



Projet subventionné par
le Ministère de la Région Wallonne
Direction Générale de l'Agriculture
Direction de l'Espace Rural
Dossier n° 2768/1

Rapport final du projet :
**Mise en œuvre de la technique du Bois Raméal
Fragmenté (BRF) en agriculture wallonne.**
Juin 2006



Centre des Technologies Agronomiques
Communauté Française
Rue de la Charmille, 16 – 4577 Strée
Tel : 00 32 85 51 27 01
Fax : 00 32 85 51 27 06
www.ctastree.be

Directeur : C. Marche
Chercheur : B. Noël

Résumé

Le Bois Raméal Fragmenté (BRF) est un sous-produit agricole issu de la taille des haies, vergers et bandes boisées. Il représente une part importante des déchets verts. Le potentiel de valorisation de cette ressource en Wallonie est estimé à 1 000 000 m³/an. Selon une technique canadienne, le BRF peut être valorisé directement en agriculture, par épandage et incorporation directe, sans compostage. Au cours d'une période de plus de 2 ans, un suivi poussé tant des cultures que des caractéristiques chimiques, physiques et biologiques du sol a été mené sur plusieurs dispositifs en champs et ce généralement en 3 à 12 répétitions. Ce suivi visait à adapter cette technique aux conditions pédo-climatiques wallonnes ainsi qu'à valider son intérêt agronomique et environnemental. D'autres itinéraires techniques ont également été testés : valorisation en litière d'élevage, mulching des jeunes arbres, biométhanisation. Au cours de la période, les principaux obstacles techniques ont pu être levés et l'intérêt tant agronomique qu'environnemental du BRF dans plusieurs contextes agricoles a pu être démontré. De multiples communications, menées dans le cadre du présent projet, ont suscité un intérêt national et international chez des agriculteurs, des associations et fédérations d'agriculteurs et des scientifiques. Un outil combiné fraise – ailettes de décompaction a montré de bons résultats pour l'incorporation du BRF et le traitement des traces d'épandage. Une loi décrivant l'immobilisation de l'azote du sol par le BRF a pu être établie : % immobilisation = 27% + 7.5%/100 m³.ha de BRF épandus. Cette immobilisation a également été évaluée à 1.2 kg d'azote en provenance d'autres sources par m³ de BRF épandu. Cette caractéristique peut être exploitée afin de mieux gérer l'azote en champs, sans préjudice pour la culture. En effet, les blocs traités ont montré des APL compris entre 20 et 30 kg N/ha, malgré des apports initiaux importants. Le BRF est un amendement humifère : son coefficient iso-humique (K1) dans nos conditions a été estimé à 50%, de telle sorte que l'épandage d'un m³ de BRF occasionne la formation de 75 kg d'humus. Dans nos conditions, le sol a pu dégrader 143 m³ de BRF/ha annuellement. Cette transformation rapide, en humus, d'un matériau a priori récalcitrant est la conséquence de son action stimulatrice sur la vie du sol. Cette action s'est marquée sur toutes les populations de la flore durant les 6 premiers mois après l'épandage. Elle a persisté durant deux ans sur les populations de champignons. Ces dernières ont atteint jusqu'à 10 fois les populations du témoin. Des changements de l'aspect des sols traités ont été observés. Ils témoignent de l'action de la pédofaune. On a pu également mesurer, sur 2 dispositifs, la multiplication par 3 de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le profil. Cela rend compte d'un accroissement de la macro-porosité des sols traités. Aucune inhibition de la germination ou impact phytosanitaire n'a été constaté. L'apport de BRF n'a pas modifié le pH. Par contre on a mesuré une amélioration sur les minéraux solubles suivants : P, K, Ca, Mg. Dans certains cas, des améliorations qualitatives ont été mesurées sur les cultures, ces améliorations se sont notamment marquées sur le taux et la qualité des protéines ainsi que sur la réduction des problèmes d'adventices en culture de légumineuse. L'apport de 200m³/ha de BRF a augmenté la capacité de rétention d'eau du sol de 5%/poids de sol sec, soit dans des proportions équivalentes à la quantité d'eau absorbée par le bois à saturation (350 l/m³ apparent de BRF). Les essais en litière d'élevage bovine ont montré que 40 kg de paille équivaut à 1 m³ de BRF. En outre, dans nos conditions, 1.5 m³ de BRF suffit à pailler 100 m² d'étable/jour. Les autres essais ont montré qu'un mulch de BRF pouvait diminuer significativement la mortalité sur les jeunes arbres repiqués. D'autre part, seulement 5 % du carbone du BRF est biométhanisable. Notons également que les concentrations en métaux lourds du BRF sont très faibles et en dessous des normes. Ces résultats débouchent sur plusieurs filières de valorisations intéressantes : utilisation en élevage (litière, passage des bêtes), épandage avant culture de légumineuses en bio, épandage avant les déchaumages en TCS, utilisation en mulch pour l'implantation de haies et vergers.

Table des matières

RESUME	2
REMERCIEMENTS	9
1. INTRODUCTION	10
Présentation générale du BRF	10
Intérêts	10
Action sur la physique des sols de culture dans un contexte de changement climatique.	10
Pour une protection des nappes phréatiques contre les effluents d'élevage.	11
Pour une meilleure valorisation agricole des déchets verts.	11
Pour une élimination des résidus de pesticides des terres agricoles.	11
Pour le développement écologique et économique des haies champêtres.	11
Pour la promotion d'une agriculture durable.	11
Objectifs	12
Mission détaillée	12
2. MISE EN ŒUVRE EXPERIMENTALE : MATERIEL ET METHODES	13
BRF et amendements apportés	13
Valeur agronomique du BRF	13
Métaux lourds et BRF	14
Détails des analyses de BRF et de compost de déchets verts (D.V.) :	16
Caractéristiques non pondérales :	16
Caractéristiques pondérales :	17
Fumiers épandus et fumiers de ferme analysés	18
Lisiers	19
Climat : données météos sur la durée du projet	20
Le Sol	21
Granulométrie et classes texturales	21
Sol initial : pratiques antérieures et analyses en t_0	23
Bloc 10	23
Bloc 20	24
Bloc 30	24
Bloc 40 et 50	25
Bloc 80	25
Bloc 90	26
Plan de culture et organisation des parcelles :	26
Dispositif 10	26
Présentation	26
Rotations :	26

Traitements :	27
Plan parcellaire :	28
Calendrier de mise en oeuvre	29
Dispositif 20	32
Présentation	32
Plan parcellaire :	33
Calendrier de mise en oeuvre	33
Dispositif 30	36
Présentation	36
Plan parcellaire	37
Calendrier de mise en oeuvre	38
Dispositif 40	38
Présentation	38
Plan Parcellaire	39
Calendrier de mise en œuvre	39
Dispositif 50	40
Présentation	40
Plan parcellaire	40
Calendrier de mise en œuvre	41
Dispositif 80 :	42
Présentation	42
Plan parcellaire	42
Calendrier de mise en oeuvre	43
Dispositif 90	43
Présentation	43
Plan parcellaire	44
Calendrier de mise en œuvre	45
Dispositifs additionnels : essais complémentaires portant sur la diversification des itinéraires	46
Utilisation en litière bovine	46
Stabilisation du passage des bêtes	46
Stockage	47
Biométhanisation	47
Utilisation en « mulch »	47
Méthodes d'analyse relatives au suivi des paramètres	49
Analyses standard de sol	49
Standardisation des échantillons	49
Dosages de base:	49
Dosages additionnels:	49
Dosages de métaux lourds:	49
Formes d'azote	49
Standardisation des échantillons	49
Nitrates	49

Azote minéral sous toutes ses formes	50
Azote potentiellement minéralisable	50
Comptage de micro-organismes	50
Standardisation des échantillons	50
Préparation des milieux, incubation et comptages	50
Analyse des cultures et de leurs prélèvements	50
Rendements	50
Dosages sur les produits	51
Suivi expérimental	51
Mesures à pas de temps régulier:	51
Mesures occasionnelles	51
Mesures particulières	51
3. RESULTATS EXPERIMENTAUX	52
Dispositif 10	52
Nitrates	52
Analyses à pas de temps régulier :	52
Mesures annuelles sur l'ensemble du bloc 10	57
Discussion	58
N total	61
Présentation	61
Critique du dispositif	61
Analyse des résultats	62
Le Carbone	66
Présentation	66
Analyse des résultats	66
Discussion	67
Critique du dispositif	68
Projections	71
pH et CEC	74
Eléments minéraux solubles	75
Métaux lourds	80
Micro-organismes et bio-stimulation	81
Bio stimulation générale	81
Champignons	82
Actinomycètes	85
Flore totale	87
Analyse statistique	88
Pédofaune et physique du sol	90
Rétention d'eau dans la couche superficielle du sol	92
Rendements, prélèvements des cultures, germination et qualité des produits:	94
Rendements:	94
Synthèse rendements - prélèvements:	102
Inhibition de la germination :	104
Mesure phytopathologique	105
Dispositif 30 et 90 : Gestion de l'azote	107
Critique du dispositif et de la méthode	107

Evaluation de la méthode de dosage par ajouts dosés	107
Etat initial :	108
Effet des apports d'engrais	109
Résultats : rendements, comportement de la culture et gestion de l'azote	111
Observations sur le bloc 30	111
Observations et mesures sur le bloc 90	111
Analyse des rendements sur le bloc 30	112
Bilan d'azote	114
Discussion	117
Immobilisation par rapport à l'azote minéral initial	118
Prévision de l'immobilisation pour une quantité donnée de BRF	119
Conclusions	122
Dispositif 20	123
Présentation	123
Azote minéral dans les 30 premiers centimètres du sol	123
Conséquence d'un apport complémentaire d'engrais sur les rendements et les nitrates	125
Calcul d'un apport complémentaire :	125
Rendements	125
Nitrates	126
Mesures infiltrométriques :	127
Critique du dispositif	127
Résultats	128
Bloc 50	129
Présentation :	129
Suivi de l'azote	129
Suivi des rendements	131
Bloc 80	132
Présentation	132
Résultats	132
Discussion	133
Bloc 40	134
Présentation	134
Observations et mesures	134
Autres suivis et mesures réalisés sur les dispositifs en champs	136
Examen de profils	136
Présentation des profils	136
Conclusions	137
Mesure de la dégradation du BRF in situ	137
Expériences annexes	139
Utilisation comme litière	139
Premier test qualitatif	139
Premier test quantitatif	141

Test de mise ne œuvre en conditions réelles	142
Conclusions	143
Test réalisé sur le passage des bêtes	143
Conclusion	144
Stockage :	144
Humidité du tas	144
Élévation de température :	145
Biométhanisation :	146
Résultats et discussion :	146
Utilisation en mulch	147
AUTRES ACTIVITES ET CONSIDERATIONS GENERALES	149
Agenda des principales rencontres, visites et activités	149
Communications	151
Communications orales	151
Communications écrites	153
Autres communications	153
Intérêt international	154
Problématique et contexte	154
Disponibilité	154
Entrepreneurs et entreprises d'élagage	154
Haies champêtres	155
Plate-formes de compostage	156
Concurrence de la valorisation énergétique	157
Evaluation du flux total	158
Législation :	159
Niveau wallon	159
Niveau belge	160
Panorama européen	160
Problématique BRF en Wallonie : contexte agro-environnemental	161
CONCLUSIONS	164
Conclusions techniques	164
Evolution des paramètres	164
Recommandations techniques	165
Valorisation par épandage et incorporation directe	165

Valorisation en litière d'élevage bovine	167
Conclusion générale	168

Remerciements

Nous remercions, le Ministre ayant en charge l'agriculture, la Direction Générale de l'Agriculture et le Ministère de la Région Wallonne pour le soutien et l'intérêt porté à ce projet novateur, en Wallonie.

Nous remercions le comité de suivi et, plus particulièrement, Monsieur Marc Thirion dont la lecture attentive, les conseils et remarques nous ont guidés jusqu'à l'aboutissement.

Nous remercions la station d'analyse provinciale et les autres laboratoires sous-traitants pour la qualité du travail fourni.

Nous remercions les conseillers scientifiques qui ont bien voulu nous éclairer et nous aider et en particulier Messieurs C. Roisin, C. Bielders, R. Lambert, P. Lebrun, D. Vanvyve, P. Warnant.

Nous remercions les nombreuses personnes, agriculteurs et organisations ayant apportés leurs soutien au projet, notamment le CEB, Nature & Progrès, le MAP, le FUGEA, Greenotec.

Le dispositif expérimental mis en œuvre dans le cadre de la présente convention est le dispositif 10. Le présent rapport compile et complète, au bénéfice de la science, des données issues d'autres dispositifs, mis en œuvre en collaboration avec d'autres projets du Centre ou dans le cadre de travaux de fin d'études encadrés par le Centre, ainsi que des mesures additionnelles réalisées sur les amendements et sur le dispositif 10. Sans préjudice de la propriété intellectuelle des données transmises, nous remercions P-Y. Bontemps, V. Donck, G. Warnant, M. De Toffoli, M. Wauthélet, J-F. Brière, R. Werquin, G. Villers, M. Tanguy, C. Gillard pour leur collaboration.

Enfin nous remercions le Centre des Technologies Agronomiques et son personnel qui a aidé à développer ce projet.

1. Introduction

Présentation générale du BRF

Le **Bois Raméal Fragmenté** ou **BRF** désigne le bois de rameaux ou bois de branches de faible diamètre (< à 7 cm), broyé au moyen d'une machine.

Ce type de matière ligneuse est extrêmement riche en éléments minéraux nutritifs, comparativement au bois colinéaire ou à la paille par exemple, il constitue un substrat unique pour les micro-organismes décomposeurs et la pédofaune, ce qui lui confère des propriétés intéressantes pour améliorer tous types de sols.

Depuis les années 70, plusieurs études ont traité du BRF au Canada, en Ukraine, en République Dominicaine, au Sénégal, ... Ces études permettent d'envisager une utilisation en agriculture de cette matière avec pour bénéfices :

- L'augmentation des fractions les plus stables de la matière organique ;
- L'amélioration de la structure du sol ;
- La réduction des pertes de nutriments par lessivage ;
- Un effet anti-ruissellement ;
- Une amélioration de la perméabilité et de la résistance à la sécheresse ;
- La diminution des problèmes phytosanitaires ;
- L'augmentation des rendements et l'amélioration de la qualité des produits.

On peut donc espérer améliorer la qualité des produits, tout en réduisant les intrants chimiques, et en respectant mieux l'environnement, grâce au BRF.

C'est pourquoi, le BRF est un amendement qui suscite de l'enthousiasme :

En effet, des cultivateurs désirent rehausser le taux de matière organique de leurs terres (les agriculteurs en TCS et en bio sont particulièrement sensibilisés à cette question). Cette matière organique peut avoir un impact très important sur la structure du sol et donc sa résistance à l'érosion et au tassement ainsi que sa capacité à retenir et à transformer les polluants.

D'autres part, le grand public, les jardiniers amateurs, certaines associations et membre de la communauté scientifique, s'intéressent vivement à une technique naturelle, positive et porteuse d'espoir dans un contexte malheureusement stigmatisé par les crises alimentaires et où se pose la question de la durabilité des modèles agricoles.

Les producteurs de cette ressource s'intéressent également à de nouvelles possibilités de valorisations.

Toutefois, la valorisation de ces copeaux 100% naturels en agriculture suppose le développement de nouvelles techniques et l'établissement des règles de bonnes pratiques dans le contexte wallon.

Intérêts

Action sur la physique des sols de culture dans un contexte de changement climatique.

Le BRF peut, par sa décomposition dans le sol, stimuler les micro-organismes mais aussi les membres de la pédofaune. Cette décomposition permet d'enrichir les horizons supérieurs en humus le plus stable. Tous ces facteurs favorisent une bonne structure, améliorant ainsi la

santé des plantes mais aussi la résistance à l'érosion, à la battance de la pluie et diminue potentiellement les risques de tassement, formation de couches de glacis, coulées de boues,...

Pour une protection des nappes phréatiques contre les effluents d'élevage.

Traditionnellement, les apports organiques sont riches en azote. Ainsi les lisiers et fumiers issus des élevages wallons sont susceptibles d'occasionner des pollutions au nitrate lorsqu'ils sont appliqués seuls, en trop forte dose ou au mauvais moment.

Dans ce paysage, le BRF fait figure d'exception, avec son C/N approchant les 50, il stimule l'activité de champignons spécifiques capables de fixer l'azote du sol. Cet amendement piège à nitrates peut aider à réduire les APL (Azote Potentiellement Lessivable).

Pour une meilleure valorisation agricole des déchets verts.

Cette technique constitue une alternative au traitement de certains déchets verts par compostage. La valorisation en BRF d'une partie du flux permettrait d'éviter l'extension de dalles de compostage actuellement saturées et, en diminuant la hauteur des tas, de réduire les nuisances olfactives et les risques de déclassement lié à des problèmes de fermentation.

Avec la technique d'épandage direct, le fermier valorise lui-même un produit naturel brut, identifiable visuellement. Ceci rend impossible la contamination de ce flux propre par d'autres déchets, en conformité avec le principe de non-dilution, énoncé dans le Plan Wallon des Déchets.

En outre, des complémentarités sont à trouver entre l'épandage directe et le compostage, une petite quantité de compost peut, par exemple, être ajoutée au BRF en guise d'activateur biologique.

Pour une élimination des résidus de pesticides des terres agricoles.

Le BRF forme le substrat électif de micro-organismes aptes à dégrader la lignine, ces organismes excrètent des enzymes lignolytiques ; ces enzymes sont capables d'accélérer la dégradation de certains résidus de pesticides. Cet aspect ne fait pas partie du champs investigué dans le cadre de ce projet, toutefois les connaissances acquises ici pourraient servir de base à un futur projet analysant l'impact du co-substrat « BRF » sur la dégradation des micro-polluants organiques.

Pour le développement écologique et économique des haies champêtres.

Une haie vive participe à la biodiversité et constitue un refuge pour la faune. Elle participe aussi à lutter contre l'érosion.

La production locale de BRF constitue un nouveau mobile à l'implantation de haies champêtres.

Lors de l'entretien des haies existantes, les tailles sont généralement brûlées sur place en pure perte (Kyoto) et ce, faute d'une solution adaptée. La production de BRF est une des voies de valorisation de ces rémanents. Elle est complémentaire à la valorisation énergétique.

Pour la promotion d'une agriculture durable.

Dans le cadre des Techniques Culturelles Simplifiées et du non-labour, l'incorporation de BRF présente une complémentarité intéressante. Elle nécessite un machinisme et des pratiques similaires. Le BRF pourrait permettre de lutter, à long terme, contre la compaction qui est un des principaux problèmes du non-labour.

En outre, le BRF permet d'atteindre des objectifs « humus » vu par les praticiens des TCS et par les agriculteurs bios comme la condition permettant la pratique d'une meilleure agriculture.

Objectifs

Le présent projet consiste à expérimenter la technique d'épandage direct du BRF sur des sols agricoles de Wallonie avec pour objectif principal l'évaluation des effets de ce type d'amendement sur l'amélioration de la structure des sols, leur plus grande résistance à l'érosion, leur capacité de rétention de l'azote et leur incidence sur le débit de ruissellement. Suite aux interrogations et aux orientations données lors des comités de suivi, d'autres points ont été soulevés en cours de projet et ont débouché sur une analyse plus détaillée de différentes voies ou itinéraires techniques permettant de valoriser du BRF en ferme. Dans le cadre de plusieurs travaux de fin d'études, certains points ont également pu être approfondis. Les objectifs de communication du projet nous ont amenés à diffuser de l'information au cours de différentes manifestations et sur différents supports, ainsi qu'à rencontrer différents interlocuteurs.

Mission détaillée

1. Des essais en champs seront réalisés :
 - Durée : 2 ans
 - Lieu : le CTA à Strée
 - Surface : plus d'un ha
 - Nombre de blocs : 16 = 4 cultures X 4 traitementsSuivi de la dynamique et évaluation de l'impact de la technique.
2. Diffusion des résultats
 - Milieux scientifiques
 - Milieux professionnels

2. Mise en œuvre expérimentale : matériel et méthodes

BRF et amendements apportés

Les BRF utilisés au cours de nos expérimentations ont fait l'objet d'une analyse approfondie réalisée au B.E.A.Gx (laboratoire agréé par la Région Wallonne) dirigé par le Professeur Delcarte.

Ces analyses nous donnent une première vision précise sur les caractéristiques des matériaux disponibles en Wallonie (élagueurs, chantiers de compostage).

Valeur agronomique du BRF

L'examen des caractéristiques moyennes nous permet de proposer les valeurs suivantes pour décrire l'ordre de grandeur des valeurs agronomiques de 5 BRF épandus à Strée :

Caractéristiques	BRF*
Masse volumique (kg/m ³)	350
% MS sur poids frais	60%
Masse volumique sec (kg/m ³)	200
Capacité d'absorption kg/ m ³	350
C/N	50
Matières organiques /MS	85%
pH eau	6,5
Conductivité (µS. /cm à 20 °C)	400
Carbone kg/m ³	80
Azote kg/m ³	2
kg P/m ³	0,4
kg K/m ³	0,7
kg Ca/m ³	5
kg Mg/m ³	1

Valeur équivalente du BRF en éléments :

Unités	kg/m ³ de BRF	coût engrais/unités	
N	1,8	0,64 €	1,14 €
P2O5	1,8	0,46 €	0,84 €
K2O	1,7	0,32 €	0,54 €
CaO	7,0	0,08 €	0,57 €
MgO	1,7	0,72 €	1,20 €
Valeur Total :			4,29 €

* Chiffres arrondis, voir page 15 pour les chiffres complets.

Notons qu'une phytotoxicité de 15% en moyenne a été constatée en laboratoire, par contre, aucune phytotoxicité n'a été constatée en champs, ceci est confirmé par la littérature. En effet, au moyen d'un extrait de B.R.F., Beauchemin et al. [1992 (b)¹] ont montré que le matériau frais, inhibe la germination du cresson.

D'autre part, Beauchemin et al. [1992 (a)²] démontrent que le B.R.F. frais appliqué en champs n'inhibe pas la croissance des plants de pommes de terre.

¹ Beauchemin, S. et N'Dayegamiye, A. et Laverdière, M., Phytotoxicité des matériaux ligneux frais et compostés utilisés comme amendements organiques des sols, In Canadian Journal of Soil Science, n°72, pp. 177-181, 1992 (b).

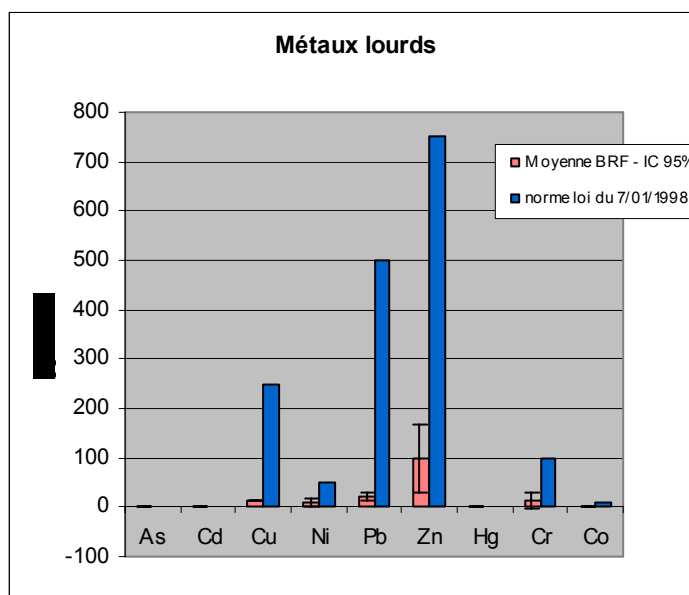
² Beauchemin, S. et N'Dayegamiye, A. et Laverdière, M., Effet d'amendements ligneux sur la disponibilité d'azote dans un sol sableux cultivé en pomme de terre, pp. 89-95, In Canadian Journal of Soil Science, n°72, 1992 (a).

Métaux lourds et BRF

La norme la plus adaptée qui pourrait être appliquée au BRF est la norme pour les amendements organiques mélangés telle que mentionnée dans l'Arrêté Royal du 7 janvier

Métaux	norme loi du 7/01/1998	Moyenne BRF	e	IC95%
As		1,998	1,047	0,917
Cd	2,5	0,724	0,448	0,393
Cu	250	14,000	1,225	1,074
Ni	50	9,920	8,607	7,545
Pb	500	22,620	9,624	8,436
Zn	750	97,600	77,732	68,134
Hg	2,5	0,088	0,056	0,049
Cr	100	13,700	20,178	17,687
Co	10	1,550	1,240	1,087

1998 relatif au commerce des engrais, des amendements du sol et des substrats de culture. On voit que le BRF se situe très en dessous de la norme et que les écart type et l'intervalle de confiance qui en résulte sont petit par rapport à cette dernière.



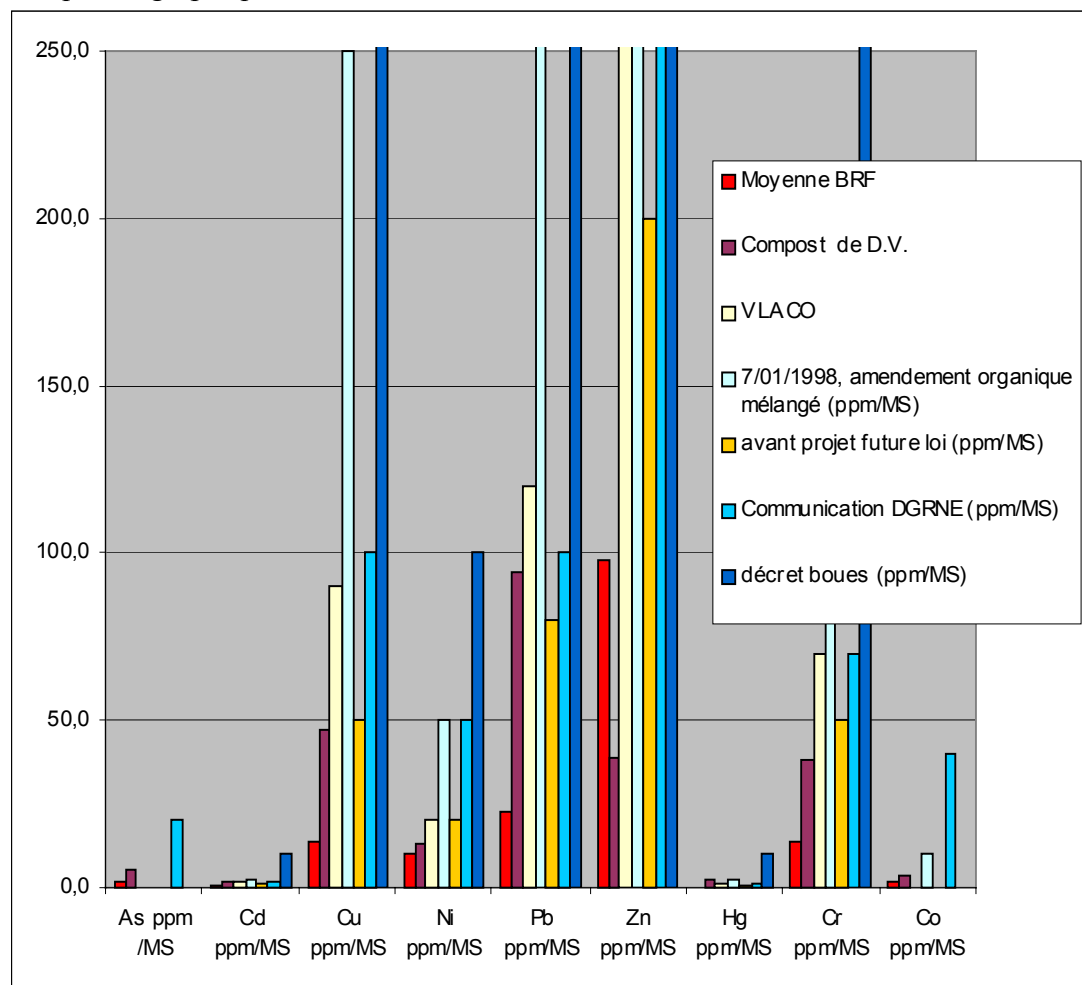
Afin d'élargir le cadre, comparons les teneurs en métaux lourds moyennes du BRF à d'autres valeurs. Nous avons pris comme comparaison supplémentaire la valeur d'un compost industriel et la norme VLACO, les valeurs reprises dans un précédent projet de décret favorisant la valorisation des matières organiques, une communication personnelle de P. Petit – DGRNE et les normes en vigueur pour la valorisation de boues en agriculture.

Elément	Moyenne BRF	Compost de D.V.	VLACO	7/01/1998, amendement organique mélangé (ppm/MS)	avant projet future loi (ppm/MS)	Communication DGRNE (ppm/MS)	décret boues (ppm/MS)
As ppm /MS	2,0	5,22					20
Cd ppm/MS	0,7	1,5	1,5	2,5	1	1,5	10
Cu ppm/MS	14,0	47	90	250	50	100	600
Ni ppm/MS	9,9	13	20	50	20	50	100
Pb ppm/MS	22,6	94	120	500	80	100	500
Zn ppm/MS	97,6	39	300	750	200	400	2000
Hg ppm/MS	0,1	2,58	1	2,5	0,5	1	10
Cr ppm/MS	13,7	38	70	100	50	70	500
Co ppm/MS	1,6	3,6		10		40	

On remarque que les teneurs du BRF en métaux lourds sont systématiquement en dessous des normes, ce qui est logique (matériau naturel) et généralement en-dessous du compost testé.

Si l'on compare, par exemple, à la norme boue, on constate que les valeurs dosées sur les BRF représentent en moyenne 5% de la norme.

Un graphique illustre bien cette situation : afin de faire apparaître le BRF, on a dû fortement tronquer le graphique :



Détails des analyses de BRF et de compost de déchets verts (D.V.) :

Au cours de ce projet, nous avons choisi de travailler avec des BRF généralement issus du mélange de plusieurs essences. Cette option, celle de la valorisation de sources existantes et diversifiées, est la plus réaliste dans le contexte actuel.

Le mélange d'essences feuillues de relativement faible diamètre peut-être considéré, à priori, comme une situation idéale. En effet, les dynamiques de décomposition, variables selon l'essence, se contrebalancent pour arriver à une situation moyenne. Les essences feuillues, un broyage fin et des branches de faible diamètre sont décrites positivement dans la littérature [Larochelle, 1994³].

Nous avons également pu tester en conditions de terrain des BRF qui ne correspondent pas à cette situation idéale (conifères, broyage grossier, broyage d'arbres entiers).

BRF	Broyage	Diamètre des branches	provenance	essences
0	Fin, broyeur à couteaux	Fin	Elagueur Lannoy, Liège	Marronnier
1	Fin : broyeur à marteau, passé 2 fois.	Variable, généralement fin	Intradel Soumagne	Divers feuillus (10-20 % conifères)
2	Fin, broyeur à couteaux	Variable, assez grossier : taillis + petits arbres entiers	Sogeplan, chantier SNCB, Bruxelles	Principalement robinier faux acacia
3	Fin, broyeur à couteaux.	Variable.	Elagueur Mathieu, chantier bord de route.	Hêtres, chênes principalement
4	Grossier, broyeur à marteau sans grille, passé une fois.	Variable, généralement fin.	Intradel Soumagne	Majorité de feuillus, stockés plusieurs mois après broyage (pré-compostés).
5	Grossier, broyeur à marteau sans grille, passé une fois.	Variable, généralement fin.	Intradel Soumagne	Conifères.
6	/	/	Intradel Jeneffe	Compost mûr

Caractéristiques non pondérales :

	1	2	3	4	5			6
	divers feuillus rebroyés	robiniers faux acacias	hêtres, chênes	divers stocké	conifères grossiers	Moyenne	IC 95%	Compost de DV
pH eau	6,4	6,5	6,9	6,6	6,5	6,58	0,1686	8
Conductivité (µS./cm à 20 °C)	320	791	294	500	248	430,6	195,48	1093
C/N	44	82	34,6	27	44,6	46,44	18,552	12,4
Phytotoxicité	3,10%	41,85%	12,36%	12,90%	7,50%	15,54%	13,36%	24,10%
Nbr de graine viables présentes	0	0	0	0	0	0	/	0

³ Larochelle L., L'impact du bois raméal fragmenté sur la dynamique de la mésofaune du sol, Mémoire présenté pour l'obtention du grade de M. sc., Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Québec, pp. 56, 1994.

Caractéristiques pondérales :

	0	1	2	3	4	5			6
Mesure	marronnier fin	divers feuillus rebroyés	robiniers faux acacias	hêtres, chênes	divers stocké	conifères grossiers	Moyenne	IC 95%	Compost de DV
Masse volumique (kg/m3)	394	372	245	365	394	334	350,7	49,37	597
% MS sur poids frais	57,02%	57,58%	77,50%	59,39%	51,29%	52,71%	59,25%	8,29%	59,36%
Masse volumique sec (kg/m3)	224,66	214,20	189,88	216,77	202,08	176,05	203,94	16,06	354,38
Capacité d'absorption kg/ m3	456,06	325,58	282,91	292,64			339,30	70,08	
Carbone % MS		33,16%	43,20%	26,17%	40,52%	44,99%	37,61%	6,86%	23,92%
Carbone % MF		19,09%	33,48%	15,54%	20,78%	23,71%	22,52%	5,96%	15,89%
Carbone kg/m3		71,0	82,0	56,7	81,9	79,2	74,2	9,41	84,8
Azote % MF		0,43%	0,41%	0,45%	0,77%	0,53%	0,52%	0,13%	1,15%
Azote % MS		0,75%	0,53%	0,76%	1,50%	1,01%	0,91%	0,33%	1,93%
Azote kg/m3		1,6	1,0	1,6	3,0	1,8	1,8	0,65	6,8
Matières organiques (% MF)		42,18%	72,42%	35,21%	44,63%	45,89%	48,07%	12,47%	24,02%
Matières organiques (%MS)		73,25%	93,45%	59,29%	87,02%	87,06%	80,01%	12,04%	40,46%
NO3 ppm/MF		0	0	1,98	0	0	0,4	0,78	10
NH4 ppm/MF		16,0	15,5	0,5	0,0	0,0	6,4	7,48	140,0
P2O5 (% MF)		0,09%	0,53%	0,71%	0,09%	0,13%	0,31%	0,25%	0,36%
P (% MF)		0,04%	0,23%	0,31%	0,04%	0,05%	0,14%	0,11%	0,16%
P(% MS)		0,07%	0,30%	0,52%	0,08%	0,10%	0,21%	0,17%	0,26%
kg P/m3		0,15	0,57	1,13	0,16	0,18	0,44	0,37	0,93
K2O (%MF)		0,19%	0,26%	0,23%	0,32%	0,32%	0,26%	0,05%	0,81%
K (% MF)		0,16%	0,22%	0,19%	0,26%	0,27%	0,22%	0,04%	0,67%
K (% MS)		0,27%	0,28%	0,32%	0,51%	0,51%	0,38%	0,11%	1,14%
kg K/m3		0,58	0,53	0,70	1,04	0,90	0,75	0,19	4,02
CaO (% MF)		3,02%	0,75%	2,67%	1,60%	1,52%	1,91%	0,81%	2,51%
Ca (% MF)		2,16%	0,54%	1,91%	1,14%	1,09%	1,37%	0,58%	1,79%
Ca (% MS)		3,75%	0,70%	3,21%	2,22%	2,06%	2,39%	1,03%	3,02%
kg Ca/m3		8,04	1,32	6,97	4,49	3,63	4,89	2,35	10,71
MgO (% MF)		1,78%	0,02%	0,46%	0,17%	0,17%	0,52%	0,63%	0,41%
Mg (% MF)		1,07%	0,01%	0,28%	0,10%	0,10%	0,31%	0,38%	0,25%
Mg (% MS)		1,86%	0,02%	0,47%	0,20%	0,20%	0,55%	0,66%	0,42%
kg Mg/m3		3,98	0,03	1,02	0,41	0,35	1,16	1,42	1,49
As ppm /MS		3,22	0,35	2,41	2,04	1,97	2,0	0,92	5,22
As mg/m3		689,72	66,46	522,42	412,25	346,82	407,53	202,20	1849,86
Cl- mg/l MS (g/m3)		230	89	18	495	745	315,4	264,34	940
Cd ppm/MS		0,13	0,92	0,39	0,96	1,22	0,7	0,39	1,5
Cd mg/m3		27,85	174,69	84,54	194,00	214,78	139,17	69,80	531,57
Cu ppm/MS		13	13	16	14	14	14,0	1,07	47
Cu mg/m3		2784,57	2468,38	3468,38	2829,16	2464,72	2803,04	358,77	16655,82
Ni ppm/MS		23	1,6	14	5,1	5,9	9,9	7,54	13
Ni mg/m3		4926,54	303,80	3034,83	1030,62	1038,70	2066,90	1660,43	4606,93
Pb ppm/MS		16	9,1	31	30	27	22,6	8,44	94
Pb mg/m3		3427,16	1727,86	6719,98	6062,48	4753,39	4538,17	1767,35	33311,64
Zn ppm/MS		11	43	82	152	200	97,6	68,13	39

Zn mg/m3		2356,17	8164,63	17775,43	30716,56	35210,28	18844,61	12363,71	13820,79
Hg ppm/MS		0,16	0,03	0,04	0,08	0,13	0,1	0,05	2,58
Hg mg/m3		34,27	5,70	8,67	16,17	22,89	17,54	10,08	914,30
Cr ppm/MS		48	1,3	16	1,2	2	13,7	17,69	38
Cr mg/m3		10281,48	246,84	3468,38	242,50	352,10	2918,26	3805,59	13466,41
Co ppm/MS		1	0,55	3,7	1,4	1,1	1,6	1,09	3,6
Co mg/m3		214,20	104,43	802,06	282,92	193,66	319,45	242,98	1275,77

Le BRF 1 a été utilisé sur le dispositif⁴ 10, le BRF 2 a été utilisé sur le dispositif 50 et 41 en 2004, le BRF 3 a été utilisé sur les dispositifs 30 et 20 en 2004. Le compost de DV, n° 6, a été utilisé à faible dose, en inoculum, sur les traitements du bloc 10.

Vu le coût très important des analyses et vu le caractère démonstratif des dispositifs, il a été décidé de ne pas analyser les BRF utilisés sur les blocs 40 en 2005 et 84.

Fumiers épandus et fumiers de ferme analysés

Nous avons fait réaliser plusieurs analyses de fumier, par la station d'analyse provinciale de Tinlot. Ces analyses permettent de comparer les qualités agronomiques de fumiers de ferme classiques et de fumier issu du remplacement de la paille par le BRF. Tous les fumiers analysés sont issus des étables bovines du CTA.

Le fumier 11 est le résultat du compostage durant un an du fumier 10, tel que sorti de l'étable, le fumier 9 sort directement de l'étable et n'a pas été mis en tas avant l'analyse. Les fumiers 7 et 8 ont été mis en tas durant plusieurs mois, sans toutefois être retournés plusieurs fois.

	7	8	9	10	11
	Fumier paille 2003-2004	Fumier paille 2004-2005	Fumier BRF 2005	Fumier BRF 2004	Compost fumier BRF 2004
MS	28,4%	20,4%	45,1%	47,4%	23,2%
pH	8,6	9,5	8,8	7,9	8,3
MO (%/MS)	52,5%	89,7%	81,2%	71,4%	81,4%
MO (kg/T MF)	149	183	367	338	189
N (%/MS)	2,2%	2,0%	1,7%	2,0%	2,0%
N (kg/T MF)	6,3	4,1	7,9	9,3	4,6
C (%/MS)	23,6%	31,7%	29,1%	37,3%	24,9%
C (kg/T MF)	67,02	64,67	131,24	176,80	57,77
C/N	11,0%	16	17	19	13
Minéraux (%/MS)	47,5%	10,3%	18,8%	28,6%	18,6%
P2O5 (%/MS)	2,0%	1,9%	1,0%	1,2%	1,3%
P2O5 (kg/T MF)	5,6	4	4,4	5,6	2,9
K2O (%/MS)	4,0%	4,4%	2,2%	2,0%	1,6%
K2O (kg/T MF)	11,2	9,1	9,7	9,5	3,8
MgO (%/MS)	0,9%	7,0%	0,6%	0,7%	1,0%
MgO (kg/T MF)	2,5	1,4	2,6	3,3	2,2
CaO (%/MS)	3,1%	2,2%	1,7%	3,1%	3,0%
CaO (kg/T MF)	8,8	4,5	7,6	14,9	7
Na2O (%/MS)	0,9%	0,7%	0,2%	0,4%	0,2%
Na2O (kg/T MF)	2,7	1,3	1	1,8	0,5
eau (kg/T MF)	716	796	549	526	768
Minéraux (kg/T MF)	134,90	21,01	84,79	135,56	43,15

⁴ Les dispositifs sont décrits plus complètement dans la suite de cette partie.

Le fumier 7 a été épandu en traitement de fond, en 2004, sur l'ensemble du bloc 20, témoins et traitements. Le fumier 8 a été testé sur le bloc 85, le fumier 9 a été testé sur le bloc 82, le fumier 11 a été testé sur le bloc 83.

Lisiers

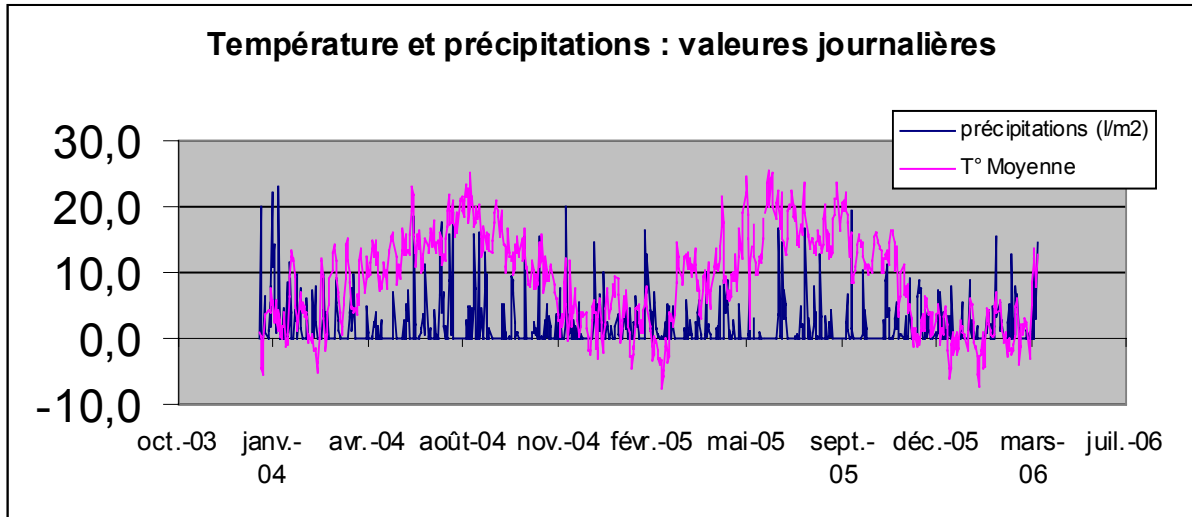
Plusieurs lisiers de bovins issus des cuves du CTA ont été utilisés, en complément du BRF, voici les résultats des analyses effectuées par la station provinciale d'analyse de Tinlot (12 à 14) et le laboratoire d'écologie des prairies, station de Michamps (15) :

Lisiers	12	13	14	15
	Lisier mars 2004	Lisier avril 2004	Lisier septembre 2004	Lisier avril 2005
MS	7,0%	6,7%	4,6%	
N ammoniacal	37,0%	32,7%		
pH	7,8	8,7	10,3	
MO (%/MS)	77,5%	73,1%	67,8%	
MO (kg/T MF)	54	49	31	
N (%/MS)	2,6%	2,5%	2,5%	
N (kg/T MF)	1,8	1,6	1,1	2,5
C (%/MS)	33,5%	31,8%	27,3%	
C (kg/T MF)	23,45	21,306	12,558	
C/N	13	13	11	
Minéraux (%/MS)	22,5%	26,9%	32,2%	
P2O5 (%/MS)	2,0%	1,9%	2,4%	
P2O5 (kg/T MF)	1,4	1,3	1,1	
K2O (%/MS)	4,3%	5,7%	7,0%	
K2O (kg/T MF)	3	3,8	3,2	
MgO (%/MS)	1,0%	1,2%	1,3%	
MgO (kg/T MF)	0,7	0,8	0,6	
CaO (%/MS)	2,2%	2,4%	2,7%	
CaO (kg/T MF)	1,5	1,6	1,2	
Na2O (%/MS)	2,0%	2,0%	1,4%	
Na2O (kg/T MF)	1,4	1,3	0,6	
eau (kg/T MF)	930	933	954	
Minéraux (kg/T MF)	15,75	18,023	14,812	

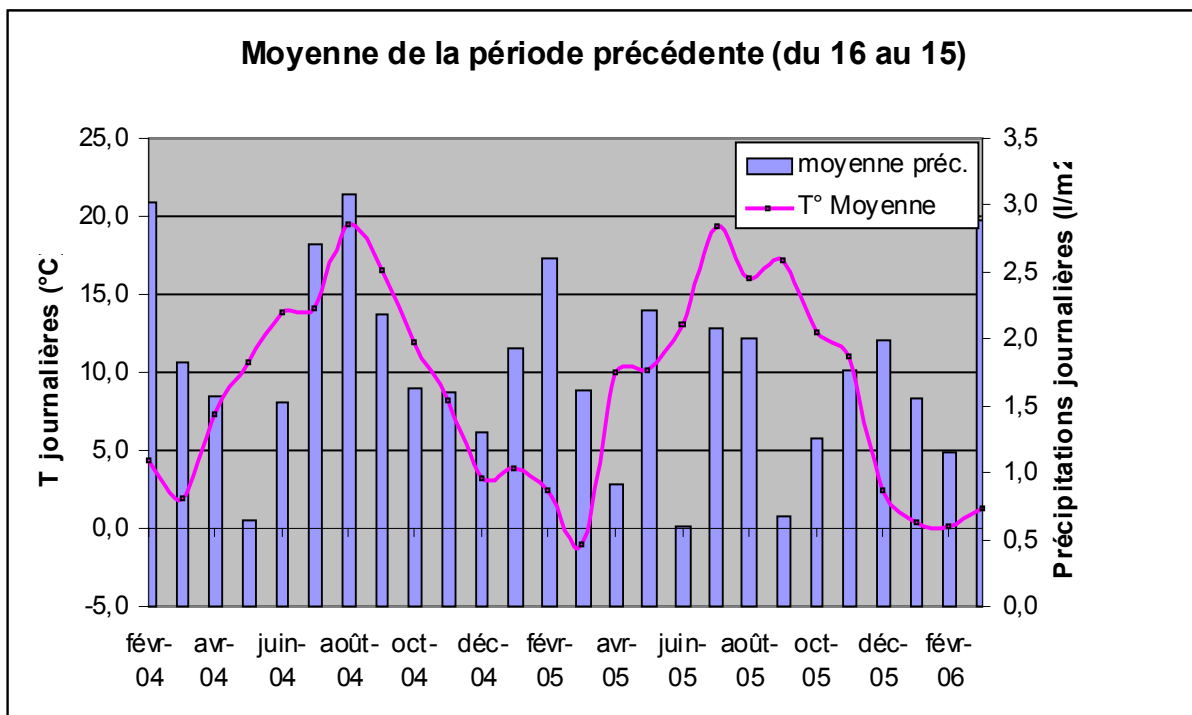
Le lisier 12 a été épandu sur les parcelles avec azote du bloc 10, le lisier 14 a été épandu sur le bloc 50 et le lisier 15 a été épandu sur le bloc 84.

Climat : données météo sur la durée du projet

Nous disposons au CTA d'une station météo permettant un relevé précis des températures et de la pluviométrie. Dès lors, nous avons mesuré précisément les précipitations et les températures entre 2003 et 2006, sur le site expérimental.



Pour expliquer nos résultats, il peut être intéressant d'exprimer ces données en moyennes mensuelles (mois précédent) :



Outre les variations saisonnières de températures, on remarque une bonne répartition des précipitations, avec toutefois quelques mois plus secs.

Les données annuelles nous permettent de calculer une température et des précipitations annuelles moyennes, sur Strée :

	préc. total (mm ou l/m ²)	T° moyenne (° C)
2004	781	9,5
2005	589	9,7

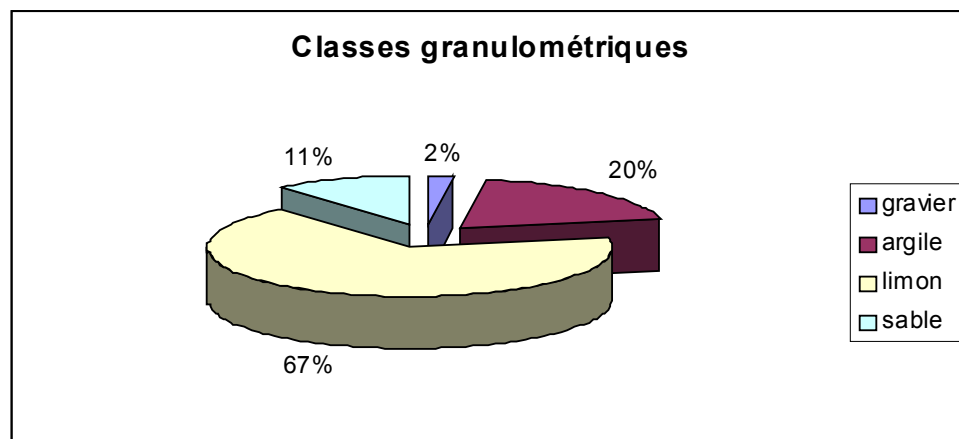
Le Sol

Rappelons que le dispositif requis dans le cadre de la mission est le dispositif 10, comprenant 16 sous-blocs répartis en 4 traitements et 4 rotations, sur une surface de plus d'un hectare. D'autres dispositifs ont toutefois pu être mis en œuvre, généralement en collaboration avec d'autres projets du centre ou dans le cadre de TFE ou stages réalisés par des étudiants. Ces synergies ont permis d'obtenir des résultats supplémentaires. Toutefois on comprendra que, dans un cadre budgétaire défini, le suivi n'a pas pu être aussi étendu que sur le dispositif 10.

Granulométrie et classes texturales

Un échantillon mélangé du sol du dispositif 10 a été analysé selon la méthode de la Pipette de Robinson (méthode de référence) par la station d'analyse provinciale de Tinlot.

Selon la norme belge, le sol de la parcelle expérimentale a été classé dans la catégorie limon lourd.



Détails de la composition granulométrique :

gravier	2,0%
terre fine	98,0%
matières organiques	2,9%

Terre fine	
argile	20,5%
limon	69,5%
sable	11,1%

Sol initial : pratiques antérieures et analyses en t₀

Les pratiques agronomiques utilisées sur les parcelles avant le début des essais comprenaient le labour à approximativement 30 cm de profondeur, l'apport régulier de fumier et de lisier bovin, le déchaumage et la préparation de sol au moyen d'outils à dents travaillant entre 15 et 30 cm de profondeur, le semis de céréales au moyen d'un combiné comprenant une herse rotative.

La rotation pratiquée à Strée est constituée par une tête de rotation maïs ou betteraves, plusieurs pailles (escourgeon, froment d'hiver, épeautre) et une prairie temporaire de ray grass maintenue deux ans. La ferme est cultivée en conventionnel. La fertilisation des cultures est en partie minérale et des produits phytos (désherbants, fongicides, insecticides) sont utilisés selon les besoins.

Les apports de fumier et la dominance des graminées dans la rotation expliquent des taux d'humus importants et un potentiel élevé d'auto-fertilité. Mis à part une certaine difficulté à accéder aux parcelles au printemps, le sol initial ne montre aucun problème particulier.

Les pratiques physiques ont abouti à la formation d'une semelle de labour vers 35 cm de profondeur et, entre la surface et cette semelle, à une bonne homogénéisation du sol.

Bloc 10

Le sol initial était cultivé en escourgeon, en 2003.

A l'exception d'une bande « non-labour », le bloc a été labouré les 23 et 24 février 2004. Des échantillons mélangés ont été prélevés sur les 16 sous-blocs le 11 mars 2004, la veille des épandages. Les échantillons ont été prélevés par les techniciens de la station d'analyse provinciale de Tinlot, à la tarière, sur 25 cm de profondeur, à l'exception des échantillons « nitrates » prélevés sur 3 profondeurs (0-30-60-90 cm). L'azote potentiellement minéralisable a été déterminé par la méthode d'incubation anaérobie. Chaque échantillon « mélangé » représente au moins 8 sous-échantillons pris sur le sous-bloc et homogénéisé ensuite.

Paramètre	Moyenne	± IC 95%
N total (mg/kg)	1279	20
C total (% sur sol sec)	1,55	0,06
CEC (meq/kg)	103	9
pH KCl	6,42	0,09
P (mg/kg)	97	5
K (mg/kg)	241	23
Mg (mg/kg)	131	10
Ca (mg/kg)	1868	95
Na (mg/kg)	14	3
N pot. Min 0-30 (UN/ha)	189	30
NO ₃ 0-30 (UN/ha)	18	2
NO ₃ 30-60 (UN/ha)	15	4
NO ₃ 60-90 (UN/ha)	20	7
NO ₃ 0-90 (UN/ha)	52	12

Métaux lourds :

Des analyses ont été réalisées à l'institut Ernest Malvoz sur un échantillon mélangé de la couche arable.

Sur 7 métaux analysés, la parcelle expérimentale se situe en-dessous des normes pour tous les métaux et en-dessous des moyennes régionales pour 4.

Métaux lourds	Cu	Zn	Pb	Ni	Cd	Cr	Hg
Bloc 10	7,7	125	35	13	1,3	17,5	< 0,1
Norme	50	200	100	50	2	100	1
Région Wallonne	14	91	30	20	0,5	32,1	0,12
Condroz	14	81	25	20	0,5	32,9	0,13

Bloc 20

Des échantillons mélangés ont été prélevés sur le bloc 20, dont le précédent était une culture d'escourgeon, le 05/08/2004 et analysés selon le même protocole que pour le bloc 10.

Paramètres	
N total (mg/kg)	1310
C total (% sur sol sec)	1,3
CEC (meq/kg)	106
pH KCl	6,3
P (mg/kg)	80
K (mg/kg)	230
Mg (mg/kg)	130
Ca (mg/kg)	1850
Na (mg/kg)	10
NO3 0-30 (UN/ha)	24
NO3 30-60 (UN/ha)	8
NO3 60-90 (UN/ha)	2
NO3 0-90 (UN/ha)	34

Vu l'intention d'implanter une culture de betteraves sur cette parcelle, on a testé la présence de kystes d'*Heterodera schachtii*. Suite à la mesure de 2 kystes/100 g de terre sèche, cette présence a été jugée sans importance ni risque pour la culture.

Bloc 30

Ce micro-bloc ayant pour objectif unique la détermination d'un paramètre d'immobilisation d'azote minéral. Le précédent était une prairie, détruite chimiquement et sans labour. Seul l'azote a fait l'objet d'une détermination préalable, le 31/06/2004 (azote minéral) et le 5/07/2004 (azote potentiellement minéralisable), sur 3 profondeurs.

L'azote minéral a été déterminé par entraînement à la vapeur, et l'azote potentiellement minéralisable par la méthode d'incubation anaérobie.

Profondeur	NH4+	NO3-	N min	N pot. Min.
0-30 (UN/ha)	10	24	34	214
30-60 (UN/ha)	14	10	24	53
60-90 (UN/ha)	3	21	24	11
0-90 (UN/ha)	27	54	82	278

Bloc 40 et 50

Ces blocs ont été établis sur une même parcelle, dont le précédent était froment. Des échantillons mélangés ont été prélevés le 14/04/2004 et analysés selon le même protocole que pour le bloc 10.

Paramètres	
C total (% sur sol sec)	1,4
pH KCl	6
P (mg/kg)	60
K (mg/kg)	200
Mg (mg/kg)	130
Ca (mg/kg)	1740
Na (mg/kg)	10
NO3 0-30 (UN/ha)	31
NO3 30-60 (UN/ha)	23
NO3 60-90 (UN/ha)	59
NO3 0-90 (UN/ha)	113

Bloc 80

Un précédent prairie temporaire de ray grass a été détruit chimiquement, la préparation de sol s'est faite sans labour.

Des échantillons mélangés ont été prélevés le 02/05/05 et analysés selon le même protocole que pour le bloc 10.

Paramètres	
C total (% sur sol sec)	1,3
pH KCl	6,4
CEC (meq/kg)	103
P (mg/kg)	90
K (mg/kg)	240
Mg (mg/kg)	150
Ca (mg/kg)	2170
Na (mg/kg)	30
NO3 0-30 (UN/ha)	14
NO3 30-60 (UN/ha)	5
NO3 60-90 (UN/ha)	4
NO3 0-90 (UN/ha)	23

Bloc 90

Ce micro-bloc a fait l'objet d'une détermination des quantités d'azote minéral présentes initialement dans le profil le 02/08/05 :

Profondeur	N min
0-30 (UN/ha)	14
30-60 (UN/ha)	5
60-90 (UN/ha)	1
0-90 (UN/ha)	20

L'azote minéral a été déterminé par entraînement à la vapeur, on observe des quantités très faibles sur ce bloc dont le précédent était Escourgeon, cultivé avec labour.

Plan de culture et organisation des parcelles :

Dispositif 10

Présentation

Le plan de culture vise à tester la technique suivant plusieurs itinéraires plausibles en Wallonie. Il faut pouvoir tester plusieurs moments charnières : le démarrage, un changement de culture, une période de transition entre deux cultures. Pour bien mettre en évidence l'impact du BRF, nous avons choisi des cultures à enracinements différents (céréales et prairies, maïs, tubercule), certaines exigeantes (maïs) d'autres frugales (orge), et 4 rotations. Le bloc a été mis en place dans les premiers mois du projet afin de pouvoir réaliser des mesures sur la durée la plus longue possible. Au printemps 2004, les conditions météo étaient limites pour le travail du sol. Ceci présente un intérêt expérimental et nous a permis d'étudier certains problèmes pratiques et leur résolution (tassement, problèmes d'épandage).

Le dispositif 10 reprend donc 4 témoins sans aucun apport et 12 répétitions de la même dose de BRF selon des modalités différentes. Le dispositif permet de tester des machinismes plus ou moins intensifs, l'apport complémentaire d'azote ou pas, différentes rotations. Ceci permet d'obtenir des données concernant l'évolution des propriétés du sol, simulant une application à grande échelle.

