

LA FERTILISATION EN CULTURE DE MAÏS C.I.P.F. (JFr. Oost)

1. INTRODUCTION

L'utilisation des engrais en culture de maïs et plus spécifiquement de l'azote a traditionnellement été considérée dans un contexte de rentabilité et de rendement optimum.

Aujourd'hui, il faut se rendre à l'évidence, il est nécessaire d'adapter ces pratiques traditionnelles et de les harmoniser au mieux avec le facteur environnement.

En tant que tête de rotation, le maïs ensilage est certainement l'une des cultures qui reçoit les apports azotés les plus importants; ceux-ci se retrouvent sous forme minérale mais encore bien d'avantage sous forme organique. Ainsi dans les exploitations avec un important cheptel bovin ou porcin, de grandes quantités de fumier ou lisier sont régulièrement appliquées sur les terres réservées au maïs. Ces apports organiques supposent la libération à plus ou moins long terme de quantités non négligeables d'éléments fertilisants (dont de l'azote sous forme minérale) qui seront mis à la disposition de la plante.

2. LES BESOINS DU MAÏS

Les besoins du maïs pour boucler son cycle sont approximativement les suivants:

élément	kg/ha	élément	g/ha
N	240	B	75
P ₂ O ₅	90	Cu	90
K ₂ O	270	Zn	600
CaO	60	Mn	1.800
MgO	40		
SO ₃	65		

Chacun de ces éléments aura son rôle pour la culture et un apport optimum de ceux-ci contribuera à atteindre le meilleur rendement.

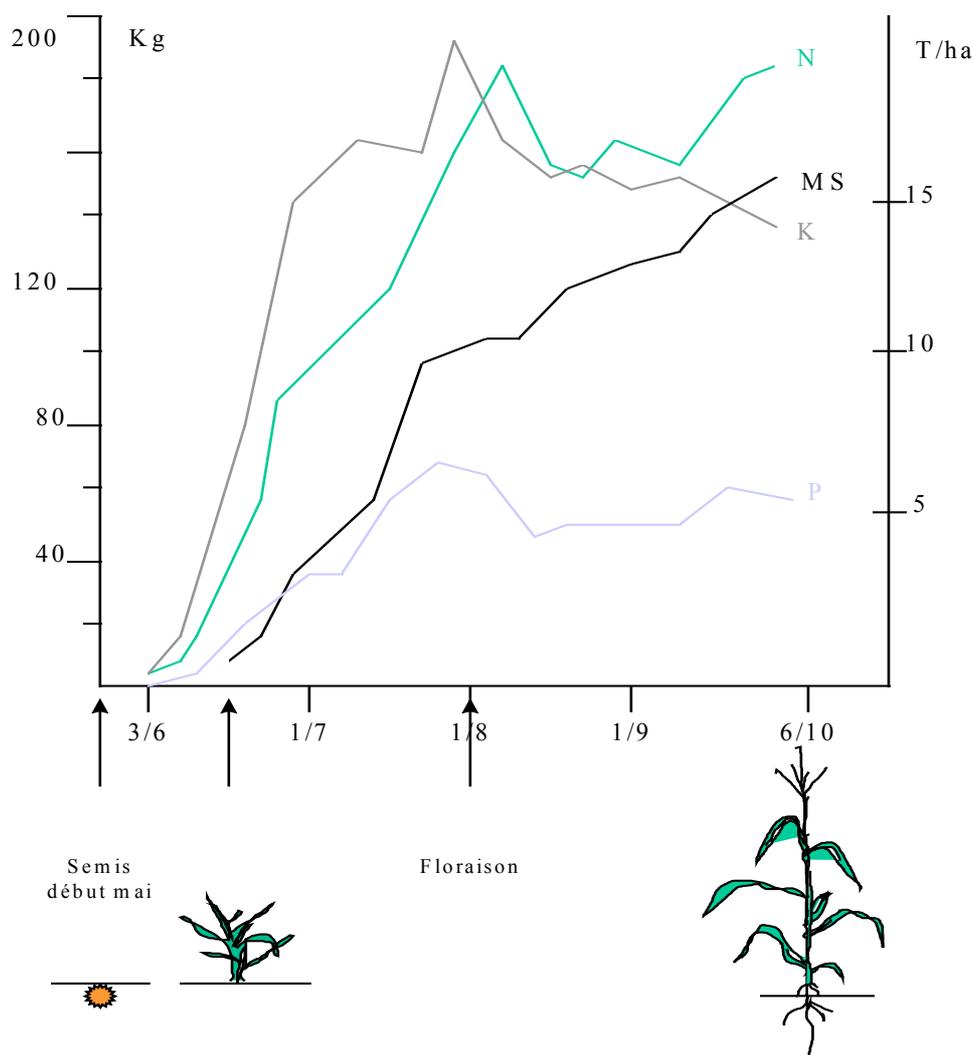
L'apport en azote influencera non seulement la croissance juvénile du maïs mais également sa teneur en protéines brutes digestibles en fin de saison; le phosphore intervient dans le mécanisme de la maturation et influencera donc directement la teneur en matière sèche; quant à la potasse, elle conduira à la formation de l'épi et des grains.

