



Impact environnemental de la méthanisation agricole

Gilles ADAM

Université de Liège – Campus d’Arlon

Arlon, le 21/11/2014

Plan de la présentation

- Méthanisation agricole vs système traditionnel
- Digestats vs fumier/lisier
- Émissions GES et production d'énergie
- Bonnes pratiques de méthanisation agricole

Pourquoi la méthanisation agricole?

Système traditionnel
Élevage ou polyculture-élevage



Fumier – lisier
Consommation d'énergie
Consommation d'engrais de synthèse
Faible autonomie énergétique

Méthanisation agricole sur système
Élevage ou polyculture-élevage



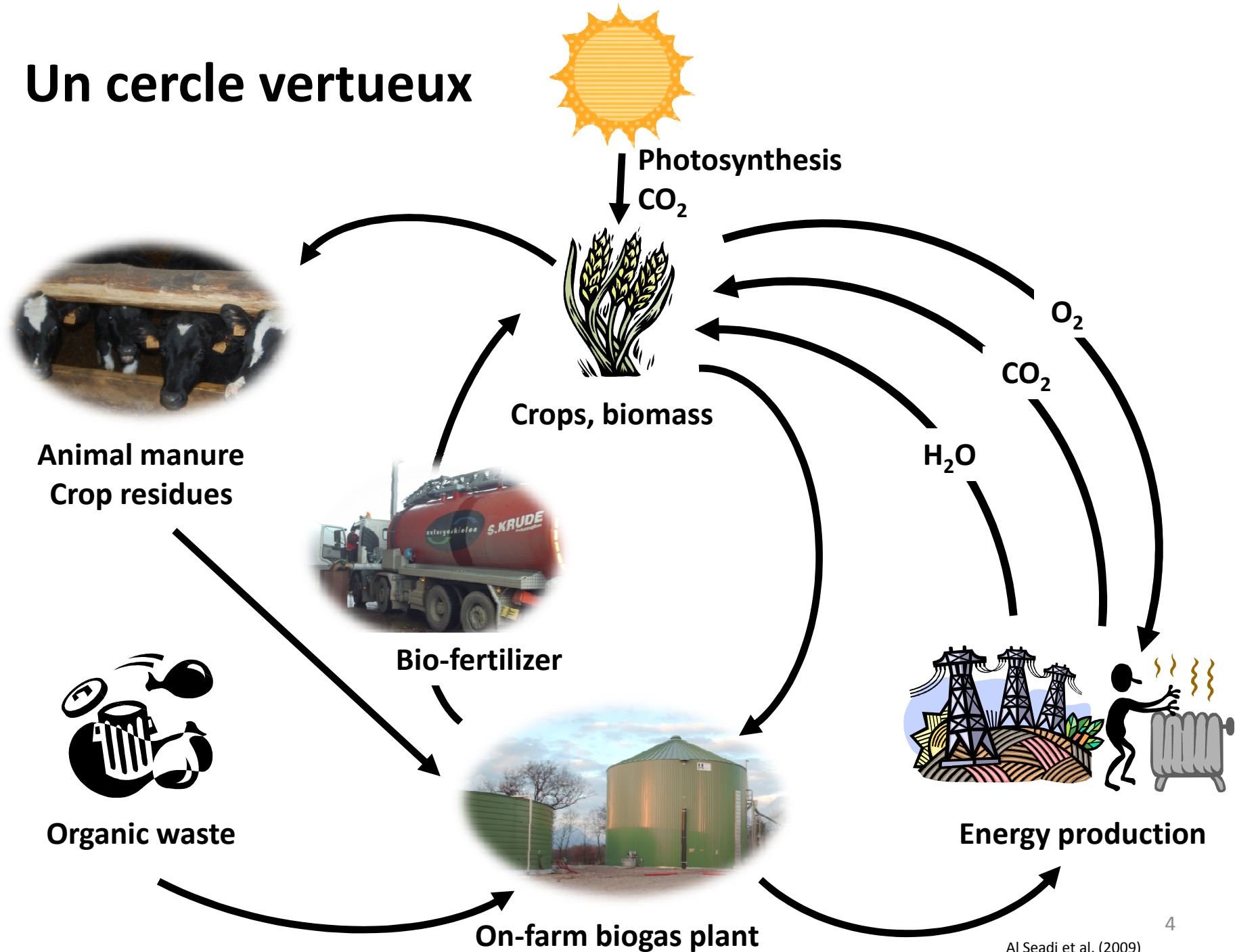
Digestat (brut, séché, liquide)
Production d'énergie
Peu d'engrais de synthèse
autonomie énergétique (ferme à énergie positive)
Diversification des revenus

L'agriculture dispose de ressources valorisables en méthanisation: fumier, lisier, résidus agricoles, cultures énergétiques

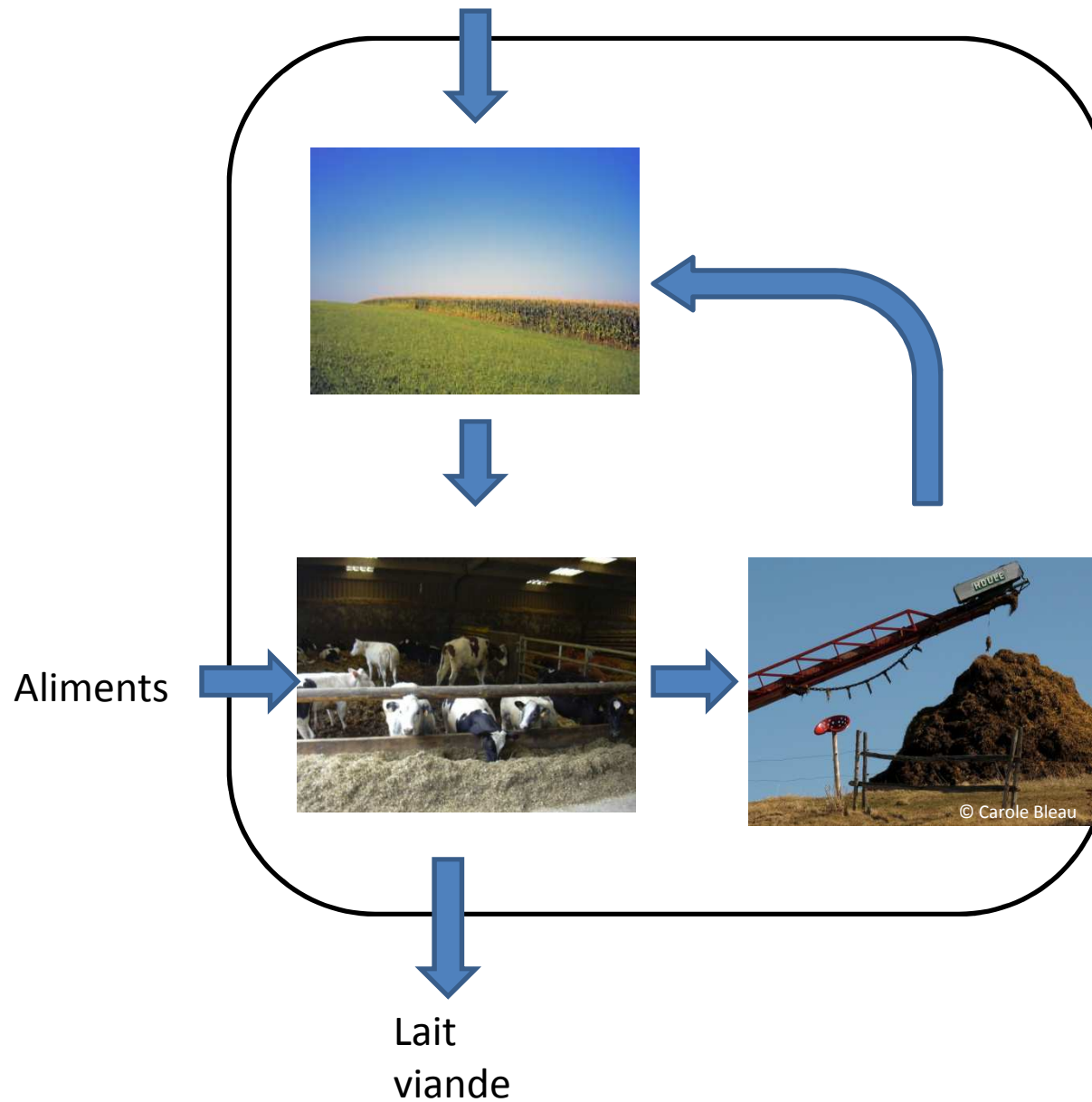
L'agriculture emploie les produits de la méthanisation: énergie et digestat

La méthanisation s'allie particulièrement bien au secteur agricole

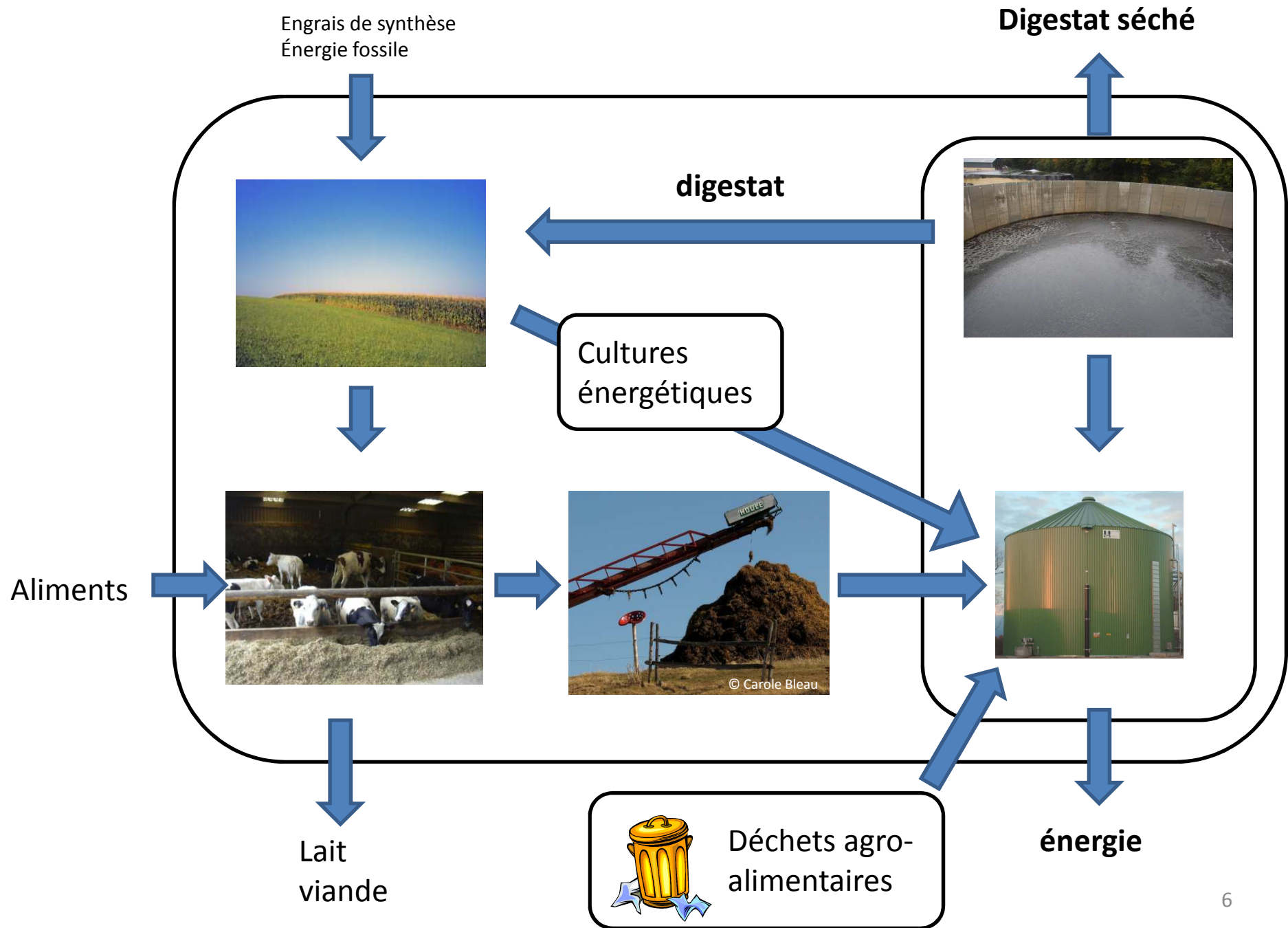
Un cercle vertueux



Engrais de synthèse
Énergie fossile



Version simplifiée du
système agricole
Élevage
Polyculture - élevage



Les avantages de la méthanisation agricole

Production d'énergie

- Electricité
- Chaleur
- Carburant

Hygiénisation

- Réduction des pathogènes
- Réduction de la viabilité des graines d'adventices
- Détoxification

Gain environnemental et social

- Production d'énergie renouvelable
- Réduction d'émission CO₂
- Décentralisation de la production d'énergie
- Réduction consommation engrais de synthèse
- Diversification

Production d'un engrais organique de qualité

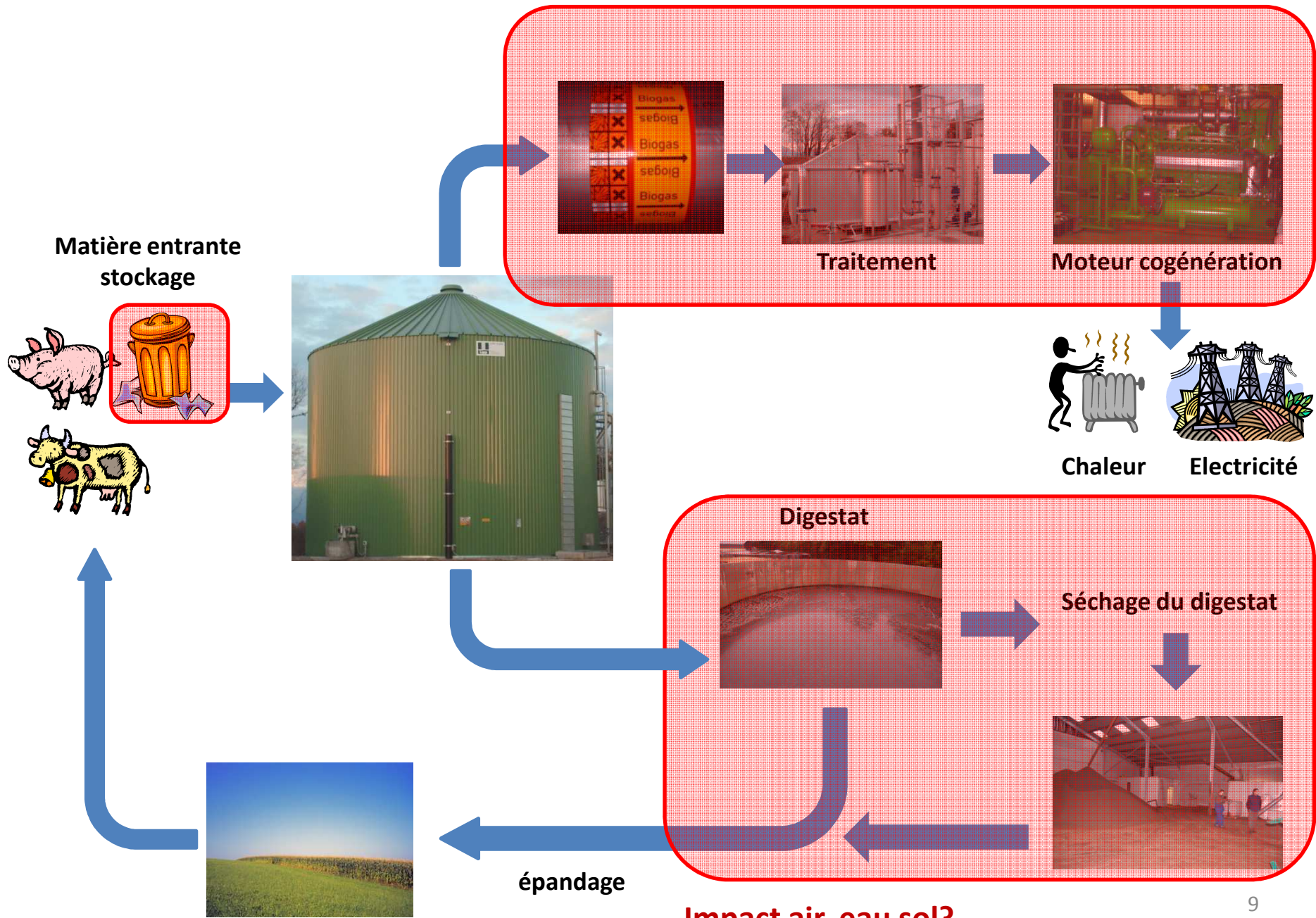
- Minéralisation partielle de l'azote
- Biodisponibilité des éléments minéraux
- Peu de perte de N, P et K
- Conservation de la fraction humique
- pH favorable

