



Klosterstraße 38 B - 4780 ST. VITH
Tél. : 080/22 78 96 - Fax : 080/22 90 96
E-Mail : agraost@skynet.be
Internet : www.agraost.be
N° entreprise : 430.229.345

Centre de référence et d'expérimentation **« Séparation de phase de lisier de bovin »**

Exploitation agricole de Christof Kaut
Mertesheide 21
Alster
B 4790 Burg Reuland

Rapport final

Avec le soutien du Service public de Wallonie



Ce CRE a été suivi par le service extérieur de Malmedy (Benoît Georges)
N'hésitez pas à prendre contact avec cet agent pour toute information complémentaire

Sommaire

Sommaire	2
1. Secteur concerné.....	5
2. Description de l'exploitation.....	5
3. Objectif(s) en tant que CRE	6
4. Plan de travail et partenariats éventuels.....	6
5. Difficultés rencontrées	8
6. Résultats obtenus	9
6.1 Évolution de la phase solide au cours du temps	9
6.1.1 Résultats 2015	9
6.1.2 Résultats 2016 - 2017	10
6.1.3.1 La phase solide à faible teneur en matière sèche	10
6.1.3.2 La phase solide à teneur moyenne en matière sèche	12
6.1.3.3 La phase solide à teneur élevée en matière sèche.....	13
6.1 Mise en place et suivi d'un tas de phase solide pendant 6 semaines	14
6.2 Compostage de la phase solide	15
6.2.1 Résultats du compostage été 2015.....	15
6.2.1 Résultats du compostage automne 2016	17
6.2.1.1 Compostage d'une phase solide à teneur élevée en MS.....	17
6.2.1.1 Compostage d'une phase solide à faible teneur en MS	19
6.3 Calcul d'un bilan de séparation du lisier.....	20
6.4 Caractérisation de la phase solide à différents taux de matière sèche	23
6.5 Mise en œuvre de la phase solide comme litière.....	25
6.5.1 L'évolution de la température des logettes	26
6.6 Valorisation de la phase en culture de maïs.....	27
6.7 Mesures des pertes ammoniacales lors de l'épandage phase solide, phase liquide et lisier	29
6.8 Détermination de la valeur financière des différentes phases 2018.....	35
7. Interprétation des résultats	36
8. Diffusion de l'information	37
9. Conclusions.....	37

Graphique 1 : Evolution de l'azote ammoniacal et de la teneur en matière sèche de la phase solide en 2015.....	10
Graphique 2 : évolution de la teneur en matière sèche et en ammoniac de la phase solide à faible teneur en MS.....	11
Graphique 3 : évolution de la teneur en matière sèche et en ammoniac de la phase solide teneur moyenne en MS.....	12
Graphique 4 : évolution de la teneur en matière sèche et en ammoniac de la phase solide teneur élevée en MS.....	13
Graphique 5 : évolution de la température de la phase solide stockée en tas.....	17
Graphique 6 : évolution de température de phase solide à teneur en MS élevée.....	18
Graphique 7 : évolution de température de phase solide à faible teneur en MS.....	19
Graphique 8 : bilan massique de la séparation de lisier en une phase solide sèche.....	21
Graphique 9 : bilan massique de la séparation de lisier en une phase solide humide.....	22
Graphique 10 : rendement des différentes variantes de maïs ensilage.....	28
Graphique 11 : résultats des mesures de pertes par volatilisation par rapport à l'azote ammoniacal (09/08/2016).....	31
Graphique 12 : résultats des mesures de pertes par volatilisation par rapport à l'azote total (09/08/2016).....	31
Graphique 13 : résultats des mesures de pertes par volatilisation par rapport à l'azote ammoniacal (04/04/2017).....	33
Graphique 14 : résultats des mesures de pertes par volatilisation par rapport à l'azote total (04/04/2017).....	34
Tableau 1: teneurs en éléments fertilisants du lisier, de la phase liquide et de la phase solide; moyenne des trois répétitions	9
Tableau 2 : évolution de la phase solide à faible teneur en matière sèche	11
Tableau 3 : évolution de la phase solide à teneur moyenne en matière sèche	12
Tableau 4 : évolution de la phase solide à teneur élevée en matière sèche	13
Tableau 5 : caractéristiques de la phase solide stockée pendant 6 semaines	14
Tableau 6 : analyses de la phase solide après 3 et 6 semaines de stockage	14
Tableau 7 : teneurs en éléments fertilisants de la phase solide avant et après compostage	16
Tableau 8 : teneurs en nutriments dans les différentes matières	20
Tableau 9 : répartition des nutriments du lisier dans la phase solide	21
Tableau 10 : analyses des différentes phases solides	23
Tableau 11 : analyses des différentes phases liquides	24
Tableau 12 : évolution de la température dans la phase solide utilisée comme litière des logettes	26
Tableau 13 : analyses des matières organiques épandues en culture de maïs	27
Tableau 14 : données météorologiques du 9 août 2016	29
Tableau 15 : analyse des matières organique épandues pour la mesure des pertes par volatilisation	30
Tableau 16 : quantité des nutriments épandus des différentes matières organiques lors des mesures de pertes	30
Tableau 17 : données météorologiques du 4 avril 2017	32
Tableau 18 : analyse des matières organique épandues pour la 2 ^{ème} mesure des pertes par volatilisation	32

Tableau 19 : quantité des nutriments épandus des différentes matières organiques lors des mesures de pertes	33
Tableau 20 : valeurs financières 2018 de la phase solide et liquide	35
Photo 1 : journée d'étude d'Agra Ost sur la séparation de phase à l'attention des éleveurs intéressés	8
Photo 2: tas de phase solide 1 ^{er} jour	15
Photo 3 : tas de phase solide fin compostage	15
Photo 4 : aperçu de l'intérieur du tas à la fin de compostage	16
Photo 5 : aperçu du tas durant une forte pluie ; pas de pertes de jus	16
Photo 6 : début du compostage du tas de phase solide à teneur élevée en MS	18
photo 7 : tas de phase solide MS élevée 1 ^{er} jour	19
Photo 8 : tas de phase solide MS élevée fin compostage	19
Photo 9 : mesures des pertes par volatilisation	29

1. Secteur concerné

C'est le secteur agricole qui est concerné par ce CRE. La séparation des phases de lisier est une technique qui permet de séparer le lisier en une phase solide et une phase liquide. Cette phase solide peut alors être exportée de l'exploitation ou servir autrement (comme litière dans les logettes des animaux,...). La phase liquide retourne le plus souvent dans le lisier ou est stockée séparément et épandue au champ.

2. Description de l'exploitation

L'exploitation agricole laitière de Christof et Mathias Kaut à Alster a été agréé comme centre de référence. Il s'agit d'une exploitation de 200 vaches laitières et environ 150 jeunes bêtes. La surface agricole compte 90 ha de prairies intensives, 9 ha de prairies à haute valeur biologique et 10 ha de maïs ensilage.

L'agriculteur a acheté un séparateur de phase de lisier en 2014 pour plusieurs raisons :

- valorisation de la phase solide dans les logettes des vaches laitières,
- réduction du volume à transporter pour la fertilisation de ses cultures de maïs,
- vente de la phase solide et éventuellement valorisation en biométhanisation.

Le but principal de la séparation en phase du lisier est de fournir une phase solide valorisée comme litière dans les logettes des vaches laitières et dans les niches à veaux. Grâce à cette valorisation, l'agriculteur ne doit plus acheter de litière pour les logettes, ce qui lui permet d'être autonome en terme de litière des logettes.

Une seconde valorisation de la phase solide est l'épandage sur les cultures de maïs de l'agriculteur. Celles-ci se situent à plusieurs kilomètres de la ferme. Grâce à la séparation, l'agriculteur évite, en épandant la phase solide, de transporter du lisier et donc beaucoup d'eau sur une grande distance.

En fonction des disponibilités de la phase solide sur l'exploitation et d'une éventuelle demande (jardiniers,...), l'agriculteur pourrait en vendre. Ceci lui garantirait un certain revenu financier et une diminution de son taux de liaison au sol suite à l'exportation de l'azote présent dans la phase solide. Une valorisation de la phase solide, outre la vente de matière, pourrait être son éventuelle utilisation en biométhanisation.

Le lisier à séparer provient uniquement des vaches laitières. Celles-ci sont détenues en zéro-grazing. Les caractéristiques du lisier ne changent donc que très peu au cours de l'année puisque la ration des vaches laitières ne varie guère. Elle est composée d'ensilage d'herbe,

d'ensilage de maïs, de concentrés de production, de pulpes surpressées de betteraves et de Luzerne.

3. Objectif(s) en tant que CRE

Le CRE a plusieurs objectifs :

- autoriser le stockage de la phase solide au champ sans risques environnementaux,
- évaluer l'utilisation de la phase solide comme litière,
- informer les éleveurs de l'intérêt de la séparation des phases du lisier par l'organisation de journées d'étude ou de rencontres à la ferme au sujet de la séparation de phases,
- évaluer la valeur fertilisante de la phase solide en culture de maïs fourrager.

4. Plan de travail et partenariats éventuels

Un plan de travail a été établi en collaboration avec le CRA-W (M. Mathot) et avec l'asbl Protect'eau (anciennement Nitrawal) (M. De Toffoli et D. Wouez).

Le protocole de travail comprend les points suivants pour l'année 2015 :

- suivi de l'évolution de la phase solide au cours du temps (3 répétitions),
- calcul d'un bilan de séparation (4 répétitions),
- caractérisation de la phase solide à différents taux de matière sèche,
- mise en place et suivi d'un tas de phase solide une fois pendant 6 semaines et une fois durant toute la durée de compostage.

Pour la campagne 2016 - 2017 on a ajouté les points suivants :

- mise en œuvre de la phase solide comme litière,
- valorisation de la phase solide en culture de maïs,
- mesure des pertes ammoniacales après épandage de phase solide, phase liquide et lisier,
- suivi de compostage de 2 tas de phase solide à différentes teneurs en matière sèche.
- définir la valeur financière de la phase solide et de la phase liquide.

La phase solide est une matière qui sèche assez vite après la séparation et ses caractéristiques (teneurs en azote,...) évoluent en même temps. Le suivi de l'évolution de la phase solide comprend la prise d'échantillons de la phase solide toute fraîche, 24 heures après séparation et 7 jours après séparation. Parallèlement, on prélève un échantillon de la

phase liquide et du lisier brut. Ceci a été réalisé en plusieurs répétitions de 2015 à 2017. Toutes ces mesures sont réalisées avec de la phase solide à différents taux de matière sèche (environ 25 – 30 – 35 % MS). Parallèlement, on prélève des échantillons de la phase liquide. La caractérisation de la phase solide à différents taux de matière sèche (20 %, 25 % et 30 %) nous permet de voir s'il y a des différences quant aux teneurs en nutriments, notamment en azote, dans les 2 phases, en fonction du degré d'humidité de la phase solide.

Le calcul du bilan de séparation nous permet de connaître les proportions de phase solide et de phase liquide suite à la séparation de lisier. À chaque répétition, la phase solide, la phase liquide et le lisier brut sont analysés.

Durant le suivi d'un tas de phase solide, on étudie le compostage de cette matière. Pour cela, on mesure le volume, la densité et la masse de phase solide au début et à la fin de compostage. Des échantillons sont pris en même temps. Durant le séjour de la phase solide à l'extérieur, l'agriculteur mesure la température à l'intérieur du tas et note ses observations (pertes par des jus,...). En 2015, l'agriculteur a stocké un tas de phase chez lui à la ferme, dans lequel il a régulièrement mesuré la température.