Le bloc est délimité par une jachère, les parcelles sont référencées précisément, on a pu, dès lors, prélever des échantillons mélangés aux mêmes endroits. Ceci permet, par exemple, de se mettre à l'abri de la grande variabilité spatiale des taux d'humus.

En fin de projet, le bloc a été semé en épeautre sur toute la surface de culture, ceci afin de faciliter sa gestion future.

Rotations :

- I Orge brassicole => engrais vert (moutarde) => pomme de terre => épeautre
- II Prairie tournière⁵ – jachère de 2 ans => épeautre
- III Trèfle violet – ray grass => maïs => épeautre
- IV Maïs => froment d'hiver => épeautre

⁵ Composition : ray-grass anglais, fléole des prés, fétuque des prés, pâturin des prés, trèfle blanc, trèfle violet, luzerne.



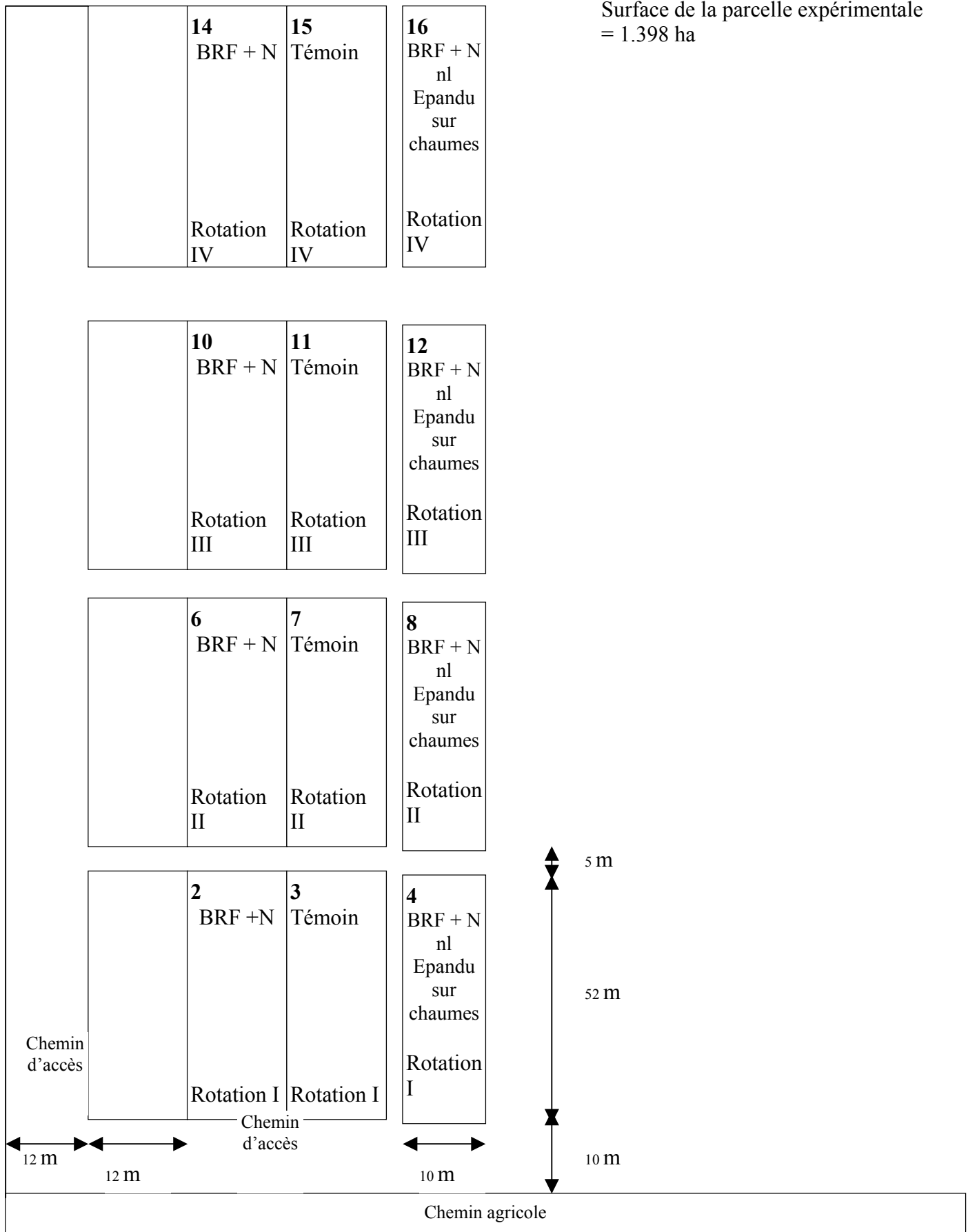
Traitements :

4 traitements ont été réalisés sur des bandes transversales par rapport aux rotations :

- BRF : un épandage de BRF sans apports d'azote.
- BRF + N : un épandage de BRF (dose identique à la première bande) et plusieurs apports d'azote minéral et organique.
- T : Témoin sans aucun apport.
- BRF + N nl : même dose de BRF et d'azote mais démarrage en non-labour (nl) de l'itinéraire (=> épandage sur chaumes).

Plan parcellaire :

Surface de la parcelle expérimentale
= 1.398 ha



Calendrier de mise en oeuvre

date	travail	parcelles	quantités
2001-2002	Précédent froment-ray grass	10	
22/08/02	Épandage lisier	10	40,2 T/ha
26/08/02	Epannage fumier	10	12,6 T/ha
30/09/02	Labour	10	
01/10/02	Rotative + semis escourgeon Jamaïque	10	
13/03/03	engrais	10	NO ₃ NH ₄ (31 kgN/ha) + 47 unités (NPK) 3X15
02/05/03	engrais	10	81 kg N/ha (NO ₃ NH ₄)
12/05/03	engrais	10	54 kg N/ha (NH ₄ N ₀₃)
10/07/03	récolte	10	
Démarrage du projet			
19/02/04	Pulvérisation ouragan	4, 8, 12, 16	1.44 kg/ha
23 et 24/02/04	labour	1,2,3,5,6,7,9,10,11,13,14,15	/
10/03/04	Pose de piquets	1-16	/
12 et 16/03/04	Épandage	1,2,4,5,6,8,9,10,12,13,14,16	226 m ³ /ha de BRF (1)
16/03/04	Epannage-inoculation	1,2,4,5,6,8,9,10,12,13,14,16	9,4 T/ha de compost (6)
17/03/04	Épandage lisier	2,6,10,14,4,8,12,16	60,7 T/ha de lisier (12)
17/03/04	Incorporation au chisel	1-16	/
30/03/04	Passage à la herse rotative	1 - 12	/
31/03/04	Passage à la herse rotative et semis ray grass « Speedy » + trèfle violet « Start »	9-12	48 kg/ha
31/03/04	Passage à la herse rotative et semis mélange tournière	5-8	40 kg/ha
31/03/04	Passage à la herse rotative et semis orge brassicole « Scarlett »	1-4	120 kg/ha
02/04/04	Passage au rouleau	3	/
28/04/04	Rotative, semis maïs « Ravistar »	13,14,15,16	
04/05/04	Passage au rouleau	5,6,7,8	/
04/05/04	Épandage NO ₃ NH ₄	2,6,10,14,4,8,12,16	84 kgN/ha
25/05/04	Pulvérisation	13-16	Century 2,5 l/ha +

			Callisto 0,8 l/ha
01/06/04	Apport NO3NH4	2,6,10,14,4,8,12,16	10 kg N/ha
25/06/04	Fauchage	9-12	
25/06/04	Apport NO3NH4	14, 16	104 kg/ha
28/06/04	récolte	9-12	
14/07/04	Apport NO3NH4	10,12,6,8,2,4	104 kg/ha
02/09/04	Moisson orge	1 - 4	
07/09/04	Ballottage et récolte paille de l'orge	1 - 4	36 Ballots
08/09/04	Fauchage foins	5-12	
10/09/04	Ballottage foin	5-12	
15/09/04	Décompactage cultisocle	1 - 4	
20/09/04	Rotative + semis moutarde + rouler	1 - 4	12 kg/ha
18/10/04	Récolte maïs	13-16	
22/10/04	Passage au cultisocle perpendiculairement au sens de travail et semis froment « Tulsa » (rotative – semoir)	13-16	120 kg/ha
25/11/04	Pulvérisation Hurricane	9-12	Glyphosate : 2 kg/ha
18/03/05	Pulvérisation Hurricane	Bord du 21 ; 1 à 4 ; 9 à 12	2 kg glyphosate/ha
15/04/05	Passage au chisel perpendiculairement au sens de travail	1 à 4	
22/04/05	Chiesel+ bic+ rotative	1 à 4	
22/04/05	Pulvérisation racourcisseur + herbicide sélectif	13 à 16	100 ml/ha primus + 1,5 l/ha CCC Cycocelle
22/04/05	Pulvérisation Hurricane	9 à 12	2 kg glyphosate/ha
22/04/05	Épandage engrais	2 et 4	120 kg N/ha (NO3NH4)
22/04/05	Épandage engrais	14 et 16 ; 10 et 12 ; 6 et 8	60 kg N/ha (NO3NH4)
27/04/05	Passage au Chisel	1 à 4	
28/04/05	Herse rotative + planter maïs « Ravistar »	9-12	
28/04/05	Passage au Chisel	1 à 4	
28/04/05	Plantation pdt « Désirée »	1 à 4	1500 kg/ha désirées 28-35
02/05/05	Buttage pdt	1 à 4	
09/05/05	Pulvérisation fongicide	13 à 16	Bravo : 2l/ha

10/05/05	Décompactation pattes d'oies perpendiculaire au sens de travail + bic dans le sens de travail.	9 à 12	
25/05/05	Pulvérisation DEFI + Linuron	1 à 4	5 l/ha + 1 l/ha de Linuron
16/06/05	Pulvérisation herbicide	Bloc 9,10,11,12	0,7 l/ha Callisto + 0,75l/ha Sanson
16/06/05	Broyage jachère	5,6,7,8	
28/06/05	Pulvérisation EPOK 600 EC	Bloc 1 à 4 – 12 m	400 g/ha
12/07/05	Pulvérisation EPOK 600 EC	Bloc 1 à 4 – 12 m	400 g/ha
29/07/05	Pulvérisation Ranman	Bloc 1 à 4 – 12 m	0,2l/ha
17/08/05	Pulvérisation Basta S	Bloc 1 à 4	3 l/ha
17/08/05	Moisson froment	13 - 16	
	Fauche tournière		
28/09-15/10/05	Récolte pdt	1-4	
04/10/05	Ensilage maïs	9-12	
12/10/05	Décompactation et semis épeautre « Cosmos »	1-16	
18/04/05	Pulvérisation	1-16	300 g/ha Atlantis + 100 ml/ha Primus + 1l/ha Acpirob

Dispositif 20

Présentation

S'étalant sur une surface de plus de deux ha, le bloc 20 a été mis en place en tenant compte des enseignements du bloc 10, afin de se situer dans un cadre idéal.

Ce dispositif a été mis en œuvre en collaboration avec un autre projet du centre (Ciale).

Dans notre cadre, il vise à réaliser des observations et mesures sur une même rotation (engrais verts => betterave => froment d'hiver) avec trois répétitions témoins et traitements.

Après une culture d'escourgeon Seychelles, on a épandu le BRF et du fumier perpendiculairement au sens habituel de travail, on a repéré l'emplacement des traces de passage, un déchaumage au chisel a, ensuite, été réalisé. La préparation du sol s'est faite avec le cultisocle en même temps que le décompactage, ensuite le semis de différents engrais verts a été réalisé avec le combiné rotative semoir.

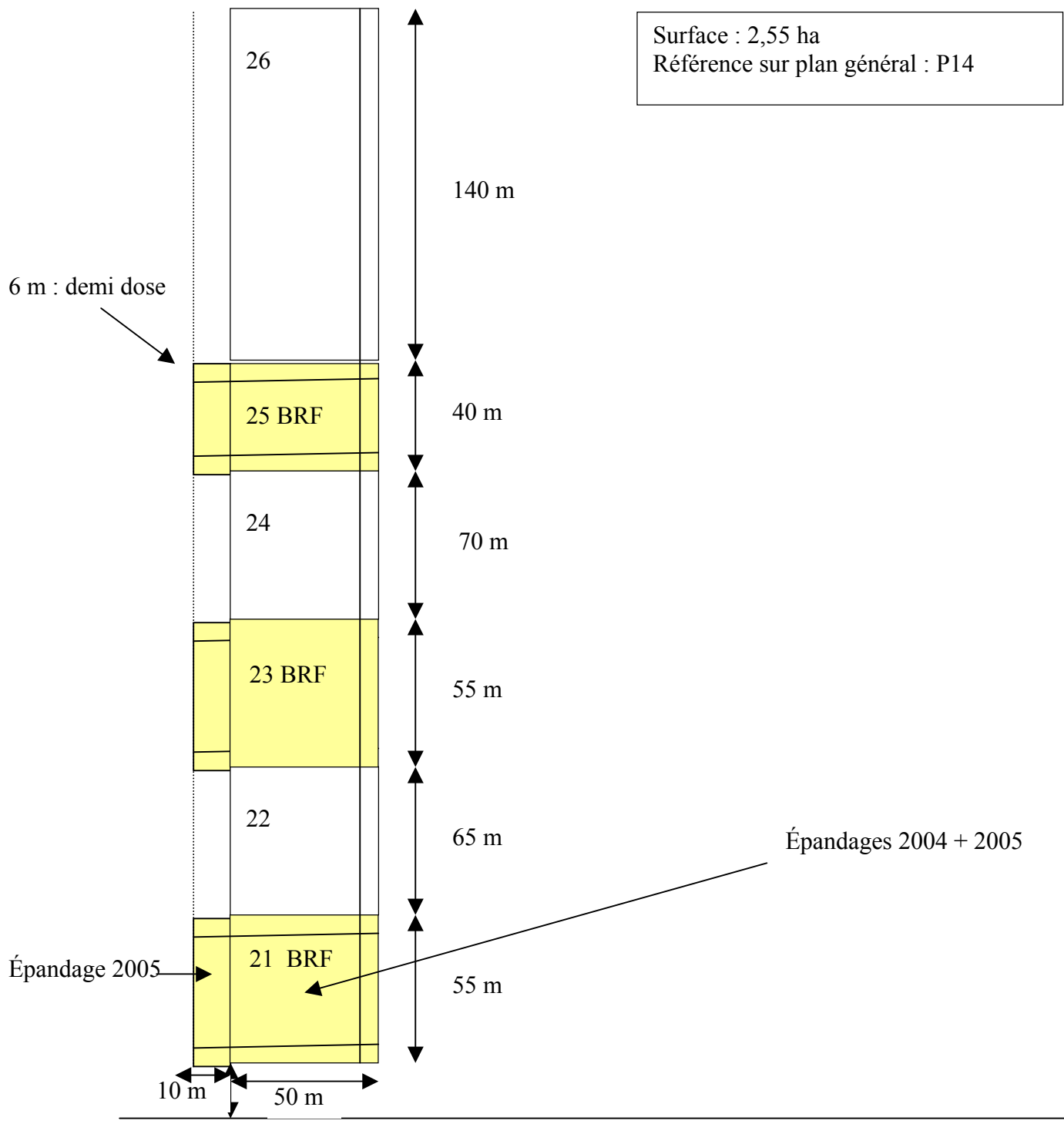
Le BRF utilisé était exclusivement feuillu et convenablement inoculé en micro-organismes décomposeurs par un stockage en bordure de forêt.

Par ce dispositif on vise à tester l'itinéraire technique qui semble le plus recommandable :

- Epandage après culture afin de laisser le temps au BRF de se décomposer pendant l'hiver en récupérant des reliquats et afin de pouvoir travailler sur sol sec et donc portant.
- Décompactage perpendiculaire au sens d'épandage afin de casser les traces.
- Travail superficiel, itinéraire non-labour dès le départ afin de permettre la décomposition (aérobie) du bois, d'éviter d'enfuir l'apport loin de la ryzosphère et de démarrer avec les organismes décomposeurs aérobies de la couche superficielle du sol.
- Utilisation de BRF feuillu correctement inoculé par des micro-organismes décomposeurs
- Co-épandage de fumier (source d'azote supplémentaire).
- Implantation d'une inter-culture afin de protéger le sol et d'activer la vie du sol (exsudats racinaires).



Plan parcellaire :



Calendrier de mise en oeuvre

date	travail	parcelles	quantités
06/08/03	Épandage fumier	20	28,9 T/ha
29/09/03	Labour	20	

30/09/03	Semi escourgeon « Seychelles »	20	148 kg/ha
18/03/04	engrais	20	41 unités NPK (3X15)
21/04/03	engrais	20	84 kg N/ha (NO3NH4)
05/05/03	engrais	20	81 kg N/ha (NO3NH4)
26/07/03	Récolte grain	20	
30/07/03	Récolte paille	20	
Démarrage de l'essai			
03/08/04	Epandage BRF	21, 23	57,5 T/ha ; 198,8 m3/ha
04/08/04	Epandage BRF	25, 23	57,5 T/ha ; 198,8 m3/ha
05/08/04	Epandage fumier	21-26	30,9 T/ha
06/08/04	Incorporation au bic et décompactage fraisage.	21-26	
18/08/04	Passage au petit bic, rotative, semis	21-26 : Phacélie (24m), moutarde + vesce (12m), avoine (24m)	
25/11/04	Pulvérisation Hurricane	21-26	Glyphosate :2 kg/ha
18/03/05	Pulvérisation Hurricane	Bord du 21	2 kg glyposate/ha
21/04/05	Épandage engrais	21 à 26	74 unités NPK (3X15)
22/04/05	Chiesel en biais + bic + rotative + plantation Betteraves Julietta + pulvérisation Pyramine	21 à 26	3,5 doses de betteraves/ha
12/05/05	pulvérisation	21-26	1 l/ha Dynamo + 0,5 l/ha Metafol
27/05/05	pulvérisation	21-26	1,8 l/ha Dynamo +0,3 l/ha Fusilade + 0,75 l/ha Corner
02/06/05	Apport de NO3NH4	21, 23, 25	159 kg de N/ha
16/06/05	Pulvérisation	21-26	1,5 l/ha Dynamo + 1 l/ha Métafol + 0,2 l/ha Fusilade + 3 l/ha rosolor
30/09/05	Arrachage betteraves	21 - 26	
10/10/05	Épandage BRF	21, 23, 25	133 m3/ha
11/10/05	Incorporation et décompactation + semis froment « Tulsa » rotative semoir	21 - 26	Semi : 80 kg/ha (36m) ; 100 kg/ha (12m) ; 120 kg/ha (12m)

11/04/06	Engrais 3X15	22, 24, 26 (36 premiers mètres ⁶)	30 Unités
11/04/06	Engrais 3X15	22, 24, 26 (24 derniers mètres)	40 Unités
11/04/06	Engrais 3X15	21, 23, 25 (36 premiers mètres)	46,5 unités
11/04/06	Engrais 3X15	21, 23, 25 (24 derniers mètres)	62 unités

⁶ Depuis la gauche en regardant le champs au départ du chemin agricole.

Dispositif 30

Présentation

Le dispositif 30 vise à établir plus précisément les quantités d'azote immobilisées suite à l'incorporation de BRF, ceci dans nos conditions et dans le contexte de l'itinéraire technique appliqué pour le bloc 20.

Ce dispositif a été partiellement suivi dans le cadre d'un TFE (Goefroy Villers).

Un petit bloc a été divisé en deux parties recevant une dose différente de BRF. Après incorporation - décompactage et semis d'orge (culture témoin) on a divisé chaque sous-bloc en 3 répétitions X 7 doses d'azote minéral = 21 parcelles de 2X3m. Chaque parcelle a donc reçu une dose d'engrais équivalente à 0,1,2,3,4,5,6 kg d'N/t de matière sèche de BRF épandu.



Plan parcellaire

2 m

Bloc « N » 30

1 a	0 a	2 a	5 a	3 a	6 a	4 a
5 c	6 c	3 c	4 c	1 c	2 c	0 c
2 b	1 b	5 b	0 b	4 b	3 b	6 b

3 m

I

1 b	6 b	5 b	2 b	3 b	0 b	4 b
0 c	5 c	4 c	1 c	6 c	2 c	3 c
4 a	5 a	3 a	6 a	0 a	1 a	2 a

II

Calendrier de mise en oeuvre

date	travail	parcelles	quantités
Précédent : prairie			
Démarrage de l'essai			
03/08/04	Epandage BRF	Bloc N 30	I : 226 M3, 65 T/ha ; II : 464 m3, 134 T/ha
06/08/04	Incorporation au bic et décompactage fraisage.	30	
18/08/04	Passage au petit bic, rotative, semis(orge « Scarlett »)	30	
24/08/04	Épandage engrais 27%	30 I et II	1 à 6 kg/T MS
08/12/04	Récolte et séchage orge	30 I	
10/12/04	Récolte et séchage orge	30 II	
26/05/05	Fraisage au motoculteur + semis maïs	30	

Dispositif 40

Présentation

L'objectif de ce bloc est de tester une application du principe d'immobilisation en bio : « jachère bio » au BRF et culture de légumineuses.

En effet, l'agriculture bio n'a recours qu'à des fertilisants naturels, cette règle consacre l'interdépendance de l'agriculture et de l'élevage, avec, pour conséquence, une limitation des capacités de production végétale. Beaucoup d'agriculteurs bios dispersés en Wallonie sont obligés de produire leurs fertilisants eux-mêmes par le biais de l'élevage. Le besoin en main-d'œuvre de cette activité d'éleveur limite le temps qu'ils peuvent consacrer au maraîchage. Ce phénomène a pour conséquence l'importation de fruits et légumes bios en Belgique.

Dans ce contexte, il pourrait être intéressant de développer un itinéraire légumineuse + BRF qui pourrait fertiliser le sol sans nécessiter trop de main-d'œuvre.

La légumineuse fixerait l'azote de l'air qui serait stocké grâce au BRF qui apporterait également les compléments en nutriments et oligo-éléments à la culture.

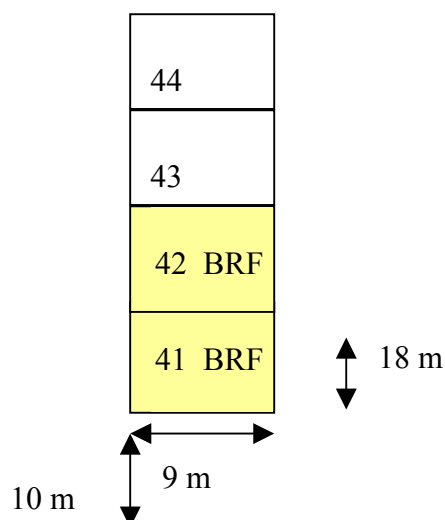
D'autre part, le BRF en immobilisant l'azote, pourrait favoriser les légumineuses et limiter les adventices.

Afin de tester ces concepts, nous avons récupéré un dispositif qui avait été utilisé pour un test de semis d'orties en 2004.

Tout le dispositif a été labouré et semé en moutarde en automne 2004. Le bloc 41 avait reçu du BRF en 2004, le bloc 42 du compost, le bloc 43 du lisier et le bloc 44 n'a pas reçu d'amendements.

Durant l'hiver 2004-2005, nous avons épandu du BRF sur les blocs 41 et 42. Les parcelles ont été semées en luzerne au printemps 2005.

Plan Parcellaire



Calendrier de mise en œuvre

date	travail	parcelles	quantités
2001-2002	Précédent chanvre	40-50	
Démarrage de l'essai			
06/11/02	Labour + rotative + semis froment centenaire	40-50	172 kg/ha
14/03/03	engrais	40-50	45,5 unités NPK (3X15)
02/04/03	engrais	40-50	67,5 kg N/ha (NO ₃ NH ₄)
27/05/03	engrais	40-50	81 kg N/ha (NO ₃ NH ₄)
04/08/03	Récolte grain	40-50	
05/08/03	Récolte paille	40-50	
Premier épandage de BRF			
14/04/04	Epandage BRF et incorporation	Block expé orties, futur bloc 41	170 m ³ /ha
13/05/04	Rotative + essais semis		
18/07/04	Pulvérisation	40	Round-up 1l/ha
13/09/04	Fauchage et ramassage des adventices	40	
16/09/04	Labour + rotative + semis moutarde	40	
Démarrage de l'essai			

25/01/05	Épandage broyat Modave + inoculum (2 bacs) sur sol gelé	41, 42	170 m3/ha
22/04/05	Passage au bic	41 à 44	
28/04/05	Passage au Chisel	1 à 4 et 41 à 44	
28/04/05	Fraisage,	41 à 44	
28/04/05	Semis avec rotative semoir de luzerne inoculée + passage rouleau	41 à 44	40 kg/ha
08/09/05	Coupe luzerne	41-44	

Dispositif 50

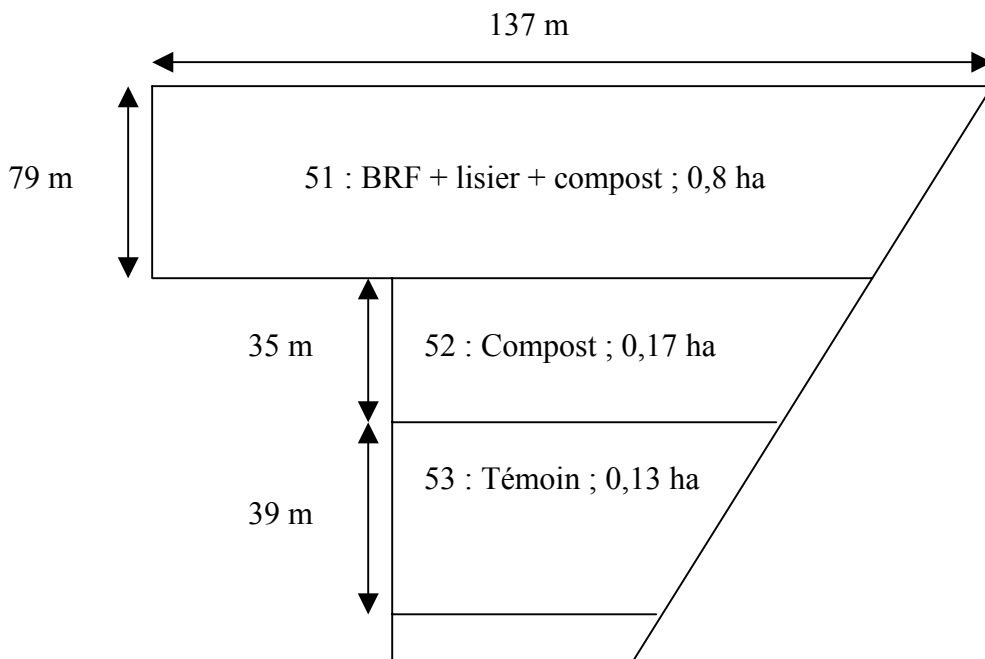
Présentation

Le bloc 50 a été mis en œuvre en collaboration avec un autre projet du centre. Nous avons épandu des doses importantes d'amendements organiques, dont du BRF et nous avons implanté une culture d'ortie.

L'ortie, plante nitrophile non fixatrice d'azote est une culture pérenne. Elle est susceptible de rester en place plus de 10 ans et exporte des quantités d'azote importantes.

On pourrait imaginer un système de traitement des effluents d'élevage en champs utilisant le BRF pour fixer l'azote et l'ortie pour l'exporter.

Plan parcellaire



Calendrier de mise en œuvre

date	travail	parcelles	quantités
2001-2002	Précédent chanvre	50	
06/11/02	Labour + rotative + semis froment centenaire	50	172 kg/ha
14/03/03	Engrais	50	45,5 unités NPK (3X15)
02/04/03	Engrais	50	67,5 kg N/ha (NO3NH4)
27/05/03	Engrais	50	81 kg N/ha (NO3NH4)
04/08/03	Récolte grain	50	
05/08/03	Récolte paille	50	
11/08/03	Epannage lisier	50	15,27 T/ha
19/08/03	Chisel (bic)	50	
16/03/04	Chisel (bic)	50	
Démarrage de l'essai			
14 et 15/04/04	Épandage BRF (2)	51	165 m3/ha
15 et 26/04/04	Epannage lisier (13)	51	53,8 T/ha
15/04 et 06/05/04	Epannage compost DV	51	33,8 T/ha
15/04/04	Incorporation au bic	51	
06/05/04	Epannage compost DV	52	
25/05/04 (1 semaine)	Planter orties	51-53	
29/06/04	Binage	51-53	
02/07/04	Engrais	51	10 kg N/ha (NO3NH4)
06/07/04	Fauchage	51-53	
01/09/04	Fauchage	51-53	
17/09/04	engrais	51-53	12 unités NPK (3X15)
18/03/05	Pulvérisation	51-53	1,5 l/ha gramoxone
30/03/05	Apport engrais	50	400 kg X 13-13-21 = 52 kg N/ha
24/05/05	Fauchage	51-53	
27/05/05	Récolte	51-53	
01/06/05	Pulvérisation	51-53	2,5 l/ha de Gramoxone
01/06/05	Engrais	51-53	40 unités NPK (3X15) + 9 kg N/ha (NO3NH4)
28/06/05	Pulvérisation	51-53	Priglone 2,5 l/ha

09/08/05	Fauchage	51-53	
11/08/05	Ramassage	51-53	
19/08/05	Engrais	51-53	54 kg N/ha (NO3NH4)
10/09/05	Fauchage - ramassage	51-53	
11/04/06	Engrais	51-53	60 unités NPK (3X15)
19/04/06	Pulvérisation	51-53	0,75 l/ha Eloge

Dispositif 80 :

Présentation

Une piste intéressante consiste à utiliser le BRF en complément, afin de mieux pouvoir valoriser les effluents d'élevage tout en participant à l'humification.

Le bloc 80 vise à tester différents amendements organiques comparativement: fumier normal, fumier de BRF, BRF + lisier.

Le bloc 81 est un témoin n'ayant reçu ni engrais ni amendements. Il a été travaillé de la même façon, avec les mêmes outils que les autres blocs du dispositif 80.

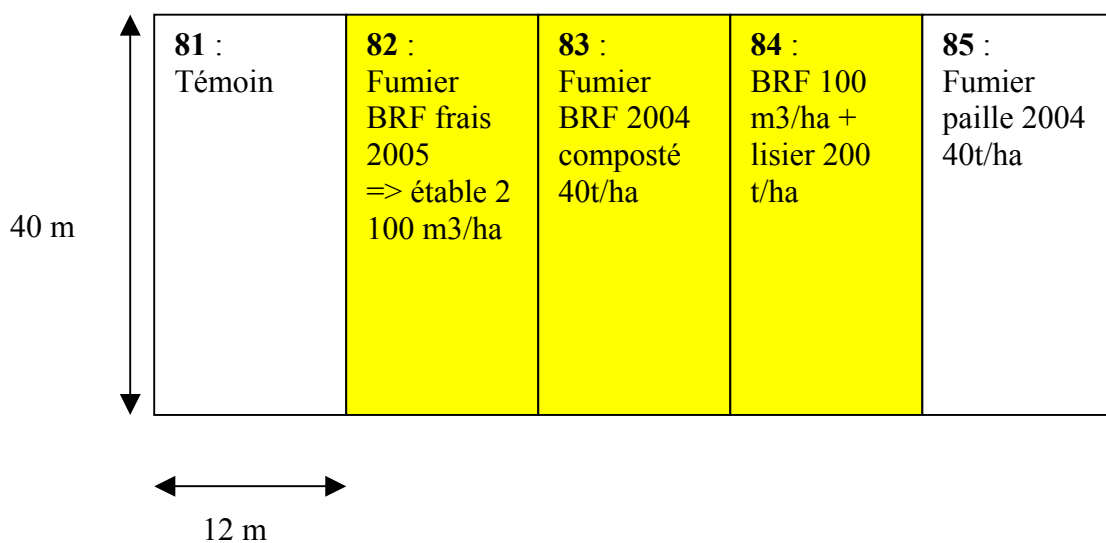
Sur le bloc 84, nous avons apporté au BRF un complément sous forme de lisier, calculé afin de fournir à la culture de maïs et au BRF l'azote nécessaire.

Sur le bloc 82, on a apporté le même volume de BRF ayant servi de litière d'élevage en 2005, soit un demi épandeur sur le bloc.

Sur le bloc 85 on a apporté une dose de fumier (paille) de 40T/ha (un quart d'épandeur).

Afin de comparer, la même dose, mais cette fois de fumier de BRF issu de l'expérience en étable en 2004 et composté depuis, a été apportée sur le bloc 83.

Plan parcellaire



Calendrier de mise en oeuvre

date	travail	parcelles	quantités
02/05/05	Épandage fumier BRF 2004 composté (10)	83	40 T/ha
02/05/05	Épandage BRF frais + lisier (15)	84	100 m3/ha 200 t/ha de lisier
02/05/05	Épandage fumier de BRF frais de l'étable 2 ; 2005 (9)	82	100 m3/ha
02/05/05	Épandage fumier paille 2004 composté (8)	85	40 T/ha
02/05/05	Décompactage perpendiculaire au sens de travail	81 à 85	
11/05/05	Passage herse canadienne, rotative et semis de Maïs « Ravistar »	81 à 85	
04/10/05	Ensilage maïs	81-85	

Dispositif 90

Présentation

Ce dispositif a été mis en place afin de tester l'effet de petites doses de BRF sur la rétention des nitrates.

L'objectif est de valider la linéarité de la loi observée pour les doses plus importantes ou de lier ces précédentes observations à celles que nous allons mesurer par une loi modifiée.

Nous pourrions alors déterminer l'immobilisation d'azote du sol durant la première année après l'épandage d'une quantité quelconque de BRF.

Chaque bloc : A, B ou C a reçu une dose de BRF (0, 51 et 135 m3/ha) ; des sous-blocs ont reçu des doses différentes d'azote avec 3 répétitions.

Plan parcellaire

C :
BRF :
51
m3/ha

250	100	50	0	200	150
50	0	100	150	250	200
100	150	250	200	50	0

B :
BRF :
0 m3/ha

150	250	0	50	100	200
200	50	150	100	0	250
0	100	50	250	200	150

A :
BRF :
135
m3/ha

250	0	50	150	100	200
0	150	100	250	200	50
50	250	200	0	150	100

Calendrier de mise en œuvre

Précédent : escourgeon.

date	travail	parcelles	quantités
09/08/05	Épandage BRF + engrais	90	
12/08/05	Incorporation (fraisage décompactage rotative semoir) du BRF et semis de l'escourgeon	90	
13/04/05	Pulvérisation Hurricane	90	Glyphosate : 2 kg/ha

Dispositifs additionnels : essais complémentaires portant sur la diversification des itinéraires

L'application directe du BRF en champs est une voie intéressante de valorisation de cette matière. Elle n'est toutefois pas la seule possibilité de valorisation qui s'offre à l'agriculteur. Nous avons voulu pousser l'expérience plus loin, dans ce sens et aussi nous intéresser à certains aspects tel que le stockage du BRF avant utilisation ou la biométhanisation.

Utilisation en litière bovine

Utiliser le BRF comme litière d'élevage pourrait être intéressant d'un point de vue économique, vu le prix de la paille. Reste à voir dans quelle mesure, substituer le BRF à la paille permettrait de financer les frais de transport.

C'est pourquoi nous avons mené un pré-test en litière d'élevage, l'objectif était de vérifier si le BRF pouvait convenir à cette utilisation sans causer de problèmes aux bêtes et s'il pouvait présenter certains avantages. Ensuite, on a cherché à établir des correspondances et à chiffrer les volumes et les temps.

Nous avons réalisé les tests dans les étables bovines du CTA. Ces étables comprennent un couloir raclé jouxtant les mangeoires, suivi d'une zone paillée. Les bêtes déambulent librement à l'intérieur des loges.

Les étables sont peuplées de viandeux «Blanc Bleu Belge» et de laitières «Pie Noire ».

Après un premier essai qualitatif en 2004, nous avons décidé de réaliser une étude comparative paille - BRF. En 2005, nous avons réalisé un essai sur vaches laitières, c'est-à-dire en conditions extrêmes. En effet, les laitières doivent être tenues très propres afin d'éviter les maladies du pis (mammites). En outre, les laitières produisent des quantités très importantes de déjections. Nous avons également paillé 2 petites loges pour jeune bétail.

Les quantités de BRF comparées aux quantités de pailles nécessaires pour maintenir la propreté des zones paillées, ont été mesurées au cours de l'hiver 2004-2005.

Au cours de l'hiver 2005-2006, la majorité des étables de Strée ont été paillées au moyen de BRF, les temps et les volumes ont été mesurés afin de pouvoir établir des prévisions.

Stabilisation du passage des bêtes

Les chemins de passage du bétail sont des zones problématiques :

- Complètement défoncés, ils se transforment en bain de boue après la pluie. Or, maintenir le bétail les pieds dans la boue par temps froid peut occasionner des maladies.
- Les zones en question reçoivent un concentration de déjections animales, que le sol à nu sans structure ni couverture ne parvient pas à retenir. On constate généralement de fortes concentrations d'azote minéral à ces endroits.



Nous avons décidé de réaliser un petit test sur une bande de 10 m de long sur laquelle nous avons épandu 5m³ de BRF, en 2004. L'apport a été renouvelé en 2005 et la bande allongée. De part et d'autre de la bande traitée, le terrain a été laissé tel quel, constituant le témoin.

Stockage

Le stockage du BRF destiné à servir de litière peut poser problème en hiver. En effet, le BRF est susceptible de s'humidifier s'il est stocké à l'extérieur. L'eau emmagasinée prendrait ainsi la place des effluents d'élevage.

D'autre part, l'élévation de température, consécutive à la mise en tas, peut-être intéressante car elle permet une certaine hygiénisation du matériau.

Au cours de l'hiver 2004-2005, nous avons mesuré l'humidité de deux tas de BRF dont un a été recouvert d'une bâche plastique perforée au sommet.

Biométhanisation

Dans le cadre du travail de fin d'étude de Jean-François Pâques, nous avons testé le caractère biométhanisable du BRF.



Théoriquement, le BRF ne se dégrade qu'en condition aérobie. Toutefois une fraction, composée de sucres et de composants cellulaires pourrait être biométhanisable en conditions anaérobies.

Si tel était le cas, un prétraitement combiné du BRF et d'autres effluents, issus de l'élevage, pourrait s'avérer intéressant en ferme.

A contrario, le fait que le BRF ne soit pas biométhanisable justifiera que ce matériau soit séparé des autres matières organiques collectées par les intercommunales, et donc

disponible pour une utilisation agricole dans le futur.

Nous avons réalisé une incubation en chambre chaude à 55°C, dans deux réacteurs contenant un inoculum, de l'eau et 100 g de lisier frais.

Dans un des deux réacteurs, on a rajouté 100 g de BRF frais.

Les quantités et compositions du biogaz produit ont été mesurées au moyen d'un analyseur de gaz.

Utilisation en « mulch »

L'utilisation en mulch est une utilisation traditionnelle du BRF.

La technique du mulch consiste à apporter de la matière organique et à la laisser se décomposer en surface, sans incorporation. Le mulch est réputé lutter contre la dessiccation et les adventices. Dans le cadre d'une collaboration avec un autre projet du centre (Ciale), nous avons eu l'occasion de le tester lors d'épandages réalisés à partir de janvier 2005.

Afin d'implanter des haies au CTA, on a utilisé du BRF en mulch protecteur, après avoir planté les arbres. L'essai a porté sur l'utilisation de différents BRF et sur la mécanisation.

Nous avons voulu tester un BRF de feuillus par rapport à un BRF de résineux. En effet, une étude canadienne a montré une certaine sélectivité des broyats selon leur essence d'origine [Lemieux⁷, 1985].

Les BRF de feuillus et de conifères ont été épandus en sections alternées. Certaines sections ont été laissées nues. Ensuite nous avons compté le pourcentage de reprise des arbres au 27 juin 2005. Le BRF a également été testé dans l'implantation d'un verger.

⁷ Lemieux, G., Quelques essais d'induction de la végétation forestière vasculaire par le bois raméal fragmenté de certaines essences, Ministère de l'énergie et des ressources, Gouvernement du Québec, pp. 109, 1985.

Méthodes d'analyse relatives au suivi des paramètres

Analyses standard de sol

Les analyses standards de sol ont été réalisées (prélèvements et mesures) par la station d'analyse provinciale de Tinlot.

Standardisation des échantillons

Des échantillons sont prélevés à la tarière dans les 15 ou 25 premiers centimètres du sol des parcelles. Entre 8 et 15 échantillons sont prélevés par objet expérimental et ensuite mélangés. La terre est ensuite séchée à 40°C. La totalité de la terre est ensuite tamisée à 2mm avant d'être analysée.

Dosages de base:

Le carbone organique du sol est dosé selon la méthode de Walkley-Black.

Les éléments solubles (P, K, Ca, Mg, Ca, Na) sont mesurés selon la méthode acétate EDTA (rss 1/5, pH 4,65).

Le pH est le pH au KCl, pesée volumétrique 2/5.

Dosages additionnels:

La CEC est dosée selon la méthode Metson.

L'azote organique total est dosé selon la méthode Kjeldahl

Dosages de métaux lourds:

Ces analyses ont été réalisées par l'Institut Malvoz et la station provinciale de La Hulpe sur les échantillons prélevés par la station de Tinlot. Les métaux, à l'exception du mercure, sont dosés au moyen d'une torche à plasma couplée à un spectromètre de masse, selon une méthode dérivée de EPA 6020. Le mercure est dosé par entraînement des vapeurs de mercure réduit dans un flux d'argon et dosage par spectrométrie d'absorption atomique, selon une méthode dérivée de ENVA-100.

Formes d'azote

Standardisation des échantillons

Par objet, entre 8 et 15 échantillons sont prélevés sur 3 profondeurs (0-30 cm ; 30-60 cm ; 60-90 cm), à la tarière. Les échantillons de chaque tranche sont mélangés. La terre peut ensuite être stockée à 4°C jusqu'à 4 jours. La totalité de la terre fraîche est tamisée à 8 mm (Tinlot) ou 4 mm (Strée) avant de donner lieu à une extraction (KCl).

Nitrates

Un état des lieux des parcelles est régulièrement réalisé par la station d'analyse provinciale de Tinlot (prélèvements et mesures).

Après extraction, les échantillons sont dosés par la méthode colorimétrique, sur un photomètre automate.

Azote minéral sous toutes ses formes

L'azote minéral sous toutes ses formes est dosé au CTA, au moyen de la méthode d'entraînement à la vapeur sur la solution extractante. NH₄⁺ est dosé directement, NO₂⁻ et NO₃⁻ sont dosés après adjonction d'alliage de Devarda.

Azote potentiellement minéralisable

L'azote potentiellement minéralisable est dosé au CTA par entraînement à la vapeur, après une incubation anaérobie de 48 heures.

Comptage de micro-organismes

La méthodologie classique de comptage sur boîtes de Pétri a été appliquée au CTA, afin de suivre l'évolution de différentes populations de micro-organismes.

Standardisation des échantillons

20 échantillons sont prélevés à la tarière, dans les 10 premiers centimètres du sol de chaque objet. La terre est ensuite mélangée et tamisée fraîche, immédiatement, à 4mm. 10 grammes de terre humide sont ensuite mis en solution (H₂O + NaCl).

Préparation des milieux, incubation et comptages

On coule des boîtes de Pétri au moyen de 3 milieux: un milieu Tryptic Soy Agare (population bactérienne totale, corrélé à l'extrait de sol) ; un milieu Amidon Caséine (actinomycètes) ; un milieu Rose Bengale (champignons).

Des dilutions par un facteur 10 sont réalisées au départ des solutions de sols initiales.

On insème ensuite les milieux sur boîtes de Pétri, en trois répétitions, au moyen des 4 dilutions les plus pertinentes (en fonction du précédent comptage).

Les boîtes sont ensuite incubées à 27 °C durant 2 jours et subissent un premier comptage, elles sont encore incubées 2 jours et subissent un deuxième comptage, les nouvelles colonies sont additionnées.

On retient, pour les calculs, les dilutions donnant lieu à 10-20 colonies sur milieu Rose Bengale et 30-300 colonies pour les deux autres milieux.

Analyse des cultures et de leurs prélèvements

Après récolte, des échantillons mélangés sont prélevés par le CTA et, après détermination de la matière sèche, expédiés pour analyse à la station d'analyse provinciale de Tinlot ou de La Hulpe.

Rendements

Les rendements sont mesurés au CTA, par pesée des récoltes sur le pont bascule ou sur une balance plus petite et plus précise selon le cas.

Les rendements sur maïs ont été mesurés avec répétitions, après récolte manuelle dans chaque objet de 4 lignes X 10 m (bloc 13-16, 2004), par récolte manuelle de 5 lignes X 30 m (bloc 9-12, 2005), par récolte à l'ensileuse de 3 ensembles de lignes: 6, 6 et 4 lignes X 40 m. Les rendements de pommes de terre sur le bloc 1-4 ont été mesurés par la pesée de 13 lignes par objet.

Les rendements des foins et céréales sur le bloc 10 ont été mesurés par pesée de la récolte de chaque bloc.

Les rendements de betteraves sur le bloc 20 ont été mesurés par pesée de la récolte de 3 répétitions (traitement versus témoin).

Les rendements du bloc 30 ont été mesurés par pesée de la récolte de 3 répétitions constituées d'un sous-bloc de 2X3 m en entier.

Les rendements du bloc 40 ont été mesurés par pesée de la récolte de 2 répétitions.

Les rendements du bloc 50 ont été mesurés par pesée de la récolte de 5 répétitions de 4 m².

Dosages sur les produits

Après séchage à l'air, les matières sont broyées.

Les matières azotées sont déterminées par la méthode Kjeldahl.

Les minéraux solubles sont dosés après attaque à l'HCl et spectrométrie AA.

Plusieurs indices de qualité sont calculés selon le cas: VEM, MAD, DVE, OEB.

Suivi expérimental

Mesures à pas de temps régulier:

Les blocs 13 à 16 ont donné lieu, tous les deux mois, au dénombrement des germes viables de champignons, d'actinomycètes et de la flore bactérienne totale. Ce dénombrement donne lieu à une mesure d'humidité du sol. On a aussi réalisé, tous les deux mois, un dosage des nitrates sur 3 profondeurs, sur les mêmes blocs.

L'ensemble du dispositif 10 a subi un état des lieux annuel des paramètres du sol: nitrates sur 3 profondeurs + analyse standard de sol ; les exportations par les cultures ont également été mesurées.

Mesures occasionnelles

Des mesures additionnelles comprenant l'azote total, la CEC, les métaux lourds ainsi que des campagnes supplémentaires d'analyses standards ont été réalisées sur le bloc 10.

Mesures particulières

Les blocs 20, 40, 50, 80 ont été suivis par plusieurs états des lieux (nitrates et analyse standard + N total) avant et après culture ainsi que la mesure des rendements et exportations de la culture.

Les blocs 30 et 90 donnent lieu à une mesure initiale et une mesure final, en fin d'hiver, d'azote minéral sous toutes ses formes. Les prélèvements de la culture sont également évalués au moment du deuxième prélèvement.

Le bloc 20 a donné lieu à des mesures d'azote sous toute ses formes dans les 30 premiers centimètres du sol, à pas de temps rapproché (1 à 2 semaines) au cours des mois qui ont suivi l'épandage.

Une mesure de profil cultural et une mesure d'infiltration ont également été réalisées au cours du projet, sur les blocs 10 et 20.

3. Résultats expérimentaux

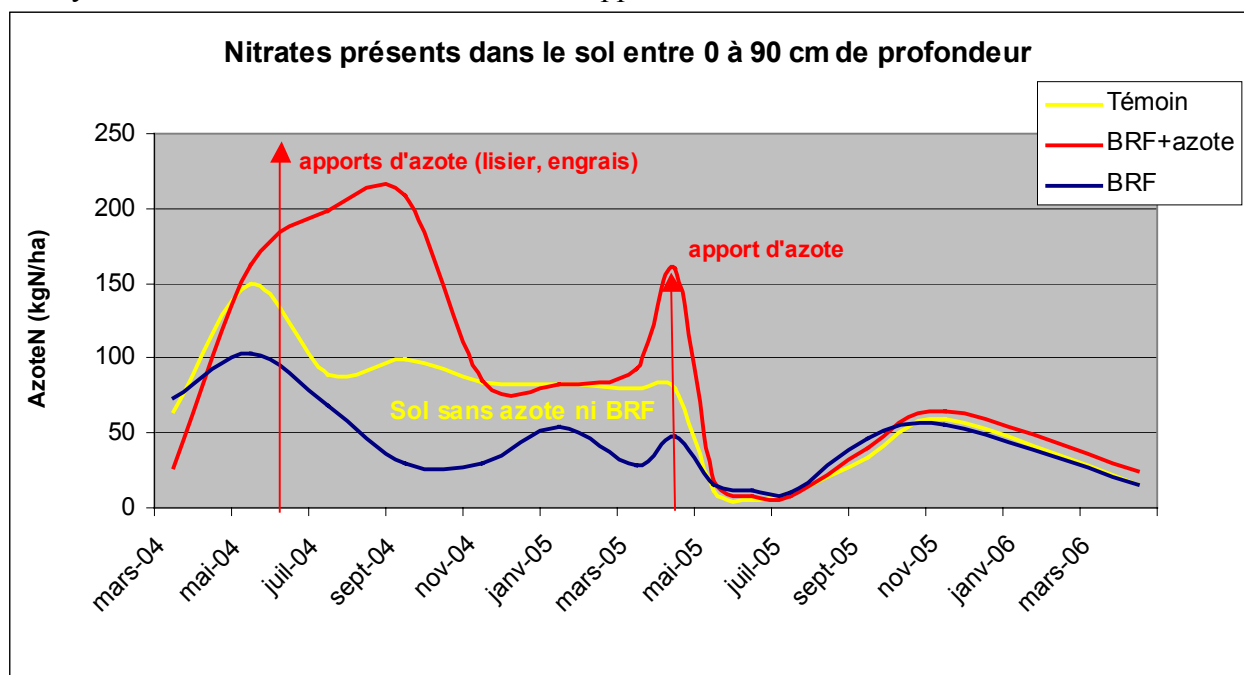
Dispositif 10

Nitrates



Analyses à pas de temps régulier :

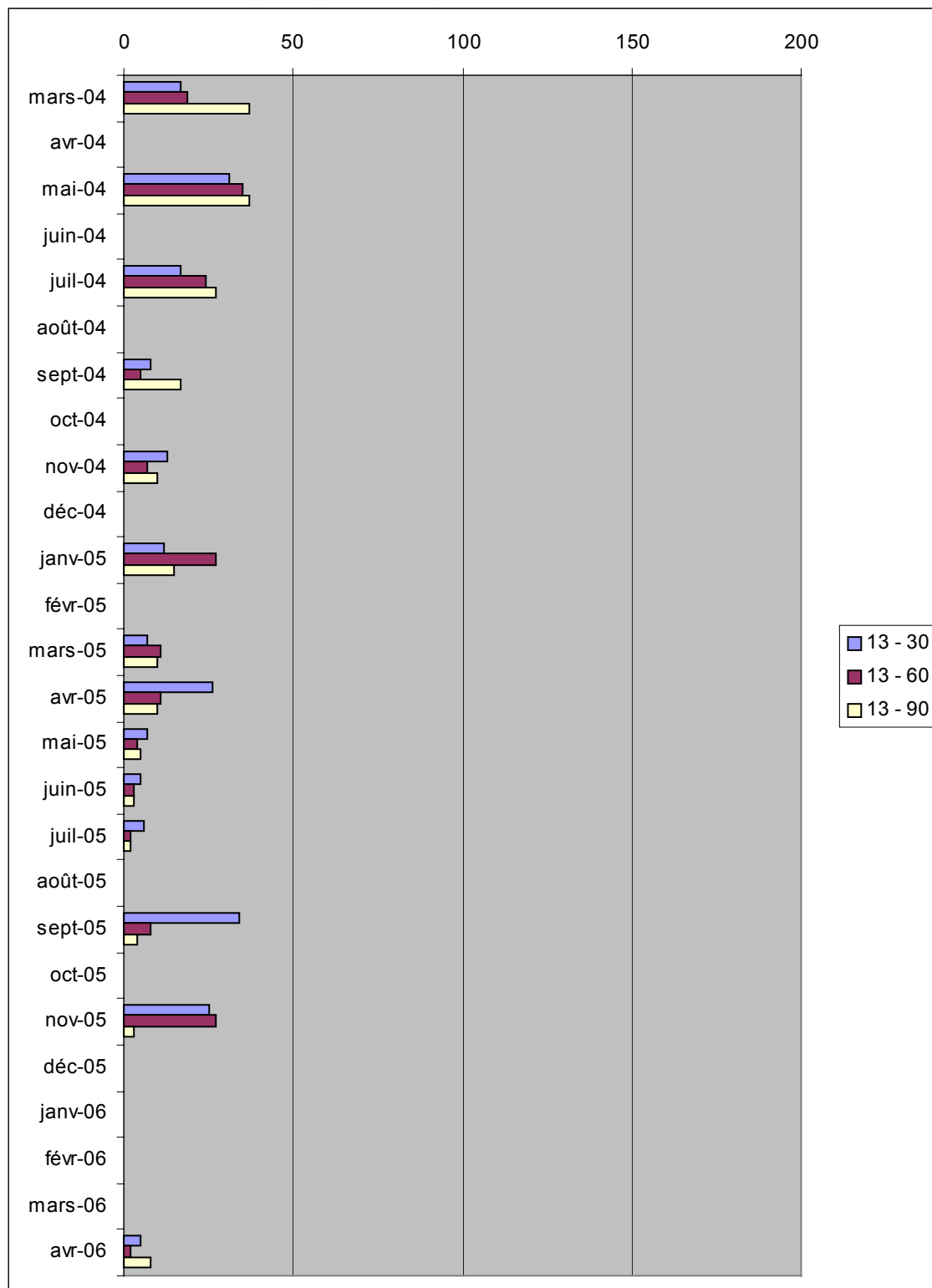
Les nitrates ont été mesurés tous les 2 mois sur 3 profondeurs sur chaque bloc (13-16). Les blocs 14 et 16 ont reçu les mêmes doses d'azote⁸ et de BRF, nous appelons « BRF + N » la moyenne des deux mesures. Le bloc 13 est appelé « BRF » et le bloc 15 «Témoin».



On constate que le bloc traité au BRF sans azote se situe en-dessous du témoin durant la première année. A partir de la deuxième saison de culture, les sols traités au BRF, avec ou sans azote, se comportent comme le sol témoin, soit comme un sol sans aucun apport. On ne constate donc pas de relargage, sous forme minérale, de l'azote immobilisé dans l'humus suite à l'apport de BRF.

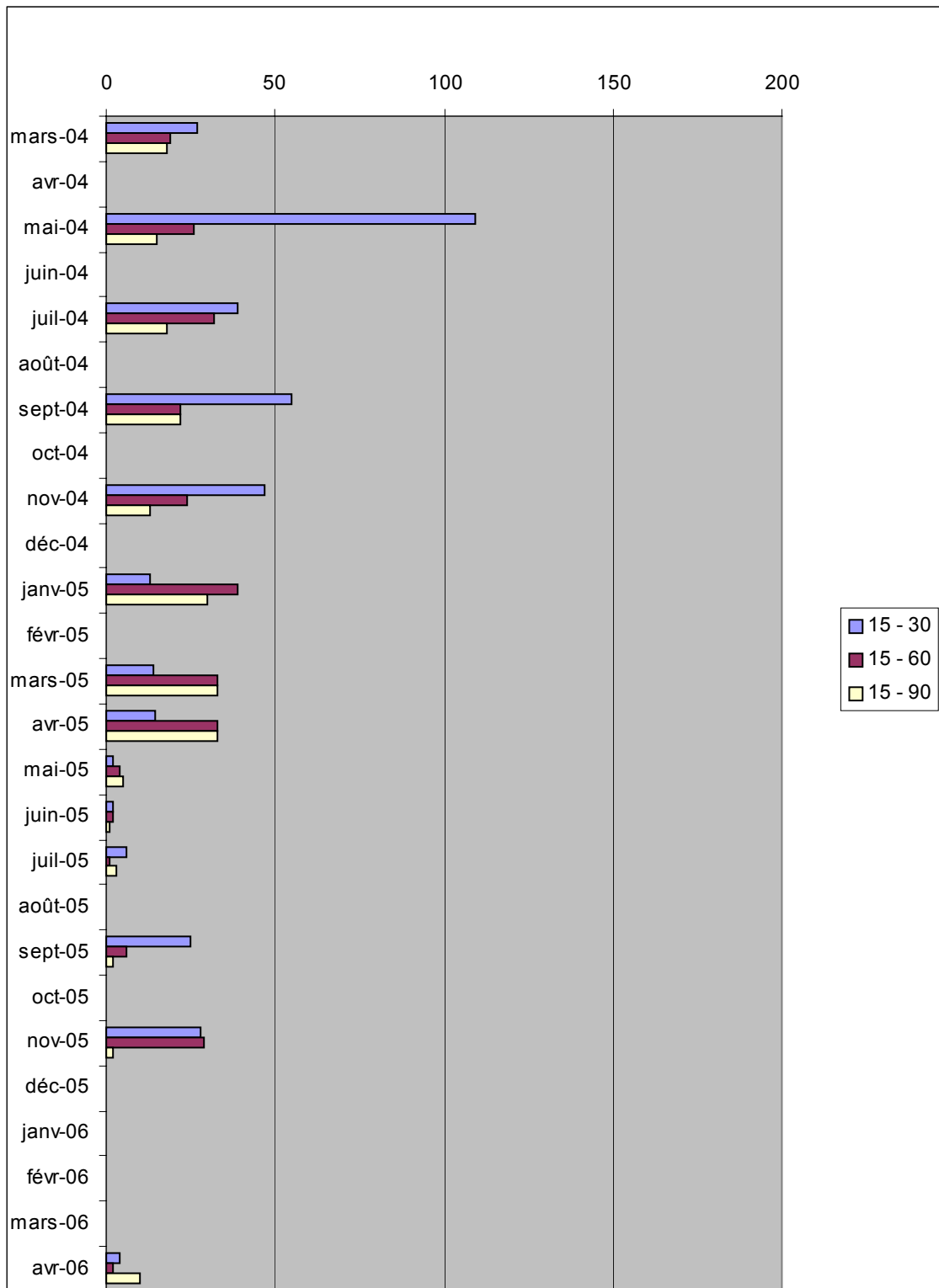
⁸ Les apports sont décrits avec précision dans la partie matériel et méthodes.

