en tant que fertilisant pour les cultures conventionnelles et biologiques et répondent aux critères de la norme NF U42-001.

L'objectif, pour une coopérative telle que Tereos est d'assurer un conseil de qualité à ses planteurs. Les expérimentations ont été réalisées dans le cadre des partenariats historiques entre la profession sucrière, dont Tereos d'une part et l'INRA et le LDAR d'autre part. Des essais ont été mis en place depuis les années 2000 pour assurer le suivi des épandages de produits organiques tels que les vinasses de sucrerie et leur valorisation par les cultures. Les protocoles d'essais ont évolué avec l'arrivée de l'outil d'aide à la décision AzoFert® avec l'objectif de valider les concepts et la bonne prise en compte des effets des produits organiques dans les conseils de fertilisation azotée, en lien avec l'évolution de la réglementation.

Depuis 2005, des essais de plein champ ont été conduits annuellement afin d'évaluer l'effet azote de vinasse de sucrerie en interaction avec les cultures intermédiaires. Les mesures réalisées permettent d'évaluer la valeur azotée de la vinasse de sucrerie en conditions de plein champ en intégrant la variabilité interannuelle des conditions climatiques et l'effet des pratiques culturales au cours de la période d'interculture. Elles fournissent aussi des informations sur la dynamique de l'azote minéral dans le sol. Enfin, les conséquences en matière de gestion de la fertilisation azotée de la betterave sont également évaluées. L'ensemble des résultats permet de valider la prise en compte des effets de l'apport de vinasse et de l'implantation des cultures intermédiaires, ainsi que la pertinence des conseils de fumure fournis par l'outil d'aide à la décision AzoFert®.

## II. Matériels et méthodes

### II.1. Présentation des sites

Dans cet article sont présentés les résultats de huit années d'essais conduits entre 2005 et 2013 dans le nord du département de l'Aisne (02). Les essais ont été conduits chez trois agriculteurs différents sur des communes voisines à proximité de la sucrerie d'Origny-Sainte-Benoite (02). Les sols sont relativement homogènes, il s'agit de limons profonds du Saint-Quentinois. Les contextes pédoclimatiques et les systèmes de culture sont similaires. Les essais ont été implantés après un précédent céréale dont les pailles ont été enfouies. Les trois agriculteurs ont des habitudes d'apports réguliers de produits résiduels organiques (PRO) issus de sucrerie, que ce soient des boues ou des vinasses. Des cultures intermédiaires sont

régulièrement implantées depuis un certain nombre d'années, au-delà des exigences réglementaires. Les parcelles sont à potentiel élevé et à bonne réserve utile en eau. Par ailleurs, les agriculteurs ont une bonne technicité.

Le dispositif porte sur le suivi annuel de parcelles de betteraves. Les parcelles étudiées sont proches de la sucrerie et la betterave revient tous les 2 à 3 ans sur ces mêmes parcelles.

## **II.2. Caractérisation des vinasses**

Les vinasses épandues sont des produits répondant à la norme NF U42-001-2 qui s'applique aux matières fertilisantes organiques. Au moins l'un des critères suivants doit être respecté :

- contenir un minimum de 3% sur matière brute de l'un des éléments majeurs (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O)
- la somme des 3 éléments majeurs (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) est supérieure ou égale à 7 %.

Pour répondre à la norme, les produits ne doivent pas contenir d'azote organique de synthèse. Pour les vinasses de betterave, la teneur en azote doit être au minimum de 1.5 % et la teneur en potassium doit être au moins égale à 5% exprimée en K<sub>2</sub>O.

Une cinétique de minéralisation relative au carbone et à l'azote du produit a été caractérisée par des essais de laboratoire. Chaque année, avant l'épandage, des analyses du produit ont été réalisées.

## **II.3. Protocole expérimental**

Les modalités testées sont :

- apport de vinasse en août suivi ou non d'une culture intermédiaire
- témoin sans apport de vinasse avec ou sans culture intermédiaire
- apport de vinasse au printemps sans implantation préalable d'un couvert végétal

Les vinasses sont apportées à une dose moyenne de 3,3 T/ha (entre 3 et 3.6 T/ha selon les années). La teneur en azote total est en moyenne de 22 kg de N par tonne de produit et la matière sèche est de 49 g/100g, soit un apport total moyen de 73 kg N/ha.

La culture intermédiaire implantée est une moutarde blanche *Sinapsis alba*, de variété anti-nématodes « Accent » ou « Athlet ». Elle a été semée entre le 20 août et le 5 septembre selon les années à une dose moyenne de 10 kg par hectare. Le dispositif a évolué au cours du temps avec l'introduction de cultures intermédiaires en mélange (crucifères-légumineuses) ces dernières années. Les résultats ne sont pas présentés ici.

