

---

## Emploi d'outils décisionnels et de pilotage de la fumure en région wallonne

Jean-Pierre DESTAIN<sup>1</sup>, Bernard GODDEN<sup>2</sup>, Pierre LUXEN<sup>3</sup>  
Vincent REUTER<sup>1</sup>, Jean-Pierre GOFFART<sup>1</sup>, Marc FRANKINET<sup>1</sup>  
& Bernard BODSON<sup>4</sup>

### 1. INTRODUCTION

Lors de la dernière conférence annuelle de l'IFA, Dibb *et al.* (2004) identifiaient des domaines pouvant conduire à améliorer l'efficacité de la fumure azotée et citaient parmi ceux-ci l'estimation réaliste du potentiel de rendement de la culture, une meilleure prédiction de la minéralisation, un bon timing d'application de l'engrais et une meilleure gestion des effluents d'élevage.

Ces thèmes sont précisément ceux que nous développons ci-dessous en prenant comme exemple les recherches et actions de terrain menées en région wallonne.

### 2. BILAN EN AZOTE D'UN SOL AGRICOLE

Il est commode de catégoriser les transformations et les processus de transport de l'azote minéral du sol en sources et puits (Vos & Mac Kerron, 2000) (Figure 1).

La fertilisation azotée doit viser à satisfaire les besoins des plantes en fonction du rendement escompté tout en minimisant le reliquat après récolte (N résiduel) et les pertes. Cet objectif passe par la prise en compte de l'azote présent dans le sol avant culture et par une estimation réaliste de la minéralisation nette. Il suppose aussi que les engrais à la fois organiques et minéraux soient utilisés avec l'efficacité la plus élevée possible (maximiser le rapport kg N prélevé/kg N apporté). Non seulement

---

<sup>1</sup> Département Production Végétale - CRA-W (Gembloux),

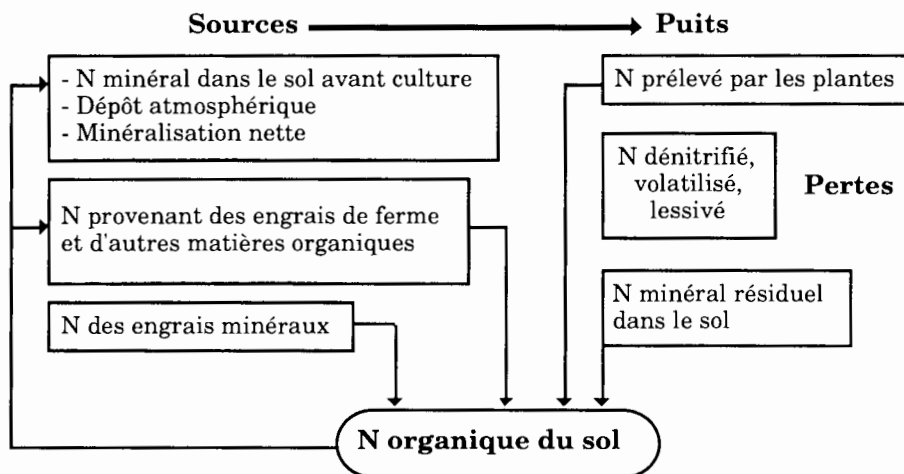
<sup>2</sup> UPEM - ULB (Bruxelles),

<sup>3</sup> AgraOst (St Vith),

<sup>4</sup> FUSA (Gembloux)

la dose doit être correcte, mais en plus la période doit être adéquate. La flore microbienne est, en effet, la première concurrente des plantes pour l'azote : lorsque celles-ci ne prélèvent pas rapidement l'azote, il peut être rendu indisponible et rejoindre le compartiment organique.

Il faut d'ailleurs rappeler que si le stock minéral du sol en cours de culture s'échelonne de quelques dizaines de kg/ha à plus d'une centaine de kg/ha dans certains cas, le stock organique est de plusieurs milliers de kg.



