

CENTRE DE RECHERCHES ET DE FORMATIONS AGRICOLES POUR L'EST DE LA
BELGIQUE



Etude de la méthanisation du lisier

METHAN I

**Rapport de synthèse
2000 - 2005**

Avec le soutien de la Région Wallonne, Direction de l'espace rural



Décembre 2007

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	4
1. INTRODUCTION	5
2. PROTOCOLE DE L'ESSAI	5
2.1. But	5
2.2. Lieu	5
2.3. Descriptions de l'essai	6
2.4. Plan de l'essai	7
2.5. Les objets comparés	7
3. FUMURES ORGANIQUES ET MINERALES APPLIQUEES DURANT 6 ANS	8
3.1. Fumures organiques	8
3.2. Fumure azotée minérale	9
3.3. Fumure de fond (P et K)	10
3.4. Le chaulage	10
3.5. Apports totaux N, P, K	10
3.6. Résumé des apports totaux en éléments fertilisants durant la période de 6 ans ...	11
3.7. Observations et commentaires sur les lisiers appliqués	11
3.7.1. Doses appliquées – Ntot - Nammoniacal	11
3.7.2. pH	11
3.7.3. La matière sèche	11
3.7.4. Les minéraux	12
4. LES RENDEMENTS	13
4.1. Rendements par année	13
4.2. Rendement total des 13 coupes effectuées (4 x 2000 – 4 x 2001 – 1 x 2002 – 4 x 2005) ...	15
4.3. Rendement moyen des années 2000 - 2001 - 2005	16
4.4. Rendement moyen par coupe en rapport avec les quantités moyennes de N épandues	17
4.5. Rendement exprimé en kg de MS par unité d'azote appliquée	18
4.5.1. L'efficacité absolue	118
4.5.2. L'efficacité relative	19
5. EVOLUTION DE LA FLORE	20
5.1. Description générale	20
5.2. Etat de la flore en 2005 après 6 années de traitement	21
6. EVOLUTION DES SOLS	23
6.1. Evolution et caractéristiques des sols	23
6.2. Evolution des pH et des minéraux en graphiques	24
6.3. Teneurs du sol en fin d'essai	28
6.4. Commentaires sur l'évolution des teneurs du sol (tableau 8, fig. 10 à 25)	30
6.4.1. pH _{KCL}	30
6.4.2. % Humus	31
6.4.3. Phosphore	31
6.4.4. Potassium	31
6.4.5. Calcium	31
6.4.6. Magnésium	32
6.4.7. Sodium	32
6.4.8. Rapport K/Mg	32
6.4.9. Conclusion générale	32

7. LA QUALITE DES FOURRAGES	333
7.1. Qualités moyennes et total des exportations (azote, minéraux et VEM)	344
7.2. Le rendement en VEM/ha (3ème + 4ème c. 2005)	36
7.3. Commentaires	36
8. COMPARAISON DES LISIERS UTILISES DURANT 6 ANS SUR BASE D'ANALYSES COMPLETES	377
Commentaires	38
9. CONCLUSIONS GENERALES.....	38
9.1. Lisier digéré	368
9.2. Rendements.....	38
9.3. Flore.....	38
9.4. Sol.....	38



Travaux réalisés sous la responsabilité de P. Luxen, Directeur d'Agra-Ost, et de la technicienne Th. Vliegen.

Remerciements

Le présent travail a pu être réalisé grâce au soutien de la D.G.A, plus particulièrement à ses agents C. Mulders et M. Thirion qui ont permis de réaliser un travail à long terme. En effet l'étude de matières organiques telles que les engrais de ferme ne peut se concevoir que sur un nombre suffisant d'années.

Nous voulons remercier la famille LENGES, nommément Messieurs R.Lenges et ses fils Alwin et Guido, qui ont non seulement mis leur parcelle à disposition mais ont aussi fourni les lisiers. Nous remercions également Madame Lenges, qui a du prêter oreille à de nombreuses communications téléphoniques permettant l'organisation pratique d'une telle étude.

La relecture et les corrections de ce travail ont été assurées par M. P. Bouharmont, Ir. Agronome, ancien chercheur au Cirad de Montpellier, ainsi que par M. J-P. Destain du CRA-W et de M. B. Godden de l'UPEM ULB.

1. Introduction

La méthanisation est une fermentation naturelle (gaz des marais). Il s'agit de transformer, à une température d'environ 38 °C, pour le méthaniseur qui nous concerne, dans un réacteur calorifugé, de la matière organique en méthane (CH₄) et gaz carbonique (CO₂). Cette réaction est effectuée grâce à un écosystème microbien en l'absence d'oxygène. C'est la raison pour laquelle ce traitement est dit anaérobie (absence d'air), contrairement au compostage (traitement aérobie).

En 2000 Agra-Ost démarre une étude sur la méthanisation du lisier dans un essai nommé METHAN I. (En 2003 suit un essai du même type nommé METHAN II).

2. Protocole de l'essai

2.1. But

L'essai METHAN I s'étale sur une durée de 6 ans : 2000 – 2005. Le but est de comparer l'efficacité en prairie d'un lisier digéré par méthanisation, par rapport à un lisier brut (non traité). L'expérimentation s'intéresse tant au rendement qu'à l'évolution de la flore.

2.2. Lieu

L'essai s'est déroulé chez Messieurs Lenges à Recht (commune de S^t-Vith). Cette famille d'agriculteurs a fait construire en 1999 une installation de biogaz par la firme Romain Welter d'Asselborn (G.D. Luxembourg). A côté d'une exploitation laitière la famille Lenges fait aussi de l'engraissement de porcs. Ainsi ils disposent pour la fermentation d'un mélange de lisier de porcs et de bovins. Les proportions du mélange à méthaniser sont en principe de 40 % de lisier de porcs et de 60 % de lisier de bovins. L'installation est pourvue d'une pré-fosse dans laquelle sont mélangés les deux lisiers de départ, avant d'être introduits dans le fermenteur. C'est à partir de cette pré-fosse que nous prélevons pour l'essai le lisier dit brut et de la fosse finale le digestat.

Il faut remarquer ici que l'installation Lenges a fortement évolué dans son développement, depuis le début de l'essai jusqu'à sa fin. Au début le fermenteur recevait outre les lisiers une série d'autres matières organiques telles des tontes de pelouses, des déchets de pâtes à lasagnes, des déchets de pommes, des farines fermentantes etc. Progressivement les matières introduites ont encore évoluées : conteneurs entiers avec déchets de chocolat, sous-produits liquides de l'industrie alimentaire (levain de l'usine BELDEM, de la boulangerie FONK...). Des matières solides comme de l'ensilage d'herbe et de maïs sont directement introduites dans le fermenteur, alors que les matières plus liquides sont introduites dans la pré-fosse. Le digestat, se trouve donc, par rapport au lisier témoin, enrichi d'une série d'éléments nouveaux. Mais, vu qu'une partie des co-substrats est déjà introduite dans la pré-fosse, à partir de laquelle nous prélevons le lisier qui nous sert de témoin, la désignation de lisier brut ne correspond plus à un classique non digéré.

De plus, depuis le printemps de l'année 2003, la famille Lenges a renforcé son installation d'un moteur - générateur de 100 kW, fonctionnant exclusivement au gaz. En recouvrant la fosse finale d'une bâche ils ont augmenté leur capacité de stockage de gaz, tout en créant un

genre de post - fermenteur. Pour nous, cela entraîne un digestat qui ne se trouve plus dans une fosse finale découverte, et donc dilué par les précipitations, mais dans une fosse couverte contenant le produit digéré (lisiers + cosubstrats) tel quel.

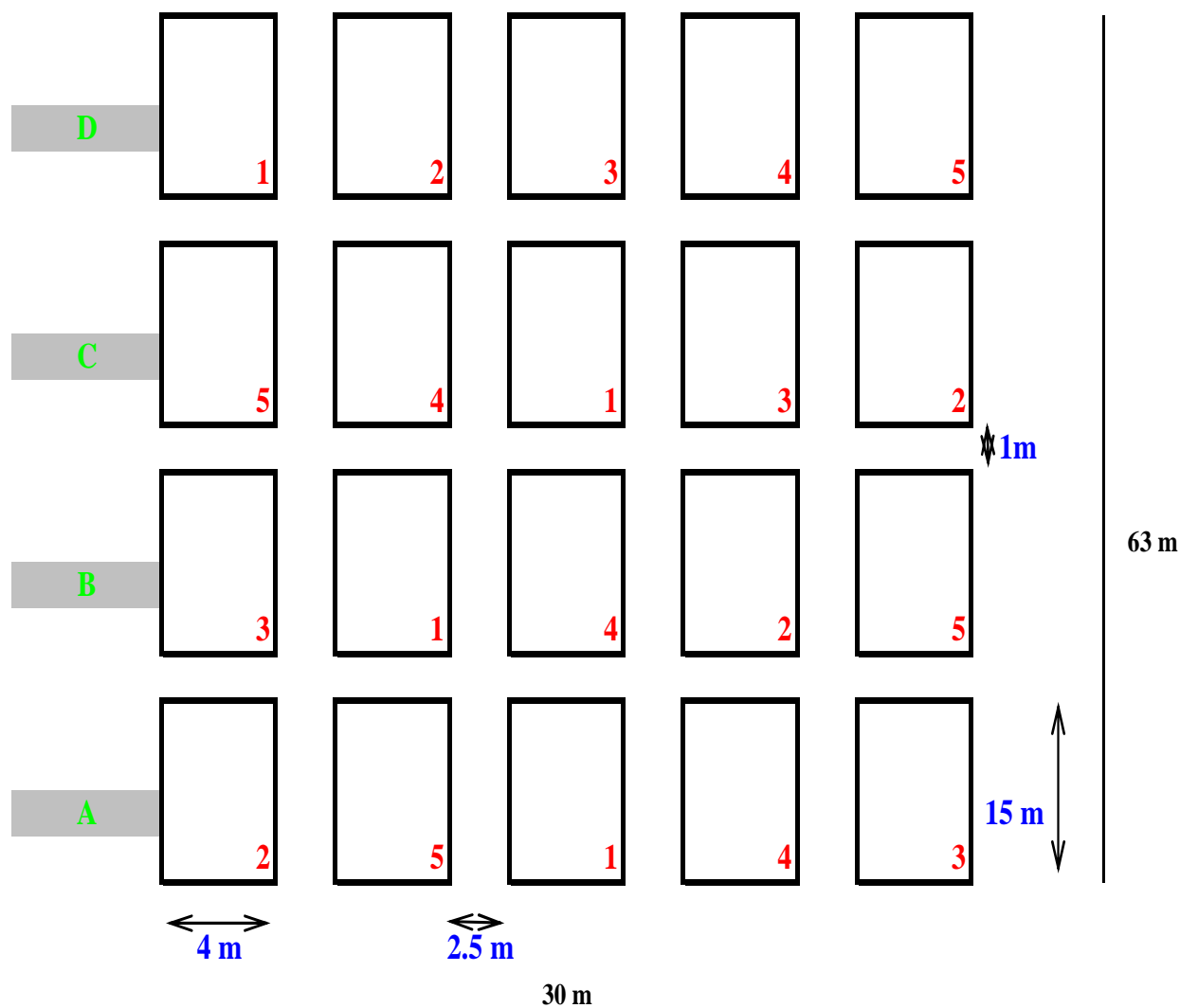
Les analyses de laboratoire montrent que l'apport de matières exogènes à l'exploitation influence fortement les teneurs minérales du digestat.

2.3. Description de l'essai

L'essai a été mis en place au printemps 2000. Il s'agit d'un essai en blocs qui comporte 4 répétitions, les parcelles étant réparties au hasard dans chacun des 4 blocs. Les parcelles individuelles ont une superficie de 60 m² (15 m x 4 m) et sont entourées de chemins de passage de 1 m entre les blocs et de 2,5 m entre les rangées. La récolte est effectuée soit à la « Haldrup » (bande centrale de chaque parcelle de 15 m de long sur 1,50 m de large = 22,5 m²), soit à la tondeuse (2 bandes dans le sens de la longueur : 2 x 15 m de long sur 0,5 de large = 15 m²).



2.4. Plan de l'essai



- 1 Lisier digéré (méthanisé): 60 unités Ntot/coupe.
- 2 Témoin
- 3 Fumure minérale : 30 unités N/coupe.
- 4 Lisier non traité : 60 unités Ntot/coupe.
- 5 Fumure minérale : 60 unités N/coupe.

2.5. Les objets comparés

Cinq objets sont comparés dans cet essai :

- Les deux types de lisiers : méthanisé et témoin non traité, à raison de 60 unités d'azote total avant chaque coupe, soit un total de 180 ou 240 uNt suivant les années.
- Deux variantes de fumure minérale : une avec 60 unités d'azote minéral avant chaque coupe, l'autre avec 30 uNmin par coupe = total de 180 – 240 uNt et 90 – 120 uNt selon le nombre de coupes.
- Un témoin zéro : pas de fumure azotée, ni organique, ni minérale.

3. Fumures organiques et minérales appliquées durant 6 ans

(caractéristiques des matières, totaux et moyennes)

3.1. Fumures organiques

Apports des lisiers (m³/ha) et d'éléments (unités) et résultats d'analyses (densité, pH, % MS)

Tableau 1. *Lisier méthanisé (digestat) : Nt, Namm. et minéraux en kg par tonne de produit frais*

	2000		2001		2002		2003		2004		2005		Moyennes	Total
	Ø	Total	Ø	Total	Ø	Total	Ø	Total	Ø	Total	Ø	Total		
Quantité m ³ /ha		71,5		51,2		55,75		48,99		38,5		52,7	53	319
pH	8,36		8,21		8,17		7,88		8,01		7,97		8,1	
% MS	6,22		4,46		3,46		4,75		6,21		6,65		5,29	
	<u>Ø pond.</u>		<u>Ø pond.</u>		<u>Ø pond.</u>		<u>Ø pond.</u>		<u>Ø pond.</u>		<u>Ø pond.</u>		<u>Ø pond.</u>	
N total	4,30	307	3,56	183	4,23	236	4,55	223	4,81	185	4,85	256	4,36	1390
N amm.	2,24	160	2,19	112	2,39	133	2,69	132	1,77	68	2,59	136	2,33	741
													53%	NH4 de Nt
P ₂ O ₅	1,79	128	1,37	70	0,95	53	1,42	70	1,99	77	2,26	119	1,62	517
K ₂ O	4,88	349	3,74	191	4,00	223	4,56	223	4,20	162	3,62	190	4,20	1338
CaO	1,82	130	1,42	73	1,10	61	2,47	121	2,28	88	1,98	104	1,81	577
MgO	1,10	79	0,77	40	0,50	28	0,72	35	1,03	40	0,91	48	0,85	270
Na ₂ O	0,79	56	0,66	34	0,61	34	0,69	34	0,69	26	1,64	87	0,85	271
SO ₃											10		0,03	10

Tableau 2. *Lisier non traité* : Nt, Namm. et minéraux en kg par tonne de produit frais

	2000		2001		2002		2003		2004		2005		Moyennes	Total
	Ø	Total	Ø	Total	Ø	Total	Ø	Total	Ø	Total	Ø	Total		
Quantité m ³ /ha		72,5		52,7		59,15		85,58		51,1		59	63	380
pH Ø	7,98		7,77		7,91		7,37		7,54		6,37		7,49	
% MS Ø	7,25		7,21		4,33		4,12		5,97		6,99		5,98	
	<u>Ø pond.</u>		<u>Ø pond.</u>		<u>Ø pond.</u>		<u>Ø pond.</u>		<u>Ø pond.</u>		<u>Ø pond.</u>		<u>Ø pond.</u>	
N total	4,31	312	4,83	255	4,08	241	2,79	239	3,68	188	3,97	234	3,87	1469
N amm.	1,70	123	2,25	119	2,14	127	1,35	115	1,46	75	1,82	108	1,76	667
													45%	NH4 de Nt
P ₂ O ₅	1,33	96	1,94	102	0,97	57	1,03	88	1,44	73	2,03	120	1,41	536
K ₂ O	3,49	252	4,62	243	4,01	237	2,83	242	3,03	155	3,69	218	3,54	1347
CaO	1,77	128	1,40	74	1,14	68	1,30	112	2,17	111	1,58	93	1,54	586
MgO	1,01	73	1,09	57	0,59	35	0,55	47	0,87	44	0,79	46	0,79	302
Na ₂ O	0,64	46	0,78	41	0,54	32	0,35	30	0,34	17	1,92	113	0,73	279
SO ₃												10	0,03	10