En 2016, on met en place 2 tas de phase solide. Un tas présente une teneur en matière sèche moins élevée (autour de 25-30 % MS) et l'autre une teneur plus élevée en matière sèche (autour de 35 % MS). Le but est de comparer le processus de compostage des deux tas (température, pertes de jus, durée de compostage, réduction en volume, évolution des nutriments,...) et de voir à quel niveau la teneur en matière sèche influence ces résultats. Nous jugeons important d'étudier la phase solide à différentes teneurs en matière sèche, puisque c'est la teneur en MS qui influence les contenus en minéraux comme l'azote ammoniacal, ce qui influence la classification de la phase solide (matière organique à action rapide ou lente) et la possibilité du stockage au champ.

Un 2^{ème} tas de quelques mètres cubes est stocké et suivi pendant 6 semaines, afin de réaliser les mêmes mesures. Des échantillons sont prélevés au début et après 3 et 6 semaines.

Agra Ost a organisé une première visite du CRE le 19/06/2015 avec de nombreux partenaires : Benoît Georges, Alain LeRoi et Marc Reuter (SPW), David Knoden (Fourrages-mieux), Cynthia Taeter (Nitrawal), Marc Detoffoli (UCL – Nitrawal), Michaël Mathot (CRA-W), André Ledur (FWA), ainsi que la firme « HVD technologies » qui a construit le séparateur.



Photo 1 : journée d'étude d'Agra Ost sur la séparation de phases à l'attention des éleveurs intéressés

Une après-midi a été organisée le 3 mars 2016 en collaboration avec le SPW et le vendeur du séparateur (HVD-Technologies). Cette journée eut un grand succès. 70 personnes étaient présentes, dont la plupart des agriculteurs sensibilisés par la technique de séparation de phase.

Une visite de l'installation a été réalisée le 23 février 2017 avec les classes de la section agronomique de l'institut technique de St. Vith.

Une 2^{ème} visité a été réalisée le 26 février 2018 avec un groupement de jeunes éleveurs (Grüner Kreis), afin de présenter les résultats sur la séparation en phases du lisier de bovin.

5. Difficultés rencontrées

La première année, 2015, l'agriculteur ne disposait pas d'assez de phase solide pour en épandre sur ses cultures. Toute la phase solide séparée est valorisée comme litière dans les logettes des vaches laitières.

Il est prévu de caractériser la phase solide à différents taux de matière sèche (MS). Le séparateur de phases n'est pourtant pas encore équipé pour produire une phase solide à une teneur en matière sèche souhaitée. Il est plus difficile de régler le fonctionnement du séparateur pour obtenir exactement ces teneurs en matière sèche (20 % MS – 25 % MS – 30 % MS) selon le protocole d'essai. La caractérisation de la phase solide à différents taux de matière sèche n'a donc pas été réalisée en 2015, mais bien en 2016 et 2017.

Plusieurs facteurs influencent la teneur en matière sèche de la phase solide de lisier. La ration des animaux, le degré de dilution du lisier, etc. Au niveau du séparateur, on sait régler la

machine et jouer ainsi sur la teneur en matière sèche de la phase solide. Des travaux d'entretien du séparateur (nettoyage des tamis,...) sont à réaliser régulièrement pour garantir un bon fonctionnement de celui-ci et pour séparer une phase solide à teneur en matière sèche élevée.

6. Résultats obtenus

6.1 Évolution de la phase solide au cours du temps

6.1.1 Résultats 2015

Afin d'étudier l'évolution de l'azote, notamment la partie ammoniacale (N-NH₄), de la phase solide au cours du temps, nous avons prélevé plusieurs échantillons de celle-ci. En même temps, un échantillon représentatif de lisier et de la phase liquide ont été prélevés.

Nous analysons la phase solide à différents moments après séparation : phase solide toute fraîche – phase solide 24 h après séparation – phase solide 7 jours après séparation.

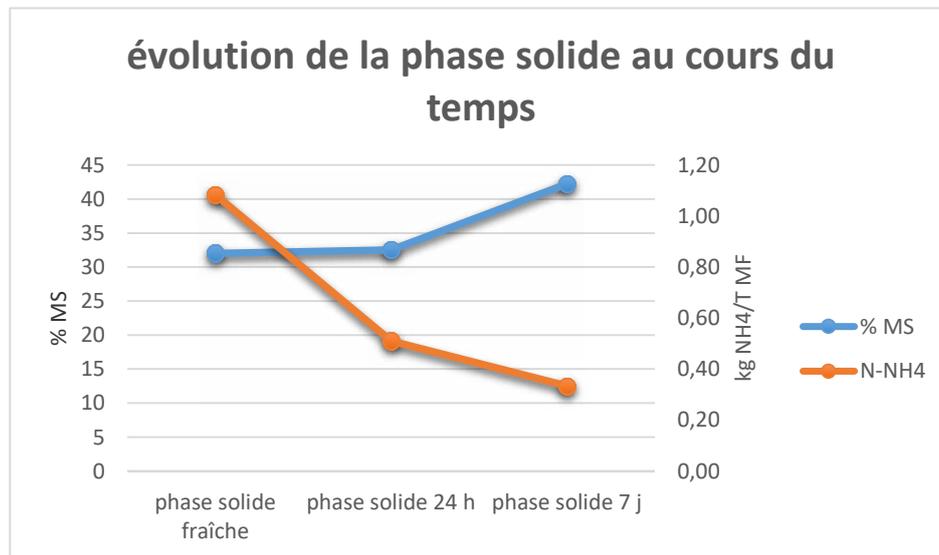
Afin d'obtenir des résultats fiables, 3 répétitions ont été réalisées au cours de l'année 2015, en mai, septembre et décembre.

	lisier brut	phase liquide	phase solide fraîche	phase solide 24 h	phase solide 7 j
pH	6,8	7,1	7,3	7,9	7,7
% MS	10,3	7,2	32,0	32,5	40,7
matière organique	7,9	5,1	28,5	28,9	36,5
cendres totales	2,6	2,3	3,4	3,6	4,7
C/N	9,4	6,3	30,1	25,8	32,2
	kg / T produit frais				
N tot	4,69	4,47	5,42	6,21	6,33
N-NH₄	1,48	1,58	1,08	0,51	0,31
%N-NH₄	31 %	35 %	20 %	8 %	5 %
K₂O	5,08	4,42	4,38	4,64	5,90
P₂O₅	1,58	1,46	1,84	2,11	2,72
Na₂O	0,82	0,74	0,68	0,73	0,98
MgO	1,51	1,36	2,07	2,19	3,01
CaO	2,73	2,47	4,37	4,48	6,17

Tableau 1: teneurs en éléments fertilisants du lisier, de la phase liquide et de la phase solide; moyenne des trois répétitions

La phase solide sèche très vite. Durant les 24 h après séparation elle augmente de 0,5 % de matière sèche et en seulement une semaine de plus de 8%. Les éléments dans la phase solide se concentrent fortement au cours du temps, à l'exception de l'azote ammoniacal.

Comme on peut le voir sur le graphique ci-dessous, l'azote ammoniacal de la phase solide se perd durant le stockage en tas à raison d'environ 70 %.



Graphique 1 : Evolution de l'azote ammoniacal et de la teneur en matière sèche de la phase solide en 2015

Ces résultats proviennent d'une phase solide séparée selon la pratique agricole de l'exploitation Kaut. Comme la destination de cette phase est l'application dans les logettes comme litière, l'agriculteur souhaite obtenir une phase solide avec une teneur en MS la plus élevée que possible.

6.1.2 Résultats 2016 - 2017

En fonction de la destination de la phase solide, sa teneur en matière sèche après séparation est différente. Lorsque le lisier est séparé dans le but de se servir de la phase solide comme litière, la teneur en MS est élevée. Lorsque le but d'une séparation de lisier est d'exporter une phase solide, plus sa teneur en matière sèche sera faible.

Nous avons décidé de poursuivre l'évolution de la phase solide en tenant compte de sa teneur en matière sèche. Les mesures de la phase solide fraîche – phase solide 24 h après séparation et phase solide 7 jours après séparation, sont réalisées (en 4 répétitions) avec une phase solide à faible teneur en matière sèche, une phase solide à teneur moyenne en matière sèche, ainsi qu'une phase solide à teneur élevée en matière sèche. En parallèle, le lisier et les phases liquide sont analysés.

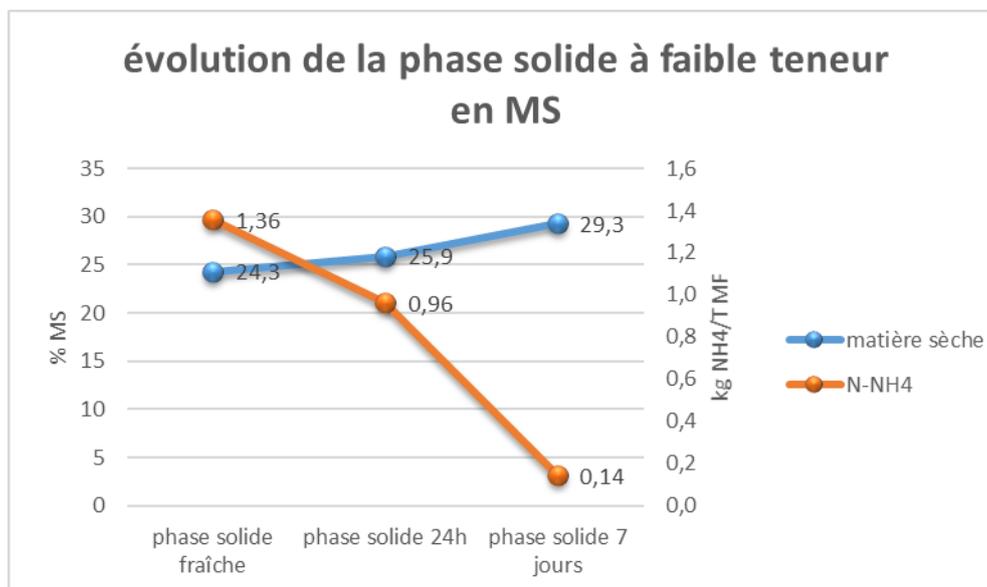
6.1.3.1 La phase solide à faible teneur en matière sèche

Le séparateur a été réglé pour produire une phase solide à faible teneur en MS. Au cas d'une exportation de la phase solide, il serait trop coûteux de séparer une phase solide plus sèche.

Moyenne de 4 répétitions - phase solide teneur MS faible					
	lisier brut	Phase solide fraîche	Phase solide 24 h	Phase solide 7 jours	phase liquide
pH	7,1	7,6	7,9	8,1	7,5
C/N	8,0	21,3	22,4	18,6	5,8
en % produit frais					
matière sèche	9,5	24,3	25,9	29,3	6,9
matière org.	7,3	21,5	23,0	25,2	4,9
cendres tot.	2,6	3,2	3,4	4,4	2,3
cendres ins.	0,6	1,1	1,0	1,5	0,4
kg / T produit frais					
N total	5,0	5,6	5,7	7,5	4,6
N-NH ₄	1,8	1,4	1,0	0,1	1,9
% N-NH ₄	35%	24%	17%	2%	41%
K ₂ O	5,1	4,7	4,7	6,0	4,8
P ₂ O ₅	1,9	1,8	1,9	2,6	1,7
Na ₂ O	1,1	0,9	1,0	1,2	1,0
MgO	1,6	2,0	2,1	2,7	1,4
CaO	2,9	4,0	4,4	5,5	2,5

Tableau 2 : évolution de la phase solide à faible teneur en matière sèche

En moyenne, sur 4 répétitions, la teneur en MS de la phase solide fraîche est de 24,3 %. Le rapport NH₄ / N est de 24 % dans la phase solide fraîchement séparée. Au bout de 24h, elle se situe seulement autour de 17 %, ce qui classe la phase solide comme matière organique à action lente.