**Figure 1. Sources (origine de l'azote minéral), puits d'azote (sort de l'azote minéral) et interaction avec l'azote organique du sol**  
D'après Vos & Mac Kerron (2000)

### 3. AZOTE MINÉRAL DU SOL AVANT CULTURE ET MINÉRALISATION NETTE

#### 3.1. Azote minéral présent dans le profil du sol avant culture

La quantité d'azote minéral présente dans le profil du sol au moment du semis de la culture ou au début de la période de végétation (cas des céréales d'hiver) varie en fonction de trois facteurs: l'année par l'effet de la température et de la pluviosité de l'automne et de l'hiver, le précédent cultural, et les fréquences et niveaux d'apports organiques, particulièrement des apports récents pendant l'interculture.

Les tableaux 1 et 2 montrent les variations interannuelles du contenu total en N minéral et de sa répartition dans le profil avant une culture de betterave sucrière (semée au printemps) et pour une culture de blé d'hiver (semée en automne), et ce pour un ensemble de situations représentatives de la région wallonne.

**Tableau 1. Variation interannuelle en sols limoneux et argilo limoneux du contenu du profil du sol en N minéral en février avant une culture de betterave (kg N nitrique /ha)**

Années	2001	2002	2003	2004	2005
Nombres d'observations	114	124	164	109	74
N minéral kg N NO <sub>3</sub> /ha					
0-30 cm	19	17	18	16	22
30-60 cm	13	22	17	21	22
60-90 cm	21	16	7	26	17
Total	53	55	42	63	61

Source : Campagne REQUASUD, RT, ISCAL-Sugar, IRBAB

**Tableau 2. Variation interannuelle en sols limoneux et argilo limoneux du contenu du profil du sol en N minéral en février dans une culture de blé d'hiver (kg N nitrique /ha)**

Années	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05
N observations										
champs témoins	9	13	22	19	17	15	19	7	10	12
N minéral										
kg N NO <sub>3</sub> /ha										
0-30 cm	24	16	14	14	11	12	12	15	9	12
30-60 cm	45	21	31	11	3	13	12	15	22	30
60-90 cm	17	18	34	14	18	13	14	16	26	22
90-120 cm	9	13	19	13	10	10	11	11	13	14
120-150 cm	8	11	14	12	9	10	10	11	12	12
Total	103	79	112	64	51	58	59	69	82	90

Source : Livre blanc , Fumure et protection phytosanitaire des céréales. CRA-W - FUSAGx - Gembloux

En culture de betterave, la variation apparaît relativement plus limitée qu'en blé d'hiver car toutes les parcelles analysées ont le même précédent cultural largement dominant (céréales pailles enlevées). En blé d'hiver, le conseil pour la fumure fractionnée et en particulier pour la première application (tallage - en mars) doit être revu à la baisse dans le cas de 2005 ou à la hausse dans le cas de 2000 en fonction de la disponibilité immédiate de N (entre 0 et 90 cm). L'effet du précédent cultural s'avère souvent très déterminant pour le contenu en N minéral (Tableaux 3 & 4).

Parmi les cultures qui enrichissent le profil en N minéral, on trouve les espèces suivantes : le pois en tant que légumineuse, la pomme de terre qui exploite superficiellement le profil (de 0 à 60 cm principalement) et restitue l'azote lors du défanage et le colza récolté tôt en été et restituant beaucoup de résidus.