3.2. Fumure azotée minérale

Tableau 3. *Fumure azotée minérale*

Variante	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Total
	uNmin	uNmin	uNmin	uNmin	uNmin	uNmin	uNmin
Fumure min. 30uN n°3	120	120	120	120	90	120	690
Fumure min. 60uN n°5	240	240	240	240	180	240	1380

3.3. Fumure de fond (P et K)

Tableau 4. *Fumure minérale P et K appliquée (kg/ha)*

Traitement	2000		2001		2002		2003		2004		2005		Total	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
Lisier digéré			100	190			100	300	70		100	100	370	590
Témoin			110	230	102	243	100	300	90	150	100	100	502	1023
Fumure min.30uN			110	230	102	243	100	300	90	150	100	100	502	1023
Lisier brut			110	200			100	300	70		100	100	380	600
Fumure min.60uN			110	230	102	243	100	300	90	150	100	100	502	1023

3.4. Le chaulage

Trois chaulages ont été effectués au cours de l'expérimentation sur toute la parcelle :

En mars 2001 : 2 tonnes Duwa 85 – 10 57 VN → 1140 uCaO/ha et 100 uMgO

En avril 2004 : 2 tonnes de Biocal 43 VN → 860 uCaO/ha

En avril 2005 : 1,3 tonnes de Biocal 43 VN → 559 uCaO/ha

Tableau 5. *Chaulage en VN/ha*

Traitement	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Total CaO
	CaO	CaO	CaO	CaO	CaO	CaO	
Lisier digéré n°1		1140			860	559	2559
Témoin n°2		1140			860	559	2559
Fumure min.30uN n°3		1140			860	559	2559
Lisier brut n°4		1140			860	559	2559
Fumure min.60uN n°5		1140			860	559	2559

3.5. Apports totaux N, P, K

Tableau 6. *Apports totaux*

Traitements		N total	P ₂ O ₅			K ₂ O		
			org	min	total	org	min	total
Lisier digéré	n°1	1390	517	370	887	1338	590	1928
Témoin	n°2	0	0	502	502	0	1023	1023
Fumure min.30uN	n°3	690	0	502	502	0	1023	1023
Lisier brut	n°4	1469	536	380	916	1347	600	1947
Fumure min.60uN	n°5	1380	0	502	502	0	1023	1023

3.6. Résumé des apports totaux en éléments fertilisants durant la période 6 ans

Tableau 7. *Total de tous les apports*

	n°1	n°2	n°3	n°4	n°5
N total	1390	0	690	1469	1380
N amm.	741	0	330	667	660
P₂O₅	887	502	502	916	502
K₂O	1928	1023	1023	1947	1023
CaO	3073	2496	2496	3082	2496
MgO	385	175	175	417	175
Na₂O	279	155	155	287	155

3.7. Observations et commentaires sur les lisiers appliqués

3.7.1. Doses appliquées – Ntot - Nammoniacal

Les quantités de lisier appliquées varient suivant leur teneur en Ntot, qui fluctue d'un épandage à l'autre. La concentration en Nt la plus élevée observée pour le lisier brut est de 5,72 kg/tonne de matière fraîche et 6,4 kg/t pour le digestat. La concentration la plus faible est de 1,88 kg/t pour le lisier brut et 3,31 kg/t pour le lisier méthanisé.

Pour l'azote ammoniacal aussi on observe de grandes différences. Ainsi la fourchette pour le lisier brut va de 0,95 à 2,63 kg/t de matière fraîche et pour le digestat de 1,58 à 3,6 kg/t de matière fraîche. La moyenne des 6 années confirme la théorie selon laquelle le processus de biométhanisation augmente sensiblement la teneur en NH₄ : 1,76 uNH₄ pour le lisier brut - 2,33 uNH₄ pour le digestat. Cette réalité entraîne une sensibilité plus grande du lisier digéré lors de l'épandage et demande plus de soins encore pour sa gestion : pour éviter des pertes considérables par volatilisation les conditions d'épandage deviennent déterminantes. ⁽¹⁾

3.7.2. pH

Les pH des lisiers sont, comme il se doit pour un lisier, toujours basiques, mais le lisier digéré est encore plus alcalin que le lisier brut : moyennes des 6 ans : 8,1 pour le digestat, contre 7,5 pour le non traité (*tableaux 1 et 2*). ⁽²⁾

3.7.3. La matière sèche

Le pourcentage de MS considéré individuellement est très variable (fourchette allant de 1,93 % à 10,45 % pour le lisier brut et de 2,57 % à 9,13 % pour le lisier digéré), mais les moyennes correspondent à la théorie selon laquelle la MS du lisier diminue par la biométhanisation : 5,98 % comme moyenne des 6 années pour le lisier brut, contre 5,29 % de moyenne pour le digestat. ⁽³⁾

1 Théorie confirmée et à revoir dans le tableau final 11, à la page 32

2 idem

3 idem

3.7.4. Les minéraux

En considérant les moyennes des minéraux (P_2O_5 , K_2O , CaO , MgO et Na_2O) contenus dans les 2 lisiers, on constate que les teneurs de tous les cinq sont plus élevées dans le lisier digéré que dans le brut. Mais vu que les quantités totales de lisier brut appliquées sont plus importantes (380 m³ contre 319), les unités de minéraux apportées sont légèrement plus importantes sur l'objet « Lisier brut ».

En prairie permanente de fauche, pour un niveau d'apport N_{tot} de 240 unités, les apports attendus par le lisier en P_2O_5 sont de 120 unités et en K_2O de 300 unités. Dans notre essai les lisiers sont déséquilibrés et n'atteignent dans leur moyennes annuelles ni l'un ni l'autre ces apports :

- lisier brut : P apporté = 89 – K apporté = 225
- lisier méthanisé : P = 86 – K = 223



4. Les rendements

L'essai METHAN I a duré 6 années (2000 – 2005). Le rendement par contre n'a été mesuré que certaines années : 2000 (4 coupes), 2001 (4 coupes), 2002 (1 coupe), 2005 (4 coupes).

En 2002 les agriculteurs Lenges ont omis de nous prévenir à temps de la 2^{ème} coupe, qu'ils ont un jour réalisée essai compris. Ils ne se rendaient pas compte qu'une seule coupe manquante annule pour nous les résultats de toute une année. Suite à cet incident il a été décidé de ne plus investir (de l'énergie et des finances) dans des coupes supplémentaires sur cet essai. La dernière année néanmoins, 2005, les 4 coupes sont encore mesurées.

Par contre, au cours des années 2003 – 2004 nous continuons à réaliser tous les épandages prévus par le protocole et à procéder aux observations de la flore.

4.1. Rendements par année

Fig. 1. *Rendement 2000*

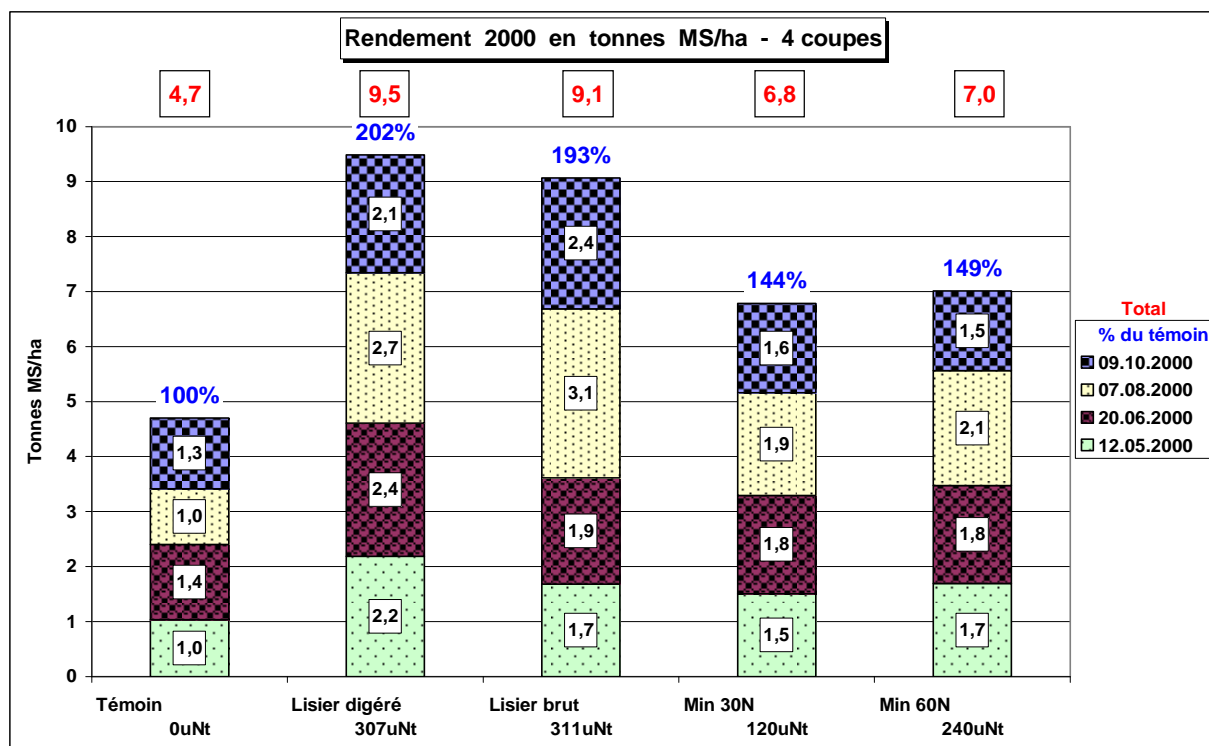


Fig. 2. *Rendement 2001*

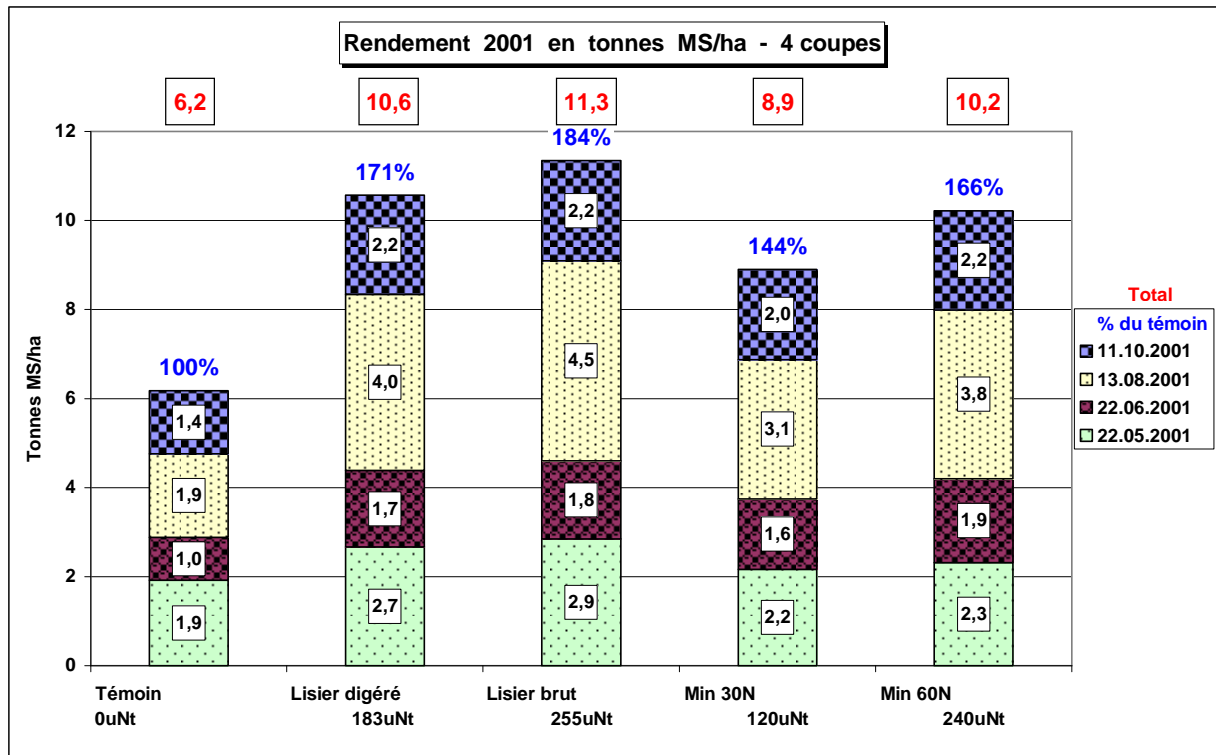


Fig. 3. *Rendement 2002*

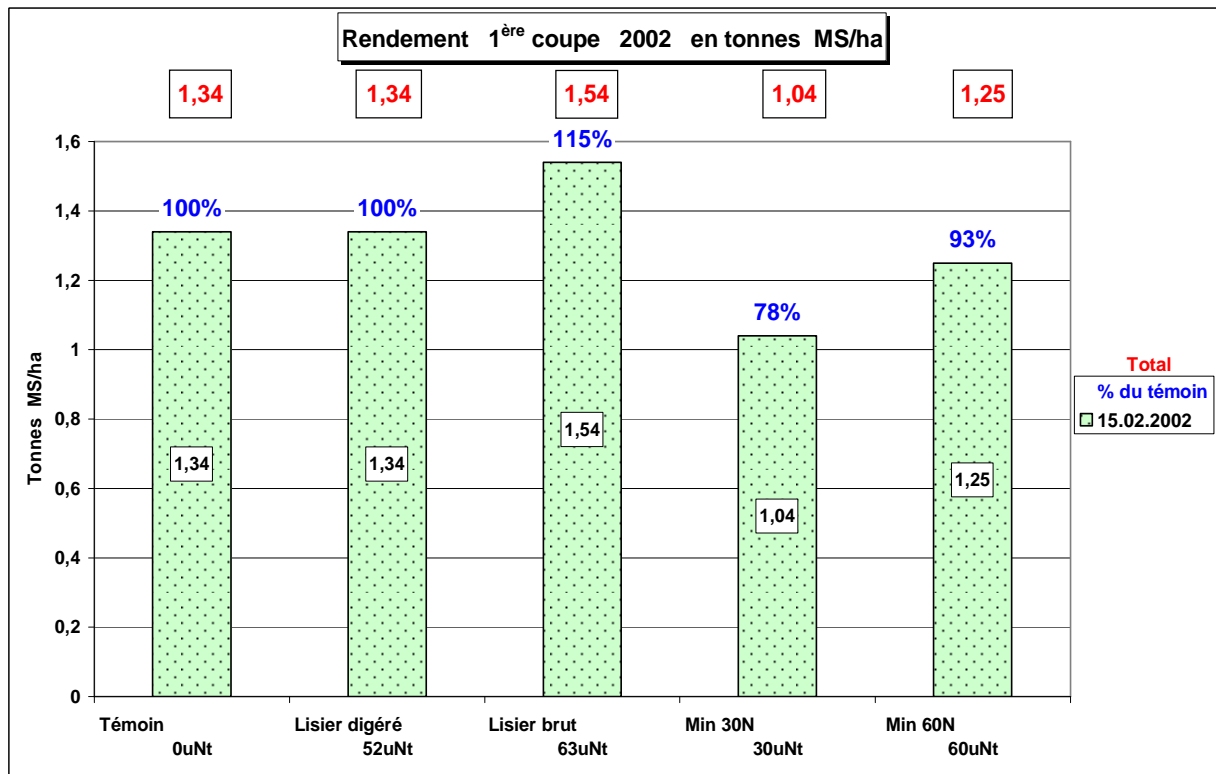
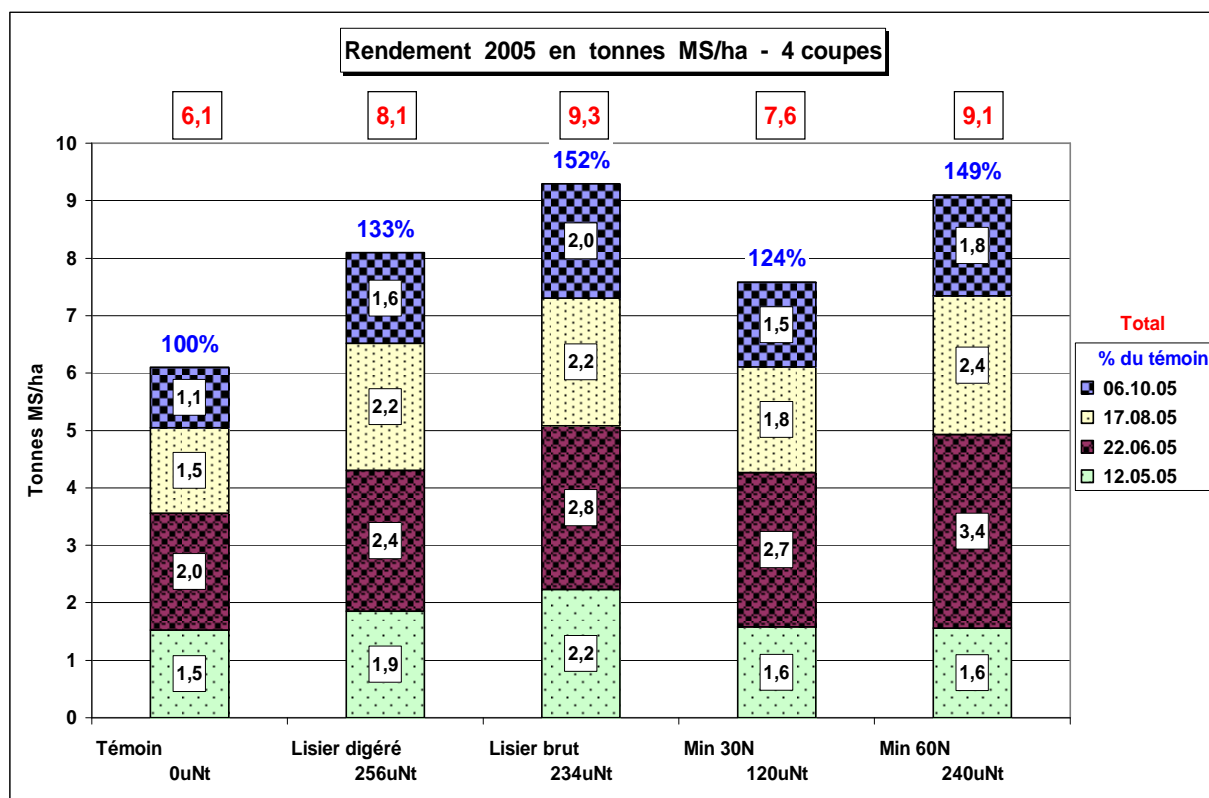