Graphique 2 : évolution de la teneur en matière sèche et en ammoniac de la phase solide à faible teneur en MS

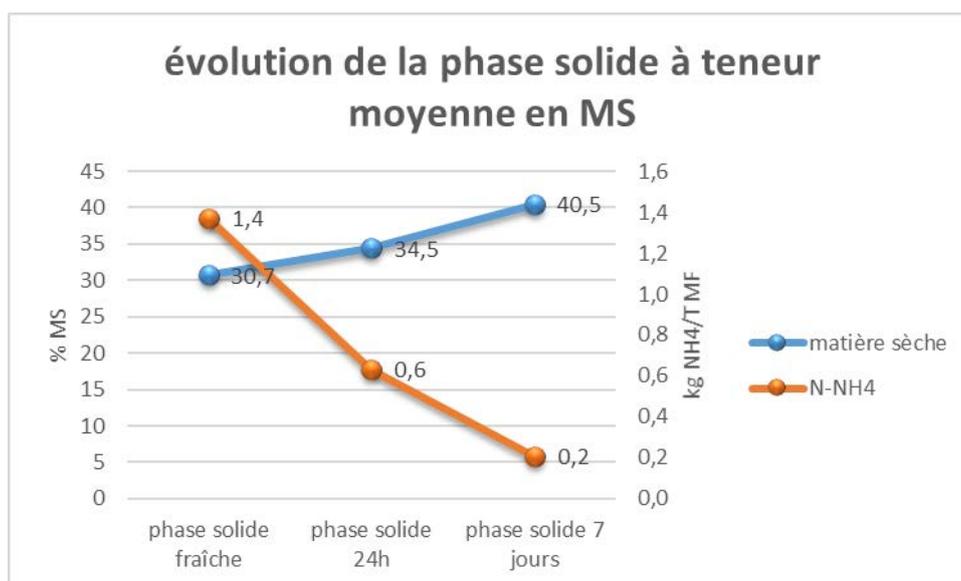
La fraction ammoniacale de l'azote diminue rapidement et devient quasi nulle au bout de 7 jours. Étant donné que la matière est stockée à l'intérieur, elle sèche très vite et gagne 5 % en 7 jours.

6.1.3.2 La phase solide à teneur moyenne en matière sèche

Moyenne de 4 répétitions - phase solide teneur en MS moyenne					
	lisier brut	phase solide fraîche	phase solide 24h	phase solide 7 jours	phase liquide
pH	7,1	7,6	7,8	7,9	7,3
C/N	8,0	24,5	27,0	24,7	6,1
en % produit frais					
matière sèche	9,5	30,7	34,5	40,5	6,9
matière org.	7,3	27,3	30,8	35,9	4,9
cendres tot.	2,6	3,7	4,0	4,8	2,3
cendres ins.	0,6	1,4	1,5	1,8	0,4
kg / T produit frais					
N total	5,0	6,2	6,4	8,1	4,5
N-NH ₄	1,8	1,4	0,6	0,2	1,9
% N-NH ₄	35%	22%	10%	3%	42%
K ₂ O	5,1	4,4	4,5	5,4	4,8
P ₂ O ₅	1,9	2,0	2,2	2,8	1,7
Na ₂ O	1,1	0,9	0,9	1,1	1,0
MgO	1,6	2,4	2,4	3,0	1,4
CaO	2,9	4,9	5,1	6,3	2,5

Tableau 3 : évolution de la phase solide à teneur moyenne en matière sèche

La teneur en MS moyenne de la phase solide fraîche est de 31 %. En 7 jours, on monte à plus de 40 %. Concernant l'ammoniac, on observe la même évolution qu'avec une phase solide plus humide, notamment une perte de plus de la moitié endéans les 24 h après séparation.



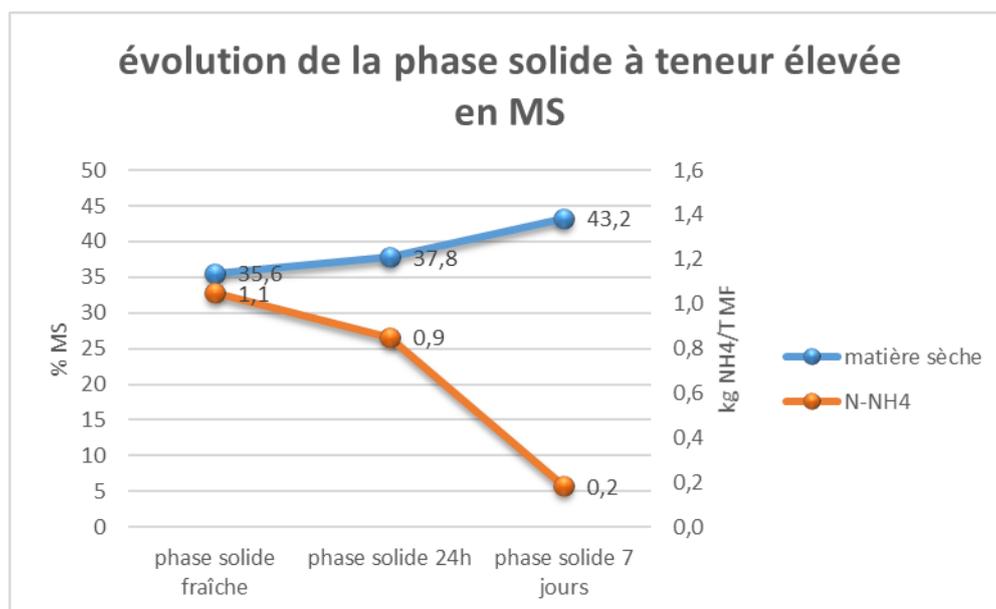
Graphique 3 : évolution de la teneur en matière sèche et en ammoniac de la phase solide teneur moyenne en MS

6.1.3.3 La phase solide à teneur élevée en matière sèche

Moyenne de 4 répétitions - phase solide teneur en MS élevée					
	lisier brut	phase solide fraîche	phase solide 24h	phase solide 7 jours	phase liquide
pH	7,1	7,7	7,8	7,7	7,2
C/N	8,0	27,6	28,8	27,5	6,0
en % produit frais					
matière sèche	9,5	35,6	37,8	43,2	6,9
matière org.	7,3	31,9	33,9	38,1	4,9
cendres tot.	2,6	3,9	4,5	5,6	2,4
cendres ins.	0,6	1,2	1,7	2,0	0,4
kg / T produit frais					
N total	5,0	6,4	6,6	7,8	4,6
N-NH ₄	1,8	1,1	0,9	0,2	2,0
% N-NH ₄	35%	16%	13%	2%	42%
K ₂ O	5,1	4,2	4,6	6,0	5,1
P ₂ O ₅	1,9	2,1	2,4	3,2	1,7
Na ₂ O	1,1	0,8	0,9	1,2	1,0
MgO	1,6	2,6	2,8	3,5	1,5
CaO	2,9	5,3	6,0	7,6	2,5

Tableau 4 : évolution de la phase solide à teneur élevée en matière sèche

Les teneurs en azote ammoniacal dans la phase solide sèche (35 % MS après séparation) sont les plus basses. Avec un rapport N-NH₄/N_{tot} et un rapport C/N d'environ 28, cette matière doit être vue comme une matière organique à action rapide.



Graphique 4 : évolution de la teneur en matière sèche et en ammoniac de la phase solide teneur élevée en MS

Au bout de 7 jours après séparation, la phase solide (stockée à l'intérieur) sèche tellement vite qu'elle évolue de 30 à 40 % MS.

6.1 Mise en place et suivi d'un tas de phase solide pendant 6 semaines

Nous suivons l'évolution de la phase solide en tas pendant un temps, correspondant à la pratique agricole, de quelques semaines entre séparation et épandage, voir exportation de la phase solide. Un échantillon représentatif de la phase solide est prélevé trois fois afin de suivre l'évolution des teneurs en nutriments :

- Au moment du dépôt en tas, un jour après séparation. Mesure du volume et de la masse du tas et de la densité de la phase solide
- 3 semaines après la mise en tas
- 6 semaines après la mise en tas. Mesure du volume, de la masse du tas et de la densité de la phase solide

Caractéristiques	Début 2.12. 15	6 semaines après 13.1.16
Densité	291 kg/m ³	281 kg/m ³
Masse	180 kg	164 kg
Volume	620 l	584 l

Tableau 5 : caractéristiques de la phase solide stockée pendant 6 semaines

Le volume et la masse du tas ont légèrement diminué, respectivement de 6 % et de 9 %.

Les analyses ci-dessous nous montrent l'évolution des teneurs en nutriments dans la phase solide stockée pendant 6 semaines.

	début	3 semaines	6 semaines
pH	7,98	8,02	7,73
% MS	27,02	28,6	28,82
mat. org.	23,99	24,58	25,09
cendres tot.	3,36	4,41	4,03
C/N	22,81	22,17	24,8
	kg / T matière fraîche		
N tot	5,84	6,16	5,62
N-NH ₄	0,45	0,32	0,45
%N-NH ₄	7,7	5,2	8
K ₂ O	4,7	6,3	5,87
P ₂ O ₅	2,3	2,49	2,45
Na ₂ O	0,75	0,9	0,88
MgO	2,19	2,76	2,58
CaO	5,23	6,97	6,28

Tableau 6 : analyses de la phase solide après 3 et 6 semaines de stockage

À part l'azote, les nutriments dans la phase solide se concentrent et la teneur en matière sèche augmente endéans les 3 premières semaines du stockage. Entre la 3^{ème} et la 6^{ème} semaine, on a observé une légère diminution de la concentration en nutriments (tableau 6). Nous n'avons pas d'explications pour cette diminution.

La concentration en nutriments et la diminution du volume durant le dépôt en tas montrent qu'il serait intéressant de ne pas épandre ou exporter une phase solide toute fraîche. Il est opportun d'attendre 2 à 3 semaines après séparation, pour transporter une phase solide moins volumineuse, mais plus concentrée en nutriments.

6.2 Compostage de la phase solide

6.2.1 Résultats du compostage été 2015

Un tas de phase solide est stocké à l'extérieur durant plusieurs semaines afin d'étudier son évolution à la suite du compostage. La température du tas est mesurée régulièrement à 8 endroits différents, (toujours les mêmes) et à une profondeur de 30 cm. Le processus de compostage sera terminé quand la température dans le tas aura atteint la température ambiante.

Pour des raisons pratiques, nous avons dû déplacer le tas alors que la température à l'intérieur du tas était toujours aux environs de 35 °C.