Voyons maintenant ce qui se passe bloc par bloc⁹ :

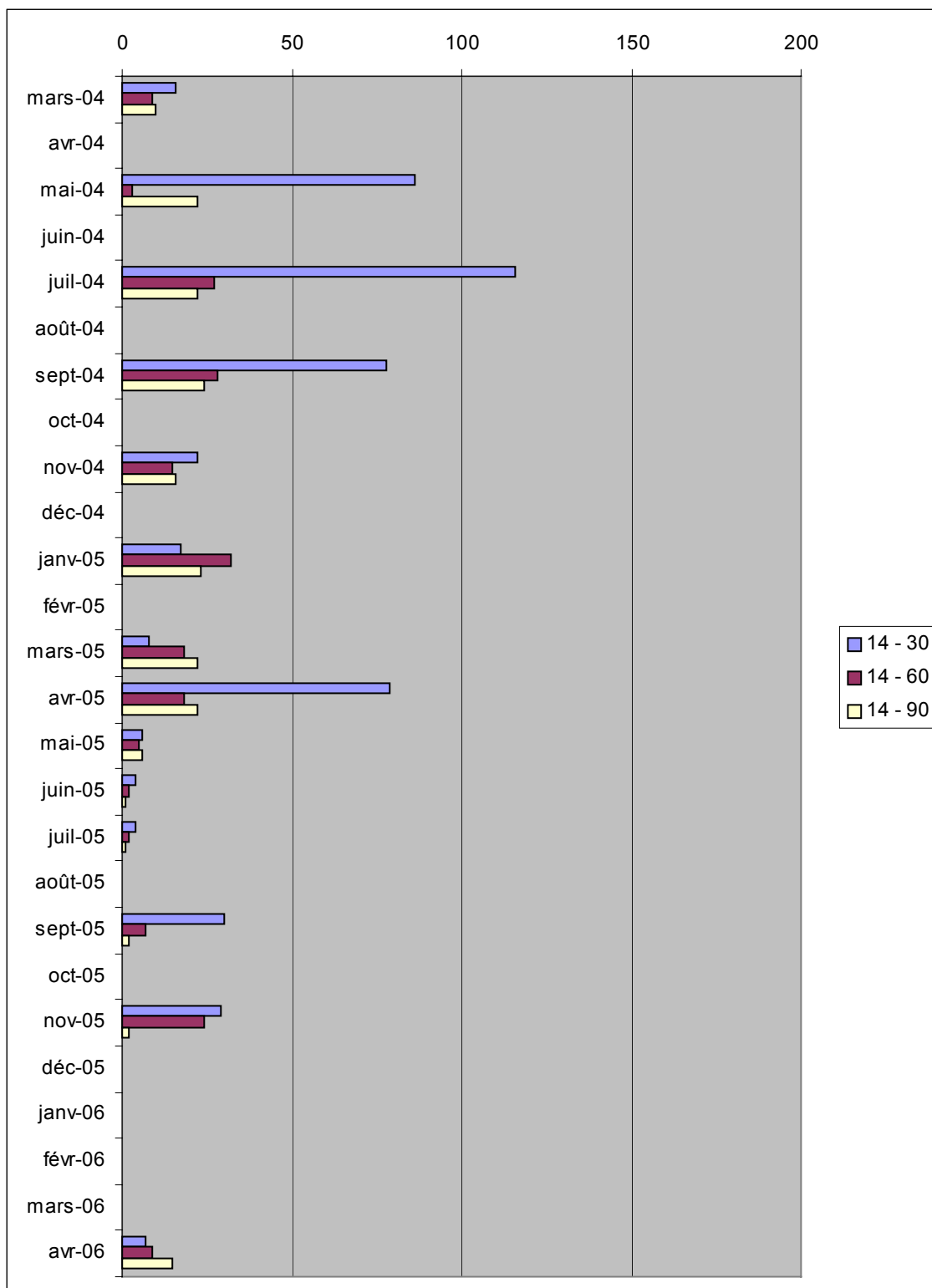


L'examen du bloc 13, « BRF seul », montre que les quantités de NO₃⁻ libres dans le profil décroissent au cours du temps. Il y a peu d'azote et donc, il s'infiltré peu. En septembre 2005, on observe une minéralisation modérée sur l'horizon de surface qui a tendance à se poursuivre et à s'infiltrer en novembre. On retrouvera un phénomène identique sur le témoin (15).

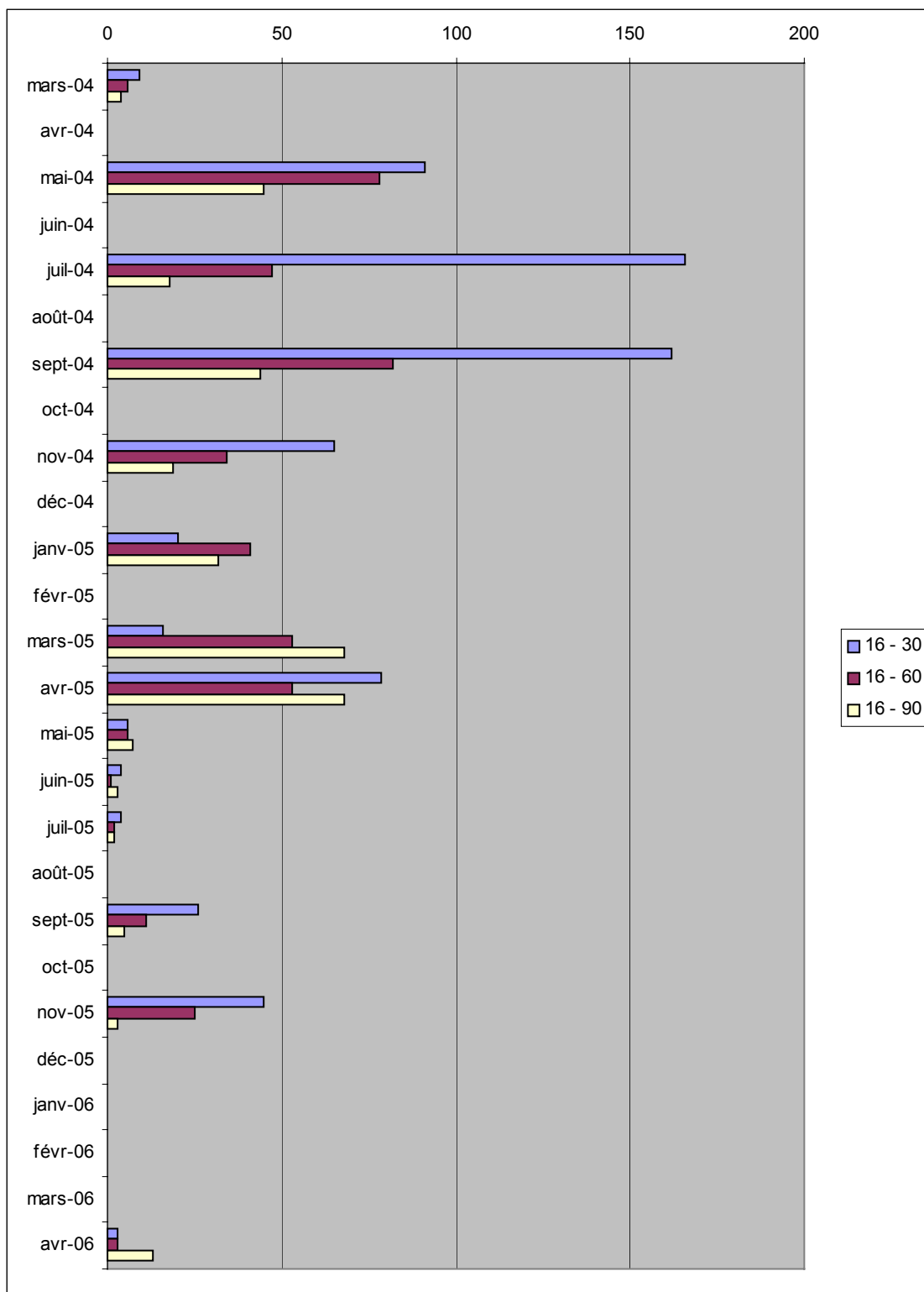
⁹ 13 – 30 est l'azote nitrique présent dans la tranche de sol comprise entre 0 et 30 cm, du bloc 13 ; 13 – 60 concerne la tranche comprise entre 30 et 60 cm,...



Le bloc témoin (15) montre un pic important de minéralisation en mai 2004. Pour le reste, les quantités de nitrates restent faibles. Toutefois, une infiltration est constatée au cours de l'hiver 2004-2005.



Dès mai 2004, un pic de minéralisation apparaît sur le bloc 14 et croît jusqu'en juillet. L'azote en profondeur varie peu et reste dans l'ordre de grandeur du témoin. En avril 2005, un pic de courte durée, en surface, correspond à un apport d'engrais. En septembre et novembre 2005, on observe, avec la même (faible) amplitude, le phénomène de minéralisation observé précédemment sur les blocs 13 et 15.



Après un premier pic de minéralisation plus marqué que sur le bloc 14 et se prolongeant tard dans la saison en 2004, on observe une diminution rapide des quantités de nitrates dans le profil en novembre, alors que la culture a été récoltée le 18 octobre. On verra par la suite que cette période correspond à une prolifération intense des champignons.

Au cours de l'hiver 2004-2005, les nitrates restant ont eu tendance à s'infiltrer sur le bloc 16.

En avril 2005, on constate l'effet de l'apport d'engrais sur les nitrates du premier horizon.

En septembre et novembre 2005, on constate le phénomène de minéralisation modérée constatée également sur les autres blocs.

Le comportement différent du bloc 16 par rapport au bloc 14, malgré des apports identiques, pourrait s'expliquer par un moins bon mélange du BRF et du sol suite à l'épandage sur chaume et à l'incorporation au chisel. Le comportement du bloc 16 rejoint celui du bloc 14 après un nouveau travail du sol, lors du développement de la deuxième culture.

Mesures annuelles sur l'ensemble du bloc 10

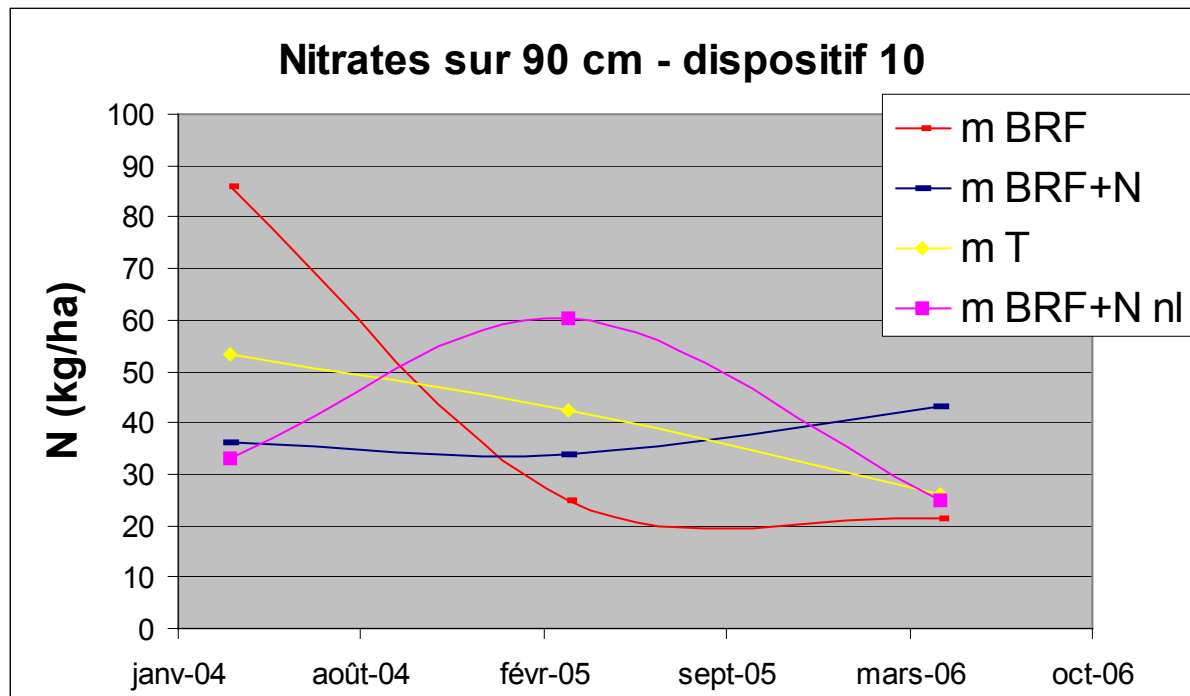
3 campagnes d'analyses annuelles ont été réalisées sur l'ensemble du bloc. En 2004, les apports d'azote minéral ou organique ont été rigoureusement identiques sur les 4 sous-blocs de chaque bande (BRF, BRF + N, Témoin, BRF épandu sur chaumes + N). Toutefois, les prélèvements des cultures et le travail du sol ont varié entre les rotations I, II, III, IV. D'autre part, en 2005, les apports ont varié: les blocs 2 et 4, rotation I, ont reçu 120 UN/ha de NO₃NH₄ alors que les mêmes bandes sur les autres rotations ont reçu 60 UN/ha. Cette différence ne semble pas avoir eu de conséquence en terme de présence de nitrates dans le profil, le bloc I affichant les valeurs les plus faibles.

Nitrates (kg N /ha) sur 90 cm.

Nmin tot	11/03/2004	16/03/2005	27/04/2006
I - BRF	107	17	10
I - BRF+N	33	19	25
I - T	46	18	10
I - BRF+N nl	32	31	12
II - BRF	71	25	44
II - BRF+N	41	27	64
II - T	47	29	50
II - BRF+N nl	47	28	40
III - BRF	93	29	17
III - BRF+N	36	41	53
III - T	57	43	28
III - BRF+N nl	34	46	29
IV - BRF	73	28	15
IV - BRF+N	35	48	31
IV - T	64	80	16
IV - BRF+N nl	19	137	19
m BRF	86	25	22
m BRF+N	36	34	43
m T	54	43	26
m BRF+N nl	33	61	25
e BRF	17	5	15
e BRF+N	3	13	18
e T	9	27	18
e BRF+N nl	11	52	12
IC 95% BRF	17	5	15
IC 95% BRF+N	3	13	18
IC 95% T	8	26	17
IC 95% BRF+N nl	11	51	12

Deux ans après l'épandage, la moyenne des quantités de nitrates présents dans les blocs traités au BRF avec ou sans azote, est de 30 kg/ha, contre 26 pour le témoin. Cette valeur est moitié moins importante que la valeur moyenne des APL (Azote Potentiellement Lessivable)

observés habituellement sur les fermes pilotes de Nitrawal. Notons que l'été 2005 a été marqué par des dépassements importants, relevés sur les fermes pilotes. Comparativement aux valeurs de l'année, 30 kg N/ha représente le tiers des valeurs moyennes mesurées sur ces fermes.

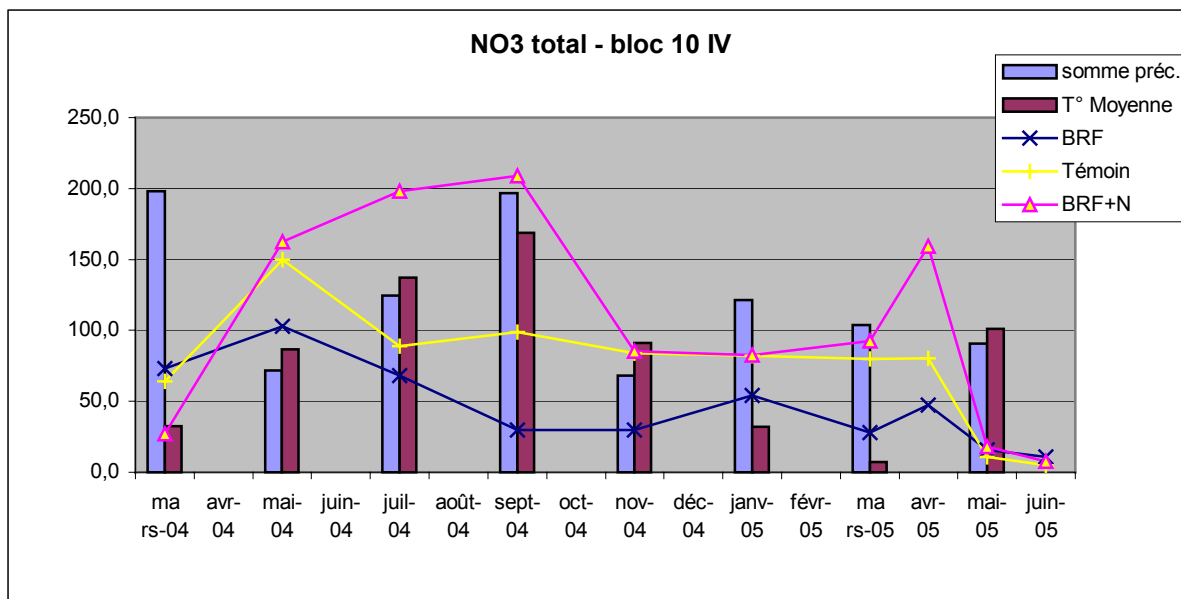


Discussion

Il est capital de bien maîtriser la gestion de l'azote dans l'année qui suit l'épandage de BRF. En effet, on montrera que les problèmes observés sur les cultures durant cette année venaient d'une maîtrise imparfaite de ce paramètre.

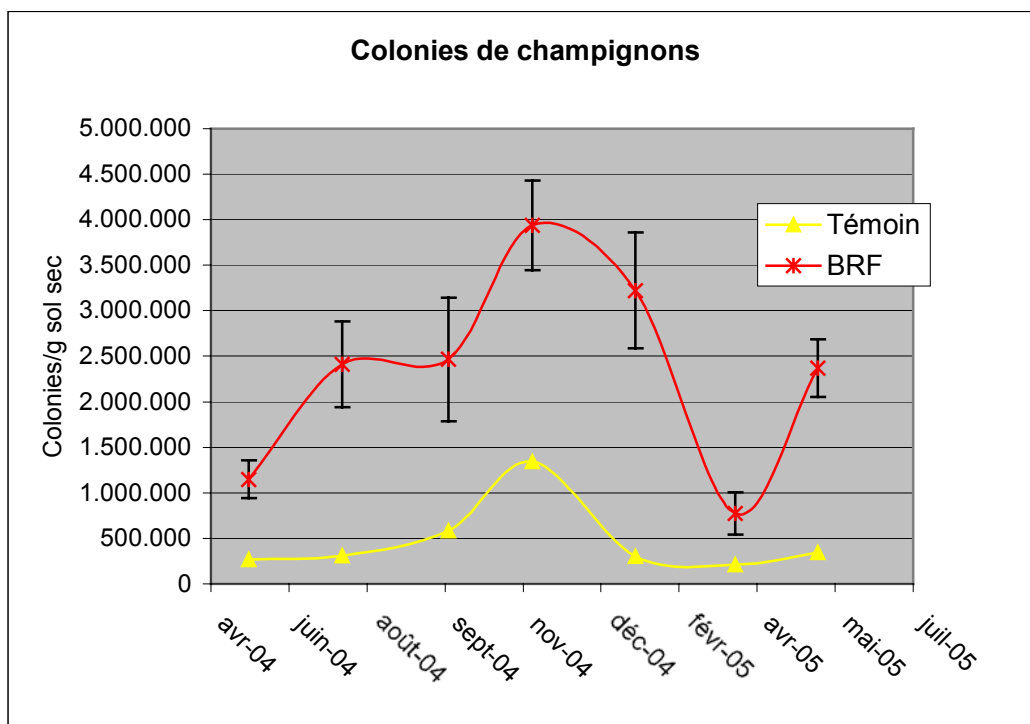
La véritable perspective offerte par l'utilisation du BRF étant une gestion à long terme du carbone et de l'azote dans nos sols.

Les résultats de nos suivis à plus d'un an, sur des blocs ayant reçu du BRF et un complément d'azote, sont prometteurs. Ils montrent une forte immobilisation de l'azote suite à la stimulation des champignons, cette immobilisation de l'azote le protège contre le lessivage et ne semble pas gêner la culture, après la première année.



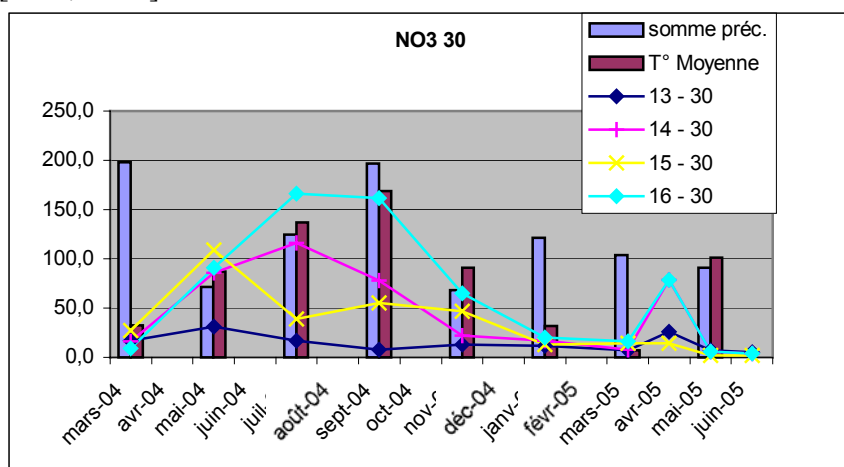
Comme nous l'avons vu précédemment, le 22/04/05, nous avons apporté 60 unités d'azote à l'hectare sur les blocs BRF+N de la rotation IV, l'azote présent en avril dans les sols a été rapidement immobilisé en mai. Ceci correspond à une augmentation marquée des populations de champignons à cette période. De même, précédemment, en novembre 2004, l'azote libre avait aussi fortement diminué alors que les champignons atteignaient un maximum.

Malgré que, à partir de mai 2005, nous retrouvions sensiblement la même quantité d'azote libre dans les sols témoin, BRF et BRF+N, la culture se comporte très différemment. La culture sur sol témoin montre des irrégularités, celle sur sol ayant reçu uniquement du BRF



montre une forte carence et une faible croissance là où le sol a reçu plus de BRF. Les blocs ayant reçu BRF et azote montrent une belle croissance sans carence.

D'un point de vue théorique, nous savons que la dépolymérisation de la lignine est inhibée par les sources d'azote facilement assimilables par les champignons (ammonium, urée et acides aminés) [Kirk et Fenn¹⁰, 1982], [Reid¹¹, 1979]. Elle est activée par les hydrates de carbonnes [Reid, 1979].



La dépolymérisation de la lignine semble être un processus de métabolisme secondaire, dans la première phase, les champignons se nourrissent des composants non structuraux du bois; ensuite, lorsque les protéines du champignon ont été synthétisées et que l'azote devient rare dans

le milieu, commence la dépolymérisation de la lignine [Kirk et Fenn, 1982]

Ceci amène certains auteurs (Tissaux, Lemieux,...) à se prononcer régulièrement contre l'apport d'azote conjoint au BRF.

Nos mesures montrent que l'apport d'azote n'a pas inhibé les champignons, par contre les champignons ont tendance à réduire l'azote libre à presque rien (propriété intéressante d'un point de vue environnemental).

En novembre, alors que la culture 2004 a été récoltée fin octobre et que la culture d'hiver vient d'être semée, on atteint un maximum de nombre de colonies de champignons et un minimum d'azote libre sur le sol ayant reçu de l'azote et du BRF.

Les champignons immobilisent l'azote libre et vont pouvoir commencer la dépolymérisation de la lignine qui rendra accessible, au cours de l'hiver, les celluloses et hémicelluloses du bois. On observe que les quantités d'azote disponibles chutent en novembre alors que les précipitations sont relativement peu abondantes. C'est probablement l'effet de l'incorporation des résidus de culture (riche en carbone) additionnés au BRF, qui ont été métabolisés par des champignons très nombreux à ce moment. Par la suite, l'azote minéral continue à diminuer dans les 30 premiers cm, probablement suite à d'importantes précipitations, par contre il reste stable sur 90 cm de profondeur.

¹⁰ Kirk, T.K. and Fenn, P., Formation and action of the ligninolytic system in basidiomycetes. In Frankland, J.C. and Hedger, J.N. and Swift, M.J. (éds), *Decomposer Basidiomycetes : their Biology and Ecology*, Cambridge University Press, London, pp.67-90, 1982.

¹¹ Reid, I.D., The influence of nutriment balance on lignine degradation by the white-root fungus *Phanerochaete Chrysosporium*. In *Can. J. Bot.*, n°57, pp. 2050-2058, 1979.

N total

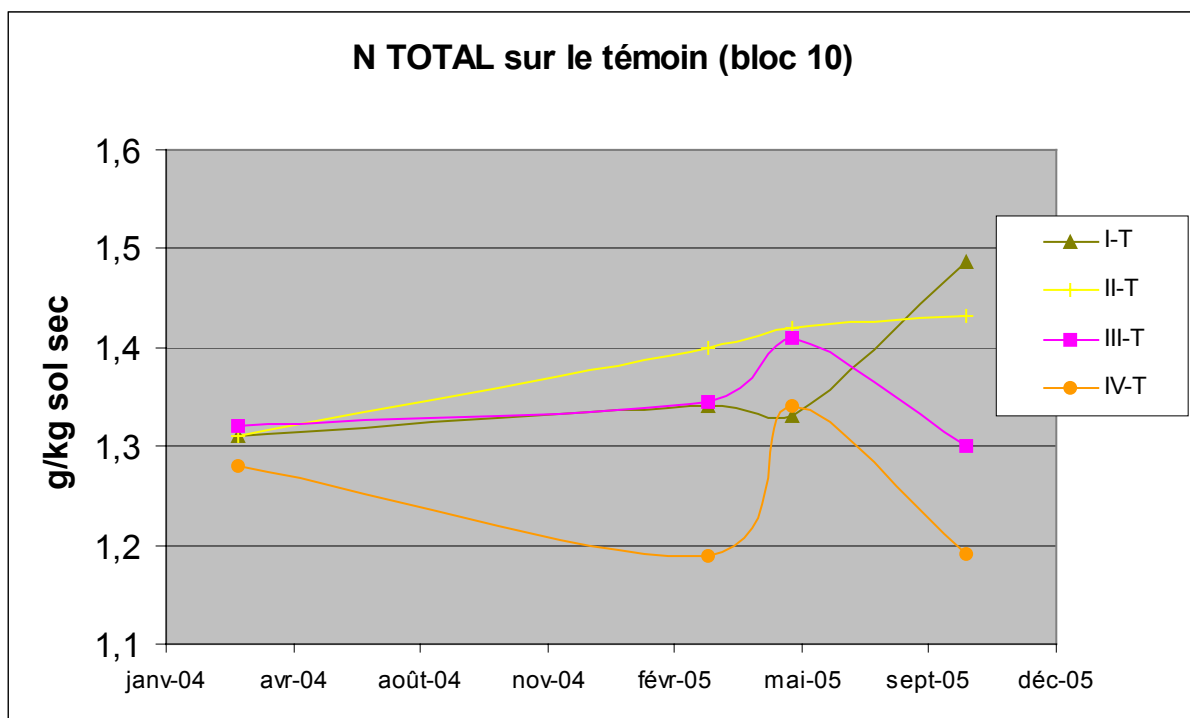
Présentation

L'azote total reprend essentiellement l'azote de l'humus. Plus de 90% de cet azote n'est pas rapidement accessible aux plantes. Au cours du projet, des échantillons de terre ont été prélevés dans les 15 premiers centimètres du sol. Après tamisage, on a mesuré l'azote organique total. Si, au départ, le sol était homogénéisé suite à une gestion « labour », le passage à un itinéraire « non-labour » dès le début de l'essai a donné lieu à l'accumulation ou au maintien de matières organiques (résidus de cultures + BRF) dans les 15 premiers centimètres. Cette hypothèse a été validée par une analyse de profil en 2004 et une excavation suivie de la mesure du BRF résiduel en 2005.

Le tamisage des échantillons de sol a permis de ne mesurer que les matières organiques « humifiées », intégrées à la matrice du sol, ou de petit calibre. Un compartiment « résidus de culture + BRF » alimente, au rythme de sa décomposition, un compartiment « humus » dont on mesure l'azote.

Critique du dispositif

L'examen des témoins permet de mieux visualiser le comportement du sol sous les différentes rotations:



La première rotation comprenait une paille suivie d'un engrais vert (moutarde), ces cultures ont prélevé de l'azote minéral dans les profondeurs du sol pour le remonter. La décomposition des résidus s'est faite au cours de la culture de pommes de terre qui a suivi, augmentant temporairement le stock d'azote organique en surface.

La quatrième rotation a débuté par une culture de maïs qui a occasionné une importante minéralisation de l'humus en surface. Les résidus, en se décomposant, ont ensuite restitué de l'azote organique en surface, une culture de froment d'hiver a ensuite occasionnée une seconde minéralisation de ces stocks reconstitués.

Les deuxième et troisième rotations ont démarré par des prairies comprenant des légumineuses. La deuxième rotation a été gérée en jachère, l'azote organique semble

s'accumuler jusqu'à tendre, peut-être, vers un palier en 2006. La troisième rotation, une prairie temporaire trèfle + ray grass, a permis une augmentation modérée des stocks, elle a ensuite été détruite chimiquement le 25/11/2004, sa décomposition a augmenté les stocks de façon plus marquée au printemps 2005. Ensuite, une culture de maïs a occasionné le retour des stocks d'azote organique dans les 15 premiers centimètres du sol, en dessous de leur niveau initial.

Des mesures ont été réalisées en double sur les mêmes échantillons, prélevés le 15/03/2005. L'écart entre ces mesures permet de se faire une idée de la variabilité due au dosage, en laboratoire, des échantillons.

Bloc	N g/kg mesure 1	N g/kg mesure 2	N g/kg écart absolu
1	1,46	1,45	0,01
2	1,54	1,54	0
3	1,32	1,36	0,04
4	1,47	1,64	0,17
5	1,46	1,46	0
6	1,42	1,5	0,08
7	1,42	1,38	0,04
8	1,47	1,36	0,11
9	1,28	1,42	0,14
10	1,33	1,37	0,04
11	1,34	1,35	0,01
12	1,17	1,37	0,2
13	1,28	1,23	0,05
14	1,39	1,35	0,04
15	1,18	1,2	0,02
16	1,29	1,37	0,08
	m		0,06
	e		0,06
	IC 95%		0,03

On constate que les écarts liés à la mesure sont compris entre 0,09 et 0,03.

Ces chiffres correspondent à l'ordre de grandeur des intervalles de confiance sur les mesures :

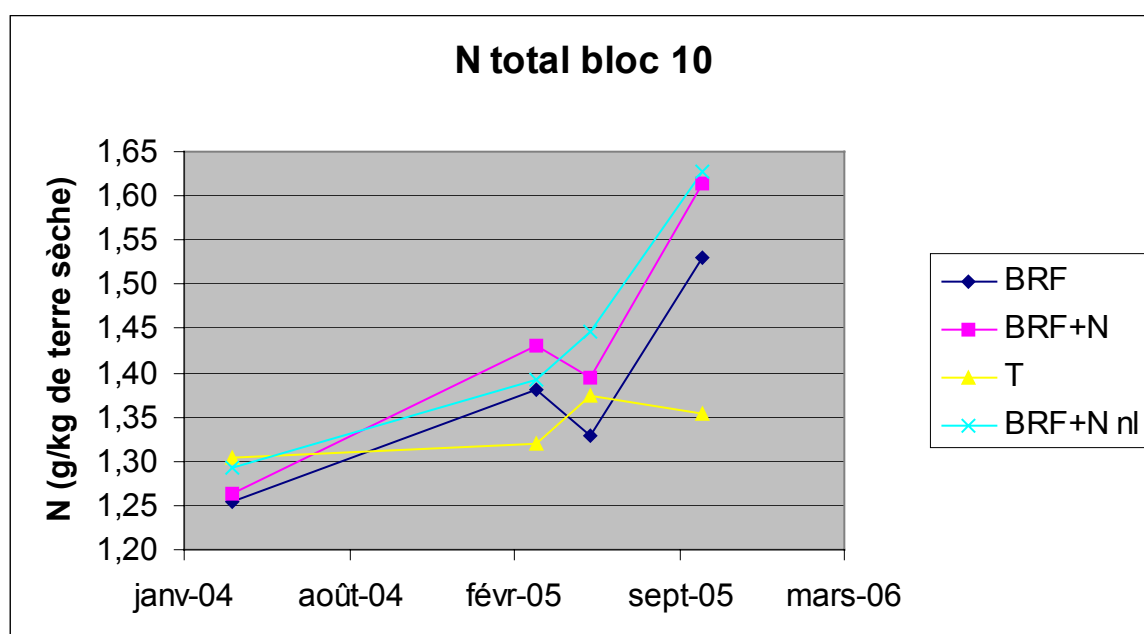
	11/03/2004	15/03/2005	20/05/2005	4/10/2005
IC 95% BRF	0,02	0,04	0,04	0,08
IC 95% T	0,02	0,06	0,05	0,13

Ceci confirme que le dispositif expérimental n'a pas induit une variabilité supplémentaire excessive relativement à la variabilité du dosage.

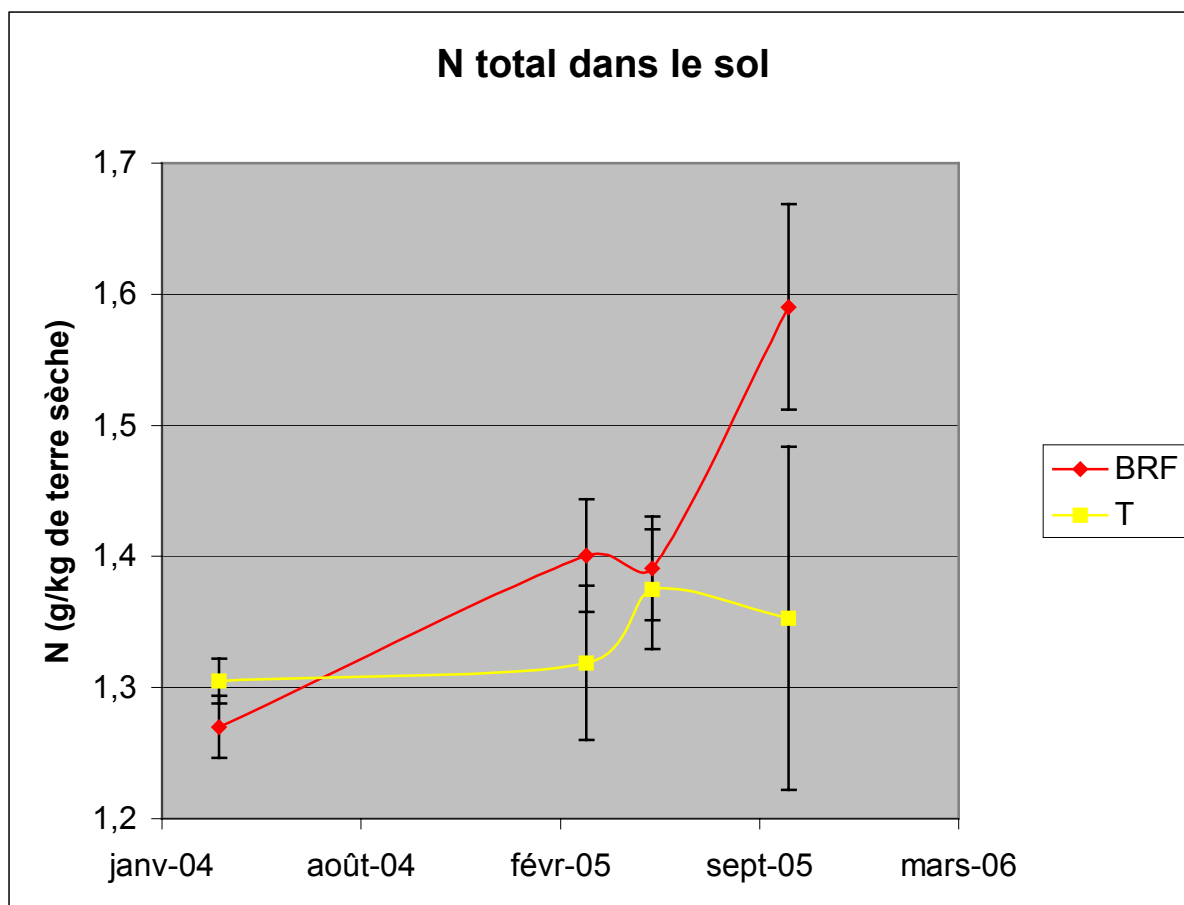
Analyse des résultats

Examinons maintenant l'évolution de l'azote organique, exprimé en g de N/kg de terre sèche sur les 4 répétitions de chaque traitement:

	11/03/2004	15/03/2005	20/05/2005	4/10/2005
BRF	1,26	1,38	1,33	1,53
BRF+N	1,26	1,43	1,40	1,61
T	1,31	1,32	1,38	1,35
BRF+N nl	1,29	1,39	1,45	1,63
e BRF	0,03	0,10	0,07	0,14
e BRF+N	0,05	0,09	0,04	0,10
e T	0,02	0,09	0,05	0,13
e BRF+N nl	0,05	0,12	0,05	0,18
IC 95% BRF	0,03	0,10	0,07	0,14
IC 95% BRF+N	0,05	0,09	0,04	0,10
IC 95% T	0,02	0,09	0,05	0,13
IC 95% BRF+N nl	0,05	0,12	0,05	0,18



Alors que les valeurs du témoin croissent de façon très modérée, on observe une augmentation importante des stocks d'azote organique la première année, sur les blocs traités. La deuxième année, après l'épandage, est marquée par une augmentation accrue des stocks d'azote dans l'humus des 15 premiers centimètres du sol. Cet effet sera confirmé par les courbes de carbone organique (humus) mesurées sur les mêmes sols.



Vu le nombre différent de répétitions pour le témoin (4) et les traitements BRF (12) et l'inégalité des variances, on ne peut appliquer le test de Student tel quel. Par contre on peut utiliser le test t approché de Welch. L'analyse statistique montre qu'en 2005, seule la dernière mesure est significativement différente (à 95%) du témoin. En cause, probablement, le croisement des courbes.

En considérant une densité de sol de 1,3 et en faisant le bilan des situations initiales et finales, on peut calculer les stocks d'azote organiques constitués dans l'humus des premiers centimètres du sol. En soustrayant l'accroissement mesuré sur le témoin, on estime l'accroissement lié au BRF, indépendamment de la fixation d'azote par les légumineuses et de l'apport de l'interculture (récupération de reliquats).

	Apports organiques : BRF+compost+lisier (kg N/ha)	delta N (g/kg de terre sèche)	delta N de 0-15 cm (kg N/ha)	e	IC 95%
BRF	473	0,23	442	188	185
BRF+N	585	0,30	593	227	222
BRF+N nl	585	0,29	559	313	307

On remarque que les intervalles de confiance sur cette mesure sont grand par rapport à la mesure, en cause, en partie, les imprécisions sur le dosage lui-même. En effet, nous avons déterminée précédemment que l'erreur sur le dosage était comprise entre 0,03 à 0,09 g/kg de terre sèche. Ceci représente entre 59 et 176 kg N/ha.

On remarque ici que les intervalles de confiances sur la mesure sont plus grand que cette valeur, 4 répétitions n'ont donc pas permis de réduire l'incertitude, que du contraire.

Ce phénomène s'explique par le fait que l'on compare ici 4 rotations différentes. Le chiffre moyen obtenu rend compte d'une situation moyenne dans le contexte variable de l'application en ferme de BRF.

Il est rassurant de constater que l'azote issu des apports organiques, se retrouve quantitativement dans le compartiment « humus » de la zone directement accessible aux racines de la culture.

Le Carbone

Présentation

Le carbone dans le sol est un paramètre qui nous intéresse tout particulièrement.

A la lecture du tableau de bord de l'environnement wallon 2005, on découvre que les taux de carbone ont diminué de 10% sur les terres agricoles au cours des 40 dernières années. Une lecture plus attentive nous apprend que ce sont les régions agricoles les plus pauvres en humus et les plus sensibles à l'érosion (régions (sablo) -limoneuses au nord du sillon Sambre et Meuse) qui ont subi les pertes les plus importantes. Cette situation mérite une attention toute particulière au regard du rôle des matières organiques dans la sensibilité d'un sol à l'érosion.

Une étude canadienne a abordé la séquestration de carbone en sols agricoles amendés au moyen de BRF durant une dizaine d'années [N'dayegamiye and Angers¹², 1993]. On remarque, en moyenne, dans différents traitements, que 10 % du carbone du BRF se retrouvent dans la fraction légère, labile de la matière organique, 30 % se retrouvent dans la fraction lourde, cette fraction est fortement humifiée et associée aux argiles, ce qui la rend particulièrement stable. Ces chiffres sont précieux mais il faut les aborder avec prudence, en effet, ils ont été obtenus dans d'autres conditions de climat et de sol. En outre, l'objectif des auteurs était plutôt de montrer des différences qualitatives.

Nous avons apporté en moyenne 18 T/ha de carbone sur les blocs traités au BRF.

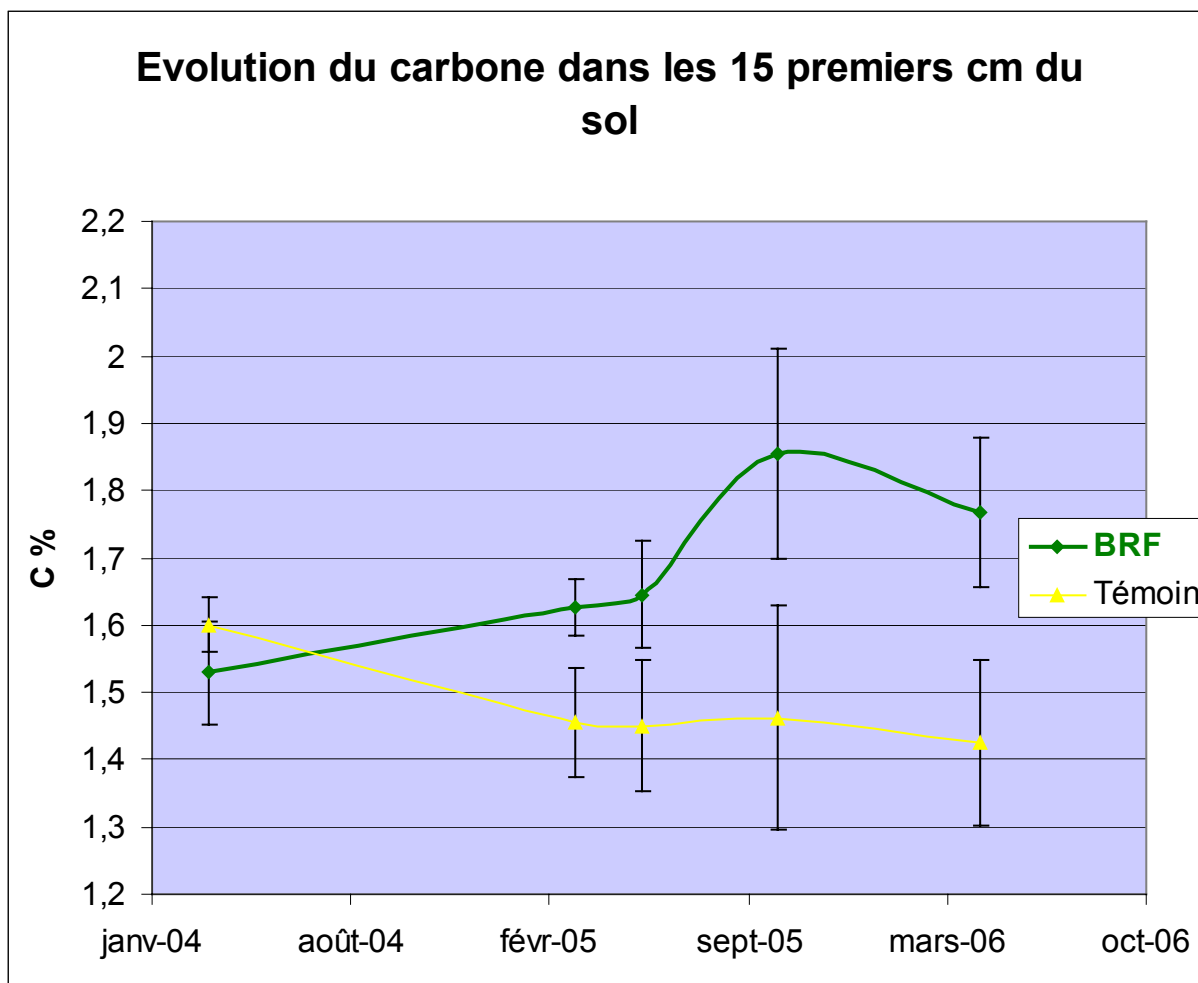
Nous avons réalisé plusieurs campagnes d'analyse, en collaboration avec la station provinciale. Des échantillons mélangés ont été prélevés sur les blocs de 1 à 16. Après tamisage (élimination des morceaux de bois), les échantillons ont été dosés selon Walkley & Black.

Le carbone mesuré représente donc la part de la matière organique qui s'est humifiée. Un seul apport de BRF a été réalisé et incorporé en mars 2004, le bois se dégrade peu à peu, les micro-organismes du sol produisent de l'humus à son dépend. C'est cet humus qui est dosé.

Analyse des résultats

Voyons ce que donne les résultats d'analyses pratiquées (barres d'erreur = intervalle de confiance 95%), les valeurs du témoin représentent la moyenne de 4 résultats (4 rotations), les valeurs « BRF » sont basées sur 12 répétitions de la même dose:

¹² N'dayegamiye, A. and Angers, D.A., Organic matter characteristics and water-stable aggregation of sandy loam soil after 9 years of wood-residue applications, pp. 115-122, In Canadian Journal of Soil Science, n°73, 1993.



Discussion

Ici aussi, nous avons appliqué le test t approché de Welch. Les différences étaient significatives pour les quatre campagnes après traitement.

Ces résultats montrent une augmentation importante du taux de carbone sur les parcelles traitées et une diminution de ce même taux sur les témoins. La diminution constatée sur le témoin s'est surtout marquée la première année. En effet, rappelons que le témoin a été labouré, ensuite des outils ont travaillé le sol en surface, provoquant une minéralisation de l'humus dans sol de la parcelle. A partir de la deuxième année, des résidus de cultures s'accumulent dans l'horizon de surface, suite à l'itinéraire « non-labour » et stabilisent les taux d'humus.

La croissance des taux de carbone sur les blocs traités au BRF est la conséquence de la transformation progressive des morceaux de bois en humus, s'intégrant à la matrice du sol. Nous étudions ici l'effet d'un seul épandage dans le contexte moyen de 4 rotations différentes. Les blocs traités au BRF montrent une croissance moindre la première année, en effet la minéralisation constatée sur le témoin, se soustrait à l'humification du BRF. En deuxième année, la croissance s'accélère pour atteindre un taux maximum en automne 2006. Ensuite l'humus formé commence à se minéraliser.

Critique du dispositif

Un premier dosage en mars 2004, avant l'épandage de BRF mais après le labour, n'a pas montré de différences significatives entre les blocs témoins et futurs blocs traités, selon le t test approché de Welch. Ceci confirme la bonne homogénéité du dispositif initial.

Bloc	C (%) mesure 1	C (%) mesure 2	C (%) écart absolu
1	1,70	1,63	0,07
2	1,89	1,82	0,07
3	1,44	1,24	0,20
4	1,69	1,58	0,11
5	1,73	1,57	0,16
6	1,62	1,65	0,03
7	1,65	1,41	0,24
8	1,72	1,58	0,14
9	1,56	1,55	0,02
10	1,59	1,46	0,13
11	1,50	1,42	0,08
12	1,46	1,42	0,04
13	1,44	1,49	0,05
14	1,66	1,55	0,11
15	1,33	1,20	0,12
16	1,61	1,49	0,11
	m		0,10
	e		0,06
	IC 95%		0,03

En mars 2005, nous avons pratiqué deux dosages sur les mêmes échantillons, ceci nous permet de nous faire une idée de la variabilité due à la méthode d'analyse du carbone.

Afin de nous faire une idée, nous avons calculé la moyenne des écarts absolus entre deux dosages pratiqués sur les 16 mêmes échantillons de terre. Nous avons ensuite calculé un intervalle de confiance, à $p = 95\%$, sur cette valeur.

On considérera un écart dû à la méthode d'analyse compris entre 0,07 et 0,13% de C.

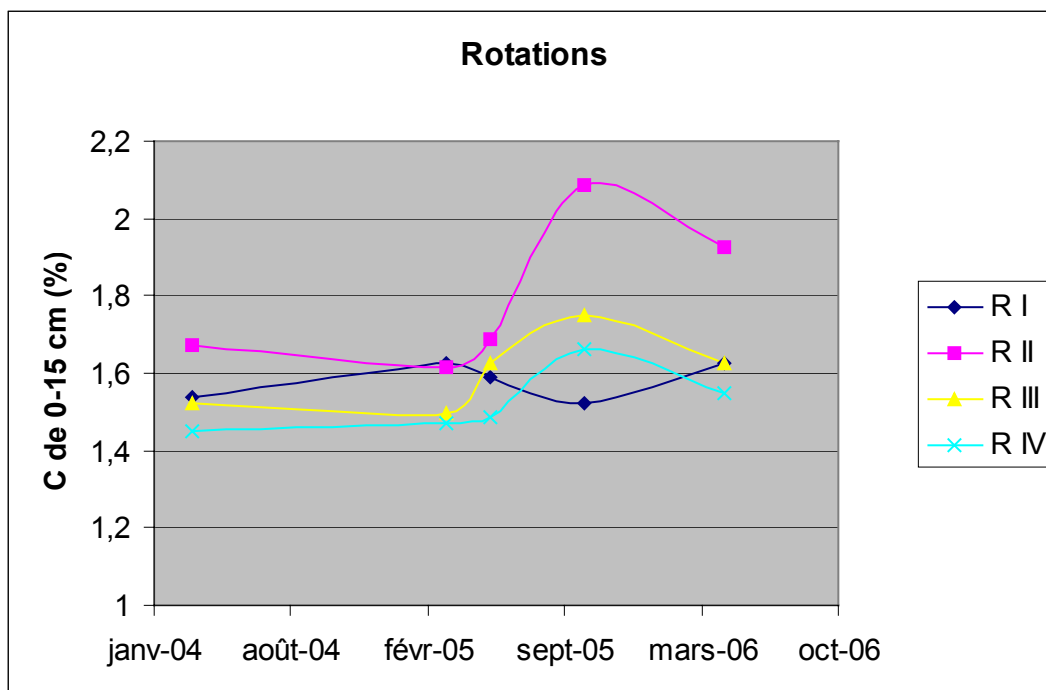
	11/03/2004	15/03/2005	20/05/2005	4/10/2005	27/04/2006
IC 95% BRF	0,08	0,04	0,08	0,16	0,11
IC 95% T	0,04	0,08	0,10	0,17	0,12

Les intervalles de confiance sur les mesures sont du même ordre de grandeur. Le dispositif expérimental en lui-même ne semble pas avoir introduit une variabilité supplémentaire importante.

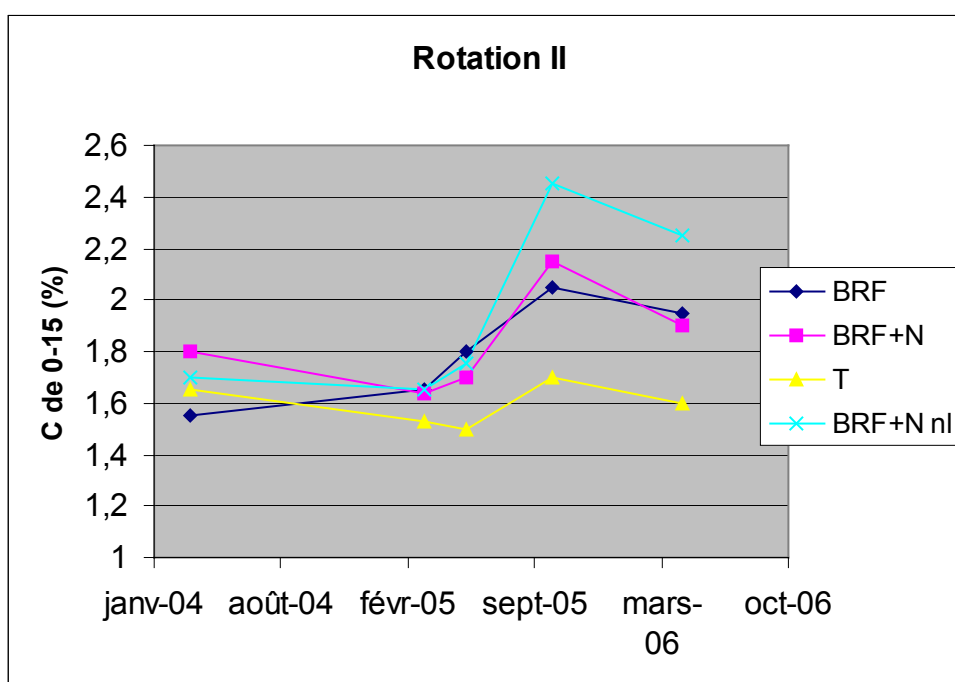
Examinons maintenant de plus près les différentes rotations. Afin de vérifier si un biais ne serait pas introduit par l'une ou l'autre rotation, nous avons exprimé plus bas les résultats par la moyenne de ces rotations, tous traitements et témoins confondus.

Les rotations I, III et IV, malgré quelques oscillations, se maintiennent dans une zone de l'ordre de grandeur des écarts moyens constatés plus haut. Elles marquent en cela une certaine similitude, celle qui peut exister entre des grandes cultures exportatrices.

Par contre, la rotation II marque clairement sa différence par une élévation importante du taux d'humus au cours de la deuxième année. A ce stade, on doit se demander si un effet prairie - jachère n'aurait pas introduit un biais dans les données en étant à l'origine d'une partie des augmentations de taux d'humus attribuées au BRF.



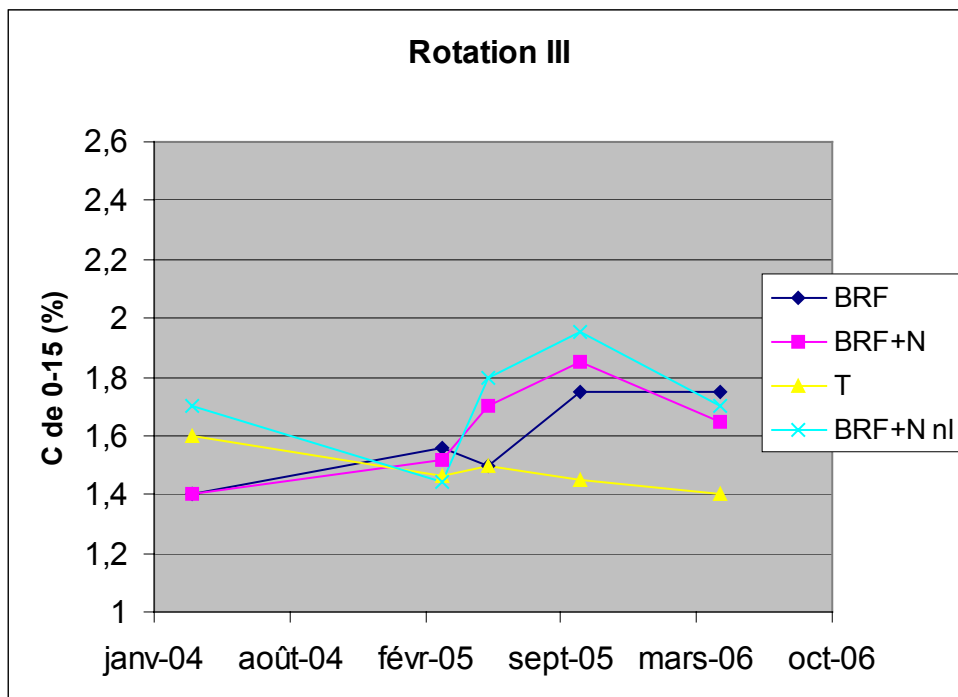
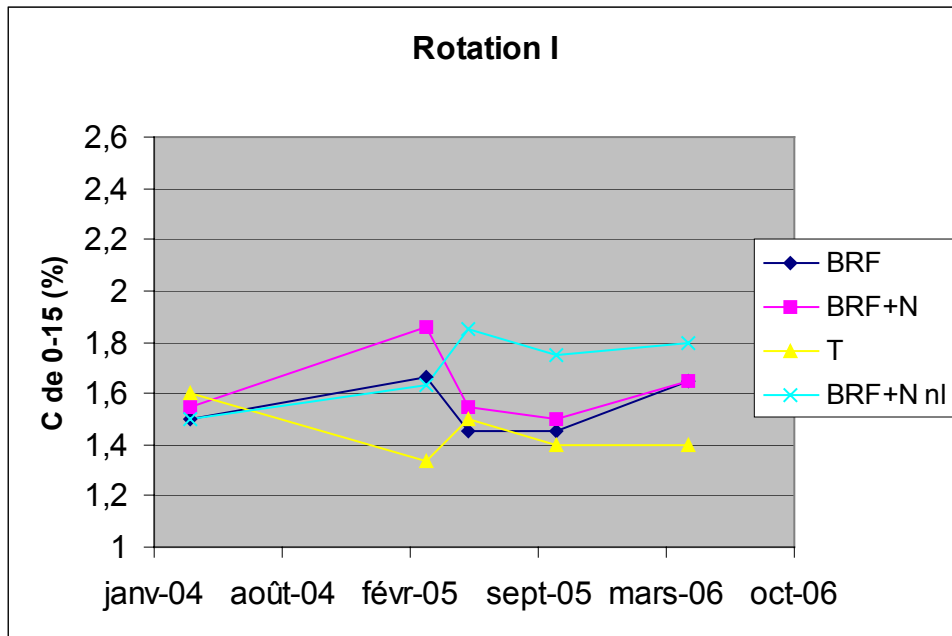
Afin d'en avoir le cœur net, examinons plus en détails les 4 rotations, en commençant par la deuxième.