**Tableau 3. Influence du précédent cultural sur le contenu du profil du sol en N minéral en février 2005 avant culture de betterave (kg N nitrique /ha)**

Précédent cultural N minéral kg N NO <sub>3</sub> /ha	Céréales	Pomme de terre	Pois	Lin
0-30 cm	21	25	19	25
30-60 cm	19	47	33	40
60-90 cm	15	43	33	32
Total	55	115	85	97

Source : Campagne REQUASUD, RT, ISCAL-Sugar, IRBAB

**Tableau 4. Influence du précédent cultural sur le contenu du profil du sol en N minéral en février 2005 avant culture de blé d'hiver (kg N nitrique /ha)**

Précédent cultural N minéral	Betterave	Pomme de terre	Pois	Colza	Maïs
0-30 cm	13	13	18	17	11
30-60 cm	20	45	39	47	9
60-90 cm	13	26	38	32	7
90-120 cm	7	22	26	16	5
120-150 cm	7	22	22	17	0
Total	60	128	143	129	32

Source : Livre blanc, Fumure et protection phytosanitaire des céréales - CRA-W - FUSAGx - Gembloux

En ce qui concerne les apports de matières organiques et principalement les engrais de ferme, ceux-ci sont surtout appliqués avant une culture «tête de rotation» (betterave, maïs ensilage, pomme de terre). Lorsque les apports sont effectués à l'automne précédant (les têtes de rotation étant généralement des cultures de printemps), leur minéralisation entraîne une augmentation du contenu en azote minéral du sol et une distribution de l'azote dans le profil (Tableau 5) en l'absence d'une culture intercalaire piège à nitrate (moutarde le plus souvent), surtout pour des engrais libérant rapidement leur N (type fientes de poules).

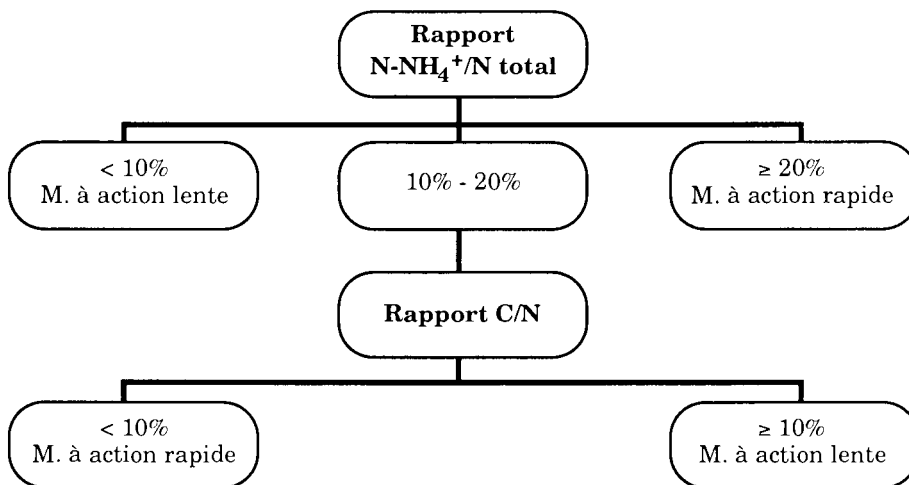
Le Plan de Gestion Durable de l'Azote (PGDA), transposition en Région wallonne de la Directive Européenne Nitrates, définit les modalités d'épandage des matières organiques et les périodes de restriction et d'interdiction d'usage en fonction du type de matière organique, à action lente ou à action rapide libérant la majeure partie de l'azote l'année même de leur application.

**Tableau 5. Effet de l'apport d'engrais de ferme sur le contenu du profil du sol en N minéral en février 2005 avant culture de betterave (kg N nitrique /ha)**

Type d'engrais de ferme	Sans apport	Avec 40 t de fumier de ferme / ha	Avec 8t de fientes de poules/ ha
N minéral			
0-30 cm	21	21	38
30-60 cm	19	22	42
60-90 cm	15	18	32
Total	55	61	112

Source : Campagne REQUASUD, RT, ISCAL-Sugar, IRBAB

La figure 2 montre la clé de classification de ces matières organiques en fonction de leur contenu en N total, N ammoniacal et du rapport C/N.



**Figure 2. Clé de classification des matières organiques en fonction de leur dynamique d'action. (Destain & Thirion, 2004)**

En fonction de cette clé de classification, les lisiers et fumiers mous se situent dans la catégorie action rapide et les fumiers et composts dans la catégorie action lente (Tableau 6).