Début du compostage : 8 juin 2015



Photo 2 : tas de phase solide 1^{er} jour

Masse : 4060 kg

Volume : 15,3 m³

Densité : 265 kg / m³

Fin du compostage : 24 septembre 2015



Photo 3 : tas de phase solide fin compostage

Masse : 3420 kg

Volume : 9,5 m³

Densité : 362 kg / m³

Nous avons déplacé le tas le 24 septembre, après plus de 15 semaines de compostage. Le volume du tas a très fortement diminué, de presque 40 %. Le tas a perdu 600 kg de sa masse initiale. La densité de la phase solide de lisier a augmenté, ce qui a donc conduit à une concentration en éléments fertilisants reprise dans le tableau 7.

	début com- postage	fin com- postage
pH	7,5	7,6
% MS	29	26
% mat org	26	22
cendres	2	4
cendres ins	1	2
C/N	27	19
	kg / T produit frais	
N tot	5,36	6,42
N-NH₄	0,73	0,69
%N-NH₄	13,62%	10,70%
K₂O	4,05	5,81
P₂O₅	1,5	3,14
Na₂O	0,74	1,06
MgO	1,37	2,77
CaO	2,27	4,5

Tableau 7 : teneurs en éléments fertilisants de la phase solide avant et après compostage

Le carbone, la source énergétique des microorganismes décomposeurs, a été consommé en partie durant le processus de compostage. Comme on s’y attendait, le rapport C/N a fortement diminué. Les teneurs en P₂O₅ et CaO ont doublé. En ce qui concerne l’azote, il augmente de plus d’un kg / T de matière fraîche alors que la fraction ammoniacale a chuté légèrement.



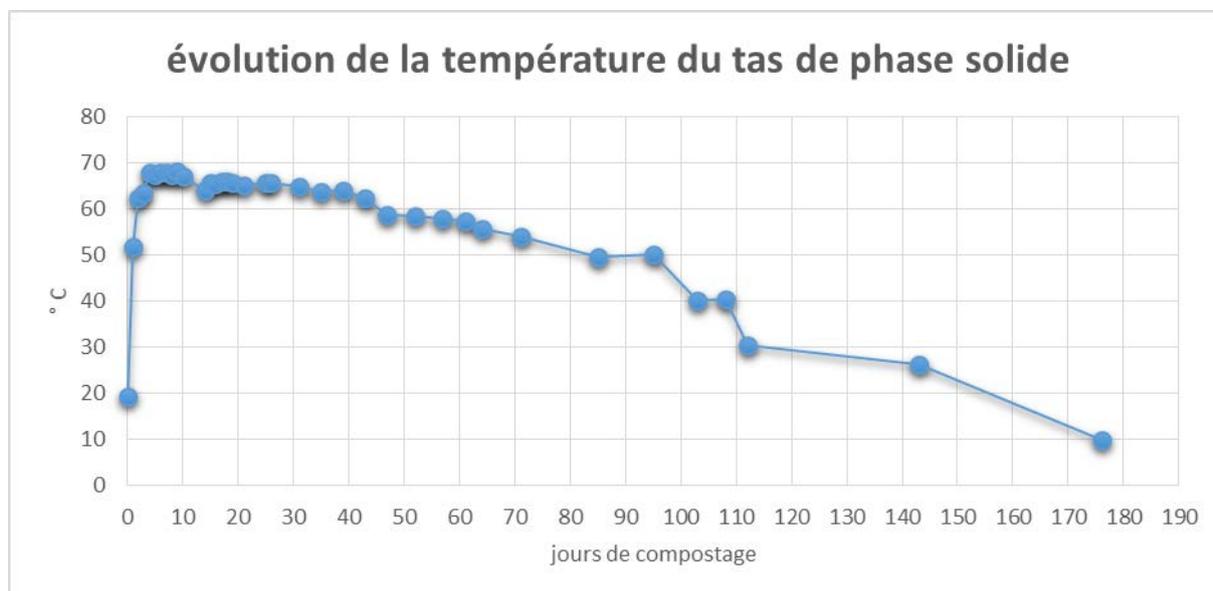
Photo 4 : aperçu de l'intérieur du tas à la fin de compostage



Photo 5 : aperçu du tas durant une forte pluie ; pas de pertes de jus

Pendant le compostage, la température dans le tas est montée jusqu’à 70 °C. Le rapport C/N élevé, 27 au début du compostage, et la montée de la température nous montrent, que la phase solide est une matière organique facile à composter. Dans notre cas le facteur limitant du bon compostage était l’humidité de la phase solide du lisier, 29 % MS au début de compostage, ce qui explique pourquoi le tas a chauffé durant très longtemps et non comme on pouvait s’y attendre pendant seulement 6 à 8 semaines.

Durant le compostage, le tas est toujours resté à l'extérieur, ce qui explique la diminution de la teneur en matière sèche de 29 à 26 %. Même après un très long séjour à l'extérieur, on ne constate à aucun moment de pertes de jus.



Graphique 5 : évolution de la température de la phase solide stockée en tas

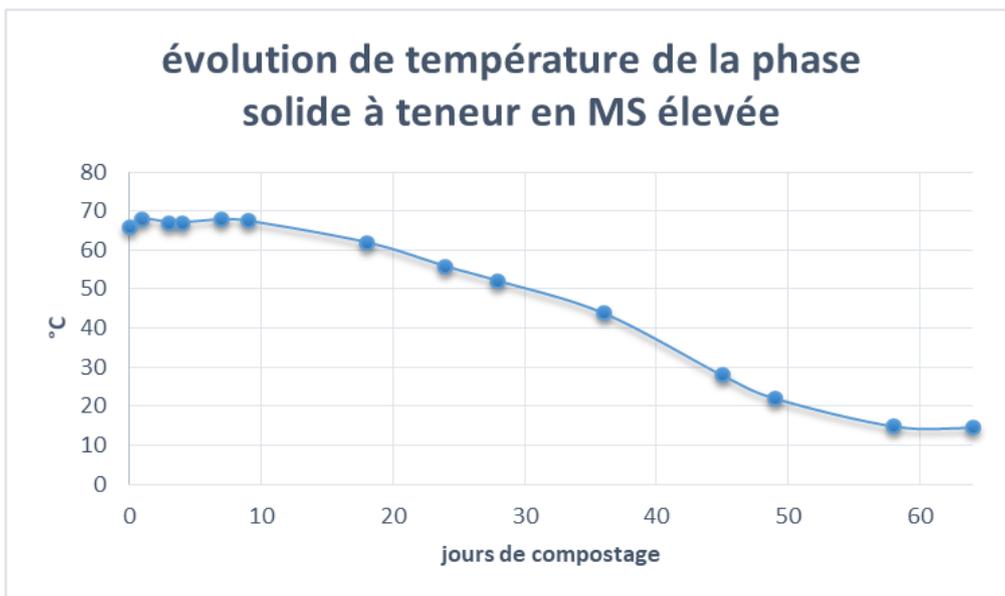
Dans un premier temps, nous avons composté une phase solide ayant une teneur en MS assez élevée. Nous poursuivons les mesures de compostage de la phase solide en 2016 et 2017 en comparant entre elles les phases solides à différentes teneurs en matière sèche.

6.2.1 Résultats du compostage automne 2016

On compare une phase solide à teneur en matière sèche élevée à une phase solide ayant une teneur en matière sèche plus faible. Pour des raisons pratiques, nous ne pouvons pas réaliser ceci en même temps. On considère le compostage achevé lorsque la température à l'intérieur du tas atteint la température de l'air ambiant. On mesure la température au moins une fois par semaine à huit endroits différents, toujours au centre du tas.

6.2.1.1 Compostage d'une phase solide à teneur élevée en MS

Le compostage de la phase solide avec une teneur en matière sèche élevée a commencé le 18 septembre 2016. Après 64 jours de compostage, le tas ne chauffe plus et on considère le compostage comme étant terminé.



Graphique 6 : évolution de température de la phase solide à teneur en MS élevée

Pendant les 10 premiers jours, la température de la phase solide se rapproche de 70 °C. Après 2 semaines, la température diminue de manière régulière, d'environ 7 ° C par semaine.



Photo 6 : début du compostage du tas de la phase solide à teneur élevée en MS

Caractéristiques du tas

Début du compostage : 18 septembre 2016

Fin du compostage : 22 novembre 2016

35,3 % MS

52 % MS

Masse : 2700kg

Masse : 1960 kg

Volume : 11,25 m³

Volume : 8,3 m³

Densité : 240 kg / m³

Densité : 234 kg / m³

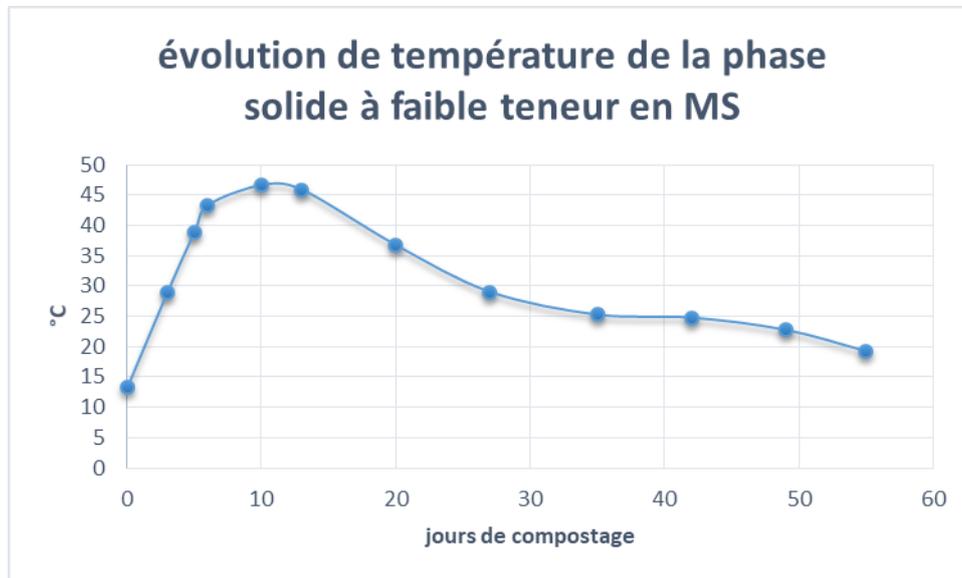
La masse du tas a diminué de 38 % et le volume de 26 %. La densité de la matière n'a pas changé durant le compostage.

Le compostage de la phase solide à faible teneur en matière sèche (17,3 % MS au début) a commencé

le 9 février 2017. Après 55 jours de mesure, le tas ne chauffe plus.

6.2.1.1 Compostage d'une phase solide à faible teneur en MS

On a débuté le compostage d'une phase solide plus humide le 9 février 2017.



Graphique 7 : évolution de température de phase solide à faible teneur en MS

La température de la phase solide à faible teneur en matière sèche n'est pas montée jusqu'à 50 °C. Il a fallu une semaine avant qu'on ne voie un échauffement remarquable du tas. Durant une semaine, la température reste à environ 45 °C, avant de diminuer de 20 °C en trois semaines.

Début du compostage : 9 février 2017



photo 7 : tas de la phase solide MS élevée 1^{er} jour

17,3 % MS

Masse : 5720kg

Volume : 12,4 m³

Densité : 463 kg / m³

Fin du compostage : 6 avril 2017



Photo 8 : tas de la phase solide MS élevée fin compostage

17 % MS

Masse : 4620 kg

Volume : 9 m³

Densité : 513 kg / m³

La masse du tas a diminué de 19 % en 8 semaines et le volume de 27 %. La phase solide s'est concentrée en nutriments. La teneur en MS n'a pas évolué. Malheureusement, on n'a pas pu mettre en place les deux tas en même temps, ce qui nous aurait permis de mieux les comparer entre eux.