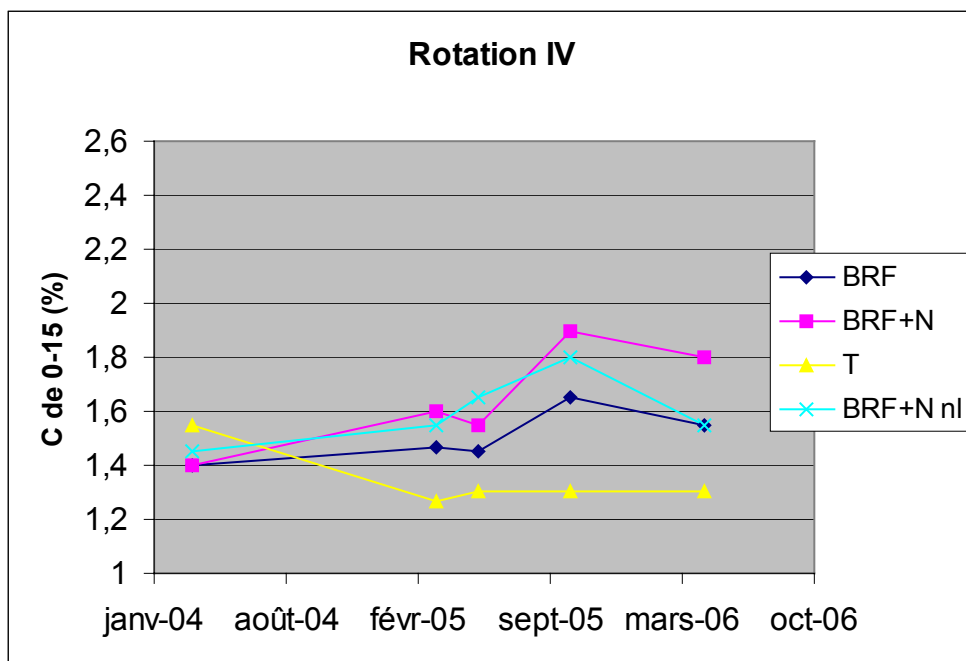


L'effet prairie seul, constaté sur le témoin, a tout juste permis le maintien du taux d'humus initial. La différence par rapport aux autres rotations est essentiellement due aux traitements « BRF ». Il semble donc que l'effet très marqué sur cette rotation soit dû à une bonne synergie entre la jachère et le BRF. En effet, le BRF apporte des quantités importantes de carbone, son humification est liée à l'action des champignons, alimentés en azote par les légumineuses de

la prairie. Les exsudats racinaires issus de l'implantation permanente des herbacées stimulent la dépolymérisation de la lignine, rendant ainsi accessibles les celluloses. D'autre part, la couverture permanente et l'absence de travail du sol protègent l'humus formé jusqu'à la destruction de ce couvert.

On peut donc conclure que l'effet prairie n'a pas introduit de biais dans les résultats.





Les trois autres rotations montrent une augmentation des taux de carbone sur les traitements « BRF » et une diminution de ces taux sur le témoin, confirmant l'évolution générale.

Projections

Digestibilité du BRF dans le sol

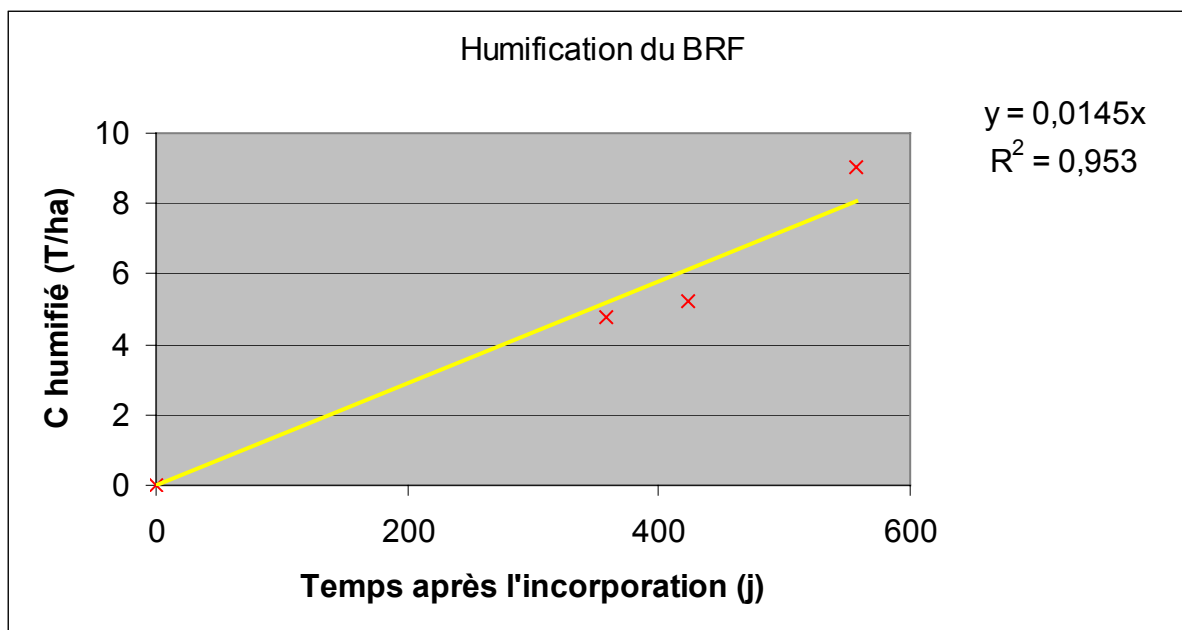
Comme nous l'avons vu, après l'état initial, trois mesures montrent une croissance des taux d'humus, ceci témoigne de la phase de transformation du BRF en humus. Humus qui se minéralisera ensuite lentement (mesure 4).

En exprimant les données moyennes des 12 traitements reprenant la même dose (226 m³/ha) de BRF, en gain (% C) par rapport à la situation initiale, en exprimant le temps en jours passés depuis l'incorporation, on peut construire le tableau récapitulatif qui suit.

On calcule ensuite le gain moyen dont on a soustrait l'évolution du témoin et on exprime ce gain en T de C/ha, en considérant une densité de 1,3, sur 15 cm de sol.

temps (j) après l'incorporation	0	358	423	557	760
BRF (%)	0	0,14	0,09	0,26	0,26
BRF+N (%)	0	0,10	0,09	0,31	0,21
T (%)	0	-0,15	-0,15	-0,14	-0,18
BRF+N nl (%)	0	0,04	0,18	0,40	0,24
gain moyen (%)	0	0,25	0,27	0,46	0,41
gain en C (T/ha)	0	4,78	5,20	9,02	8,04

Nous pouvons ensuite faire une approximation linéaire sur les trois premières données après l'état initial. Cette période rend compte de l'humification du BRF apporté (226 m³/ha).



Un excellent coefficient de corrélation ($R^2 = 95\%$) témoigne de la qualité de ce modèle linéaire quant à la prédiction de la digestion par le sol d'une quantité de BRF, ceci dans les conditions pédoclimatiques de Strée. La dynamique de décomposition au début du processus reste toutefois inconnue.

Ce résultat est intéressant car il permet de donner un ordre de grandeur de la digestibilité du BRF, pour la dose appliquée, par un sol limoneux, en Wallonie.

Ce système produit 15 kg de C humifié/ha chaque jour. Considérons une année de 365 jours. Un coefficient iso-humique de 50% nous permet d'évaluer la quantité de carbone initialement présent dans le BRF humifié chaque jour, à 30 kg/ha. Nous savons d'autre part qu'un m³ de BRF contient, en moyenne, 75 kg de carbone.

On peut appliquer à ces chiffres un modèle simple, strictement linéaire, considérant que les quantités de BRF sont grandes par rapport à la capacité de métabolisation des micro-organismes et que cette dégradation est indépendante des quantités restantes. Nous obtenons alors une capacité du sol à humifier 143 m³ de BRF/an.

L'humification représente un gain annuel de 5,4 T de C/ha ou 10,7 T d'humus. Dès lors il faudrait 3 ans et 8 mois pour augmenter le taux d'humus d'une terre de 1 % sur 30 cm.

Ceci ne tient pas compte de la minéralisation naturelle, constatée sur le témoin (scénario optimiste). Toutefois, cette minéralisation dépend du mode de gestion des parcelles (rotation, travail du sol), comme nous l'avons vu, l'occupation permanente par une prairie peut réduire cette perte à rien. D'autre part, une rotation comprenant paille et engrais vert couplée à un travail réduit du sol, peut aussi réduire ces pertes (agriculture de conservation).

En tenant compte d'une approximation linéaire des pertes réelles sur les témoins, estimées à 3% du stock d'humus initial/an, il faudrait 6 ans et 10 mois pour augmenter le taux net d'humus de 1% sur 30 cm (scénario pessimiste).

Coefficient iso-humique du BRF :

Le gain de carbone moyen sur les blocs traités, corrigé de la perte sur le témoin, au 4/10/2005, est un bon estimateur de l'humification du BRF. En comparant cette valeur à la quantité de carbone apportée aux parcelles, nous pouvons estimer le coefficient K1, iso- humique.

Cette interprétation repose toutefois sur l'hypothèse que, comme le laissait supposer les analyses de profils réalisées, l'apport d'humus du BRF a été maintenu dans les 15 premiers cm du sol. Afin de valider cette hypothèse, une double série d'échantillons a été prélevé le 27/04/06: une première série de 0 à 15 cm, la deuxième de 0 à 25 cm.

Le gain/ha calculé sur base des analyses à 15 cm est très proche du gain calculé sur base des analyses à 25 cm. Ce résultat montre que l'essentiel (99%) de l'apport du BRF en terme d'humus s'est concentré dans les 15 premiers centimètres du sol.

	4/10/05 – 15 cm	27/04/06 – 15 cm	27/04/06 – 25 cm
Apport initial de C	18,35	18,35	18,35
Gain de C (%)	0,46	0,41	0,25
Gain de C (T/ha)	9,02	8,04	8,13
Gain d'humus (T/ha)	18,04	16,09	16,25
K1	0,49	/	/

Le coefficient iso-humique (K1) est un paramètre assez intéressant car il permet d'évaluer l'humification résultant d'un apport d'une dose quelconque de BRF. Un coefficient iso-humique de 50% signifie que chaque m³ de BRF permet de former 75 kg d'humus.

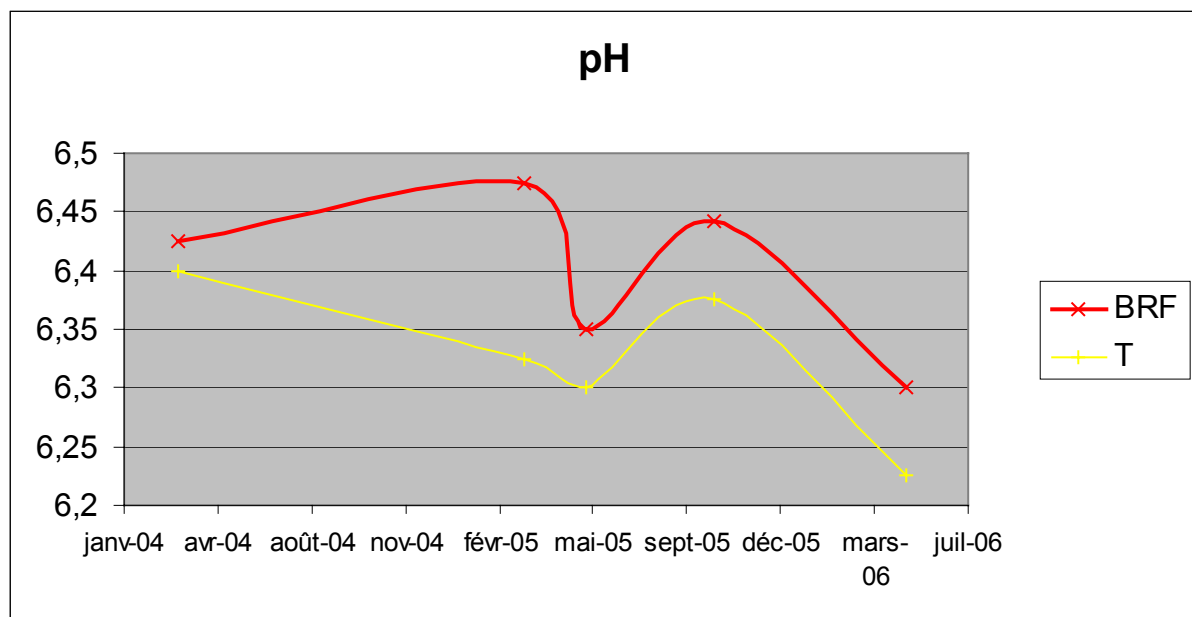
pH et CEC

La capacité d'échange cationique (CEC) est un indicateur de la capacité d'un sol à stocker les cations (K, Ca, Na, Mg,...). La CEC est généralement assurée par les argiles et l'humus, on peut donc s'attendre à ce qu'elle augmente suite à l'apport de BRF.

Il semble effectivement que la CEC augmente suite à un apport de BRF. Toutefois, les données obtenues ne sont pas significativement différentes.

	11/03/04	15/03/05
BRF	103,50	112,67
ic 95%	10,96	7,10
T	101,50	105,00
ic 95%	11,47	6,25
t de Welch	NS	NS

Le pH est un indicateur de l'activité biologique des sols, on craint parfois l'acidification suite à l'apport de BRF. Une acidification trop importante peut avoir pour conséquence une perte de nutriments.

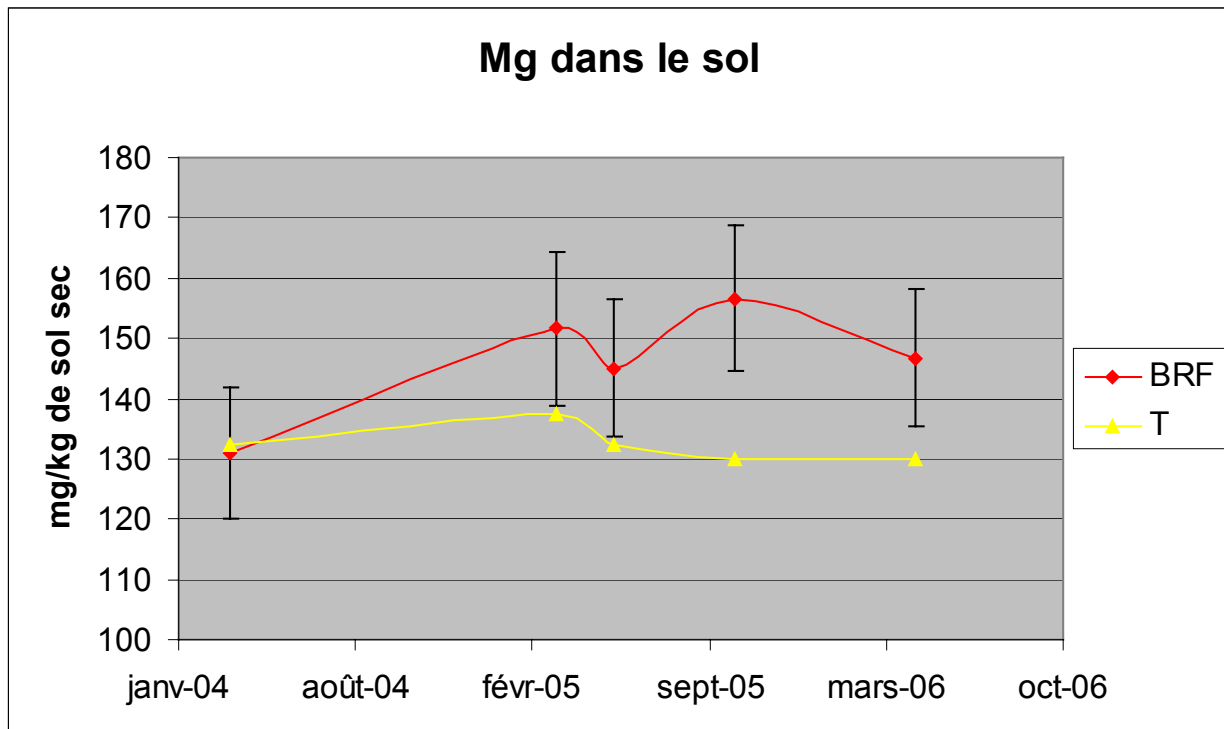


Dans l'ensemble, le pH des sols traités suit l'évolution du pH sur le sol témoin, on n'observe aucune différence significative selon le t test approché de Welch, sur la période. Le BRF n'a donc pas induit d'acidification.

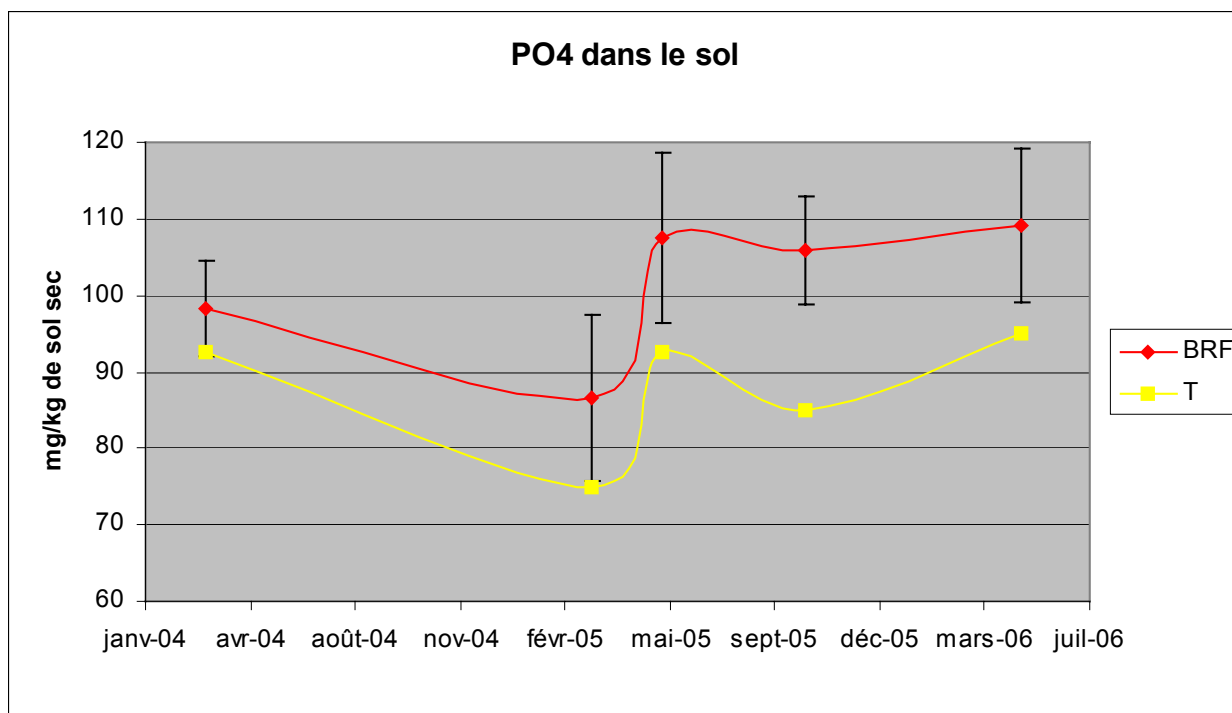
Éléments minéraux solubles

Les éléments minéraux utilisables par les cultures ont augmentés ou se sont maintenus suite à l'apport de BRF.

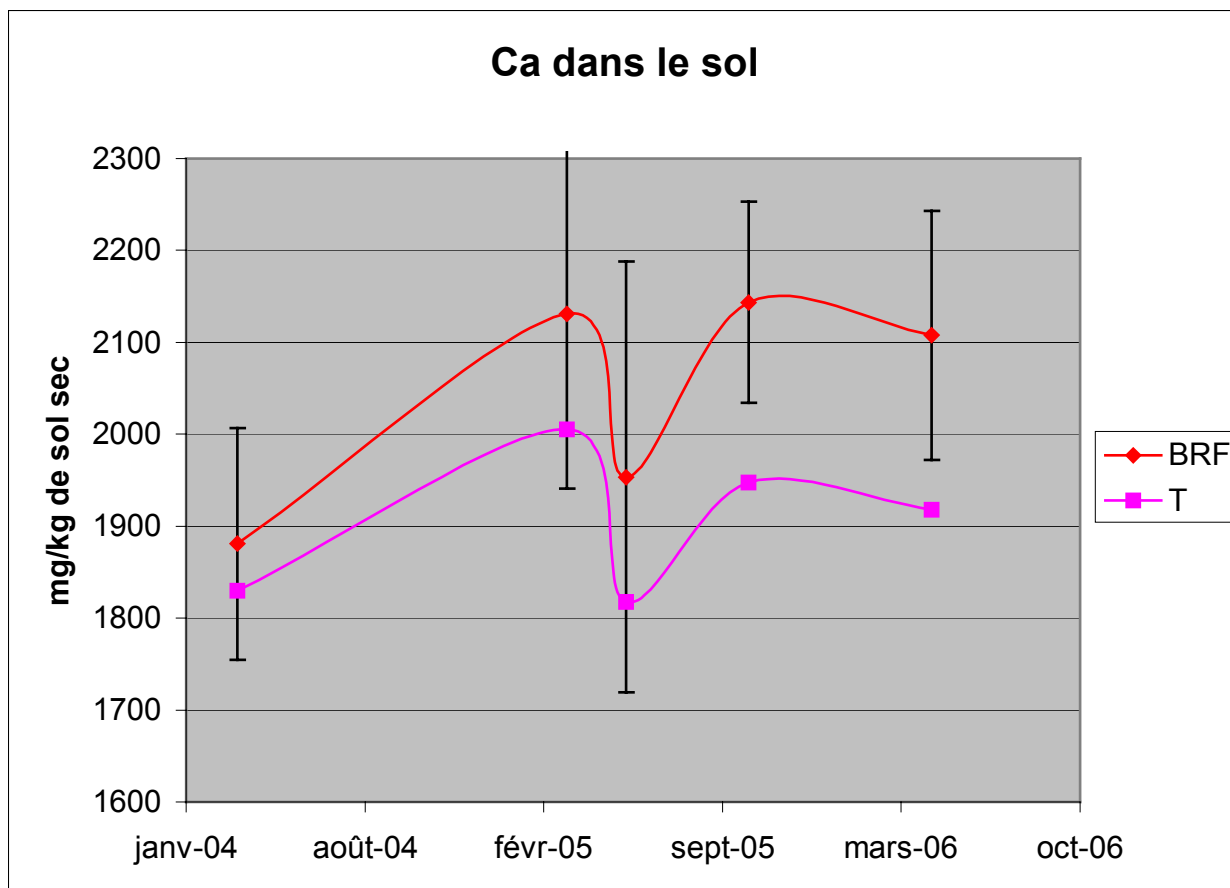
Au moins une mesure a montré une différence significative et positive pour chaque élément. Le potassium (l'élément le plus prélevé par les cultures) a montré une amélioration significative et importante sur l'ensemble de la période.



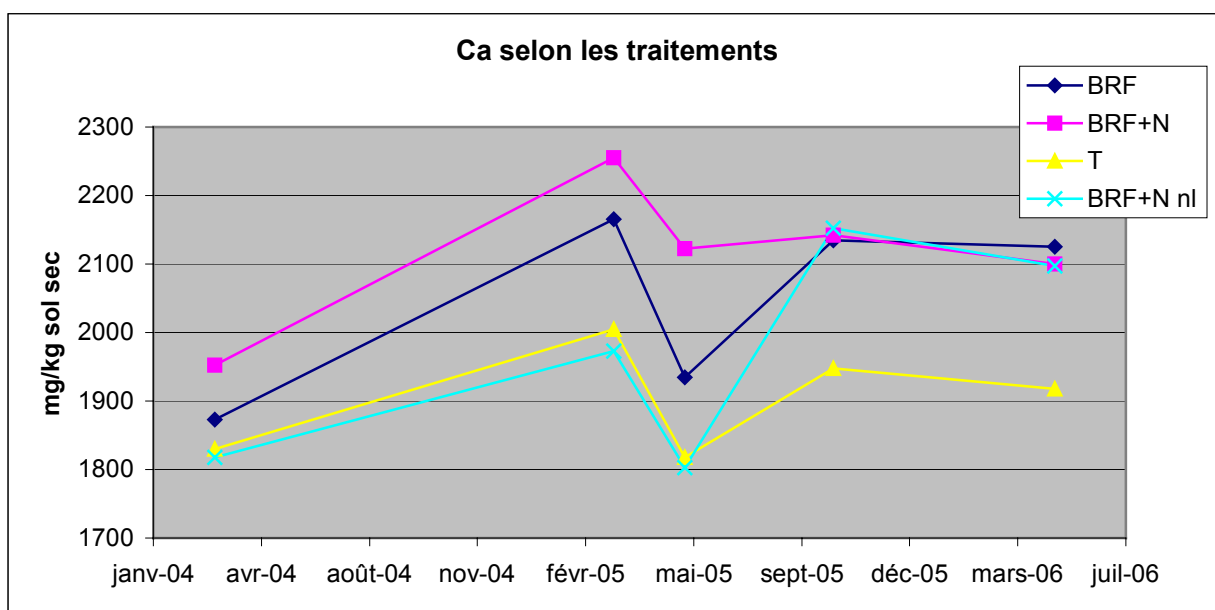
Les valeurs pour le magnésium montrent un écart significativement différent du témoin et positif au 04/10/2005, à cette date le magnésium soluble sur les blocs traités atteint en moyenne 121% du témoin. Le reste de la période est marqué par des écarts positifs mais non significatifs selon le test t approché de Welch.



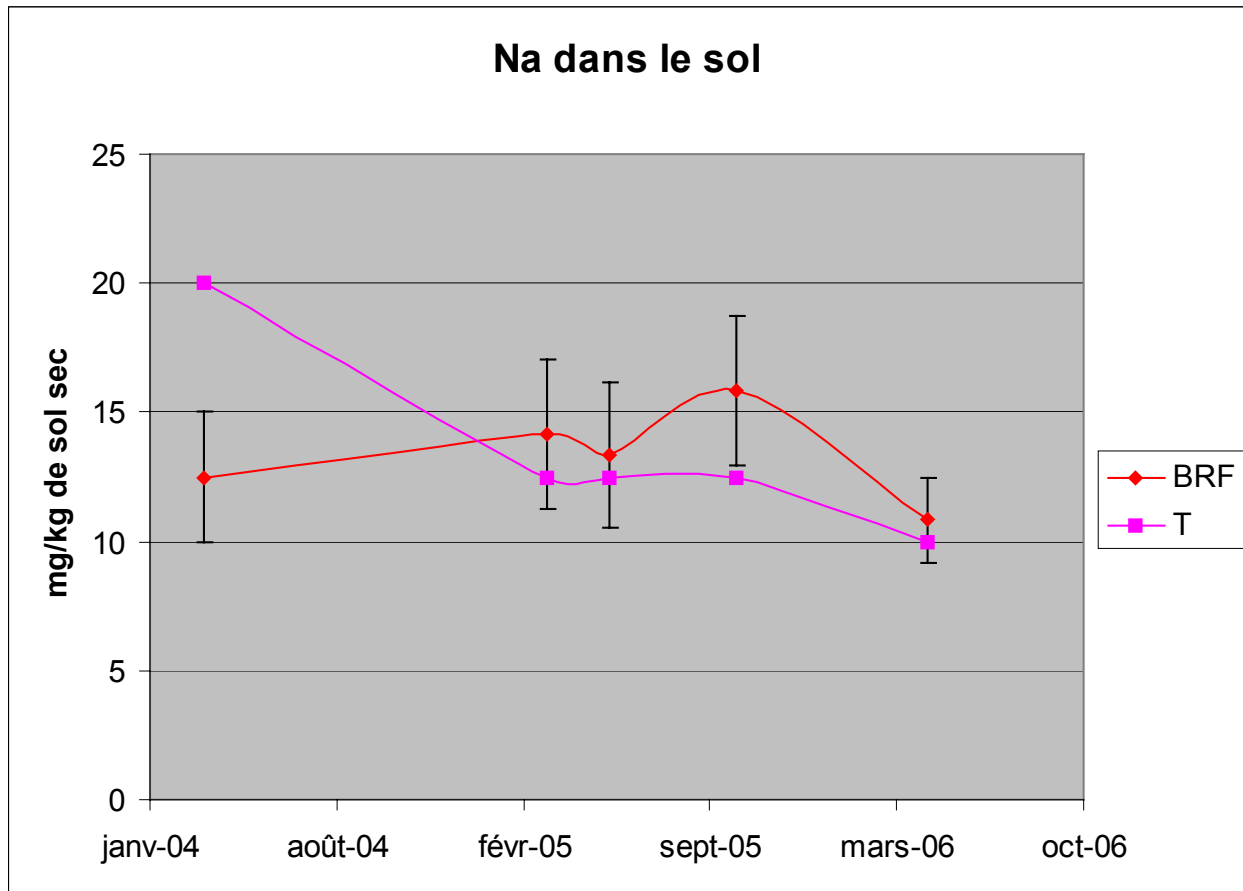
De même, le phosphore disponible suit la courbe du témoin, les accroissements par rapport à la situation initiale sont différents significativement (t test approché de Welch) sur toute la période mais pas à l'état initial. En 2005 et 2006, les accroissements des traitements par rapport au témoin représentent une augmentation de 18% en moyenne par rapport au témoin, alors qu'à l'état initial les blocs qui seront traités affichaient 106% des témoins, soit une augmentation de 12%.



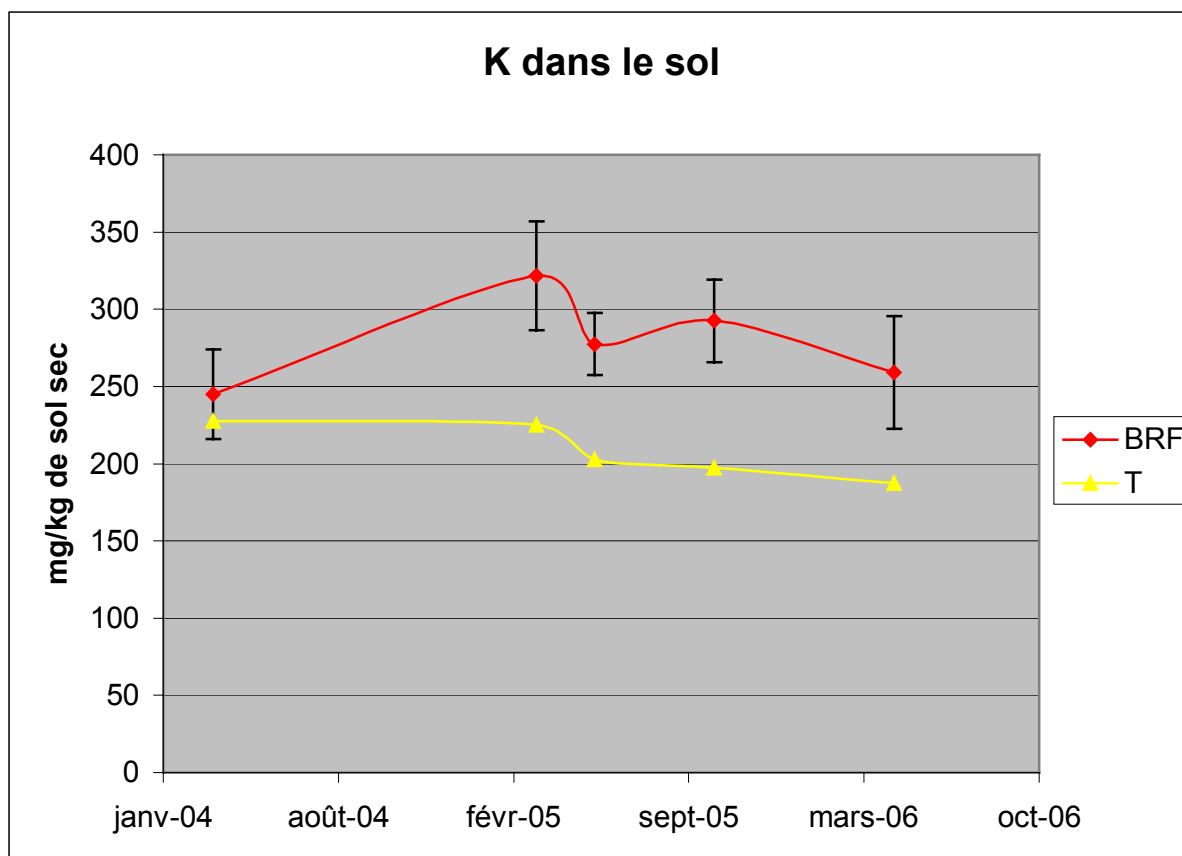
Le calcium soluble sur les traitements montre des accroissements significativement différents (t test approché de Welch) du témoin pour les deux dernières mesures. Ces différences représentent une augmentation de 110 % de la valeur du témoin à ces dates, alors qu'à l'état initial, les futurs traitements affichaient 103% des futurs témoins, soit une augmentation de 7%.



On constate que les valeurs sur les traitements sont remarquablement proches lors des deux dernières mesures. Ce phénomène pourrait être lié à un mécanisme de régulation en relation avec le BRF.



Le sodium soluble se stabilise sur la période sur les blocs traités au BRF, il décroît de façon marquée sur le témoin en 2004, puis se stabilise en 2005. Les écarts ne sont pas significatifs après traitement alors qu'ils l'étaient à l'état initial.



Le potassium retient tout particulièrement notre attention, en effet, nous avons vu que c'est cet élément qui a fait l'objet des prélèvements par les cultures les plus importants au cours de la période.

On constate un accroissement marqué et significativement différent (t test approché de Welch) sur toute la période mais pas à l'état initial. Tant les valeurs brutes mesurées que l'accroissement par rapport à la situation initiale ont été significativement différents.

En moyenne, on a constaté sur les blocs traités, une augmentation de 42% du potassium soluble par rapport au témoin alors qu'à l'état initial, les futurs blocs traités affichaient 108% des futurs témoins, soit une augmentation de 34%.

Métaux lourds

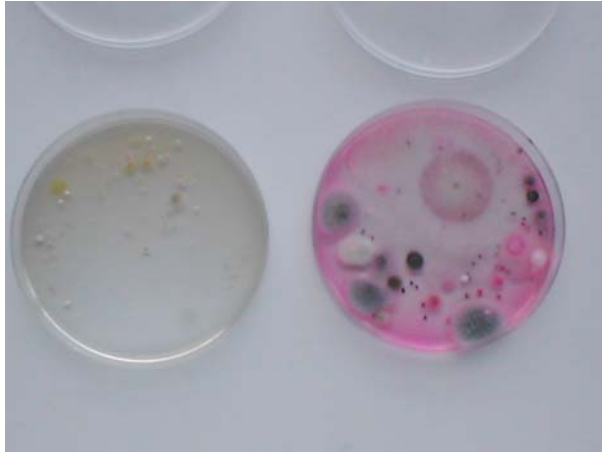
Une mesure, réalisée le 14/04/2005, n'a pas montré d'accroissement marqué des quantités de métaux lourds sur les blocs traités.

Les risques de contamination aux métaux lourds peuvent mieux être déduits au départ des concentrations présentes initialement dans le BRF. Ces concentrations étant faibles, le risque l'est également.

Une étude plus approfondie pourrait creuser cet aspect dans le cadre d'un futur projet, toutefois le BRF est un matériau naturel, qui ne pose pas, a priori, de problèmes de métaux lourds.

Elément (ppm)	Cu	Zn	Pb	Ni	Cd	Cr	Co	Hg
Témoin	15	132,1	45,2	16,7	1,6	25,2	6,3	0,05
Norme	50	200	100	50	2	100		1
moyenne BRF	13,9	130,3	43,2	17,0	1,9	25,2	6,6	0,1
e	0,4	5,1	3,6	1,0	0,7	1,3	0,6	0,0
IC 95%	0,5	5,8	4,0	1,1	0,8	1,4	0,7	0,0

Micro-organismes et bio-stimulation



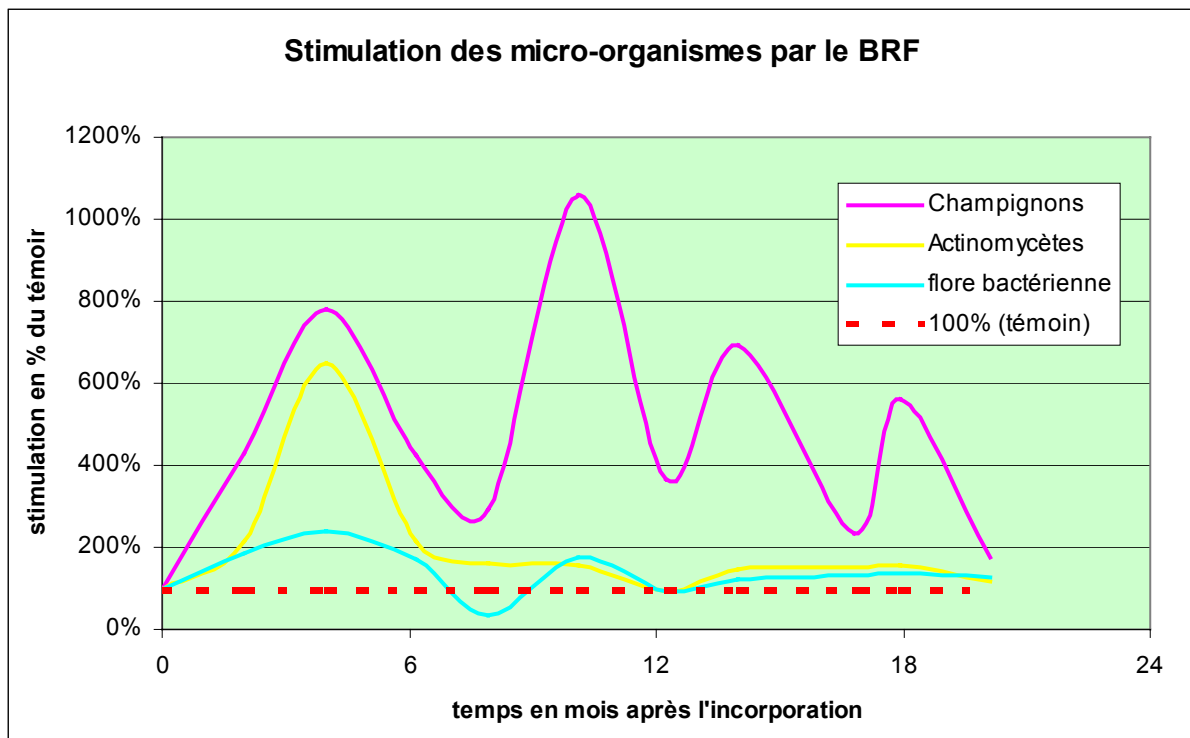
Les mesures ont été réalisées selon la méthode classique des comptages après incubation sur milieux sélectifs, boîte de Pétri. Trois milieux ont été utilisés : Rose Bengale pour les champignons, un milieu spécifique aux actinomycètes et un triptyque Soy Agar équivalent qualitativement et quantitativement à l'extrait de sol pour le comptage total des bactéries. Malgré leurs imprécisions, ces méthodes sont classiques, présentent l'avantage d'être spécifiques et comptent les organismes viables uniquement. Toutefois, on ne peut pas corrél

directement les résultats obtenus à une biomasse, ni comparer entre eux les nombres de colonies sur les trois milieux. On prêtera cependant attention à l'évolution des populations au cours du temps sur un milieu.

Bio stimulation générale

Nous avons exprimé ici la moyenne des trois traitements (BRF, BRF + N, BRF + N nl) en % par rapport au témoin.

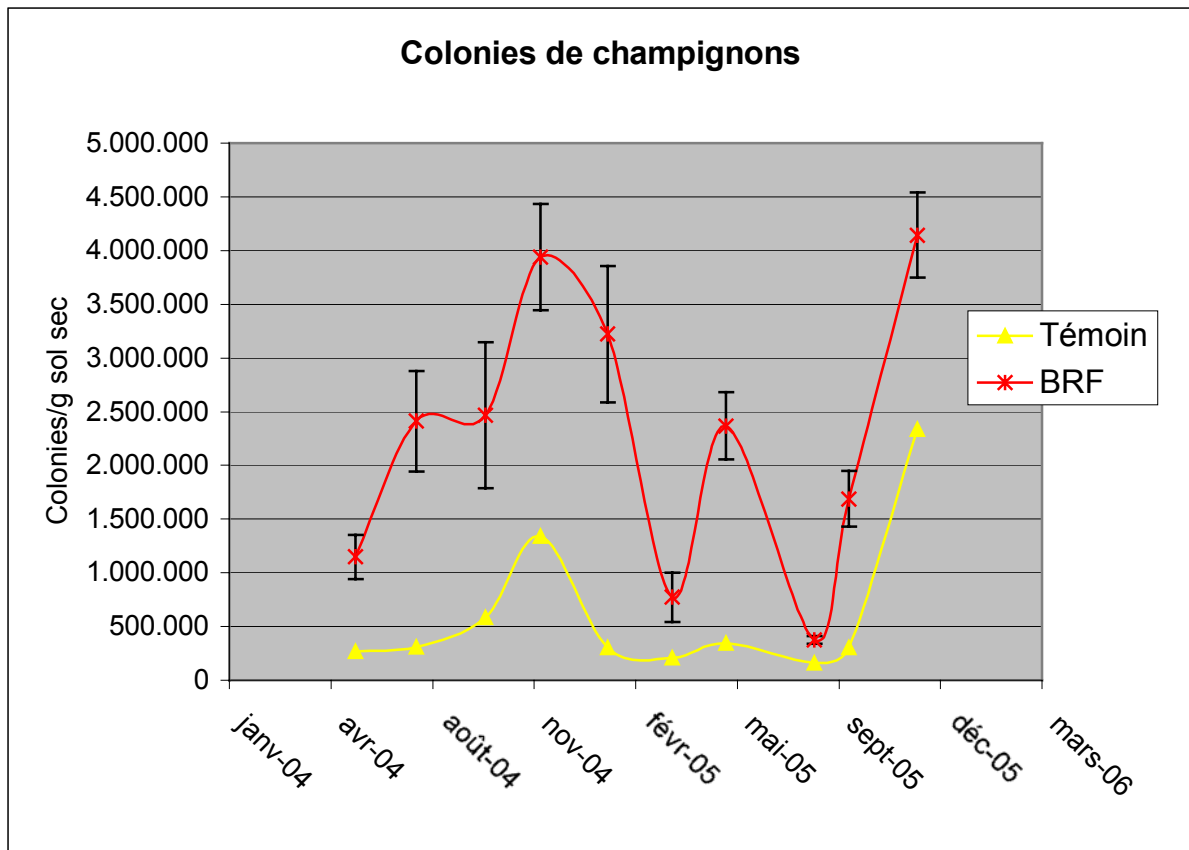
On constate, en premier lieu, une stimulation très importante des 3 populations de micro-organismes durant les 6 premiers mois. Par la suite, seuls les champignons demeurent très au-dessus du témoin. Après quelques oscillations, les populations d'actinomycètes et de bactéries se stabilisent légèrement au dessus du témoin.



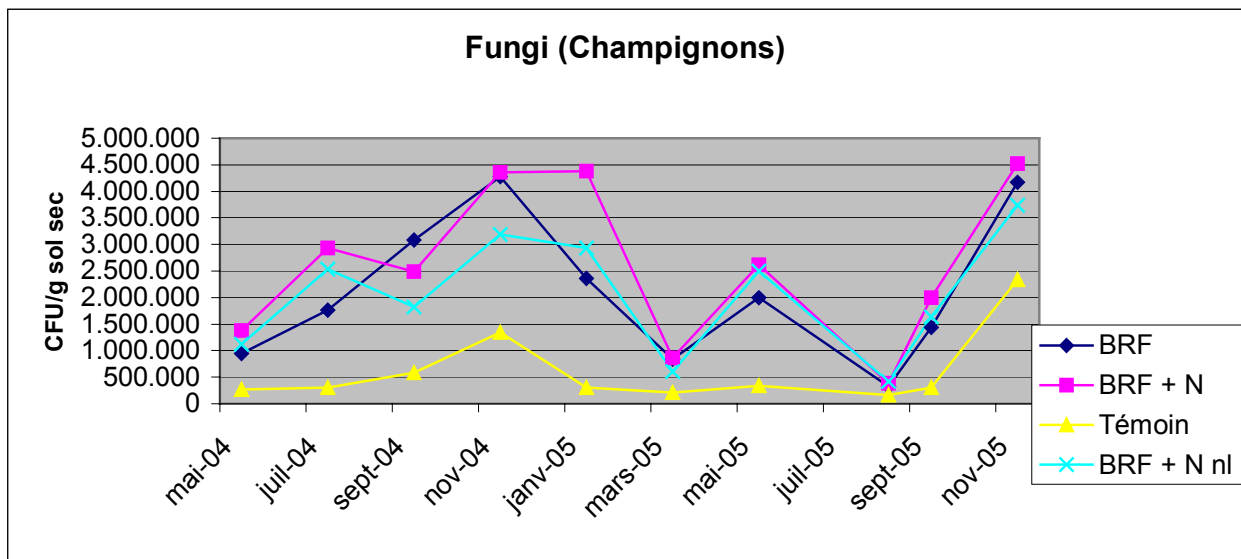
Champignons

Suite à l'apport de BRF, on observe une nette stimulation des populations de champignons, la méthode utilisée permet de déterminer un nombre d'organismes viables, les champignons étant des organismes de taille importante parmi la microflore, ils représentent plus de 50% de la biomasse. Cette stimulation est à repositionner dans le contexte de l'amélioration de la structure du sol. En effet, ce type d'organisme participe à la cohésion des agrégats par leurs mycéliums et par la sécrétion de substances collantes telles que la glomaline, leurs hyphes explorent le sol et consolident les agrégats. En outre, ils sont broutés par la pédofaune dont ils stimulent l'activité.

L'examen de la courbe moyenne des 3 traitements comparée au témoin (ci-dessous) montre un maximum en novembre 2004. Au cours des deux premières saisons de culture, les valeurs du témoin demeurent très basses. En novembre 2005, par contre, le témoin montre un pic plus important. Cet effet est probablement lié à l'accumulation de résidus de cultures, pouvant alimenter les populations fongiques, en surface, suite à l'itinéraire «non-labour» pratiqué.



L'analyse des 4 courbes montre une stimulation importante sur les 3 traitements (BRF, BRF + N, BRF + N nl). En 2004, le traitement BRF seul se distingue par une croissance linéaire des populations. Les autres traitements avec BRF semblent rejoindre le BRF seul, selon une sigmoïde. L'azote n'apporterait qu'une stimulation temporaire (6 mois) mais le facteur limitant semble être le carbone du BRF, rendu progressivement accessible par l'action des micro-organismes. Le traitement sans labour initial est moins stimulé que le traitement avec labour. En 2005, les traitements se rejoignent et ne se distinguent plus.



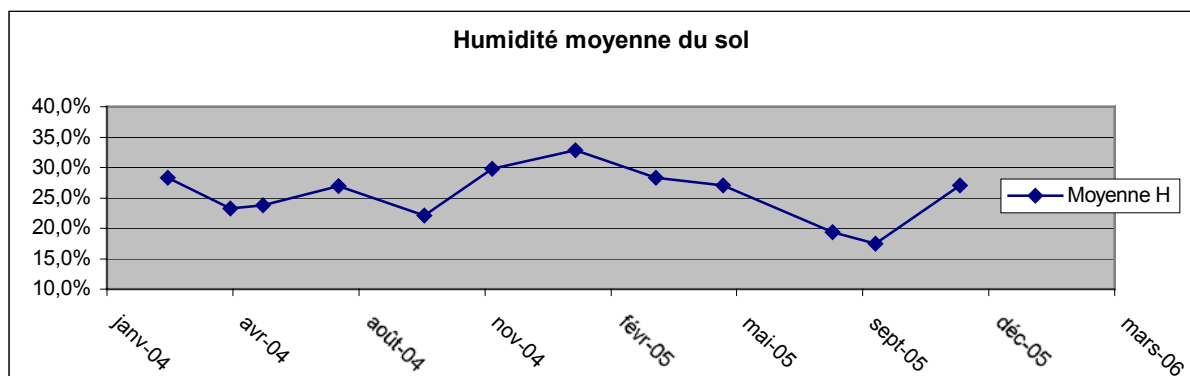
CFU : Colony Forming Unit

Cette stimulation a aussi été visible à l'œil nu, lorsque les conditions le permettent, les hyphes prolifèrent et explorent les galeries du sol.



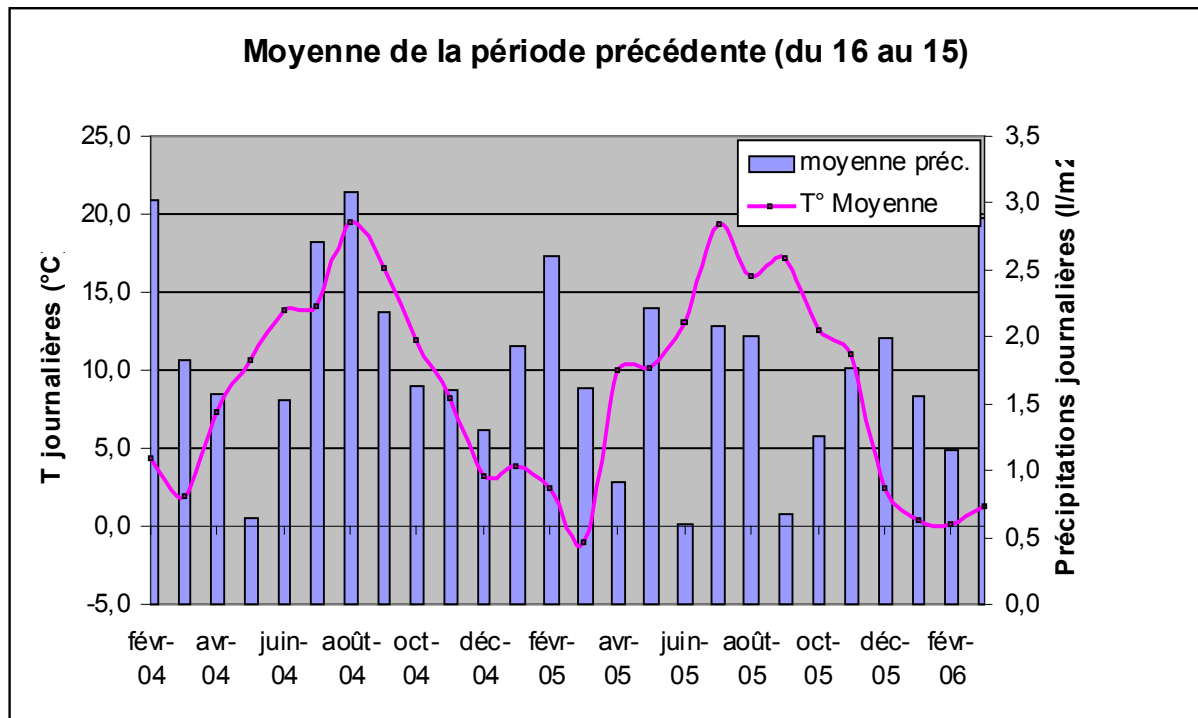
Strée, avril 2005 – parcelle traitée au BRF : pourritures blanches, les hyphes fongiques attaquent le BRF.

On ne constate aucune régression des champignons après le travail du sol (17/03/04, 28/04/04, 22/10/04, 12/10/05), par contre, il y a une forte diminution du nombre de colonies durant la période la plus humide, début 2005, mais également durant la période la plus sèche,



en septembre 2005.

Les champignons, organismes aérobies, supportent mal l'engorgement en eau, par contre, ils apprécient un substrat humide. D'autre part, en faisant pénétrer l'air en profondeur, le travail du sol les stimule.



Un traitement fongicide sur la céréale, le 09/05/05, n'a pas eu d'effet immédiat négatif sur les populations de champignons du sol. Par après, lors de l'incorporation des pailles, il n'y a pas eu non plus d'incidence négative sur les populations de champignons.

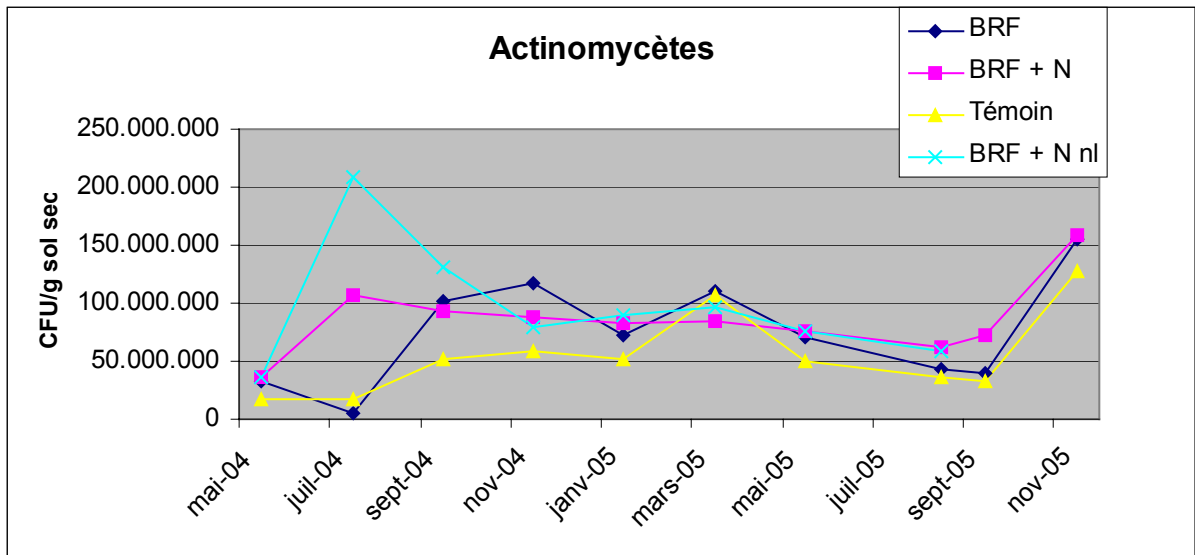
Les champignons sont les principaux acteurs de la décomposition du bois. Des conceptions circulent au sujet du BRF, préconisant un travail minimum du sol. Ceci afin d'éviter de perturber la faune et la flore de décomposition. Du point de vue des champignons, ces résultats vont à l'encontre et plaident pour l'importance d'une bonne aération, même au prix d'un travail du sol plus important au début.

Actinomycètes

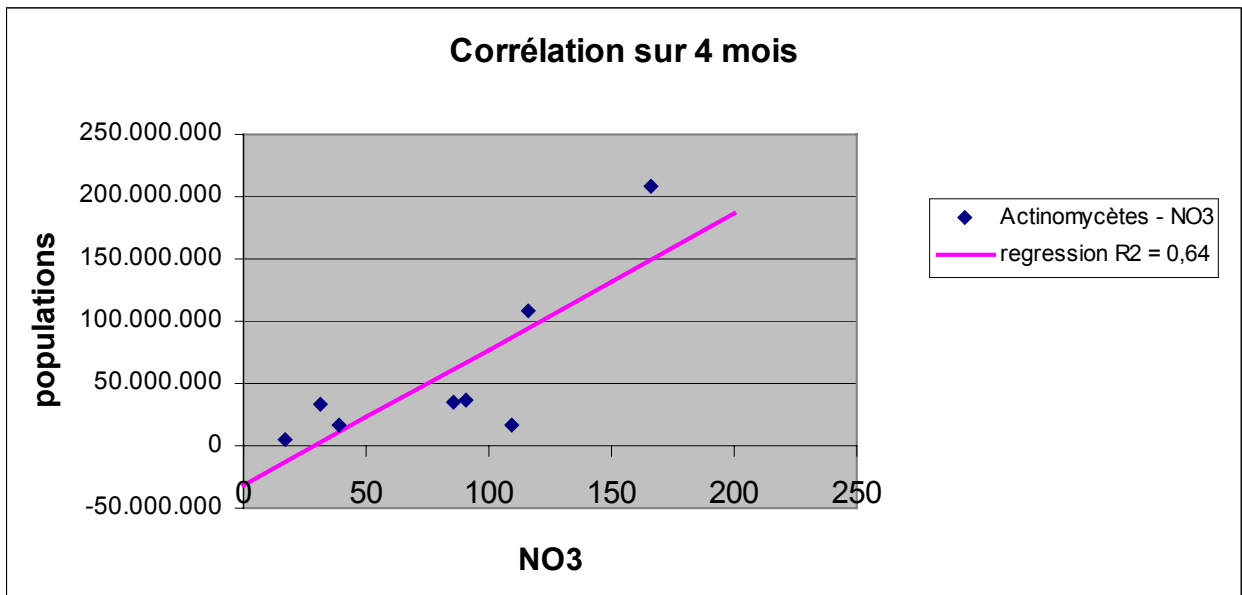
Comparativement aux champignons, les actinomycètes semblent moins influencés par l'apport de BRF.

Ils semblent principalement intervenir durant les premiers stades de décomposition du bois, les plus fortes stimulations sont observées en 2004.

En 2005, les traitements sont proches du témoin, ils affichent toutefois des valeurs légèrement supérieures.



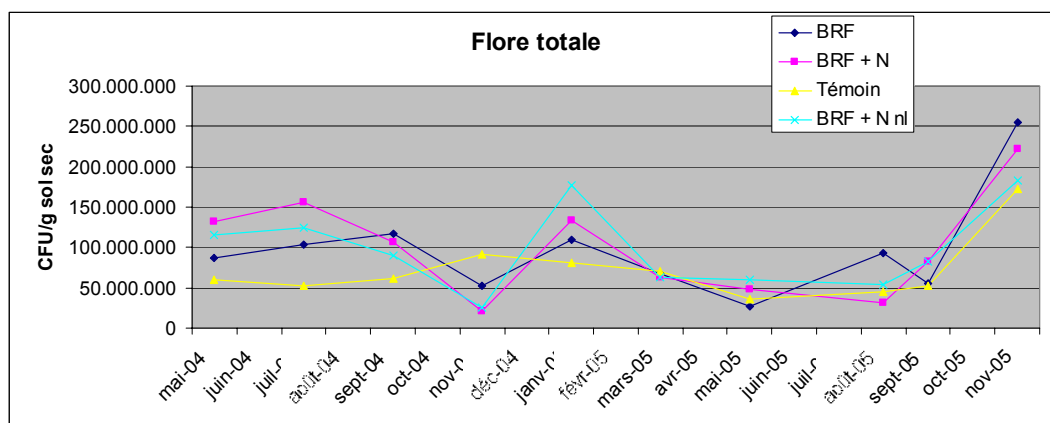
Durant les 6 premiers mois après l'incorporation du BRF, on observe une forte stimulation des actinomycètes qui, outre la présence d'éléments facilement métabolisables, issus du BRF (sucres, protéines, petits fragments, . . .), semble liée à l'azote disponible. La parcelle recevant uniquement du BRF reste proche du témoin durant les 4 premiers mois. La deuxième mesure est inférieure au témoin sur ce traitement. Durant cette période, on trouve une corrélation, tous traitements confondus, entre les populations d'actinomycètes et l'azote NO₃ présent dans la couche superficielle du sol (0 – 30 cm). Ainsi l'azote explique 64% de la stimulation observée.