La culture principale est une culture de betterave implantée au cours des deux dernières décades de mars. Les variétés semées sont des variétés tolérantes aux nématodes (« Julietta », « Cactus »).

Pour chacune des modalités, différentes doses d'azote sont épandues afin d'établir la courbe de réponse sur la culture de betterave. Les doses testées sont le témoin sans apport d'azote minéral, et les doses de 40, 80, 120 et 160 kg N/ha. L'azote minéral est apporté sous forme ammonitrate. Ces doses encadrent la dose conseillée par AzoFert® a posteriori.

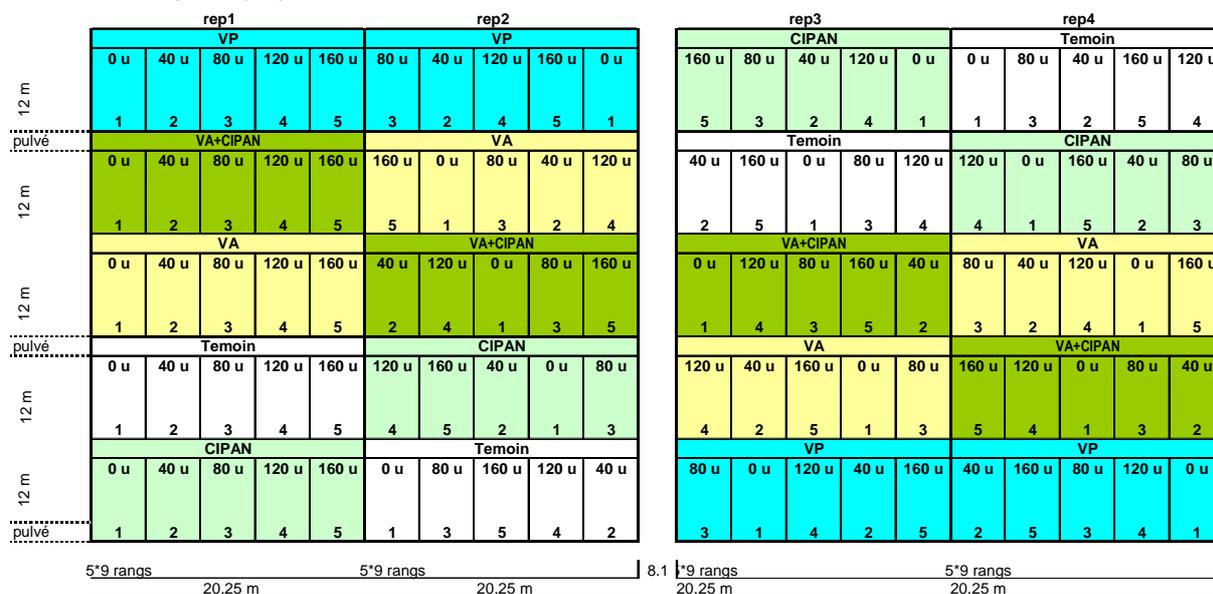
Les essais comportent quatre répétitions randomisées avec 9 à 12 rangs par micro-parcelle selon les années.

La dose optimale est déterminée pour chacune des modalités et chacun des essais. Elle correspond à la dose d'azote minimale pour laquelle le rendement en sucre par hectare est statistiquement le plus élevé.

## ESSAI VINASSES 2010-2011

### DISPOSITIF

4 répétitions  
Parcelle élémentaire 12 m \* 4,05m (9rgs)  
Total = 100 parcelles (25\*4)



Témoin : 0 vinasse, sol nu, apport KCl (300 kgs)  
VA : vinasse aout, sol nu  
VA+CIPAN : vinasse aout + CIPAN moutarde  
CIPAN : CIPAN moutarde  
VP : sol nu, apport vinasse printemps

Figure 1 : Exemple du dispositif appliqué pour l'essai de 2010-2011

## II.4. Mesures réalisées et déterminations analytiques sur les sols et les plantes

Avant implantation des essais, une analyse physico-chimique de sol est effectuée afin de bien caractériser les parcelles.

L'évolution du stock d'azote minéral (N nitrique et N ammoniacal) est suivie à différentes dates : post-récolte du précédent (août), entrée-hiver (novembre), sortie-hiver (fin janvier/début février) et début mars dans quelques situations. Ce suivi a été réalisé sur 4 horizons de 30 cm et deux répétitions par modalité.

Des prélèvements de cultures intermédiaires sont effectués chaque année début novembre avant leur destruction afin de déterminer la biomasse aérienne (en t MS/ha) et les teneurs en carbone et en azote. Entre 2006 et 2009, des mesures racinaires ont été effectuées afin d'estimer le rapport racines/feuilles et les teneurs en C et N des racines.