6.3 Calcul d'un bilan de séparation du lisier

On étudie la répartition des nutriments du lisier après séparation dans les deux phases différentes : phase liquide et phase solide. Pour cela, un échantillon représentatif de lisier, de la phase solide et de la phase liquide est prélevé.

Nous avons rempli une cuve de 1000 l avec la phase liquide, chronométré le temps de séparation des phases et pesé les deux phases séparées. La densité et la masse des deux phases ont été mesurées, ainsi que la densité du lisier, ce qui nous permet d'établir le bilan massique des produits de la séparation et de déterminer les volumes de lisier, phase solide et phase liquide.

En fonction de la teneur en matière sèche de la phase solide, la répartition des nutriments et le rendement du séparateur varient. Pour cette raison, nous avons réalisé deux processus de séparation dans le but d'obtenir une phase solide à faible teneur en MS.

	lisier	phase liquide	phase solide (teneur en MS élevée)	phase solide (faible teneur en MS)
	<i>moyenne de 6 mesures</i>			<i>moy de 2 mesures</i>
densité	891 kg/m ³	926 kg/m ³	255 kg/m ³	270 kg/m ³
pH	7,1	7,2	7,5	7,9
% MS	9,5	6,9	34,4	28,4
	<i>kg / T matière fraîche</i>			
N tot	4,84	4,68	6,16	5,64
N-NH₄	1,79	1,88	1,16	1,61
K₂O	5,15	5,02	4,34	4,70
P₂O₅	1,60	1,59	2,00	1,92
Na₂O	0,92	0,90	0,77	1,08
MgO	1,35	1,28	2,06	1,72
CaO	2,56	2,39	4,47	3,61

Tableau 8 : teneurs en nutriments des différentes matières

Après quatre répétitions, on obtient les résultats moyens suivants :

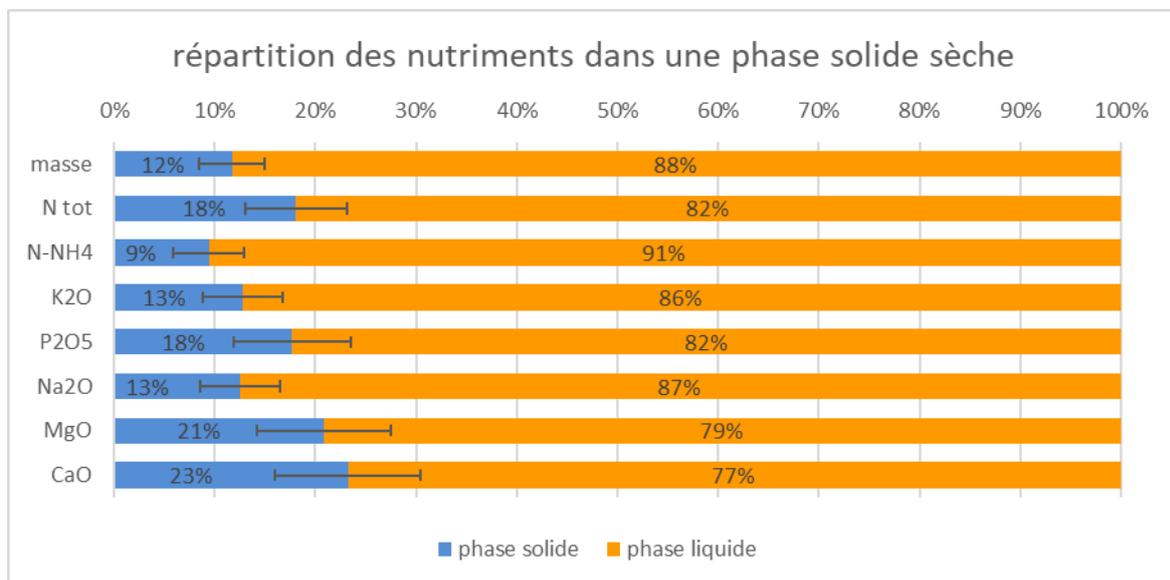
- La séparation de lisier en 1000 l de phase liquide est réalisée en environ 13 min et fournit 509 l (= 132 kg) de phase solide.
- Lorsque la machine est réglée pour séparer une phase solide à teneur en matière sèche élevée (34,4 % MS), on sépare -en moyenne sur 4 répétitions- 1 T de lisier en 110 kg de phase solide (à 255 kg/MS) et 890 kg de phase liquide.
- Si la teneur de la phase solide descend à une teneur moyenne de 28,4 % MS, la phase solide séparée est plus lourde (270 kg/m³). On obtient ainsi 146 kg de phase solide et 854 kg de phase liquide par tonne de lisier (moyenne de 2 répétitions).

Répartition des nutriments dans la phase solide :

	moyenne	minimum	maximum	moyenne	minimum	maximum
	phase solide sèche (34,4 % MS - moyenne 6 répétitions)			phase solide humide (28,4 % MS – moyenne 2 répétitions)		
masse	12%	8%	18%	15%	13%	16%
% MS	46%	30%	54%	17%	15%	18%
Ntot	18%	11%	23%	11%	13%	10%
N-NH ₄	9%	6%	15%	10%	11%	8,5%
K ₂ O	13%	8%	16%	14%	16%	12%
P ₂ O ₅	18%	11%	24%	15%	15%	15%
Na ₂ O	13%	8%	16%	14%	15%	13%
MgO	21%	11%	27%	18%	19%	18%
CaO	23%	12%	31%	21%	21%	21%

Tableau 9 : répartition des nutriments du lisier dans la phase solide

Suite à la séparation avec un séparateur à vis, 12 % du lisier sera séparé en une phase solide sèche (environ 35 % MS) très volumineuse. Avec une phase solide aussi sèche, il est difficile d'atteindre des rendements plus élevés.

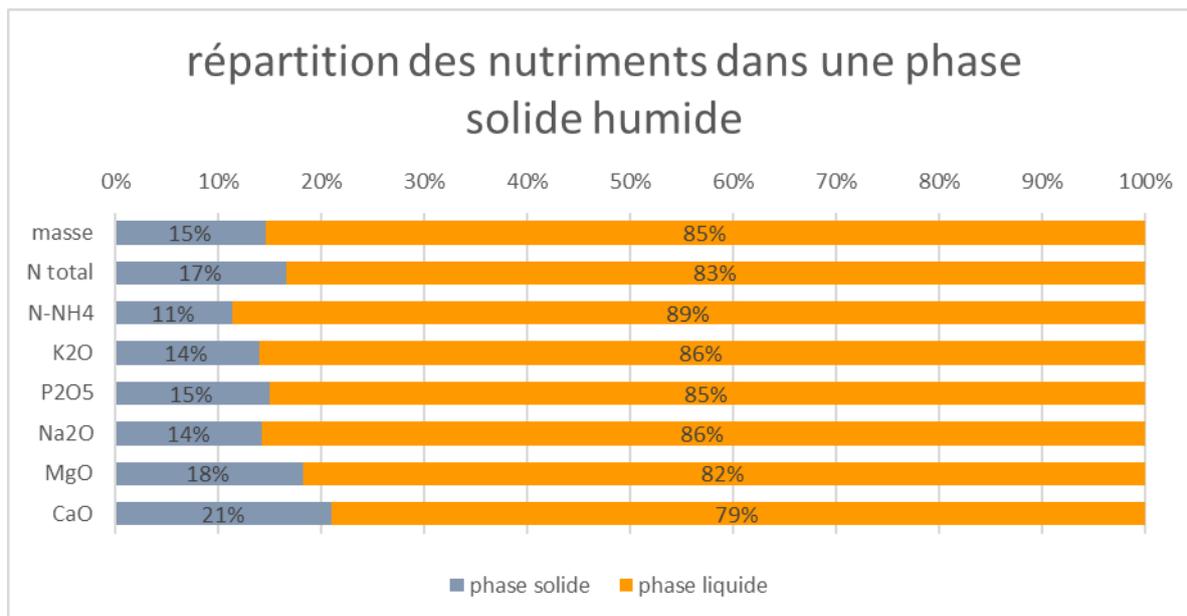


Graphique 8 : bilan massique de la séparation de lisier en une phase solide sèche

Étant soluble dans l'eau, l'azote ammoniacal se trouve plus concentré dans la phase liquide du lisier. L'azote organique reste cependant dans la phase solide. Environ 18 % de l'azote, avec des minima de 11 % et des maxima de 23 % (tableau 9), du lisier se retrouvent dans la phase solide suite à la séparation.

À l'exception du potassium et du sodium, les nutriments se concentrent plus dans la phase solide. Avec des résultats variant entre 11 % et 24 % (tableau 9), on obtient une répartition moyenne du phosphore qui est de 18 % en phase solide.

La séparation du lisier en une phase plus humide permet de réduire la consommation électrique. Une phase solide humide n'est pas valorisable en tant que litière.



Graphique 9 : bilan massique de la séparation de lisier en une phase solide humide

Dans les deux répétitions réalisées, on arrive à augmenter le rendement massique moyen de la phase solide. Les teneurs en azote ammoniacal et en potassium sont plus élevées dans cette phase plus humide. Pour l'azote organique et le phosphore, on observe le contraire : plus la teneur en matière sèche de la phase solide est faible, moins ces 2 éléments sont concentrés.

6.4 Caractérisation de la phase solide à différents taux de matière sèche

Nous comparons de la phase solide à différents taux de matière sèche : peu de matière sèche (environ 20 %), teneur moyenne en matière sèche (autour de 25 – 30 % MS) et teneur élevée en matière sèche (autour de 35 % MS). Pour chaque type de phase solide, nous analysons parallèlement la phase liquide ainsi que le lisier brut.

	Phase solide à faible teneur en MS			Phase solide à teneur moyenne en MS			Phase solide à teneur élevée en MS		
	fraîche	24 h	7 jours	fraîche	24 h	7 jours	fraîche	24 h	7 jours
pH	7,6	7,9	8,1	7,6	7,8	7,9	7,7	7,8	7,7
C/N	21,3	22,4	18,6	24,5	27,0	24,7	27,6	28,8	27,5
	% de produit frais			% de produit frais			% de produit frais		
matière sèche	24,3	25,9	29,3	30,7	34,5	40,5	35,6	37,8	43,2
matière org.	21,5	23,0	25,2	27,3	30,8	35,9	31,9	33,9	38,1
cendres tot.	3,2	3,4	4,4	3,7	4,0	4,8	3,9	4,5	5,6
cendres ins.	1,1	1,0	1,5	1,4	1,5	1,8	1,2	1,7	2,0
	kg / T de produit frais			kg / T de produit frais			kg / T de produit frais		
N total	5,6	5,7	7,5	6,2	6,4	8,1	6,4	6,6	7,8
N-NH₄	1,4	1,0	0,1	1,4	0,6	0,2	1,1	0,9	0,2
% N-NH₄	0,2	0,2	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0
K₂O	4,7	4,7	6,0	4,4	4,5	5,4	4,2	4,6	6,0
P₂O₅	1,8	1,9	2,6	2,0	2,2	2,8	2,1	2,4	3,2
Na₂O	0,9	1,0	1,2	0,9	0,9	1,1	0,8	0,9	1,2
MgO	2,0	2,1	2,7	2,4	2,4	3,0	2,6	2,8	3,5
CaO	4,0	4,4	5,5	4,9	5,1	6,3	5,3	6,0	7,6

Tableau 10 : analyses des différentes phases solides

En 2016 nous analysons trois phases solides en fonction de leur durée de stockage après séparation : phase solide fraîche dont l'échantillon est prélevé immédiatement après séparation, phase solide 24 heures après séparation et phase solide 7 jours après séparation, qui a été stockée en tas entretemps.