Flore totale

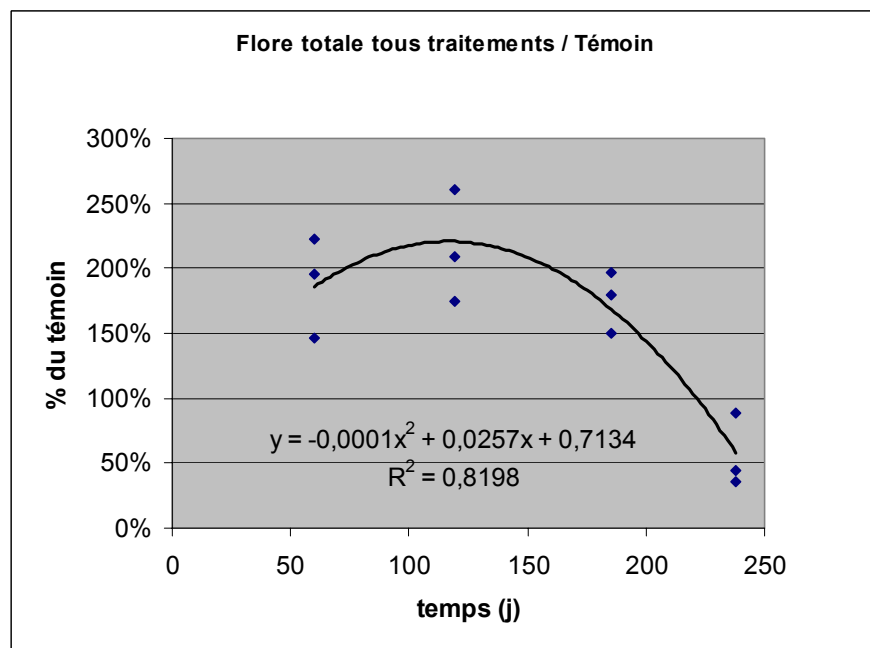
La flore totale est essentiellement constituée de bactéries dont le nombre d'individus est majoritaire.

Dans le cadre de notre essai, on observe une stimulation importante de la flore durant les 6 premiers mois après l'incorporation de BRF. Durant les 4 premiers mois, on voit le même ordre que dans le cas des actinomycètes : les blocs ayant reçu de l'azote sont plus stimulés que le bloc BRF seul.



Ensuite, la récolte (18/10/04) et le travail superficiel du sol (22/10/04) semblent marquer le début d'une chute des populations sur les traitements. Cette oscillation se poursuit par une hausse en début 2005. Ce phénomène pourrait aussi être lié aux champignons qui montrent un pic de croissance en novembre 2004 et un début de régression durant les premiers mois de 2005.

Par la suite, les valeurs restent proches du témoin.



Sur la première période, on obtient un modèle polynomial assez bien corrélé avec les observations ($R^2 = 0,82$) présentant une stimulation maximale des bactéries du sol 4 mois après incorporation du BRF.

Après 4 mois, on atteint alors en moyenne 215 % de la flore sur le témoin.

Différents facteurs peuvent intervenir sur la croissance des micro-organismes du sol, les principaux étant la présence d'un substrat adéquat et la température. Notons au sujet de la température que les populations du témoin sont restées très stables durant l'essai. Ce que nous observons ici semble être l'effet de l'apport d'un substrat de croissance accessible: la partie vivante du bois constitue un aliment accessible à court terme par les bactéries, le lisier également. Ces éléments suscitent une croissance au début, puis les éléments métabolisables viennent à manquer suscitant la décroissance des populations. L'essentiel du bois n'est pas accessible directement par les bactéries, les celluloses et les hémicelluloses sont protégées par la lignine. Seule une attaque enzymatique extracellulaire déclenchée par les champignons peut venir à bout de la lignine et rendre les autres éléments accessibles, ce qui permet de maintenir une certaine stimulation. Toutefois, les champignons sont aussi susceptibles de sécréter des antibiotiques capables de limiter les populations bactériennes.

Analyse statistique

En première approche, la comparaison des blocs traités (BRF, BRF + N et BRF + N nl) au témoin, montre des différences significatives selon le test de Student (95 %).

	17/05/2004	16/07/2004	22/09/2004	15/11/2004	20/01/2005	25/03/2005	17/05/2005	12/08/2005	15/09/2005	21/11/2005
Student (95%) champignons										
BRF	S	S	S	S	S	NS	S	S	S	NS
BRF + N	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
BRF + N nl	S	S	NS	S	S	S	S	S	S	NS
Student (95%) actinomycètes										
BRF	S	S	NS	S	S	NS	NS	NS	S	S
BRF + N	S	S	NS	S	S	NS	S	NS	S	S
BRF + N nl	S	S	S	S	S	NS	S	S	NS	NS
Student (95%) flore totale										
BRF	S	S	S	NS	S	NS	NS	NS	NS	S
BRF + N	S	S	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS	S
BRF + N nl	S	NS	NS	NS	S	NS	NS	NS	S	NS

On constate que les dosages de champignons montrent des résultats significativement différents pour l'essentiel de la période, malgré 4 valeurs non significativement différentes. Par contre, les actinomycètes et la flore totale montrent plus de valeurs non significativement différentes. La flore totale atteint rapidement une période où la majorité des valeurs ne sont plus significativement différentes.

Le test t approché de Welch permet de comparer les moyennes des 3 mesures réalisées sur les témoins à la moyenne des 3X3 mesures réalisées sur les traitements. En globalisant les résultats obtenus sur les traitements, on aura une meilleure visibilité sur l'effet BRF.

date :	17/05/2004	16/07/2004	22/09/2004	15/11/2004	20/01/2005	25/03/2005	17/05/2005	12/08/2005	15/09/2005	21/11/2005
Champignons BRF/T (%)	430%	782%	423%	294%	1060%	368%	691%	232%	559%	177%
t de Welch (95%)	S	S	S	S	S	S	S	S	S	NS
Actinomycètes BRF/T (%)	213%	647%	213%	162%	158%	90%	148%	153%	156%	119%
t de Welch (95%)	S	S	S	S		NS	S	S	S	S
Flore totale BRF/T (%)	188%	241%	169%	36%	174%	91%	122%	132%	138%	128%
t de Welch (95%)	S	S	S	NS	S	NS	NS	NS	S	S

On trouve 4 valeurs non significativement différentes du témoin pour la flore totale et une seule valeur non significativement différente pour, respectivement, les champignons et les actinomycètes.

En considérant tous les traitements BRF ensemble on augmente le nombre de répétitions ce qui permet de faire apparaître plus de différences significatives.

En ne considérant, sur la période, uniquement les valeurs significativement différentes du témoin, on trouve, en moyenne, une bio-stimulation de 538%, 219%, 173% pour, respectivement, les champignons, les actinomycètes et la flore totale.

Pédofaune et physique du sol

L'impact de la pédofaune (vers de terre) a aussi été très visible, on a pu observer de fortes différences de macroporosité entre les sols traités et non traités.

Observation le 12/04/05



Sol traité au BRF en mars 04

Sol non traité

Ces différences ont donné lieu à une mesure à l'infiltromètre qui a montré une différence significative de taux d'infiltration :

vitesse d'infiltration (l/min.m ²)	tous les résultats	exclusion de 2 résultats < 10 min	exclusion de 4 résultats < 25 min
sans BRF	11,9	3,9	3,9
e	23,1	4,1	4,1
IC 95%	16,0	2,8	3,0
avec BRF	27,4	17,9	11,8
e	28,9	11,6	5,9
IC 95%	20,0	8,0	5,2
BRF/T (%)	230%	464%	306%
t test 95%	NS	S	S

En avril 2005, nous avons réalisé des mesures comparatives de taux d'infiltration sur deux blocs, l'un traité au BRF, l'autre pas (14 et 15).

Nous avons utilisé les équipements et le protocole fourni par le Prof. C. Biielders - UCL unité GERU.

Le protocole prévoit l'infiltration d'une colonne d'eau à pression constante (système basé sur la bouteille de Mariotte).

Après un temps variable, on doit arriver à une

stabilisation de la vitesse d'infiltration, c'est cette vitesse stabilisée qui constitue la mesure. Sur les 2X8 mesures réalisées, 2 mesures n'ont pas permis de stabilisation suite à l'infiltration de deux colonnes d'eau en moins de 10 minutes (alors que le protocole prévoit 30 minutes d'infiltration). Ceci est probablement dû à une faille importante dans le sol, nous avons décidé d'exclure ces résultats.

En excluant ces deux résultats, on obtient un écart significativement différent selon le test de Student. Le sol traité au BRF infiltre 17,9 l/minute sur 1m² contre 3,9 l/minute pour le sol témoin.

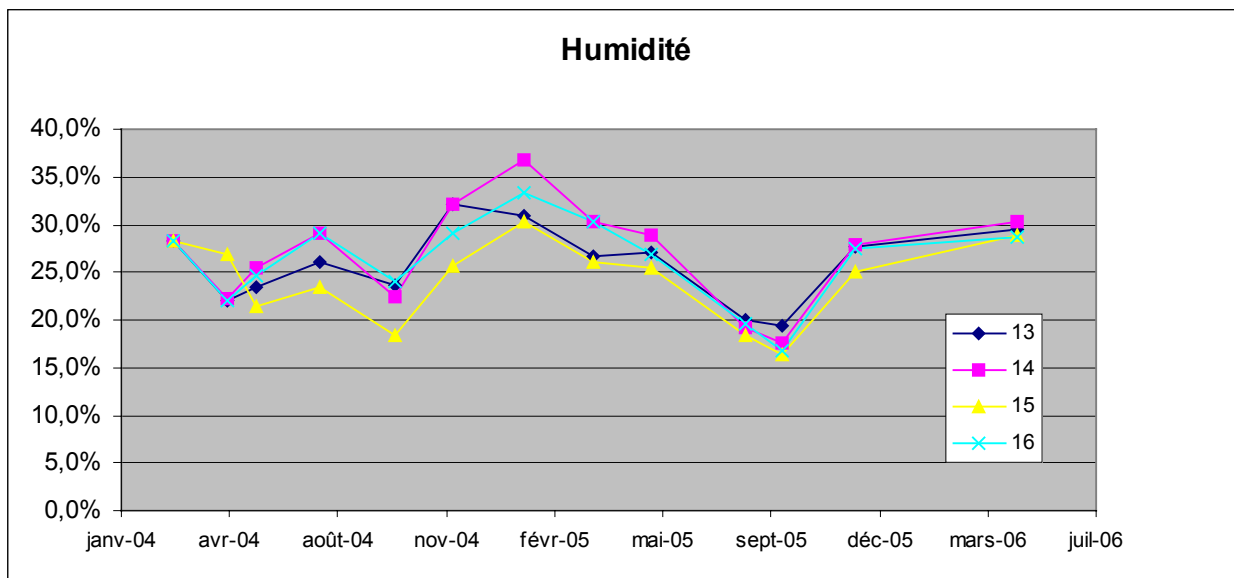


On peut être encore plus restrictif et exclure 4 résultats ayant donné lieu à l'infiltration d'une colonne d'eau en moins de 25 minutes. De cette façon, on exclu les « renards » résultant d'une faille importante dans le sol ou d'une mauvaise mise en place de l'appareil mais également des résultats fiables mais élevés.

Même ici, le dispositif traité au BRF infiltre plus de 3 fois plus vite l'eau comparativement au témoin.

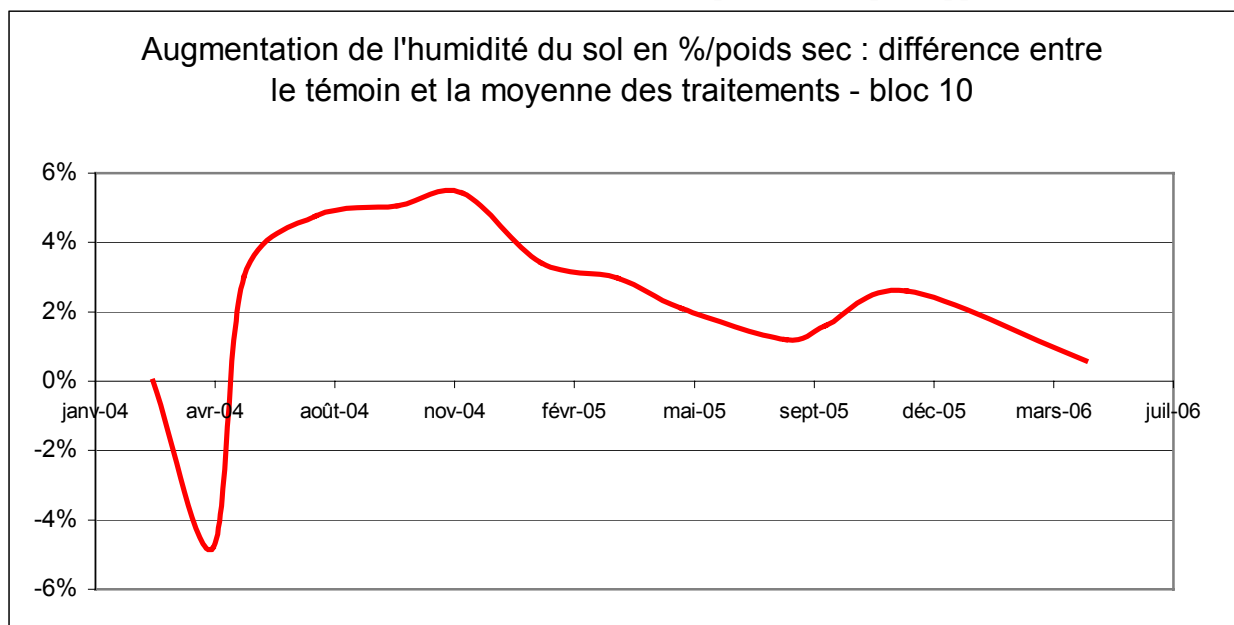
Rétention d'eau dans la couche superficielle du sol

Une mesure de contrôle est réalisée tous les 2 mois sur chaque bloc (13 - 16), le sol frais est prélevé dans les 10 premiers cm du sol, il est ensuite tamisé à 4 mm, ce qui exclut la présence de BRF et autres fragments. L'humidité est mesurée par séchage à 105°C durant 48 heures.



L'effet des traitements semble se rejoindre. Le BRF a un impact marqué sur la rétention en eau de la couche superficielle des sols: après un premier effet négatif au 4^{ème} mois, la moyenne des traitements se stabilise après le 6^{ème} mois aux alentours de 5% d'eau en plus sur poids sec. Ensuite les courbes des traitements semblent se rapprocher du témoin.

Globalisons les résultats des trois traitements BRF et exprimons les par rapport au témoin :



Après une première phase à - 5%, l'humidité se stabilise à + 5%, puis ce stock d'eau semble diminuer progressivement, peut-être au rythme de la décomposition du BRF.

En considérant une couche de 12 cm de sol, ce qui correspond à l'incorporation effective du BRF mesurée dans le profil, 5% d'accroissement de la capacité de rétention d'eau correspond à 78 T d'eau/ha. Or 226 m³ épandus X 325,6 kg d'eau/m³ de capacité d'absorption = 73,6 T d'eau/ha. Compte tenu des approximations, ces grandeurs sont du même ordre.

Ceci suggère que l'amélioration de la capacité de rétention en eau des sols traités serait le fait du stockage physique dans les copeaux.

Cette capacité diminuerait ensuite au rythme de la dégradation du bois.

La formation d'humus peut aussi intervenir, en fin de processus, dans la capacité de stockage du sol.

Rendements, prélèvements des cultures, germination et qualité des produits:

Rendements:

Du point de vue phytotechnique, le bloc 10 met en œuvre différentes modalités afin de valider des hypothèses. Il s'agit d'un premier banc d'essai permettant de dégager des pistes techniques. Dans ce cadre, il faut d'abord examiner les rendements sous un angle qualitatif, en les comparant entre eux.

Les bonnes pratiques établies sur base des observations réalisées sur les blocs 10 et 30 principalement seront testées sur les blocs 20, 40, 50, 80. Sur ces blocs, une approche plus quantitative des rendements pourra être menée.

Rotation 1: orge de printemps - (moutarde) - pdt

Orge de printemps:

Le tassement du sol combiné aux carences en azote a fortement pénalisé cette première culture d'orge. Le bloc BRF + N nl s'en sort un peu mieux que les autres blocs traités.

Orge	Rendement grain humide (kg/ha)	Rendement paille humide (kg/ha)	Rendement grain sec (kg/ha)	Rendement paille sec (kg/ha)	Grain sec (%)	Paille sèche (%)
BRF	2.885	1.058	2.268	985	57%	55%
BRF+N	3.526	1.587	2.248	1.477	56%	82%
T	5.128	1.939	4.010	1.805	100%	100%
BRF+N nl	4.348	1.839	2.840	1.713	71%	95%

Les prélèvements des cultures ont été calculés sur base de l'analyse réalisée sur les produits récoltés sur chaque bloc.

Orge	Ca (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Na (kg/ha)	Mg (kg/ha)	N (kg/ha)
BRF	5,7	12,1	19,0	4,0	3,9	51,7
BRF+N	8,7	12,0	27,2	4,3	4,8	58,8
T	10,4	18,7	34,5	6,7	7,4	90,0
BRF+N nl	12,3	14,5	34,4	4,8	6,8	74,0

Qualité des produits (Minéraux solubles en g/kg ou kg/T MS) :

Orge grain	Ca	P	K	Na	Mg	Cendres	Mat. Azotées	Cellulose	Extractifs non azotés	VEM	MAD
BRF	0,7	4,6	4,8	1,5	1,3	31	115	66	788	1069	84
BRF+N	1,1	4,2	6,7	1,5	1,5	34	122	58	786	1070	89
T	0,7	3,9	4,9	1,4	1,4	28	112	53	807	1086	82
BRF+N non labour	2	4,3	7,7	1,4	1,9	40	132	78	750	1041	96

2005

Pommes de terre:

Parmi les 70 lignes (butes), on a choisi 4 X 13 répétitions exemptes de perturbations majeures (bordure de champs, transition, écrasement partiel par les roues du tracteur).

pd	Rendements moyen MF (kg/ha)	Rendements moyen MS (kg/ha)	e	IC 95%	Rendement MS (%)	Student
BRF	20.526	4.890	1.149	625	72%	S
BRF+N	34.344	7.323	1.009	548	108%	S
T	31.269	6.769	511	278	100%	/
BRF+N nl	29.573	6.253	827	450	92%	S

Le test de Student pour une probabilité de 95% montre que les traitements sont significativement différents du témoin. Toutefois, si on fait la moyenne des deux traitements BRF ayant reçu de l'azote, on retrouve la valeur du témoin.

Par contre, le bloc ayant reçu uniquement du BRF affiche encore un retard, moindre qu'en première année. Cette chute de rendement est très probablement due à la poursuite de l'immobilisation de l'azote dans le sol, au cours de la deuxième année de culture.

Prélèvements :

	Ca (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Na (kg/ha)	Mg (kg/ha)	N (kg/ha)
BRF	2,4	15,2	168,2	0,5	5,9	51,8
BRF+N	4,4	22,7	201,4	0,7	8,1	125,2
T	3,4	20,3	190,9	0,7	7,4	102,2
BRF+N nl	2,5	21,9	195,7	0,6	6,9	110,7

Qualité des produits :

pd	Ca	P	K	Na	Mg	Cendres	Mat. Azotées
BRF	0,5	3,1	34	0,1	1,2	76,7	66,3
BRF+N	0,6	3,1	28	0,1	1,1	73,1	106,9
T	0,5	3	28	0,1	1,1	79	94,4
BRF+N non labour	0,4	3,5	31	0,1	1,1	83,5	110,6

Rotation II : Tournière gérée en jachère

La prairie a été fauchée une fois l'an, en fin d'été.

Année 2004

Tournière 04	Rendement MF (kg/ha)	Rendement MS (kg/ha)	Rendement MS (%)
BRF	6.375	4.567	118%
BRF+N	6.130	4.395	114%

T	5.394	3.867	100%
BRF+N nl	6.375	4.567	118%

Les rendements de cette première année sont meilleurs sur les blocs traités, notons que la fauche tardive et la présence de légumineuses dans cette prairie ont permis à la culture de surpasser sans problème l'immobilisation de l'azote par le BRF, voire d'en tirer profit (synergie BRF + légumineuse).

Prélèvements :

Tournière	Ca (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Na (kg/ha)	Mg (kg/ha)	N (kg/ha)
BRF	37,4	11,4	148,4	0,9	6,4	105,2
BRF+N	35,6	11,4	128,8	0,4	6,2	90,0
T	28,2	14,3	135,0	6,6	10,1	97,1
BRF+N nl	44,8	14,6	162,6	1,8	8,2	114,7

Qualité des produits

Tournière 04	Ca	P	K	Na	Mg	Cendres	Mat. Azotées	cellulose	Extractifs non azotés	VEM	MAD
BRF	8,2	2,5	33	0,2	1,4	102	144	281	472	778	85
BRF+N	8,1	2,6	29	0,1	1,4	100	128	363	409	651	71
T	7,3	3,7	35	1,7	2,6	113	157	310	420	722	97
BRF+N non labour	9,8	3,2	36	0,4	1,8	127	157	310	406	702	98

Année 2005

tournière 2005	Rendement MF (kg/ha)	Rendement MS (kg/ha)	Rendement (%)
BRF	5.449	3.542	101%
BRF+N	6.090	3.907	112%
T	5.128	3.493	100%
BRF+N nl	6.731	4.487	128%

Les rendements demeurent supérieurs sur les blocs traités ayant reçu de l'azote, le bloc traité au BRF seul fait aussi bien que le témoin.

Prélèvements :

Tournière 2005	Ca (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Na (kg/ha)	Mg (kg/ha)	N (kg/ha)
BRF	28,3	9,2	109,4	1,8	6,4	74,8
BRF+N	20,7	11,3	129,7	2,0	6,6	79,4
T	22,7	9,1	95,7	1,4	5,6	57,6
BRF+N nl	22,0	13,0	149,4	2,2	7,6	83,3

En deuxième année, tous les prélèvements en azote sont nettement plus importants sur les blocs traités par rapport au témoin.

Qualité des produits :

tournière 2005	Ca	P	K	Na	Mg	Cendres	Mat. Azotées	cellulose	Extractifs non azotés	VEM	MAD
BRF	8	2,6	31	0,5	1,8	115	132	319	434	707	87
BRF+N	5,3	2,9	33	0,5	1,7	117	127	292	464	744	82
T	6,5	2,6	27	0,4	1,6	103	103	348	447	677	59
BRF+N non labour	4,9	2,9	33	0,5	1,7	122	116	316	446	697	72

Rotation III : Ray-grass + trèfle → maïs

2004

Rendement de la prairie temporaire

Trèfle + RG	Rendement 1 MF (kg/ha)	Rendement 1 MS (kg/ha)	Rendement 1 MS (%)	Rendement MF 2 (kg/ha)	Rendement MS 2 (kg/ha)	Rendement MS 2 (%)	Rendement MS annuel (kg/ha)	Rendement MS annuel (%)
BRF	6.410	3.083	53%	6.058	4.471	90%	7.554	70%
BRF+N	7.853	3.895	67%	4.936	3.643	73%	7.538	70%
T	12.981	5.854	100%	6.731	4.967	100%	10.822	100%
BRF+N nl	10.256	5.210	89%	5.609	4.139	83%	9.350	86%

Le rendement 1 est le rendement de la première coupe, les blocs traités au BRF sont plus pénalisés à ce stade par rapport à la deuxième coupe (rendement 2). Le rendement annuel est la somme des deux coupes, on constate que les rendements sont moins bons sur les blocs traités, ils atteignent les 3/4 du témoin, en moyenne.

Prélèvements :

Trèfle + RG	Ca (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Na (kg/ha)	Mg (kg/ha)	N (kg/ha)
BRF	39,9	17,2	211,4	0,8	10,9	135,0
BRF+N	45,6	18,4	212,4	1,9	11,3	136,5
T	54,4	26,3	334,9	2,2	15,5	178,5
BRF+N nl	54,9	19,1	300,3	3,4	15,6	193,6

Qualité des produits :

Trèfle + RG coupe 1	Ca	P	K	Na	Mg	Cendres	Mat. Azotées	Cellulose	Extractifs non azotés	VEM	MAD
BRF	4,1	2,1	24	0,1	1,5	125	117	265	493	806	77
BRF+N	4,4	2,3	25	0,3	1,4	117	90	293	500	773	51
T	3,1	2,2	32	0,2	1,2	122	93	300	485	753	54
BRF+N non labour	5,3	1,6	34	0,5	1,8	155	125	269	451	751	86

Trèfle + RG coupe 2	Ca	P	K	Na	Mg	Cendres	Mat. Azotées	Cellulose	Extractifs non azotés	VEM	MAD
BRF	6,1	2,4	31	0,1	1,4	94	108	356	442	622	54
BRF+N	7,8	2,6	32	0,2	1,6	105	138	321	435	657	79
T	7,3	2,7	30	0,2	1,7	100	115	339	446	683	62
BRF+N non labour	6,6	2,6	30	0,2	1,5	122	135	322	421	655	79

2005

Rendements du maïs :

Maïs 2005	Rendement MF (kg/ha)	Rendement MS (kg/ha)	e	IC 95%	Rendements en %	Student
BRF	66.665	16.790	1.939	1.699	108%	NS
BRF + N	70.220	19.336	3.047	2.671	125%	S
Témoin	55.999	15.489	3.433	3.009	100%	/
BRF + N non labour	59.554	16.205	3.587	3.145	105%	NS

Les rendements de tous les traitements affichent des valeurs supérieures au témoin. Une de ces valeurs est significativement différente du témoin selon le test de Student. Ces résultats montrent qu'un an d'une prairie temporaire comprenant une légumineuse (trèfle) a suffi à contrebalancer la faim d'azote consécutive à l'incorporation du BRF.

Prélèvements de la culture :

Maïs 2005	Ca (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Na (kg/ha)	Mg (kg/ha)	N (kg/ha)
BRF	26,9	38,6	265,3	1,7	18,5	220,3
BRF+N	40,6	44,5	257,2	1,9	27,1	259,9
T	29,4	35,6	207,6	1,5	20,1	168,5
BRF+N nl	53,5	47,0	251,2	4,9	27,5	274,8

Qualité des produits :

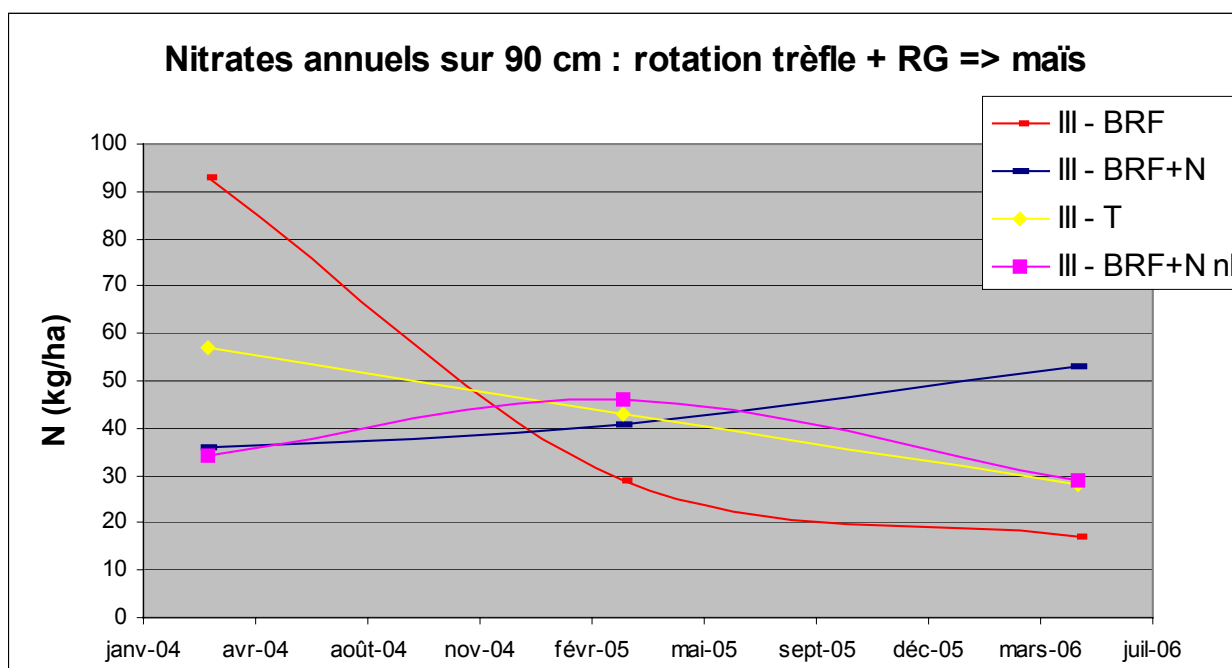
Maïs 2005	Ca	P	K	Na	Mg	Cendres	Mat. Azotées	Cellulose	Extractifs non azotés	VEM	MAD
BRF	1,6	2,3	15,8	0,1	1,1	53	82	239	627	847	47
BRF+N	2,1	2,3	13,3	0,1	1,4	52	84	245	619	859	50
T	1,9	2,3	13,4	0,1	1,3	52	68	229	651	857	33
BRF+N non labour	3,3	2,9	15,5	0,3	1,7	70	106	265	559	868	73

Point sur l'azote :

Maïs 2005	Mat. Azotées	Rendement MS (kg/ha)	Prélèvement (kg N/ha)	e	IC 95%	Prélèvement en %	Student
BRF	82	16.790	220	25	22	131%	S
BRF + N	84	19.336	260	41	36	154%	S
Témoin	68	15.489	169	37	33	100%	/
BRF + N non labour	106	16.205	275	61	53	163%	S

Les traitements ont, outre l'augmentation de rendement constatée, augmenté la teneur en protéines du maïs (matières azotées). Ce double effet occasionne des prélèvements nettement plus importants et significativement différents des traitements par rapport au témoin.

Or, nous avons vu que, dès la deuxième année de culture, les blocs traités tendent vers les valeurs de nitrates mesurées sur le témoin. Un examen plus approfondi des valeurs mesurées sur le bloc de la troisième rotation montre que les quantités de nitrates présents dans le profil sont inférieures au témoin sur le bloc BRF seul, elles sont du même ordre sur le bloc BRF + N nl et légèrement supérieur sur le bloc BRF +N. La différence par rapport au témoin sur ce dernier bloc, en fin de suivi, est seulement de 25 UN/ha sur 90 cm.



Il semble donc que le maïs a bien profité de l'azote sous forme organique, stocké dans l'humus suite à l'apport de BRF et à une année de culture comprenant une légumineuse. Ces résultats positifs ouvrent des pistes en Bio, où les cultures de légumineuses sont bien maîtrisées et où les carences de certaines cultures en protéines posent des problèmes (blés bios non panifiables).

Rotation IV : maïs → froment d'hiver

2004

Maïs 2004	Rendement MF (kg/ha)	Rendement grain MS (kg/ha)	Rendement tige MS (kg/ha)	Rendement total (kg MS/ha)	Rendement total sec (%)	e	IC 95%	Student / Témoin
BRF	72.432	12.643	8.820	21.463	107%	1.852	1.815	NS
BRF+N	84.265	14.615	10.586	25.200	126%	2.415	2.367	S
T	74.765	10.917	9.106	20.023	100%	926	907	/
BRF+N nl	74.231	12.028	7.923	19.951	100%	1.024	1.003	NS

Ici aussi, la culture de maïs semble avoir bien utilisé l'azote de l'humus. Le traitement BRF + N est seul meilleur et significativement différent du témoin.

Prélèvements de la culture:

Maïs	Ca (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Na (kg/ha)	Mg (kg/ha)	N (kg/ha)
BRF	28,0	53,3	317,0	4,8	20,7	197,2
BRF+N	34,3	56,9	267,6	5,6	21,9	242,8
T	33,9	57,0	341,9	7,2	22,8	223,0
BRF+N nl	31,0	58,8	273,5	3,6	22,4	228,7

Les traitements ayant reçu de l'azote prélèvent plus de cet élément que le témoin, par contre, le traitement BRF seul, prélève moins, malgré les bons rendements, et rejoint en cela les constatations faites sur les rotations I et III. Ce moindre prélèvement découle de l'immobilisation de l'azote sur ce bloc.

Qualité des produits :

Maïs grain	Ca	P	K	Na	Mg	Cendres	Mat. Azotées	Cellulose	Extractifs non azotés	VEM	MAD
BRF	0,6	2,8	9,1	0,1	1	35	60	160	745	982	24
BRF+N	0,3	3	6,7	0,2	0,9	28	65	140	768	1015	28
T	0,3	3,5	7,2	0,3	1	28	68	139	764	1023	32
BRF+N non labour	0,4	3,5	6,4	0,1	1,2	27	72	113	788	1056	36

Maïs tige	Ca	P	K	Na	Mg	Cendres	Mat. Azotées	Cellulose	Extractifs non azotés	VEM	MAD
BRF	2,3	2	23	0,4	0,9	82	53	304	561	658	19
BRF+N	3,1	1,7	18	0,3	1	81	66	330	523	686	32
T	3,2	1,8	27	0,4	1,2	92	65	374	469	620	32
BRF+N non labour	3,3	2,1	25	0,3	1	91	71	360	478	654	38

On constate effectivement une moindre richesse en protéines du maïs sur le bloc BRF seul.

2005

Froment 2005	Rendement grain MF (kg/ha)	Rendement paille MF (kg/ha)	Rendement grain MS (kg/ha)	Rendement paille MS (kg/ha)	Rendements grain (%)	Rendements paille (%)
BRF	4.602	2.301	3.865	1.872	65%	62%
BRF + N	8.013	3.526	6.742	2.869	113%	94%
Témoin	7.123	3.739	5.985	3.043	100%	100%
BRF + N non labour	7.823	4.563	6.572	3.713	110%	122%

Prélèvements des cultures:

Froment 2005	Ca (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Na (kg/ha)	Mg (kg/ha)	N (kg/ha)
BRF	6,0	17,5	32,2	0,6	6,1	71,8
BRF+N	8,9	27,4	57,3	1,0	9,4	122,3
T	9,7	23,4	57,4	0,9	8,4	104,1
BRF+N nl	13,5	26,1	63,2	1,0	8,1	130,9

Les blocs ayant reçu de l'azote et du BRF ont fait de meilleurs prélèvements en azote que le témoin, par contre le bloc ayant reçu uniquement du BRF affiche un rendement et un prélèvement inférieur au témoin, signe de la poursuite de l'immobilisation de l'azote, non compensée sur ce bloc.

Qualité du grain:

Froment 2005 grain	Ca	P	K	Na	Mg	Cendres	Mat. Azotées	Cellulose	Extractifs non azotés	VEM	MAD
BRF	0,3	3,7	4,5	0,1	1,1	20	103	29	848	1205	78
BRF+N	0,3	3,6	4,5	0,1	1,1	20	101	30	849	1205	76
T	0,3	3,5	4,3	0,1	1,1	19	94	27	860	1212	70
BRF+N non labour	0,3	3,4	4,3	0,1	0,9	18	107	27	848	1207	80

Indices additionnels:

Froment 2005	Indice de Zélény (ml)	Interprétation Zélény	Indice de Hagbergh (sec)	Interprétation Hagberg
BRF	28	très bon	219	activité acceptable
BRF+N	26	bon	211	activité acceptable
T	21	Bon (limite à 18)	200	activité acceptable
BRF+N non labour	31	Très bon	205	activité acceptable

L'indice de Zélény mesure la qualité boulangère des protéines du blé. Plus l'indice est élevé, meilleure est la qualité. La limite inférieure est 18, à partir de 28 on a une très bonne qualité boulangère.

L'indice de Hagberg mesure l'activité des farines, entre 180 et 220, cette activité est jugée acceptable, entre 220 et 250, l'activité est bonne. Plus l'indice est petit, plus l'activité est grande. Une activité trop grande ou trop petite pose des problèmes.

Cette mesure est, en fait, celle de l'état de germination du grain, elle n'est pas directement liée à la qualité de la culture, mais tant au moment de la récolte qu'à l'entreposage.

Les résultats montrent une meilleure qualité des grains sur les parcelles traitées au BRF.

L'activité, mesurée par l'indice de Hagberg, est acceptable partout.

L'indice de Zélény affiche une valeur proche de la limite de la mauvaise qualité pour le témoin, par contre, les traitements présentent des qualités entre bonnes et très bonnes, y compris pour le bloc BRF sans azote qui affiche une valeur à la limite du très bon.

L'apport de BRF a permis d'augmenter la teneur en protéines (Mat. Azotées), mais aussi la qualité boulangère de ces protéines (Zélény).

Synthèse rendements - prélèvements:

n°	Bloc	r 2004 (%)	r 2005 (%)	Ca (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Na (kg/ha)	Mg (kg/ha)	N (kg/ha)
1	I BRF	57%	72%	8,2	27,3	187,2	4,5	9,8	103,5
2	I BRF+N	56%	108%	13,1	34,7	228,5	5,0	12,9	184,0
3	I T	100%	100%	13,8	39,0	225,3	7,4	14,9	192,3
4	I BRF+N nl	71%	92%	14,8	36,4	230,1	5,4	13,7	184,7
5	II BRF	118%	101%	65,8	20,6	257,9	2,7	12,8	180,0
6	II BRF+N	114%	112%	56,3	22,8	258,5	2,4	12,8	169,4
7	II T	100%	100%	50,9	23,4	230,7	8,0	15,6	154,7
8	II BRF+N nl	118%	128%	66,7	27,6	312,0	4,1	15,8	198,0
9	III BRF	70%	108%	66,8	55,8	476,7	2,4	29,4	355,3
10	III BRF+N	70%	125%	86,2	62,9	469,6	3,8	38,4	396,4
11	III T	100%	100%	83,8	61,9	542,5	3,7	35,6	347,0
12	III BRF+N nl	86%	105%	108,4	66,1	551,5	8,3	43,1	468,5
13	IV BRF	107%	65%	34,1	70,8	349,2	5,4	26,8	269,0
14	IV BRF+N	126%	113%	43,2	84,3	324,9	6,6	31,3	365,1
15	IV T	100%	100%	43,6	80,4	399,3	8,1	31,2	327,1
16	IV BRF+N nl	100%	110%	44,4	84,8	336,7	4,6	30,5	359,6

Sur 24 résultats de rendement, 9 sont inférieurs au témoin. Sur les rotations I et IV, qui mettent en œuvre uniquement des grandes cultures, sans légumineuses, le bloc traité au BRF seul, affiche un rendement inférieur au témoin en deuxième année. Par contre, sur les rotations II et III, comprenant une légumineuse en première année, on ne constate pas de faim d'azote la deuxième année.

	Ca (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Na (kg/ha)	Mg (kg/ha)	N (kg/ha)
Moyenne générale	50,0	49,9	336,3	5,1	23,4	265,9
BRF	43,7	43,6	317,7	3,7	19,7	226,9
BRF+N	49,7	51,2	320,4	4,4	23,8	278,7
T	48,0	51,2	349,4	6,8	24,3	255,3
BRF+N nl	58,6	53,7	357,6	5,6	25,8	302,7

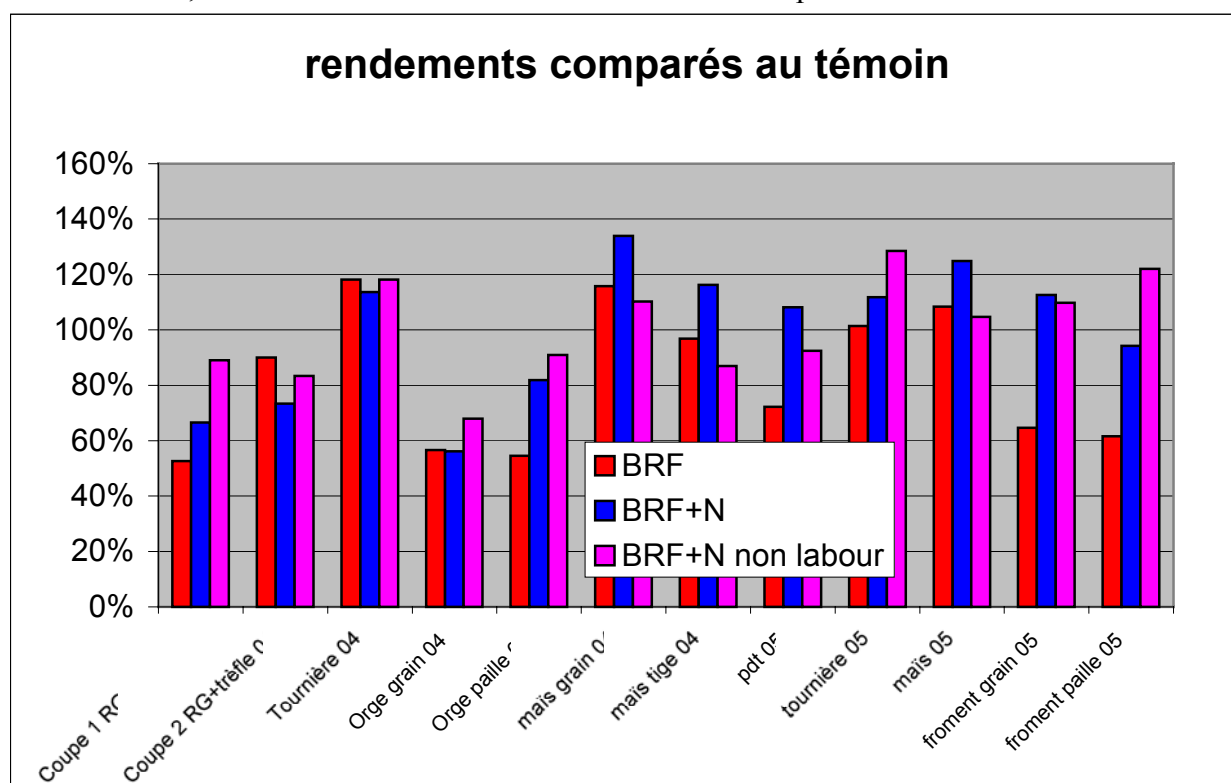
En moyenne, les blocs ayant reçu du BRF sans azote prélèvent moins d'éléments que le témoin. Par contre, les blocs ayant reçu du BRF et de l'azote prélèvent, en moyenne, généralement plus que le témoin. Une exception marquante est le sodium dont les prélèvements moyens sont inférieurs au témoin sur tous les traitements. En moyenne, le sodium est le prélèvement le plus faible, ensuite viennent dans l'ordre le magnésium, le calcium et le phosphore, l'azote puis le potassium.



Bloc 14, le 11/08/04

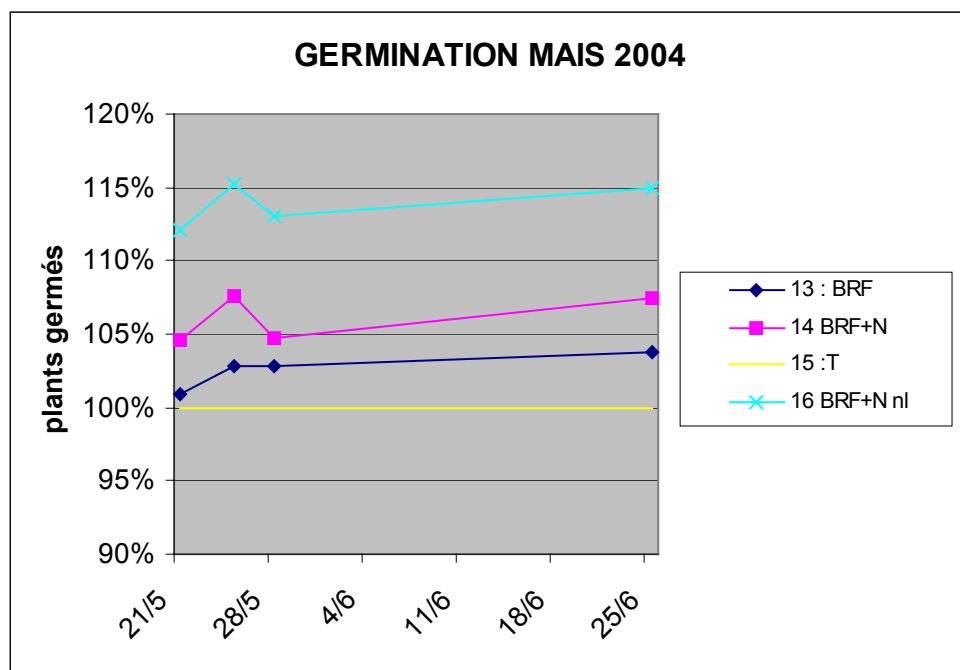
En 2004, les cultures qui ont germé les plus tardivement se sont mieux développées : le maïs et la tournière (cette prairie n'a pas été roulée et a eu un retard de germination sur le ray grass + trèfle) ont des rendements proches du témoin et marquent peu de différences systématiques dues à l'apport d'azote. Par contre, la paille de l'orge et la première coupe de ray grass + trèfle montrent une dépendance à l'azote et des diminutions de rendements comparables à ce que l'on trouve dans la littérature.

Sur l'ensemble, le maïs et la tournière affichent les meilleures performances.



Inhibition de la germination :

Aucun effet inhibiteur du BRF sur la germination n'a été constaté en champs.



Nous avons relevé les levées sur maïs en 3 répétitions à 4 moments, sur le bloc en maïs en 2004. Tous les traitements ont montré des levées plus importantes que sur le témoin, toutefois seul le premier résultat pour BRF + N nl était significativement différent du témoin selon le test de Student. Sur ce bloc, la moyenne des trois mesures suivantes atteint 114% du témoin et est significativement différente selon le test de Student.

Nous avons également réalisé une mesure de levée en 4 répétitions sur le bloc d'orge 2004 et sur le bloc ray grass + trèfle 2004 :

	Maïs 04 (1)	Student 95%	Orge 04	Student 95%	Trèfle + RG 04	Student 95%
BRF	101%	NS	104%	NS	95%	NS
BRF + N	105%	NS	101%	NS	179%	S
T	100%	/	100%	/	100%	/
BRF + N nl	112%	S	114%	NS	178%	S

Sur les mesures réalisées, une seule témoignait d'une moins bonne levée sur un bloc traité, toutefois l'écart n'est pas significativement différent du témoin. Par contre, 3 mesures ont montré une amélioration significativement différente par rapport au témoin, sur les blocs traités.

Mesure phytopathologique

Un suivi phytopathologique complet ne faisait pas partie du projet initial. Toutefois, suite à une demande informelle de Monsieur Van Schingen, nous avons réalisé une mesure sur le bloc 10, en cours de projet, et entrepris quelques contacts.

Une mesure, réalisée par la clinique des plantes, comprenant le dénombrement des maladies suivantes: Piétin-verse, Rhizoctone, Fusariose sur froment d'hiver, le 14 juillet 2005 sur les parcelles 14 (BRF+N) et 15 (Témoin), n'a montré aucune différence significative imputable au BRF.

Un échantillon de 100 pieds a été prélevé dans chacune des parcelles, le niveau de contamination a été estimé par observation visuelle des plants.

	Piétin-verse (%)	Rhizoctone (%)	Fusariose (%)	Septoriose (% de surface foliaire atteinte)
BRF + N (14)	7	0	2	0.85
Témoin (15)	4	0	3	1.35

Une investigation plus poussée nécessiterait la mise en place d'un dispositif approprié, comprenant notamment le recours à des variétés sensibles. Ceci sort du cadre budgétaire et du calendrier du présent projet.

Cette question pourrait être creusée plus profondément dans le cadre d'un projet ultérieur, en collaboration avec la clinique des plantes et le professeur Maraite.

Notons qu'aucune étude publiée à ce jour concernant le BRF n'a montré un impact négatif de cet apport sur la situation phytosanitaire de la culture. Par contre, des effets positifs ont été observés dans la réduction de problèmes de pucerons [Guay, Lachance, Lapointe¹³, 1981-1982], dans la réduction de problèmes de nématodes [Seck¹⁴, 1993 (confirmé par Bister, 1999)], plus récemment des essais français ont montré un effet positif dans la réduction des maladies fongiques sur céréales [Gillard¹⁵, 2005].

Nous avons consulté le professeur Maraite - UCL, il semble, a priori, que les risques de contamination de plantes de cultures par des maladies infestant également les plantes ligneuses soient limités. En outre, un colloque organisé le 21 mars 2006 à la faculté des sciences agronomiques de Louvain-la-Neuve, a confirmé l'intérêt de la valorisation des coupes de haies utilisées en mulch, dans les espaces verts. Cette pratique est courante depuis de nombreuses années dans notre région. Elle ne semble poser aucun problème phytopathologique sérieux. Or, comme nous l'a fait remarquer le professeur Maraite, le risque de contamination entre plantes ligneuses ornementales est certainement bien plus important que celui qui pourrait exister entre plantes ligneuses et grandes cultures.

¹³ Guay, E. et Lapointe, R.A. et Lachance, L., Observations sur l'emploi de résidus forestiers et de lisiers chez trois agriculteurs : Carrier, Fournier et Marcoux. Rapports techniques n°1 pp. 34 et n°2 pp. 41, Ministère de l'énergie et des ressources, Québec, 1981 et 1982.

¹⁴ Seck, M.A., Essai de fertilisation organique avec les bois raméaux fragmentés de filao (*Casuarina Equisetifolia*) dans les cuvettes maraîchères des niayes (Sénégal). In Lemieux, G. et Tétreault, J.P. (éds), Les Actes du Quatrième Colloque International sur les Bois Raméaux Fragmentés, Université Laval, Québec, pp. 36-41, 1993.

¹⁵ Gillard, C., Gestion écologique des cultures : essai d'utilisation d'un compost jeune de déchets végétaux pour initier la lutte intégrée sur le blé, mémoire de fin d'étude, Université Catholique de l'Ouest – France, pp. 43, 2005.

A l'heure où nous écrivons ce rapport, de nouvelles données, obtenues sur le bloc 20, sur une culture de froment, en juin 2006, sont en train d'être compulsées.

Les premiers résultats sont encourageants :

De petites améliorations ont été observées pour la Septoriose et pour le Piétin Verse (non significatif).

Une amélioration importante et significative a été obtenue pour le Rhyzoctone, suite à l'apport de BRF.

Le traitement approfondi de ces données se fera dans le cadre du stage de Camille Gillard et donnera lieu à une communication.

Dispositif 30 et 90 : Gestion de l'azote

Pour rappel, le bloc 30 a reçu deux doses de BRF et 3 répétitions X 7 doses d'azote comprises entre 0 et 6 kg N/T MS BRF épandu, sur des sous-blocs. Une partie des mesures a été réalisée en collaboration avec un stagiaire mémorant (Geoffroy Villers).

Sur le dispositif 90, deux blocs ont reçu deux doses de BRF, ils sont comparés à un bloc sans apport de BRF. Chacun des 3 blocs a été divisé en sous blocs recevant 3 répétitions X 6 doses d'azote comprises entre 0 et 250 kg N/ha. Une partie des mesures a été réalisée en collaboration avec une stagiaire mémorante (Camille Gillard).

Les mesures de rendements réalisées sur le bloc 30 représentent la moyenne de 3 répétitions, les mesures d'azote minéral représentent la moyenne de 9 répétitions pour chaque point.

Le bloc 30 met en œuvre de fortes doses, tant d'azote que de BRF, ceci afin d'observer de forts effets et de minimiser les erreurs par rapport aux grandeurs mesurées ce qui devrait résulter en de bonnes corrélations. En outre, afin d'évaluer l'efficacité du piégeage des nitrates, il faut dépasser les doses immobilisables.

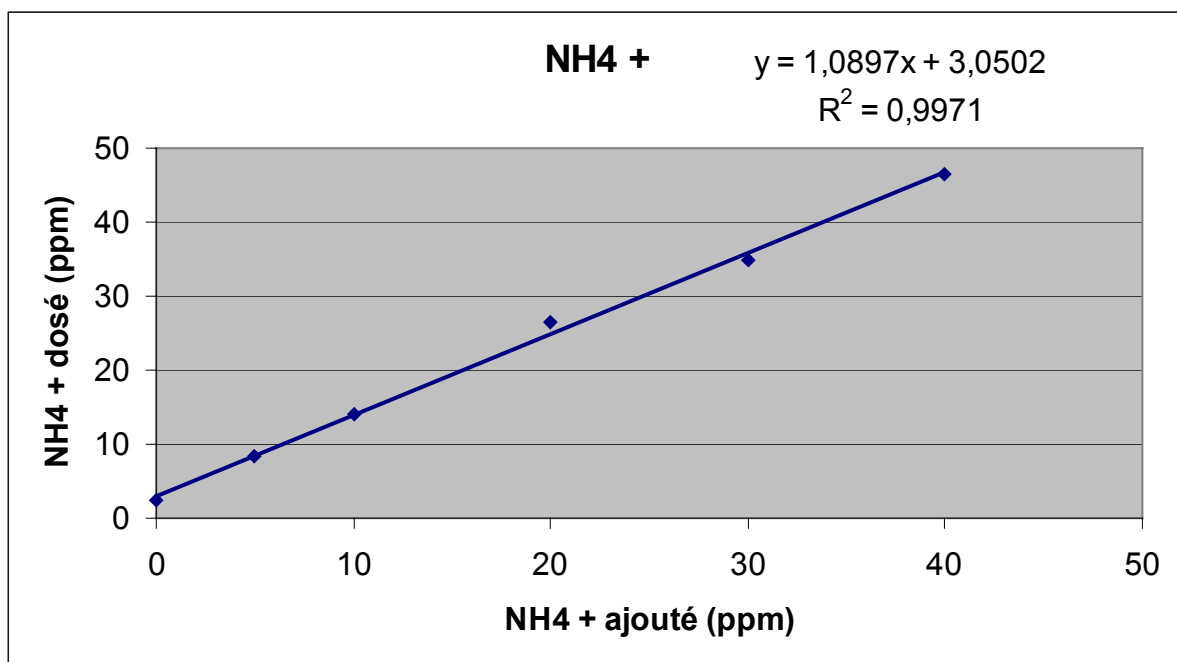
Le bloc 90 vise à valider les conclusions du bloc 30 et à vérifier la linéarité de l'immobilisation pour des plus petites doses d'azote et de BRF.

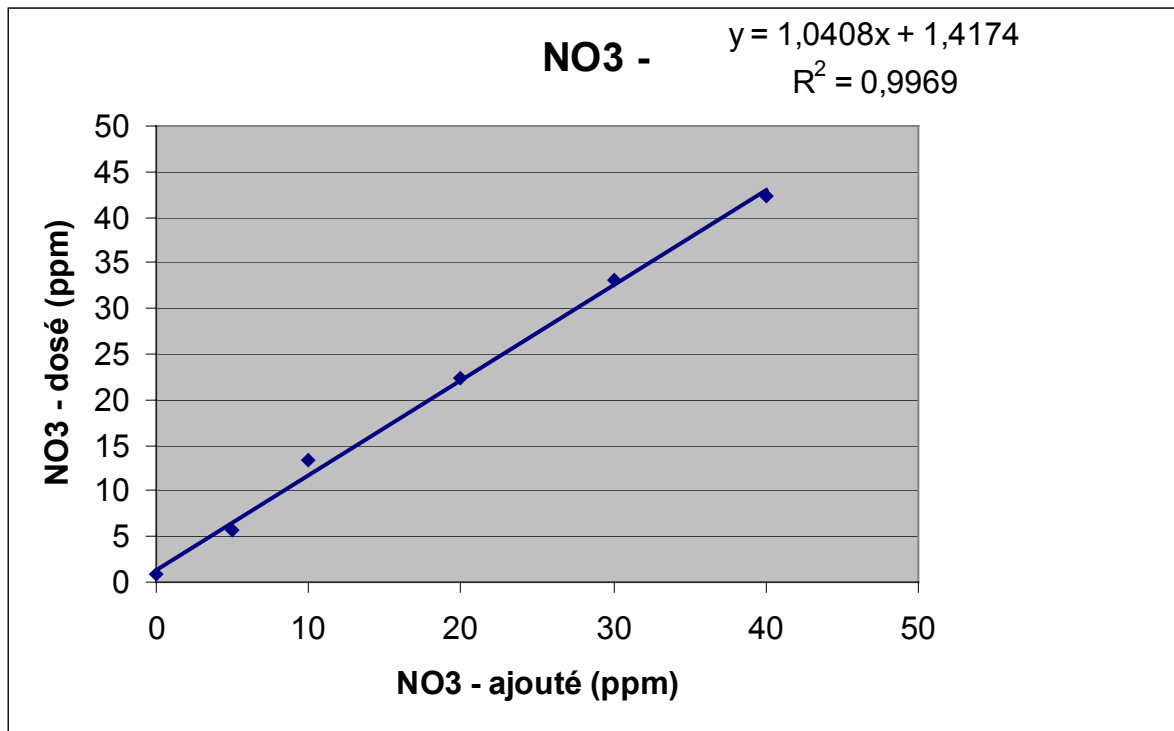
Critique du dispositif et de la méthode

Une étude de la méthodologie a été menée lors de la mise en œuvre du dispositif 30, les conclusions restent valables pour le dispositif 90.

Evaluation de la méthode de dosage par ajouts dosés

Des doses croissantes de KNO_3 et de NH_4Cl ont été ajoutés à des échantillons de sols qui ont subi ensuite l'extraction au KCl et le dosage par la méthode d'entraînement à la vapeur.