**Tableau 6. Caractéristiques des engrais de ferme (Chambre d'agriculture de Lorraine, 2004; Destain *et al.*, 2000; Godden & Couplet, 2004)**

Type d'engrais de ferme	Matière sèche (%)	N <sub>ammoniacal</sub> (kg/t)	N <sub>total</sub> (kg/t)	Rapport N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /N <sub>total</sub>	C/N
Fumier mou (raclage)	23,9	1,8	6,2	0,29	15
Fumier dépôt	23,0	0,5	6,1	0,08	16
Fumier pailleux	21,3	0,6	6,5	0,09	14
Fumier composté	43,0	1,5	7,0	0,21	25
	31,9	0,3	6,5	0,05	13
Lisier bovin	8,8	2,6	4,5	0,56	8

### 3.2. Estimation de la minéralisation

En pratique, pour estimer la minéralisation en région wallonne et pour conseiller la fumure azotée, en particulier pour les cultures têtes de rotation (betterave, pomme de terre, maïs), on se base sur le logiciel AZOBIL conçu par l'INRA (France).

À partir d'informations collectées pour une parcelle donnée, le logiciel calcule 3 termes de minéralisation:

- la minéralisation de l'humus (dépendante du type de sol, de la température locale moyenne, de l'humidité et de l'historique culturale de la parcelle),
- la contribution nette des résidus de récolte,
- la contribution des amendements organiques et des engrais verts.

Au total, au cours de la période de minéralisation (mars à octobre), c'est souvent plus de 100 kg N/ha qui sont ainsi fournis. L'ordre de grandeur de la minéralisation utile pour la culture est bien évidemment fonction du temps d'occupation du sol par la culture en place.

## 4. BESOINS DES CULTURES ET POTENTIEL DU SOL À FOURNIR L'AZOTE MINÉRAL - FUMURE MINÉRALE À APPORTER

Dans la démarche AZOBIL, les besoins des cultures récoltées en grains sont linéairement liés aux rendements (exemple pour un blé d'hiver, on considère que 3 kgN sont absorbés pour produire 100 kg de grains). Donc un objectif de rendement de 10 t nécessitera une disponibilité de 300 kg N. Pour les plantes racines ou tubercules, on considère un besoin forfaitaire (la betterave sucrière 240 kg N, la pomme de terre 250 kg N).

Le calcul de la fumure pourrait se réduire à confronter besoins et potentialités de fourniture du sol, pour autant que l'on tienne compte :

- de la profondeur d'enracinement de la culture (> 90 cm pour un blé d'hiver et une betterave, < 60 cm pour une pomme de terre) et donc de sa

- potentialité à exploiter le profil,
- d'un coefficient de temps d'occupation du sol par rapport à la période de minéralisation (0,5 pour un blé d'hiver, 0,8 pour une pomme de terre et 1 pour la betterave sucrière).

Les expérimentations menées au CRA-W confirment ce raisonnement puisque par marquage isotopique, il a été possible d'évaluer l'origine de l'azote prélevé (sol ou fumure). Ainsi, pour une betterave sucrière, l'azote prélevé provient en moyenne pour 68% du sol et 32% de la fumure, et en blé d'hiver pour 35% du sol et 65% de la fumure.

Pour cette raison, le logiciel prévisionnel AZOBIL s'avère très satisfaisant pour la betterave et la pomme de terre. Ce qui a permis, dans la plupart des cas, de baisser la fumure azotée moyenne de pratiquement 30 à 50 kg N/ha en moyenne en 10 ans. En blé d'hiver où la fixation *a priori* d'un objectif de rendement est plus délicate (aléas climatiques, présence de maladies, ...) et où la pratique du fractionnement de la fumure est généralisée, on raisonne sur la base d'un potentiel de minéralisation (relativement limité en raison de la période de prélèvement courte de l'azote par la culture de mars à juillet) et sur la base de l'état observé de la culture (régularité, densité, coloration et état sanitaire). Cette démarche a conduit à faire évoluer le conseil moyen de fumure N minérale au cours des 10 dernières années et cela pour tenir compte des potentialités de rendement et des qualités des nouvelles variétés (Tableau 7).