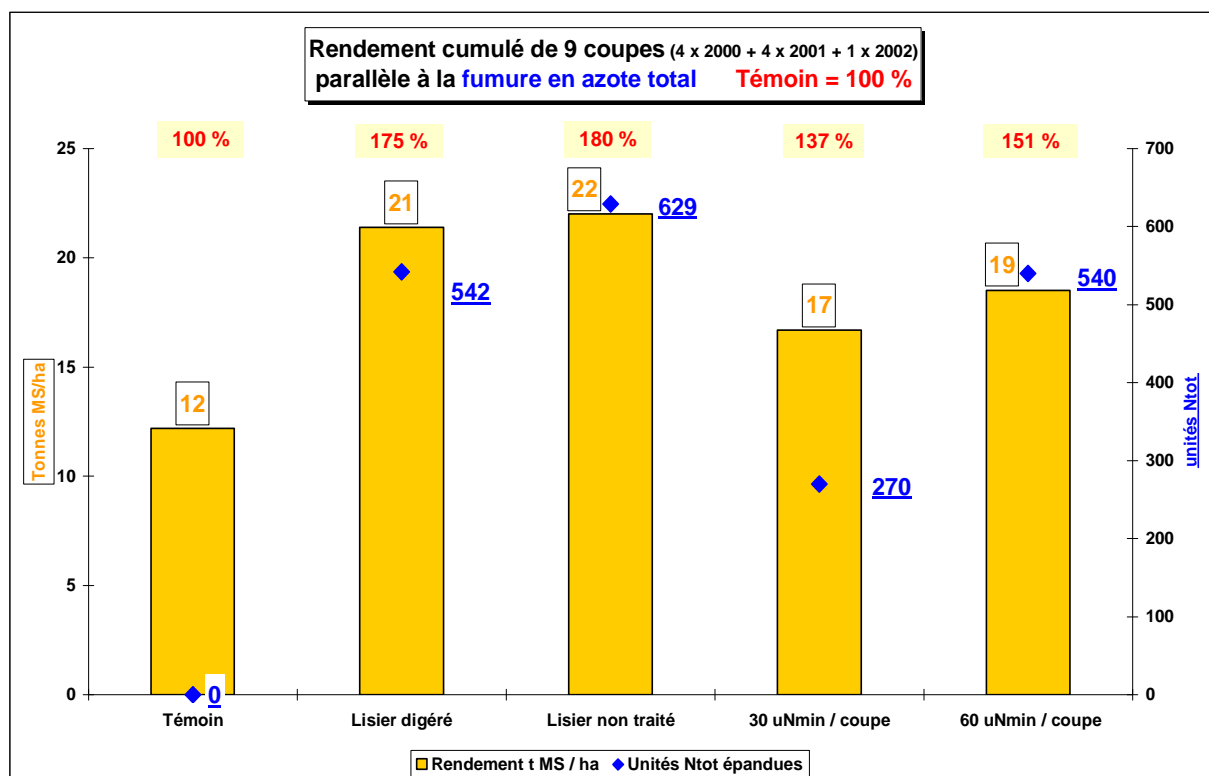
Fig. 4. *Rendement 2005*



4.2. Rendement total des 9 premières coupes (4 x 2000 – 4 x 2001 – 1 x 2002)

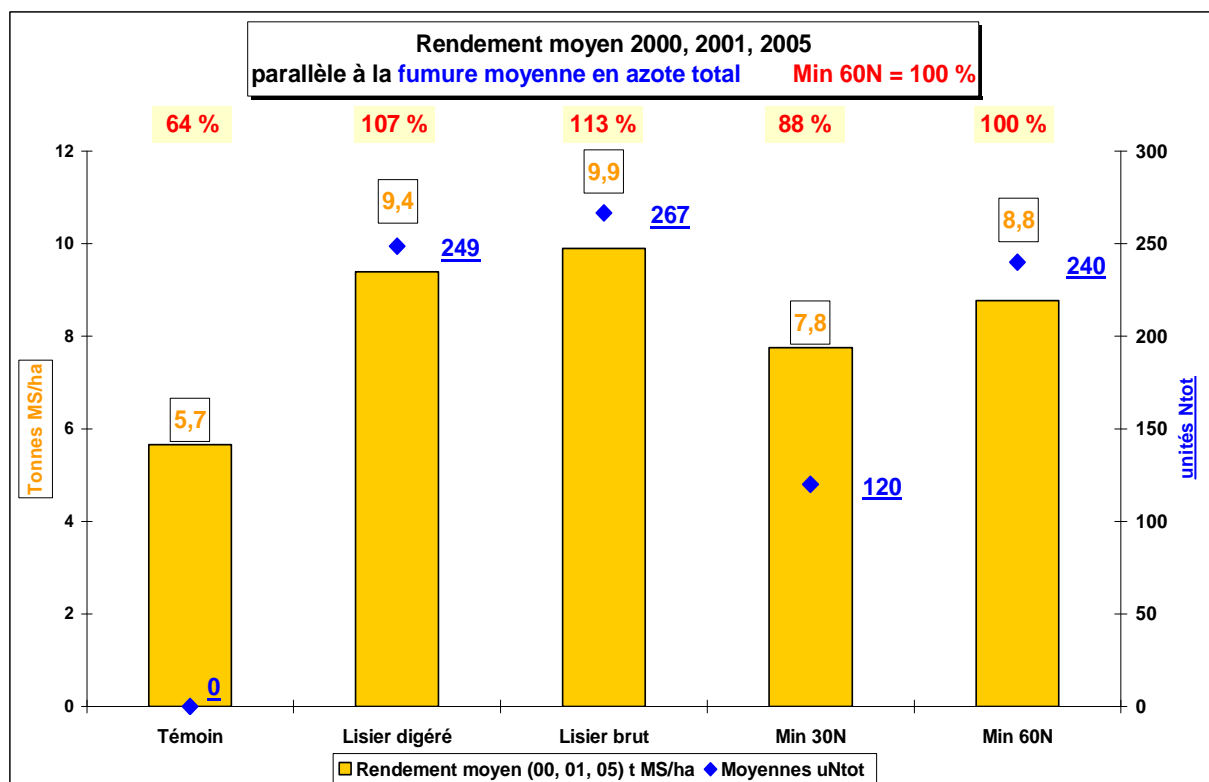
La figure ci-dessous présente le total des rendements qui ont été récoltés lors des 9 coupes effectuées durant les 3 premières années d'essai, en rapport avec la somme des unités d'azote total qui ont été appliquées avant ces coupes.

Fig. 5. *Rendement total de 13 coupes et Ntot appliqué avant ces coupes*



4.3. Rendement moyen des années 2000 - 2001 - 2005

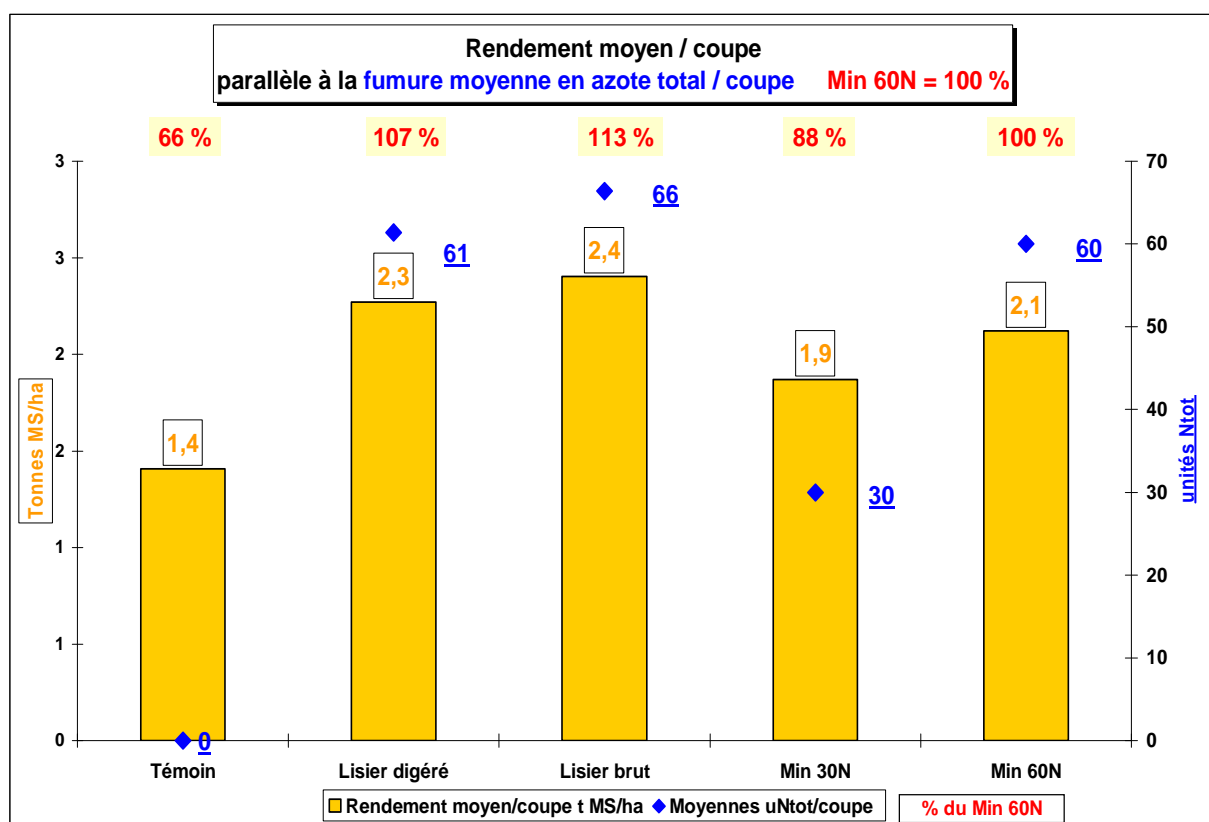
Fig. 6. *Rendement moyen 00 – 01 – 05 parallèle à la moyenne en Ntot appliqué durant ces 3 années*



4.4. Rendement moyen par coupe en rapport avec les quantités moyennes de N épandues

Vu que nous ne disposons pas de mesures de rendement de toutes les années qu'a duré l'essai, ni de toutes les coupes de l'année 2002, il n'est pas possible de représenter la moyenne des rendements par année ; raison pour laquelle la figure suivante résume la moyenne des rendements par coupe et non par année. Le graphique comprend également la moyenne des unités d'azote appliquées par coupe, et notamment des coupes dont le rendement a été mesuré. Les années et les coupes qui n'ont pas été mesurées ont reçues les fumures prévues dans le protocole, mais elles ne sont pas reprises dans ces moyennes.

Fig. 7. *Rendement moyen par coupe et Ntot moyen appliqué par coupe*



Commentaire

Par rapport au témoin, on observe une progression du rendement allant d'une demie tonne de MS pour l'objet « engrais minéral 30 unités/coupe » jusqu'à une tonne pour le lisier brut.

Les rendements moyens atteints par les 2 types de lisiers dépassent la fumure minérale 60N. Il faut néanmoins tenir compte du fait que les 2 lisiers ont reçu un surplus modéré d'N par rapport au protocole : 1,4 kilos/coupe pour le digestat et 6,4 kilos/coupe pour le lisier brut.

On observe une supériorité des traitements lisier par rapport à la fumure minérale (quasi équivalente). Pour une fumure minérale de 30 unités par coupe, le rendement n'est diminué que de 12 % par rapport à la fumure 60, ce qui laisse supposer une efficacité supérieure à cette dose, probablement liée aussi à la fourniture par le sol.