Les excellents coefficients de déterminations (99,7%) démontrent la fiabilité de la méthode de dosage et d'extraction dans la zone comprise entre 0 et 50 ppm. Or, c'est dans cet intervalle que les mesures ont été réalisées :

Bloc 30	max NH4+ dosé (ppm)	max NO3- dosé (ppm)
0-30	5,6	33,4
30-60	11,2	19,8
60-90	5,9	21,0

Un léger biais existe toutefois (4% pour NO3- et 9% pour NH4+), il amène à une surestimation systématique des valeurs dosées par rapport aux quantités ajoutées.

bloc 30	moy NH4+ dosé (kg/ha)	moy NO3- dosé (kg/ha)
0-30	5,4	17,7
30-60	5,1	17,5
60-90	4,6	12,2

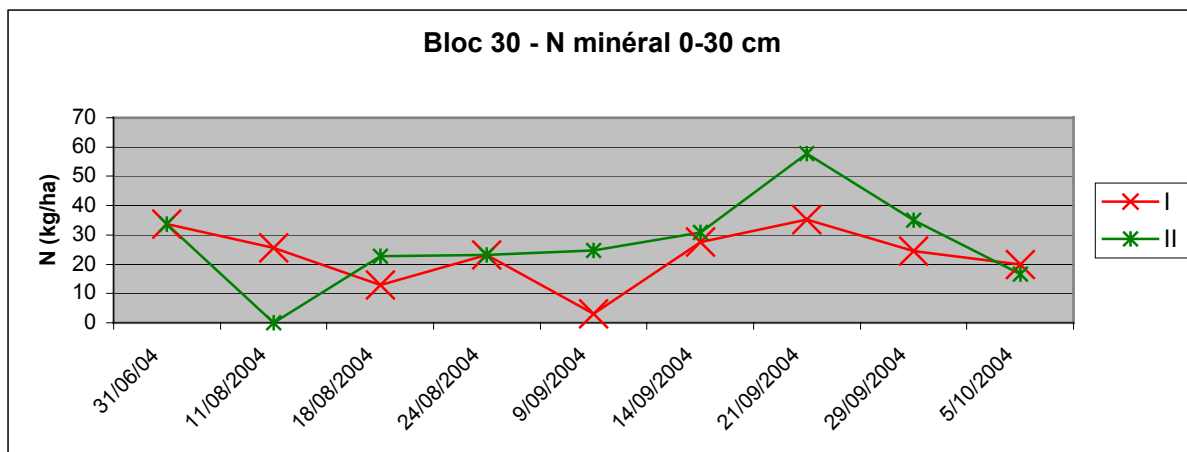
Nous avons choisi de négliger ce biais. En effet, il s'agit d'une erreur systématique, qui porte sur des valeurs dosées assez faibles (comparativement aux autres grandeurs rentrant dans l'équation), en outre, le biais est plus important (9%) sur les valeurs les plus faibles (NH4+).

Dans ces conditions, il nous semble préférable d'exploiter telles quelles les valeurs issues d'une méthode de référence.

Etat initial :

L'azote minéral (NH4+ et NO2-, NO3-) a été mesuré régulièrement sur le dispositif 30, sur les blocs ayant reçu du BRF mais pas d'azote, au cours des premières semaines.

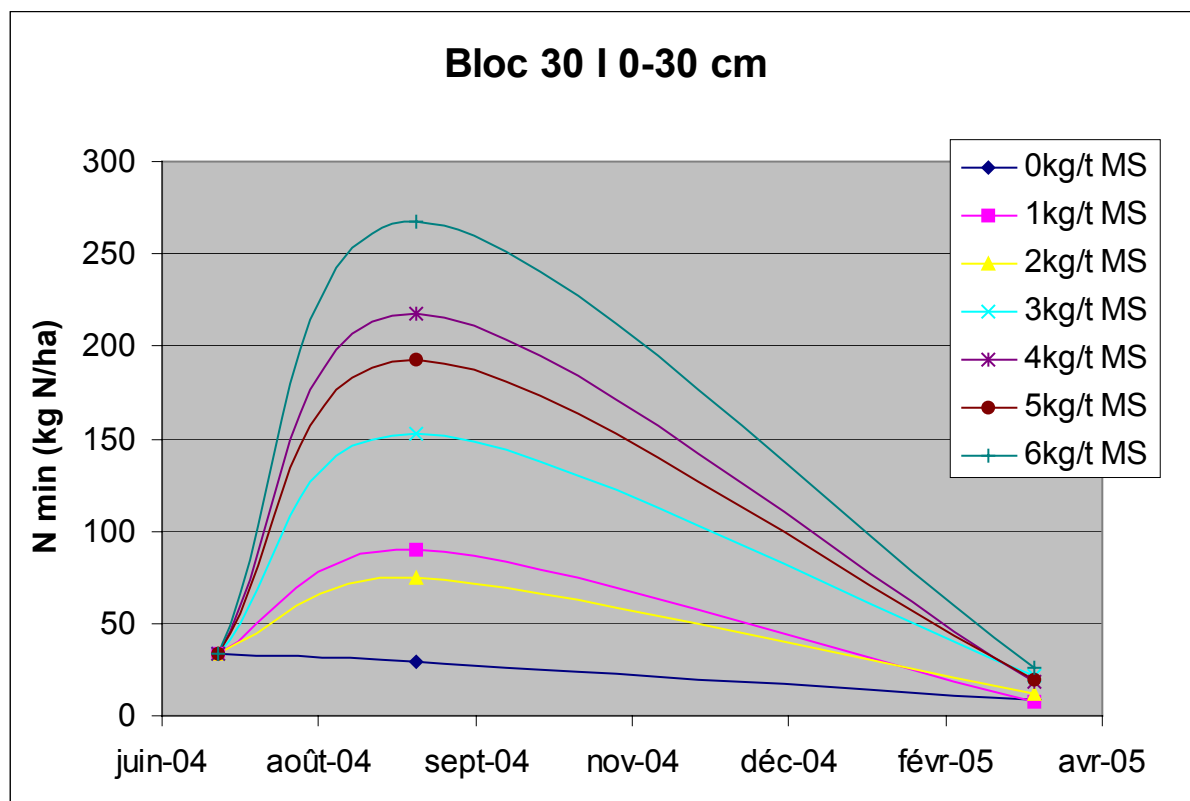
Ceci afin de valider la représentativité de l'état initial mesuré initialement (33,6 kg N/ha pour la tranche de 0 à 30 cm). On sait, en effet, que l'azote minéral peut varier d'un jour à l'autre, en fonction des conditions météo et de leur influence sur l'activité biologique des sols.

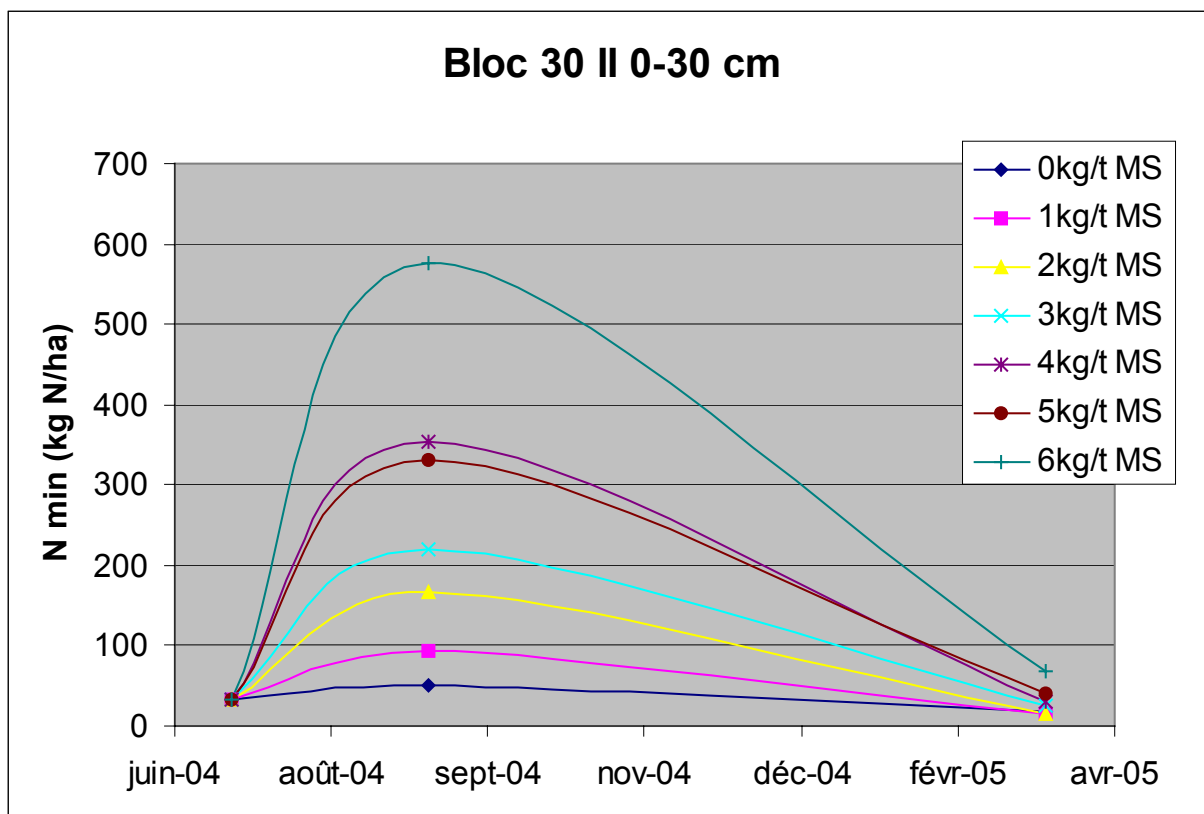


Malgré certaines variations, les valeurs mesurées restent faibles, la valeur mesurée initialement est comprise dans l'intervalle de confiance autour de la moyenne des mesures sur le bloc II et proche de celui-ci sur le bloc I. En outre, les valeurs mesurées sur les deux blocs sont proches l'une de l'autre, ce malgré un apport double de BRF sur le bloc II (azote présent dans le BRF apporté : bloc I = 360 kg N/ha ; bloc II : 742 kg N/ha). Ceci illustre le fait que le BRF ne libère pas directement de l'azote minéral dans le sol.

Bloc	Moyenne	e	IC95%
I	22,8	10,0	6,5
II	27,2	15,6	10,2

Effet des apports d'engrais





Le 1^{er} septembre 2004, soit une semaine après l'apport d'engrais (24 août), nous avons réalisé un dosage sur la tranche 0-30 cm du sol des blocs. A cette date, on retrouve 84%±13% des apports initiaux (engrais + N min sol initial). Le décalage existant peut provenir d'une dissolution partielle et d'une répartition inégale de l'engrais, de l'activité immobilisatrice de la vie du sol, de l'imprécision du dosage et de la dénitrification.

Remarquons que les valeurs d'azote mesurées dans le sol sont de l'ordre de grandeur des apports.

Au cours de la période, l'azote minéral, initialement bas, de la tranche de sol comprise entre 0 et 30 cm, s'élève fortement suite à l'apport d'engrais (maximum = 575 kg N/ha). Au terme de la période, quelques mois plus tard, l'azote de cette tranche revient à des valeurs basses : maximum = 68 kg N/ha.

L'objectif de cette étude est de déterminer dans quels compartiments se trouveront les quantités d'azote apparemment disparues de la tranche 0 à 30 cm.

L'incorporation du BRF a eu lieu le 06/08/04, les derniers dosages ont eu lieu mi mars 2005, soit un peu plus de 7 mois plus tard. Dans nos conditions pédo-climatiques, les nitrates descendent en moyenne de un mètre par an. Au terme de la période, on peut donc estimer que l'azote apporté doit se retrouver dans un des compartiments suivants :

- azote minéral de la tranche de sol comprise entre 0 et 90 cm
- prélèvement de la culture
- azote immobilisé dans l'humus suite à l'apport de BRF et à l'action de la vie du sol.

On négligera les apports atmosphériques, la fixation non symbiotique et la dénitrification. En effet, la résultante des pertes et des apports naturels sur une période aussi courte est de l'ordre de grandeur de l'imprécision sur les mesures.

Ceci est la base de notre calcul de bilan.

Résultats : rendements, comportement de la culture et gestion de l'azote

Observations sur le bloc 30

- Au cours de la période, l'orge a poussé au prorata des doses d'azote ajoutées.



Bloc 30 – 21/09/04 :

On voit clairement les blocs +0kg N et on devine les blocs +1kg/N

- Les différences étaient très marquées sur les premières doses.
- Les blocs sans azote ont montré un développement presque nul, pas ou peu de tallage et des jaunissements au début.
- Au delà de 3 kg/T de MS BRF, les différences entre les blocs n'étaient pratiquement plus perceptibles.
- Le bloc 2 ayant reçu double dose de BRF (et donc aussi d'azote !) a montré des écarts plus marqués que le bloc 1.

Observations et mesures sur le bloc 90

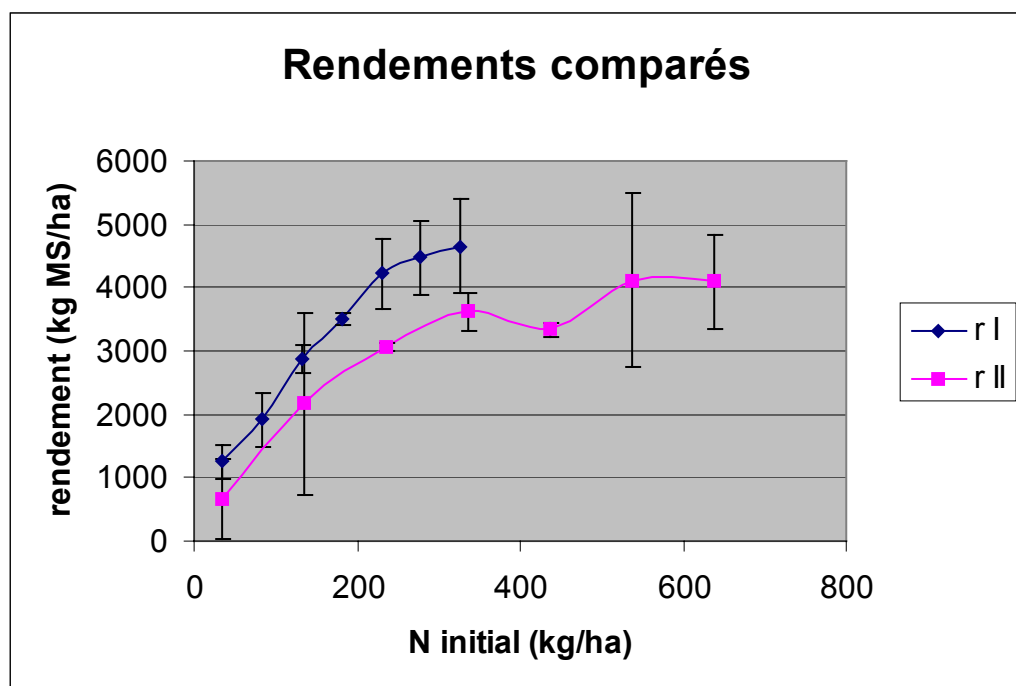
Sur le bloc 90, les différences de croissance végétale étaient faibles, elles n'ont pas justifié une analyse par sous-bloc. Vu les quantités de BRF apportées, l'immobilisation, relativement faible, ne semble pas avoir gêné la culture.

En conséquence, nous avons pris trois échantillons aléatoires constitués par les plantes extraites de carrés de 1 m². Ces échantillons ont été séchés, pesés et analysés afin de déterminer le prélèvement de la culture.

Mat. Azotées (g/kg MS)	Prélèvements N (g/kg MS)	r MS/ha (kg)	Prélèvement (kg/ha)
71	11,36	3.329	38
72	11,52	3.318	38
86	13,76	3.464	48
m		3.370	41
e		81	6
IC95%		92	6

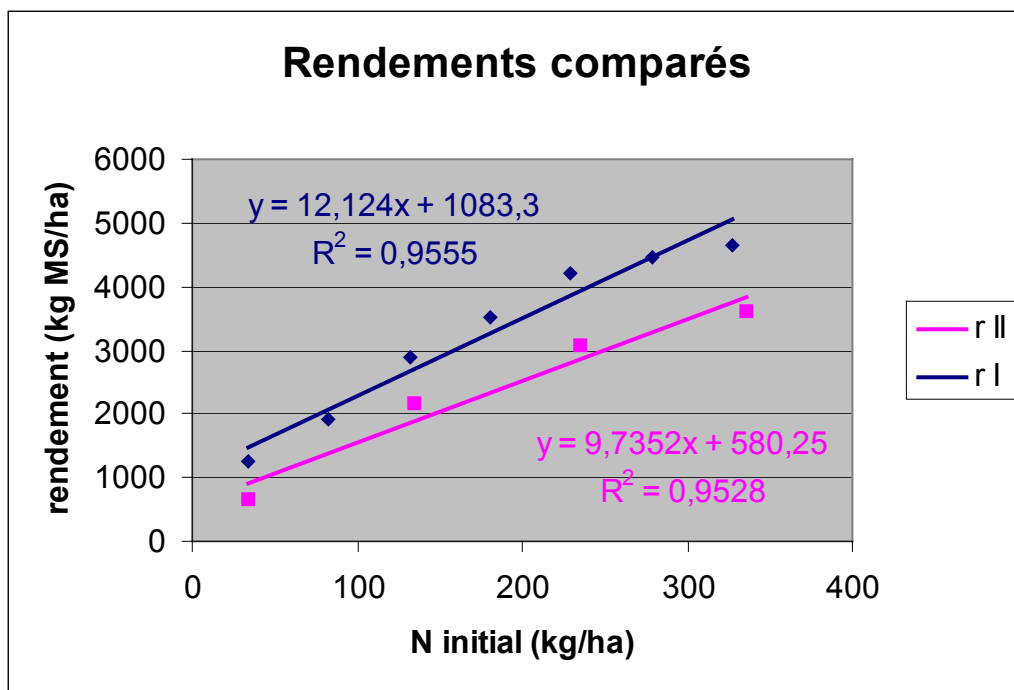
On remarque que les intervalles de confiance sont assez réduits, tant sur l'azote prélevé que sur le rendement en matière sèche. Ceci appuie l'hypothèse de l'homogénéité de la culture sur ce bloc.

Analyse des rendements sur le bloc 30



Dans la première partie du graphique on voit que les rendements sont croissants et dépendent de la quantité d'engrais apporté. Un palier est progressivement atteint vers 300 kg N/ha.

Les 4 premières données du bloc II et toutes les données du bloc I admettent une approximation linéaire.



Les excellents coefficients de déterminations ($R^2 = 96\%$) confirment que l'azote minéral apporté sous forme d'engrais NO_3NH_4 additionné à l'azote initialement présent dans le sol, explique bien les rendements en orge.

En outre, tant la pente que l'ordonnée de ces corrélations sont plus faibles sur le bloc II (464 m^3/ha de BRF) comparativement au bloc I (225 m^3/ha de BRF).

La culture profite donc moins bien de l'azote de l'engrais lorsque la quantité de BRF apporté est plus importante.

Ce résultat montre que l'azote présent dans le BRF ne correspond pas à la définition d'azote organique selon le PGDA : « l'azote organique (Norg.) : azote sous forme de fertilisant organique ». En effet, il est démontré ici que l'azote présent dans le BRF n'intervient pas positivement dans la fertilisation de la culture.



Bloc 30, le 7/10/04

À l'avant gauche : carré traité au BRF sans ajout d'azote, à côté plusieurs doses d'N différentes

L'épandage d'une quantité de BRF ne contrevient donc pas au PGDA.

D'autre part, cette expérience confirme que la disponibilité de l'azote, moindre suite à l'immobilisation déclenchée par le BRF, est le facteur majeur pouvant expliquer une réduction de rendement directement après un épandage de BRF sans complément azoté, sur certaines cultures.

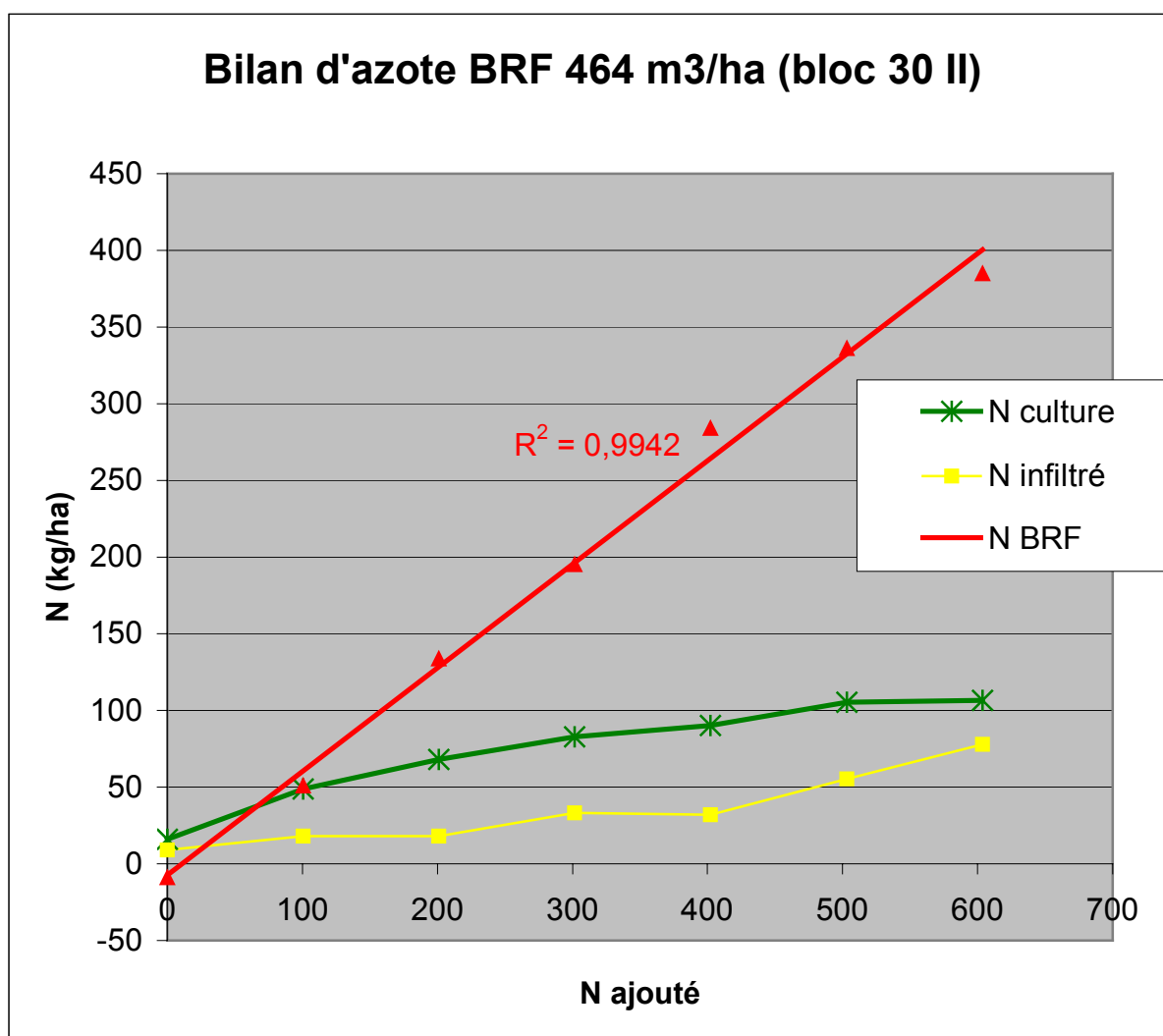
Bilan d'azote

Nous avons établi un bilan et une représentation sur base des équations suivantes :

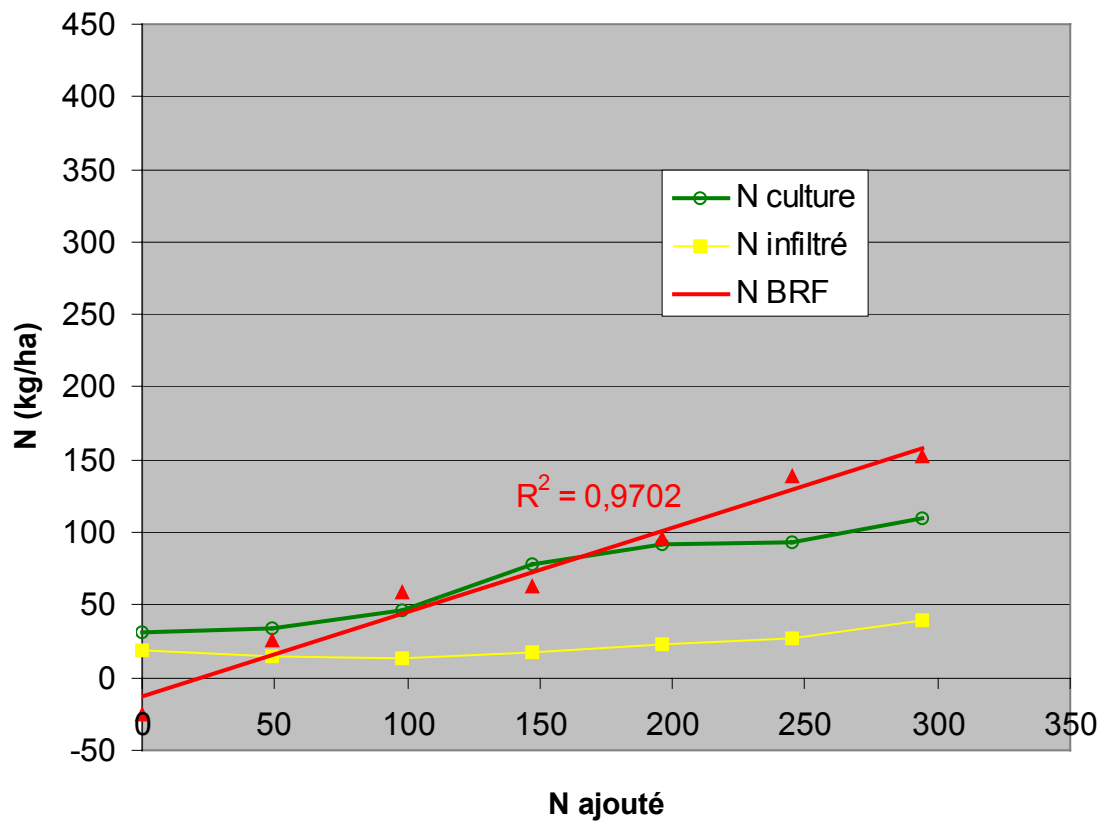
$N_{\text{infiltré}} = N_{\text{minéral du sol de 30-60 cm}} + N_{\text{minéral du sol de 60-90 cm}}$

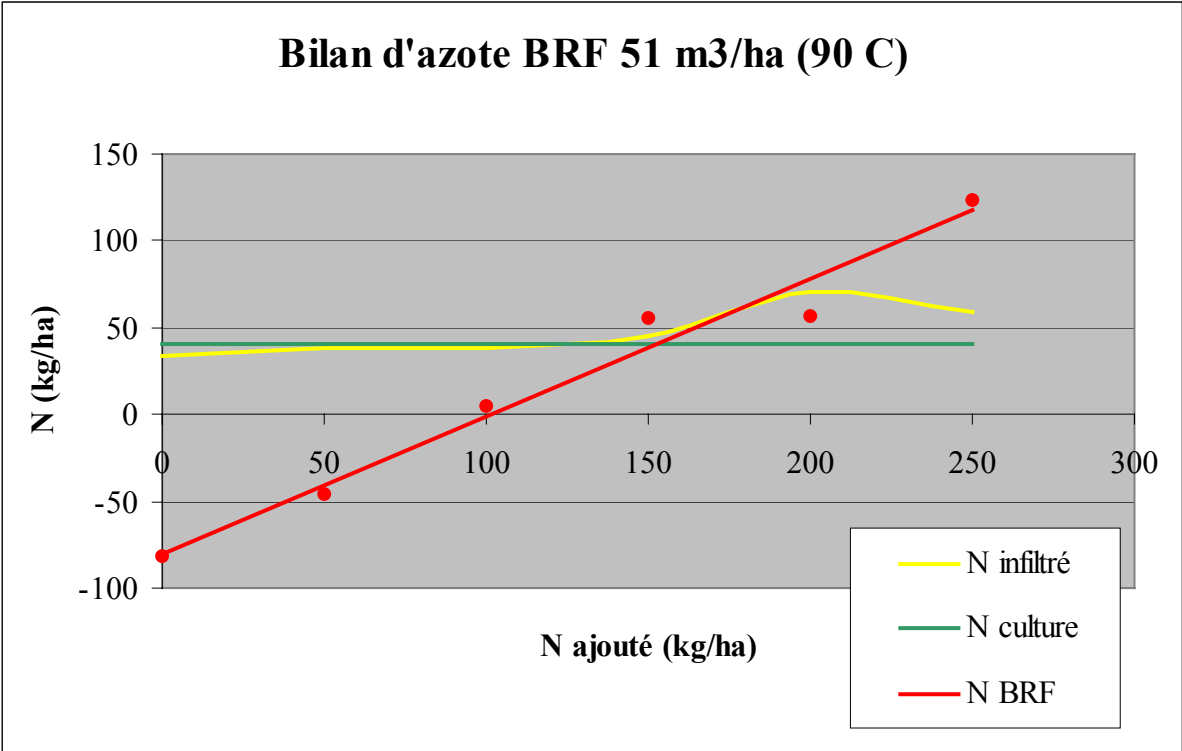
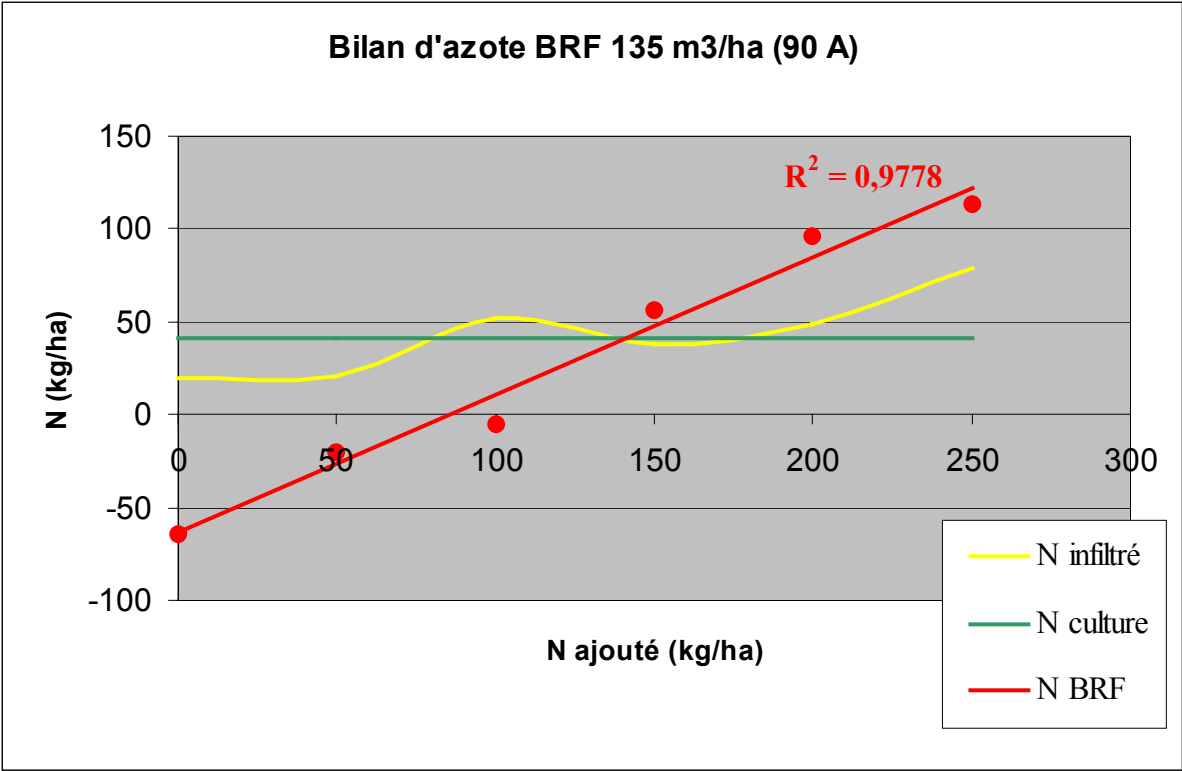
$N_{\text{immobilisé par le BRF}} = N_{\text{initial 0-30}} + N_{\text{engrais}} - N_{\text{final 0-90}} - N_{\text{prélevé par la culture}}$

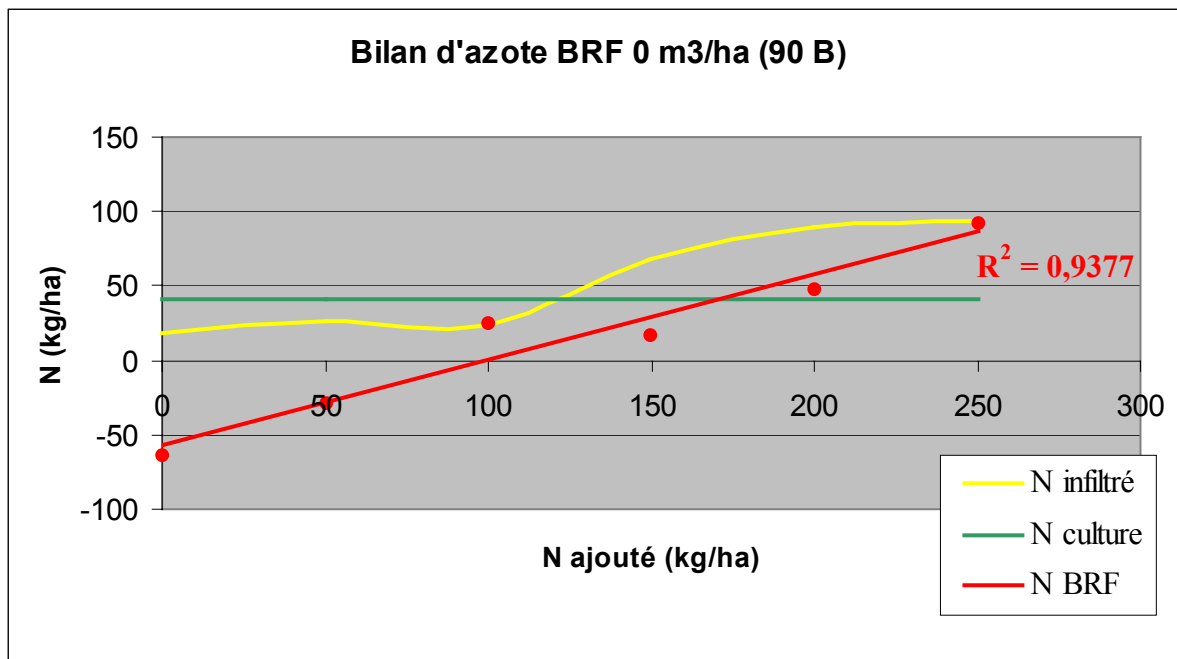
Nous considérons que, au cours de la période, $N_{\text{initial 30-60}}$ et $N_{\text{initial 60-90}}$, soit $24 + 24 = 48$ kg N/ha (bloc 30) et $4 + 1 = 5$ kg N/ha (bloc 90), s'est infiltré plus profondément.



Bilan d'azote BRF 225m3/ha (bloc 30 I)







Discussion

Notons d'abord que les coefficients de détermination (R^2) semblent croître avec la dose de BRF, ce qui n'est pas surprenant, en effet, plus la dose est forte, plus l'effet mesuré l'est aussi par rapport aux imprécisions. Il sera logique d'accorder plus de confiance aux résultats obtenus pour de fortes doses de BRF.

Une dose de BRF semble fixer une proportion constante de l'azote disponible.

On remarque que la régression linéaire qui caractérise l'azote immobilisé par le BRF passe par des valeurs négatives pour les faibles valeurs d'engrais ajoutés. Ce phénomène se marque surtout sur le bloc 90 et pour les faibles quantités de BRF.

Une immobilisation calculée négative signifie que l'on retrouve dans les compartiments plus d'azote que prévu. Sur le bloc 90, la prise en considération d'un prélèvement moyen de la culture pour tout le bloc explique partiellement ce résultat. D'autre part, pour les faibles doses d'engrais, les imprécisions sur la mesure de N initial 0-30 sont grande par rapport à N initial. Ce phénomène s'estompe pour les fortes valeurs d'engrais, la précision sur N engrais étant au gramme près. En outre, pour les faibles doses d'engrais, la culture a peut-être favorisé la minéralisation de l'humus (interactions rhizosphériques).

Ceci explique que nous accordions plus de confiance, non seulement aux résultats obtenus pour de fortes doses de BRF mais également pour les plus fortes doses d'engrais.

On observe sur le bloc 30, que l'azote prélevé par la culture intercalaire semée le 18 août 2004 arrive à un palier maximum vers 100 kg N/ha. Les cultures pièges à nitrates peuvent fixer à concurrence d'un maximum, une culture étant limitée génétiquement et par la luminosité disponible.

Par contre, le BRF immobilise une proportion remarquablement constante de l'azote disponible, cette proportion ne diminue pas dans les limites de l'expérience (600 kg/ha). En effet, les doses de BRF appliquée représentent un apport important de carbone. Du point de vue de la flore du sol, le carbone n'est plus un facteur limitatif, le mycélium des champignons prolifère en proportion de la quantité de BRF. Les champignons forment donc un véritable

filet capable d'absorber une proportion de l'azote disponible. Cette proportion équivaut à la pente de la droite de régression linéaire, elle change avec la quantité de BRF épandu. L'azote infiltré a été évalué par l'azote présent entre 30 et 90 cm dans le profil, ces quantités sont restées faibles comparativement à l'azote apporté au départ, elles tournent autour de 10% de cette valeur initiale.

Immobilisation par rapport à l'azote minéral initial

Afin d'exploiter ces données, nous avons exprimé l'immobilisation en fonction, non plus de l'engrais, mais de l'azote initial comprenant également l'azote présent dans les 30 premiers centimètres du sol de départ.

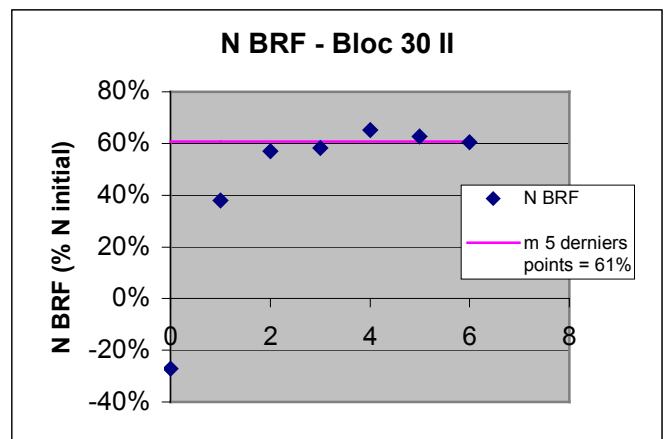
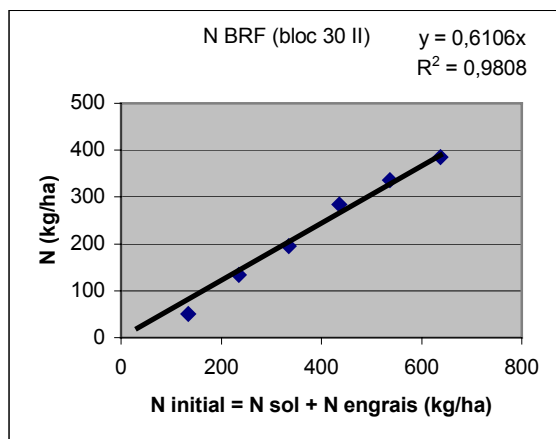
A zéro kg N/ha, il ne peut pas y avoir d'immobilisation, c'est pourquoi on a forcé le passage de la droite de régression par zéro.

En parallèle, on a exprimé l'azote immobilisé en fonction de l'azote initial, ce qui donne :

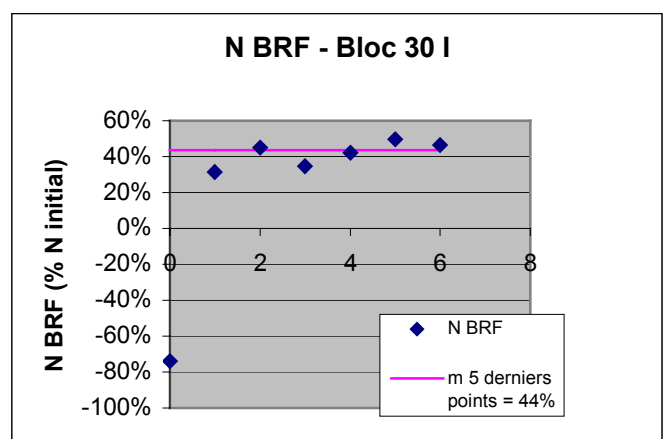
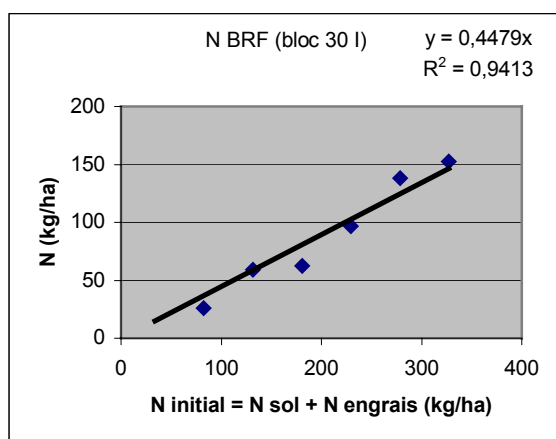
$$N \text{ immobilisé (\%)} = (N \text{ initial } 0-30 + N \text{ engrais} - N \text{ culture} - N \text{ final } 0-90) / (N \text{ initial } 0-30 + N \text{ engrais})$$

Comme on le voit, si N engrais = 0, alors la valeur au dénominateur est faible et les imprécisions sur cette valeur sont forte par rapport à la valeur, ce qui signifie une forte imprécision sur N immobilisé. D'autre part, les imprécisions sur N initial 0-30 sont grandes par rapport à N culture et N final et la non-prise en compte de la minéralisation de l'humus peut être la cause d'une valeur négative de N immobilisé (%). Par contre, pour les fortes valeurs de N engrais, la minéralisation et les imprécisions sur N initial 0-30 sont négligeables par rapport à N initial 0-30 + N engrais.

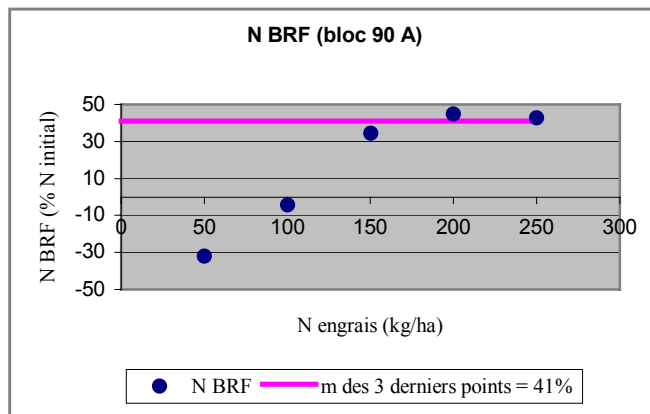
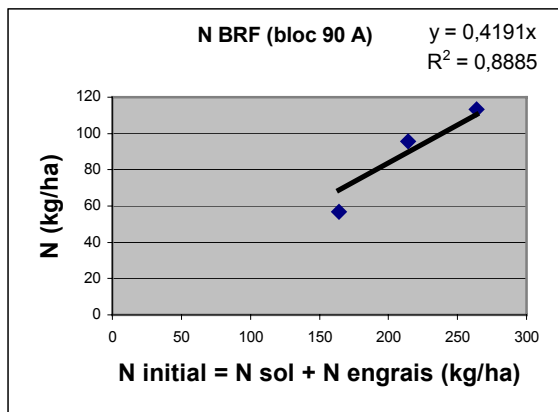
C'est pourquoi nous avons négligé les valeurs négatives proches de N initial = 0.



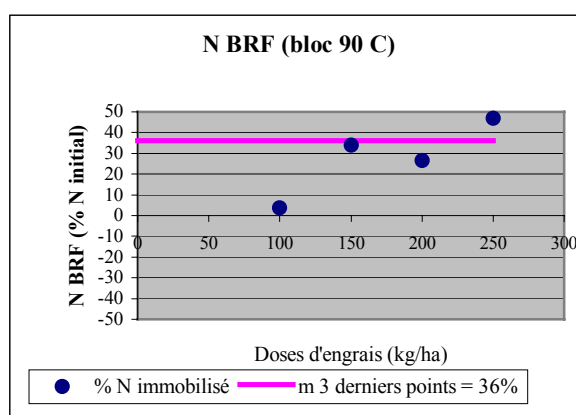
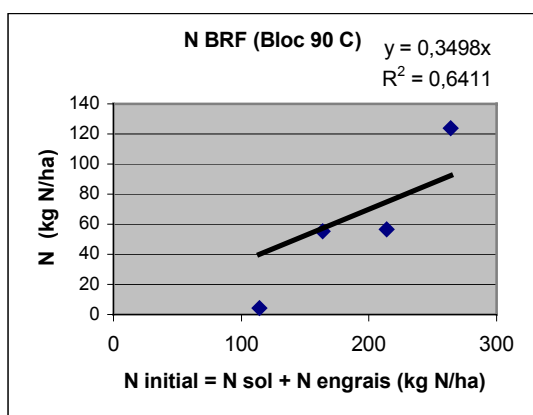
point N initial = 0 négligé



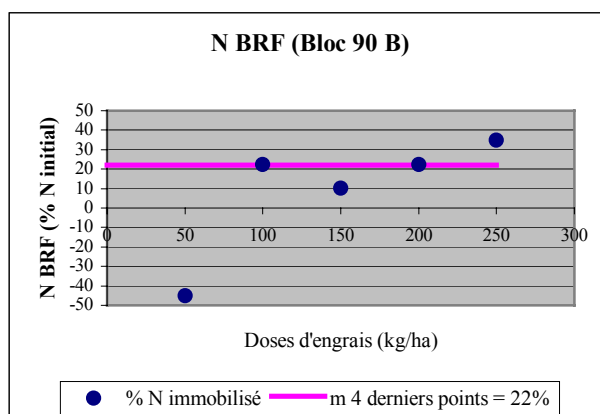
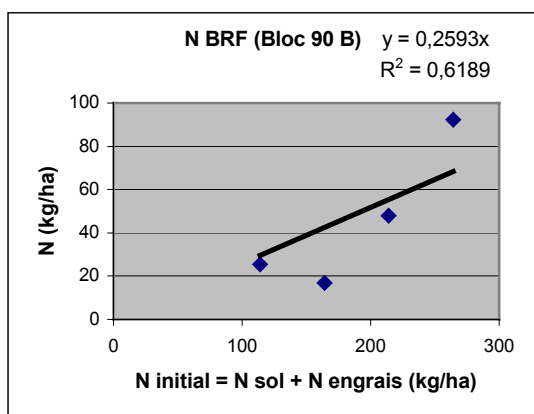
point N initial = 0 négligé



3 premiers résultats négligés



2 premiers résultats négligés

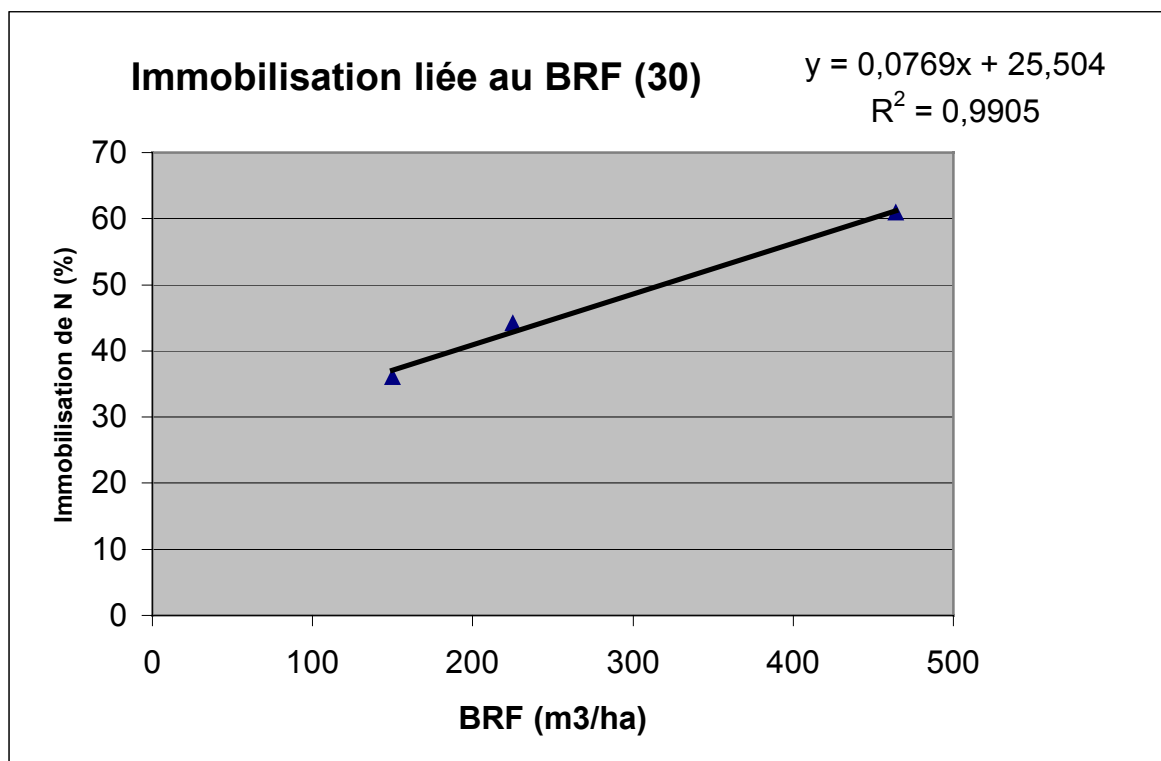


2 premiers résultats négligés

Prévision de l'immobilisation pour une quantité donnée de BRF

Nous avons comparé les résultats du bloc 30 avec ceux d'une expérience canadienne (Beauchemin, S. et N'Dayegamiye, A. et Laverdière, M., *Effet d'amendements ligneux sur la disponibilité d'azote dans un sol sableux cultivé en pomme de terre*, pp. 89-95, In Canadian Journal of Soil Science, n°72, 1992 (a).), ceci afin de les confirmer :

	BRF épandu	% immobilisation
Expérience canadienne	150	36%
bloc 30 I	225	44%
bloc 30 II	464	61%



Ceci a permis d'établir une loi qui rend compte de ces mesures ($R^2=99\%$) :
Proportion de N immobilisé par le BRF = 25,5% + 7.7%/100m³ épandus.

Toutefois, il demeurerait une incertitude quant au comportement de l'immobilisation pour de faibles doses de BRF, en outre l'immobilisation non nul pour BRF = 0 pose question.

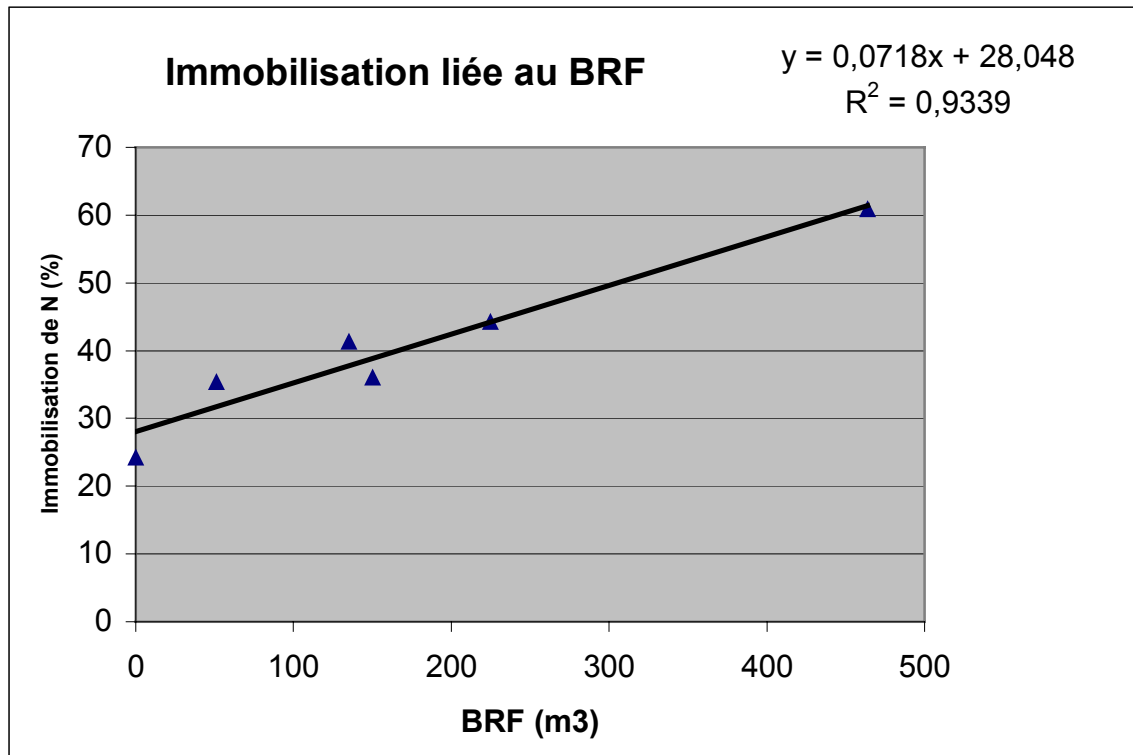
C'est pourquoi nous avons mis en œuvre le bloc 90. Faisons le récapitulatif des résultats obtenus :

Dose de BRF (m ³ /ha)	Moyenne des derniers points	Pente de la droite	N immobilisé (%)	R2
0	22,48%	25,93%	24,20%	61,89%
51	35,71%	34,98%	35,34%	64,11%
135	40,73%	41,91%	41,32%	88,85%
150			36%	
225	43,56%	44,79%	44,17%	94,13%
464	60,66%	61,06%	60,86%	98,08%

Les résultats issus des deux modes de calcul proposés sont mentionnés sous les labels : moyenne des derniers points et pente de la droite (de régression linéaire). Ces modes de calculs divergent peu (0.4 à 1.23 %) à l'exception du résultat pour BRF = 0 qui diverge de 3,45%.

Nous avons pris la moyenne des deux valeurs afin de caractériser N immobilisé.

On remarque que les coefficients de détermination (R^2) sont croissants avec les quantités de BRF, ce point a été discuté précédemment et justifie une plus grande confiance dans les résultats obtenus sur le bloc 30.



L'exploitation de tous les résultats donne une régression linéaire (équation exprimée en %/ unité de 100 m³ de BRF) proche de celle établie sur base des résultats du bloc 30. Le coefficient de détermination est moins bon que celui de la droite établie précédemment, il demeure toutefois très acceptable.

Il est important de remarquer qu'aucune tendance non linéaire n'est apparue pour les petites quantités de BRF et que le résultat obtenu sur le bloc sans BRF donne une valeur très proche (entre 24.2 et 25.5% selon le mode de calcul) de celle établie par la régression utilisant les valeurs du bloc 30 et la valeur canadienne uniquement. Le niveau de base de l'immobilisation est probablement la conséquence de la présence dans les sols de culture d'une certaine quantité de matières organiques carbonées en décomposition.

On peut se demander s'il vaut mieux utiliser la loi établie sur le bloc 30 ($R^2 = 99\%$) ou bien celle établie avec tous les résultats (plus de points mais $R^2 = 93\%$).

Quoiqu'il en soit, la différence reste faible et se réduit pour les quantités importantes de BRF :

BRF (m3/ha)	Immobilisation 30 (%)	Immobilisation 30 et 90 (%)
0	25,5	28,0
100	33,2	35,2
200	40,9	42,4
300	48,6	49,6
400	56,3	56,8

Conclusions

L'application directe de la loi établie ici, permet de prévoir (minimiser) les quantités d'azote lessivables après un épandage de BRF et d'une source d'azote, par exemple du lisier.

En permettant de calculer simplement l'apport azoté nécessaire afin de compenser la faim d'azote, elle résout le principal problème technique lié à l'utilisation directe du BRF en agriculture.

A partir du moment où l'on peut prévoir l'effet du BRF sur l'azote minéral, celui-ci devient un outil au service de l'agriculture et de l'environnement, permettant, dans certaines situations, de réduire les APL.

A ce titre, le BRF concoure aux objectifs du PGDA.

Dans le cadre de la prochaine modification du PGDA, il pourrait être inclus dans une nouvelle catégorie de matières organiques « humifiantes ».

Son application pourrait être suivie et donner lieu à certaines dérogations dans le cadre de la démarche qualité prévisionnelle.

Les résultats du bloc 10 montrent, en effet, qu'un m3 de BRF permet de produire 75 kg d'humus. Or, l'humus contient entre 40 et 50 kg d'azote/tonne (g/kg). Un m3 de BRF permet donc le stockage de 3 kg d'azote dans l'humus, or il contient au départ 1.8 kg d'azote en moyenne. Ceci implique qu'il y a une immobilisation de 1.2 kg d'azote en provenance d'autres sources par m3 de BRF épandu.

Dispositif 20

Présentation

Pour rappel, le bloc 20 reçoit actuellement une culture de froment après une culture de betteraves en 2005, sur un peu plus de 2 ha. Il a été divisé en 2X3 bandes, une bande sur deux ayant reçu une dose de BRF de 198 m³/ha. L'ensemble du dispositif a reçu 30 tonnes de fumier bovin en août, nous avons ensuite implanté plusieurs intercultures.

Du point de vue phytotechnique, le dispositif 10 a été un banc d'essai. En essayant les plâtres de la technique, on a pu dégager des solutions qui ont été appliquées avec succès sur le dispositif 20.

Les problèmes de tassements ont été résolus par : l'épandage perpendiculaire au sens de travail habituel, à une période au cours de laquelle le sol est portant et l'incorporation combinée au décompactage en un seul passage, au moyen d'un outil du genre « cultisocle ». Contrairement au bloc 10, le bloc 20 n'a pas été marqué par des traces d'épandage.



Bloc 4 le 25/05/04



Bloc 20, 07/12/04 :
pas de traces d'épandage visibles.

D'autre part, le recours à des CIPAN et la correction de l'azote ont permis de limiter les APL tout en évitant les pertes de rendements qui ont résulté de la faim d'azote sur certains blocs du dispositif 10.

Azote minéral dans les 30 premiers centimètres du sol

Des prélèvements de terre ont été réalisés, dans les 30 premiers centimètres du sol, afin de mesurer l'évolution de l'azote minéral sur une partie du dispositif (interculture = avoine), principalement durant les deux premiers mois après incorporation.

Ces premières données d'azote minéral, en 2004, ne montrent que peu de différences entre les traitements, il semble que l'interculture ait joué son rôle et masqué l'effet BRF.

Durant cette première période, l'azote immobilisé par le BRF s'est donc surtout marqué par un développement moindre de l'interculture. Là, où le BRF a fixé de l'azote, l'interculture s'est moins développée, là où il n'y avait pas de BRF l'interculture s'est plus développée et a joué son rôle de piège à nitrates.