Valorisation de déchets organiques

- Agricoles: fumier, lisier, déchets de cultures
- Industriels: industries agro-alimentaires
- Ménagers: tontes de pelouse, déchets verts, fraction organique

Quels sont les points sensibles de la méthanisation agricole au niveau environnemental ?

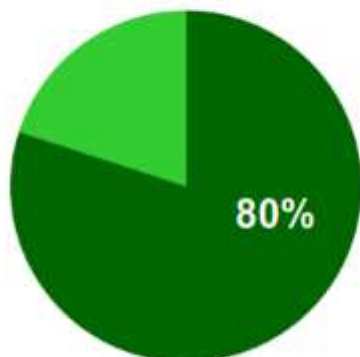
Impact sur l'air ?



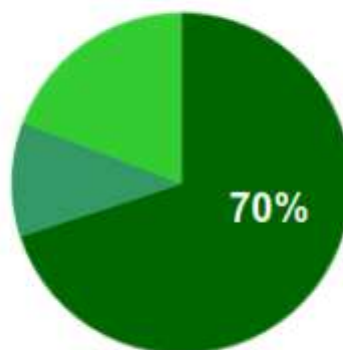
Plan de la présentation

- Méthanisation agricole vs système traditionnel
- **Digestats vs fumier/lisier**
- Émissions GES et production d'énergie
- Bonnes pratiques de méthanisation agricole

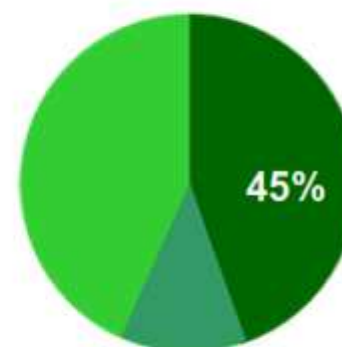
Food-based digestate



Pig slurry



Cattle slurry

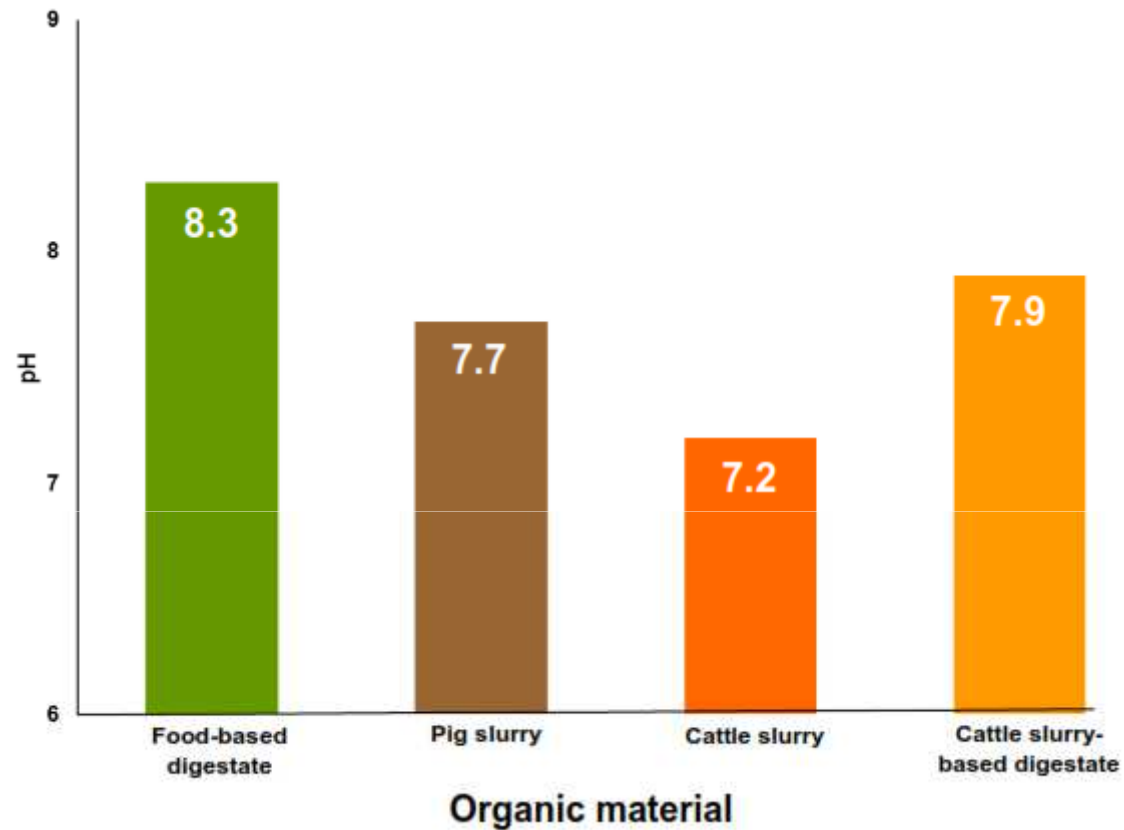


■ Readily available nitrogen (RAN)
■ Organic nitrogen

Typically digestion increase RAN by 10% of total N

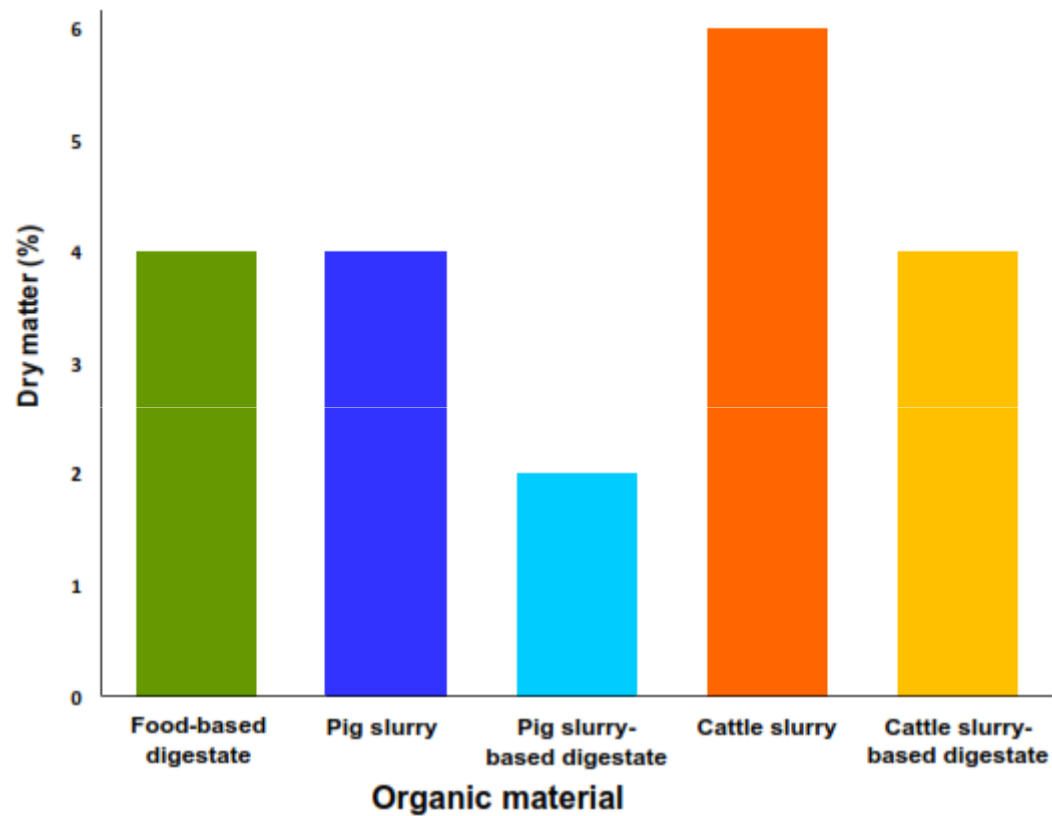
Source: Chambers at ManuResource 2013

L'ammoniaque est en plus haute concentration dans le digestat que dans les lisiers



Source: Chambers at ManuResource 2013

Le pH du digestat est plus élevé que celui du fumier/lisier dont il est issu



Source: Chambers at ManuResource 2013

**La matière sèche est moindre dans un digestat que dans le lisier dont il est issu.
Attention si co-digestion!!!**

Digestats vs fumier/lisier

Composition et propriétés agronomiques du digestat variables selon:

- **composition des matières entrantes (co-digestion!)**
 - temps de séjour dans le réacteur
 - température du traitement anaérobie
- Attention à la qualité du digestat!!!

Facteurs affectés par la qualité du traitement:

- pH
- C:N
- TOC – BOD
- Total solids
- Hygiénisation/ réduction des pathogènes
- Viabilité des semences d'adventices
- Réduction des odeurs

**Affectent la valeur agronomique
mais aussi l'impact environnemental**

Impact sur l'air de la méthanisation agricole

Le secteur agricole est une importante source de pollution de l'air par ses émissions de CH₄, de NH₃, de N₂O, et des PM10, PM2,5.

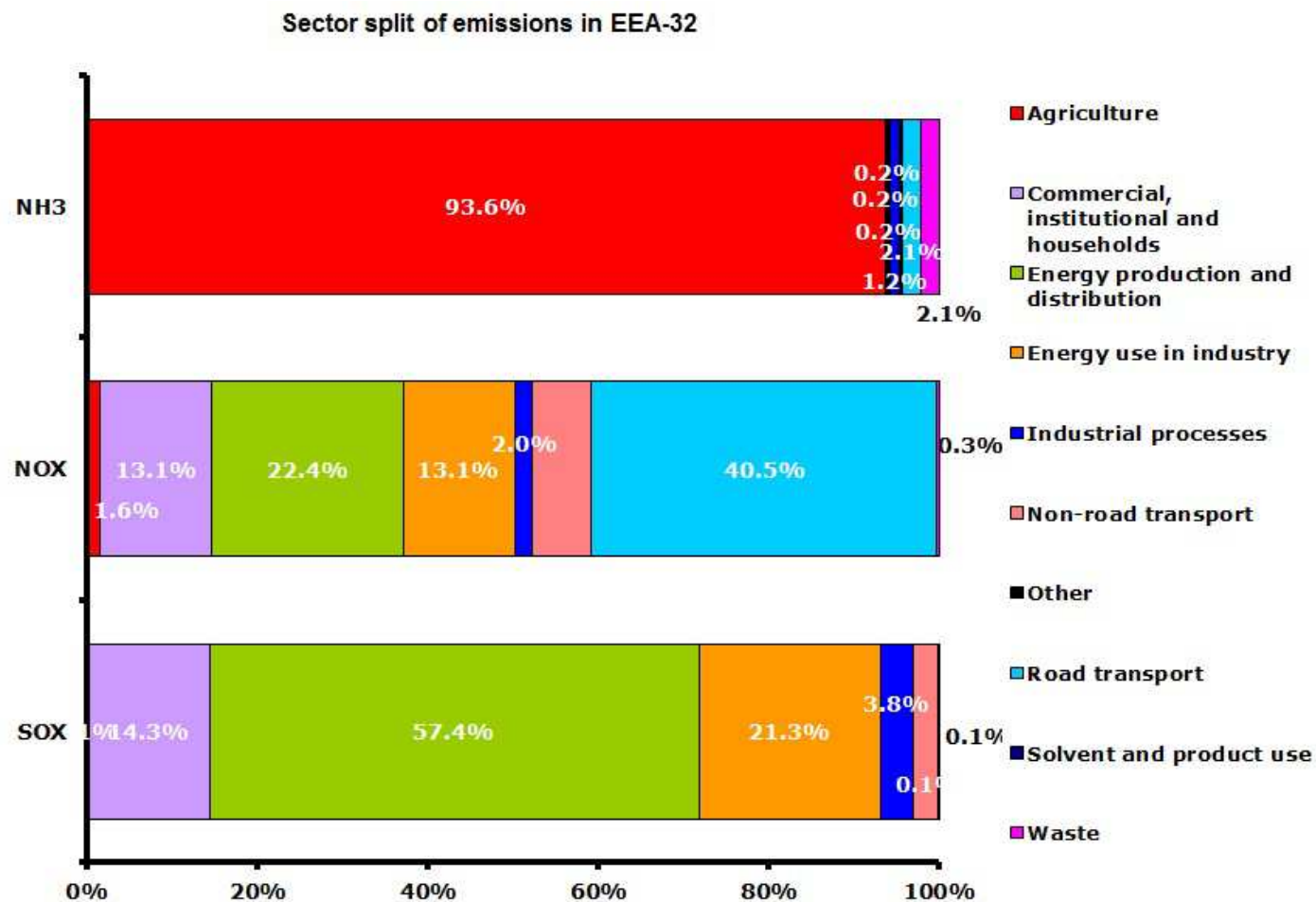
Le secteur agricole est aussi une source importante de pollutions par les odeurs

	Principale source	Effets environnementaux
CH ₄	Animaux d'élevage, fumier, lisier	Effet de serre (20x CO ₂) Précurseur d'ozone
NH ₃	Fumier, lisier	Eutrophisation des milieux Acidification Précurseur des PM avec SOx ou NOx
N ₂ O	Sols agricoles fertilisés en azote	Acidification eau/sol Eutrophisation Effet de serre (298x CO ₂)
PM10, PM2,5	Animaux d'élevage	Effets sanitaires. Eutrophisation

Comment la méthanisation agricole influence-t-elle les émissions de ces gaz?