Le point suivant illustre d'une façon explicite ces conclusions :

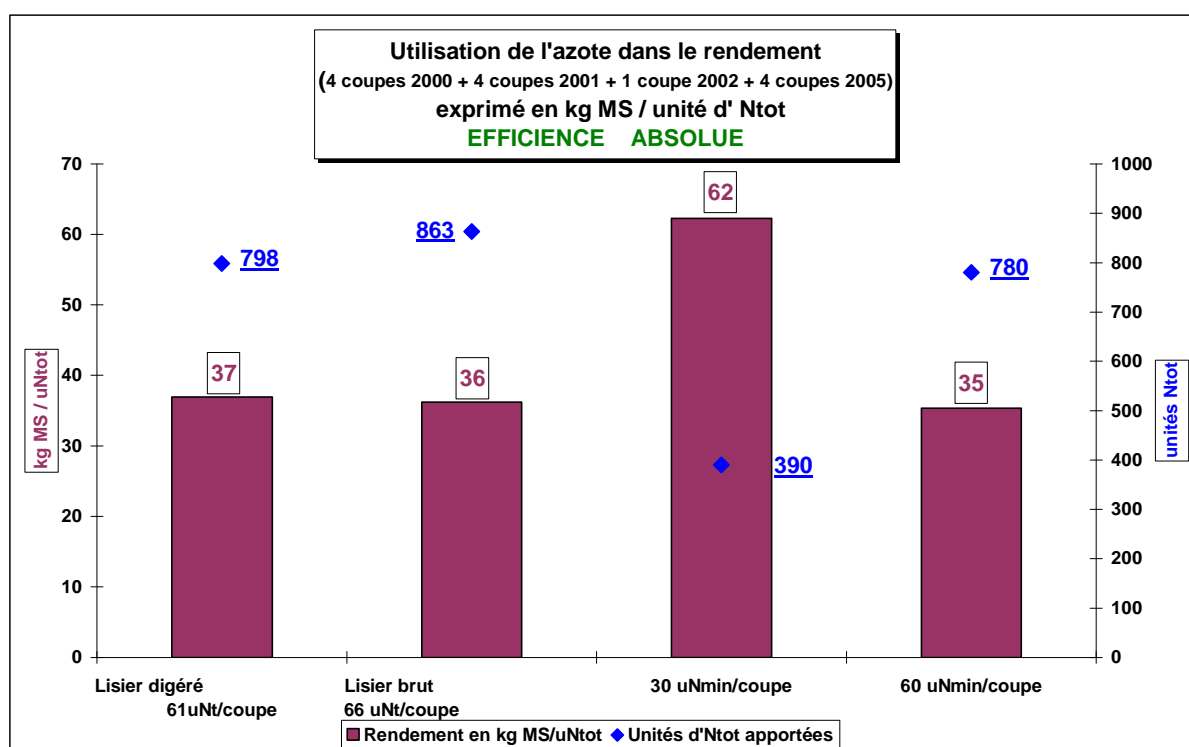
4.5. Rendement exprimé en kg de MS par unité d'azote appliquée

Normalement la façon de considérer le rendement en kg de MS/uNt appliquée se calcule à partir des moyennes des années (moyennes de rendement par rapport aux moyennes des unités d'N appliquées). Vu qu'il ne nous est pas possible de faire des moyennes/années, mais des moyennes/coupes, nous présentons dans le graphique suivant les kg de MS/unité d'N à partir du rendement total des 13 coupes et de la fumure totale des 13 coupes :

4.5.1. L'efficacité absolue

	TOTAL kg MS (4c.00+4c.01+1c.02+4c.0)	TOTAL uNtot appliquées	EFFICIENCE ABSOLUE kg MS/uNtot
Témoin	18309	0	/
Lisier digéré 61uNt/coupe	29511	798	37,0
Lisier brut 66 uNt/coupe	31249	863	36,2
30 uNmin/coupe	24299	390	62,3
60 uNmin/coupe	27576	780	35,4

Fig. 8. Rendement exprimé en kg de MS par unité d'azote appliquée – Efficacité absolue



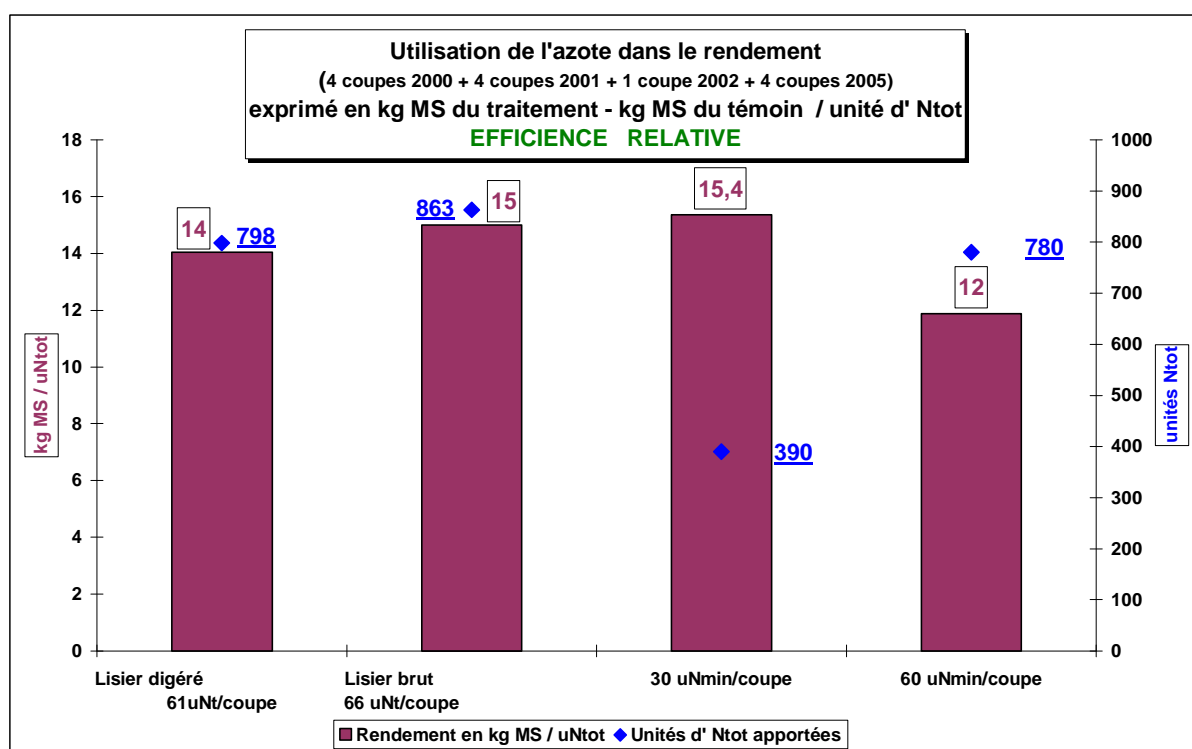
Conclusion

Les efficacités absolues sont similaires pour les lisiers (méthanisé et brut) et Min60N. L'efficacité est beaucoup plus élevée pour Min30N en raison d'une contribution importante de l'N du sol.

4.5.2. L'efficacité relative

	TOTAL kg MS (4c.00+4c.01+1c.02+4c.05)	TOTAL uNtot appliquées (4x00+4x01+1x02+4x05)	EFFICIENCE RELATIVE kg MS des diff. traitements - Rdt du témoin /uNtot
Témoin	18309	0	/
Lisier digéré 61uNt/coupe	29511	798	14,0
Lisier brut 66 uNt/coupe	31249	863	15,0
30 uNmin/coupe	24299	390	15,4
60 uNmin/coupe	27576	780	11,9

Fig. 9. Rendement exprimé en kg de MS du traitement – les kg de MS du témoin par unité d'azote appliquée – Efficacité relative



Conclusion

Pour le lisier digéré, le lisier brut et le Min30N les valeurs sont très similaires. Seul le Min60N est significativement plus bas.

5. Evolution de la flore

5.1. Description générale

A partir de 2002 cinq observations de la flore ont été effectuées (1, voire 2 par année). Elles ont été faites en été, lorsque la végétation était bien développée et visible (2002 : 05.08 et 19.11 ; 2003 : 31.07 ; 2004 : 07.06 ; 2005 : 19.07)

Pour déterminer le développement de la flore en prairie, **deux paramètres** sont à prendre en compte, par observation visuelle. Les observations sont à faire en règle générale en fin d'été, lorsque le rendement atteint 1,5 à 2 t MS/ha.

Les deux paramètres sont :

- ◆ **l'importance** d'une plante dans la composition du gazon : ce pourcentage se rapporte au **poids** que la graminée en question représente dans le rendement total. Logiquement, celui-ci est de 100 %.
- ◆ **le recouvrement** : ce pourcentage concerne la partie que les différentes plantes présentent dans le recouvrement des parcelles. Vu que plusieurs plantes peuvent recouvrir un même espace parce qu'elles sont de hauteurs différentes et peuvent se superposer, le pourcentage total du recouvrement n'est pas limité à 100 %. Au contraire, une parcelle bien fournie peut présenter un recouvrement dépassant 300 %.

Les déterminations de la flore en prairie se rapportent à 5 grandes catégories de plantes : les bonnes graminées, les graminées moyennes, les graminées médiocres, les adventices et les légumineuses.

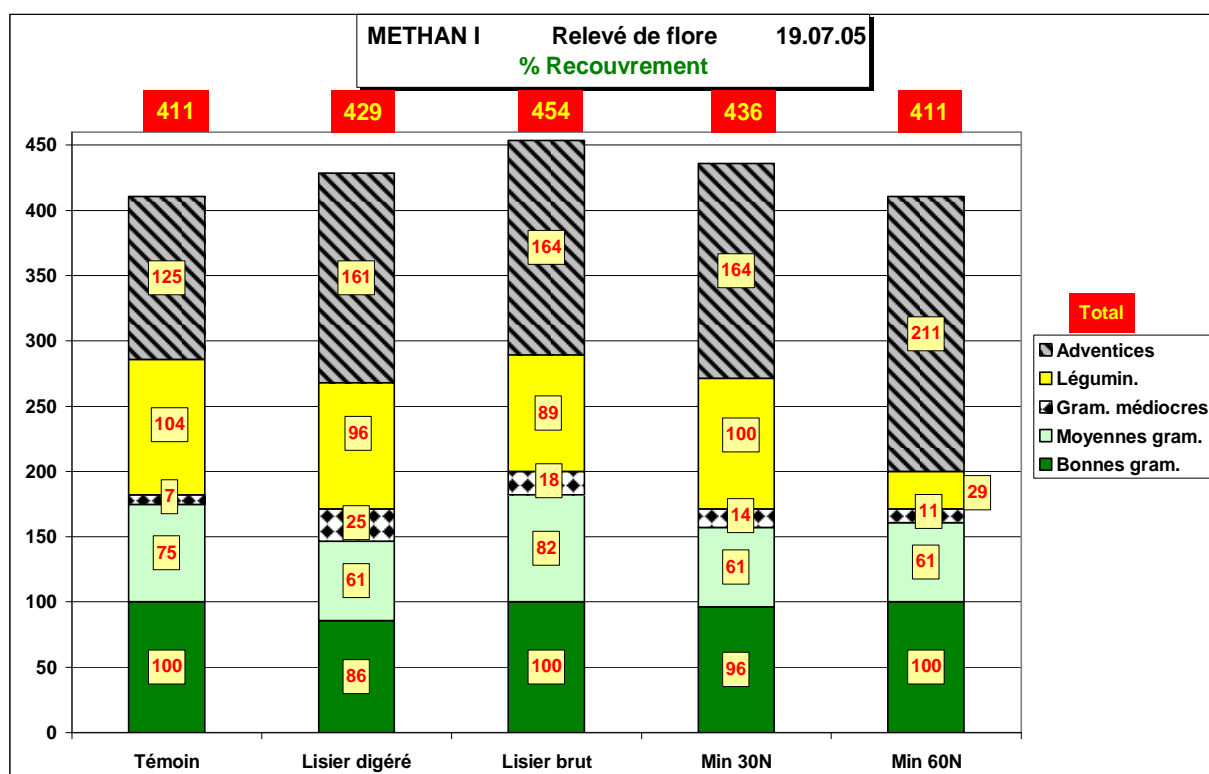
Nous considérons comme

- **bonnes graminées** :
 - le R.G.A.
 - la fétuque des prés
 - la fléole
 - le pâturin des prés
- **graminées de qualité moyenne** :
 - le pâturin commun
 - le fromental
 - le vulpin des prés
 - le dactyle
 - la crételle
 - la trisète
- **graminées médiocres** :
 - la flouve odorante
 - l'agrostis
 - le brome mou
 - la houlque laineuse
 - la fétuque rouge
 - le chiendent
 - le vulpin genouillé

- légumineuses :
 - le pâturin annuel
 - le trèfle blanc
 - le trèfle violet
 - adventices :
 - la cardamine
 - le chardon
 - la carotte sauvage
 - la ceraiste
 - le mouron
 - l'ortie
 - la pâquerette
 - le pissenlit
 - le plantain lancéolé
 - le plantain majeur
 - l'achillée millefeuille
 - la renoncule âcre
 - la renoncule rampante
 - le rumex acetosa
 - le rumex obtusifolius
 - la berce
- etc.

5.2. Etat de la flore en 2005 après 6 années de traitement

Fig. 10. *Etat de la flore en 2005*



♣ L'évolution de la flore est marquée par l'apport d'N minéral du commerce, ainsi la proportion de légumineuses qui est fortement réduite avec l'apport de 60 unités d'N par coupe.

Les adventices aussi sont les plus importantes sur cet objet : le pissenlit, la renoncule âcre, le rumex obtusifolius et la berce sont les principales adventices rencontrées sur ces parcelles.

♣ Remarquons la présence importante de légumineuses sur le témoin, mais aussi son bon recouvrement en bonnes et moyennes graminées.

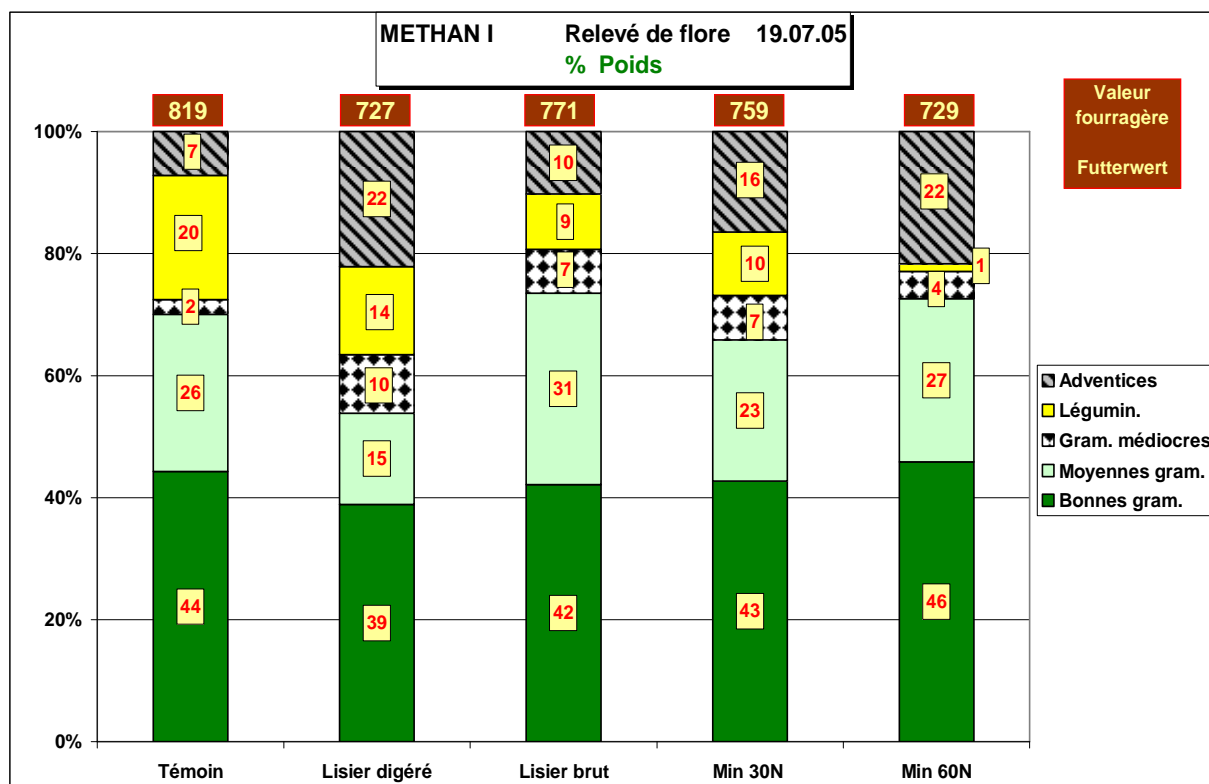
♣ L'objet « Min 30N » présente également un très bon recouvrement en légumineuses.

♣ Le lisier brut a le meilleur recouvrement total (454), avec la meilleure proportion de bonnes et moyennes graminées. On peut conclure que l'apport de lisier permet de maintenir un gazon comportant une bonne proportion de bonnes graminées et de légumineuses, mais qu'une attention particulière sera à apporter à l'évolution des adventices.

♣ Le traitement « Lisier digéré » présente une moindre proportion de bonnes graminées, mais une bonne représentation en légumineuses.

♣ On constate une proportion importante d'adventices avec les apports les plus élevés en azote minéral.

Fig. 11. *Relevé de la flore en 2005*



♣ Le témoin présente la meilleure valeur fourragère avec une cotation de 819 points : Des proportions importantes de bonnes et moyennes graminées (70 %), ainsi que de légumineuses (20 %), avec peu de mauvaises graminées et d'adventices - un fourrage remarquable ; malheureusement la quantité ne répond pas dans la même mesure que la qualité (18 tonnes de MS/ha en 13 coupes par rapport à 30 et 31 tonnes MS/ha pour les 2 lisiers).