Début octobre de l'année suivante, avant la récolte de la betterave, des prélèvements sur les modalités sans apport d'azote minéral sont réalisés afin de déterminer les quantités de carbone et d'azote dans les différents compartiments de la betterave (feuilles et racines). La récolte machine a permis de déterminer des paramètres complémentaires sur l'ensemble des traitements :

- le rendement en racines scalpées,
- la teneur en sucre des racines,
- le rendement en sucre par hectare,
- la teneur des racines en sucre mélasse, potassium, sodium, azote alpha-aminé et glucose qui sont des critères qualitatifs.

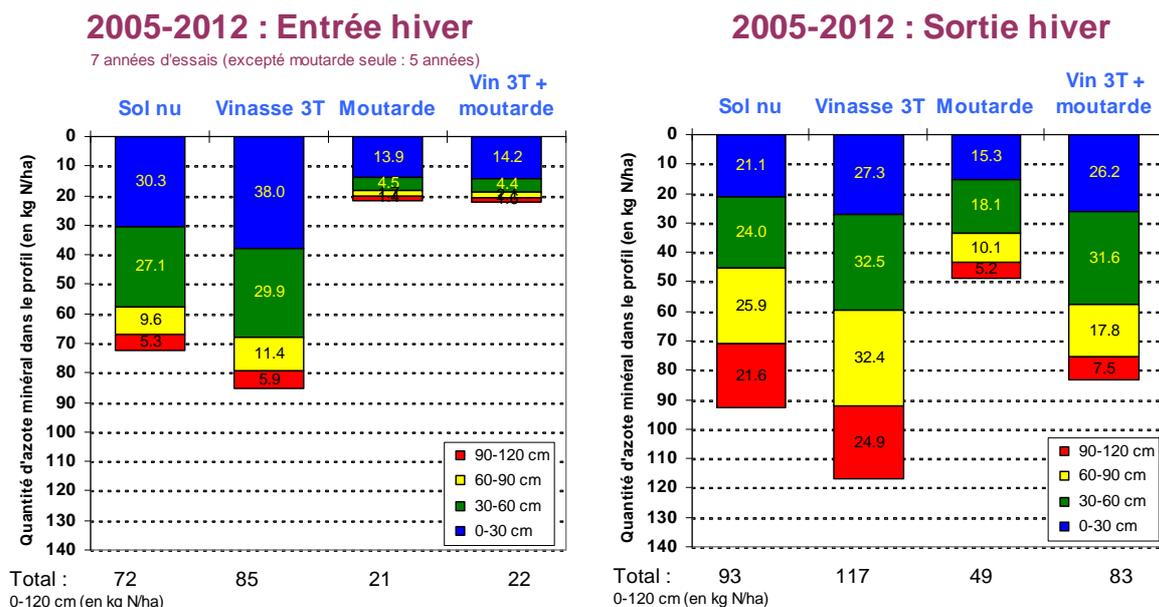
### III. Résultats

#### III.1. Résultats des mesures de stock d'azote minéral dans le sol

Les profils post-récolte, à l'implantation des essais, montrent dans la plupart des situations des niveaux de reliquat relativement faibles après des cultures de blé dont les pailles sont enfouies. Ils varient entre 15 et 63 kg N/ha sur une profondeur de 120 cm avec une valeur moyenne de 34 kg N/ha. Il faut noter que les reliquats les plus élevés correspondent à des dates de prélèvements plus tardives et la majeure partie de l'azote se trouve dans l'horizon de surface, ce qui traduit une minéralisation d'été liée à des conditions de température et d'humidité favorables. Dans les situations expérimentées, aucun cas de surfertilisation sur la culture du blé n'est observé.

Entre les mois d'août et de novembre, l'évolution des stocks d'azote est comparable pour les modalités avec implantation de moutarde, qu'il y ait apport ou non de vinasse : dans ces situations, il y a une diminution de la quantité d'azote minéral dans le sol pour atteindre des valeurs minimales lorsque la culture intermédiaire est détruite (figure 2a). Pour ces deux modalités, la quantité d'azote minéral présente dans le profil en novembre est en moyenne de 17 kg N/ha variant de 5 à 29 kg N/ha sur 120 cm. Il faut aussi noter que les situations où les quantités d'azote sont les plus élevées correspondent à des prélèvements plus tardifs (fin novembre ou début décembre), pour lesquels il peut se produire un début de minéralisation des résidus de moutarde enfouis précédemment.