Source: EEA, 2011

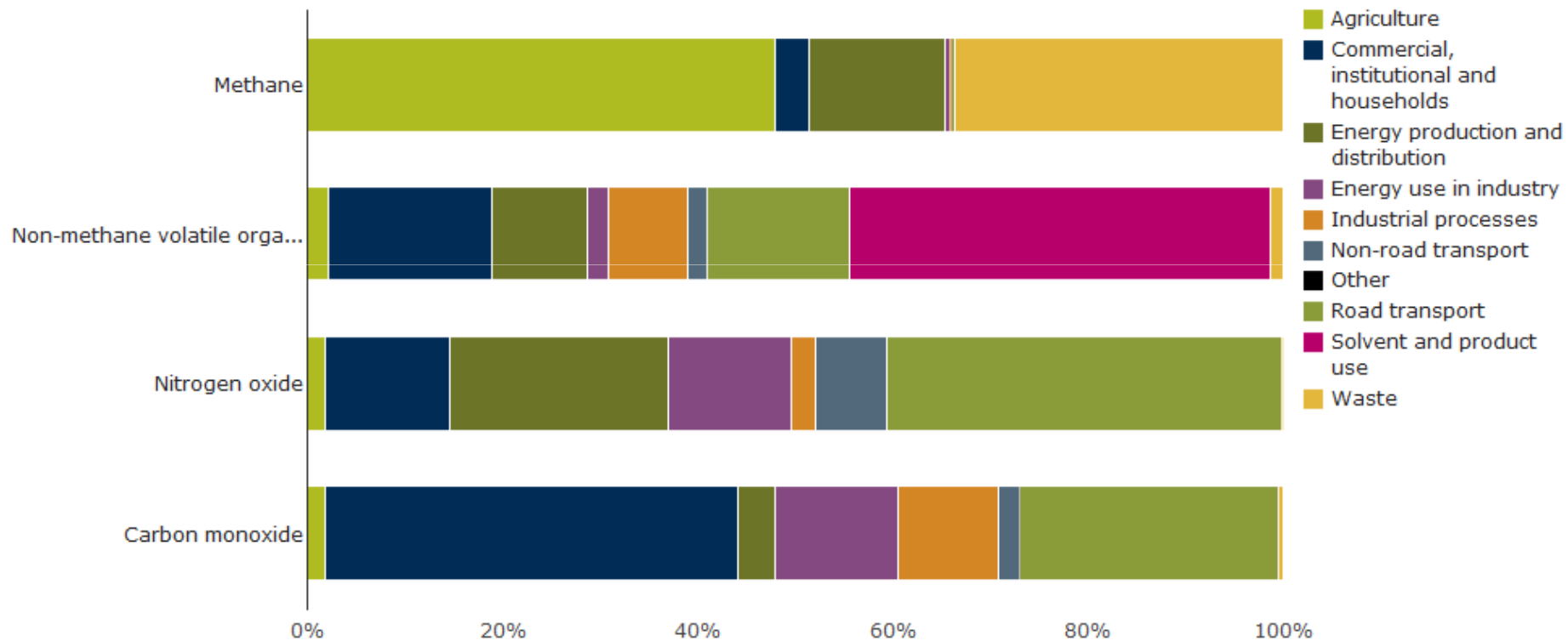
In EU33, Agriculture was responsible for 94% of NH₃ emissions in 2011



Les émissions d'ammoniac sont le défi majeur en matière de pollution de l'air par l'agriculture

Le secteur agricole représente 42% des émissions de méthane, principalement via les animaux d'élevage

Chart – Sector split of emissions of ozone-precursor pollutants



Stockage du digestat



Quid des émissions CH_4 , NH_3 , N_2O et odeurs?

Impact de la couverture du digestat/lisier bovin sur les émissions de gaz polluants

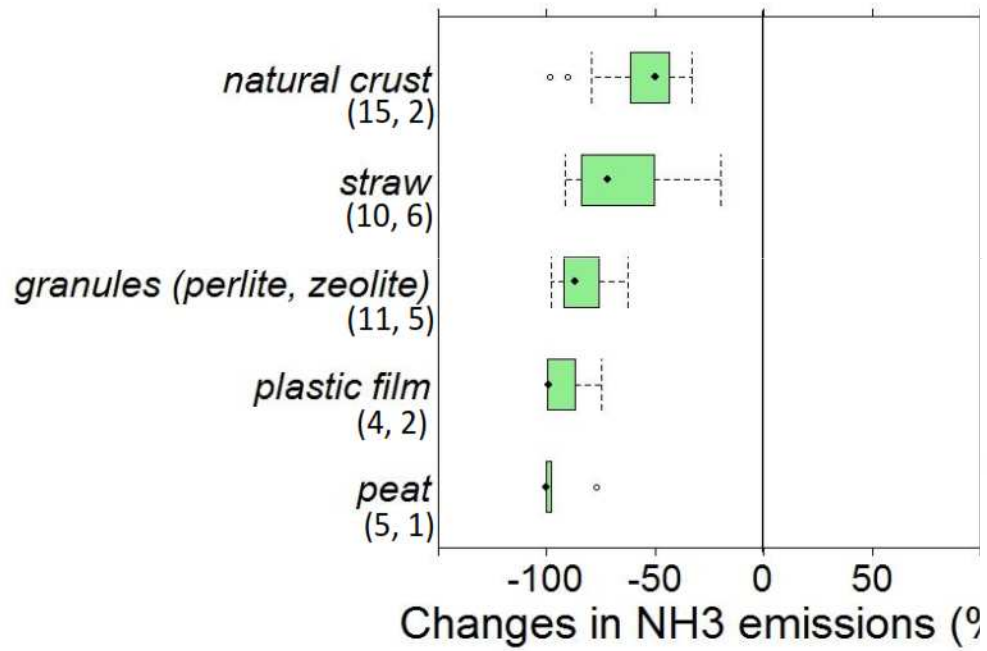
Cumulated CH₄, NH₃, N₂O, and greenhouse gas emissions during a winter (100-day) and summer (140-day) storage experiment

Different letters within columns indicate significant differences at $p < 0.05$.

Treatment	Winter experiment				Summer experiment			
	CH ₄ (g m ⁻³)	NH ₃ (g m ⁻³)	N ₂ O (g m ⁻³)	GHG (kg CO ₂ eq. m ⁻³)	CH ₄ (g m ⁻³)	NH ₃ (g m ⁻³)	N ₂ O (g m ⁻³)	GHG (kg CO ₂ eq. m ⁻³)
Untreated_crust	164.3 a	72.5 a	44.0 a	17.1	3591.2 a	110.5 a	48.7 a	90.5
Untreated_cover	142.0 b	52.2 b	38.2 c	14.8	2999.0 b	60.0 b	58.6 b	81.1
Biogas	111.3 c	62.0 c	40.1 b	14.8	1154.2 c	222.5 c	72.4 c	46.7
Biogas_straw	114.5 c	49.6 b	39.9 b	14.8	1191.9 c	125.7 a	75.7 c	48.5
Biogas_straw_cover	81.1 d	48.7 b	40.7 b	14.3	1021.4 d	78.1 d	61.4 b	40.5

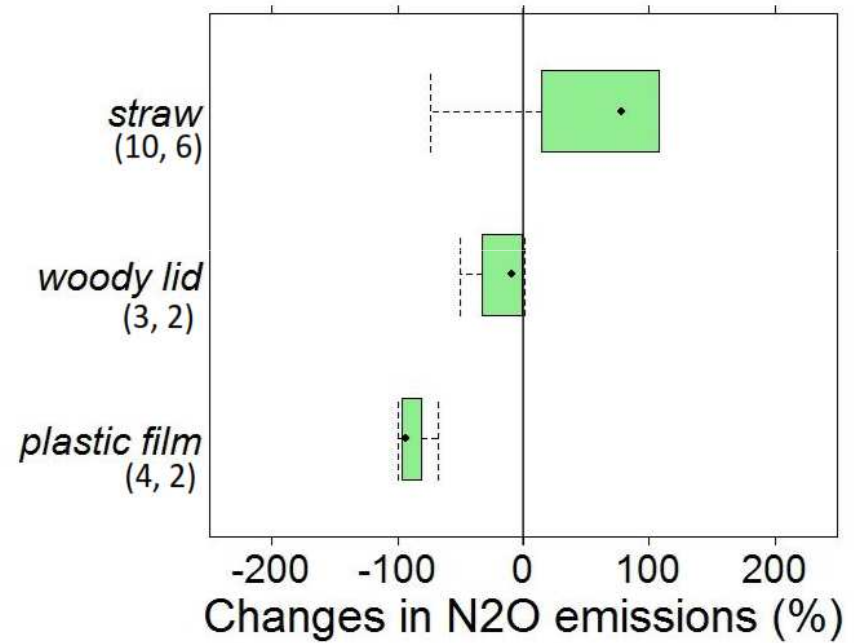
NH3

Covered VS. uncovered slurry



N₂O

Covered VS. uncovered slurry



Stockage: digestat vs lisier

- Moindres émissions de CH_4 du digestat
- Moindres émissions GHG CO_2 éq. du digestat
- Plus d'émissions NH_3
- N_2O => résultats mitigés!
- La température et le type de couverture sont des facteurs prépondérants des émissions de gaz polluants pour le stockage
 - **Des bonnes pratiques de stockage permettent d'éviter/réduire les pertes d'ammoniac**

Épandage du digestat



La méthode d'application importe plus que le type de traitement du lisier!