**Tableau 7. Évolution du conseil de fumure N en blé d'hiver en région wallonne**

Année	Fractions de la fumure N (kg N /ha)			Fumure N totale	Rendement Escompté (kg grains/ha)
	Tallage	Redressement	Dernière feuille		
1994	50	50	50	150	8000 - 10 000
1997	50	50	65	165	10 000
2004	50	60	75	185	10 à 12 000
2005	50	60	75	185	10 à 12 000
2005	0	60	125	185	10 à 12 000

Source : Livre blanc - fumure et protection phytosanitaire des céréales - CRA-W-FUSAGx - Gembloux

Cette évolution résulte de l'observation relative au coefficient réel d'utilisation de la fumure azotée (usage de l'isotope <sup>15</sup>N) qui montre que les apports tardifs sont mieux prélevés par les variétés modernes (Tableau 8).

**Tableau 8. Coefficient réel d'utilisation (CRU) de la fumure azotée appliquée sur blé d'hiver (% de la dose appliquée)**

Année	Fumure N totale (kg N/ha)	Type de fractionnement	CRU (%)
2003	185	50-60-75	61
	185	0-60-125	63
2002	185	50-60-75	65
	185	0-60-125	71
2004 Variété Centenaire	185	50-60-75	61
	185	0-110-75	61
	235	50-60-125	69
2004 Variété Corvus	185	50-60-75	58
	185	0-110-75	71
	235	50-60-125	74

Source : Livre blanc - fumure et protection phytosanitaire des céréales - CRA-W - FUSAGx - Gembloux

## 5. VALORISATION DES ENGRAIS DE FERME, UNE PRIORITE ÉCONOMIQUE

L'effet positif des engrais de ferme sur le contenu en N minéral du profil du sol a déjà été évoqué plus haut. Pour maximiser le prélèvement et, par conséquent, l'efficacité de l'azote de ces engrais, il faut tenir compte de leurs caractéristiques (rapidité d'action), des périodes d'épandage et des doses (en respectant les doses autorisées par le PGDA en Région wallonne). Il faut en tout cas considérer que cette source d'azote est souvent largement disponible et peut conduire à des économies substantielles de fumure (pas seulement en N, mais aussi en P, K, Mg, S).

Des expérimentations menées en région wallonne ont montré que dans les cas d'application immédiatement avant une culture de tête de rotation au printemps, les coefficients apparents d'utilisation (référence à un témoin non fertilisé) de l'azote s'avèrent élevés, surtout pour les engrais à action rapide comme les lisiers, et très satisfaisants pour les engrais à action lente (Tableau 9).

De même, en prairie de fauche, le lisier est d'autant mieux prélevé qu'il est appliqué à un moment proche de la croissance active, comme le démontre une expérimentation menée à Elsenborn (climat froid en raison de l'altitude et début de croissance de l'herbe estimée à mi-avril) (Tableau 10).



**Tableau 9. Coefficient apparent d'utilisation de l'azote contenu dans divers engrais de ferme (apportés au printemps) par une culture de maïs-ensilage (essais de Maubray, 2003)**

Type d'engrais de ferme	Dose N kg/ha	CAU (% N appliqué)
Fumier mou	80 <sup>1</sup>	41
	120 <sup>2</sup>	39
	155	40
Fumier pailleux	80	38
	120	27
	155	22
Compost de fumier	80	42
	120	18
	160	12
	200	19
Lisier bovin	80	59
	120	53
Engrais minéral NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	85	96
	155	72

<sup>1</sup> 80 kgN/ha.an correspond à la dose maximale d'épandage en zone vulnérable