Sur l'ensemble du dispositif, on observe que :

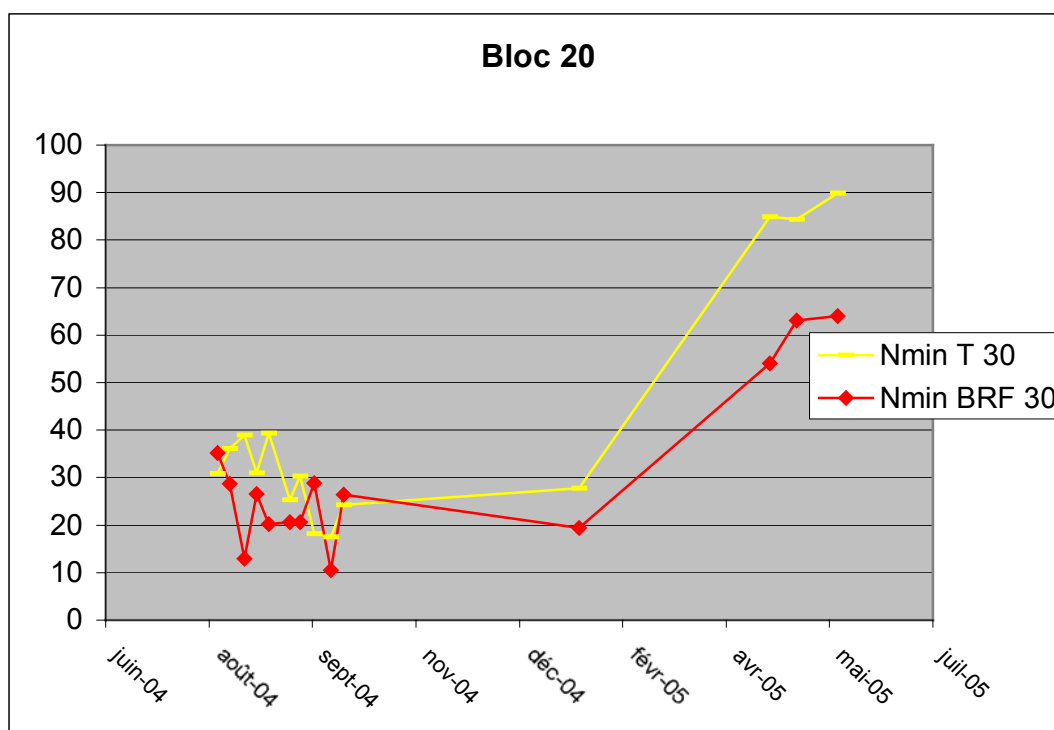
- L'avoine s'est développée de façon plus régulière.
- La moutarde combinée à la vesse, semée assez tôt a montré un fort développement et a marqué des bandes dans le sens de travail habituel mais pas de bandes (sauf une première bande située dans l'ancienne fourrière) dans le sens de l'épandage (perpendiculaire).
- La phacélie, semée tardivement, a moins bien poussé et s'est peu développée là où on a mis du BRF.

Ensuite, afin de valider la loi d'immobilisation établie sur le bloc 30, nous avons réalisé plusieurs mesures d'azote au printemps 2005.

Le 21/04/05, nous avons apporté 450 kg/ha d'engrais à 15% d'azote sur l'ensemble du dispositif.

Lors du dernier prélèvement, le 01/06/05, les betteraves étaient au stade 4 feuilles, on peut estimer que la culture commençait à prélever de l'azote.

Nous avons constaté la réduction des quantités d'azote disponibles sur les blocs traités au BRF.



Parmi les phénomènes qui interviennent sur l'azote disponible, on compte l'apport d'engrais, la minéralisation du fumier, l'immobilisation de l'azote par le sol, l'immobilisation de l'azote par le BRF et les pertes (dénitrification, lessivage).

Si on considère comme point initial la situation stabilisée avant l'hiver, le 05/10/04, l'azote initial peut être évalué à 25 kg N/ha.

Nous choisissons comme deuxième point de référence, le moment où la culture commence à prélever: 01/06/05, on observe les écarts suivants:

	5/10/2004	1/06/2005
Nmin T 30	24	90
Nmin BRF 30	26	64

L'azote libéré dans le sol moins les différentes immobilisations et pertes correspond donc à la différence entre les valeurs au 01/06/05 et l'état initial (25kg N/ha). Soit respectivement 65 (témoin) et 39 (BRF) kg N/ha.

Toutes choses étant égales à l'exception de l'apport de BRF, la valeur témoin correspond à l'azote libéré durant la période moins les pertes et l'immobilisation du sol. L'immobilisation par le BRF peut être évalué par la différence des valeurs.

Immobilisation par le BRF = $(\Delta N (T) - \Delta N (BRF)) / \Delta N (T) = (65-39)/65 = 40,2\%$

Valeur prévue par la loi établie sur le bloc 30 = **40,7 %**

Valeur prévue par la loi utilisant les résultats des blocs 30 et 90 confondus = **42.3 %**

Ceci semble donc confirmer la loi établie sur le bloc 30.

Conséquence d'un apport complémentaire d'engrais sur les rendements et les nitrates

Calcul d'un apport complémentaire :

Le 02/06/05, un retard de croissance est constaté sur les parcelles traitées au BRF. Nous avons attribué ce retard à une fertilisation azotée insuffisante.

Afin de le récupérer, nous avons calculé un apport complémentaire selon la loi établie sur le bloc 30.

	N (kg/ha)
NO3- 0-90 le 05/08/04	34
40% de 30.9T de fumier épandu le 05/08/04	78
NPK 3X15 apporté le 21/04/05	74
NO3NH4 complémentaire à apporter le 02/06/05	153
Apport total disponible	338
Immobilisé par le BRF	138
Reste pour la culture	200

Nous avons considéré les différents apports et les nitrates présents initialement. L'apport du fumier a été évalué à une minéralisation annuel de 40% de l'apport total. Selon la loi établie sur le bloc 30, le BRF épandu occasionne une immobilisation de 41% de l'azote minéral disponible.

On a calculé l'apport complémentaire à réaliser afin que la culture puisse disposer de 200 UN/ha.

Décision a été prise d'apporter 153 UN de

NO3NH4, vu la précision de l'épandeur, on a apporté effectivement 159 UN/ha. D'après nos calculs, il devrait donc rester 204 UN/ha disponibles pour la culture.

Rendements

Au cours de la période, les betteraves ont bien récupéré leur retard par rapport au témoin, sur les blocs traités au BRF.

	r MF (kg/ha)	MS (%)	r MS (kg/ha)	N (kg/T MS)	Prélèvements (kg N/ha)
BRF	62.097	22%	13.920	7,8	109,2
T	63.261	23%	14.399	5,9	84,3
BRF/T (%)	98%	98%	97%	134%	130%
Student 95%	NS	NS	NS	S	S

A l'arrachage, les rendements des parcelles témoins ne sont pas significativement différents, selon le test de Student, des parcelles traitées au BRF. Par contre, les prélèvements azotés sont

de 30% supérieurs et significativement différents sur les parcelles traitées au BRF. Sachant qu'il s'agit d'un rattrapage, ces résultats sont encourageants.

Nitrates

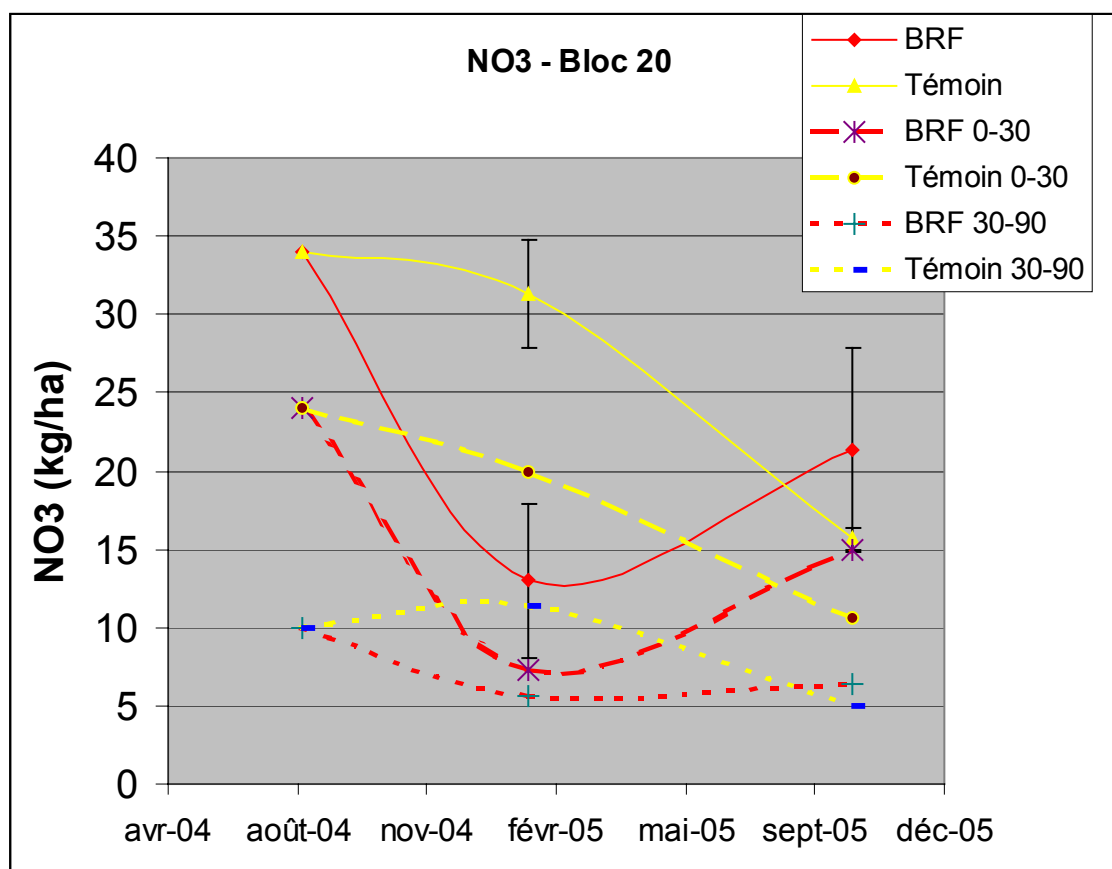
Fin janvier 2005, les quantités de Nitrates dans la tranche 0-90 cm du sol (BRF et Témoin), des parcelles sont faibles, elles sont toutefois plus importantes sur le témoin (31 UN/ha) et significativement différentes sur les blocs traités au BRF (13 UN/ha).

A la récolte, les APL se situent aux alentours de 20 kg de N/ha et ne diffèrent plus significativement entre le traitement et le témoin.

	5/08/2005	27/01/2005	4/10/2005
BRF	34	13	21
IC 95%		4,9	6,5
Témoin	34	31	16
IC 95%		3,5	0,7
BRF 0-30	24	7	15
Témoin 0-30	24	20	11
BRF 30-90	10	6	6
Témoin 30-90	10	11	5

Au cours de toute la période, les nitrates présents dans la tranche 30 - 90 cm sont demeurés extrêmement faibles. Sous nos conditions pédoclimatiques, les nitrates descendent en moyenne de 1 m/an. Les mesures étant espacées de respectivement 6 et 9 mois, une infiltration de nitrates se serait marquée par une augmentation des quantités

relevées en profondeur. Or, ces quantités sont décroissantes, on ne constate donc pas d'infiltration de nitrates.



L'absence de reliquats additionnels et l'augmentation des prélèvements en azote de la culture sur les sols traités au BRF confirment notre mode de calcul et l'adéquation de la loi déduite des données du bloc 30.

Mesures infiltrométriques :

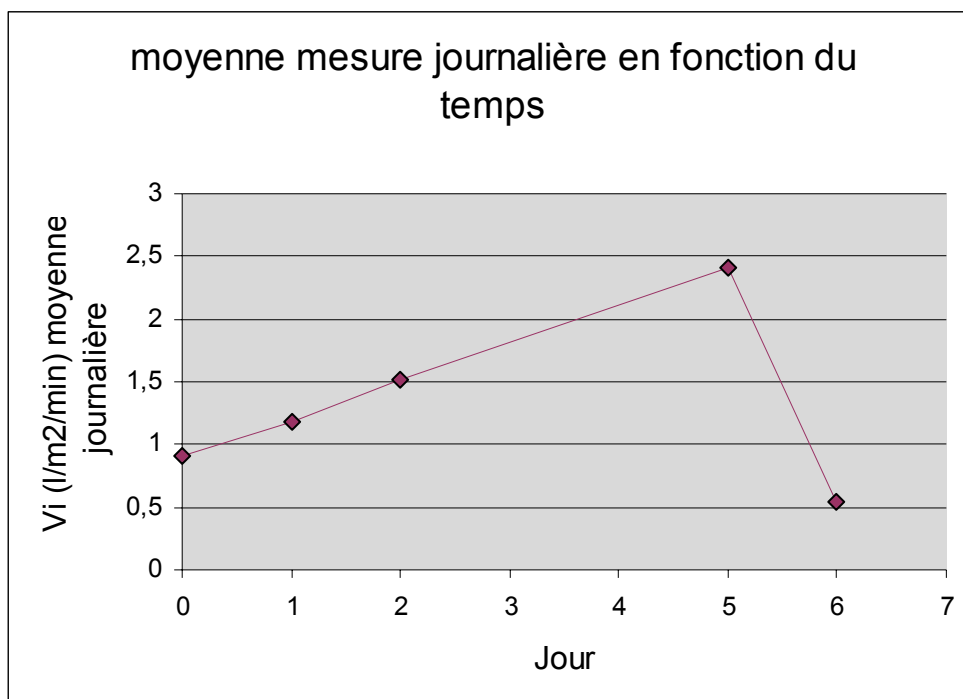
Dans le cadre du TFE de Mathieu Tanguy, des mesures à l'infiltromètre ont pu être réalisées sur le bloc 20, selon la technique du double anneau.

En juin 2006, 5 campagnes de mesures ont été réalisées sur 6 jours d'intervalle. Chaque campagne comprend une mesure par bloc (21 à 26), soit 3 répétitions de traitement et trois répétitions de témoin situés sur un bloc en culture de plus de 2 ha.

Critique du dispositif

En faisant la moyenne journalière des mesures, tous traitements confondus, on observe une tendance au cours du temps. Ceci montre que les conditions de sol changent, probablement en fonction des conditions ou d'épisodes climatiques. En outre, il existe une grande variabilité spatiale sur ce type de mesures ce qui nous invite à réaliser un maximum de répétitions et, éventuellement, à retraiter les données.

Néanmoins, il est difficile de faire plus de 6 mesures par jour, or, si les conditions de sol changent au cours du temps, on sera limité par une variabilité croissante sur les mesures réalisées sur le même bloc mais à des temps différents.



C'est pourquoi, nous proposons plusieurs calculs :

En considérant tous les résultats confondus, on aura des écarts importants mais la moyenne représentera tant la variabilité spatiale que temporelle.

On peut, comme nous l'avons fait pour les résultats d'infiltrométrie établis sur le bloc 10, éliminer les résultats les plus élevés, en effet, ces résultats peuvent être le fait d'une fissure locale dans le sol ou d'un « renard » non détecté.

Enfin, on peut également prendre en compte les moyennes journalières comparées entre témoins et traitements, de cette façon on s'affranchit des variations temporelles.

Résultats

	tous les résultats	exclusions des 2 résultats les plus grands	Comparaison des moyennes journalières
Nombre de mesures/ traitement	15	13	5
V BRF (l/m ² /min)	1,83	0,96	1,83
e	2,51	1,02	0,87
IC 95%	1,27	0,55	0,76
V T (l/m ² /min)	0,79	0,38	0,79
e	1,23	0,38	0,61
IC 95%	0,62	0,21	0,53
V BRF/V T (%)	230%	250%	284%
Student 95%	NS	S	S

On constate que tous les modes de calculs aboutissent à une augmentation de la vitesse d'infiltration sur les blocs traités au BRF, comprise entre 200 et 300%. Deux modes de calculs aboutissent à des différences significatives. Nous accorderons plus de confiance au dernier résultat, issu de la comparaison des moyennes journalières, car ce mode de calcul conserve toutes les valeurs et permet de s'affranchir de la variabilité temporelle.

Ceci confirme les résultats obtenus sur le bloc 10 précédemment.

Bloc 50

Présentation :

Pour rappel, le bloc 50 met en œuvre une culture expérimentale d'ortie. Il a été divisé en 3 sous-blocs ayant reçu des apports différents :

Bloc :	51	52	53
N min sol	113	113	113
N compost (kg/ha)	389	267	
N lisier (kg/ha)	96		
N BRF (kg/ha)	165		
Engrais 2004	10		
N (kg/ha) :	773	380	113

Le bloc 51 a donc reçu des doses importantes d'azote, essentiellement organique, le compost épandu est un compost de déchets verts (DV) fourni par l'Intercommunale Intradel. Ces apports exprimés en unités d'azote sont assez impressionnants, toutefois, l'azote du compost et l'azote du BRF sont des fournitures particulièrement lentes qui, comme nous le verrons, ne se minéralisent pas la première année.

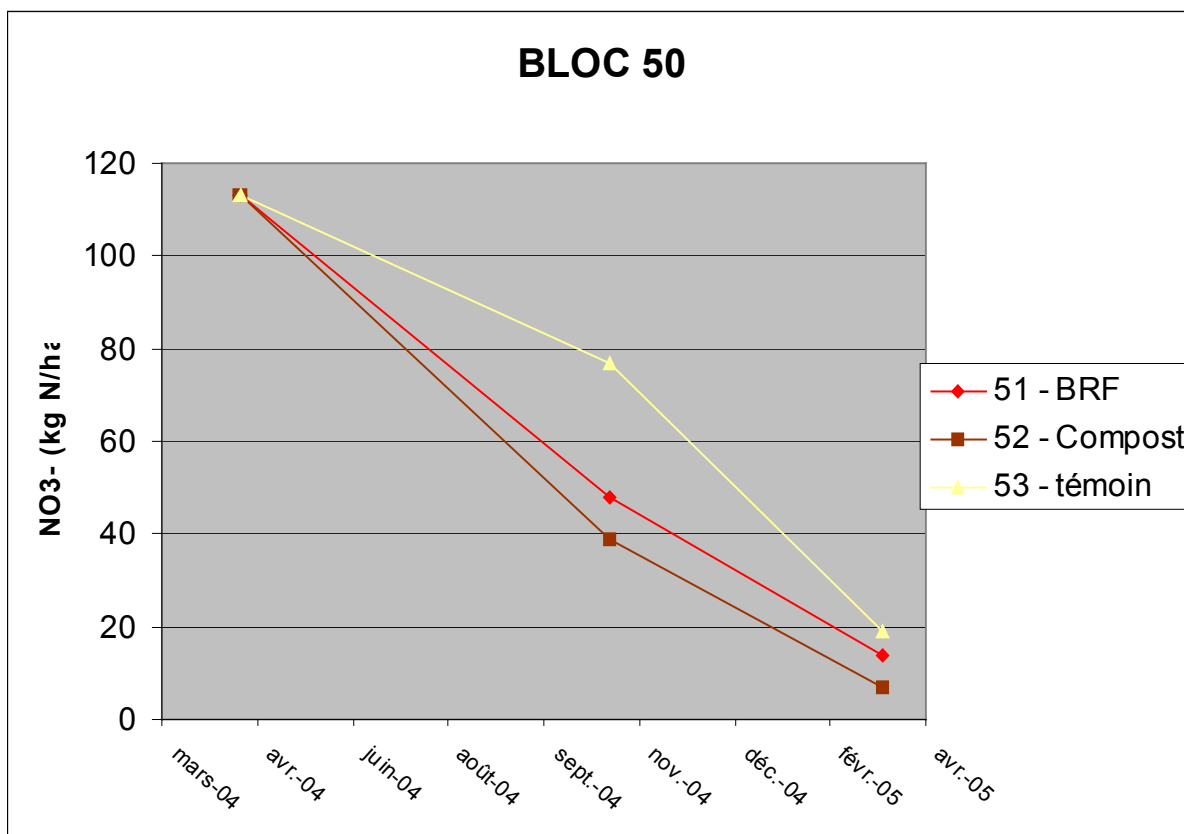
Suivi de l'azote

Au cours de la période, l'azote minéral diminue dans tous les blocs.

Le bloc 51, qui a reçu 660 unités en plus des 133 présentes initialement dans le sol, est plus pauvre en azote libre que le bloc témoin qui n'a rien reçu.

Du point de vue de l'azote minéral, le bloc ayant reçu du compost se situe en-dessous du témoin également, ce qui semble confirmer que le compost de DV ne se minéralise pas la première année.

Notons que le compost de DV (Déchets Verts), est, en fait, essentiellement un compost de BRF, il n'est donc pas étonnant d'observer des similitudes de comportements entre ces deux amendements.



Nous pouvons extrapoler une simulation afin de valider en champs la loi de l'immobilisation par le BRF :

Pour calculer l'azote minéral disponible sur la période nous considérerons que ni l'azote du BRF ni celui du compost ne se minéralise. Si le lisier de bovin libère 70% de son azote la première année, dans le cas présent, sur 11 mois, on considérera qu'il libère proportionnellement 64% de son azote.

Donc :

Azote disponible = $64\% \times 96 \text{ kg} + 10 + 113 = 184 \text{ kg N/ha}$

Azote prélevé par la culture = 94 kg N/ha

Immobilisation prévue par la loi établie sur le bloc 30 = **38.2 %**

Azote immobilisé par le BRF = $38,2\% \times 184 = 70,3 \text{ kg N/ha}$

Azote résiduel prévu selon notre loi = $184 - 94 - 70 = 20 \text{ kg N/ha}$

Immobilisation prévue par la loi utilisant les résultats des blocs 30 et 90 confondus = **39.9 %**

Azote immobilisé par le BRF = $39,9\% \times 184 = 73,4 \text{ kg N/ha}$

Azote résiduel prévu selon notre loi = $184 - 94 - 73 = 17 \text{ kg N/ha}$

Azote réellement présent dans le sol selon le dosage du 16/03/05 = 14 kg N/ha

Conclusion

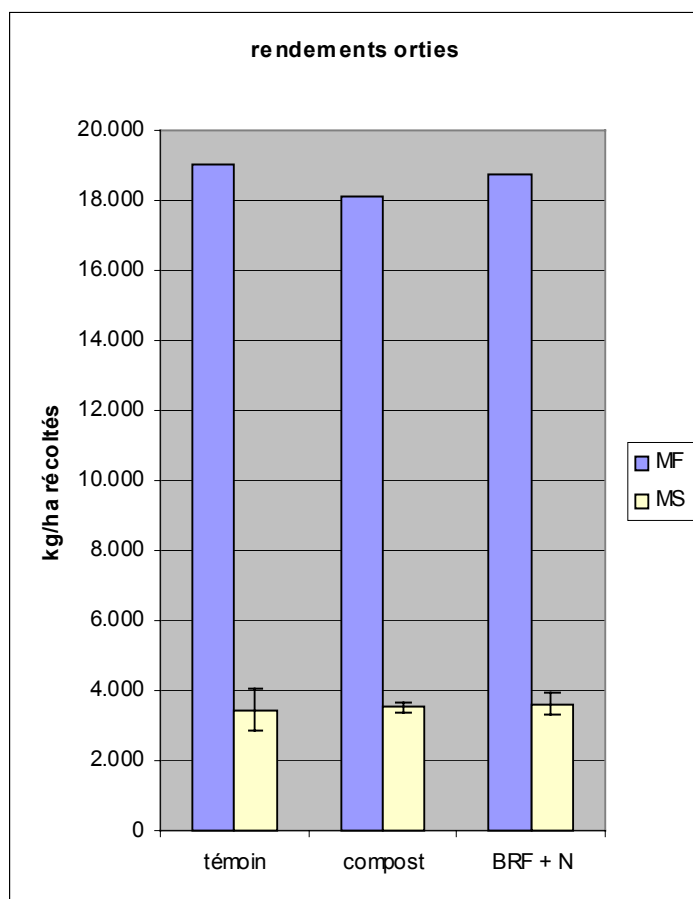
Tenant compte des imprécisions de mesure et de calcul, la prévision de l'azote résiduel est excellente selon l'une ou l'autre version de notre loi. Ici, la valeur obtenue au moyen de la loi

établie avec toutes les valeurs semble plus proche du résultat mesuré, toutefois cette application montre surtout la faiblesse des écarts. On pourra sans problème communiquer une version utilisant des chiffres arrondis aux agriculteurs, ceci afin de la rendre plus lisible. C'est d'ailleurs ce que nous avons fait dans le cadre des précédentes communications.

Suivi des rendements

Les rendements ont été mesurés en 5 répétitions. Nous avons obtenu une très bonne production sur tous les blocs, les rendements en matière sèche sont croissants avec la dose d'apports organiques (BRF>Compost>Témoin), toutefois, le test de Student ne donne aucune différence significative.

	MF (kg/ha)	MS (kg/ha)	e	ic 95%	T Student
Témoin	19.048	3.455	688	603	NS
Compost	18.108	3.520	146	128	NS
BRF + N	18.745	3.605	362	317	NS



Au moment où le projet se termine, la culture sur les blocs traités au BRF semble bénéficier d'un arrière-effet positif de la fertilisation organique (meilleure croissance) comparativement au témoin. Cet effet visuel se traduira probablement dans les prochains rendements.

Bloc 80

Présentation

Au cours de nos expérimentations sur les blocs 30 et 90, nous avons apporté le complément azoté sous forme d'azote minéral, ceci afin de connaître la dose de façon précise et de pouvoir établir ou valider une loi.

Dans la pratique, le BRF devrait toutefois permettre de mieux pouvoir valoriser les effluents d'élevage, plus que l'engrais, tout en participant à l'humification. Une des applications que l'on peut faire de cet apport carboné est la stabilisation en champs d'effluents d'élevage liquides, afin d'éviter que la part d'azote labile contenu dans ces apports ne viennent polluer les nappes phréatiques.

Après avoir établi comment le BRF immobilise l'azote, nous pouvons maintenant l'appliquer et également tester l'épandage du fumier issu des expérimentations du BRF en étable, comme litière bovine.



Les rendements ont été mesurés avec 3 répétitions sur les blocs, l'évaluation des APL s'est faite par un carottage sur 3 niveaux de 0 à 90 cm, le 04/10/2005.

Résultats

Bloc	Traitement	Rendement MF/ha	Rendement MS/ha	Rendement MS (%)	Student 95%	Prélèvement N (kg/ha)	Prélèvement N (%)	Student 95%	APL
81	Témoin	60,55	17,25	100%/		177	100%/		18
82	Fumier BRF frais	55,18	13,80	80%S		152	86%S		21
83	Fumier BRF composté	63,33	18,51	107%S		210	119%S		32
84	BRF + lisier	65,92	18,04	105%NS		222	126%S		22
85	Fumier paille composté	67,04	18,70	108%S		233	132%S		27

A titre indicatif, signalons que la parcelle voisine (5ha), cultivée en maïs, a été labourée, elle a été fortement affectée par la sécheresse qui a sévi en 2005, en début de saison, alors que le bloc d'essai en « non-labour » semble avoir été protégé. En conséquence les rendements sur la parcelle labourée ont été moins bons (87%) que sur le bloc témoin de l'essai, les prélèvements ont été inférieurs aux prévisions, laissant dans le sol des reliquats importants (107 kg/ha entre 0 et 90 cm).

Discussion

Concernant les rendements en matière sèche, tous les traitements sont significativement différents du témoin à l'exception du bloc traité au moyen de BRF et de lisier. Par contre les prélèvements en azote sont significativement différents du témoin pour tous les traitements. Tous les traitements donnent de meilleurs résultats que le témoin à l'exception du traitement 82, utilisant du fumier de BRF frais, directement sorti de l'étable. Il semble que la quantité de déjections animales riche en azote présente n'ait pas été suffisante dans cet apport, pour contrebalancer la faim d'azote sur une tête de rotation (il s'agit d'une situation extrême). Notons qu'il est probable qu'un fumier pailleux frais, épandu au printemps sur une tête de rotation, en non-labour, aurait peut-être eu également un effet négatif sur les rendements et les prélèvements azotés.

Le bloc 83 montre que le compostage de l'amendement a permis de régler aisément le problème.

Il est intéressant de constater que les APL sont extrêmes faibles sur tous les blocs alors que les conditions climatiques ont amenés des dépassements sur les fermes pilotes de Nitrawal, pour cette année (2005).

Ces résultats positifs valident notre mode de calcul de l'immobilisation de l'azote suite à un apport de BRF ainsi que l'itinéraire passant par l'étable, pour peu que l'amendement soit composté.

Bloc 40

Présentation

Le bloc 40 a été mis en œuvre afin de valider la possibilité l'intérêt de combiner une première culture de légumineuse et le traitement préalable du sol au BRF.

Il s'agit surtout d'un essai qualitatif, offrant peu de répétitions, toutefois, il est intéressant d'observer le comportement de la culture de luzerne.

Observations et mesures

Après un démarrage un peu plus difficile de la luzerne sur la partie traitée au BRF, les avantages prennent largement le dessus.

Fin juin, la partie traitée au BRF (41, 42) est une luzerne propre sans désherbage chimique ni labour. Par contre la partie témoin (43, 44), est devenue un pré fleuri où l'on ne distingue plus les luzernes.

Luzerne sans BRF



Luzerne avec BRF



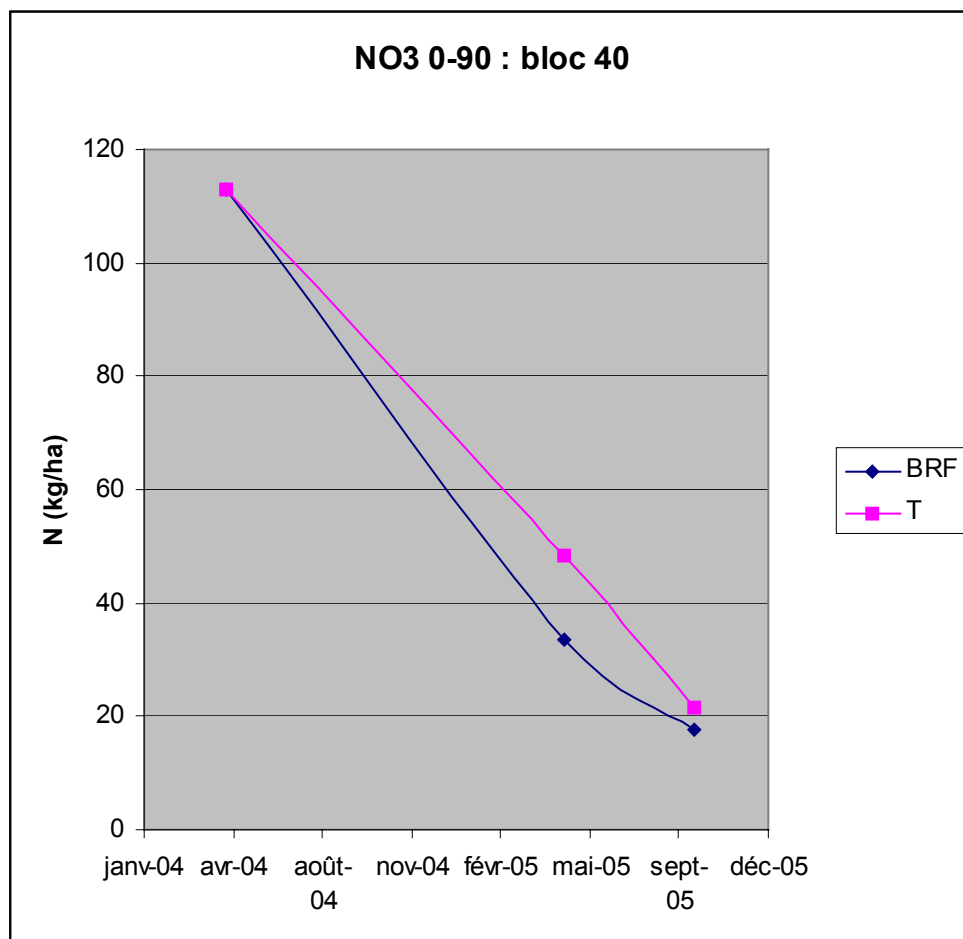
La luzerne a été protégée des mauvaises herbes par le BRF, sur les blocs traités. En conséquence, elle semble s'être mieux implantée, ce qui pourrait expliquer les augmentations de rendements constatées.

Bloc	Rendement (T MS/ha)	Rendement (%)	Prélèvement (kg N/ha)	Prélèvement (%)
BRF	4,6	172%	117,6	179%
Témoin	2,7	100%	65,8	100%

Les blocs traités au BRF montrent des augmentations de rendement et de prélèvement azotés spectaculaires par rapport au témoin. Ces résultats, très encourageants, devraient être validés par un essai plus poussé, comprenant suffisamment de répétitions, mis en œuvre dans le contexte du bio. Ce point pourrait être mis en œuvre dans le cadre d'un prochain projet.

Au 23 septembre 2005, les blocs traités au BRF ont vu l'azote total augmenter de 0.23 g/kg de terre sèche sur les 15 premiers centimètres du sol, ce qui représente un stock d'azote organique de 450 kg/ha.

Par contre, les nitrates ont diminués sur l'ensemble des blocs, et ceci, de façon légèrement plus marquée sur les blocs traités au BRF.



Autres suivis et mesures réalisés sur les dispositifs en champs

Examen de profils

Présentation des profils

Avec l'aide de C. Roisin (CRA), nous avons réalisé quelques profils le 16/11/04, afin de constater le travail des machines et la situation :

Bloc 4 :

Historique : Epannage sans labour + incorporation au chisel, rotative ; passage au cultisocle dans le sens de travail après récolte.

Résultat : Belle structure sur 20 cm
Mélange du BRF sur 10-15 cm

Bloc 12 :

Historique : Epannage sans labour + incorporation au chisel, rotative.

Résultat : Structure refermée, uniformément compacte, peu de racines en profondeurs (sauf trèfle).
Mélange du BRF sur 5 cm ; mélanisation en surface, l'essentiel des racines sont dans les 5 premiers cm du sol.

Bloc 11 :

Historique : Labour + travail au chisel, rotative.

Résultat : Structure uniforme, sol meuble, terre fine, labour refermé mais moins compacté que 12. Développement des racines de ray grass sur 20 cm.

Bloc 9 :

Historique : Epannage après labour + incorporation au chisel, rotative.

Résultat : Labour refermé, structure tassée sous les traces de roulage, meilleure ailleurs.
BRF plus dilué que sur le bloc 12, mélange à 5 cm.

Bloc 21 :

Historique : Epannage avant labour perpendiculairement au sens de travail, déchaumage au chisel + décompactage et fraisage au cultisocle, rotative.

Résultat : Bonne structure sur 20 cm, bon enracinement sur 20 cm et +.
BRF mélangé sur 10 cm.
Très humide en surface



Bloc 22 :

Historique : Epannage avant labour perpendiculairement au sens de travail, déchaumage au chisel + décompactage et fraisage au cultisocle, rotative.

Résultat : Bonne structure sur 20 cm, bon enracinement sur 20 cm et +, moins humide que 21.

Conclusions

- Les passages au chisel ne suffisent pas à incorporer convenablement le BRF.
- L'épandre après labour occasionne des problèmes de tassements très localisés.
- Epanner sur chaume et incorporer par un simple déchaumage au chisel produit de fortes concentrations de BRF au centre de la bande d'épandage qui restent en surface. Par contre, épanner sur labour permet un meilleur mélange (dilution du BRF qui tombe dans les sillons).
- Le cultisocle (outil combiné : poutre de décompactage + fraise à couteaux droits) permet d'incorporer le BRF à la profondeur idéale (10 – 15 cm) et d'éliminer les traces de l'épandeur. On peut, dès lors, envisager un épandage sur chaumes suivi d'une bonne incorporation en un seul passage. Ce type d'outils peut aussi être utilisé après une première récolte, avant l'implantation d'une deuxième culture, sans occasionner un mélange trop profond du BRF résiduel, après ce deuxième passage.

Mesure de la dégradation du BRF in situ

Nous avons réalisé, avec la collaboration de R. Werquin (stagiaire – mémorant) plusieurs prélèvements les 28/09/05 (bloc 10), 18/10/05 (bloc 30 II) et 19/10/05 (bloc 30 II), ceci afin de vérifier l'avancée de la dégradation du BRF.

3 fosses de 50 cm X 50 cm sur 35 cm de profondeur ont été creusées pour chaque bloc. On a ensuite trié minutieusement la terre des morceaux de BRF restant. Ces derniers ont ensuite été lavés et séchés, puis pesés.

Une première constatation a pu être faite : l'essentiel du BRF était présent dans les 10-15 premiers centimètres du sol.

Faisons un rapide récapitulatif du traitement initial de ces blocs et du temps qui sépare le creusement des fosses de l'incorporation du BRF :

bloc	BRF/ha (m3)	MS BRF kg/ha	temps (j)
10	226	48.409	551
30 I	225	48.780	433
30 II	464	100.595	432

Une première lecture des résultats montre que l'essentiel du BRF présent initialement a été dégradé en octobre 2005. Ceci corrobore nos constatations faites sur le bloc 10, suite à l'analyse des taux de carbone dans le sol.

bloc	BRF restant (kg/ha)	e	IC 95%	BRF restant (%)	BRF dégradé (kg/j)	e	IC 95%
10	4.533	590	667	9%	80	1,1	1,2
30 I	7.640	735	1.019	16%	95	1,7	2,4
30 II	13.653	2.813	3.183	14%	201	6,5	7,4

Il est intéressant de constater que, pour des sols, des cultures, des BRF, des temporalités différentes mais pour des doses similaires de BRF, les blocs 10 et 30 I affichent des taux de dégradation journaliers très proches (80 et 95 kg/j.ha), dans un intervalle de confiance réduit. Par contre, le bloc 30 II, qui a reçu une double dose de BRF, montre un taux de dégradation double.

A priori le taux de dégradation du BRF serait directement proportionnelle à la dose résiduelle, ceci demanderait toutefois d'être validé par des essais plus poussés. On pourrait alors établir une courbe de dégradation et un temps de demi-vie dans le sol.

Pour l'instant, étant donné que nous avons pu caractériser une situation proche de la dégradation totale du BRF, l'approximation linéaire peut nous donner une bonne idée des ordres de grandeur de la vitesse de décomposition pour les quantités testées.

Comparons les données établies ici avec la projection linéaire réalisée au départ des données carbone du bloc 10, cette projection nous a amené au chiffre de 143 m3/ha dégradé par an, dans nos conditions pédo-climatiques.

C humus formé/j (kg/ha)	14,5
C BRF dégradé/j (kg/ha)	29
MS BRF dégradé/j (kg/ha)	87

En transformant les données carbone en leur équivalent Matière Sèche BRF, on trouve un chiffre qui correspond à la moyenne des résultats obtenus sur les bloc 10 et 30 I, par la technique d'excavation.

Ceci confirme la projection réalisée sur base des données carbone du bloc 10.

Expériences annexes

Utilisation comme litière

Premier test qualitatif

Utiliser le BRF comme litière d'élevage pourrait être intéressant d'un point de vue économique, vu le prix de la paille. Substituer le BRF à la paille pourrait permettre de financer les frais de transport.

C'est pourquoi nous avons mené un test en litière d'élevage sur bovin, l'objectif du test était de voir si le BRF pouvait convenir à cette utilisation sans causer de problèmes aux bêtes et s'il pouvait présenter des avantages qualitatifs.

Description de l'expérience en étable :

Le 13/04/04, une dizaine de m3 de BRF ont été épandus dans une partie de l'étable destinée au jeune bétail (relativement peu de bêtes), sur une surface de 50m2 (soit une couche de 20 cm de BRF).



Le bétail a rapidement investi les lieux et, après un peu d'étonnement, a semblé fort à l'aise sur ce matériau.

Durant toute la durée de l'expérience, on n'a remarqué aucun problème particulier, le BRF n'a pas blessé le pied des bêtes.



Etable le 16/06/04

On a remarqué que les bêtes sur BRF pouvaient rester plus longtemps propres sans renouvellement de litière, le BRF absorbe remarquablement les déjections solides et liquides. On a vu que ce matériau peut absorber jusqu'à 350l/m³ directement dans le bois, en outre il ne se compacte pas comme la paille ou la sciure et conserve des interstices entre les copeaux permettant d'absorber les déjections.

A première vue, ce matériau aisément manutentionnable nécessite moins d'entretien pour le vacher. Périodiquement, on remet une couche au moyen d'un chargeur frontal. Sur la période d'essai, on a remis approximativement 5m³ de BRF.



Le 06/08/04, on a sorti le fumier de BRF pour le composter. 15m³ de BRF ont donc paillés 50 m² pendant 4 mois, soit 7,5 m³/mois pour 100 m².

L'analyse du fumier de BRF sorti (il ne s'agit pas de BRF pur, de la paille s'étant mélangée en cours d'expérience) comparé avec un autre fumier bovin sur paille de la ferme nous donne quelques indications :

Paramètre	Fumier - paille	Fumier BRF
Matière sèche	28,4%	47,4%
MO	52,5%	71,4%
C organique	23,6%	37,3%
N organique total	2,2%	2%
C/N	11	19
N (kg/T matière brute)	6,3	9,3

Le fumier de BRF contient plus de carbone et est plus dense. Toutefois, son temps de séjour plus long dans l'étable a eu pour conséquence qu'il s'est plus chargé en azote (6,3 kg/T => 9,3 kg/T). Malgré cela, le C/N du fumier BRF reste plus élevé.

Ce premier test qualitatif a été mené sur jeune bétail, peu salissant, il faudrait mener un essai dans des conditions plus extrêmes et assorti d'un suivi quantitatif.

Premier test quantitatif

Après ce premier essai qualitatif en 2004, nous avons décidé de pousser l'expérience plus loin et de réaliser une étude comparative paille – BRF.

En 2005, nous avons réalisé un essai sur vaches laitières, c'est-à-dire en conditions extrêmes. En effet, les laitières doivent être tenues très propres afin d'éviter les maladies du pi (mammites). En outre, les laitières produisent des quantités très importantes de déjections. Nous avons également paillé 2 petites loges pour jeune bétail.

Etable	Surface paillée	Nombre de bêtes	Races
1	192 m2	21 à 31	Pie Noire Holstein
2 a	25 m2	6	Pie Noire, Blanc bleu Belge
2 b	25 m2	5	Pie Noire, Blanc bleu Belge

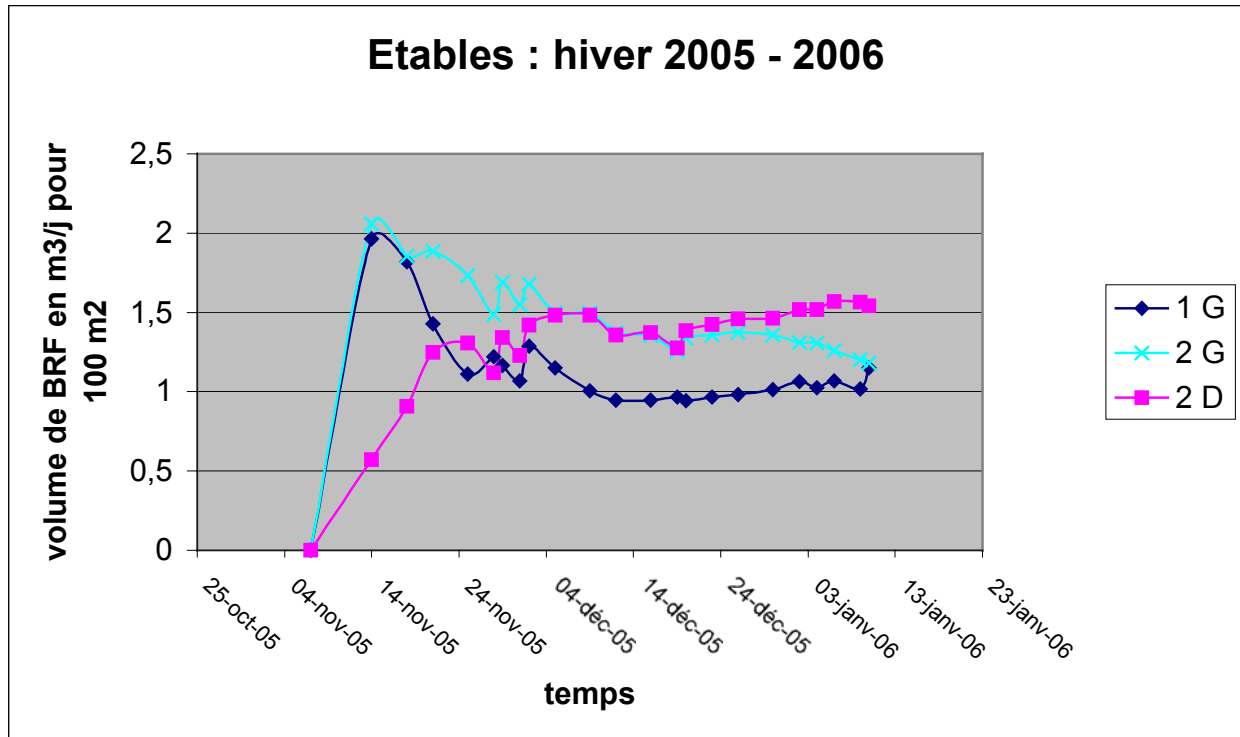
Etable	Equivalence petits ballots / m3 de BRF
1	3,53
2 a	3,64
2 b	3,67



Test de mise ne œuvre en conditions réelles

L'objectif de ces essais mené durant l'hiver 2005-2006, était de permettre une simulation des volumes et de la mise en œuvre. Nous avons suivi quantitativement plusieurs étables paillées au moyen de BRF :

L'étable 1 contient une charge relativement faible en bétail adulte, l'étable 2 est destinée au jeune bétail, les bêtes les plus jeunes étant situées dans les loges de gauche. La population des étables change au cours du temps, ce qui explique les variations observées. Pour donner une idée, le 11 janvier, l'étable « 1G » contenait 10 adultes/100m² alors que « 2G » contenait 16 petits et « 2D » 23 adolescents.



Il semble que les volumes de BRF nécessaires soient compris entre 1 et 1,5 m³/j pour 100 m². Prenons l'exemple de la ferme de Strée, si on utilisait uniquement du BRF comme litière, il faudrait entre 222 et 333 m³/mois, si on prend la moyenne, on trouve 277,5 m³/mois, soit 3 camions.

Le temps de travail nécessaire dépend de la disposition de la ferme (distance jusqu'au stock, facilité d'accès aux étables). La ferme de Strée n'est pas spécialement adaptée à la gestion du BRF en étable, par exemple, l'amélioration des portes pourrait faciliter l'accès du chargeur frontal. On pourrait aussi envisager un système de paillage mécanisé.

Dans nos conditions de travail, il faut compter 5 minutes pour apporter 1,5 m³, le temps de travail journalier pour pailler au BRF représente donc entre 25 et 37 minutes/jour pour toute la ferme. Il ne faut pas non plus négliger le temps investi dans la récolte, le ballottage et le rangement des ballots. Ce travail est gagné lorsque l'agriculteur reçoit du BRF d'un fournisseur extérieur.

Conclusions

1. Nous n'avons pas remarqué d'augmentation des maladies du pis ou d'autres problèmes sanitaires chez les bêtes sur litière de BRF.
2. On trouve une bonne équivalence entre la paille et le BRF, il faut en moyenne 3,6 ballots de paille de 11 kg contre 1 m³ de BRF, soit environ 40 kg de paille/m³ BRF, pour pailler une surface équivalente. Au cours actuel, la contre-valeur de la paille équivalente à 1m³ de BRF est 3,2 €.
3. Le résultat de ces tests montre qu'il faut plus de BRF que de paille pour atteindre la même propreté en conditions salissantes. En effet, la paille est plus légère que le BRF, elle est à même d'assurer une propreté de surface plus facilement. Néanmoins, les bêtes ont tendance à s'enfoncer dans le fumier sous la paille. Il peut être intéressant, sur laitières, d'apporter une première couche de BRF au fond, puis d'utiliser la paille ensuite afin de maintenir la propreté de surface.
4. Il faut compter approximativement 1.5 m³/j.100m² de surface à pailler, dans les conditions de la ferme de Strée, cela représente ½ heure de travail quotidien et un volume de 3 camions par mois.

Test réalisé sur le passage des bêtes

Le passage des bêtes entre le champs et l'étable ou la salle de traite, est une zone à problèmes sur une ferme. D'une part, ces zones ont tendance à devenir un véritable bourbier, pouvant poser des problèmes sanitaires sur le bétail, d'autre part, ce parcours recueille de grandes quantités de déjections animales alors que rien ne peut les fixer (sol sans structure ni végétation). Ainsi, des prélèvements réalisés par Nitrawal sur le passage des bêtes à Strée, avaient montré des taux d'azote minéral supérieurs à 400 kg/ha.



Nous avons testé l'utilisation du BRF afin de couvrir cette zone. L'idée serait d'absorber l'azote des déjections et de stabiliser le sol grâce au BRF et à l'humus formé. Ensuite, on pourrait racler la couche d'humus et l'épandre sur les champs comme un compost. Nous avons constaté que ce mulch a joué son rôle durant plusieurs mois et est apprécié du bétail :



Cette utilisation du BRF pourrait permettre de valoriser les BRF de moindre qualité agronomique.

Conclusion

La « filière animale » présente des avantages pour la valorisation du BRF : rentabilité et utilisation de matériaux de deuxième choix (broyés moins fins, contenant plus de conifères). Il serait intéressant d'analyser la couche humifiée dans quelques années, lors du raclage, afin de valider l'efficacité du piégeage d'azote, constaté sur d'autres dispositifs.

Stockage :

Humidité du tas

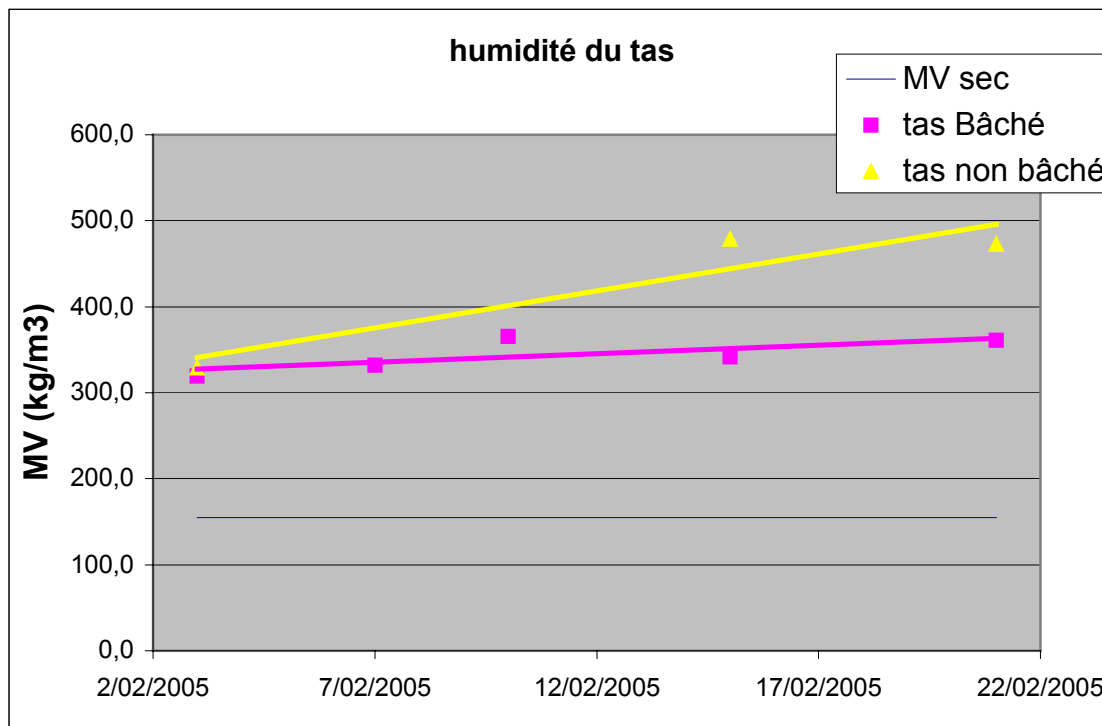


Le stockage du BRF destiné à servir de litière peut poser problème en hiver. En effet, le BRF est susceptible de s'humidifier s'il est stocké en extérieur. L'eau emmagasinée prendrait ainsi la place des effluents d'élevage.



Nous avons mesuré l'humidité de deux tas de BRF dont un a été recouvert d'une bâche plastique perforée au

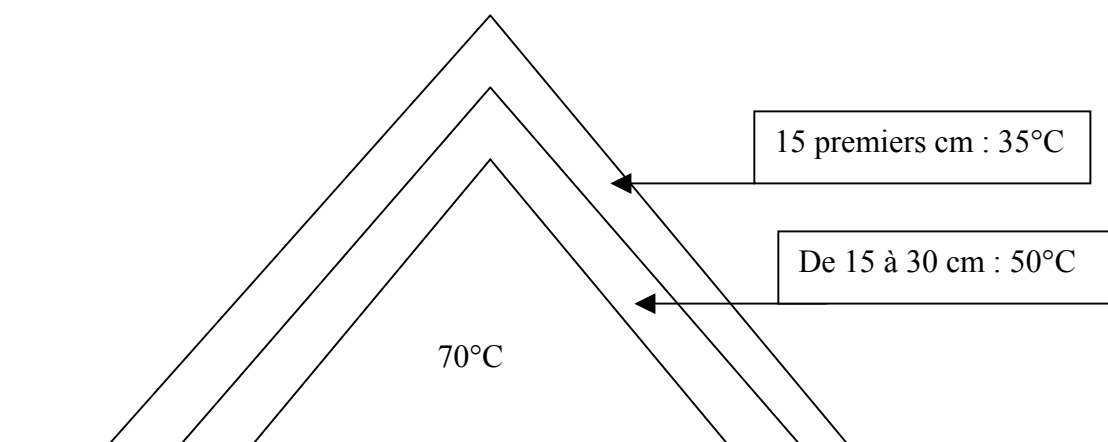
sommet. Le tas laissé à l'air libre a emmagasiné 143 litres d'eau par m3 en 18 jours contre seulement 41 litres pour le tas bâché.



Élévation de température :

L'élévation de température peut-être intéressante car elle permet une certaine hygiénisation du matériau. Dans l'hypothèse d'une commercialisation, il y aura deux mises en tas suivies d'une élévation de température à chaque fois : une au moment du broyage sur la plateforme de l'Intercommunale et une autre chez l'agriculteur, avant utilisation.

Nous avons observé qu'après 4 jours la température des tas atteint 70°C au centre, quel que soit la température extérieure. Le BRF forme un isolant efficace, la température est à son maximum sous 30 cm de BRF :



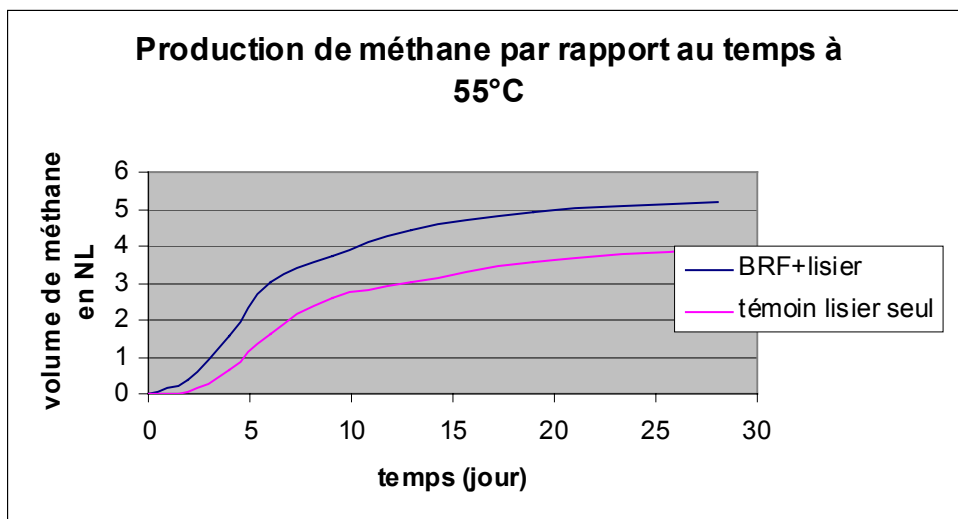
Biométhanisation :

A priori le BRF n'est pas biométhanisable, la dégradation de la lignine se faisant par voie aérobie. Toutefois, Jean Pain, dans son livre, démontre la production d'une certaine quantité de « gaz de broussailles ». Certains composés (sucres, protéines,...) des rameaux sont certainement biométhanisable. Reste à voir dans quelles proportions.

C'est pourquoi, en collaboration avec J-F. Brière (stagiaire – mémorant), nous avons testé la biométhanisation de cette matière.

Résultats et discussion :

Les résultats montrent qu'une fraction du BRF est méthanisable, en outre le BRF a joué un rôle catalyseur, accélérant le processus. Après 10 jours, le réacteur « BRF » a produit autant de méthane que le réacteur témoin après 1 mois.



Toutefois, modifier des biométhaniseurs pour utiliser le BRF poserait une série de problèmes techniques qui ne se justifient pas vu les quantités de biogaz que pourraient produire le BRF.

Alimentation	Temps (j)	NL de biogaz	NL de CH ₄	NL biogaz / kg MS	NL CH ₄ / Kg MS
BRF+lisier	28	12,92	5,193	486,919	211,609
Lisier	28	8,339	3,919	396,385	186,282
Différence imputable au BRF		4,581	1,274	90,534	25,327

En effet, quand on ramène la production par rapport à la matière sèche, le gain de l'ajout de BRF reste faible (14%).

Une autre façon d'exprimer ces résultats consiste à calculer la part du BRF et du lisier transformé en méthane au cours du processus.

Au cours de l'expérience, les réacteurs ont été réalimentés en lisier (100g), lors de la deuxième incubation, nous avons pu encore produire une petite quantité de biogaz imputable

au BRF. En sommant les quantités de gaz produites, en les exprimant en poids de carbone et en ramenant ce dernier au carbone initialement présent dans le lisier et dans le BRF, on obtient les chiffres suivants :

Matières	Poids de C (CH4) produit (g)/kg MS	Poids de C (g) / kg de matière fermentescible	% du C méthanisable
Lisier	118	273	43%
BRF	20	376	5%

Seulement 5% du carbone du BRF est méthanisable, ceci justifie amplement que d'autres filières soient développées pour cette matière.