♣ Le traitement « Lisier digéré » présente une proportion d'adventices équivalente à l'apport de 60 unités d'N par coupe (22 %!), mais une bonne représentation en légumineuses.

♣ Le lisier brut, qui a le meilleur recouvrement, présente également la valeur fourragère la meilleure des 4 traitements, imputée par des proportions importantes de bonnes et moyennes graminées

6. Evolution des sols

L'évolution des teneurs du sol en éléments minéraux a été étudiée sur base d'analyses annuelles.

6.1. Evolution et caractéristiques des sols

Le tableau 8 exprime en chiffres l'évolution entre le point de départ en février 2000 et l'état final en janvier 2006.

Tableau 8. *Evolution et caractéristiques des sols*

	Départ	6 années d'essai																								Valeurs à viser												
	Analyse du	Analyse du 08.01.2001						Analyse du 04.02.2002						Analyse du 24.03.2003						Analyse du 21.01.2004							Analyse du 25.01.2005						Analyse du 25.01.2006					
	22.02.2000	n°1 = Lisier digéré						n°2 = Témoin						n°3 = Min 30N						n°4 = Lisier brut							n°5 = Min 60N						entre					
		08.01.2001	04.02.2002	24.03.2003	21.01.2004	25.01.2005	25.01.2006	08.01.2001	04.02.2002	24.03.2003	21.01.2004	25.01.2005	25.01.2006	08.01.2001	04.02.2002	24.03.2003	21.01.2004	25.01.2005	25.01.2006	08.01.2001	04.02.2002	24.03.2003	21.01.2004	25.01.2005	25.01.2006	08.01.2001	04.02.2002	24.03.2003	21.01.2004	25.01.2005	25.01.2006							
pH _{H2O}	5,6 acide	5,9	6	6,3	5,8	6	6,4	5,8	5,7	6,2	5,7	5,9	6,2	5,7	5,7	6,2	5,8	6	6,3	5,8	6,4	6,4	6,1	6	6,5	5,7	6,3	6	5,8	5,9	6,3	6,7 - 7,3						
pH _{KCL}	4,6	4,9	5,3	5,3	5,1	5,2	5,5	4,8	5	5,1	4,8	4,9	5,2	4,7	5	5,1	4,9	5,1	5,3	4,9	5,4	5,4	5,2	5,3	5,6	4,7	5,2	4,9	4,8	5	5,3	5,6 - 6,6						
% Humus	5,8 bonne teneur	7	7,1	6,1	6,7	6,7	6,5	6,6	6,7	5,9	7	6,5	6,4	6,5	6,7	6,4	7,1	6,7	6,4	7	7,2	6,3	7,1	6,8	6,8	7,1	6,9	6,1	6,3	6,7	6,5	5,5 - 7,5						
Potassium (mg / 100g terre)	7 très faible	12	19	13	23	13	14	6	6	7	10	6	7	6	7	6	9	6	8	11	16	10	23	9	14	6	8	3	7	5	7	17 - 24						
Phosphore (idem)	1,8 très faible	2,7	3,6	3,7	4,4	3,2	3,8	1,7	2	2,5	2,8	2	2,4	1,8	2	2,4	3,3	3	3,1	1,9	2,7	2,3	4,5	3,5	3,5	1,9	2,2	1,8	2,7	2,3	3,2	4,5 - 7,5						
Calcium (idem)	86	85	128	133	129	146	165	85	105	108	111	118	143	81	109	127	124	145	152	92	130	121	143	164	184	88	121	102	114	132	166	110 - 410						
Magnésium (idem)	19 très riche	23	30	28	26	25	25	21	20	17	18	16	18	21	24	23	22	21	20	24	30	28	28	26	25	21	20	14	16	15	15	10 - 14						
Sodium (idem)	3	5	4	4	5	4	6	4	4	4	4	6	5	3	3	4	4	6	5	4	4	4	5	4	7	3	3	4	4	6	4	4 - 11						
Rapport K / Mg	0,37 faible	0,5	0,6	0,5	0,9	0,5	0,6	0,3	0,3	0,4	0,6	0,4	0,4	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,8	0,4	0,6	0,3	0,4	0,2	0,4	0,3	0,5	1,5 - 2						