Le maïs a un développement très rapide, l'élément fertilisant doit donc être disponible au moment où la plante en a besoin. La majeure partie des éléments nutritifs est prélevée durant la période relativement courte qui couvre la floraison et la formation de l'épi et plus précisément, 10 jours avant l'apparition des fleurs mâles jusqu'à 25 à 30 jours après. Durant cette période, la plante absorbera 70% à 75% d'azote et 2/3 de ses besoins en phosphore et potasse.

Où de manière plus visuelle on estime que l'absorption des éléments majeurs se répartit comme suit sur la saison:

	1er mois	2e mois	3e mois	4e mois
N	faibles	40%	50%	10%
P	faibles	25%	50%	25%
K	faibles	70%	30%	-

Formation du rendement en matière sèche et absorption des éléments fertilisants N-P-K



La courbe d'absorption de l'azote suit la courbe de formation du rendement en matière sèche. L'absorption journalière d'azote passe par un maximum très prononcé au moment de la formation de l'épi et au stade brunissement des soies (jusqu'à 8kg d'azote/ha/jour).

Plus précisément :

en maïs ensilage les besoins N-P-K sont approximativement de 12 à 15u - 5.5u - 15u/t matière sèche
 en maïs grain 2.0 à 2.3u - 1.0u- 1.7u/100 kg de grain

L'engrais est généralement apporté sous forme d'un engrais complexe de type 15-15-15 (notons à ce sujet qu'un mélange « bulk » avec un phosphore soluble dans l'eau est souvent préférable à la formule commerciale ou seulement 1/3 du phosphore est soluble dans l'eau) ou encore en fonction de la fertilité du sol une formulation de type 15- 9 -23 apportant plus de potasse et moins de phosphore dans des sols déjà bien pourvus.

15-11-22

13- 9 -22

Après un ray-grass un complexe de type 12-8-23 est fréquemment utilisé.

3.LES CARENCES

Les éléments mineurs ne sont pas à négliger lorsque l'on envisage la fertilisation d'une culture, ils peuvent avoir une importance considérable sur le bon déroulement du cycle de croissance de la plante. Le maïs est sensible aux carences minérales ; il est dès lors un indicateur fiable d'un manque de minéraux dans le sol. Si l'agriculteur reconnaît les symptômes avant qu'il ne soit trop tard et agit en conséquence, il pourra limiter les pertes de rendement.

Dans le cas d'une *carence vraie* : le sol est trop peu pourvu pour alimenter correctement la plante. Il existe également la *carence dite « induite »*, où les éléments sont présents mais non absorbés pour une raison quelconque par la plante. Les causes sont alors le plus souvent liées à :

- un pH trop basique et un blocage du phosphore par le calcium ;
- une texture ou structure du sol déficiente et par conséquent une difficulté d'absorption par les racines ;
- un antagonisme entre les certains éléments présents en quantités non adaptées, c'est le cas entre le potassium et le magnésium, ainsi qu'entre le phosphore et le zinc ;
- des conditions climatiques froides et humides (asphyxie du sol) ou trop sèches et donc manque d'eau pour véhiculer les éléments fertilisants.

La carence en AZOTE :
- L'aspect général de la plante est vert pâle.
- On visualise une zone jaunâtre et une nécrose en forme de « V » (pointe tournée vers la tige) progressant de l'extrémité vers la base des feuilles.
- Les symptômes apparaissent sur les feuilles basses puis se généralisent à l'ensemble de la plante sans toutefois beaucoup dépasser la feuille de l'épi.