La phase solide présentant une teneur faible en matière sèche est plus pauvre en nutriments, à l'exception du potassium. La fraction ammoniacale de l'azote est généralement légèrement plus élevée dans une phase solide plus humide. On peut classer la phase solide comme étant une matière organique à action lente avec max. 20 % de l'azote sous forme ammoniacale et un rapport C/N dans tous les cas largement supérieur à 10. Après 24 h de stockage en tas, la phase solide perd environ la moitié de son ammoniac, mais ceci

représente seulement de très petites quantités du bilan total. Avec des teneurs de 0,7 (phase solide très sèche) à 1,3 kg N-NH₄/T (phase solide plus humide), les quantités d'ammoniac de la phase solide sont peu importantes.

Les phases solides sèchent assez vite après séparation et les nutriments se concentrent. La fraction ammoniacale diminue et devient quasi nulle au bout d'une semaine.

Lorsque la phase solide a été séparée, des échantillons de phase liquide ont été prélevés en même temps. Pour chaque type de phase solide (faible teneur en MS, teneur moyenne en MS, teneur élevée en MS), on a donc une analyse de phase liquide. Reprise ci-dessous, la moyenne des analyses de phase liquide des 4 répétitions.

	Séparée avec faible teneur en MS	Séparée avec teneur moyenne en MS	Séparée avec teneur élevée en MS
pH	7,5	7,3	7,2
C/N	5,8	6,1	6,0
en % de produit frais			
matière sèche	6,9	6,9	6,9
matière org.	4,9	4,9	4,9
cendres tot.	2,3	2,3	2,4
cendres ins.	0,4	0,4	0,4
en kg / T produit frais			
N total	4,6	4,5	4,6
N-NH₄	1,9	1,9	2,0
% N-NH₄	0,4	0,4	0,4
K₂O	4,8	4,8	5,1
P₂O₅	1,7	1,7	1,7
Na₂O	1,0	1,0	1,0
MgO	1,4	1,4	1,5
CaO	2,5	2,5	2,5

Tableau 11 : analyses des différentes phases liquides

On constate peu de différences concernant les nutriments de la phase liquide. Le fait de séparer une phase solide avec peu ou beaucoup de matière sèche n'influence pas les teneurs en nutriments de la phase liquide, à l'exception du potassium. Étant soluble, le potassium se concentre davantage dans la phase liquide. Lorsque l'on sépare avec une phase solide sèche d'environ 36 % de matière sèche, on observe des teneurs plus élevées en K₂O dans la phase liquide.

6.5 Mise en œuvre de la phase solide comme litière

Pour des raisons sanitaires, il faut absolument éviter que la phase solide chauffe, faute de quoi la santé mammaire est impactée. On ne recommande pas de laisser composter cette phase solide, car cela demande jusqu'à 15 semaines. De plus, outre l'espace de stockage couvert nécessaire, la phase solide est alors plus compacte et moins facile à manipuler.

La phase solide doit donc être utilisée dans les heures qui suivent le pressage. La presse fonctionne la nuit selon un horaire programmé. D'après l'expérience des agriculteurs, il faut être très attentif quant à l'utilisation de la phase solide comme litière. Tous les 2 à 3 jours, il faut en mettre dans les logettes. Afin d'éviter un échauffement de la phase solide, il faut éviter de déposer des couches de plus de 5 cm d'épaisseur dans les logettes. Un certain temps est donc nécessaire avant que la couche de 15-20 centimètres nécessaire au confort des vaches se stabilise. Selon les éleveurs, disposer au départ une couche stable de paille/chaux en fond de logettes permet d'accélérer fortement cette stabilisation.

Les éleveurs appliquent par épandage une quantité de 60 litres de phase solide par logette, dont les dimensions sont de 1,2 m de large et 1,9 m de long. Cette formule supprime les échauffements et facilite l'uniformité de l'étalement. Alimenter les 200 logettes demande le lisier de 80 vaches. Les vaches sont particulièrement propres.

En période hivernale ainsi que par temps humide, la phase solide dans les logettes ne sèche pas très bien. Dans ce cas, les éleveurs épandent une chaux désinfectante (pH 12) dans les logettes des vaches laitières en début de lactation, afin d'y maintenir le pH assez élevé et d'éviter une croissance de micro-organismes nuisibles à la santé mammaire.

Grâce à la teneur en matière sèche relativement élevée (> 30 % MS) de la phase solide, celle-ci ne colle pas aux pis des vaches. Un gain de temps dans la salle de traite en est la conséquence.

Du point de vue hygiène et santé mammaire, les éleveurs sont très contents de leurs résultats. La moyenne de cellules de 2016 est de 198 000. En ce qui concerne les germes, la moyenne tourne autour de 4000. Durant l'année 2017, les teneurs en cellules restent constantes autour de 160 000 à 180 000, avec des maxima de 220 000.

Un bon fonctionnement de la presse suppose du lisier frais (prévoir idéalement une préfosse) et homogène (régulation via l'éventuelle réintroduction de la phase liquide).

Les vaches sont très propres. Le seul bémol vient de la poussière produite par temps sec.

6.5.2 L'évolution de la température des logettes

La température des logettes est un facteur déterminant pour la croissance de germes potentiellement pathogènes dans les logettes des vaches laitières.

Températures en °C	Avant l'ajout de phase solide	12h après l'ajout de phase solide	24h après l'ajout de phase solide	48h après l'ajout de phase solide
Logette 1	12,5	28	18	11
Logette 2	16	30	22,5	18,5
Logette 3	14,5	25,5	25	14
Logette 4	14	13	17	11

Tableau 12 : évolution de la température dans la phase solide utilisée comme litière des logettes

La température dans les logettes monte immédiatement après l'application de la phase solide comme litière. Elle se rapproche de 30 °C, 12 h après la mise en place de la phase solide. 24 h après l'application de la phase solide, la température des logettes baisse considérablement et atteint au bout de 48 heures le même niveau qu'avant l'épandage.

6.6 Valorisation de la phase solide en culture de maïs

L'agriculteur réserve une partie de sa phase solide pour la fertilisation printanière de ses cultures de maïs destinées à l'ensilage plante entière.

On a testé trois variantes de fertilisation. La majorité de la parcelle a été fertilisée avec du lisier le 12 avril 2016 (à raison de 40 m³/ha). Parallèlement, on en a fertilisé une partie avec de la phase solide épandue le 14 avril 2016 (26 T/ha) et une autre partie avec de la phase solide (26 T/ha) combinée avec du lisier (20 m³/ha).

On suit la culture de maïs afin d'étudier la taille des plants de maïs (6 plants par variante), la masse de 6 plantes entières, la masse des épis, ce qui nous permet de calculer le rendement en T MS/ha.

Étant destinée à l'épandage, la phase solide est relativement humide.

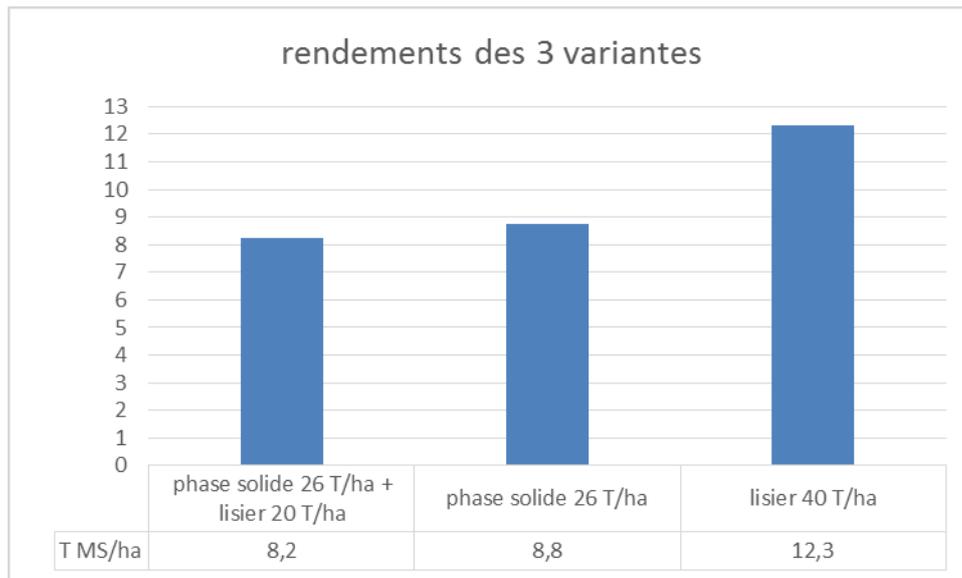
	phase solide	lisier de bovins
pH	8,28	7,61
C/N	21,44	9,03
% de produit frais		
matière sèche	24,9	8,7
matière org.	21,9	6,1
cendres tot.	3,6	2,95
cendres ins.	1,1	0,8
kg / T produit frais		
N total	5,67	3,73
N-NH₄	0,36	1,15
% N-NH₄	6%	31%
K₂O	4,66	5,49
P₂O₅	2,09	1,25
Na₂O	0,67	0,85
MgO	2,61	2,09
CaO	6,23	3,13

Tableau 13 : analyses des matières organiques épandues en culture de maïs

Aperçu de la fertilisation de la culture de maïs :

quantités épandues kg/ha	N tot	N NH ₄	K ₂ O	P ₂ O ₅	Na ₂ O	MgO	CaO
phase solide 26 T / ha	147	9	121	54	17	68	162
phase solide 26 T / ha + lisier 20 T / ha	222	32	231	79	34	110	225
lisier 40 T / ha	149	46	220	50	34	84	125

Le rendement a été mesuré sur le terrain à partir d'échantillons de 6 plantes par variante.



Graphique 10 : rendement des différentes variantes de maïs ensilage

Le rendement le plus élevé avec environ 12 T de MS est atteint dans la variante fertilisée avec le lisier de bovin à raison de 40 T/ha.

Les exportations du maïs fourrager sont de 13 u N, 5 u P₂O₅ et 15 u K₂O par tonne de matière sèche. Ainsi, les exportations en P₂O₅ et en K₂O par 10 T MS de maïs fourrager seraient théoriquement couvertes avec 29 T de phase solide / ha. En monoculture de maïs, ceci n'est pourtant pas autorisé, puisqu'on arrive à 165 kg N_{org} / ha. Cette fertilisation serait autorisée lorsque le maïs se trouve en tête de rotation, à condition que les apports d'azote restent inférieurs à 230 kg N_{org}/ha.

6.7 Mesure des pertes ammoniacales lors de l'épandage phase solide, phase liquide et lisier

On a réalisé les mesures de pertes d'ammoniac par volatilisation le 9 août 2016 avec de la phase solide, de la phase liquide et du lisier brut. Les conditions météorologiques n'étaient pas idéales pour un épandage de matières organiques puisque toute la journée était ensoleillée et qu'il y avait beaucoup de vent. La météo était donc favorable aux pertes d'ammoniac par volatilisation. Suite à des résultats non explicables (329 % de pertes ammoniacales de la phase solide) lors de la 1^{ère} répétition, nous avons réalisé une 2^{ème} série de mesures le 4 avril 2017.