Pour les autres modalités (sol nu avec ou sans apport de vinasse en août), on remarque qu'il y a augmentation de la quantité d'azote minéral du sol. Il provient de la minéralisation de l'humus du sol et les cas échéants de l'apport de vinasse. En émettant l'hypothèse que les pertes d'azote par lessivage sont nulles entre les mois d'août et de novembre, on peut donc approcher la quantité d'azote minéralisée par le sol entre ces deux prélèvements. En moyenne, la fourniture d'azote du sol est 38 kg N/ha pour le traitement sol nu mais il existe une forte variabilité entre les années. Pour l'automne 2009, entre le 21 août et le 1<sup>er</sup> décembre, cette fourniture est de 5 kg contre 66 kg pour l'automne 2006 où les conditions ont été très favorables à la minéralisation.



Figures 2 : Stocks moyens d'azote minéral dans le profil pour les différentes modalités :  
 2a : à la date de destruction de la culture intermédiaire (entrée-hiver)  
 2 b : en sortie d'hiver

Quelles que soient les années, on note une hausse de la quantité d'azote minéral dans le profil entre les prélèvements de novembre et janvier (figure 2b). Les éventuelles pertes par lessivage sont compensées par les fournitures d'azote du sol (minéralisation de l'humus du sol, des résidus du précédent, de la culture intermédiaire ou des vinasses). Cette hausse est d'autant plus importante pour les modalités en présence de culture intermédiaire, ce qui peut s'expliquer par de moindres pertes par lessivage et une minéralisation plus importante liée à la décomposition des résidus de moutarde.

Pour les parcelles sur lesquelles il y a des prélèvements au mois de mars, on note une hausse ou une baisse des quantités d'azote minéral selon les années et les conditions climatiques (quantité de précipitations).

Par comparaison entre les quantités d'azote minéral dans le profil pour les modalités « sol nu » et « sol nu avec apport de vinasse en août », on peut calculer le coefficient de minéralisation de l'azote de la vinasse sur la période automnale. En moyenne, ce coefficient de disponibilité de l'azote de la vinasse sur la période automnale est de 11 % mais il existe une forte variabilité entre les années. Pour les années où les conditions sont favorables à la minéralisation (automne 2006), 27 % de l'azote de la vinasse est minéralisée. Au contraire, sur les automnes 2009 et 2011, ce coefficient est proche de 0. En raison des risques de pertes par lixiviation, ces situations en sol nu à l'automne avec ou sans apport de vinasse ne sont plus pratiquées.

Des calculs des pertes par lixiviation et des concentrations en azote sous racinaire ont été réalisés à l'aide du modèle de Burns. Pour les différentes modalités, les résultats sont présentés dans le tableau 1. Ces estimations sont faites au-delà de la profondeur de 90 cm.

Tableau 1 : Estimation des pertes d'azote par lixiviation et des concentrations en azote sous-racinaire

	Quantité d'azote lixivié (kg N/ha)	Concentration en azote sous racinaire (mg/l)
Témoin	14.0	58.1
Moutarde	2.8	13.2
Vinasse	14.6	63.1
Vinasse + moutarde	3.1	14.2

En sol nu avec ou sans vinasse, les quantités d'azote lixivié sont très proches. De même, il existe peu de différence entre les modalités avec présence de culture intermédiaire. Par contre, on observe des différences entre les modalités avec implantation de moutarde et les modalités en sol nu. La culture intermédiaire joue effectivement son rôle de piège à nitrates.

### III.2. Résultats des mesures sur les cultures intermédiaires

Les prélèvements de culture intermédiaire permettent de mesurer les biomasses produites et les quantités d'azote absorbé (Tableau 2).

Au cours des premières années d'essais de 2006 et 2008, des prélèvements et analyses de racines de moutarde ont été effectués. Les racines participent à hauteur de 6.4 % à l'azote absorbé par les parties aériennes. Ce coefficient a été appliqué pour estimer les prélèvements des cultures les années où il n'y a pas eu de mesure sur les racines.

La moyenne des biomasses aériennes de moutarde est de 1.7 t de MS/ha pour les modalités sans apport de vinasse, cette valeur varie de 0.9 à 2.5 t MS en fonction des années. Les quantités de biomasse produites sont supérieures lors d'apport de vinasse, 2.3 t en moyenne.