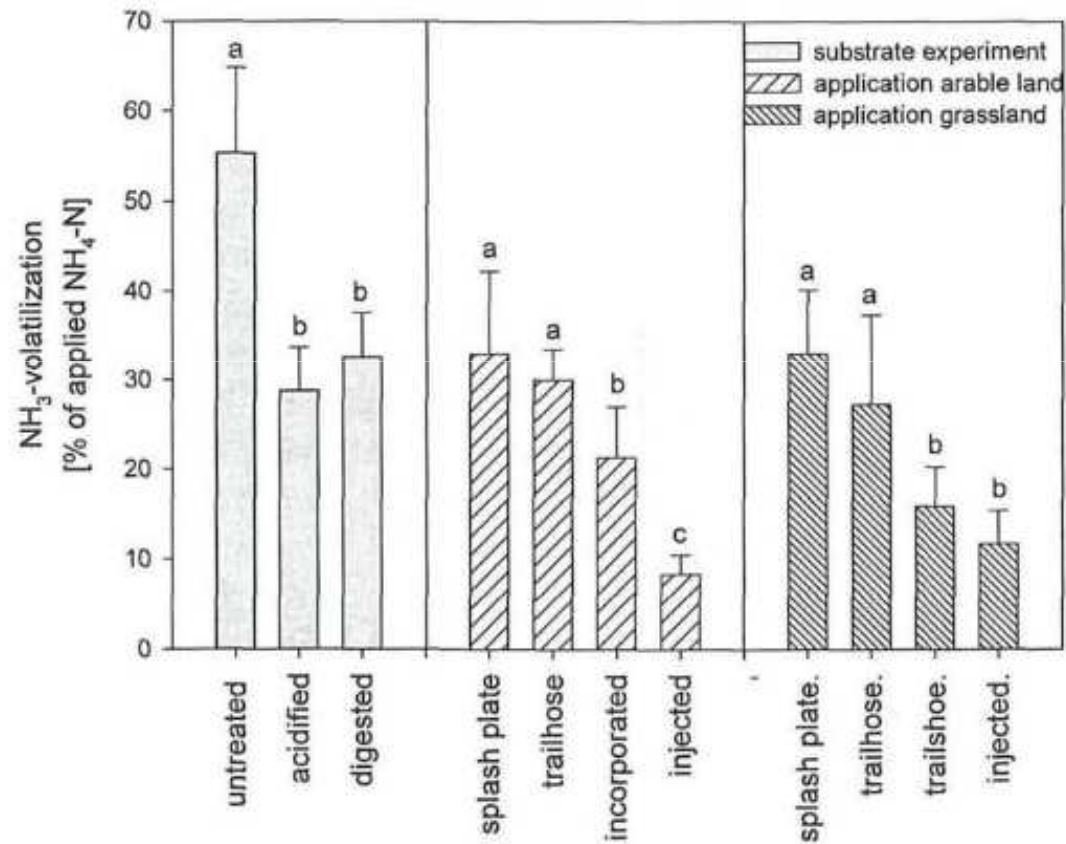
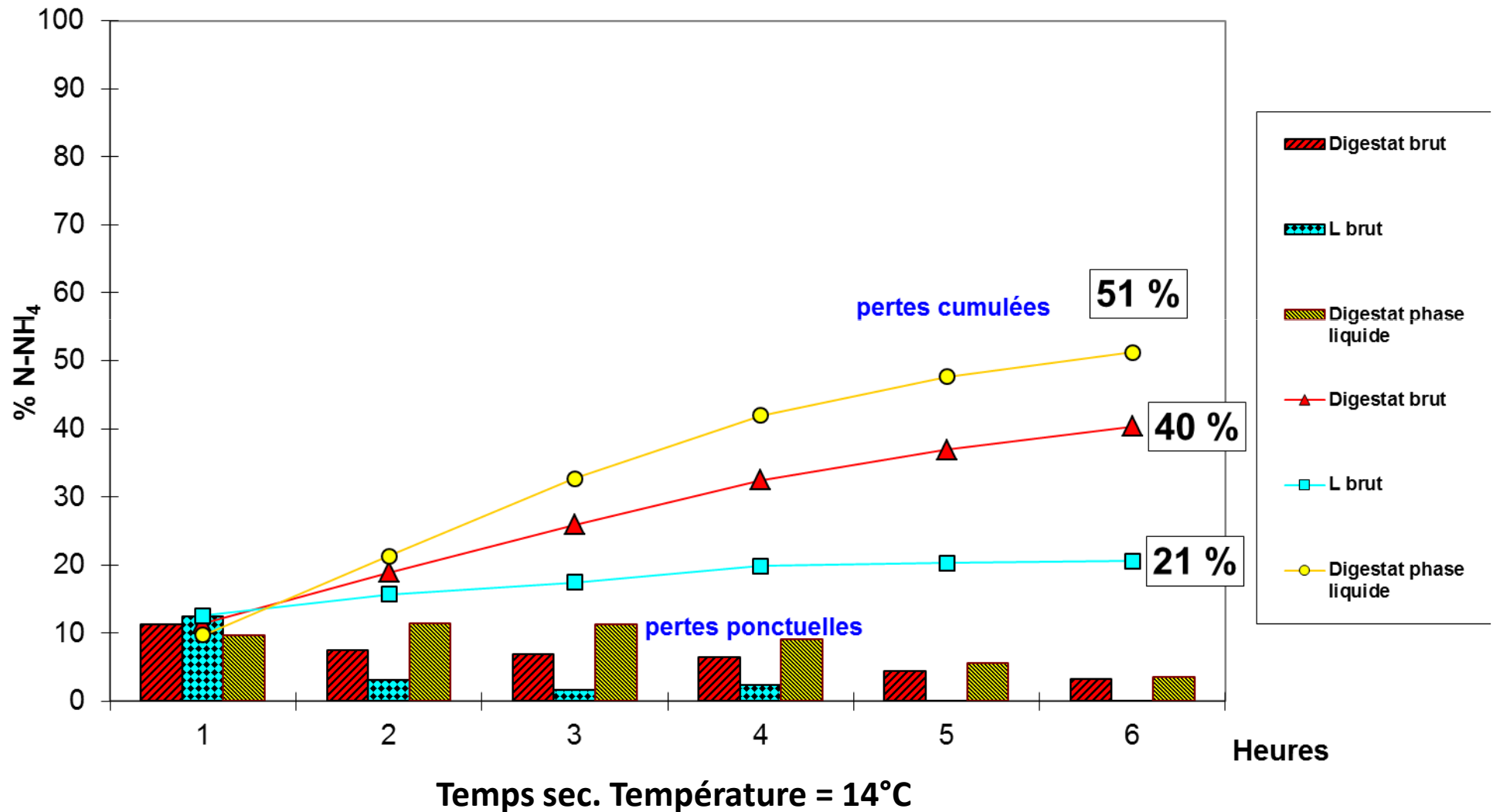
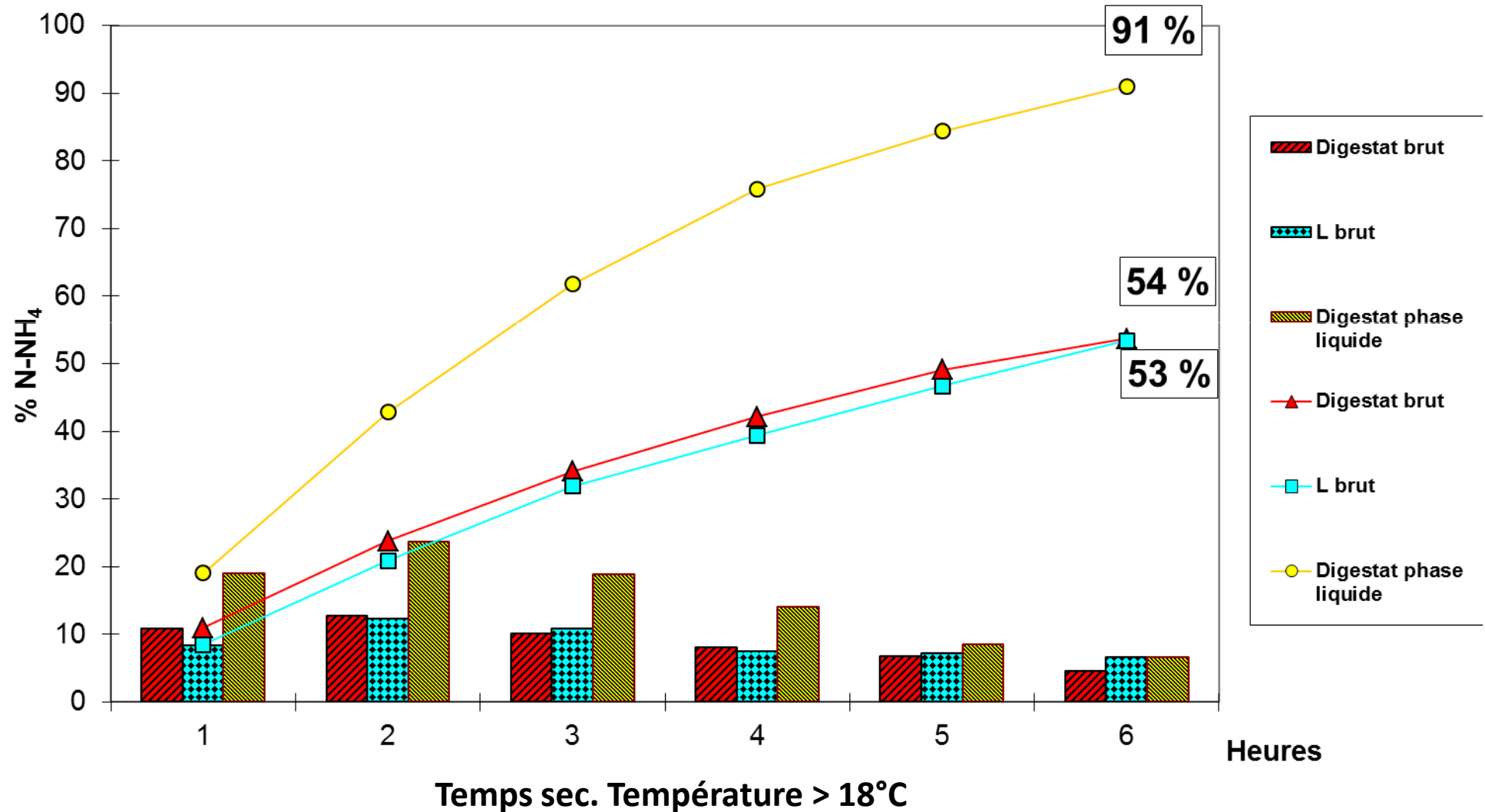


Fig. 1. NH₃ volatilization from the different treatments. Expressed as percentage of applied NH₄-N. Means and standard deviation (n=4). Different letters indicate significant differences within individual experiments (p<0.05).

Pertes ammoniacales par volatilisation après épandage d'un digestat non traité par rapport à une phase liquide d'un digestat et d'un lisier bovin brut, exprimé en % de la quantité totale d' $N-NH_4$ épandu - 26.06.2013



Pertes ammoniacales par volatilisation après épandage d'un digestat non traité par rapport à une phase liquide d'un digestat et d'un lisier bovin brut, exprimé en % de la quantité totale d' $N-NH_4$ épandu - 14.08.2013



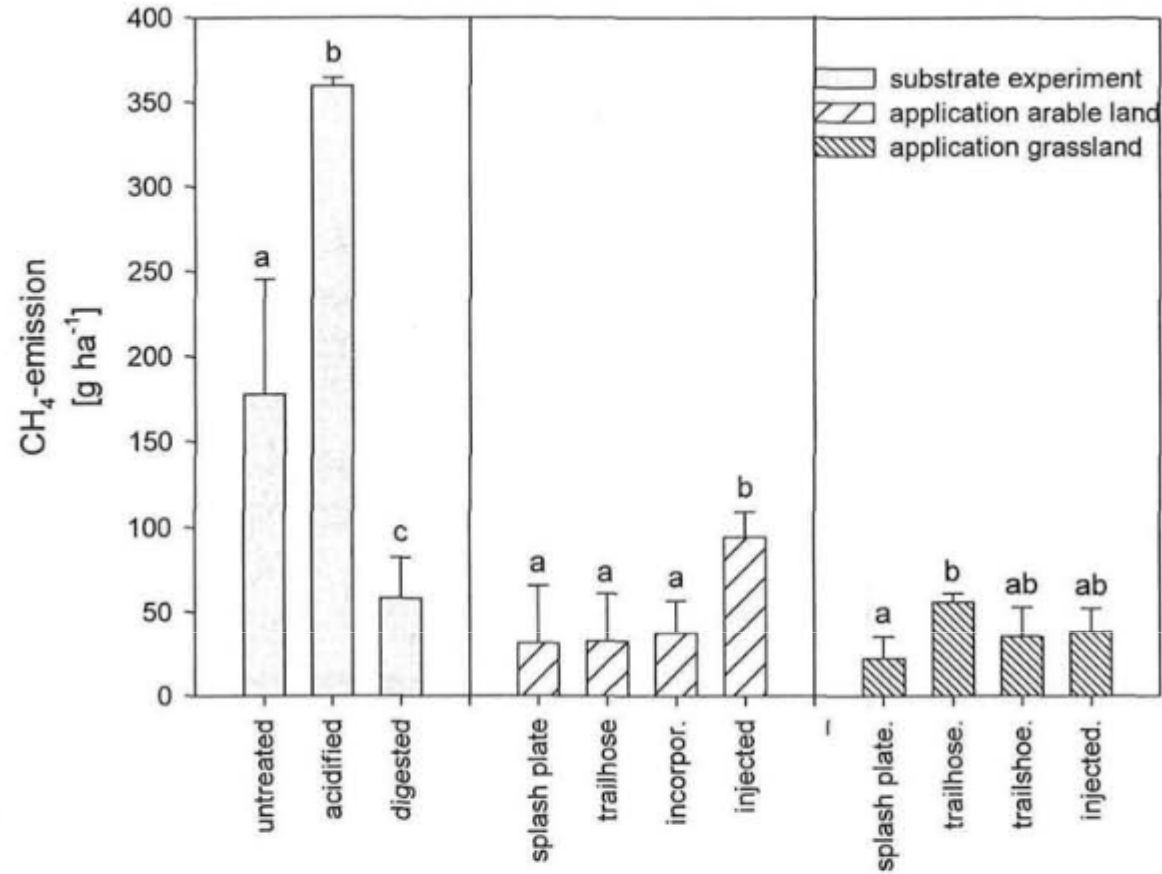


Fig. 2. Cumulated CH₄- emissions after application of differently treated slurries and co-fermentation product applied with different application techniques. Means and standard deviation (n=4). Different letters indicate significant differences within individual experiments (p<0.05).

Les digestats émettent beaucoup moins de CH₄ que les lisiers à l'épandage

Pas de données concernant les émissions de méthane par les digesteurs!!!

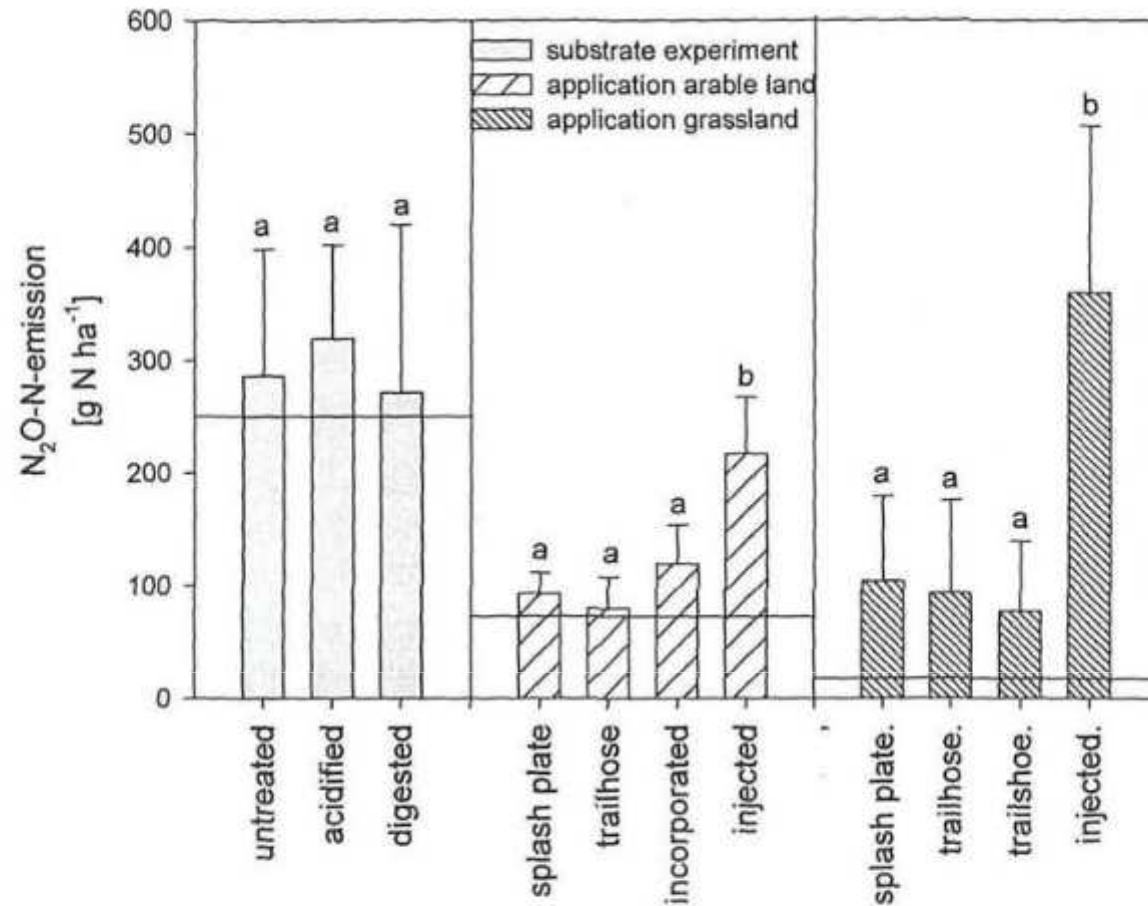


Fig. 3. Cumulated N₂O-N emissions during 5 weeks after application of different slurries and co-fermentation product applied with different application techniques. Means and standard deviation (n=4). Horizontal lines indicate levels of background emissions from unfertilized plots. Different letters indicate significant differences within individual experiments (p < 0.05).

La formation de N₂O est fortement influencée par les paramètres biologiques et physiques du sol: type de sol, aération (oxygénation), pH, fertilisation
Il est difficile de savoir quelle méthode est optimale!