1^{ère} série de mesures :

	température de l'air (°C)	pluviométrie mm	vitesse du vent (m/s)	humidité relative (%)
9h00	12,1	0	1,4	83,6
10h00	12,5	0	2,2	82,2
11h00	13,8	0	2,2	75,8
12h00	15	0	2,9	68,2
13h00	14,5	0	3,3	66,6
14h00	14,5	0	3	68,2
15h00	16	0	3,2	56,1
16h00	15,6	0	3,3	59,8

Tableau 14 : données météorologiques du 9 août 2016

Nous avons mesuré les pertes pendant 6 heures après l'épandage.



Photo 9 : mesures des pertes par volatilisation

Nous avons visé des doses correspondant à une bonne pratique agricole d'un épandage de 15 t / ha de lisier de bovins, ce qui correspond à 80 kg N/ha (sur base des analyses précédentes de matière organique de la ferme). On a épandu la même quantité à l'ha de phase liquide et 12,5 T / ha de phase solide, afin d'obtenir la même quantité d'azote organique épandu à l'ha.

Analyse des différentes matières épandues :

	lisier	phase liquide	phase solide
pH	7,1	6,95	7,8
C/N	8	6	26
	en % produit frais		
matière sèche	10,6	8,4	34,5
matière org.	8	6	31
cendres tot.	2,9	3,1	4,2
cendres ins.	0,66	0,65	1,41
	en % produit frais		
N total	5,48	5,33	6,54
N-NH₄	1,54	2	0,87
% N-NH₄	28 %	38 %	13 %
K₂O	5,14	4,65	4,04
P₂O₅	1,86	1,9	1,93
Na₂O	1,21	1,23	0,97
MgO	2,02	2,17	3
CaO	2,7	3,21	5,3

Tableau 15 : analyse des matières organiques épandues pour la mesure des pertes par volatilisation

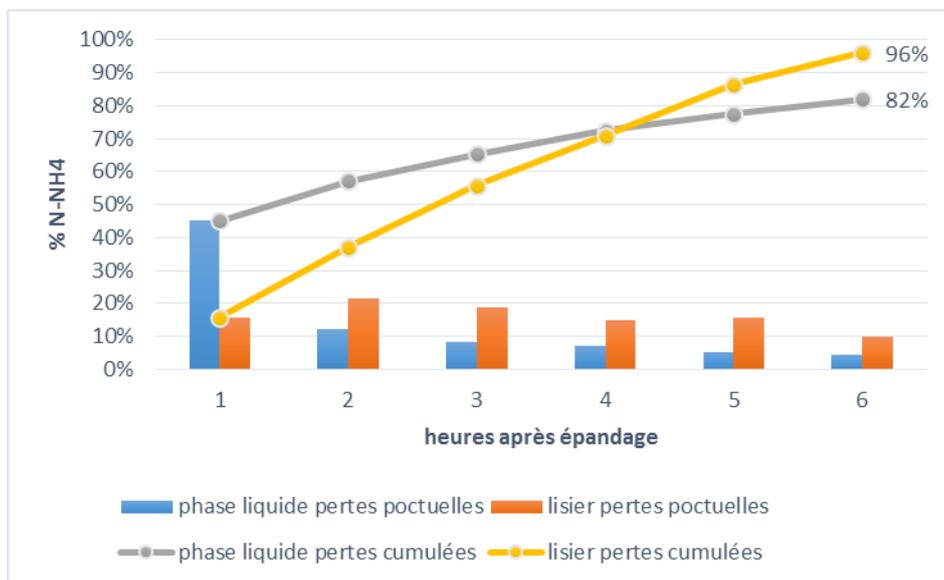
On a utilisé du lisier très épais contenant presque 11 % de MS. Plus un lisier est épais (en prairie, une bonne teneur serait de 6 % MS), plus les risques de pertes ammoniacales par volatilisation sont élevés. La teneur en MS de la phase liquide est bien plus basse, avec 8,4 % MS. Les teneurs en azote de la phase liquide et du lisier sont équivalentes. Dans la phase liquide, la fraction ammoniacale de l'azote est plus importante, avec 38 %, alors qu'elle est de 28 % pour le lisier.

Quantités de nutriments épandus :

	lisier	phase liquide	phase solide
dose épandue	15 T/ha	15 T/ha	12,5 T/ha
	kg épandus / ha		
N total	82	80	82
N-NH₄	23	30	11
K₂O	77	70	51
P₂O₅	28	29	24
Na₂O	18	18	12
MgO	30	33	38
CaO	41	48	66

Tableau 16 : quantité des nutriments épandus des différentes matières organiques lors des mesures de pertes

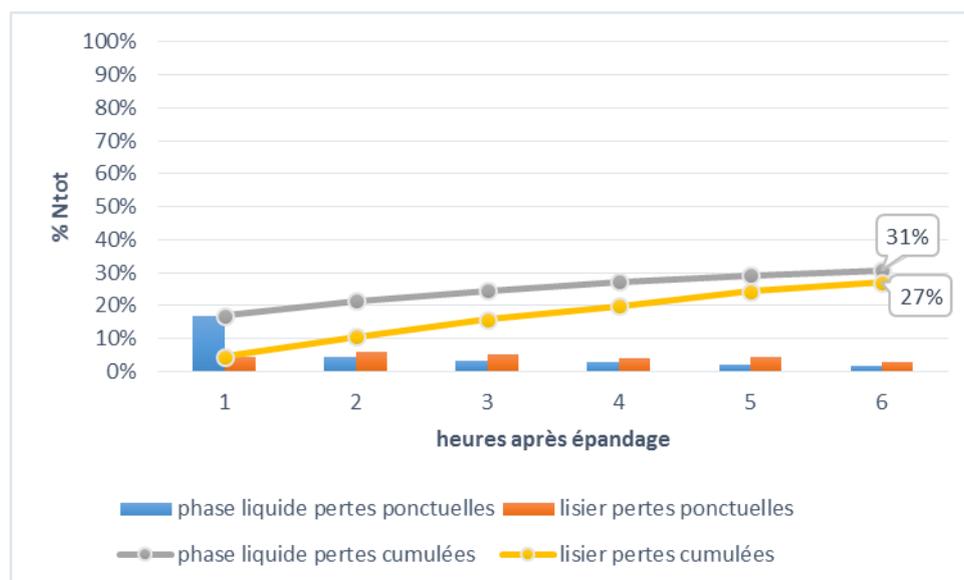
Avec les trois matières fertilisantes, on a épandu la même quantité d'environ 80 kg N / ha. La quantité d'ammoniac épandue / ha change d'une variante à l'autre.



Graphique 11 : résultats des mesures de pertes par volatilisation par rapport à l'azote ammoniacal (09/08/2016)

Sur ce graphique ne sont pas reprises les pertes d'ammoniac de la phase solide. Il y avait un souci dans les analyses de la phase solide.

Les pertes cumulées de la phase liquide atteignent 82 %, ce qui correspond à environ 25 kg NH₄ perdu / ha. Le lisier quant à lui perd, avec 96 %, quasiment l'entièreté de l'ammoniac. On a épandu moins d'ammoniac via le lisier, avec la même dose d'épandage de 15 T /ha. Les pertes du lisier sont de 22 kg NH₄ / ha.



Graphique 12 : résultats des mesures de pertes par volatilisation par rapport à l'azote total (09/08/2016)

La teneur en MS de la phase liquide est plus faible que celle du lisier. Une plus faible teneur en MS réduit les pertes par volatilisation. La fraction ammoniacale de l'azote présent dans la phase liquide est par contre plus élevée que dans le lisier, d'où l'importance de veiller à réduire les pertes lors de l'épandage.

2^{ème} série de mesures :

On a à nouveau travaillé dans de « mauvaises » conditions météorologiques pour la réalisation d'épandage d'engrais de ferme à action rapide.

	température de l'air (°C)	pluviométrie mm	vitesse du vent (m/s)	humidité relative (%)
9h00	4,5	0	0,4	83
10h00	8,2	0	0,9	74,8
11h00	10,2	0	2,8	55,5
12h00	11,1	0	3	55,5
13h00	12,1	0	3,2	53,5
14h00	12,4	0	3,3	52,9
15h00	11,8	0	2,8	51,8
16h00	12,6	0	3	51,2

Tableau 17 : données météorologiques du 4 avril 2017

Nous avons décidé de fixer les quantités d'azote à épandre à 80 kg N/ha. Ceci correspond à 20 T/ha de lisier, 20 T/ha de phase liquide et 16 T/ha de phase solide.

	lisier	phase liquide	phase solide
pH	7,41	7,39	8,26
C/N	6,93	5,74	28,13
	en % produit frais		
matière sèche	8,88	7,29	36,95
matière org.	6,66	5,19	33,16
cendres tot.	2,45	2,41	4,27
cendres ins.	0,53	0,46	1,98
	en % produit frais		
N total	5,33	5,03	6,55
N-NH₄	2,31	2,23	1,06
% N-NH₄	43,3 %	44,3 %	16,2 %
K₂O	5,55	5,36	4,5
P₂O₅	1,92	1,94	2,26
Na₂O	1,3	1,29	1,03
MgO	1,37	1,31	1,86
CaO	2,42	2,3	4,03

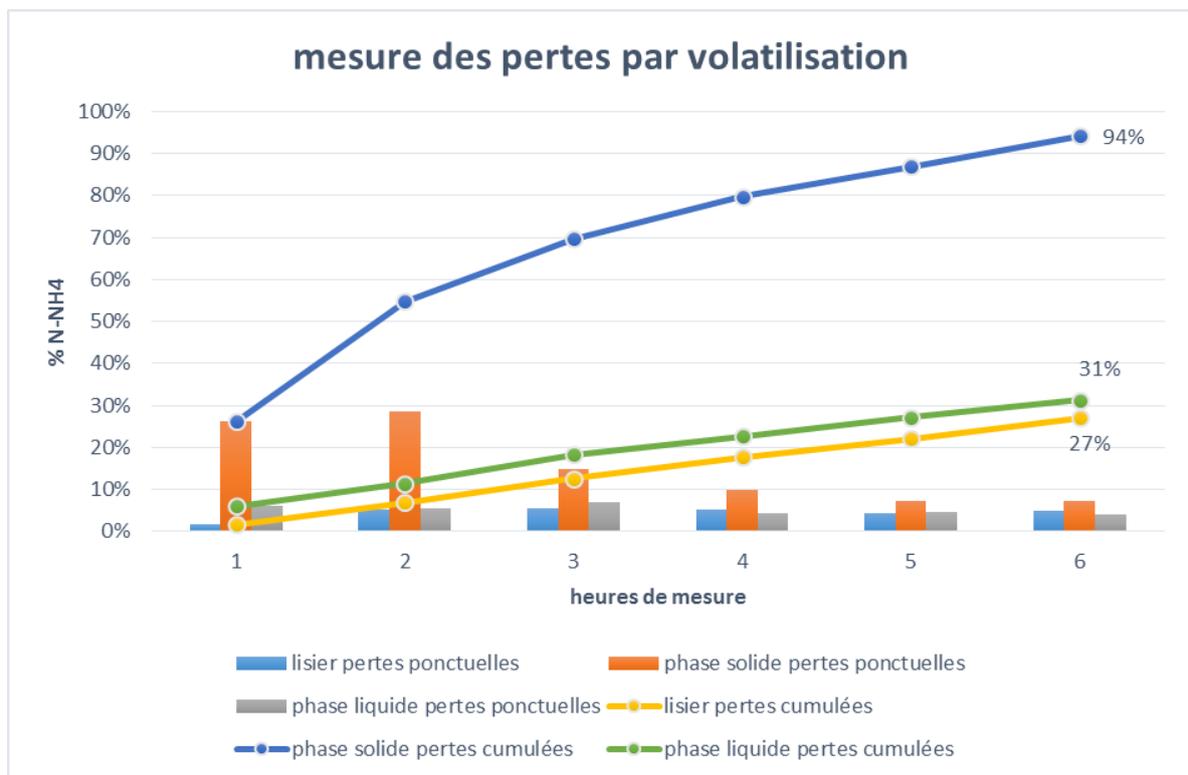
Tableau 18 : analyse des matières organiques épandues pour la 2^{ème} mesure des pertes par volatilisation