Tableau 2 : Résultats des mesures sur les cultures intermédiaires

		Moutarde (avec apport de vinasse en août)				Moutarde (sans apport de vinasse)				
		Rendement (partie aérienne) T MS/ha	Quantité d'azote absorbé par les feuilles (kg N/ha)	Quantité d'azote absorbé par les racines (kg N/ha)	Quantité d'azote absorbé par la plante entière (kg N/ha)	Rendement (partie aérienne) T MS/ha	Quantité d'azote absorbé par les feuilles (kg N/ha)	Quantité d'azote absorbé par les racines (kg N/ha)	Quantité d'azote absorbé par la plante entière (kg N/ha)	CAU plante entière
2006-2007	<b>Moyenne</b>	<b>2.1</b>	<b>70.8</b>	<b>5.3</b>	<b>76.1</b>					
	écart-type	0.2	8.1	0.3	7.8					
2007-2008	<b>Moyenne</b>	<b>2.7</b>	<b>83.8</b>	<b>5.3</b>	<b>89.2</b>	<b>2.5</b>	<b>72.3</b>	<b>3.8</b>	<b>76.2</b>	<b>0.18</b>
	écart-type	0.3	6.8	1.0	6.4	0.1	8.3	0.4	8.7	
2008-2009	<b>Moyenne</b>	<b>1.8</b>	<b>57.6</b>	<b>4.3</b>	<b>62.0</b>	<b>1.3</b>	<b>39.0</b>	<b>3.2</b>	<b>42.2</b>	<b>0.28</b>
	écart-type	0.2	7.8	0.5	8.2	0.2	5.2	0.8	5.9	
2009-2010	<b>Moyenne</b>	<b>0.9</b>	<b>23.4</b>	<b>1.5</b>	<b>24.9</b>	<b>0.9</b>	<b>21.5</b>	<b>1.4</b>	<b>22.9</b>	<b>0.03</b>
	écart-type	0.2	4.6	0.3	4.9	0.1	2.6	0.2	2.7	
2010-2011	<b>Moyenne</b>	<b>2.3</b>	<b>52.5</b>	<b>3.4</b>	<b>56.0</b>	<b>1.5</b>	<b>38.1</b>	<b>2.5</b>	<b>40.6</b>	<b>0.19</b>
	écart-type	0.2	3.9	0.3	4.3	0.1	4.0	0.3	4.2	
2011-2012	<b>Moyenne</b>	<b>3.7</b>	<b>51.8</b>	<b>3.4</b>	<b>55.2</b>	<b>2.3</b>	<b>33.8</b>	<b>2.2</b>	<b>36.0</b>	<b>0.28</b>
	écart-type	0.3	2.9	0.2	3.1	0.5	6.7	0.4	7.1	
2012-2013	<b>Moyenne</b>	<b>2.6</b>	<b>47.7</b>	<b>3.1</b>	<b>50.8</b>	<b>1.9</b>	<b>33.3</b>	<b>2.2</b>	<b>35.4</b>	<b>0.27</b>
	écart-type	0.2	7.7	0.5	8.2	0.2	2.3	0.1	2.4	

Les quantités d'azote absorbé sont en moyenne de 42 kg N/ha sans apport de produit organique contre 59 kg N/ha lorsqu'il y a eu des apports de vinasse en août. On remarque que les teneurs en azote des parties aériennes sont plus faibles dans les situations où les conditions ont été favorables au développement des cultures, en raison du phénomène de dilution.

La différence entre les quantités d'azote absorbé par les cultures intermédiaires ayant ou non reçu des apports de vinasse rapporté à la quantité d'azote de la vinasse permet d'estimer un coefficient apparent d'utilisation par la culture intermédiaire. Ce coefficient est en moyenne de 0.2 mais présente une forte variabilité selon les années (de 0.03 à 0.28). Pour l'année 2009, les conditions climatiques ont été limitantes quant au développement de la culture intermédiaire, rapprochant cette modalité d'un sol nu. Ces conditions ont probablement limité aussi la minéralisation de la vinasse et du sol.