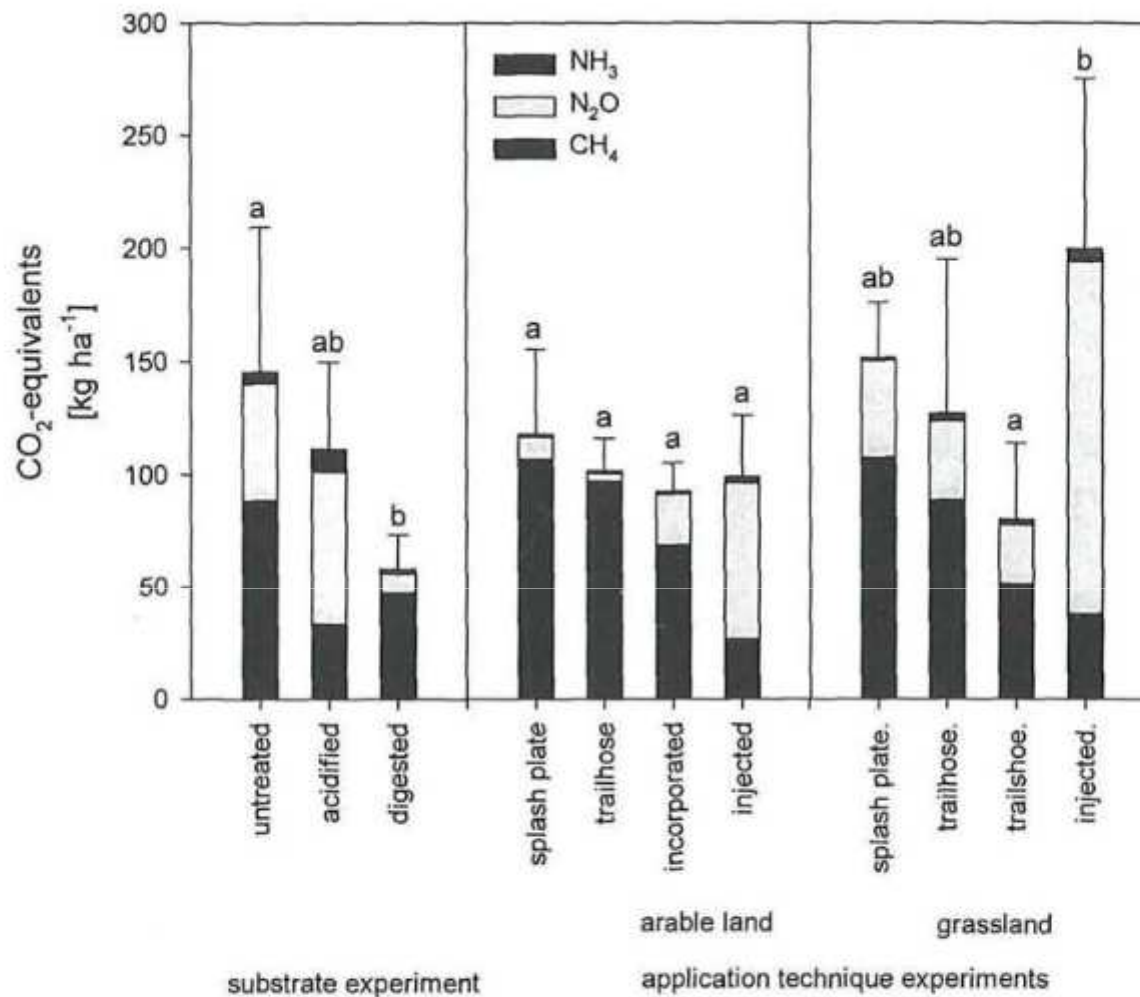


Fig. 4. CO₂ equivalents calculated from the cumulated emissions of the different trace gases. Means (n=4). Error bars are calculated for the sum of equivalents. Different letters indicate significant differences within individual experiments (p<0.05).

Le digestat a un pH plus élevé, un taux d'ammoniacque plus élevé et une meilleure stabilité organique...

...Il est donc plus sensible aux émissions atmosphériques d'ammoniac, mais est moins sensible aux émissions de méthane

La méthanisation n'est pas une solution en soi pour diminuer les émissions d'ammoniac vers l'atmosphère.

La diminution des émissions azote vers l'atmosphère, tant pour les stations de méthanisation que pour les fermes traditionnelles, est obtenue via des méthodes raisonnées de stockage et d'épandage des digestats, fumiers, lisiers:

- **couverture du stockage**
- **Épandage:**
 - **injection dans le sol ou dépôt par pendillards**
 - **conditions climatiques optimales**
 - **couverture du sol**

Bonnes pratiques de gestion du digestat

- Le digestat est un matériel délicat à stocker et épandre pour éviter les pertes ammoniacales
- Bonnes pratiques de stockage:
 - Long temps de séjour pour stabiliser le digestat (récupération CH₄, diminuer C/N, BOD)
 - Couvrir au maximum le digestat
 - Éviter de mélanger le digestat
- Bonnes pratiques d'épandage:
 - pertes maximales durant les 12 h qui suivent!
 - Identiques aux BP des lisiers! Bon sens!
 - Éviter l'épandage par déflecteur
 - Éviter l'épandage par temps sec et ensoleillé
 - Pertes d'ammoniac: **injecteur** < **pendillard** < **déflecteur**



Photo: James Arthur

Il est communément admis que la méthanisation permet de réduire l'impact olfactif des fermes
Est-ce vrai?

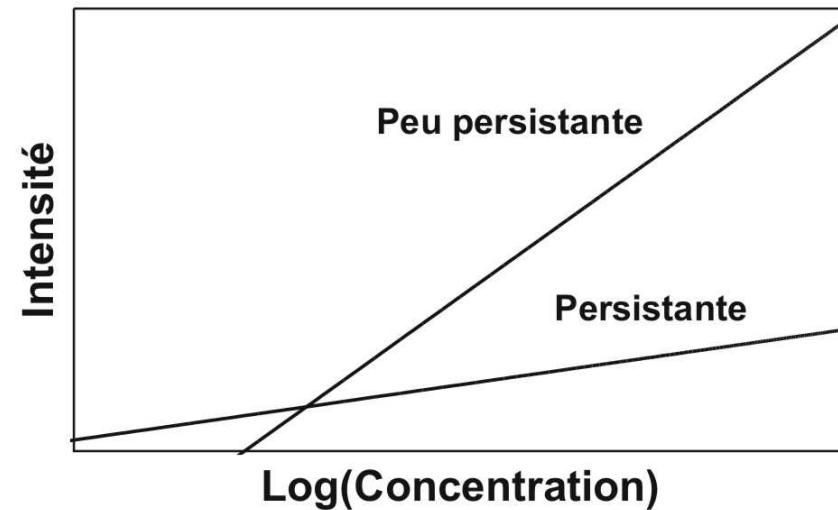
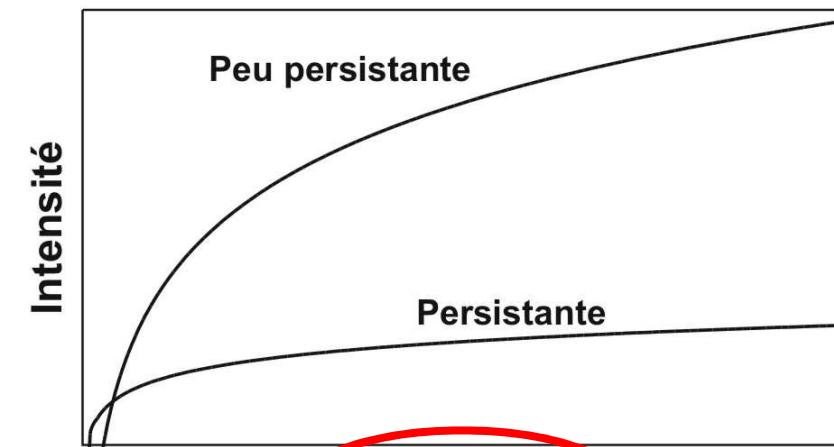
Nature des odeurs : Dimensions sensorielles de l'odeur

1. Intensité

Intensité = "force" de l'odeur

Liée non linéairement avec la concentration

!!! Au-delà de C_0 !!!



Pour un produit pur → Concentration chimique (ppm, $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ...)

Pour un mélange complexe → Concentration d'odeur

Nature des odeurs : Dimensions sensorielles de l'odeur

2. Concentration

Nécessaire si l'odeur ne se limite pas à un seul composé chimique

→ "Concentration d'odeur" (Zwaardemaker, 1888)

≡ nombre de fois qu'il faut diluer l'odeur dans le l'air pur pour arriver au seuil olfactif d'une personne "moyenne"

$$Z = \frac{V_0 + V_i}{V_0} \quad \rightarrow \quad C_{\text{odeur}} = Z_{50}$$

- Notion assez "stable" d'un individu à l'autre
- Proportionnel à l'odeur ($Z_{50} \nearrow$ si odeur \nearrow)



Evaluation des odeurs : fermes traditionnelles vs méthanisation à la ferme

1. Evaluation of odour annoyance in the surroundings

➔ Different complementary methods

Odor sampling followed by dynamic olfactometry (EN13725 standard) ➔ measuring odor concentration of different sources (ou_E/m^3)



Field inspection + dispersion modeling ➔ assessing global odor emission rate

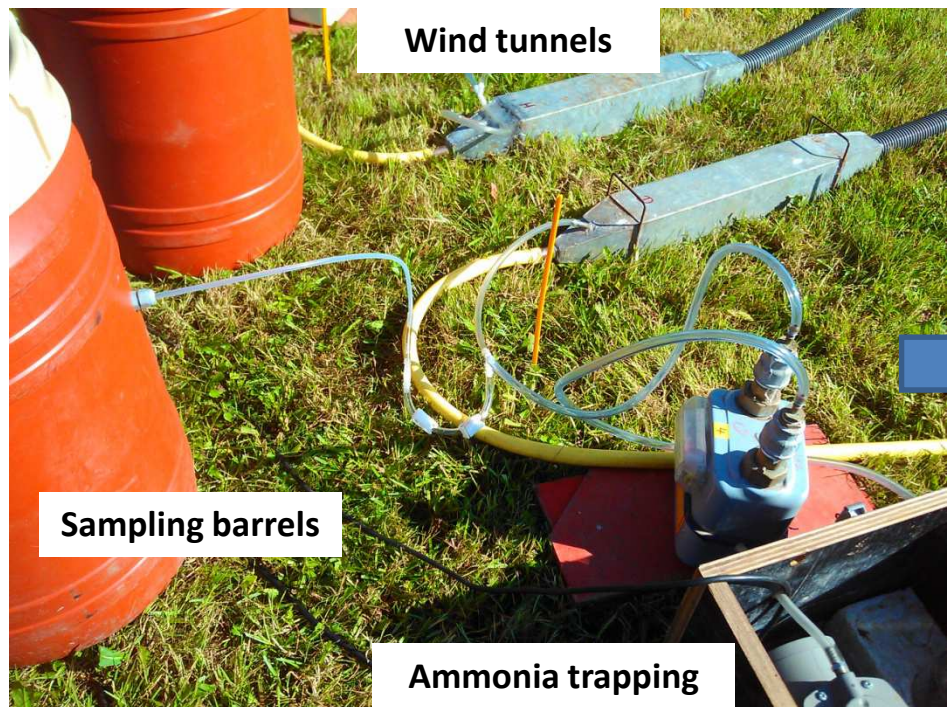
Portable olfactometer (Nasal Ranger) ➔ validating field inspection



Evaluation des odeurs : Émissions à l'épandage

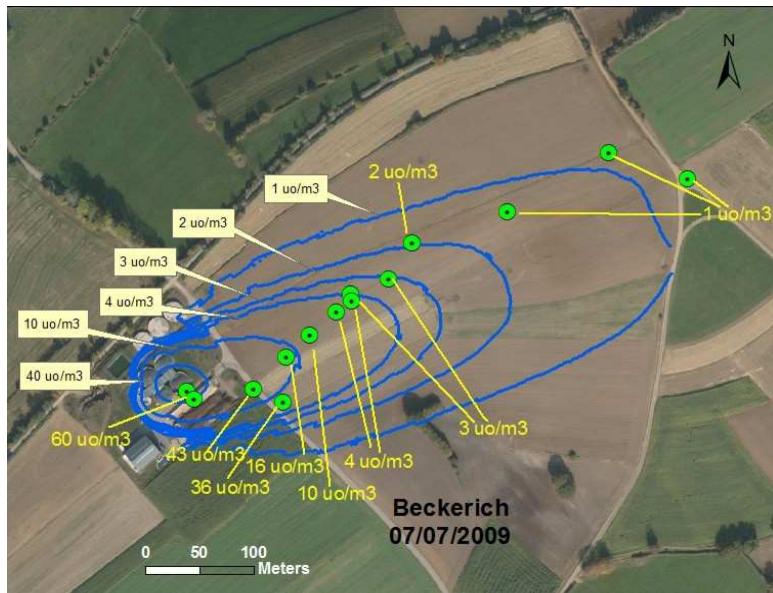
2. Evaluation of odour flow rate of land applications for treated/untreated fertilizers

Odor sampling followed by dynamic olfactometry (EN13725 standard) → measuring odor flow rate of different anaerobic digestion by-products applied on the land



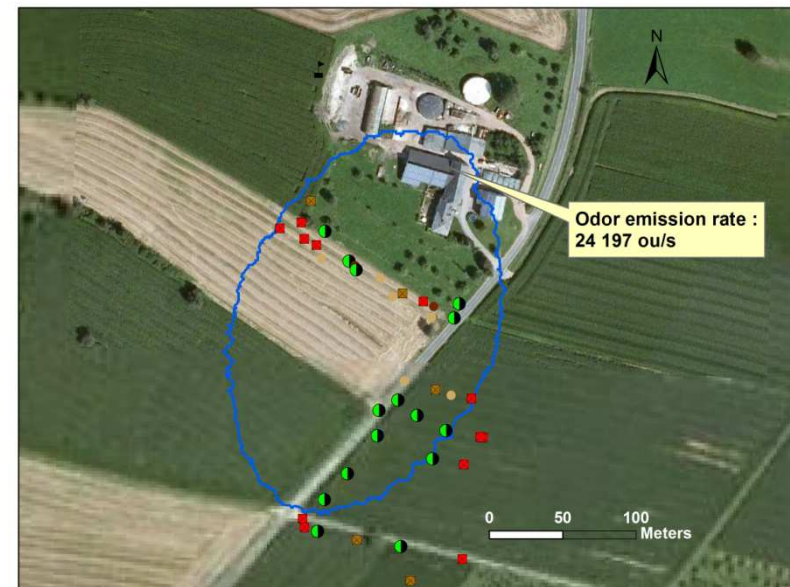
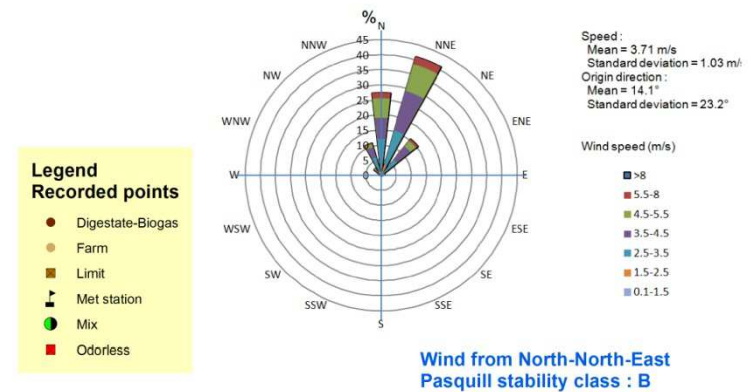
Mesures de odeurs émanant des sites de méthanisation

10 field inspections at Faascht, Beckerich and Palzem (mostly during Summer 2009).
 • Odor emission rate deduced from backcalculation using Tropos-Impact model (Odotech)
 + field olfactometer measurements



Good agreement between portable olfactometer and field inspection measurements

Field inspection June 23th (Palzem)



	Date	Odor emission rate	Maximum perception distance	
Faascht	19/06/2009	79 384 uo/s	600 m	Highly variable , depending on the process (e.g. : digestate drying)
	28/08/2009	10 725 uo/s	250 m	
	10/09/2009	23 553 uo/s	430 m	
Beckerich	05/05/2009	7 306 uo/s	300 m	Mostly manure storage, maize silage + slurry discharge in the pit
	06/07/2009	43 752 uo/s	500 m	
	13/07/2009	10 942 uo/s	300 m	
Palzem	23/06/2009	24 197 uo/s	300 m	Normal "farm" odor + maize silage
	07/07/2009	18 593 uo/s	500 m	