6.2. Evolution des pH et des minéraux en graphiques

Fig. 12. *Evolution du pH_{eau} du sol*

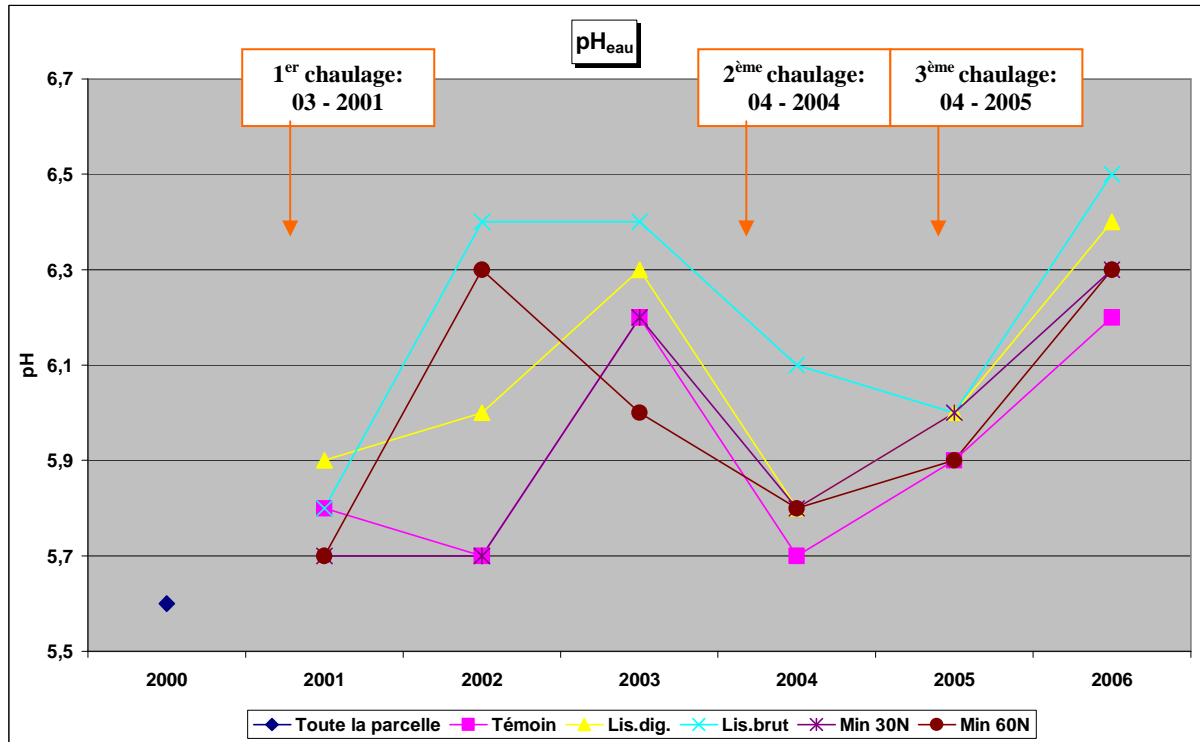


Fig. 13. *Evolution du pH_{KCL} du sol*

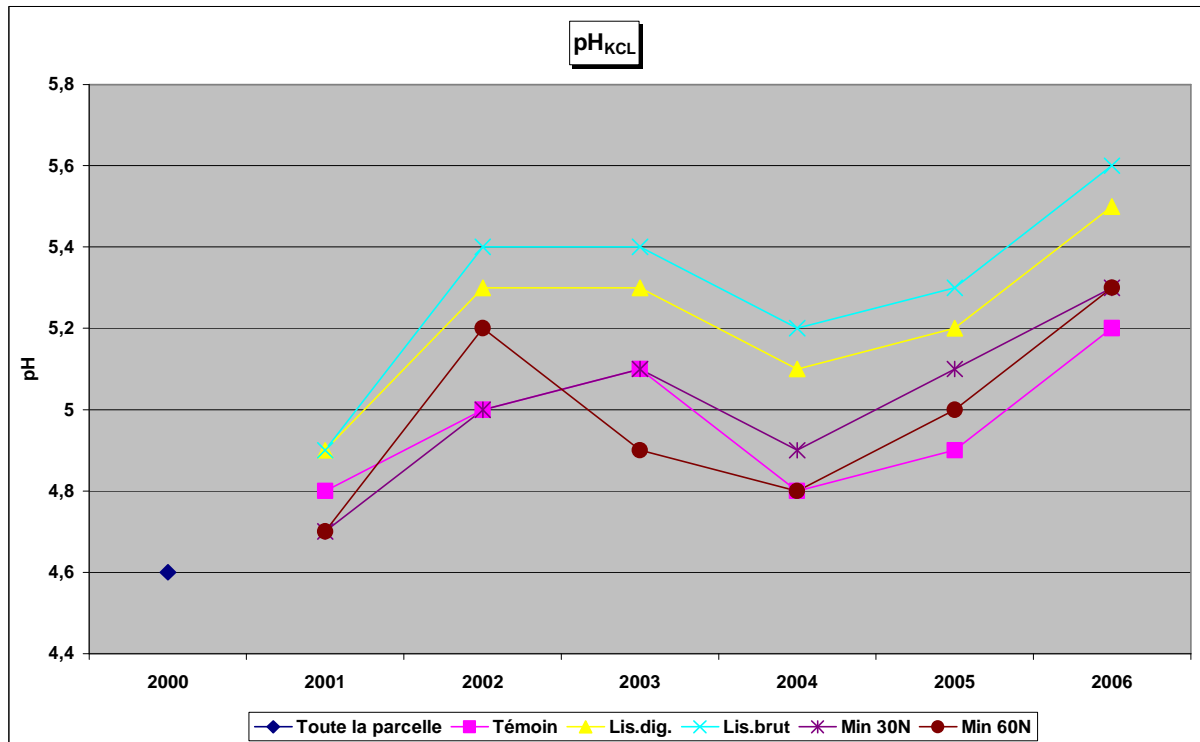


Fig. 14. *Evolution de la teneur en humus du sol*

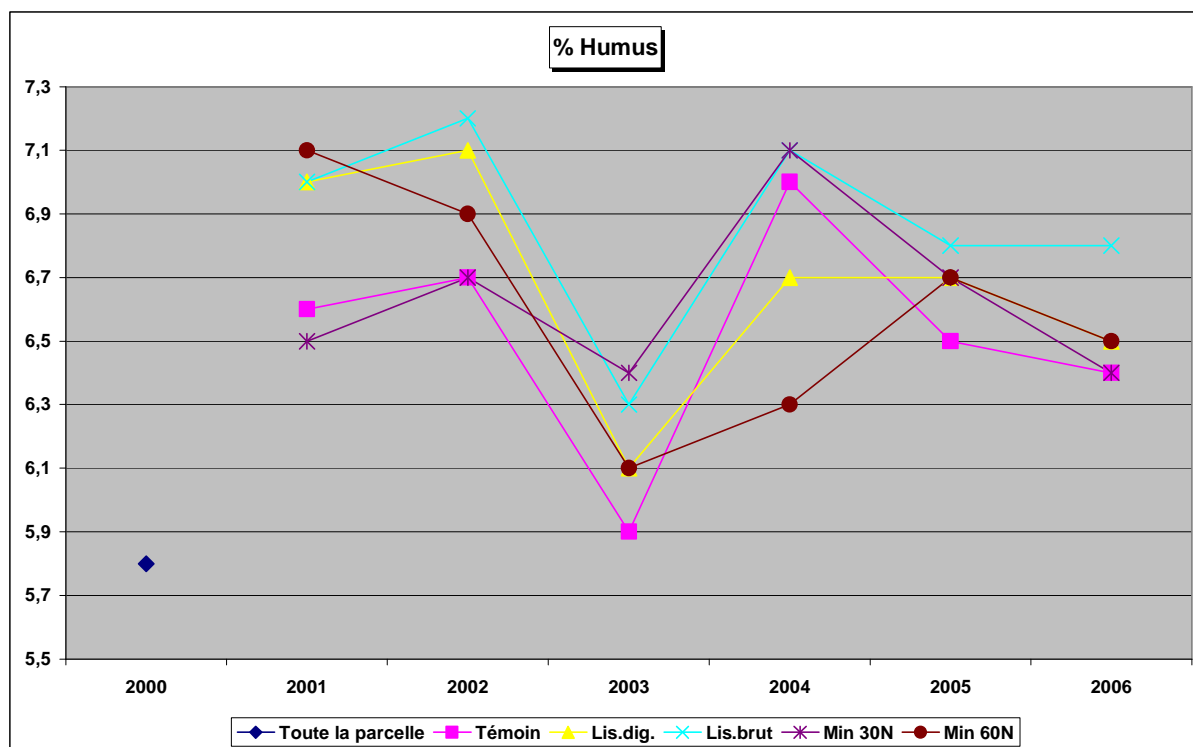


Fig. 15. *Evolution de la teneur en potassium du sol*

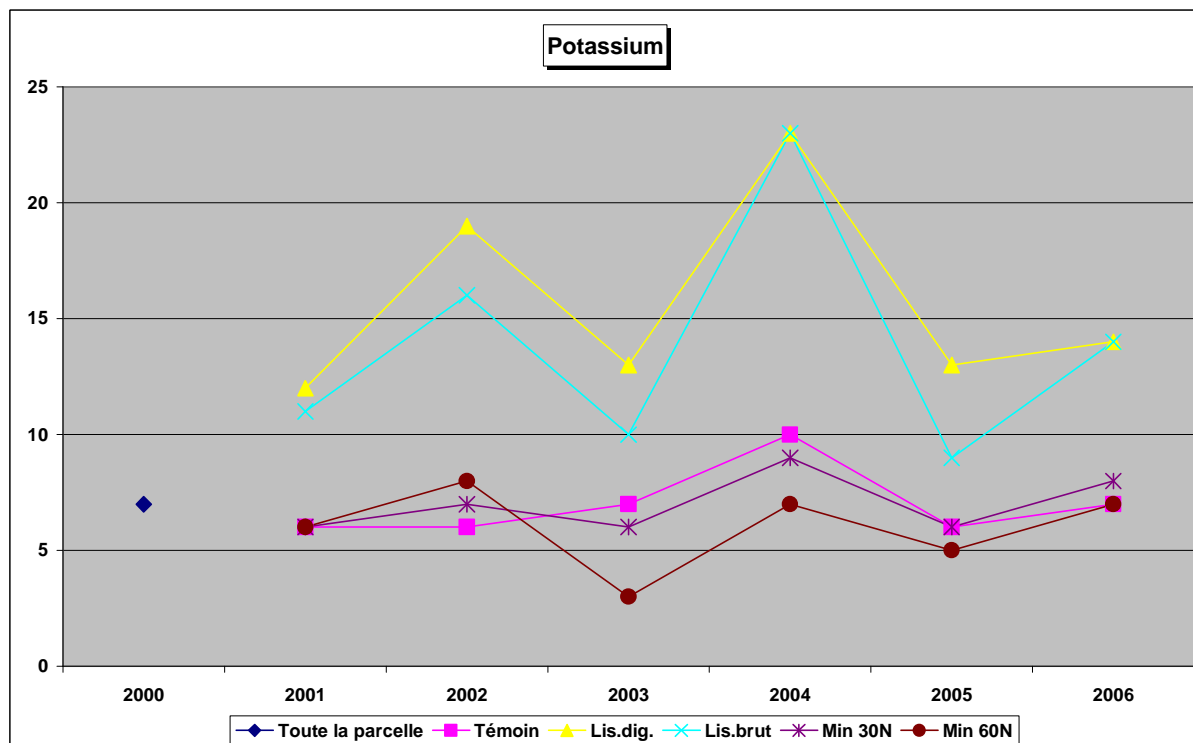


Fig. 16. *Evolution de la teneur en phosphore du sol*

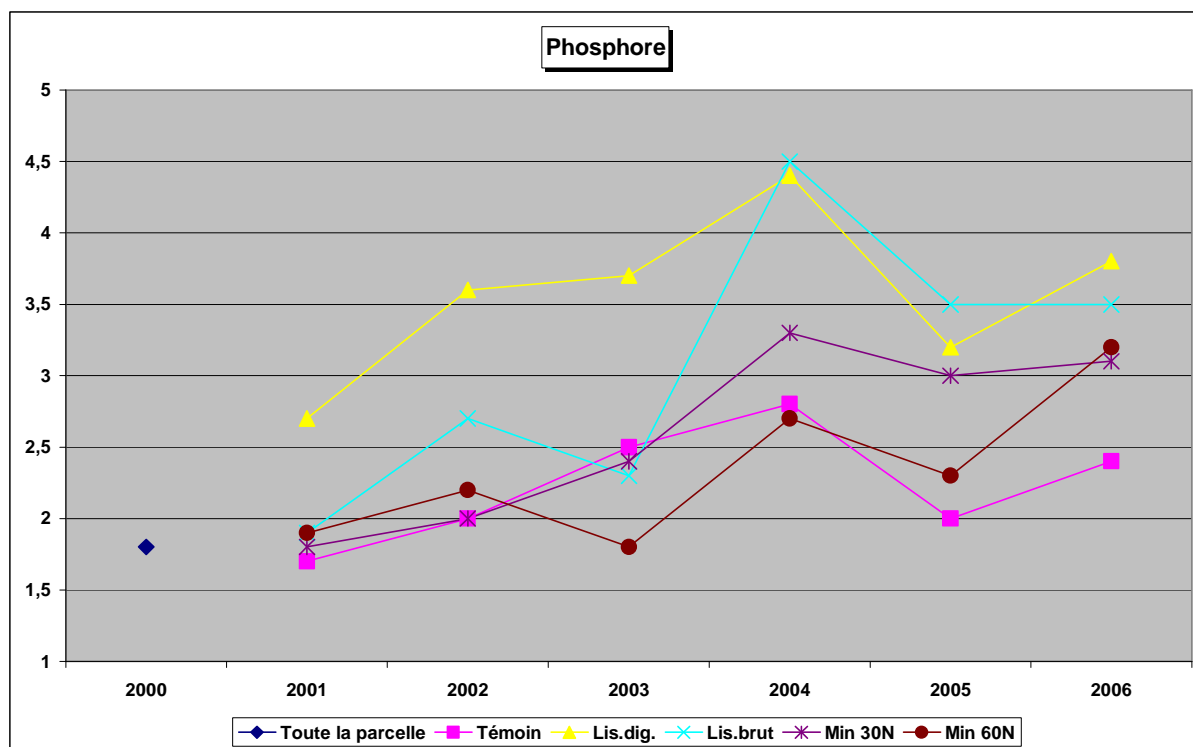


Fig. 17. *Evolution de la teneur en calcium du sol*

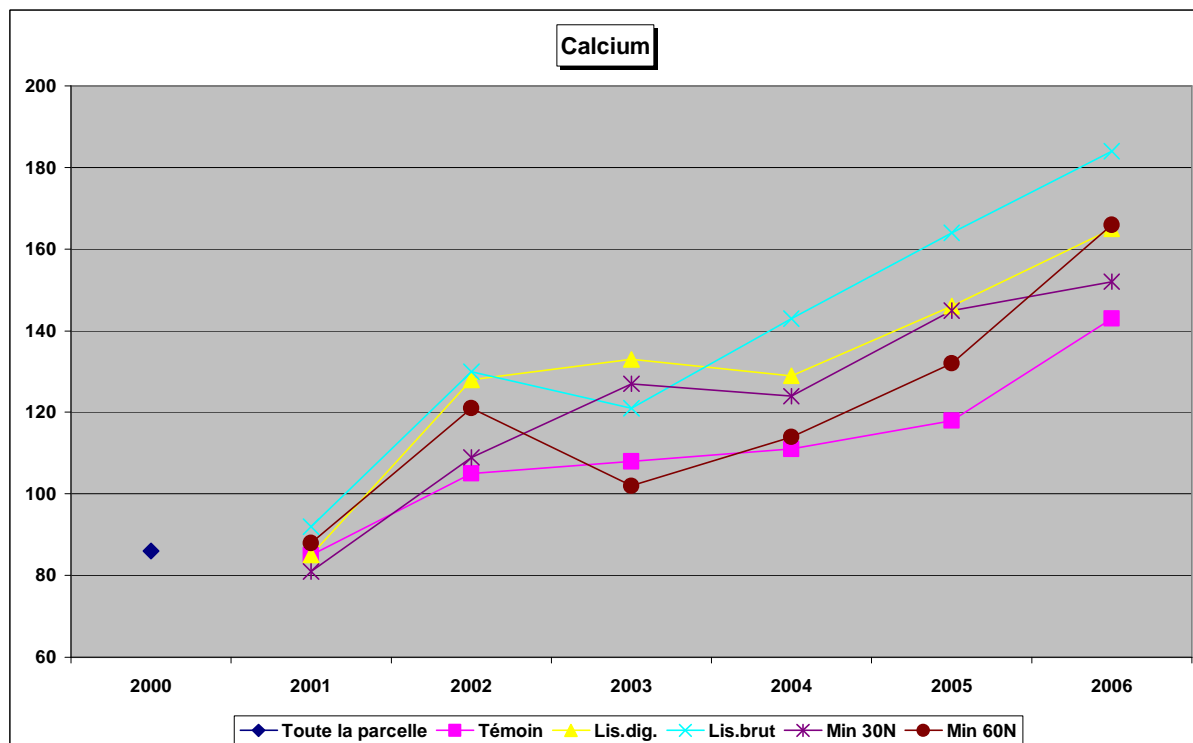


Fig. 18. *Evolution de la teneur en magnésium du sol*

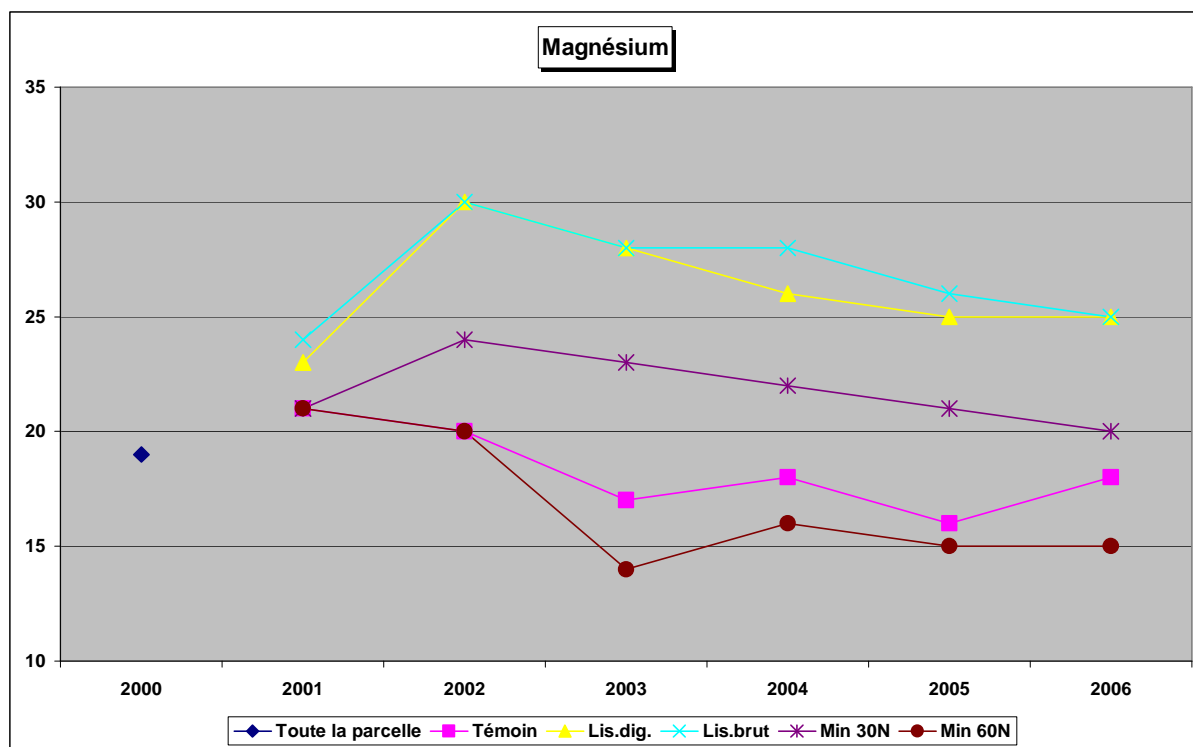
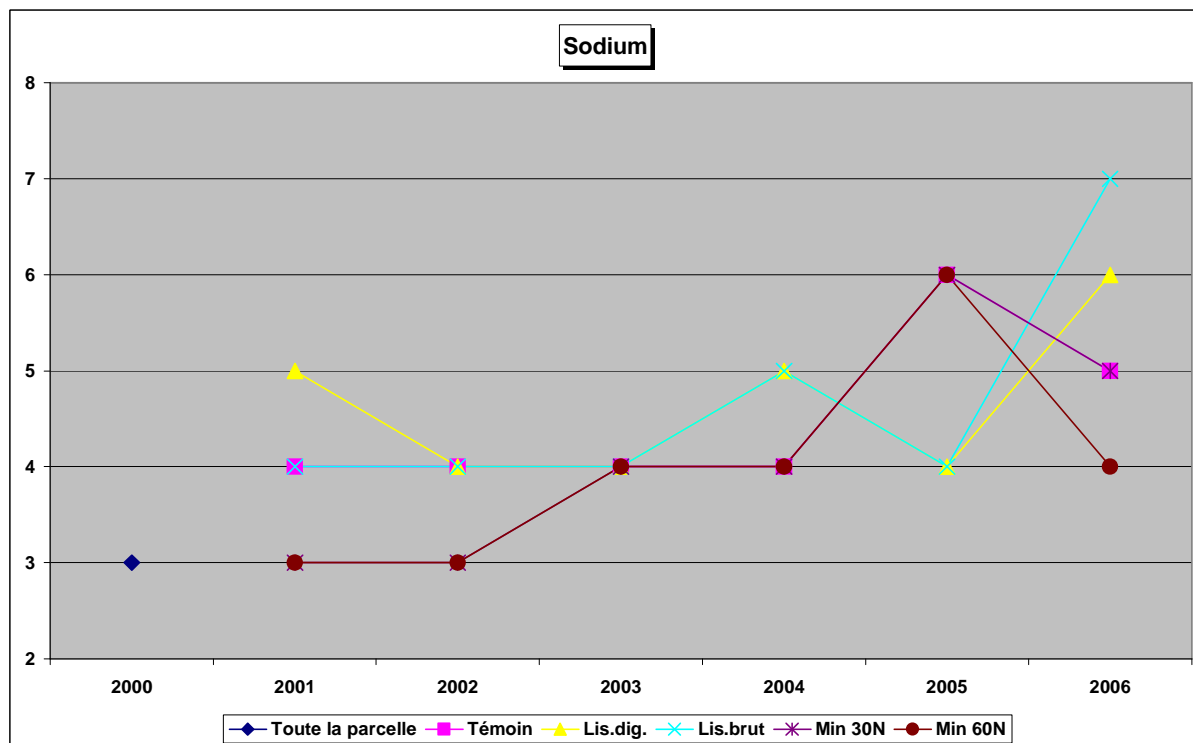