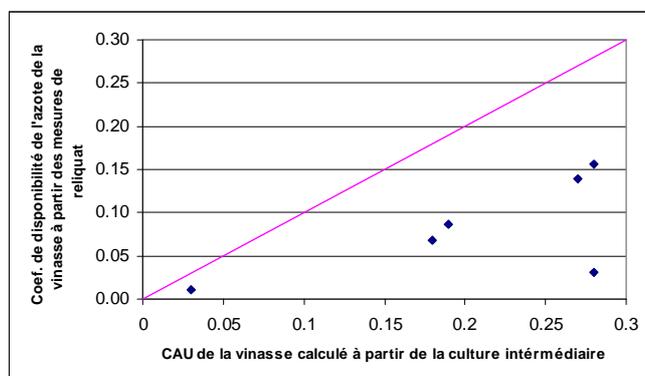


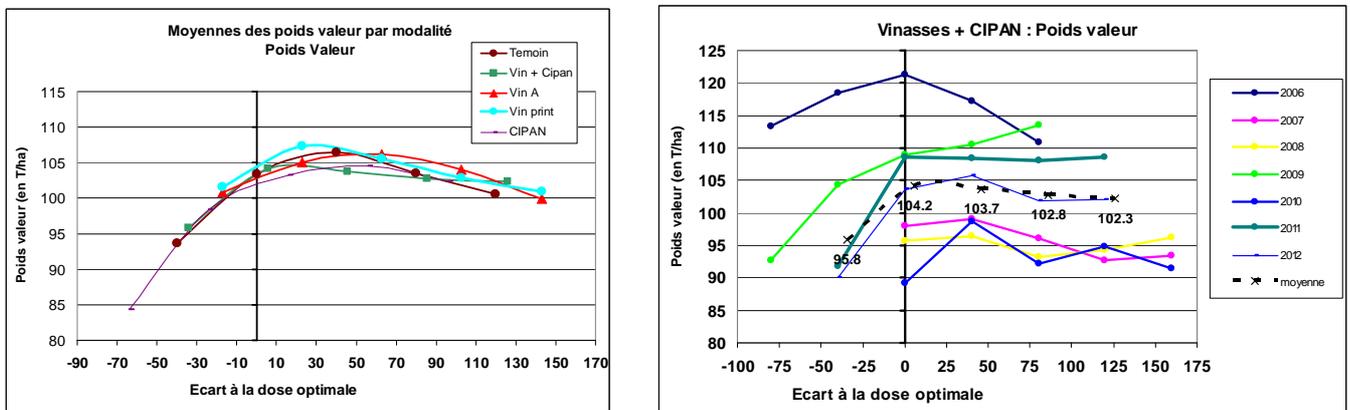
Figure 3 : Coefficients de disponibilité de l'azote de la vinasse à l'automne mesurés sur sol nu et en présence de culture intermédiaire

Les coefficients de minéralisation de l'azote déterminés à partir des suivis de reliquat sont inférieurs à ceux calculés à partir des mesures réalisées sur les cultures intermédiaires (figure 3). En sol nu, il est probable qu'une partie de l'azote produit par la minéralisation de la vinasse soit organisé par la biomasse microbienne du sol lors de la décomposition de la paille. De ce fait, on sous-estime sans doute la disponibilité de l'azote de la vinasse.

### III.3. Résultats des mesures sur les betteraves

#### Rendement

La figure 4a représente les courbes de réponse moyennes du poids valeur à l'engrais minéral pour les différentes modalités. Les points d'intersection entre les courbes et la barre verticale correspondent aux rendements optimums pour la modalité considérée. Le poids valeur est calculé à partir du rendement ramené à 16% de sucre pondéré par un coefficient qui est fonction des classes de richesse. Ce coefficient avantage les richesses comprises entre 17.5 et 19.5.



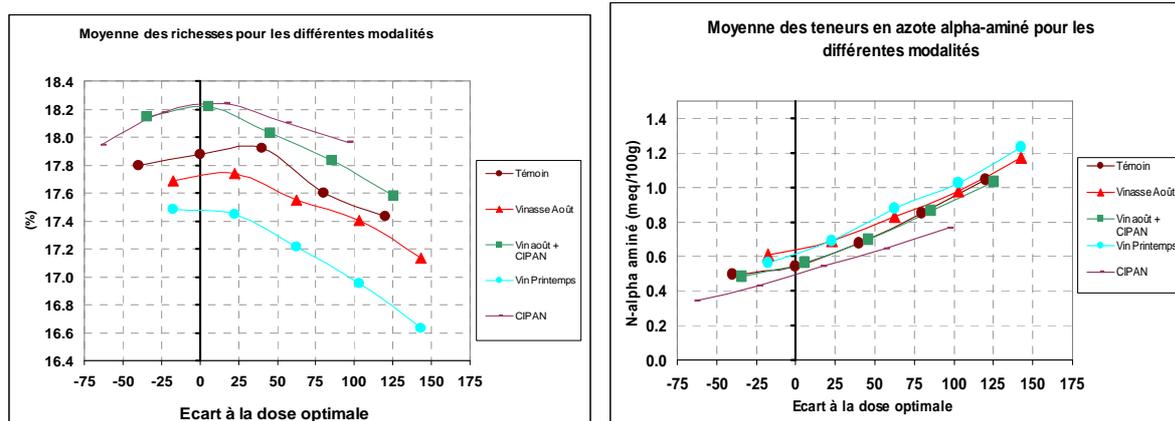
Figures 4 : Écart à la dose optimale pour les poids valeur  
4a : Courbe moyenne interannuelle pour chacune des modalités  
4b : Courbes annuelles pour la modalité « vinasse + Cïpan »

L'écart à la dose optimale le plus important pour les doses faibles est observé sur la modalité culture intermédiaire. Pour les modalités avec apport de vinasse sans culture intermédiaire, les doses les plus faibles présentent un moindre écart par rapport à la dose optimale. Les modalités « témoin » et « vinasse + culture intermédiaire » montrent une situation intermédiaire. Au-delà de l'optimum, les rendements diminuent.