Mean odor emission rate = 20 000 ou/s

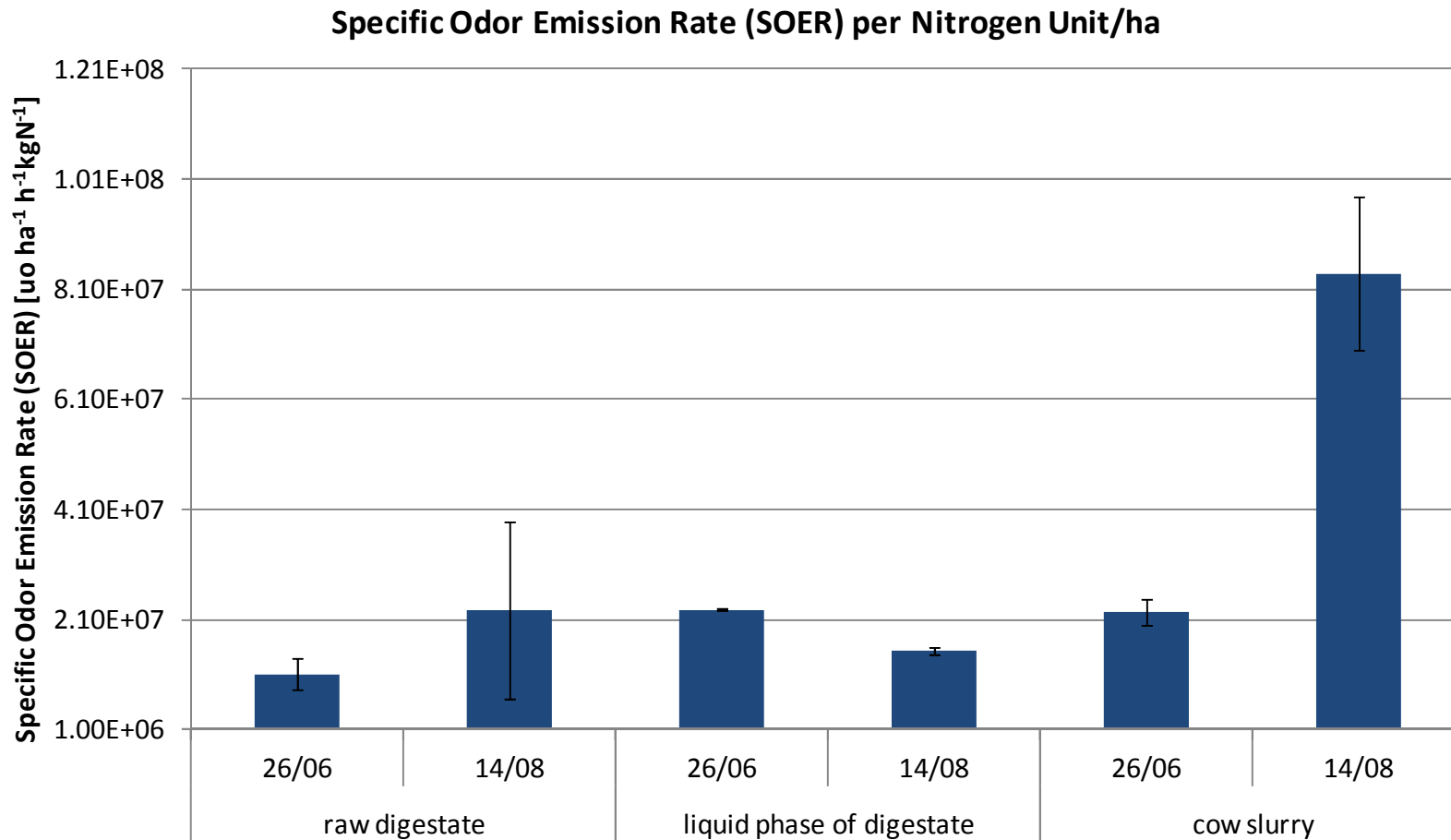
"Annoyance" zone (P98 for 1 ou/m³) not beyond 450 m

La biométhanisation à la ferme n'accroît pas la nuisance olfactive des fermes!

Nuisance olfactive des digestats lors de l'application en champs

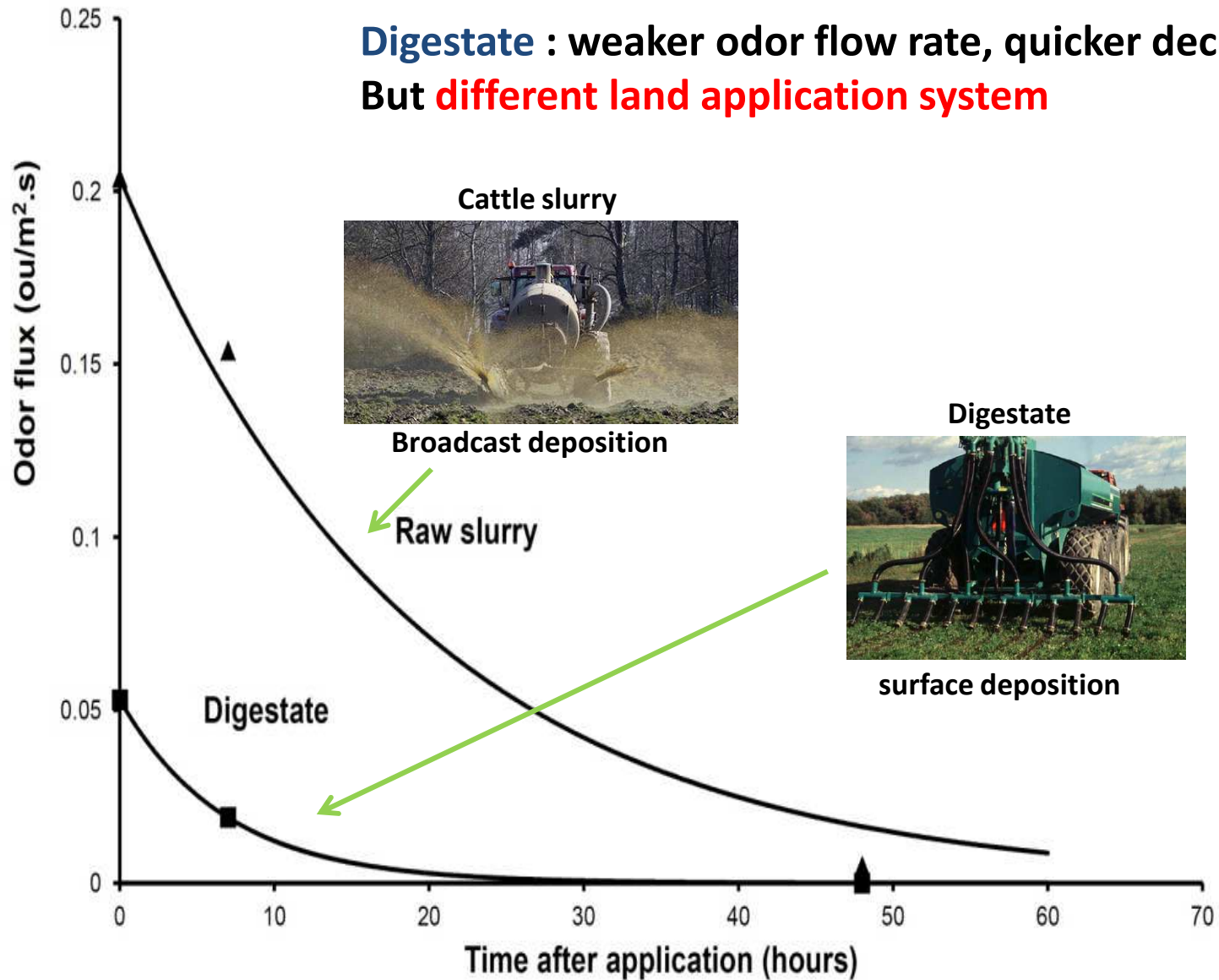
Odor flow rate the first hour following land application:

- High variability between application dates → Weather conditions ?
- High variability for the cattle slurry. High value for cattle slurry for one date.

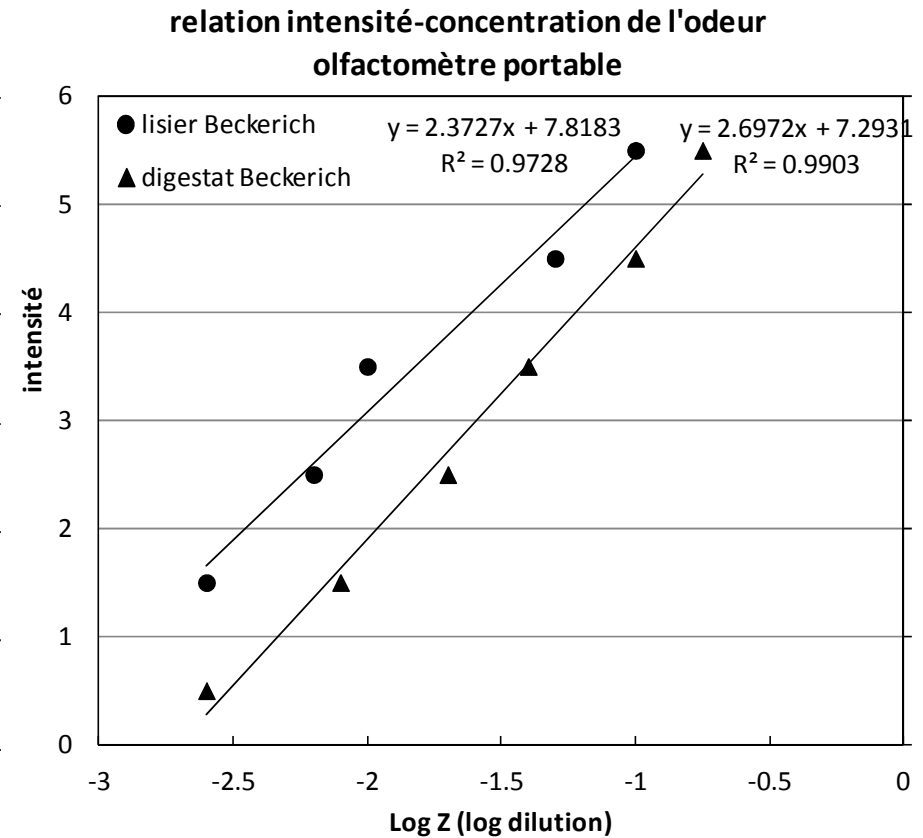
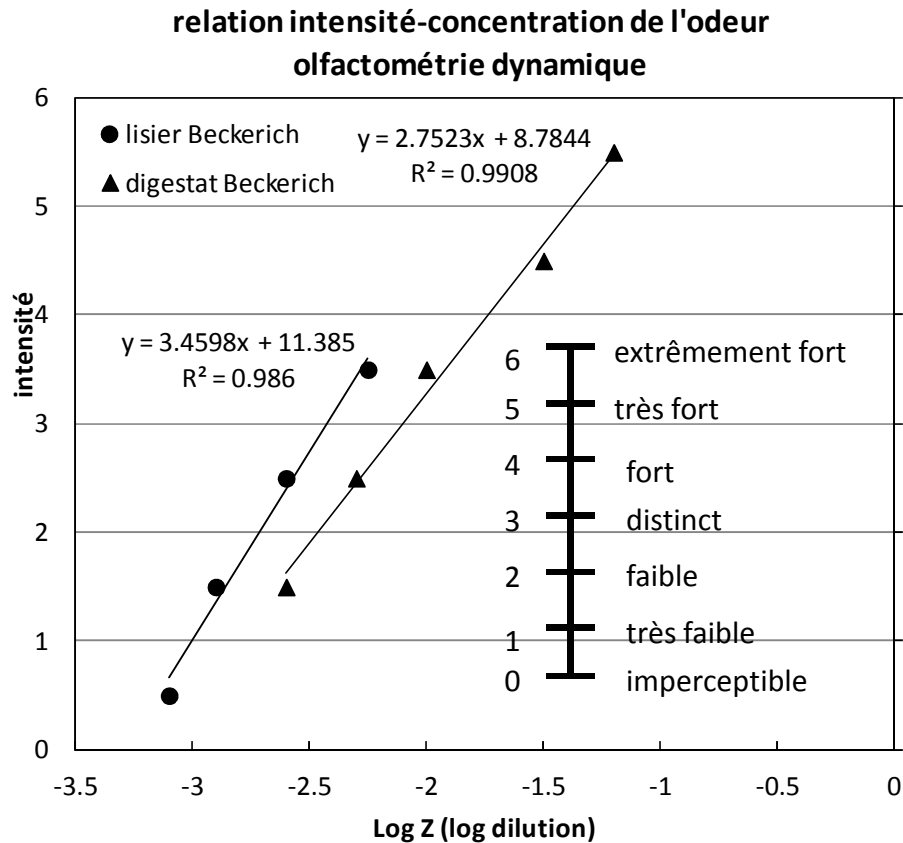


La durée des nuisances odorantes de l'épandage des digestats est moindre que pour les lisiers

Digestate : weaker odor flow rate, quicker decreasing
But **different land application system**



ULg: objectivation de l'impact du traitement anaérobie sur l'intensité odorante des co-produits agricoles