Fig. 19. *Evolution de la teneur en sodium du sol*



6.3. Teneurs du sol en fin d'essai

Fig. 20. Valeur du pH du sol en fin d'essai

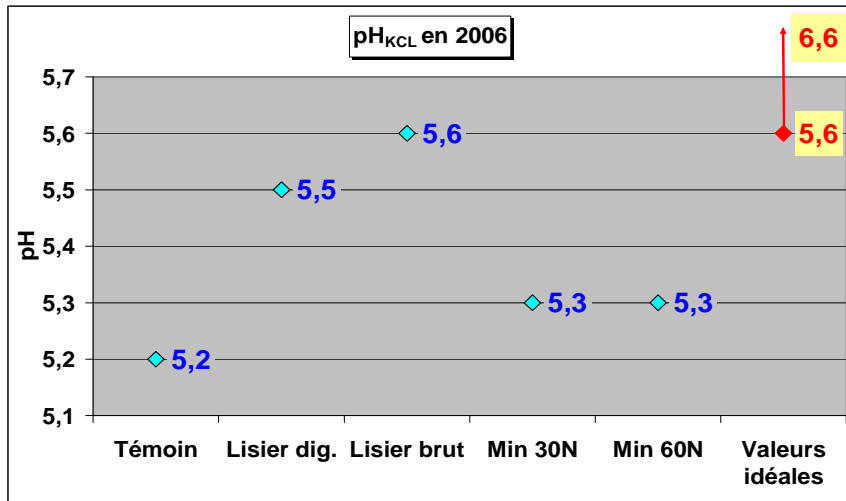


Fig. 21. Taux d'humus dans le sol en fin d'essai

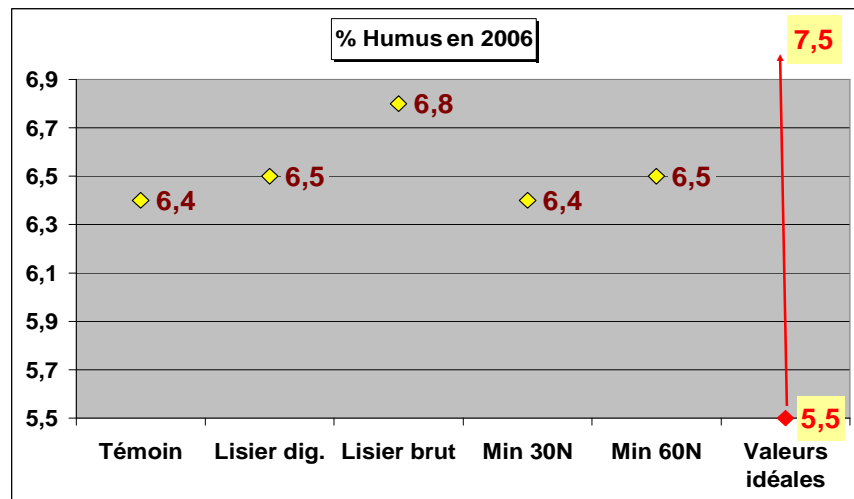


Fig. 22. Teneur en phosphore du sol en fin d'essai

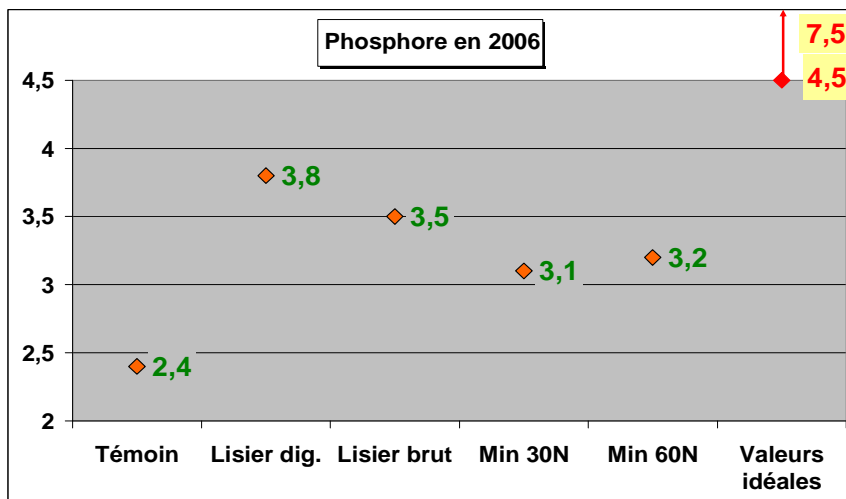


Fig. 23. *Teneur en potassium du sol en fin d'essai*

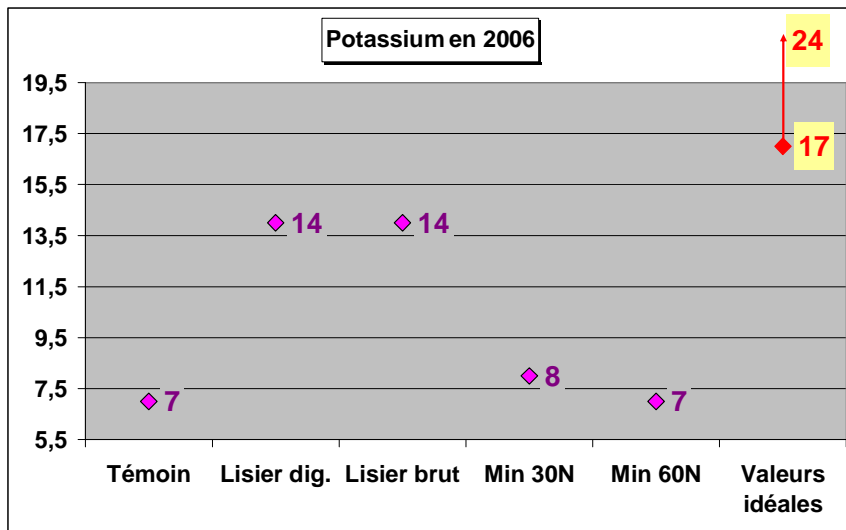


Fig. 24. *Teneur en calcium du sol en fin d'essai*

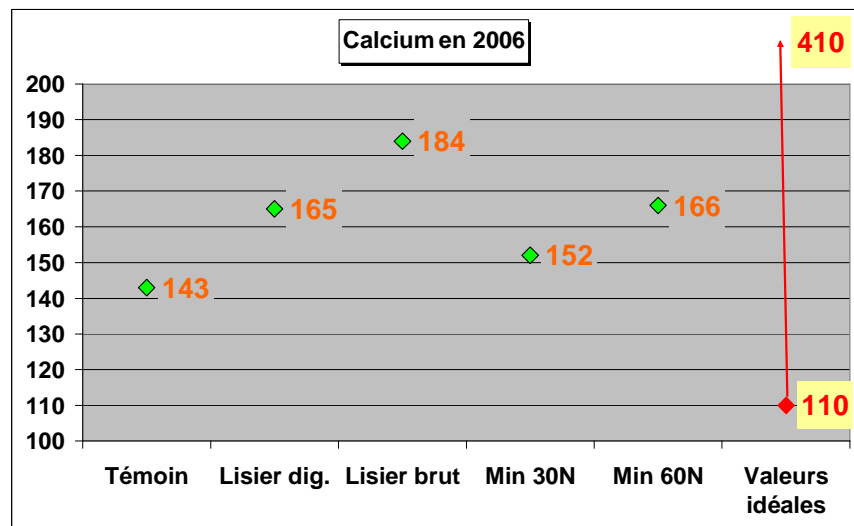


Fig. 25. *Teneur en magnésium du sol en fin d'essai*

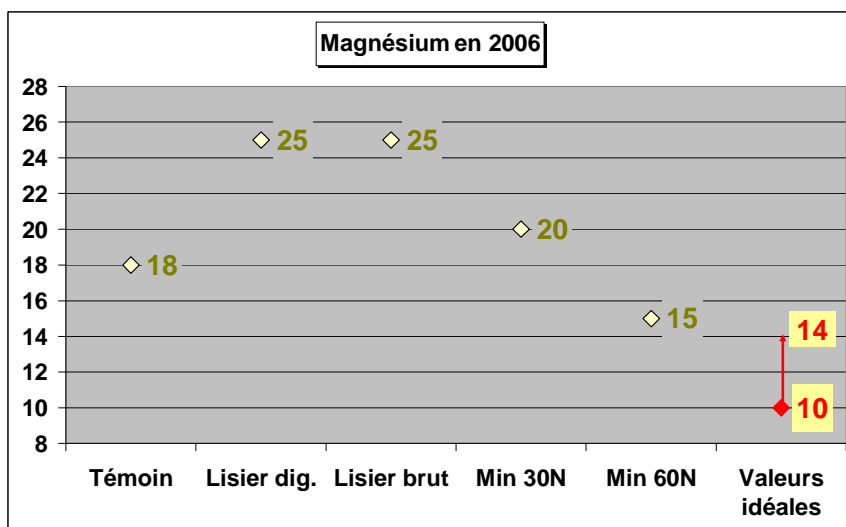


Fig. 26. *Teneur en sodium du sol en fin d'essai*

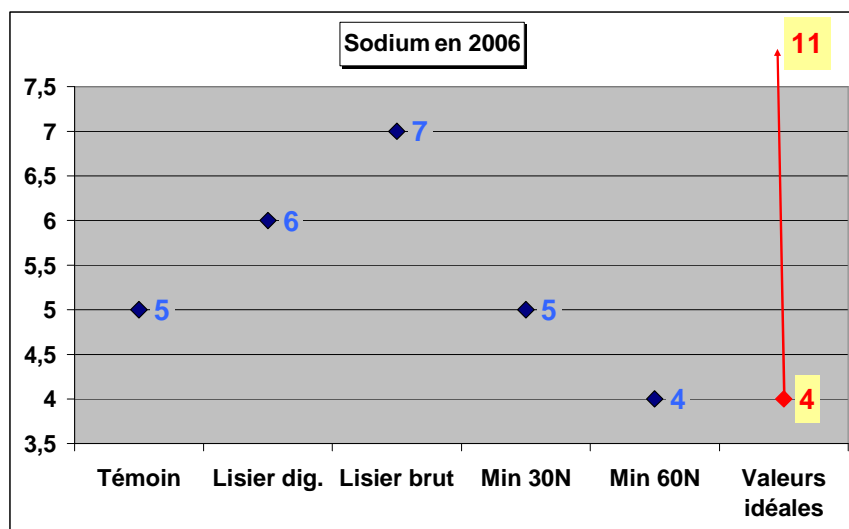
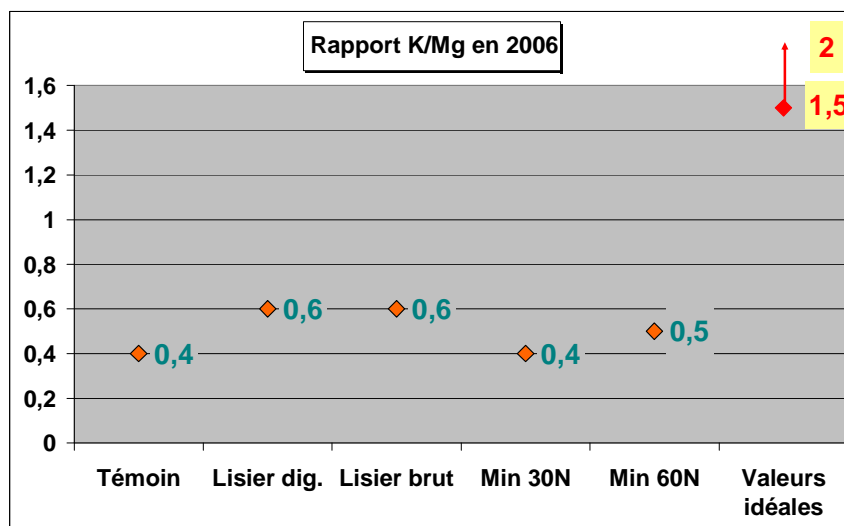


Fig. 27. *Rapport K / Mg en fin d'essai*



6.4. Commentaires sur l'évolution des teneurs du sol (tableau 8, fig. 12 à 27)

6.4.1. pH_{KCL}

Le pH du témoin et des 2 traitements à l'engrais minéral ne s'est redressé au total que de 0,6 et 0,7 points, malgré 3 chaulages importants au cours des 6 années (apports de 2 x 2 tonnes et 1 x 1,3 tonne d'engrais calcaire carbonaté).

D'après le graphique d'évolution (fig. 11) la DUWA 85 – 10, épandue en mars 2001, agit visiblement dans les 2 années qui suivent, mais c'est la combinaison aux lisiers qui assure une amélioration progressive et régulière.

Deux années successives au BIOCAL (2004 et 2005) engendrent une belle hausse régulière du pH sur tous les objets.

L'état final en 2006 (fig. 20) montre encore l'effet supplémentaire des lisiers sur l'évolution positive du pH : En plus des effets des 3 chaulages, les lisiers entraînent des hausses de

quelques dixièmes de points, ce qui les amène à la limite inférieure des valeurs idéales. C'est surtout le traitement au lisier brut qui s'est bien amélioré.

6.4.2. % Humus

Tous les traitements semblent avoir une action sur les teneurs en humus.

En fin d'essai le lisier brut a augmenté la teneur de 1 % (5,8 → 6,8 %), en passant par des pics de 7,2 % et 7,1 % en 2002 et 2004 (soit + 1,3 et 1,2 % par rapport au début). Les 4 autres entraînent une hausse finale de 0,6 % pour le témoin et l'objet Min 30N et de 0,7 % pour le lisier digéré et le Min 60N. Eux aussi sont passés par des pics plus élevés. Tous les traitements marquent en mars 2003 une chute remarquable et apparemment inexplicable de ± 1 % (fig. 14 p. 25). Ces fluctuations peuvent être attribuées à un problème d'échantillonnage.

A la fin de l'essai tous les traitements se trouvent encore dans la fourchette idéale. Dans le cas ou des traitements semblables se poursuivraient durant de longues années, l'influence du lisier brut sur le taux d'humus serait à surveiller, parce qu'il augmente la teneur en C du sol. Ceci peut être vu positivement dans le cadre du cycle du carbone (Kyoto) mais, d'autre part, les risques de pertes potentielles augmentent.

6.4.3. Phosphore

Malgré des fluctuations assez importantes, les valeurs en P disponibles restent faibles probablement en raison d'un stockage important de cet élément sous forme organique. L'évolution des teneurs en phosphore des sols est régulière mais lente pour tous les traitements. Il faut aussi signaler que le point de départ était très bas (1,8 mg/100g de terre). C'est le lisier digéré qui en fin d'essai a atteint la teneur la plus élevée (3,8), suivi du lisier brut (3,5). Rappelons ici que le lisier porcin est plus riche en P et que les lisiers utilisés dans cet essai contiennent en principe 40 % de lisier porcin.

6.4.4. Potassium

Une question, déjà observée pour le phosphore, se repose pour le potassium : en janvier 2004 un pic de 23 mg/100g de terre est enregistré pour les 2 sortes de lisier, alors que les 2 années suivantes ils retombent à des teneurs de 9 à 14. Ceci peut s'expliquer par un problème d'échantillonnage ou une variation d'humidité du sol.

Ce sont donc les 2 lisiers qui terminent l'essai chacun à 14 mg, alors que les teneurs finales des 3 autres objets (témoin, Min 30N et Min 60N) présentent avec des teneurs respectives de 7, 8 et 7 mg des grosses carences de potasse dans le sol.

Les réserves en potassium apparaissent faibles en particulier dans les traitements Nmin.

6.4.5. Calcium

Partant de valeurs légèrement au-dessus de 80, tous les objets présentent une progression régulière en calcium, liée aux chaulages d'entretien. En fin d'essai tous se retrouvent dans le premier tiers de la fourchette des valeurs à viser : 143 mg/100g de terre pour le témoin, 152 pour le Min 30N, 165 pour le lisier digéré, 166 pour le Min 60N et 184 pour le lisier brut. En examinant ces 5 valeurs de Ca (fig. 24 p. 29) parallèlement aux doses d'azote appliquées sur chacun des objets, on constate un développement directement proportionnel du Ca par rapport aux doses d'N :

Ex. : témoin : 0 uN - 143 mg Ca ; Min 30N : 690 uN - 152 mg Ca ; Min 60N : 1380 uN - 166 mg Ca ; lisier digéré : 1390 uN - 165 mg Ca ; lisier brut : 1469 uN - 184 mg Ca. S'agit-il

d'une simple coïncidence ou existe-t-il un lien avec l'engrais azoté (en plus des effets des lisiers et des apports d'engrais calcaire).

Les apports d'engrais calcaire ont toujours été effectués sur la parcelle entière, soit le même apport pour tous les traitements.

6.4.6. Magnésium

On remarque des teneurs élevées en Mg. Tous les objets, y compris le témoin, dépassent la valeur cible. En Haute Ardenne on observe généralement des teneurs élevées dans les exploitations agricoles et ce d'autant plus que la charge animale est élevée. C'est pourquoi nous conseillons ici d'utiliser des engrais calcaires et minéraux dépourvus ou pauvres en magnésium. En fin d'essai on remarque une supériorité pour les traitements lisier, qui maintiennent des valeurs élevées dans le sol.

6.4.7. Sodium

En partant d'une teneur de 3, tous les objets présentent en fin d'essai des teneurs de sodium dans la fourchette visée (4 à 11). Après avoir plafonnés quelques années entre le 4 et le 5, les lisiers sont montés à 6 pour le lisier digéré et à 7 pour le lisier brut.

6.4.8. Rapport K/Mg

Sur tous les objets le rapport K/Mg est assez faible. Des valeurs ne dépassant pas 0,6 (alors que l'idéal se situe entre 1,5 et 2) sont dues aux teneurs trop basses de potassium (*figures 23 et 25*). Pour rétablir cet équilibre il faudrait à l'avenir veiller à un développement conséquent du potassium dans le sol, tout en évitant tout apport de magnésium.

6.4.9. Conclusion générale

Pour tous les éléments du sol, ce sont les lisiers qui montrent les teneurs les plus élevées et qui tendent vers les valeurs idéales.

L'apport régulier de lisier en prairie de fauche permet donc de maintenir voire d'améliorer le pH du sol, la teneur en humus, le potassium, le phosphore.

Les volumes à épandre doivent bien entendu être en rapport avec les objectifs de production et les normes autorisées en prairies.

A part pour le phosphore, qui présente 3 dixièmes en plus, le lisier digéré n'apporte, en ce qui concerne l'amélioration des sols, rien de plus qu'un lisier brut. Mais il apparaît que le lisier digéré augmente moins les teneurs en humus (*figure 19*).

7. La qualité des fourrages

En 2005, lorsque l'essai touche à sa fin, le traitement « témoin » présente une flore riche en trèfle blanc. Alors il a été décidé après la 3^{ème} coupe de comparer sa qualité de fourrage avec le traitement « lisier brut » qui présente le plus haut pourcentage de recouvrement et la deuxième valeur fourragère (après le témoin). Les échantillons de la coupe en question ont donc été envoyés au laboratoire pour analyse de qualité. Etant donné qu'il n'a pas été procédé à des répétitions d'analyses (pas prévues dans le protocole et pour une question de coût), les résultats ci-dessous peuvent n'être considérés qu'à titre indicatif pour des différences entre un fourrage de prairie non fertilisée pendant plusieurs années et une prairie fertilisée régulièrement au lisier.