Il existe une forte variabilité interannuelle pour une modalité donnée de la courbe de réponse pour le poids valeur. La figure 4b présente le cas des vinasses d'août avec implantation de culture intermédiaire, situation la plus représentative aujourd'hui. On observe trois types de courbe :

- le cas de non réponse à la fertilisation minérale (2007, 2008 et 2010),
- l'augmentation jusqu'à la dose optimale puis un plateau (2009, 2011 et 2012),
- l'augmentation jusqu'à la dose optimale puis décroissance (2006).

## Richesse et teneur en azote alpha-aminé



Figures 5 : Ecart à la dose optimale  
5a : pour la richesse  
5b : pour la teneur en azote alpha-aminé

Les richesses maximales correspondent à des fertilisations minérales faibles (figure 5a). Après la dose optimale, la richesse a tendance à diminuer rapidement. Par ailleurs, les modalités « témoin » et « vinasse + cipan » présentent les niveaux de richesse les plus élevés. A l'inverse, pour les apports de vinasse au printemps ou en août sans culture intermédiaire, les niveaux de richesse sont inférieurs. L'hypothèse d'une plus forte disponibilité en azote pour ces deux modalités est avancée.

La teneur en azote alpha-aminé croît avec l'augmentation de l'azote disponible dans le sol (figure 5b). A la récolte, l'azote alpha-aminé est le bon indicateur de la disponibilité de l'azote pour la betterave. La teneur évolue lentement jusqu'à la dose optimale, puis tend à croître de plus en plus rapidement. Les courbes moyennes masquent la variabilité entre les années.

## Détermination de la disponibilité en azote des vinasses pour la betterave

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des CAU

	Vinasse Août	Vinasse février	Vinasse Août+moutarde
Moyenne	0.56	0.49	0.14
Ecart-type	0.2	0.3	0.2

Par différence entre l'azote absorbé par les betteraves sur les modalités avec apport de vinasse et le témoin sol nu sans apport de produit organique ni culture intermédiaire, on peut calculer les coefficients apparents d'utilisation (CAU) de l'azote des vinasses pour la culture de betterave. Comme pour les résultats précédents, il existe de fortes variabilités interannuelles. En moyenne, pour des apports de vinasse en août, 56 % de l'azote de la vinasse est disponible pour les betteraves à l'échelle du cycle cultural. Ce coefficient est de 49 % pour un apport de vinasse en février. Par contre, en présence de culture intermédiaire, la valorisation de l'azote de la vinasse est beaucoup plus faible (0.14). Une partie de l'azote de la vinasse absorbé par la culture intermédiaire est probablement organisée lors de la décomposition de cette dernière.

Quelles que soient les années, on note un effet dépressif de la culture intermédiaire. Les quantités d'azote absorbé par les betteraves sur les modalités sans moutarde sont supérieures à celles mesurées sur les modalités avec implantation d'une moutarde en interculture.

## IV. Validation des préconisations avec AzoFert®

La figure 6 représente les courbes de réponse moyennes du poids valeur à l'engrais minéral pour les différentes modalités. Les points d'intersection entre les courbes et la barre verticale correspondent aux doses conseillées par AzoFert® pour la modalité considérée. La dose conseillée se rapproche de la dose optimale. Il est à noter que pour la vinasse de printemps, la dose conseillée est à l'optimum.