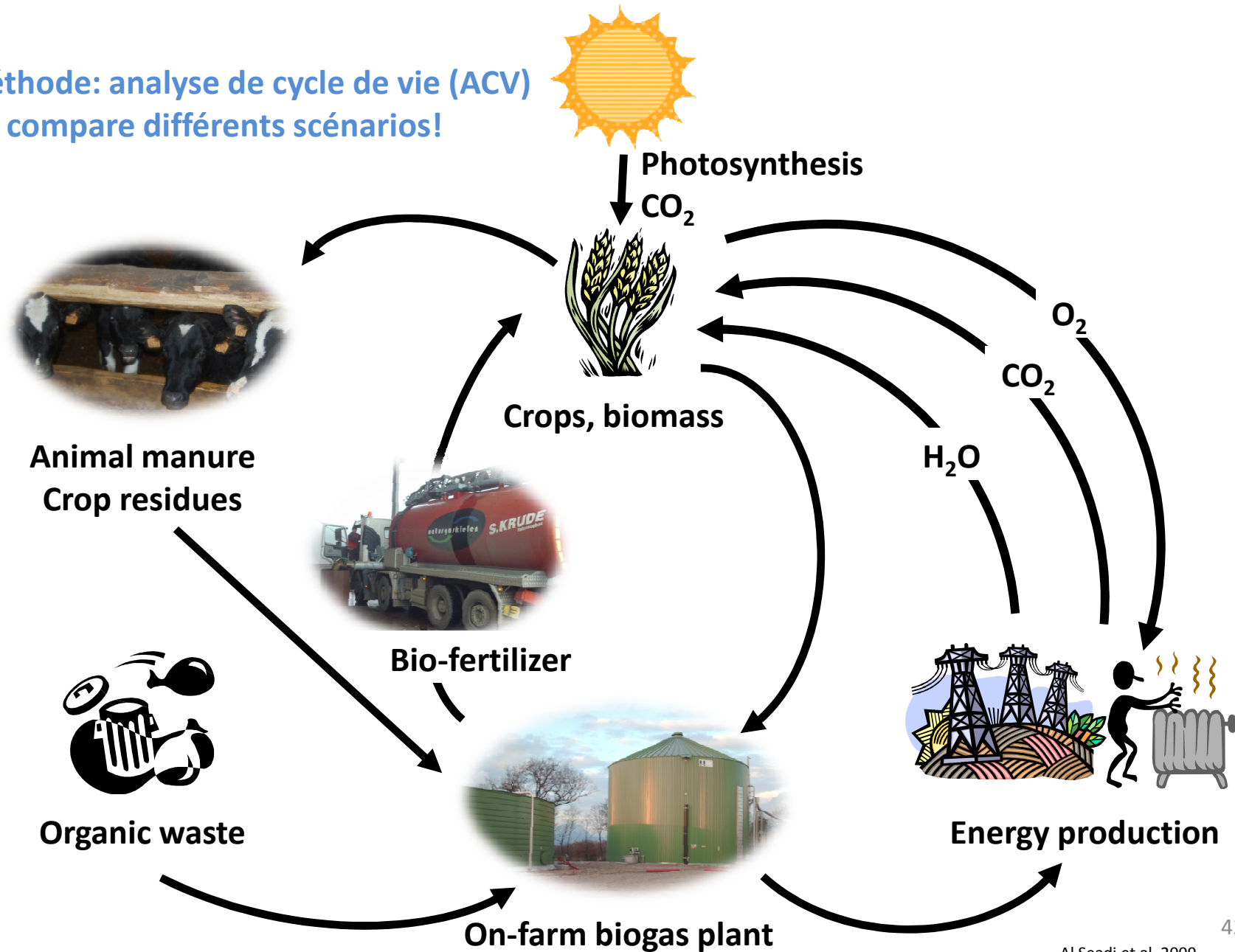
La digestion anaérobie agit comme un système de traitement de l'odeur

Plan de la présentation

- Méthanisation agricole vs système traditionnel
- Digestats vs fumier/lisier
- **Émissions GES et production d'énergie**
- Bonnes pratiques de méthanisation agricole

Le cycle complet doit être évalué: cultures, engrais, transport, valorisation énergétique

Méthode: analyse de cycle de vie (ACV)
On compare différents scénarios!



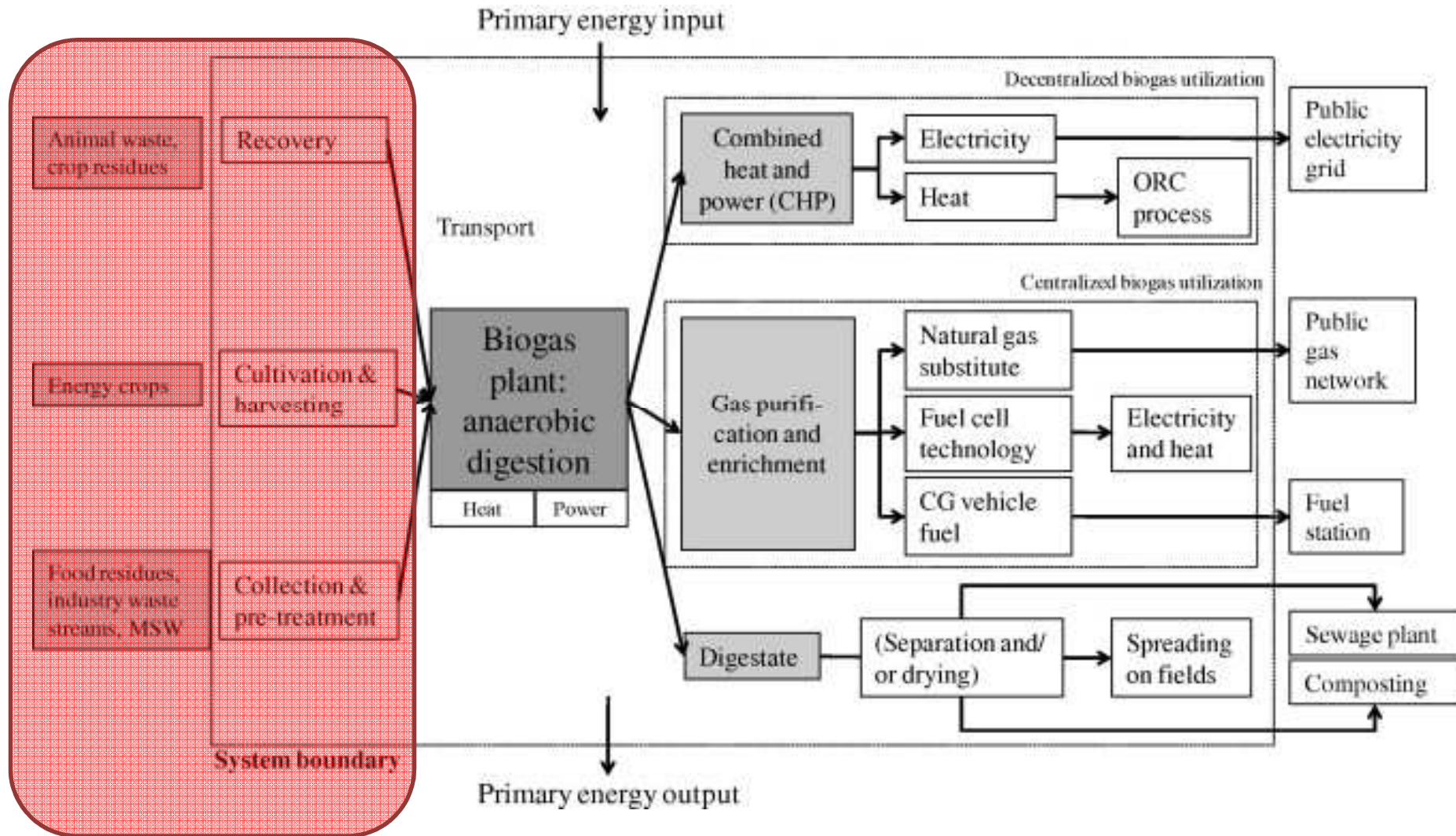
Focus sur l'efficacité environnementale globale de la méthanisation agricole

Ciblons les recherches sur les cas classiques:

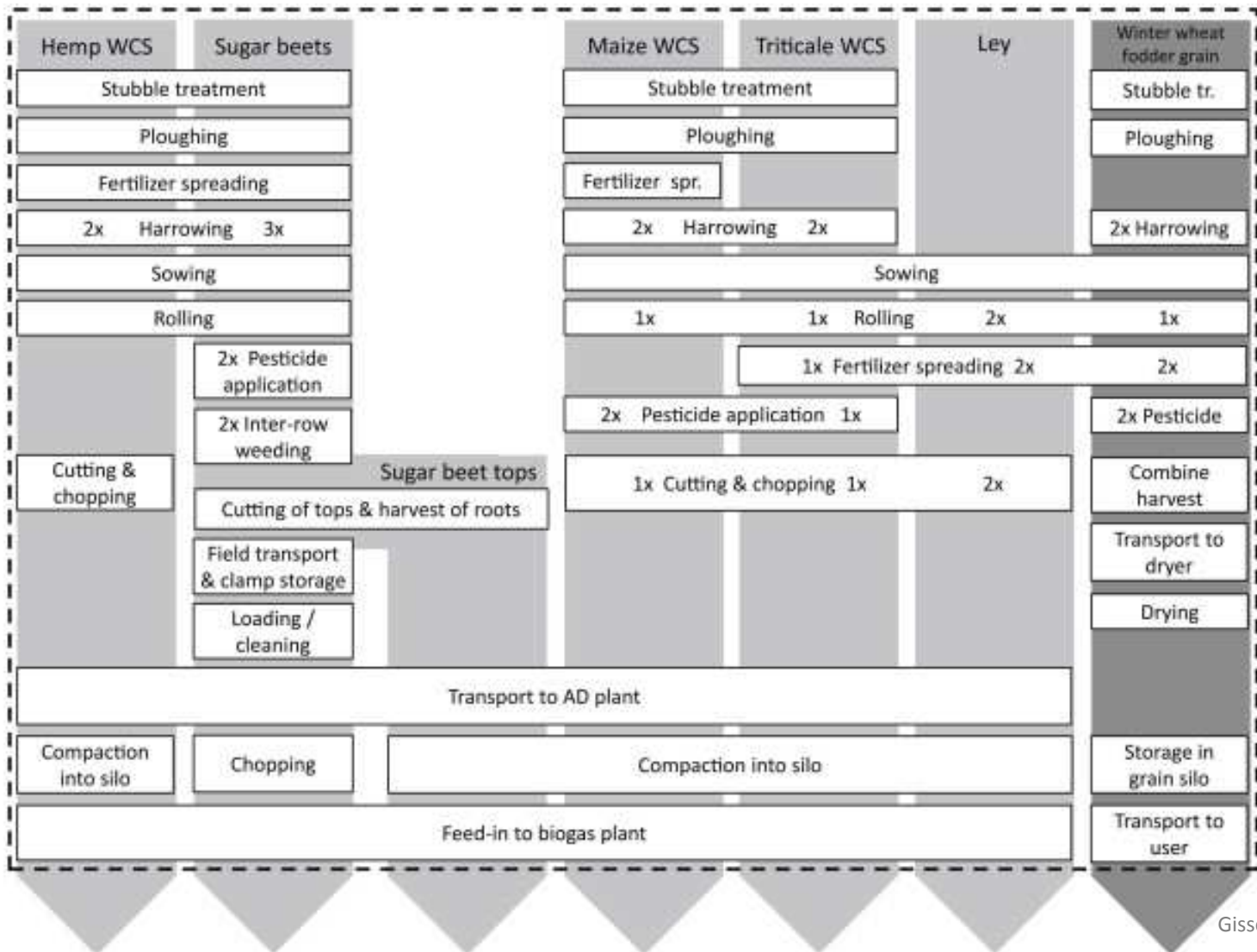
- **Performance énergétique liée au choix et gestion des intrants**
 - cultures énergétiques
 - déchets organiques
 - fumier/lisier
- **performance énergétique de la valorisation de l'énergie :**
 - électricité
 - chaleur
 - Bio-méthane
- **Performance énergétique liée au recyclage des nutriments (NPK)**

Les impacts environnementaux tels que le potentiel d'eutrophisation, le potentiel d'acidification, etc. ne sont pas discutés dans cette présentation

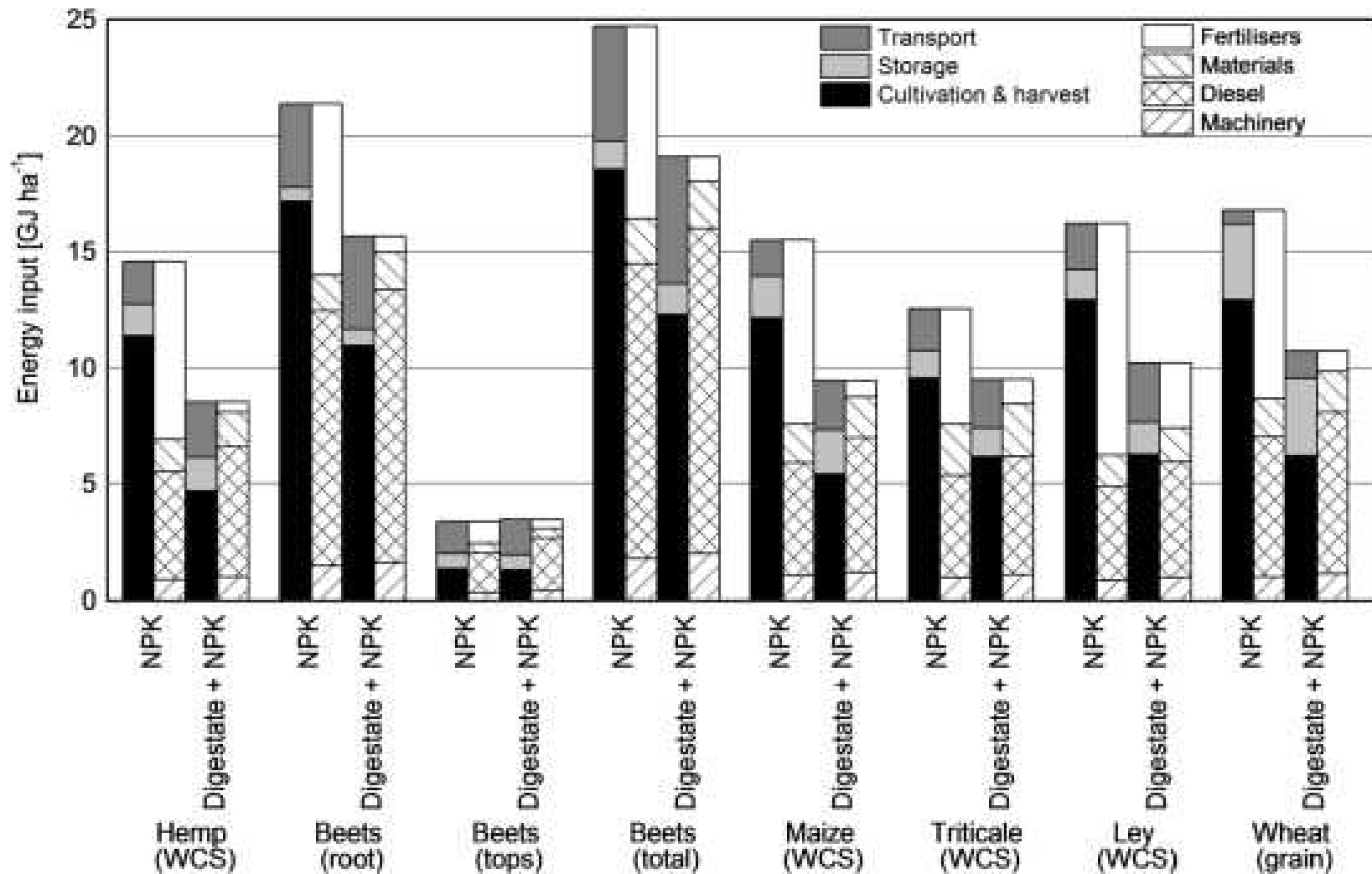
1. Performance énergétique liée au choix et gestion des intrants