La carence en PHOSPHORE :
- Les feuilles présentent une couleur vert foncé à violacées et sont un peu ondulées sur les bords.
- La tige présente une croissance réduite.
- Carence très difficile à diagnostiquer, car peu caractéristique et souvent confondue avec un départ « difficile » des plantes.

La carence en POTASSE :
- Aspect de la plante vert-jaunâtre dès le stade jeune (8-10 feuilles).
- Jaunissement et nécrose de la feuille (forme de « V » pointe tournée vers l'extrémité de la feuille).
- Les feuilles de la base sont les premières affectées avant extension aux feuilles supérieures.
- La plante se développe mal et l'on observe un raccourcissement des entre-noeuds.
- Avortement partiel d'une face de l'épi (aspect recourbé caractéristique).

La carence en MAGNESIUM :
- Rencontrée sur sols légers.
- L'aspect général de la plante est vert pâle à jaunâtre.
- Sur l'ensemble de la feuille, alternance de points verts et blancs puis rouges et nécrosés allant jusqu'à la formation de stries.
- Raccourcissement des entre-noeuds.
- La plante présente un port retombant ; les symptômes apparaissent tout d'abord sur les feuilles basses.

3.LA FUMURE ORGANIQUE

Autrefois, les effluents d'élevage pouvaient parfois être considérés comme un sous-produit de moindre importance. Ceux sont en fait aujourd'hui considérés comme fertilisants à part entière qu'il est nécessaire de valoriser au mieux. D'autant plus que toute perte représente un gaspillage.

Pour pouvoir raisonner ses apports ultérieurs en fertilisants minéraux, mieux vaut tout d'abord connaître la valeur fertilisante de la fumure organique apportée que le maïs pourra valoriser.

Pour ce faire, il est préférable de faire analyser son amendement par l'intermédiaire d'un organisme ou encore d'un laboratoire compétent. Cependant on peut avoir une idée proche de la réalité en se basant sur des tableaux reprenant des valeurs moyennes:

Composition moyenne des effluents d'élevage (par rapport au produit brut)

FUMIER

Type d'animaux	MS %	MO %	C/N	pH	éléments principaux (kg/t)			
					Ntotal	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O
Vaches laitières								
stabulation libre	25	18	14	7.8	5.5	0.5	3.5	8.0
étable entravée	21				7.7		3.1	4.4
Bovins à viande	24	15		7.3	3.9		3.7	4.0
Porcs	21	16			6.0		6.0	4.0
Poulets de chair	58	48	11	6.8	25.5		21.5	21.0

Coefficient d'efficacité de l'azote total = 16%

LISIER

Type d'animaux	MS %	MO %	C/N	pH	éléments principaux (kg/t)			
					Ntotal	NH ₄	P ₂ O ₅	K ₂ O
Vaches laitières								
lisier complet	12.0	5.5	8	7.1	5.0	2.5	2.5	6.0
aire d'égouttage	18.5	12.8		6.8	6.0	1.5	2.8	4.2
Bovins à viande	15.0	10.7		7.2	5.2	3.1	3.1	5.0
Porcs	8.0	7.0	8	7.6	5.5	3.5	6.0	3.0
Poulets de chair	33.0	23.9			16.0		12.0	8.7

Coefficient d'efficacité de l'azote total = 20 à 25% (Code des bonnes pratiques agricoles, R.W. 12/93)

Pour un apport de lisier, il faudra tenir compte lors d'épandage d'engrais minéraux des déséquilibres en éléments fertilisants qui existent dans ceux-ci. En effet, après un lisier de porc, il sera préférable d'apporter un engrais minéral riche en potasse, au contraire si on a apporté du lisier bovin il faudra compenser le déséquilibre par une formulation plus riche en phosphore.

En ce qui concerne l'efficacité de la potasse et du phosphore dans les amendements organiques, on considère qu'une moitié des quantités apportées est libérée lors de la première année et 1/4 lors des deux années suivantes.

4.FERTILISATION RAISONNEE et Méthode du BILAN AZOTE

Selon le « Code des bonnes pratiques agricoles », la fumure azotée minérale maximale autorisée sans apport d'effluents d'élevage ou d'azote sous forme organique est de 180 kg/ha/an.

Sur les terres recevant des effluents d'élevage, l'azote total provenant des effluents ne peut dépasser 210 kg/ha/an et peut être complété d'un maximum de 120 unités d'azote sous forme minérale.