Utilisation en mulch

L'utilisation en mulch est une utilisation traditionnelle du BRF, elle pourrait également être une porte d'entrée de ce matériau en ferme.



La technique du mulch consiste à apporter de la matière organique et à la laisser se décomposer en surface, sans incorporation. Le mulch est réputé lutter contre la dessiccation et les adventices. Dans le cadre d'une collaboration avec un autre projet du centre, nous avons eu l'occasion de le tester lors d'épandages réalisés à partir de janvier 2005.

Afin d'implanter un dispositif de haies de plusieurs km au CTA, on a utilisé du BRF en mulch protecteur, après avoir planté les arbres. L'essai a porté sur l'utilisation de différents BRF et sur l'aspect pratique, la mécanisation.

Afin d'implanter un dispositif de haies de plusieurs km au CTA, on a utilisé du BRF en

Nous avons pu constater qu'un épandeur à aliments convenait fort bien pour appliquer le BRF sur des lignes de jeunes arbres. Il semble qu'une couche de 10 cm sur une largeur d'un mètre soit un minimum nécessaire pour observer une certaine entrave des mauvaises herbes.



Partie avec mulch | *Partie sans mulch*

Nous avons voulu tester un BRF de feuillus par rapport à un BRF de résineux, en effet, une étude canadienne a montré une certaine sélectivité des broyats selon leur essence d'origine [Lemieux, 1985].

Les BRF de feuillus et de conifères ont été épandus en sections alternées, certaines sections ont été laissées nues, ensuite nous avons compté le pourcentage de reprise au 27 juin 2005.

Nous avons pu relever la mortalité sur 6 tronçons sans mulch, 5 tronçons avec mulch de BRF feuillus et 8 tronçons avec mulch de BRF conifère. Le teste t approché de Welch donne, à 95%, des différences significatives entre les traitements et le bloc sans mulch. Par contre, il n'y a pas de différences significatives entre les traitements BRF conifères ou feuillus.

BRF	Mortalité(%)	e	IC95%	t de Welch/ sol nu	t de Welch entre BRF
Feuillus	10%	8%	7%	S	NS
Conifères	8%	5%	3%	S	
Sol nu	57%	27%	22%	/	

Le mulch, sans distinction d'essences feuillues ou conifères, semble avoir joué un rôle protecteur qui a permis de sauver les arbres de la sécheresse.

Le BRF a également été testé dans l'implantation d'un pré verger.



Autres activités et considérations générales

Agenda des principales rencontres, visites et activités

02/02/04	Rencontre M. Lebrun – service travaux Modave
05/02/04	Rencontre visite espaces verts Corona
06/02/04	Rencontre P. Warnant –ISI Visite comité Jean Pain – Londerzeel
09/02/04	Rencontre R. Lanoy – élagueur
11/02/04	Visite chantier R. Lanoy
12/02/04	Visite salon Agribex – Heysel
16/02/04	Rencontre M. Bernard – élagueur
17/02/04	Rencontre M. Vanguestein – Sogeplant Rencontre M. Pleinveaux – entreprise de jardin
22/02/04	Présentation BRF réunion ARPH – fédération horticole
23/02/04	Visite station d’analyse provinciale de Tinlot – D. Vanvive
24/02/04	Visite CRA – C. Roisin
25/02/04	Rencontre P. Petit, J. Defoux – DGRNE Visite M. Vangestein
27/02/04	Rencontre P. Warnant
03/03/04	Rencontre P. Warnant
10/03/04	Visite plateforme de INTRADEL- Soumagne + contrôle broyage BRF
11/03/04	Visite Barakka
16/03/04	Visite C. Roisin
24/03/04	Visite C. Roisin
29/03/04	Visite chantier de broyage Sogeplant + contrôle du BRF
21/04/04	Visite du Ministre de l’Agriculture
06/05/04	Visite groupe Barakka
07/05/04	Rencontre P. Warnant
13/05/04	Rencontre N. Van Howe – SPF
18/05/04	Visite unité GERU UCL – C. Bielders
21/05/04	Réunion projets DGA : présentation du projet BRF
22/07/04	Participation à la foire de Libramont (=>26/07/04)
27/07/04	Visite CRA – C. Roisin
02/09/04	Participation au salon Valériane (=>05/09/04)
08/09/04	Visite Barakka – démonstration machinisme et lutte anti-érosive
15/09/04	Visite G. Domesche – stagiaire français
16/09/04	Formation Solagro – activité biologique des sols (=>17/09/04)
20/09/04	Démonstration de machines agricoles
01/10/04	Réunion ULG-Intradel
11/10/04	Présentation BRF – étudiants ISI
17/11/04	Visite C. Roisin
23/11/04	Rencontre P. Marbais – négociant en machines
24/11/04	Visite C. Bielders
07/12/04	Présentation BRF aux agriculteurs d’un CETA – Comblain-la-Tour
11/01/05	Réunion ULG – Intradel : groupe biotechnologies
14/01/05	Visite E. Sevrin : rédaction d’un article dans Lasne Nature

19/01/05 Participation à un séminaire sur l'antériorité – Interface Adisif
 24/01/05 Visite Mme Ashley et G. Villers : préparation d'un TFE
 28/01/05 Visite à Soumagne : Broyage
 31/01/05 Accueil G. Villers
 07/02/05 Visite P.Peten : élagueur
 18/02/05 Visite Greenotech
 15/03/05 Réunion P. Maraite – Clinique des plantes
 16/03/05 Visite Mme Ashley
 17/03/05 Réunion à Soignies – statistique TFE G. Villers
 18/03/05 Réunion ULG – Intradel : groupe biotechnologies
 25/03/05 Réunion ULG – Intradel
 29/03/05 Visite Interface Adisif C. Bister
 30/03/05 Participation à un séminaire d'agroforesterie – UE – Bruxelles
 04/04/05 Visite OWD – A. Bourgeois – J. Defoux
 14/04/05 Réunion à Soignies – TFE G. Villers
 15/04/05 Réunion Intradel
 27/04/05 Présentation BRF – cours ISI – E. Klein
 17/04/05 Visite D. Vanvyve – Station provinciale de Tinlot
 18/04/05 Visite au CTA de l'ambassadeur du Burundi
 30/05/05 Soutenance de thèse P. Coppens – KU Leuven
 23/05/06 Présentation du BRF dans le cadre de la journée d'étude : « L'agriculture biologique, ferment du développement écologique ? – université de Troyes.
 26/07/05 Réunion avec Katy Tosi et Laurent Marchal de Intradel : Production de BRF, coûts et perspectives.
 27/07/05 Visite au CTA de M. Lever, société Essent – Bruxelles Compost.
 01/08/05 Visite à la foire de Libramont, rencontre des agriculteurs du MAP, de l'UNAB,..
 09/08/05 Visite de Bruno Valette de Nature&Progrès au CTA.
 18/08/05 Accueil R. Werquin Stagiaire TFE BRF
 06/09/05 Visite au CTA de Richard Lambert (ECOP-UCL, Nitrawal)
 07/09/05 Visite au CTA de J-P Göebbels (IMG sa) dans le cadre d'un projet bois – énergie.
 08/09/05 Visite sur le terrain, chez Michel Gilbert (agriculteur)
 13/09/05 Réunion avec C. Bielders (GERU-UCL)
 19/09/05 Visite au CTA de Vincent Leonard (CEB)
 20/09/05 Participation à une journée d'étude Greenotech, rencontre avec Frédéric Thomas – TCS.
 21/09/05 Réunion avec le Prof. Lebrun (biol-UCL) concernant les méthodes d'analyse de la pédofaune.
 22/09/05 Réunion avec Laurent Marchal (Intradel)
 12/10/05 Participation (exposant) à un stand CTA au salon Best
 29/10/05 Présentation du BRF à un groupe de jardiniers – Ferme de la Vache - Liège
 05/11/05 Présentation des essais et du BRF dans le cadre du « Permacultour » à un groupe d'agriculteurs et de jardiniers
 09/11/05 Présentation du BRF au CA du CEB
 14/11/05 Présentation du BRF à un groupe d'agriculteurs à Strée
 23/11/05 Visite de L. Loupe (agriculteur) au CTA
 24/11/05 Réunion ECOP-UCL : R. Lambert, X. Sauvenier, A. Peeters
 06/12/05 Visite de M. Schockaert (jardinier) au CTA
 07/12/05 Rencontre de M. Demoulin de l'atelier environnement à Durbuy.

08/12/05	Rencontre de Mme Focant du parc naturel de Mehaigne – Burdinal
14/12/05	Visite au Prof. Culot (FSAGx)
09/01/06	Visite au cabinet du Ministre Lutgen, réunion avec M. Van Schingen et Peremans.
12/01/06	Réunion avec J. Defoux (OWD)
17/01/06	Contrôle du broyage à Soumagne
22-24/01/06	Présentation du BRF et participation au séminaire de Carqueiranne : Matières Organiques – INRA Avignon
30/01/06	Visite G. Toussaint : rédaction d'un article dans la Libre Belgique sur le BRF.
01/02/06	Conférence à Neufvilles, pour un groupe d'agriculteurs du MAP sur le BRF et l'humus
03/02/06	Visite du Ministre Lutgen au CTA – présentation du BRF
07/02/06	Conférence sur la méthode BRF à Gibecq, pour un groupe d'agriculteurs du FUGEA
08/02/06	Réunion Greenotech avec M. Parmentier – engrais Rosier
12/02/06	Accueil C. Gillard – Stagiaire BRF
15/02/06	Visite M. Culot – CTA
20/02/06	Visite V. Cantaert – Agriculteur Bio
23/02/06	Formation BRF au CTA pour agriculteurs Nature&Progrès- CEB
24/02/06	Visite et réunions à la FSAGx avec le Professeur T. Stevanovic
27/02/06	Visite M. Goëbells – projet bois énergie
01/03/06	Visite et présentation du BRF : M. Loose – pépiniériste
06/03/06	Accueil M. Tanguy – Stagiaire TFE BRF
07/03/06	Visite et présentation du BRF à l'association « Jardin de Cocagne » : maraîchage de promotion sociale.
08/03/06	Visite M. Glibert – agriculteur bio
09/03/06	Visite des essais « Wallicaterra » avec M. Parmentier
14/03/06	Visite HEPHO - TFE
04/04/06	Réunion M. Schwind – Déchets Verts
08/04/06	Présentation du BRF et tenue d'un stand à la JIGMOD à Paris
26/04/06	Visite M. Culot

Communications

Un des objectifs du projet est la communication des résultats vers le monde professionnel (agricole) et les milieux scientifiques.

Communications orales

Afin d'initier des contacts, nous avons, décidé de participer en qualité d'exposant à deux foires : Libramont et Valériane, dès 2004.



Nous avons également présenté le BRF à l'Association Royale d'Horticulture ; aux étudiants de l'ISI ; au cours de la journée de présentation des projets DGA organisée par le Ministre à Liège ; ainsi qu'au CETA de Fairon.

En 2005 et en 2006, nous avons mis l'accent sur la communication et participé à plusieurs manifestations. Nous avons présenté le BRF au cours de divers conférences, séminaires, salons :

Dans le cadre des journées de l'énergie, le 10 avril 2005, des visites étaient organisées au CTA. Nous avons saisi l'occasion pour présenter le projet BRF comme une autre façon de percevoir la biomasse et la gestion de l'énergie dans le cadre de l'agriculture.

Le 23/06/05, nous avons été invité à participer à la journée d'étude : « L'agriculture biologique, ferment du développement écologique ? » organisée par le doctorant Yvan Besson et l'association APHIFAAB à l'université de Troyes – France. Dans le cadre de cette journée, nous avons présenté le BRF dans le contexte de l'agriculture biologique.

Le BRF et l'agroforesterie ont été présentés également par d'autres chercheurs et introduits comme l'avenir de l'agriculture biologique.

Tenue d'un stand dédié au BRF durant le salon Valériane (septembre 05).

Participation au stand du CTA au salon Best (octobre 05)

Conférence sur le BRF et visite des parcelles expérimentales, précédé d'une visite de terrain chez R. Cocheli (agriculteur), dans le cadre d'un cycle (Permacultour) organisé par l'association belge de permaculture (tenu le 5 novembre 05).

Présentation du BRF et de la vie du sol à un groupe de jardiniers amateurs regroupés au sein de l'association « jardins solidaires – Ferme de la Vache » (tenu le 29 octobre).

Présentation du BRF et visite des essais, au Conseil d'Administration du centre d'essais bios (tenu le 9 novembre).

Information (14 novembre 05) sur l'avancée du projet à un groupe de 20 agriculteurs intéressés par le BRF, comprenant des agriculteurs bios et TCS principalement.

Participation et présentation du BRF au séminaire sur les matières organiques organisé par l'INRA de Avignon, les 22-24 janvier à Carqueiranne.

Conférence de présentation du BRF à des groupes d'agriculteurs MAP et Fugea, en février 2006.

Le 23 février 2006, organisation d'une formation BRF au CTA pour agriculteurs bios en collaboration avec Nature&Progrès et le CEB (70 participants).

Le 8 Avril 2006, tenue d'un stand en collaboration avec l'association « les jardins de BRF » et présentation du BRF à des agriculteurs dans le cadre de la JIGMOD de Paris.

En outre, on nous a demandé de réaliser des communications orales dans le cadre de 3 futures manifestations d'envergure :

- Le salon Valériane, en septembre, à Namur.
- Les rencontres de la haie – Auch Gers – Octobre 2006
- Un colloque sur le BRF : les rémanents en foresterie et en agriculture – Lyon – Février 2007

Communications écrites

- ❖ En 2004, un folder de présentation succinct (4 X A5) a été réalisé et imprimé, il est distribué aux visiteurs du centre.
- ❖ Des pages ont été mises en ligne sur le site www.ctastree.be
- ❖ En 2005, afin d'atteindre nos objectifs de communication, nous avons réalisé une brochure d'information « Plus de carbone pour nos sols » à destination des agriculteurs et des professionnels du secteur. Cette brochure de 38 pages a été distribuée lors de manifestations agricoles, expédiée par la poste sur demande, distribuée par le CEB ou l'atelier environnement à Durbuy aux agriculteurs intéressés, elle est également disponible au format pdf sur internet.
- ❖ Collaboration à un article portant sur le BRF, paru en décembre 2005, dans la revue Lasne Nature : « Le bois raméal fragmenté (BRF) », auteur : Erik Séverin.
- ❖ Encart dans la libre Belgique – supplément Brabant Wallon, le 5 décembre 2005.
- ❖ Rédaction d'un article de 2 pages publié dans le bulletin trimestriel de décembre 2005 du MAP : La Lettre – Bulletin de liaison des campagnes : « Le BRF, un outil pour une nouvelle agriculture ».
- ❖ Collaboration à un article d'une page, rédigé par G. Toussaint, paru dans La libre Belgique du 11-12 Février 2006 : « Et si on cultivait de tout bois ? ».
- ❖ Rédaction d'un article de 3 pages publié dans le Lien de Nature&Progrès –hiver 2005-2006 : «Le BRF en bio, une voie de fertilisation végétale » .
- ❖ Collaboration à un article de 3 pages, écrit par M. Vigneau publié dans le Sillon Belge du 24 mars 2006 : « Le projet BRF : Plus de carbone pour nos sols ».
- ❖ Collaboration à un article d'une page, rédigé par D. Dillen, publié dans Bioinfo – Mars 2006 : « Taïaut pour les taillis ».
- ❖ Co-rédaction d'un dossier de 4 pages sur le BRF publié dans la partie « Recherche et expérimentations » de la revue TCS – mars 2006 : « Le Bois Raméal Fragmenté, un outil pour doper les sols en matières organiques ».

Autres communications

Nous recevons régulièrement des demandes d'informations par Email, par téléphone et par courrier portant sur le BRF.

Au cours du projet, nous avons reçu individuellement de nombreux agriculteurs, scientifiques et autres professionnels.

Nous avons pu transmettre à ces personnes de la documentation, nous avons réalisé des visites de nos essais et des présentations selon les besoins.

La diffusion du présent rapport auprès des milieux scientifiques concernés permettra de compléter l'objectif de communication du projet.

Toutefois, au cours des démarches que nous avons entrepris et des contacts réalisés en vue de collaborations ou dans le cadre l'encadrement de TFE, nous avons pu présenter le BRF et les résultats partiels de nos essais à plusieurs membres de l'administration et du monde scientifique wallon, citons : C. Bielders, C. Roisin, P. Lebrun, M. Culot, P. Petit, J. Defoux, A. Bourgeois, S. Paduad, M. Nihoul, J. Dolpierre, A. Peeters, P. Dardenne, R. Lambert,... En outre, nous avons pu établir, et exploiter afin de communiquer des informations, une mailing liste de plus de 400 personnes intéressées par le BRF.

Intérêt international

Un intérêt important s'est marqué pour nos travaux, à un niveau international :

- Parmi ces contacts, citons les échanges réguliers avec le Professeur Lemieux – Université de Laval – Québec qui nous adresse ses parutions sur le BRF.
- La visite du Professeur Stevanovic – Université de Laval – Québec.
- Nous poursuivons également une communication avec Stéphane Hamptaux de la société Agroforestis – Canada. Agroforestis met actuellement au point un broyeur adapté à l'autoproduction de BRF et a une expérience de plusieurs années dans la fourniture de BRF à des agriculteurs.
- Nous avons reçu au CTA de nombreuses personnes intéressées, stagiaires, agriculteurs et expérimentateurs.
- Nous entretenons des contacts portant sur leurs expérimentations avec Gilles Domenech, Eléa Asselinau, Jacky Dupéty agriculteur sur BRF dans les Causses, en France,...
- Dans le cadre d'articles et de deux communications radios sur France culture (Jacky Dupéty - agriculteur et Daniel Henry – ACDI), nous avons été renseigné comme site de référence du BRF en Europe. Nous recevons de très nombreuses demandes d'informations par Email et téléphone. Ces contacts proviennent pour l'essentiel de France et de Belgique.
- Suite à quelques échanges et questions de sa part, nous avons reçu au CTA l'ambassadeur du Burundi, le 18/05/05, afin de lui présenter le BRF.
- Nous entretenons des contacts réguliers avec plusieurs associations françaises telle que : les jardins de BRF – E. Asselinau, l'APHIFAAB – Y. Besson, l'association d'agriculture de conservation – F. Thomas,...



Problématique et contexte

Disponibilité

Entrepreneurs et entreprises d'élagage

La rencontre, en début de projet, de plusieurs élagueurs et entreprises de travaux publics nous a permis d'établir que les flux transitant par ces prestataires (de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de m³/an par prestataire) sont par définition morcelés et irréguliers.

Si, mis ensemble, ces flux sont non négligeables, il semble nécessaire, afin d'initier une filière agricole, de disposer d'un flux majeur permettant d'assurer la sécurité des approvisionnements. Les plus petits flux pourraient alors s'intégrer, pour peu que l'administration en charge de la gestion des déchets y soit favorable.

Actuellement, les petits entrepreneurs se débrouillent généralement pour laisser sur place ou orienter vers une solution occasionnelle et officieuse le broyat qu'ils produisent. Les sociétés prestataires sur de plus gros chantiers (MET, SNCB,...) sont par contre tributaires du cahier des charges et parfois obligées d'évacuer de gros volumes, mais parfois aussi le cahier des charges leur laisse la possibilité de brûler sur place les branches. D'un point de vue pratique, la qualité du broyat est bonne, du point de vue de la granulométrie, dans les deux cas, un tri peut facilement être fait entre les chantiers feuillus et les chantiers conifères.

Haies champêtres

Parc naturel de Burdinal - Mehaigne :

La gestion du parc naturel propose aux habitants et agriculteurs, un service payant de taille de haies. Toutes les branches élaguées sont broyées et généralement emportées. Le broyat est ensuite vendu à un tarif de 10€/m³. Les habitants doivent venir le chercher aux locaux de la gestion du parc. Ce système intéressant n'est malheureusement pratiqué qu'à très petite échelle. En effet, les récoltes annuelles de broyat sont estimées à 50 voire 100 m³.

Asbl Atelier Environnement à Durbuy :

L'Atelier environnement propose un service de taille de haies à un nombre important d'agriculteurs de la région (250).

Au moyen d'un sécateur sur tracteur, les équipes coupent 100 m de haies/heure.

Les haies sont entretenues tous les 3 – 4 ans.

Chaque année, ce sont ainsi 100 Km de haies qui sont entretenues.

L'Atelier dispose d'un broyeur sur prise de force de tracteur, toutefois cet équipement ne semble pas adapté au travail réalisé. Son utilisation est fastidieuse, le temps additionnel nécessaire au broyage serait trop coûteux pour les fermiers. En conséquence, le broyeur est utilisé 5- 6 fois par an. L'essentiel des branches élaguées sont laissées sur place, en tas, ensuite l'agriculteur y met le feu.

Un rapide calcul permet d'évaluer à 5 000 m³/an la quantité de broyat que l'on pourrait produire au moyen de ces branches qui partent actuellement en fumée.

Afin d'éviter ce gaspillage, il faudrait d'abord pouvoir proposer aux agriculteurs une solution technique de valorisation en ferme du broyat (BRF). C'est pourquoi, nous avons proposé de collaborer avec l'Atelier Environnement afin de fournir une documentation technique aux agriculteurs concernés.

Pour que l'opération de broyage soit économiquement viable, il faudrait que l'Atelier puisse acquérir un matériel adapté.

A priori, l'idéal serait une machine puissante, autonome afin que le tracteur puisse servir de chargeur ; dont le procédé de broyage résiste aux pierres qui pourraient être introduites par erreur ; facile de chargement (grande bouche d'entrée, tapis roulant).

Nous avons trouvé une machine satisfaisant à ces critères sur le salon Agribex. Il s'agit du « MV Cobra Evolution DRI diesel » de la société Saelen, dont le coût est de 31 950 € HTVA.

Considération générales

Comme on le verra, une part importante du BRF qui pourrait être valorisé en agriculture pourrait provenir directement du monde agricole. On estime actuellement que la moitié du BRF rapidement disponible pourrait provenir de ce gisement.

Rappelons aussi que des mesures agri-environnementales favorisant la plantation de haies, de bandes boisées, de vergers peuvent aboutir à accroître le potentiel de production de rameaux du monde agricole.

En outre, de nouvelles pratiques tels que l'agroforesterie et le Taillis à Courte Rotation peuvent aboutir également à accroître le potentiel de production ligneux de notre agriculture et auront tout au moins pour conséquence d'accroître le parc outil wallon de matériel de collecte et de broyage.

Plate-formes de compostage

Intradel

Depuis le début du projet, Intradel est notre partenaire industriel. En effet, le 17 décembre 2003 monsieur R. Croughs – Directeur Général d'Intradel marque son accord pour la fourniture à titre gracieux de broyat en provenance du site de Soumagne. Ce broyat sera livré au CTA en 2004 et en 2005 (approximativement 400 m³ chaque fois), il permettra de réaliser des essais en champs et à l'étable ainsi qu'une caractérisation de la matière.

En 2005, grâce au soutien de M. Marchal, un essai de tri feuillus – conifères ainsi qu'un broyage criblé à 60 mm ont pu être réalisés avec succès. Ceci a montré la faisabilité de ces opérations et a permis d'obtenir un BRF de meilleure qualité.



Notamment dans le cadre de réunions du groupe de travail "biotechnologie" mis en place pour la gestion des déchets recyclables d'Intradel, l'Intercommunale a marqué son intérêt pour la création d'une filière BRF. Ces réunions ont eu lieu à l'initiative de l'Université de Liège et d'Intradel, dans le cadre du redéploiement industriel du bassin liégeois.

En outre, le BRF a été inscrit au plan stratégique d'Intradel.

L'Intercommunale dispose d'une plate-forme à Soumagne qui convient

parfaitement au tri du BRF de feuillus.

Un flux équivalent à 15 000 m³ de broyat transite sur cette plate-forme.

Suite à nos négociations avec Intradel, nous pensons qu'il serait possible de fournir du BRF, via cette filière, contre 2,5€/m³, livré en ferme.

Nos réunions avec ce partenaire ont permis d'établir de belles complémentarités : en effet, au cours de la période de culture, les tontes de pelouse sont produites en quantités et les intercommunales ou les prestataires privés actifs dans le compostage ont besoin des résidus ligneux afin de pouvoir composter ces matières peu structurées.

Cette période correspond à la période durant laquelle les agriculteurs n'ont pas besoin de BRF.

Par contre, en fin de saison (épandages d'automne) et en hiver (utilisation comme litière, épandages sur sol gelé), les besoins potentiels des agriculteurs sont importants et les matières ligneuses sont trop abondantes sur les plate-formes (élagages hivernaux).

En outre, les prestataires actifs dans le compostage sont souvent limités par des dalles sous-dimensionnées. Cette situation aboutit à un manque de place et donc à des tas de plus en plus élevés qui compostent mal, produisant des hydrocarbures polycycliques. Ce mauvais compostage peut être responsable de problèmes d'odeur (phénomène NIMBY) et parfois, du déclassement du compost, aboutissant actuellement à une coûteuse mise en CET qui pourrait devenir une coûteuse incinération, suite à l'interdiction de mise en décharge de classe 2 des matières organiques dès 2010.

L'extension de ces dalles représente des coûts importants pour la collectivité et suscite des levées de boucliers de la part des riverains, ce qui explique la volonté des intercommunales de diversifier leurs solutions de valorisation pour les matières organiques.

Rappelons que les matières fermentescibles représentent une part importante, généralement évaluée à la moitié, des déchets des ménages.

Rappelons également que, parmi ces déchets, le BRF représente la fraction non biométhanisable et constitue plus de la moitié des déchets verts.

Ceci explique qu'une filière de valorisation « BRF » qui serait établie en collaboration avec Intradel, pourrait certainement être étendue à d'autres Intercommunales en Wallonie.

Concurrence de la valorisation énergétique

On parle beaucoup de valorisation énergétique et d'énergies vertes actuellement. Il faut probablement s'attendre à une certaine concurrence pour le BRF de la part de sociétés telles que Seco Bois par exemple. Toutefois, remarquons qu'il n'existe actuellement aucun prix de marché pour ce type de matières, ceci montre bien que la concurrence n'est pas encore effective.

Par contre, les plaquettes de bois sec (humidité < 25%) se vendent actuellement à 22€/m³ livré. On comprendra, en se référant à la partie de ce rapport concernant le stockage, que le BRF « déchet », entreposé sans précautions particulières, se gorge très rapidement d'eau, ce qui réduit fortement son PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur).

Selon Y. Schinzof – Xylowatt, il existerait actuellement suffisamment de bois « déchet » sec et, à coût faible voire négatif sur le marché, pour satisfaire les besoins énergétiques de la filière actuelle.

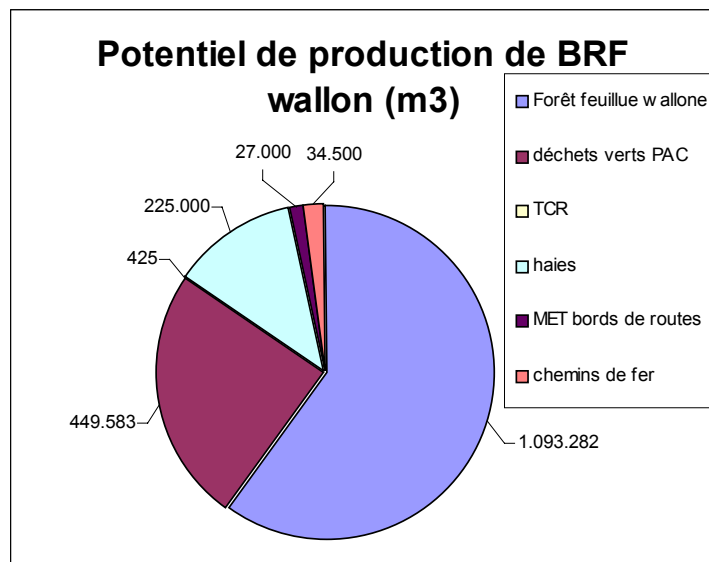
Notons que la prévisible production de bois énergie au départ de taillis devrait participer à diffuser un mécanisme adapté et des techniques culturales exploitables pour la production de BRF.

Le facteur d'échelle et la logistique mise en place pourront aussi contribuer à réduire les coûts.

Ce seront ensuite les mécanismes du marché qui décideront quelle sera la finalité de la matière produite.

Evaluation du flux total

Notons d'abord que les quantités de déchets verts collectés en Wallonie dépassent toutes les prévisions¹⁶, parmi ces matières une grande partie est constituée de rameaux.



Afin d'évaluer cette ressource, nous avons compilé les résultats d'un rapport récent : L'inventaire ERBE¹⁷ 2003. Les données de ce rapport rendent compte de la situation en 2000.

Nous avons exprimé ces données en m3 apparents, broyés, de BRF.

L'évaluation du potentiel forestier représente la part de résidus annuellement broyés, brûlés ou laissés sur place (hors production de bois).

Les taillis à courtes rotation (TCR) ne se développent pas pour l'instant en Wallonie, ce mode de production

revient encore relativement cher (10 à 15 €/m3). Les quantités produites sont actuellement minimales (évaluées à 425 m3/an). Selon une projection [Jossart et al.¹⁸, 1999], le potentiel du TCR pourrait atteindre 1.525.000 m3/an de BRF en Wallonie.

Dans le cadre des MAE (Mesures Agri-Environnementales), les agriculteurs qui désirent entretenir une haie peuvent recevoir des primes qui encouragent actuellement le maintien, l'entretien et l'accroissement de ce potentiel. La longueur de haies présente en Wallonie est estimée à 15 000 km [Walot & Rouxhet¹⁹, 2000]. Nous estimons la productivité moyenne d'une haie à 3 tonnes de matières sèches par hectare et par an [Chevallier & Bazin²⁰, 1985]. Ce qui représente 225 000 m3 de BRF par an en Wallonie, pour les haies champêtres actuelles, ce qui représente un flux équivalent à la part du flux des Intercommunales que l'on pourrait aisément rediriger vers une filière BRF.

Bien sûr, ces évaluations restent grossières, elles ne tiennent pas compte de sources sur lesquelles il existe peu de données. Par exemple, les communes et les sociétés d'égoutage qui entretiennent des espaces privés ne sont pas référencées.



¹⁶ Gouvernement wallon, *Horizon 2010 Plan Wallon des Déchets*, Ministère de l'environnement, des ressources naturelles et de l'agriculture pour la région wallonne, pp. 612, 1998.

¹⁷ Marchal, D., Grulois, C., Vankerkove, R., *Inventaire des ressources de biomasse ligneuse en région wallonne*, ERBE, pp. 63, 2003.

¹⁸ Jossart, J.M., Goor, F., Nerinckx, X., Ledent, J.F., *Le taillis à très courte rotation, alternative agricole*. Université Catholique de Louvain – Faculté des sciences agronomiques, Laboratoire d'écologie des grandes cultures, pp. 170, 1999.

¹⁹ Walot, T., Rouxhet, S., *Evaluation environnementale de la mesure "conservation des haies et bandes boisées"*. GIREA, pp. 29, 2000.

²⁰ Chevalier, D., Bazin, P., *Etude des potentialités et de la valorisation des ressources des haies bocagères de Basse-Normandie*, Ministère de l'agriculture – Paris, pp. 54, 1985.

Le total des sources référencées représentent 1.829.790 m³ de BRF/an. Afin de tenir compte des sources non référencées, arrondissons à 2.000.000 m³/an.

Une part seulement de ce potentiel sera accessible, en effet il n'est pas toujours possible de sortir les résidus d'exploitation forestière, les déchets verts des parcs à conteneurs (PAC) contiennent des proportions de résineux et de tontes de pelouses, une partie des haies est exploitée en bois de feu,...

Pour toutes ces raisons, nous estimons que la ressource actuelle exploitable représente 1.000.000 m³/an en Wallonie. La moitié de cette ressource serait rapidement exploitable, soit 500.000 m³/an. Comme on l'a vu, la moitié de la part rapidement exploitable proviendrait du monde agricole.

Législation :

Niveau wallon

Le Bois Raméal Fragmenté est un matériau naturel, brut, toutefois, en fonction de son mode de production il peut être considéré comme un déchet dans certains cas (élagage d'un bord de route par une société spécialisée => déchet ; taille de ses propres haies par le fermier qui l'utilise => produit).

L'arrêté du Gouvernement wallon du 14 juin 2001 favorise la valorisation de certains déchets (le BRF n'en faisant pas partie) et fixe les conditions d'obtention d'un certificat d'utilisation d'un déchet.

Le décret relatif aux déchets (27 juin 1996) pourrait donc s'appliquer au BRF, lorsque celui-ci n'est pas produit sur la ferme.

Il faut obtenir du Ministre wallon, via l'OWD, un certificat d'utilisation pour le BRF, afin de pouvoir valoriser les matières produites par les Intercommunales. A ce jour, aucun certificat d'utilisation « BRF », pour une application directe du matériau frais en Wallonie, n'a encore été délivré.

Ces certificats sont actuellement attribués au cas par cas, faute d'une législation spécifique. Notons que le BRF satisfait aux objectifs de la protection des sols, en effet, il présente un intérêt spécifique dans la gestion des nitrates et de l'érosion, adapté à certaines situations agricoles.

Visant à combler le vide législatif en matière d'épandage d'amendements organiques en Wallonie, une législation est en chantier. Suivant la note d'orientation adoptée par le Gouvernement wallon, le 20/07/00, l'objectif de cette législation serait de fixer une liste positive restreinte de matières pouvant être valorisées en agriculture. Dans une précédente proposition technique du 09/01/03 concernant cette législation, le Bois Raméal Fragmenté figurait nominativement dans la liste positive catégorie I des matières présentant le moins de risques et pouvant être valorisées en agriculture. Comme on le voit, le projet de cette réglementation existe depuis plusieurs années, il semble toutefois que la volonté politique soit d'aboutir pour début 2007.

D'autre part, l'arrêté du gouvernement wallon relatif à la gestion durable de l'azote (10 octobre 2002) limite l'apport de fertilisants organiques sur une terre agricole. Cet arrêté est le pendant régional de la directive européenne 91/676/CEE, du 12 décembre 1991, concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles. Cette directive limite les apports d'azote sous forme d'effluents d'élevage.

S'il est clair que le BRF en tant que tel ne peut pas être considéré comme un effluent d'élevage, la question s'est posée, notamment au cours des comités d'accompagnements du projet, de savoir si l'azote qu'il contient devait être comptabilisé au titre d'azote organique selon le PGDA. Comme nous l'avons vu dans la partie concernant la gestion de l'azote relative aux essais menés sur les blocs 30 et 90, une lecture attentive de la loi nous apprend que l'azote contenu dans le BRF ne correspond pas à la définition d'azote organique au sens du PGDA. D'autre part, les résultats expérimentaux des blocs 10, 30 et 90, confirmés par les résultats des blocs 20, 40, 50 et 80 montrent que le BRF concourt aux objectifs du PGDA. Le BRF en temps que tel satisfait au PGDA et l'azote qu'il contient ne devrait pas être comptabilisé dans le calcul du taux de liaison au sol, vu son action fixatrice et humificatrice. Dans le cadre de la prochaine proposition de modification du PGDA, Richard Lambert (ECOP-UCL) a été chargé par la cellule de coordination de Nitrawal d'examiner la possibilité de créer une troisième classe regroupant des matières susceptibles d'avoir une action fixatrice d'azote dans le sol. Le BRF pourrait trouver sa place dans cette classe et faire l'objet d'une mesure favorisant son utilisation en agriculture.

Niveau belge

À un niveau fédéral, le BRF ne figure pas à la liste positive (Annexe II – Chapitre III) de l'Arrêté Royal du 7 janvier 1998 relatif au commerce des engrais, des amendements du sol et des substrats de culture. Notons toutefois que suivant l'art 3 – 5°, l'AR du 7/01/98 ne s'applique pas au BRF produit sur la ferme suite à la taille d'une haie par exemple. Ce matériau peut donc être utilisé comme amendement librement par l'agriculteur. Or, il s'agit physiquement de la même matière (BRF) qui est produite par un élagueur ou sur un chantier de broyage – compostage.

Signalons également que le BRF est une matière première des composts de déchets verts qui sont actuellement valorisés en agriculture selon les dispositions légales en vigueur, on trouve en effet : « amendements organiques mélangés » et des composts dans la liste positive de l'AR du 7/01/98. Dans l'état actuel des choses (vide juridique) il faut donc obtenir une dérogation du ministre fédéral de l'agriculture afin de pouvoir commercialiser du BRF au titre d'amendement.

Panorama européen

Dans le règlement (CEE) N.2092/91 du 24/06/91 concernant le mode de production biologique de produits agricoles (JO n.L 198 du 22.7.1991), les « sciures et copeaux de bois » font partie de la liste positive des produits autorisés à titre exceptionnel pour l'amélioration du sol et la fumure (Annexe II A. Engrais et amendement).

Le BRF satisfait également à la définition « d'amendement pour sol » et pourrait concourir à l'obtention d'un label écologique européen selon la décision de la commission du 28 août 2001 (2001/688/CE).

Une nouvelle directive européenne concernant la protection des sols et les problématiques d'érosions pourrait attirer l'attention sur les matières humifiantes et amener à considérer l'apport de matières organiques sous un angle différent.

Déjà la communication de la Commission, du 16 avril 2002, au Conseil, au Parlement européen, au Comité économique et social et au Comité des régions : Vers une stratégie

thématique pour la protection des sols (COM (2002) 179), attire l'attention sur la diminution des taux de matières organiques des sols agricoles.

Une législation est actuellement à l'étude et a donné lieu à une consultation publique, il y a quelques mois, concernant la protection des sols.

D'autre part, il faut également s'attendre à la prise en compte du stockage de carbone dans les sols agricoles²¹ dans le cadre du protocole de Kyoto.

Notons par ailleurs, qu'une réglementation hollandaise récente, avalisée par la Commission, prévoit la prise en compte d'une partie seulement (10%) de l'azote présent dans les composts industriels dans les calculs d'épandage : "Regeling van de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit van 4 november 2005, nr. TRCJZ/2005/3295, houdende regels ter uitvoering van de Meststoffenwet (Uitvoeringsregeling Meststoffenwet)".

D'autre part, en France, il semble que les épandages de biomasse sont autorisés après hygiénisation. À cet égard, une mise en tas pendant une dizaine de jours est nécessaire et provoque une montée en température suffisante (65 °C-70 °C). D'autre part, le compostage en bout de champ est autorisé pour des quantités n'excédant pas 10 tonnes par jour et par exploitation de produits finis, soit 3650 t/an. Au-delà, les matières organiques doivent nécessairement passer par une plate-forme de compostage agréée. Ce cadre légal ouvert permet à des agriculteurs d'exercer une activité complémentaire de traitement de déchets verts tout en produisant eux-même leurs amendements.

Problématique BRF en Wallonie : contexte agro-environnemental

Comme on le voit, le BRF est un amendement qui permettrait d'accroître les taux d'humus et de lutter contre l'érosion des sols, tout en limitant les infiltrations de nitrates.

Ceci s'inscrit dans un contexte de carence en matières organiques humifiantes et d'excès de matières organiques nitrifiantes.

La législation limite et limitera de façon croissante l'usage de fertilisants organiques en Wallonie, elle ne dit toutefois pas encore grand chose des amendements organiques.

Les données Réquasud montrent que les taux d'humus dans les régions limoneuses et sablo-limoneuses du nord du sillon Sambre et Meuse sont trop faibles. La sensibilité à l'érosion de ce type de sol est bien connue (C. Bielders – UCL). En Wallonie, seules les Ardennes, hautes Ardennes et la région herbagère y adossée, sont bien pourvues en humus.

Cette situation est décrite dans le tableau de bord de l'environnement wallon 2005. Si, globalement en Wallonie, les taux de carbone dans le sol augmentent, ils diminuent de 10% au cours des 40 dernières années, sur les terres de cultures. En outre, les diminutions sont les plus fortes, là où les taux de carbone sont déjà les plus faibles, dans les régions (sablo) – limoneuses du nord du sillon Sambre et Meuse, particulièrement sensibles à l'érosion.

Il semble donc que, depuis 40 ans, la gestion des matières organiques ait abouti à leur accumulation dans les sols naturellement protégés de l'érosion (forêts, prairies permanentes) et à leur raréfaction dans les régions à risque, rendues sensibles à l'érosion par un travail du sol plus intensif.

²¹ INRA, Stocker du carbone dans les sols agricoles en France ?, pp. 333, 2002.

Parmi les matières humifiantes pouvant intervenir localement dans le redressement des taux d'humus, le BRF occupe une place de choix, ceci de par les quantités disponibles et l'importance de son impact sur l'augmentation des taux de carbone dans les sols de culture.

Un nombre croissant d'agriculteurs (TCS, agriculture bio, petite agriculture) en Wallonie sont conscients de la nécessité d'entretenir la « fertilité physique » des sols en augmentant les taux d'humus ou en limitant leur dégradation.

Ces agriculteurs manifestent actuellement leur enthousiasme pour le BRF, il est important de ne pas les décevoir.

En effet, plusieurs itinéraires techniques permettent une valorisation optimale du BRF en agriculture. Parmi ces itinéraires, on trouve l'utilisation en litière d'élevage (valeur équivalente 3,2 €/m³ de BRF), l'incorporation directe (valeur des nutriments = 4,3 €/m³ de BRF) en association avec une légumineuse ou avec des effluents d'élevage, l'utilisation en mulch.

Selon les itinéraires, les quantités de BRF disponibles devraient permettre de gérer durablement la fertilité de 15.000 à 50.000 ha de terres agricoles en Wallonie.

L'association BRF + légumineuse intéresse tout particulièrement l'agriculture biologique. Cette association quintuple le pouvoir fertilisant du BRF, en exploitant l'immobilisation de l'azote du sol ou « faim d'azote » afin de stimuler la fixation symbiotique d'azote.

En 2004, seulement 43,5% du lait bio produit en Wallonie a été valorisé en bio²².

Parallèlement, nous importons 70 % de nos fruits et légumes et 90% de nos céréales panifiables ; 70% des céréales fourragères bios sont également importées²³.

Différents facteurs interviennent et expliquent en partie ces chiffres : coût de la main-d'œuvre dans les nouveaux états membres et dans les pays du sud de l'Europe, facteurs climatiques, politique de prix dans la grande distribution,...

Néanmoins, cette répartition souligne aussi un problème structurel : la dépendance du modèle de fertilisation bio wallon à l'élevage : les cultures associées graminée + légumineuse doivent être valorisées en alimentation animale. L'auto-production de fertilisants repose sur les effluents d'élevage. Les coûts élevés de la main d'œuvre ne permettent généralement pas de disposer de suffisamment de bras pour envisager le maraîchage à grande échelle en plus de l'élevage.

L'utilisation en bio de l'association BRF + légumineuse permettrait d'accroître le potentiel de fertilisation du bio et de diminuer sa dépendance à l'élevage afin de mieux satisfaire la demande du marché intérieur wallon.

L'utilisation du BRF, produit à proximité, permettrait d'éviter, en agriculture biologique, l'importation coûteuse (estimé à 500€/ha) de fertilisants tels que guano, algues marines,...

Dans le cadre d'une projection sur 5 ans, nous avons estimé à 50€/ha le coût du BRF.

Le Centre d'Essais Bio, le Mouvement de l'Agriculture Paysanne, la Fédération Unie de Groupements d'Éleveurs et d'Agriculteurs, l'association Nature&Progrès soutiennent la valorisation du BRF en agriculture, en Wallonie.

Signalons que, dans l'attente d'un programme et d'un suivi plus ambitieux, des essais de culture de légumineuse sur BRF, en maraîchage bio, ont été initiés en mai 2006, par le CEB, dans le cadre du programme Interreg, chez l'agriculteur Michel Glibert, dans le Hainaut.

Dans le contexte de la problématique nitrate, le BRF peut aider efficacement à diminuer les APL. Certains itinéraires pourraient être développés afin de valoriser cet effet. Citons à titre

²² Bioforum, *le paysage de l'agriculture biologique en chiffres*, 2005

²³ E. Hennot, B. Kestemont, J. Vlerick, ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA COMMERCIALISATION DES PRODUITS BIOLOGIQUES, ULB, IGEAT, 2003

d'exemple l'application d'une dose calculé de BRF avant les déchaumages à répétitions parfois pratiqués en non-labour :

Afin de diminuer le stock semencier des adventices et les repousses, sans recours à l'herbicide, certains agriculteurs pratiquent plusieurs déchaumages successifs en fin de saison de culture. Cette pratique accroît le risque de minéralisation de l'humus et retarde l'implantation (et donc diminue l'efficacité) d'un CIPAN (Culture Intercalaire Piège à Nitrates).

L'application de BRF avant le premier déchaumage permettrait l'incorporation de ce dernier sans passage supplémentaire, l'augmentation des taux d'humus et le stockage de l'azote excédentaire dans l'humus formé. Cette pratique permettrait de limiter les APL en complétant l'action du CIPAN et introduirait le BRF à un endroit approprié dans les rotations et pratiques de non-labour.

La bonne gestion de la ressource pose également question :

Le gisement total est estimé à 2.000.000 m³/an, il est actuellement valorisé selon différentes voies : brûlé ou laissé sur place, utilisation en matériau de recouvrement pour CET de classe 2, compostage. On évoque également la possibilité d'une valorisation énergétique à grande échelle. Ces solutions ne sont pas pleinement satisfaisantes ce qui justifie l'exploration de nouvelles voies :

- Une directive européenne prévoit l'interdiction de mise en décharge des matières organiques fermentescibles dès 2010. Ceci devrait empêcher la valorisation du BRF en matériau de recouvrement, en CET.
- La combustion sur place (haies champêtres), en marge de la légalité, occasionne l'émission de 275 kg de CO₂ par m³ équivalent de BRF brûlé. Alors que la moitié de cette quantité pourrait être fixée utilement dans l'humus des sols agricoles, selon la technique canadienne d'incorporation directe.
- L'abandon sur place du matériau broyé n'est pas toujours possible. En outre, il n'est pas toujours opportun d'enrichir (à long terme) les sols au moyen de BRF. Stimuler la croissance des plantes sur un talus de chemin de fer ou un bord de route, c'est s'exposer à devoir l'entretenir plus fréquemment.
- Le compostage représente un coût important, estimé à 36€/T. En outre, ce procédé, qui aboutit à un produit aux vertus agronomiques bien connues, induit des pertes importantes en carbone, estimées à 2/3 du C initial. Les principaux freins actuels au compostage sont le phénomène Nimbi et les problèmes de qualité. En effet, les dalles sont actuellement à saturation. Des tas trop hauts induisent la formation de composés aromatiques pouvant provoquer le déclassement du compost. D'autre part, les problèmes d'odeurs qui peuvent en résulter, suscitent des oppositions de la part des riverains et empêchent de ce fait l'extension des dalles.
- La valorisation énergétique du BRF par voie anaérobie n'est pas réaliste. En effet, seulement 5% du carbone contenu dans le BRF est biométhanisable. La valorisation par combustion se heurte à des problèmes logistiques. En effet, le bois, une fois broyé, est susceptible de s'humidifier rapidement. Un tas laissé dehors peut prendre plus de 100 kg d'eau/ m³ en 15 jours de stockage. L'humidité du BRF « déchet » est en moyenne de 75%, ce qui rend peu intéressante sa valorisation par combustion.

Conclusions

Conclusions techniques

Evolution des paramètres

Quelques mois après l'incorporation de BRF, malgré des apports initiaux importants, les APL se réduisent fortement et se stabilisent proches du niveau de détection des méthodes de dosage. Sur les blocs traités, malgré des prélèvements par la culture (l'azote organique, non lessivable, semble rester disponible pour la culture, via des canaux biologiques) qui peuvent être nettement plus important et significativement différents du témoin : APL = 30kg/ha en moyenne sur le bloc 10 ; APL aux alentours de 20 kg N/ha sans préjudice pour la culture, sur les blocs 20, 40 et 50 ; APL à respectivement 30 (fumier de BRF composté) et 20 (BRF + lisier) kg N/ha, sur le bloc 80.

Ce phénomène s'explique par le stockage dans l'humus des 15 premiers centimètres du sol, constatés sur les blocs 10 et 40, de quantités d'azote équivalentes aux apports organiques.

En effet, dans nos conditions, le sol « digère » 143 m3 de BRF/ha.an, ces quantités sont transformées en CO2 et en humus selon un coefficient iso-humique de 50%, entraînant la production de 75 kg d'humus/m3 de BRF.

Or, l'humus contient entre 40 et 50 kg d'azote/tonne. Les quantités d'humus formées suite à l'apport de BRF entraîne le stockage dans les 15 premiers centimètres du sol de 1.2 kg N/m3 de BRF épandu, en provenance d'autres sources (légumineuses, azote minéral résiduel, apports).

Il est établi que l'azote présent dans le BRF n'intervient pas directement dans la fertilisation de la culture.

L'immobilisation de l'azote du sol après l'épandage de BRF exprimé en pourcentage de l'azote minéral présent ou libéré au cours de la première année par les autres apports est calculable selon une formule du type : **% immobilisation de l'azote = 27% + 7.5%/100 m3/ha** de BRF épandus. Cette formule permet de calculer la part de la fertilisation qui n'interviendra pas au niveau de la culture. On pourra aisément compenser ce déficit de la première année, sans préjudice pour les rendements.

L'apport de BRF n'a pas eu de conséquence négative sur les autres propriétés chimiques des sols traités : on a notamment constaté le maintien du pH, l'augmentation de 21% du magnésium soluble, de 12% du phosphore soluble, de 7% du calcium soluble et de 34% du potassium soluble sur les blocs traités.

L'accroissement des capacités de stockage d'eau du sol traité (humidité/sol sec = + 5% par rapport au témoin) a été constaté. Cet effet est de l'ordre de grandeur des capacité de stockage mécanique de l'eau par le bois (350 l/m3 apparent de BRF).

La biostimulation de l'ensemble de la flore du sol, principalement pendant les 6 premiers mois, et des champignons (jusqu'à X 10) pendant 2 ans a également été mesuré.

En moyenne, sur la période, les résultats significativement différents du témoin représentaient, proportionnellement à ce dernier : 538% pour les champignons, 219% pour les actinomycètes, et 173% pour la flore totale.

Ce phénomène combiné à l'augmentation des taux d'humus, est probablement à l'origine, directement ou indirectement, de la multiplication par trois de la vitesse d'infiltration de l'eau dans le profil des sols traités au BRF, mesuré sur les blocs 10 et 20.

En ce qui concerne le comportement de la culture, on a observé une corrélation entre la fertilisation azotée complémentaire et les rendements (bloc 30), la poursuite de la faim d'azote durant deux cultures sur les blocs recevant uniquement du BRF (bloc 10) a également été observée.

D'autre part, l'accroissement des rendements et des prélèvements en azote suite à une première culture de légumineuse ou à une fertilisation azotée complémentaire en première année a aussi été constaté.

Notons l'accroissement significatif des prélèvements azotés (teneur en protéines) d'une culture de maïs sur les blocs traités au BRF, après une première année de trèfle + ray grass sur le bloc 10, ceci sans augmentation importante des reliquats nitrates ; l'augmentation du prélèvement azoté d'une culture de betteraves sur le bloc 20 et le maintien de rendements équivalents suite à l'application de la loi d'immobilisation établie grâce aux dispositifs 30 et 90, sur le bloc 20 ; l'accroissement significatif des rendements et des prélèvements azotés sur maïs, sur un bloc (dispositif 80) traité au moyen de fumier de BRF composté, accroissement des rendements et accroissement significatif des prélèvements azotés sur un bloc traité au BRF + un complément calculé de lisier ; l'accroissement des rendements et des prélèvements azotés sur une première culture de luzerne (bloc 40).

Notons également l'augmentation ou le maintien du taux de germination et l'augmentation significative du taux de germination de la culture sur certains blocs traités au BRF avec un complément azoté.

D'autre part, des améliorations qualitatives sur froment d'hiver ont été constatées : augmentation du taux de protéine (matières azotées) et de l'indice de Zélény sur les blocs traités au BRF.

On a également observé la limitation de la flore adventice sur une première culture de luzerne. Aucune différence significative des maladies fongiques n'a été constatée sur céréales.

Les autres dispositifs ont permis d'établir que 1,5 m³ de BRF paille 100 m²/j, un m³ de BRF équivaut à 40 kg de paille en litière bovine.

La température atteinte après 4 jours de stockage en tas du matériau est 70 °C, en cas de stockage en extérieur pour une période relativement longue, en vue d'une utilisation en litière, le bâchage du tas peut être intéressant afin d'éviter son humidification excessive.

La proportion du carbone BRF biométhanisable a été évaluée à 5%.

L'utilisation en mulch a permis de réduire la mortalité des jeunes arbres de 57% à 10%.

Recommandations techniques

Valorisation par épandage et incorporation directe

Les essais sur 11 grandes cultures donnent une idée de la manière d'intégrer le BRF dans la rotation. Certaines cultures ou types de cultures ont montré des comportements intéressants :

- Une première culture de légumineuse pure peut tirer profit de l'incorporation récente de BRF frais (effet dés herbant naturel), d'autre part, l'apport azoté de la légumineuse complète bien l'apport du BRF et peut être capitalisé dans l'humus formé, au profit des cultures suivantes. Une jachère comprenant des légumineuses présente également le même avantage et peut être implantée avec bénéfice juste après l'épandage.
- Ensuite, le maïs a montré une très bonne capacité à mobiliser l'azote de l'humus et à en tirer profit (taux de protéines).
- Enfin, une culture de céréale peut tirer des avantages qualitatifs de l'apport du BRF (Zélény, taux de protéine, résistance aux maladies fongiques).

D'une façon générale, l'application en champs pourrait suivre l'itinéraire suivant :

1. Stocker le BRF une semaine en tas avant l'épandage, afin de permettre une certaine hygiénisation, par mesure de précaution.
2. Épandre en bonnes conditions (sol sec, après récolte ou sol gelé en hiver) sur les chaumes (sol non travaillé) ; épandre perpendiculairement au sens habituel de travail, ceci afin d'éviter le tassement et la subsistance de compactions pouvant gêner la culture.



3. Au moyen d'un outil combiné, décompacter le sol et mélanger le BRF grâce à une fraise à couteaux droits (mélange sur 12 cm) en passant perpendiculairement à l'épandage afin de briser les traces.



Alternativement, incorporer durant les déchaumages multiples, une dose de BRF calculée en fonction des APL habituels : 1 m³ de BRF/1.2 kg N APL à stocker.

4. Semer une première culture de légumineuse ou alternativement, apporter un complément azoté, par exemple sous la forme d'effluents d'élevages selon la formule :
% immobilisation = 27% + 7.5 %/100 m³/ha de BRF épandu.



Valorisation en litière d'élevage bovine

1. Stocker le BRF sous une bâche perforée, à l'abri des intempéries ou l'utiliser rapidement.
2. Pailler selon l'équivalence 40 kg de paille = 1 m³ de BRF ou encore 1,5 m³ de BRF/j. 100m².
Alternativement, pour du bétail salissant, épandre une couche de 10 cm de BRF au fond de l'étable, recouvrir les bouses de BRF à la fourche jusqu'à salissement de la litière. Continuer ensuite normalement, au moyen de paille.
3. Composter le fumier de BRF en bord de champs avant l'épandage.

Conclusion générale

Au cours de ce projet, nous avons pu tester le BRF appliqué en champs sur plusieurs dispositifs. Un grand nombre d'analyses de suivis ont été menées.

Les résultats obtenus sur les dispositifs 10 simulent en champs l'application du BRF dans le contexte wallon des grandes cultures avec 12 répétitions de la même dose de BRF. Les dispositifs 30 et 90 testent avec 3 répétitions respectivement 7 et 6 doses d'azote et 5 doses de BRF sur des micro-blocs. Les données récoltées sur ces dispositifs ont permis d'établir des lois ou des valeurs décrivant les processus.

Les dispositifs 20, 40, 50, 80 sont des dispositifs plein champs. Ils ont permis de mettre à l'épreuve et de confirmer les enseignements des blocs précédents.

Au total, les cultures suivantes ont été testées sur sol traité au BRF : orge brassicole, jachère – tournière, prairie temporaire – trèfle + ray grass, maïs fourrager, pommes de terre, froment, épeautre, escourgeon, betteraves, luzerne et orties. Aucun problème spécifique à une culture n'est apparu.

Les obstacles techniques à la valorisation agricole directe du BRF ont été levés, citons les problèmes de compaction suite à l'épandage et l'incorporation du matériau qui ont été résolus par un machinisme et un calendrier adapté.

Dans certains cas, le BRF a induit des chutes de rendements sur les premières cultures. Cet effet a pu être attribué à l'immobilisation de l'azote minéral du sol. Une bonne gestion de la fertilisation a permis de résoudre ce problème, grâce, notamment, à l'application d'une loi décrivant l'immobilisation, établie sur les blocs 30 et 90.

En outre, cette immobilisation de l'azote ou faim d'azote, dès lors qu'elle est connue et prévisible, peut être utilisée au service de l'agriculture et de l'environnement.

Il est maintenant possible d'exploiter la capacité du BRF à stocker de l'azote sous forme organique, dans les premiers centimètres du sol, dans le cadre d'une fertilisation organique respectueuse de l'environnement. Sans préjudice pour la culture mais au bénéfice qualitatif, voire quantitatif de celle-ci, le BRF peut être associé à du lisier par exemple ou à une première culture de légumineuse, afin de constituer des stocks valorisables par les cultures suivantes.

Aucun autre problème pouvant pénaliser la culture n'a été mis en évidence.

On a notamment pas constaté de chute du pH, de diminution de la disponibilité d'autres nutriments que l'azote, d'inhibition de la germination ou de problèmes phytosanitaires liés au BRF.

En outre, le BRF est un matériau naturel, ne présentant pas de risques particuliers. Les concentrations en métaux lourds relevées sur 5 échantillons représentatifs du BRF disponible en Wallonie étaient nettement en-dessous des normes.

Par contre, des augmentations très importantes des taux d'humus, une forte bio-stimulation et des effets positifs sur la vitesse d'infiltration de l'eau ont été mesurés.

Dans certains cas, on a constaté des améliorations qualitatives de la culture.

D'autres itinéraires tels que l'utilisation en mulch, en litière ou en stabilisation du passage des bêtes ont également été testés avec succès.

Ces éléments invitent à favoriser l'utilisation du BRF en agriculture wallonne, inclure le BRF dans la prochaine révision du PGDA et dans le cadre de la future loi favorisant la valorisation en agriculture de matières organiques, pourrait concourir à cet objectif.