<sup>2</sup> 120 kgN/ha.an correspond à la dose maximale d'épandage hors zone vulnérable

D'après Godden & Couplet (2004)

**Tableau 10. Coefficient réel d'utilisation (CRU) de l'azote d'un lisier bovin (enrichi à l'isotope <sup>15</sup>N) appliqué à diverses périodes sur prairie permanente de fauche (ray-grass), en pourcent de la dose appliquée (80 kg N/ha)**

Période d'application	1/12	1/01	1/02	1/03	1/04	1/05
Période de récolte						
1 <sup>ère</sup> coupe (fin mai)	6,2	19,4	42,8	38,0	45	54
2 <sup>ème</sup> coupe (juillet)	4,0	3,1	3,9	4,1	4,8	12,3
Total 2 coupes	10,2	22,5	46,7	42,1	49,8	66,3

D'après Destain & Luxen (2004)

Par ailleurs, l'azote non prélevé s'avère être stocké dans la phase organique du sol et de ce fait les pertes en prairie sont minimales (< 5% N apporté).

Par contre, pour les engrais à action lente comme le compost de fumier, le coefficient réel d'utilisation s'avère beaucoup plus faible dans le cas d'une application avant céréales d'hiver. C'est ainsi que dans une expérimentation menée en 1999 et 2000 sur blé biologique (Alvarez *et al.*, 2001), un CRU direct (1<sup>ère</sup> année) de 3,5% a été observé ainsi qu'un CRU indirect de 2% (2<sup>ème</sup> année).

Cependant, il a été observé dans le même essai que 25% de l'azote du compost appliqué initialement était immobilisé dans le compartiment microbien et donc susceptible de libérer de l'azote à plus long terme.

## **6. OUTILS POUR MIEUX APPRÉCIER L'ÉTAT NUTRITIF DES PLANTES ET POUR AFFINER LE CONSEIL DE FUMURE**

Un conseil de fumure spécifique à la parcelle (via la méthode Azobil) donné *a priori* avant le début de la période de végétation ne peut évidemment tenir compte des aléas climatiques ni des accidents de végétation. Pour cette raison, il peut être intéressant de n'appliquer qu'une partie de la dose recommandée dès le départ et par la suite d'«interroger» la plante sur son statut nutritif, basé sur le contenu en chlorophylle avant de compléter la fumure.

Deux types d'appareils sont actuellement disponibles sur le marché et testés au CRA-W: le N-Tester : chlorophyllomètre de la firme Yara (Norvège), qui mesure *in situ* et sans échantillonnage destructif l'absorption de la lumière par les feuilles, et le GPN, appareil portable au champ de la société AZF (France), qui mesure la réflexion de la lumière incidente par le couvert végétal également *in situ*.

En ce qui concerne le N-Tester, son emploi est en développement et en vulgarisation en région wallonne pour la culture de la pomme de terre (Goffart *et al.*, 2001). Il faut noter qu'il demande de laisser une fenêtre de référence sans azote dans le champ et d'appliquer 70% de l'azote conseillée à la plantation. Le statut N est mesuré entre 20 et 55 jours après émergence et la décision d'un apport complémentaire (jusqu'à concurrence de 30% de l'azote recommandé) n'est prise que lorsque la différence entre le témoin et le champ excède une valeur seuil, dépendante de la variété cultivée. Le GPN est actuellement en test. L'utilisation de ces outils est intégrée dans un système d'aide à la décision global pour la gestion de la fumure azotée de la pomme de terre à la parcelle (Goffart & Olivier, 2004).

Pour les autres cultures que la pomme de terre, le N-Tester a été expérimenté en céréales sans apporter plus de précision que la méthodologie de raisonnement proposée aux agriculteurs jusqu'à présent ; le GPN est quant à lui en test. Pour la betterave et le maïs, un apport de fumure en cours de culture ne s'avère ni pertinent ni techniquement raisonnable.