Le principe du bilan azoté est d'ajuster les fournitures aux besoins de la culture afin d'en optimiser le résultat économique tout en minimisant les risques de pollution pour l'environnement.

Dans la pratique courante, il s'agit de calculer la dose d'azote minéral sous forme d'engrais à apporter en complément de celle fournie par les apports organiques.

Dans l'optique de fixer au mieux la dose d'azote à apporter au semis, il est nécessaire de se fixer un objectif de rendement réaliste pour la région (r). Une fois celui-ci fixé, il faut estimer les besoins azotés pour la plante qui sont fixés en maïs grain à 23 kg d'azote/1.000 kg de grains et qui varient de 12 kg/t de matière sèche en maïs ensilage à 15 kg/t de matière sèche pour les objectifs de rendement les plus élevés soit supérieur à 18t de MS/ha (b).

La minéralisation de l'humus du sol est un paramètre important du bilan (Mh). Dans la pratique, la quantité d'humus minéralisée sera fonction des caractéristiques du sol (pH, texture,...) cfr. tableau.

Les plantes utilisent cet azote minéralisé en quantité d'autant plus importante qu'il y a concomitance entre la période de leurs besoins et celle de la minéralisation. C'est le cas du maïs dont les besoins coïncident avec la période de minéralisation intense.

	Taux de matières organiques					
	1.5%	2.0%	2.5 %		3.0% et plus	
			argile<25%	argile>25%	argile<25%	argile>25%
pH > 6	60 kg N/ha	80 kg N/ha	100 kg N/ha	80 kg N/ha	120 kg N/ha	90 kg N/ha

Après une récolte, il subsiste divers résidus de récolte tels que racines, chaumes, pailles, feuilles,... qui au cours de leur minéralisation (**Mr**) pour certains d'entre eux libèrent de l'azote nitrique disponible pour la culture suivante alors que d'autres vont consommer de l'azote pour se décomposer. Les fournitures d'azote minéral suivantes seront prises en compte dans l'équation du bilan :

Précédent	azote
blé, pailles enfouies	- 20
blé, pailles enlevées	0
maïs fourrager	0
Ray-grass	+ 20
pois	+ 20
maïs grain	- 25
betteraves, verts enfouis	+ 20
pommes de terre	+ 20

Si une analyse de sol est réalisée après la récolte de la culture précédente, on observera un reliquat d'azote minéral non utilisé par cette culture (**Rf**). En conditions normales, ce reliquat est estimé à 35 kg d'azote/ha sur un profil de 90 cm. En mauvaises conditions et en sol profond, ce même reliquat est de l'ordre de 50 kg/ha. Dans des terres riches, en région limoneuse notamment, ces chiffres peuvent être revus à la hausse d'environ 15 à 25 kg/ha en moyenne.

Après la récolte précédente, il reste toujours de l'azote dans le sol, une partie de cet azote et de celui fourni par la minéralisation, même réduite en période hivernale, est réorganisé (températures élevées à l'arrière saison) ou lessivé (hiver pluvieux). Le reliquat mesuré en janvier-mars est pris en compte pour calculer la fumure du maïs (**Rh**).