Finalement, les engrais étaient plus riches en azote que ce qu'on estimait ; donc les quantités réellement épandues dépassent les 80 kg N / ha initialement prévus.

	lisier	phase liquide	phase solide
dose épandue	20 T/ha	20 T/ha	16 T/ha
	kg épandus / ha		
N total	107	101	105
N-NH₄	46	45	17
K₂O	111	107	72
P₂O₅	38	39	36
Na₂O	26	26	16
MgO	27	26	30
CaO	48	46	64

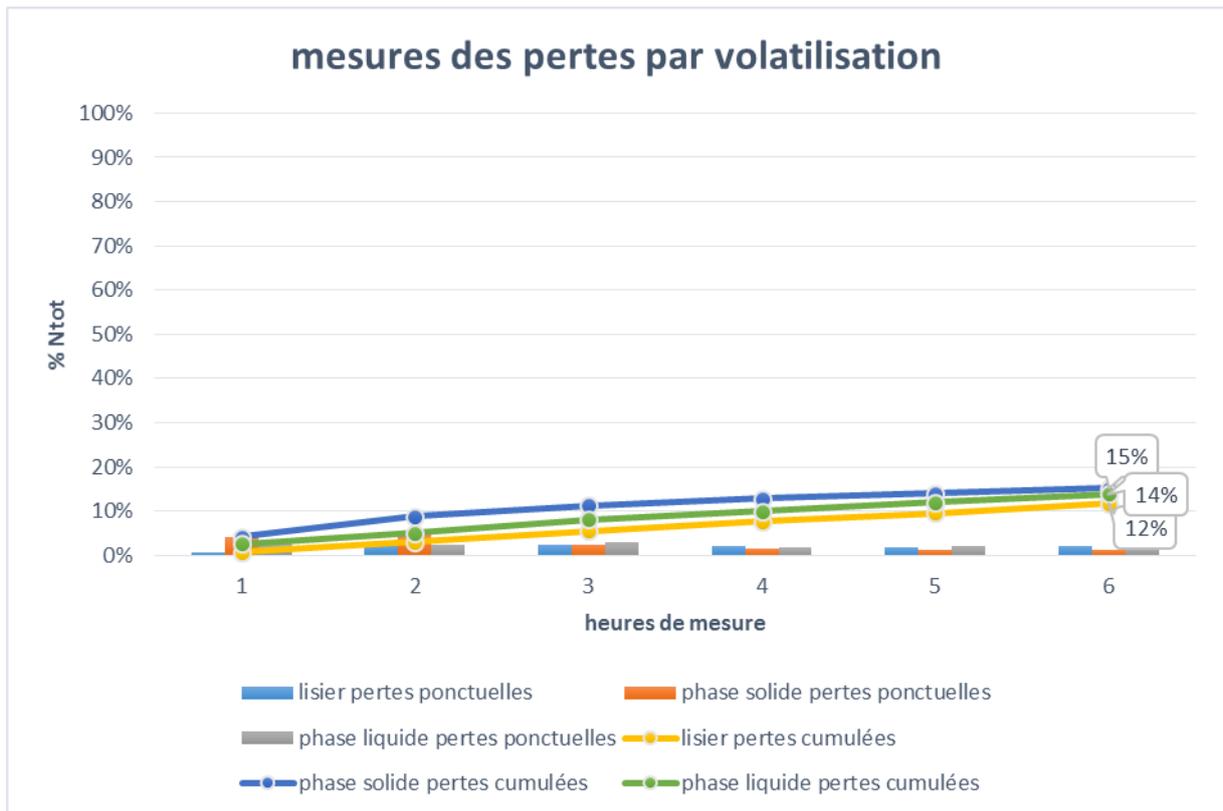
Tableau 19 : quantité des nutriments épandus des différentes matières organiques lors des mesures de pertes

Avec une même dose de phase liquide et de lisier, on épand la même quantité d'azote ammoniacal. Étant donné que la teneur en azote ammoniacal de la phase solide est seulement de 1,06 kg (16 % de N-NH₄), la dose à l'ha est très faible, avec 17 kg N-NH₄/ha.



Graphique 13 : résultats des mesures de pertes par volatilisation par rapport à l'azote ammoniacal (04/04/2017)

Les pertes ammoniacales de la phase solide sont très élevées avec presque la totalité de l'azote ammoniacal. On observe une très légère différence entre les 2 engrais liquides en faveur du lisier, avec 27 % des pertes contre 31 % pour la phase liquide.



Graphique 14 : résultats des mesures de pertes par volatilisation par rapport à l'azote total (04/04/2017)

Sur le plan des pertes d'azote total, on observe peu de différences entre les différentes variantes. La phase solide fraîche, avec 94 % de pertes ammoniacales, présente une teneur d'un kg de N-NH₄ / T de produit frais. Les pertes ammoniacales d'une phase solide fraîche épandue à raison de 16 T / ha s'élèvent à 16 kg / ha. Ces résultats soulignent l'importance d'épandre les matières fertilisantes absolument sous des conditions qui limitent au maximum les pertes par volatilisation (humidité relative de l'air élevée,...).

Une raison pour laquelle les pertes de la phase solide sont aussi élevées peut être son pH basique de 8,26.

6.8 Détermination de la valeur financière des différentes phases 2018

Les caractéristiques de la phase solide évoluent assez rapidement après la séparation. La teneur en MS augmente et les nutriments se concentrent. En fonction du lisier séparé, de la teneur en MS initiale de la phase solide, de la durée de stockage etc., la teneur en nutriments des phases évolue, ce qui influence leur valeur financière.

Les valeurs financières sont calculées avec les résultats moyens d'analyse de matière obtenus dans le cadre de ce centre de référence.

	phase solide de lisier		phase liquide de lisier		€/ unité 2018
	prairie permanente	grande culture	prairie permanente	grande culture	
N tot	6,94x 0,75* x 0,8	6,94x 0,75* x 0,8	4,43 0,70** x 0,8	4,43 0,70** x 0,8	0,80 €
	€ 4,2	€ 4,2	€ 2,5	€ 2,5	
K₂O	5,6 x 0,56	5,6 x 0,5	4,53 x 0,5	4,53 x 0,5	0,50 €
	€ 3,1	€ 2,8	€ 2,3	€ 2,3	
P₂O₅	3,03 x 1,46	3,03 x 0,73	1,51 x 1,46	1,51 x 0,88	1,46 € prairie / 0,73 € culture
	€ 4,4	€ 2,2	€ 2,2	€ 1,1	
Na₂O	0,95 x 0,30	0,95 x 0,30	0,79 x 0,30	0,79 x 0,30	0,30 €
	€ 0,3	€ 0,3	€ 0,2	€ 0,2	
MgO	3,31 x 0,60	3,31 x 0,60	1,48 x 0,60	1,48 x 0,60	0,60 €
	€ 2,0	€ 2,0	€ 0,9	€ 0,9	
CaO	6,93 x 0,10	6,93 x 0,10	2,58 x 0,10	2,58 x 0,10	0,10 €
	€ 0,7	€ 0,7	€ 0,3	€ 0,3	
Total €/ T	€ 14,7	€ 12,2	€ 8,4	€ 7,3	

*0,75: coefficient d'efficacité de la phase solide par rapport à un engrais chimique

**0,80: coefficient d'efficacité de la phase liquide par rapport à un engrais chimique

Tableau 20 : valeurs financières 2018 de la phase solide et liquide

Pour la phase solide, on a défini un coefficient d'efficacité de 0,75 par rapport à un engrais chimique. Cette efficacité est la même que celle du fumier de bovin composté. Le coefficient d'efficacité de la phase liquide est de 0,70 comme celui du lisier de.

Grâce à ses concentrations élevées en nutriments, la phase solide de lisier de bovin est une matière fertilisante dont la valeur économique est de 14,7 €/T en prairie permanente et 12,2 €/T en grande culture. La phase liquide quant à elle est moins concentrée en nutriments et sa valeur économique est donc inférieure à celle de la phase solide. Avec 8,4 €/T en prairie permanente et 7,3 €/T en grande culture, elle reste quand même supérieure à celle du lisier dont la valeur économique pour la campagne 2018 a été fixée par Agra Ost à 7,72 €/T en prairie et 6,4 €/T en grande culture.

7. Interprétation des résultats

Nos résultats montrent que la phase solide est une matière riche en azote principalement organique avec des teneurs de 5,5 à 6 %. La teneur en matière sèche est très élevée et tourne autour de 28 à 32 % MS. En aucun moment elle n'a été inférieure à 25 %.

L'azote ammoniacal se concentre surtout dans la phase liquide. Dans la phase solide fraîche, la teneur en azote ammoniacal est d'environ 1 kg / T de matière fraîche, avec 6 kg N total/ T MF. Suite à la séparation avec un séparateur à vis, 20 % de l'azote présent dans le lisier se retrouvent dans la phase solide. Quant au phosphore, on obtient les mêmes teneurs, alors que le potassium se retrouve surtout dans la phase liquide.

La séparation de lisier fournit une phase solide très volumineuse et légère ($\pm 260 \text{ kg / m}^3$). La phase liquide, avec une densité moyenne de 950 kg/m^3 , est plus lourde que le lisier qui a une densité moyenne de 900 kg/m^3 (le lisier est relativement épais).

La phase solide se composte très facilement et, durant le stockage d'un tas de phase solide, même durant de forte pluie on n'a jamais pu observer des pertes par des jus d'écoulement. Durant le stockage, la phase solide se concentre en nutriments et son volume diminue fortement. La température à l'intérieur de l'andain monte et atteint des valeurs proches de 70°C.

D'après les observations de l'agriculteur, la phase liquide épandue en prairie permanente (sous des conditions climatiques pluvieuses) est mieux valorisée que le lisier. Étant donné que la teneur en matière sèche de la phase liquide est inférieure à celle du lisier, elle colle moins sur la végétation. Il faut cependant être attentif à l'épandre uniquement pendant un temps pluvieux et avec du matériel d'épandage adapté, afin de limiter - voire éviter- les pertes ammoniacales par volatilisation.

8. Diffusion de l'information

La diffusion de l'information se fait via des journées d'étude, des visites de l'installation avec des personnes intéressées, la presse agricole, le site internet www.agraost.be, les réseaux sociaux,...

9. Conclusions

D'après les résultats obtenus durant une première année d'essai, la législation actuelle (PGDA 3) devrait être assouplie en ce qui concerne le stockage de la phase solide qui devrait être autorisé directement au champ.

Pierre Luxen et José Wahlen