## **7. VÉRIFIER LA PERTINENCE D'UN AVIS DE FUMURE**

Pour s'assurer de la pertinence de la fumure azotée, il faut d'abord analyser la réponse en terme de rendements. Il faut ensuite vérifier que la fumure a été bien utilisée et qu'elle ne laisse pas un reliquat (azote minéral)

inacceptable dans le sol, ni des résidus de récolte trop riches en azote (risque de minéralisation excessive après l'enfouissement).

Le tableau 11 montre la pertinence du conseil AZOBIL pour ces trois objectifs dans le cas de la betterave sucrière.

**Tableau 11. Niveau de fumure N, rendement, contenu des feuilles en N et reliquat du sol en culture betteravière**

Essais	Niveau de fumure azotée (kg N/ha)	Rendement (t sucre/ha)	Contenu en N des feuilles de betteraves à la récolte (kg N/ha)	Reliquat minéral du sol (kgN/ha)
Warisoulx	AZOBIL 80	16,6	115	13
	AZOBIL 145	16,6	126	11
Leers	AZOBIL 50	16,1	131	22
	AZOBIL 150	13,3	162	35

D'après Frankinet & Renard (1999)

À la récolte, le reliquat minéral dans le sol acceptable varie de 20 kg N/ha (betterave et céréale) jusqu'à 50 à 60 kg N /ha (pomme de terre et maïs).

## 8. CONCLUSION

C'est en affinant les connaissances sur le cycle de l'azote, en prenant en compte toutes les sources de N pour une meilleure prédiction de la minéralisation nette, et en évaluant correctement le potentiel de rendement des cultures, et en suivant le statut en azote des cultures lorsque les apports d'engrais peuvent être fractionnés que l'on peut maximiser l'efficacité de la fertilisation azotée. Mais il faut encore ajouter qu'il est indispensable de bien gérer tant les successions culturales que les intercultures puisque les périodes à risque d'un point de vue environnemental surviennent essentiellement pendant la période d'interculture ou lorsque la végétation est peu développée.

## RÉFÉRENCES CITÉES

- Chambre d'agriculture de Lorraine (2004) Composition des engrais de ferme
- Alvarez G, L'Homme G, Godden B & Destain J-P (2001) Amélioration de la qualité des blés tendres en agriculture biologique. *NATO Science Progr. ENITA Clermont-Ferrand*, 15 p.
- Destain J-P, Luxen P, Stilmant D & Reuter V (2000) Caractérisation et méthodes d'échantillonnage des engrais de ferme. *Fourrages actualités CRA* déc.: 5-10

- Destain J-P & Thirion M (2004) Proposition de clé de classification des matières organiques. *DGA. Min. Agric.*
- Destain J-P & Luxen P (2004) Mesure des CRU de l'azote du lisier bovin en prairie permanente (*résultats non publiés*)
- Dibb WD, Fixen, PE & Stauffer MD (2004) 71<sup>st</sup> IFA Annual Conference, IMPHOS, Newsletter 21
- Frankinet M & Renard S (1999) Gestion intégrée de l'azote en cultures arables et normes nitriques. SSTC NP/42/023
- Godden B & Couplet P (2004) Valorisation des engrais de ferme en Hainaut. *DGA Min. Agric.*
- Goffart J-P, Olivier M, Destain J-P & Frankinet M (2001) Stratégie de la gestion de la fertilisation azotée de la pomme de terre de consommation. *Min. Class. Moy. et Agric.* - DG6. 118
- Goffart J-P & Olivier M (2004) Management of N-fertilization of the potato crop using total N-advice software (Azobil) and in-season chlorophyll-meter measurements: *Decision support systems in potato production. Bringing models to practice*, Haverkort, Eds D.K.L. MacKerron & A.J. Wageningen, Academic Publishers, The Netherlands, pp. 68-83
- Vos J & Mac Kerron DKL (2000) Management of N and water in potato production. Wageningen