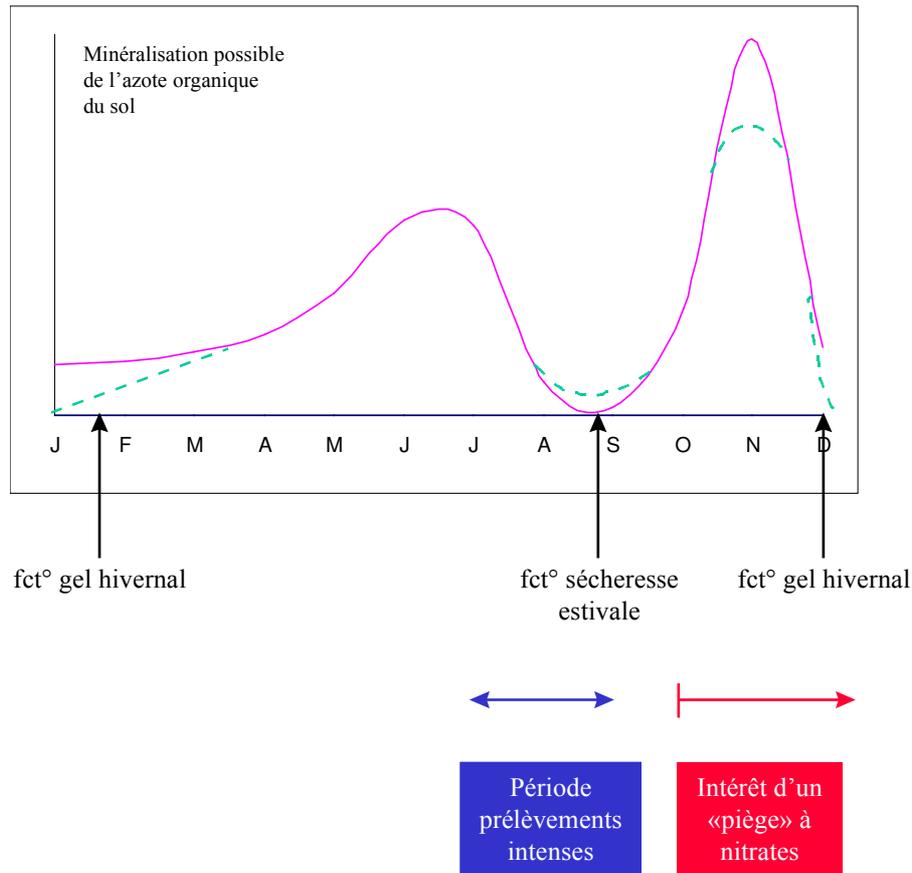
Finalement, il faudra tenir compte de l'azote déjà libéré par la fumure organique apportée par l'agriculteur (**Ma**), pour ce faire il suffira de se référer au tableau précédent.

L'équation du bilan azoté se résume donc comme suit:

$$N = b \times r + Rf - (Mh + Mr + Rh) - Ma$$

- N= engrais minéral à apporter (kg/ha)
- b= besoins de la culture (ex. 12 unités d'azote/tonne de matière sèche)
- r= rendement en matière sèche visé (ex. 16t/ha)
- Rf= reliquat d'azote minéral après récolte sur un profil de 90 cm (ex. 50 kg d'azote/ha)
- Mh= minéralisation annuelle de l'azote du sol (kg d'azote/ha)
- Mr= minéralisation des résidus de récolte (kg d'azote/ha)
- Rh= évolution de l'azote du sol après hiver (kg d'azote/ha)
- Ma= minéralisation des matières organiques apportées par l'agriculteurs (kg d'azote/ha)

Evolution moyenne de la minéralisation au cours du temps



Les sources d'azote minéral sont multiples : reliquats azotés de la culture de maïs précédente, les amendements organiques épandus après récolte, les résidus de la culture de maïs précédente (notamment cas du maïs-grain → résidus importants après récolte) et également la minéralisation automnale qui n'est pas négligeable dans des conditions climatiques favorables (températures élevées et humidité du sol principalement).

Le défi permanent à relever durant l'interculture est de limiter le risque de perte de nitrates par lessivage suite aux épisodes pluvieux de l'hiver et du printemps.

L'évolution de la sélection en culture de maïs incite les agriculteurs à implanter des variétés précoces voire très précoces qui seront récoltées relativement tôt dans la saison (début - mi-septembre) lorsque les conditions climatiques le permettent.

Dans ce cas de figure de plus en plus fréquemment rencontré, les agriculteurs pratiquant la monoculture de maïs ont encore l'opportunité d'implanter un couvert d'interculture.

Le choix de ce couvert se fera prioritairement par sa facilité et sa rapidité d'implantation.

Le couvert d'interculture se composera des espèces suivantes:

- le ray-grass (anglais ou mixte- 20 à 25kg/ha);
- le seigle (120 kg/ha);
- le triticale (120 kg/ha);

La production de ce couvert végétal sera :

- soit exportée et récupérée comme fourrage pour le bétail de l'exploitation (avant le semis du maïs au printemps de l'année suivante) suivi d'un travail du sol;
- soit détruit par voie chimique au printemps de l'année suivante (pulvérisation au glyphosate).