7.1. Qualités moyennes et total des exportations (azote, minéraux et VEM)

Tableau 9. *Qualités moyennes et total des exportations (azote, minéraux et VEM)*

		Nt	kg N exportés	K ₂ O	K ₂ O exportés (kg)	P ₂ O ₅	P ₂ O ₅ exportés (kg)	Na ₂ O	Na ₂ O exportés (kg)	MgO	MgO exportés (kg)	CaO	CaO exportés (kg)	VEM
n°2	3 .coupe	2,74	40,78	2403,30	35,83	1005,10	14,99	603,79	9,00	539,20	8,04	1324,05	19,74	943,04
	4. coupe	3,18	33,49	2194,50	23,13	1083,30	11,42	648,68	6,84	654,40	6,90	1325,45	13,97	1005,00
		2,96	74	2299	59	1044	26	626	16	597	15	1325	34	974
n°4	3 .coupe	2,58	57,51	3493,20	77,76	1013,73	22,57	442,80	9,86	526,40	11,72	1072,05	23,86	911,11
	4. coupe	3,22	64,26	3847,50	76,72	995,33	19,85	648,00	12,92	514,00	10,25	840,70	16,76	943,24
		2,90	122	3670	154	1005	42	545	23	520	22	956	41	927

Fig. 28 – 34. *Moyennes des 4 coupes pour Nt, K2O, P2O5, Na2O, MgO, CaO, VEM*

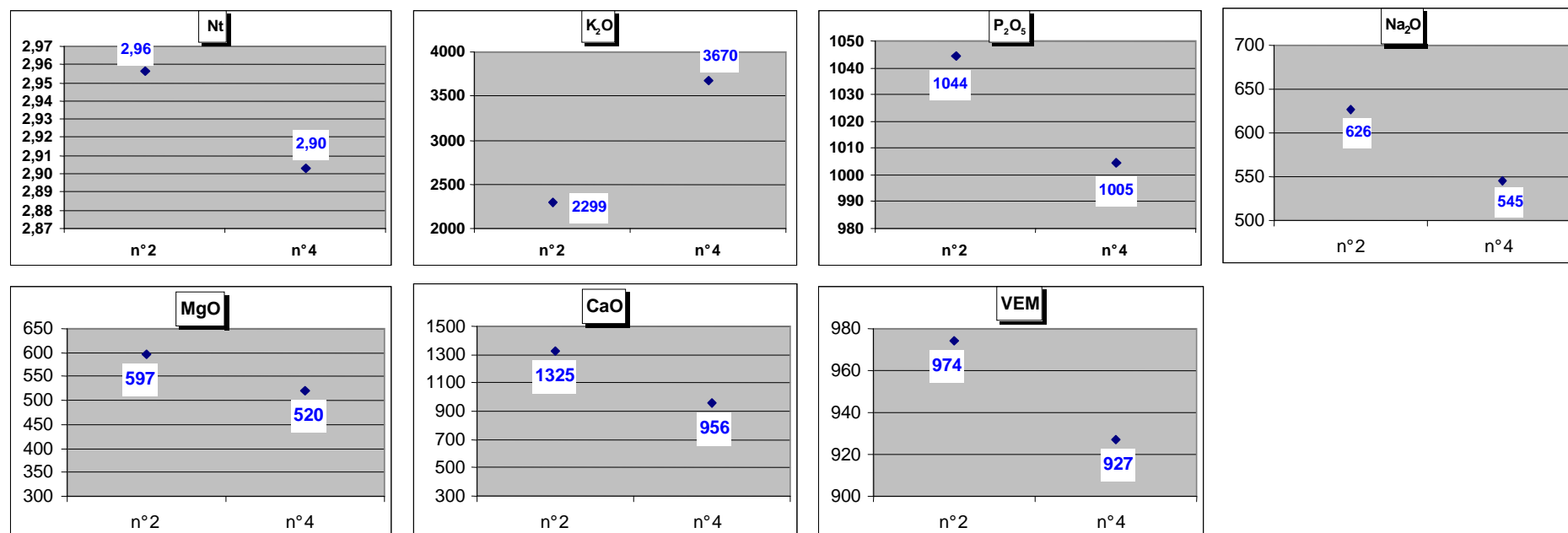
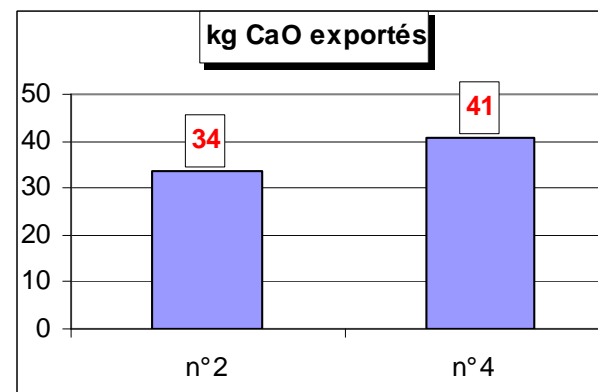
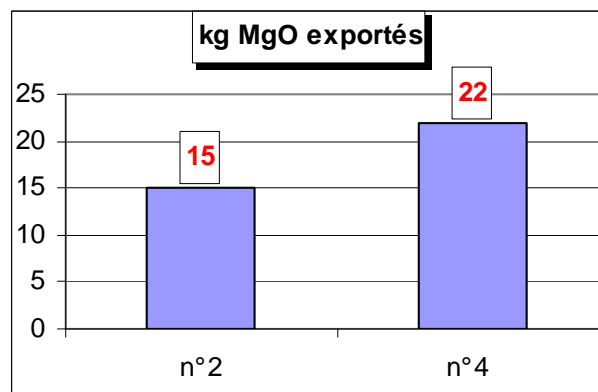
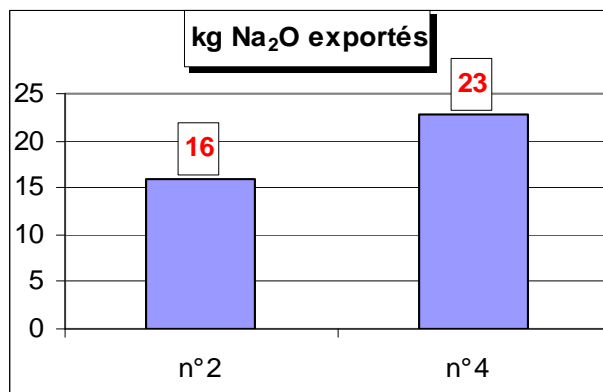
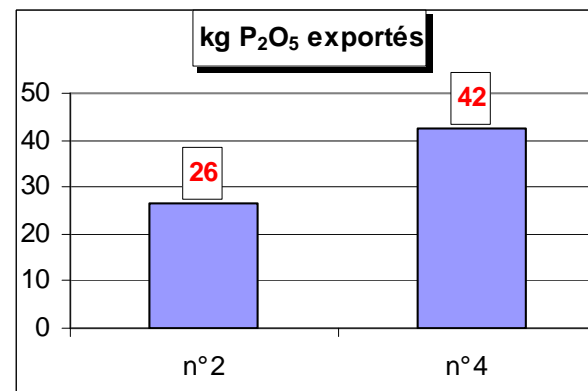
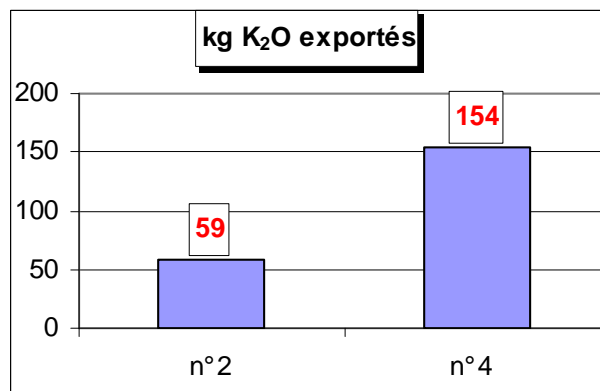
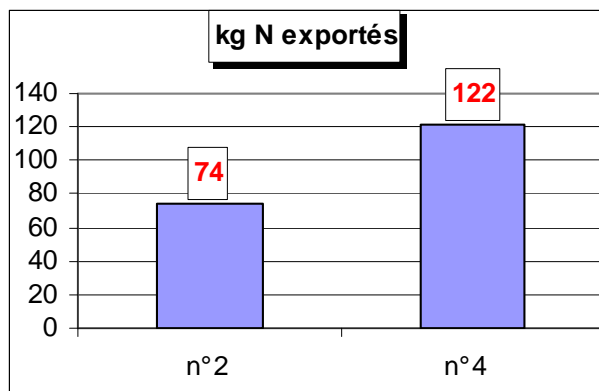


Fig. 35 – 40. *Total des exportations en Nt, K₂O, P₂O₅, Na₂O, MgO, CaO, VEM*

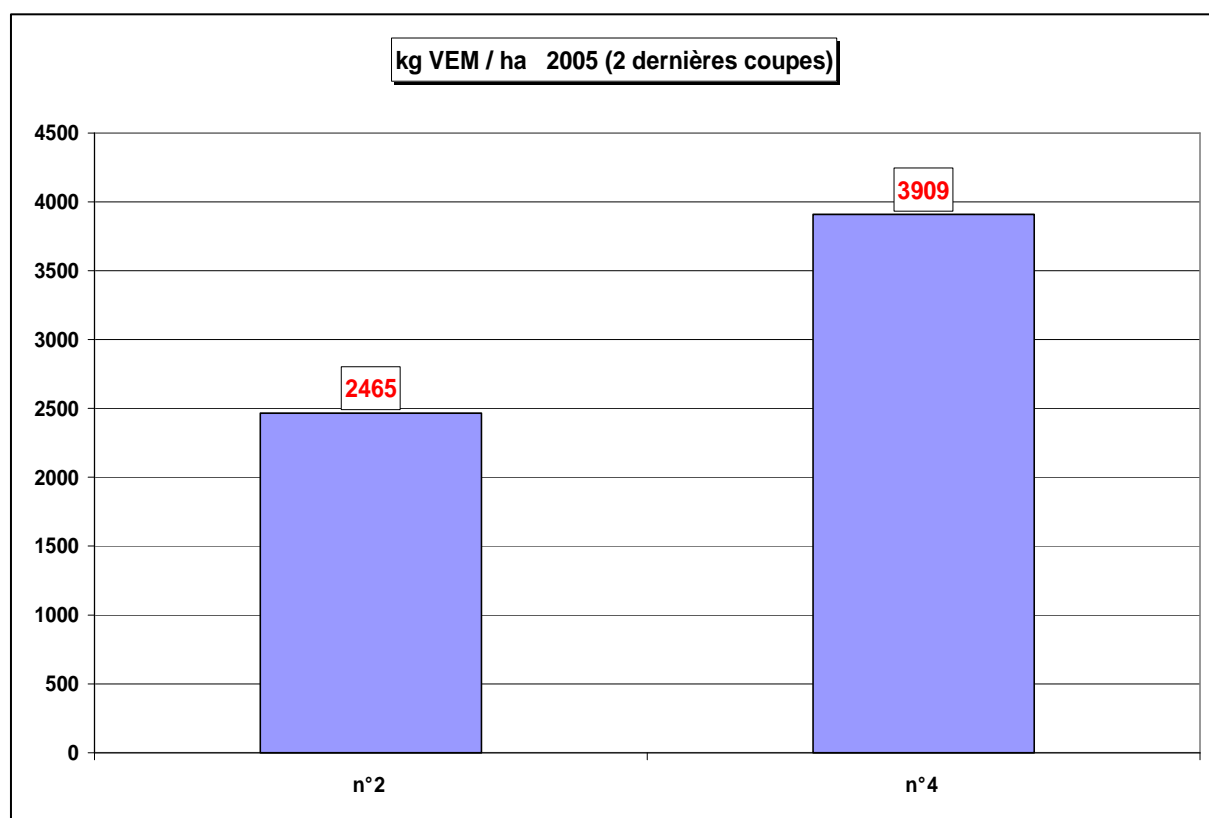


7.2. Le rendement en VEM/ha (3^{ème} + 4^{ème} c. 2005)

Tableau 10. *kg VEM/ha*

	VEMcs	rendement MS/ha	VEM/ha	Moyenne kg VEM/ha
3.coupe	943,04	1491	1406069	1233
4.coupe	1005,00	1054	1059273	
	974		2465342	
		Rendement kgVEM/ha :	2465	
	VEMcs	rendement MS/ha	VEM/ha	Moyenne kg VEM/ha
3.coupe	911,11	2226	2028131	1954
4.coupe	943,24	1994	1880816	
	927		3908946	
		Rendement kgVEM/ha :	3909	

Fig. 41. *kg VEM/ha*



7.3. Commentaires

Les analyses de qualité confirment l'effet de dilution des teneurs pour les parcelles fertilisées par rapport au témoin, sauf pour les teneurs en potassium (*figures 26 – 32*). Comme attendu la valeur des fourrages du témoin est excellente (974 VEM kg MS).

8. Comparaison des lisiers utilisés durant 6 ans sur base d'analyses complètes

Tableau 11. *Lisier brut et lisier digéré – valeurs moyennes de 24 voit 23 analyses laboratoires*

Lisier brut (valeurs labo 24 analyses)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Moyennes
	Moyennes	Moyennes	Moyennes	Moyennes	Moyennes	Moyennes	des 6 années
pH	7,99	7,75	7,91	7,37	7,54	6,37	7,50
% MS	7,26	7,24	4,33	4,12	5,97	6,99	6,04
% MO	5,51	5,12	2,68	2,60	4,42	4,92	4,24
N total	4,31	4,93	4,12	2,96	3,71	3,96	4,05
N ammon.	1,71	2,33	2,14	1,43	1,47	1,83	1,85
P ₂ O ₅	1,31	1,98	0,97	1,12	1,43	2,05	1,50
K ₂ O	3,49	4,68	4,12	2,89	3,09	3,68	3,72
CaO	1,77	2,03	1,13	1,40	2,12	1,59	1,67
MgO	1,00	1,11	0,60	0,58	0,88	0,78	0,84
Na ₂ O	0,64	0,79	0,56	0,36	0,34	1,98	0,80

% NH₃ de Ntot

2000	2001	2002	2003	2004	2005	Moyenne
39,7%	47,2%	52,0%	48,2%	39,5%	46,1%	45,5%

Lisier digéré (valeurs labo 23 analyses)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Moyennes	
	Moyennes	Moyennes	Moyennes	Moyennes	Moyennes	Moyennes	des 6 années	
pH	8,36	8,21	8,17	7,88	8,01	7,97	8,12	0,61
% MS	6,22	4,46	3,46	4,75	6,21	6,65	5,25	-0,79
% MO	4,26	2,66	1,90	2,43	4,04	3,80	3,14	-1,09
N total	4,56	3,59	4,14	4,52	4,88	4,83	4,40	0,35
N ammon.	2,34	2,22	2,38	2,53	1,75	2,58	2,32	0,47
P ₂ O ₅	1,68	1,38	0,89	1,31	2,00	2,24	1,57	0,07
K ₂ O	5,53	3,78	3,97	4,29	4,25	3,64	4,24	0,52
CaO	1,71	1,44	1,08	2,23	2,32	1,97	1,77	0,10
MgO	1,02	0,78	0,47	0,66	1,04	0,90	0,80	-0,03
Na ₂ O	0,81	0,67	0,61	0,65	0,70	1,66	0,86	0,06

% NH₃ de Ntot

2000	2001	2002	2003	2004	2005	Moyenne
51,3%	62,0%	57,4%	56,0%	35,9%	53,5%	52,7%

Commentaires

Alors que les valeurs présentées et commentées dans les tableaux 1 et 2 concernent les moyennes pondérées des éléments en fonction des quantités épandues, les moyennes ici se basent exclusivement sur les résultats des analyses complètes de laboratoire.

Cette comparaison des 2 types de lisier confirme et met en évidence les théories selon lesquelles le pH d'un lisier digéré par biométhanisation est plus élevé (+ 0,61 → lisier plus basique), pour une teneur en matière sèche plus basse (-0,79 % = résultat d'une transformation de la matière organique par les bactéries) et une teneur en azote ammoniacal dépassant les 50 % de l'azote total.

Pour plus de détails sur les lisiers appliqués dans l'essai le lecteur se rapportera au chapitre 3.7.

9. Conclusions générales

9.1. Lisier digéré :

- a. pH plus élevé d'où risque accru de pertes lors de l'épandage
- b. % MS plus faible - action favorable sur les pertes lors de l'épandage
- c. % de l' N ammoniacal supérieur d'où risque accru de pertes lors de l'épandage
- d. La teneur en éléments minéraux est plus élevée car il y a apport de matières exogènes (lisier de porcs + ...)

9.2. Rendements :

Bonne efficacité des lisiers épandus par rapport à la fertilisation minérale. Efficacité semblable des 2 types de lisier atteignant plus de 14 kg de MS par unité d'Nt apportée.

9.3. Flore :

- a. Excellent recouvrement des parcelles fertilisées avec les lisiers par rapport au niveau élevé d'N minéral.
- b. Le recouvrement est meilleur surtout pour les légumineuses.
- c. Bonne proportion des légumineuses pour les parcelles traitées avec lisier digéré mais pratiquement même pourcentage d'adventices.

9.4. Sol :

- a. pH : Excellent comportement des lisiers.
- b. En minéraux : Amélioration sensible des teneurs pour les traitements aux lisiers.