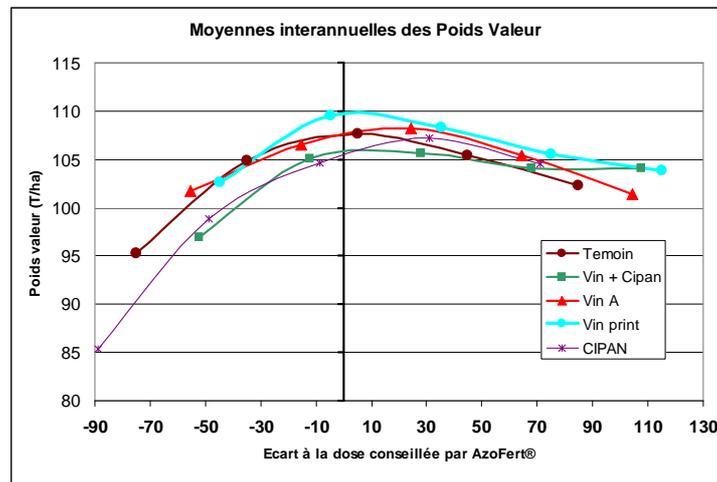


Figure 6 : Ecart à la dose conseillée par AzoFert®

## Validation des fournitures d'azote du sol estimées par AzoFert®

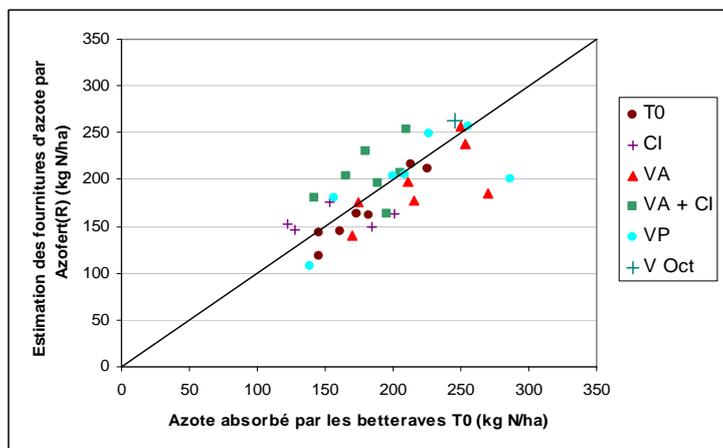


Figure 7 : Estimation des fournitures d'azote en fonction des mesures d'azote sur les betteraves en l'absence de fertilisation azotée

L'azote absorbé par les plantes sur les témoins sans fertilisation minérale permettent d'approcher les fournitures d'azote par le sol sur la période d'implantation de la culture. Il est possible de comparer ces mesures avec les estimations des différents postes de fournitures d'azote du bilan AzoFert® (figure7). Les quantités d'azote absorbé par la betterave sur les témoins sans fertilisation minérale varient de 120 à 280 kg N/ha. Les fournitures estimées par AzoFert® intègrent cette variabilité dans une gamme de 110 à 260 kg N/ha. La différence observée est en moyenne de -5 kg N/ha. On remarque une tendance à la surestimation des fournitures du sol par AzoFert® pour la modalité « culture intermédiaire + vinasse ».

## V. Conclusion

L'ensemble des expérimentations conduites sur la période 2005-2012 permet de disposer d'une base de données importante quant aux modalités d'apport de vinasse et de gestion de l'interculture précédant l'implantation de la culture de betteraves à sucre.

Certaines modalités n'ont plus cours réglementairement aujourd'hui (témoin sol nu, apport de vinasse en août ou au printemps sans culture intermédiaire). Elles permettent cependant de mieux comprendre la disponibilité de l'azote dans le sol et les interactions avec les cultures intermédiaires. Ces données aident à une amélioration des paramétrages d'AzoFert® dans le cas d'apport de vinasse et d'implantation de cultures intermédiaires.

Il existe une cohérence entre les mesures des coefficients d'utilisation de l'azote des vinasses mesurés sur la betterave et l'écart entre les doses optimales déterminées pour les modalités « Témoin » et « vinasse août » sur les courbes de réponse.

La généralisation de l'implantation des cultures intermédiaires entraînent une disponibilité moindre de l'azote sur le court terme qui sera compensée par une augmentation des apports d'azote minéral. A plus long terme, l'introduction des cultures intermédiaires doit conduire à une augmentation de la minéralisation basale de l'azote du sol, et par conséquent une diminution de la fertilisation azotée.

De nouvelles modalités, notamment sur les cultures intermédiaires sont testées depuis ces dernières années et permettront d'intégrer la prise en compte de pratiques plus innovantes.

## Références bibliographiques

Justes E., Beaudoin N., Bertuzzi P., Charles R., Constantin J., Dürr C., Hermon C., Joannon A., Le Bas C., Mary B., Mignolet C., Montfort F., Ruiz L., Sarthou J.P., Souchère V., Tournebize J., Savini I., Réchauchère O., 2012. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires : conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. *Synthèse du rapport d'étude*, INRA (France), 60 p.

Le Roux C., Damay N., Duval R., Machet J.M. (2009) Controlling the precision of nitrogen fertilisation advice with AzoFert® software. In "16th European Nitrogen Workshop", Turin, Italy.

Machet J.M., Dubrulle P., Damay N., Philippon E. (2008) Plaquette de présentation de l'outil AzoFert®. 25 p.

Machet J.M. (2011) Ajustement de la fertilisation azotée des principales cultures. 12ème Carrefour des gestions locales de l'eau, "Objectif basses fuites en nitrates", Rennes (France), 26-27 janvier 2011.

Machet J.M., Dubrulle P., Damay N., Duval R., Recous S., Mary B. (2007) Azofert®: a new decision support tool for fertiliser N advice based on a dynamic version of the predictive balance sheet method. 16th International Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers, Gand (Belgique), 16-19 septembre 2007.

Nicolardot B., Machet J.M., Parnaudeau V., Marcovecchio F., 1998. Proposal of an integrated approach to characterize the "nitrogen value" of organic products spread in agriculture. In 8th International Conference on management strategies for organic waste use in agriculture, 26-29 mai, Rennes, 305-316.