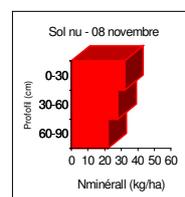
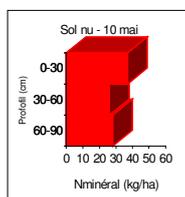
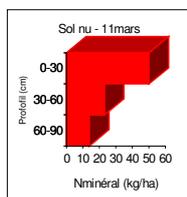
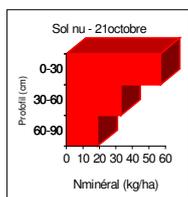
Sur chaque objet seront appliqués :

- soit 60.000 litres (environ) de lisier de bovin;
- soit 30.000 litres (environ) de lisier de bovin complétés d'une dose d'azote minérale définie suite à l'analyse de sol.

Essai de «couverts» en monoculture de maïs à Vieusart

Sol nu - labour d'octobre

RENDEMENT
moyen (MS)



13.4 t/ha
à
38.5%

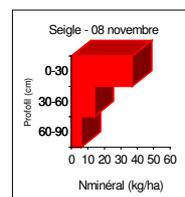
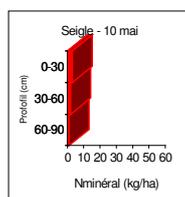
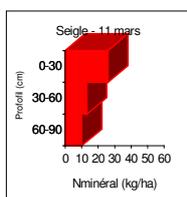
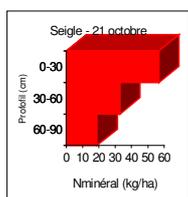
Azote : **109 kg**

87 kg

91 kg

82 kg

Seigle - 7.230 kg de MS/ha



13.4 t/ha
à
38.9%

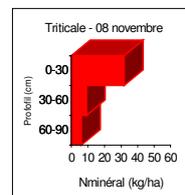
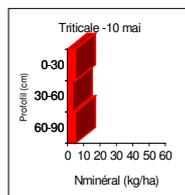
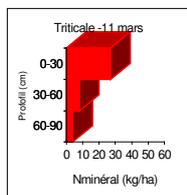
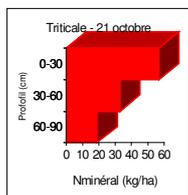
Azote : **109 kg**

49 kg

6 kg

57 kg

Triticale - 7.170 kg de MS/ha



14.0 t/ha
à
40.5%

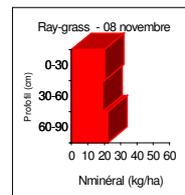
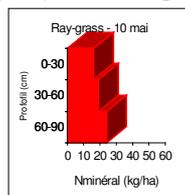
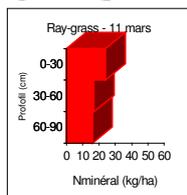
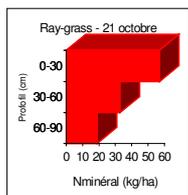
Azote : **109 kg**

39 kg

13 kg

47 kg

Ray-grass (peu développé !) - 500 kg de MS/ha



13.1 t/ha
à
38.3%

Azote : **109 kg**

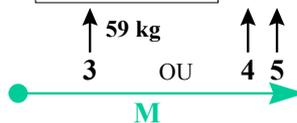
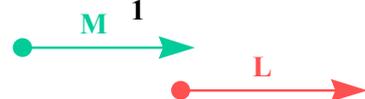
57 kg

59 kg

OU

61 kg

6



1. Semis des couverts
2. Apport de 30.000l/ha de lisier bovin
3. Soit destruction chimique du couvert

4. Soit récolte du couvert
5. Semis du maïs et apport de 100u d'azote
6. Récolte du maïs

En monoculture de maïs, une gestion de l'interculture par l'implantation d'un couvert lorsque les conditions le permettent (date de récolte hâtive et semis en bonnes conditions) est une pratique qui permet de maintenir la fertilité superficielle du sol ainsi que de limiter les risques d'érosion sur certaines parcelles.

Rappelons que le maïs est une culture qui a un potentiel important quant à la valorisation des amendements organiques libérant tout une série d'éléments fertilisants. A l'heure actuelle, il est dans l'intérêt de tous de valoriser ceux-ci au mieux et de les considérer comme engrais à part entière directement assimilable par la plante. Par la suite l'apport d'un engrais minéral complémentaire sera envisagé en tenant compte de la fumure organique déjà appliquée.

Une gestion raisonnée de la fumure organique (et minérale) est peut-être la base d'une conciliation future entre les facteurs : rendement, rentabilité et environnement !

JFr. Oost
C.I.P.F asbl