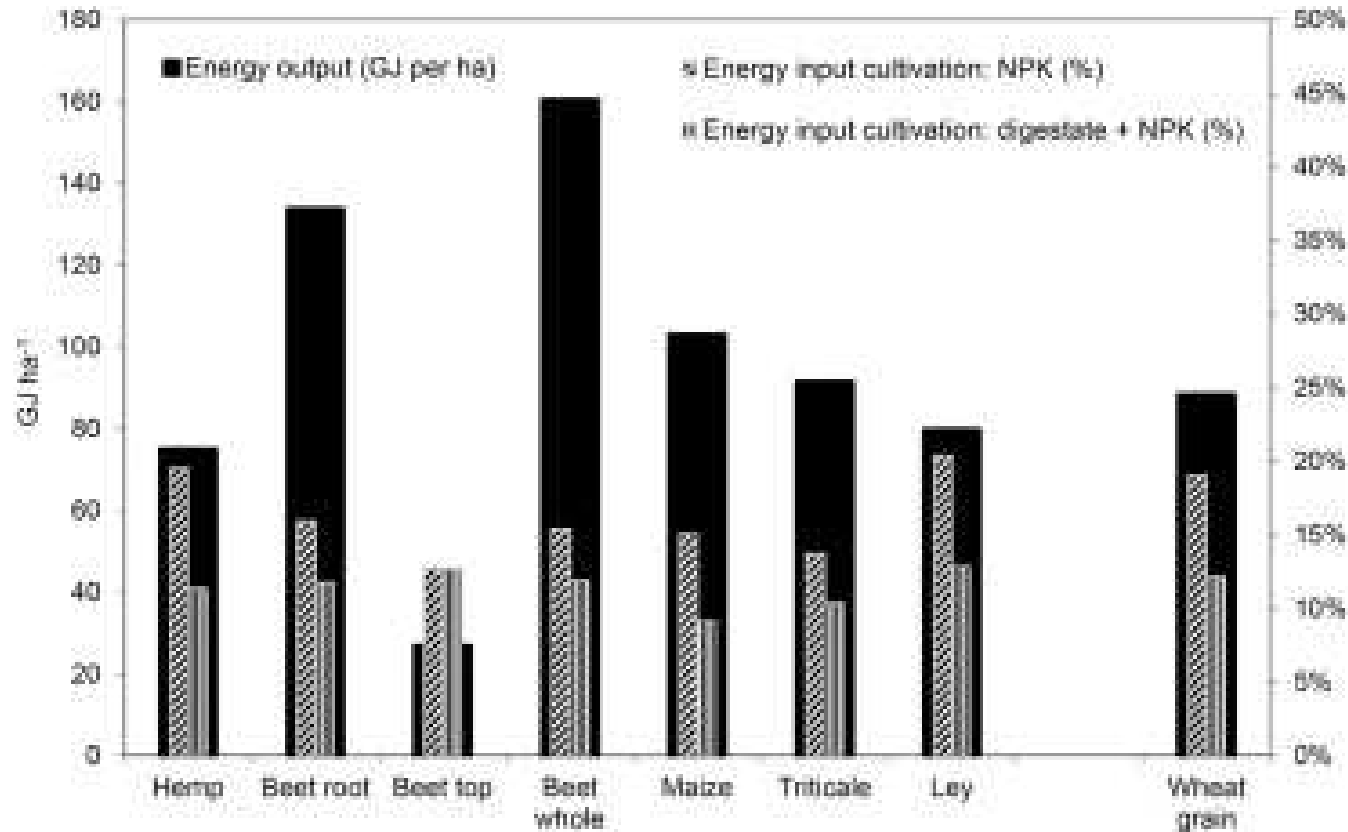
Pöschl et al. (2010)



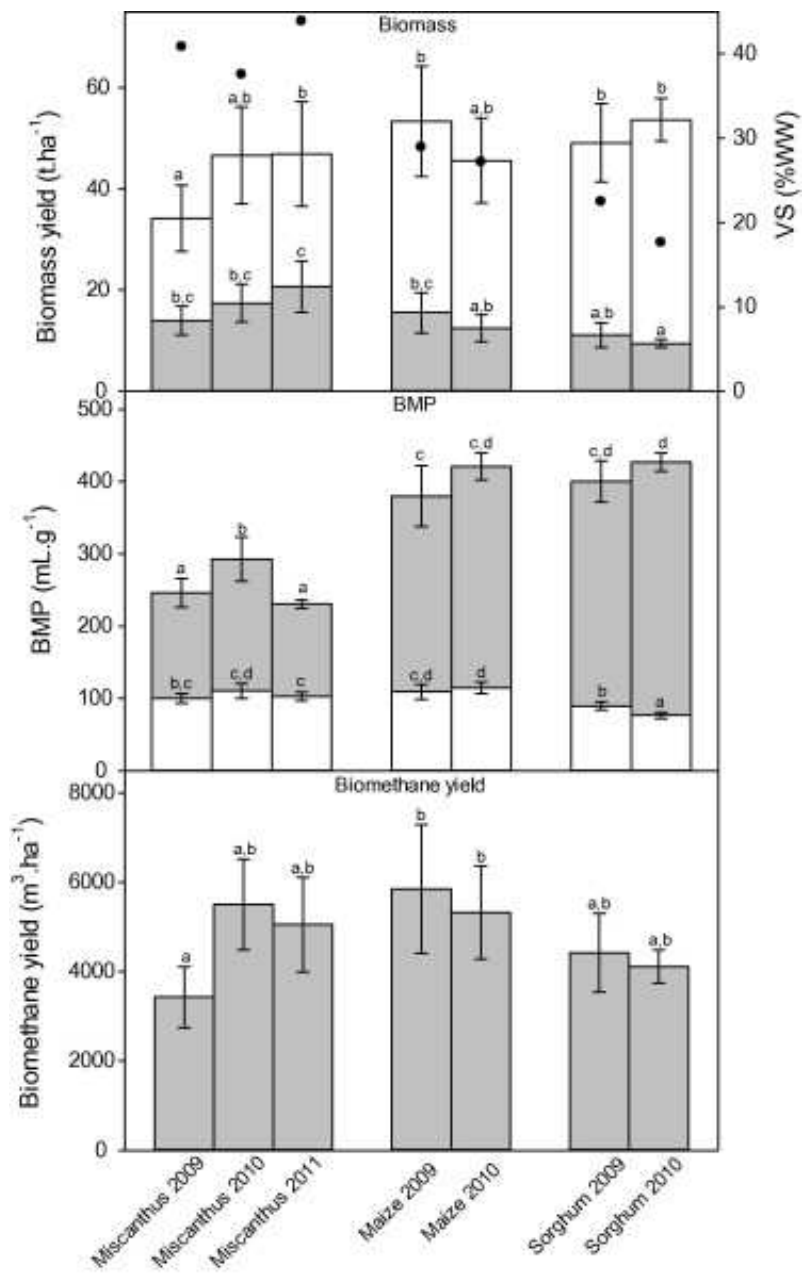
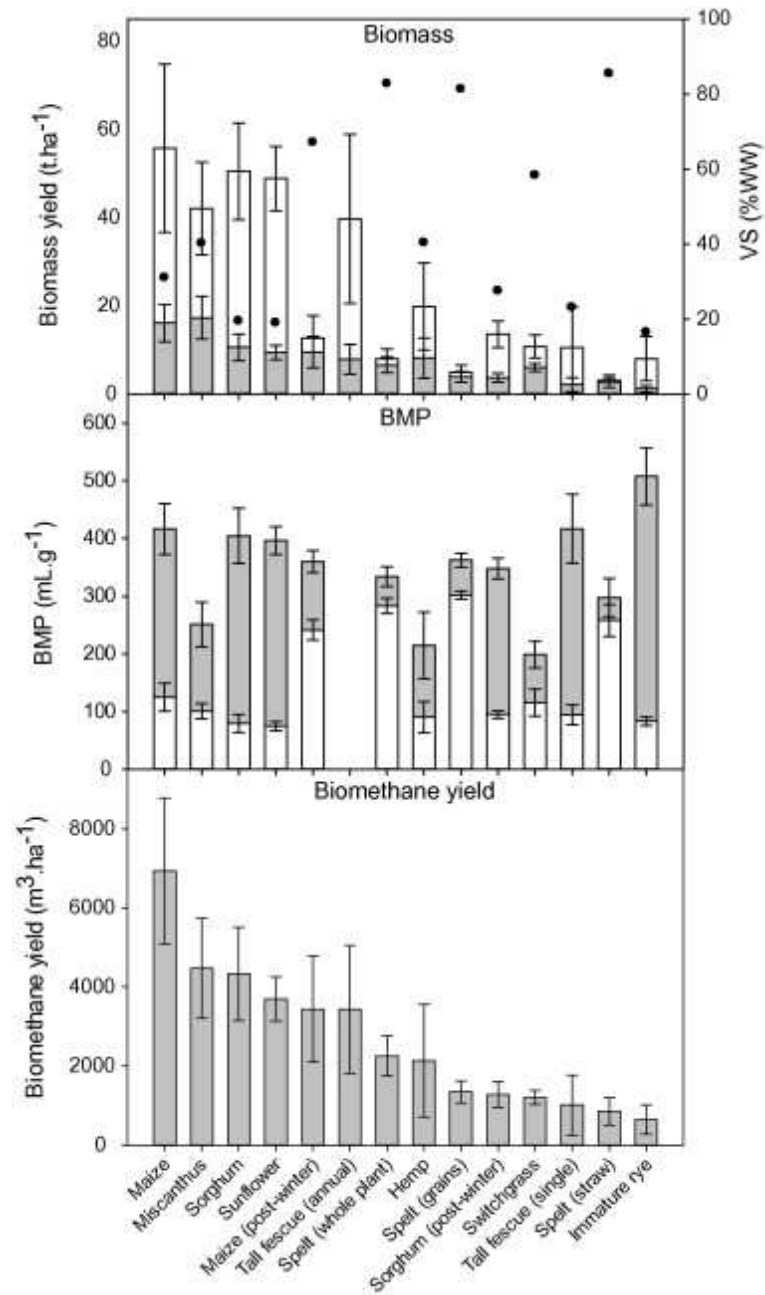
Les différences entre soins culturaux sont à l'origine de différents besoins énergétiques de chaque culture!



L'énergie nécessaire à chaque culture varie fortement en fonction de leurs besoins



Entre 10 et 20% de l'énergie produite par la culture est consommée par les soins culturaux
Le rapport outputEP/inputEP varie entre 1 et 5 selon la culture.
Le ré-emploi du digestat améliore l'efficacité énergétique.



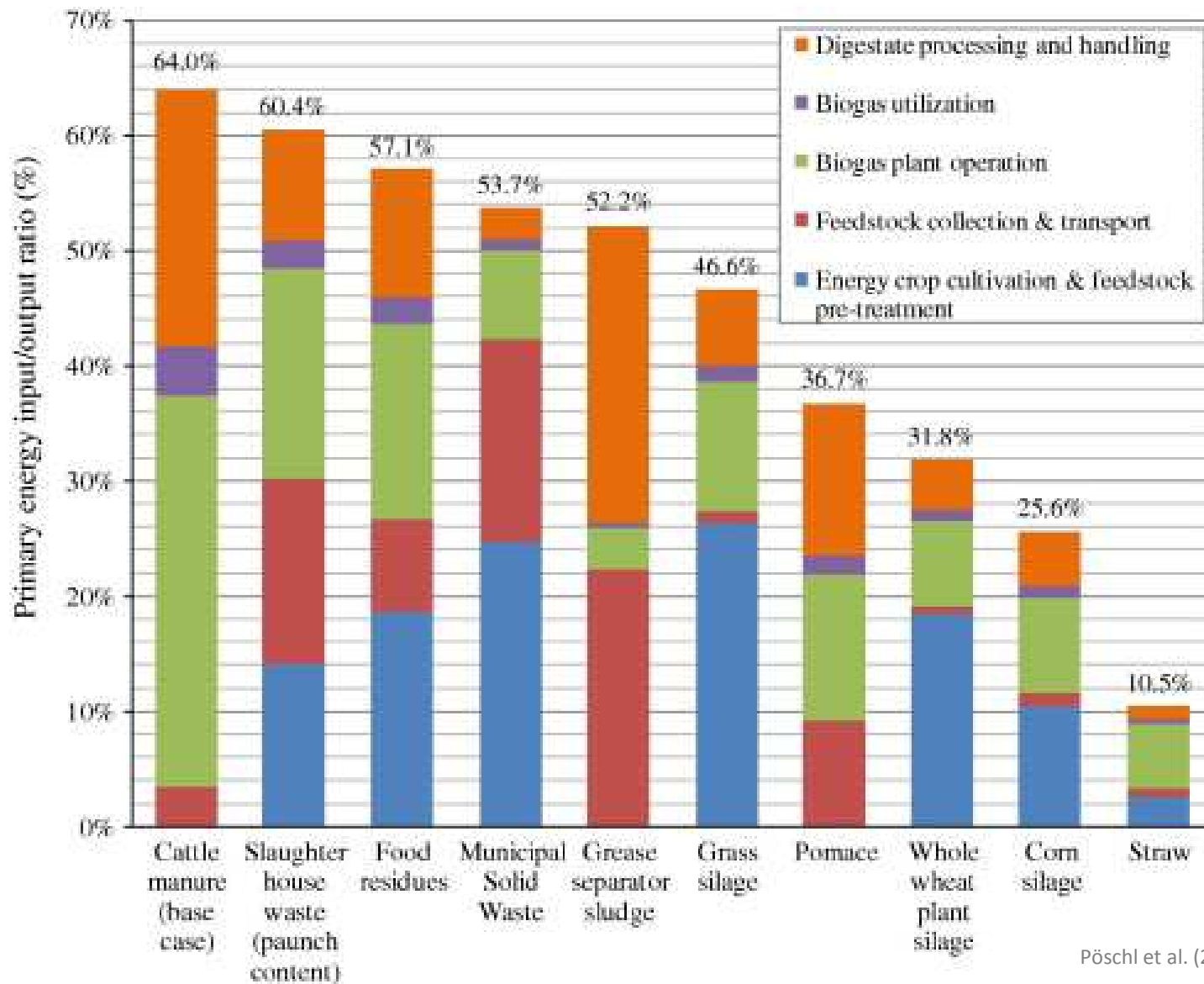
Mayer et al. (2014)

Le maïs est le roi du rendement énergétique, mais est également très consommateur d'énergie. Le miscanthus est une culture d'avenir!

Feedstocks	DM content feedstock(%)	DM content digestate(%)	Biogas yield (m³ tDM-1)	Methane content (%)	Energy content (GJ tDM-1)
Cattle manure	8	4.3	297	55	5.9
Straw	86	81.6	341	51	6.2
Corn silage	35	11.1	576	52	10.8
Grass silage	25	9	492	54	9.5
Whole wheat plant silage	40	14.2	488	52	9.1
Municipal Solid Waste (MSW)	40	31.8	308	60	6.6
Food residues	16	4	592	60	12.7
Pomace	22	4.5	510	52	9.5
Slaughterhouse waste (paunch content)	15	7.4	403	55	8.0
Grease separator sludge	5	1	900	68	22.0

Pöschl et al. (2010)

Les déchets agro-alimentaires permettent d'accroître substantiellement la production de biogaz de par leur taux de MS élevé et haut potentiel méthanogène.

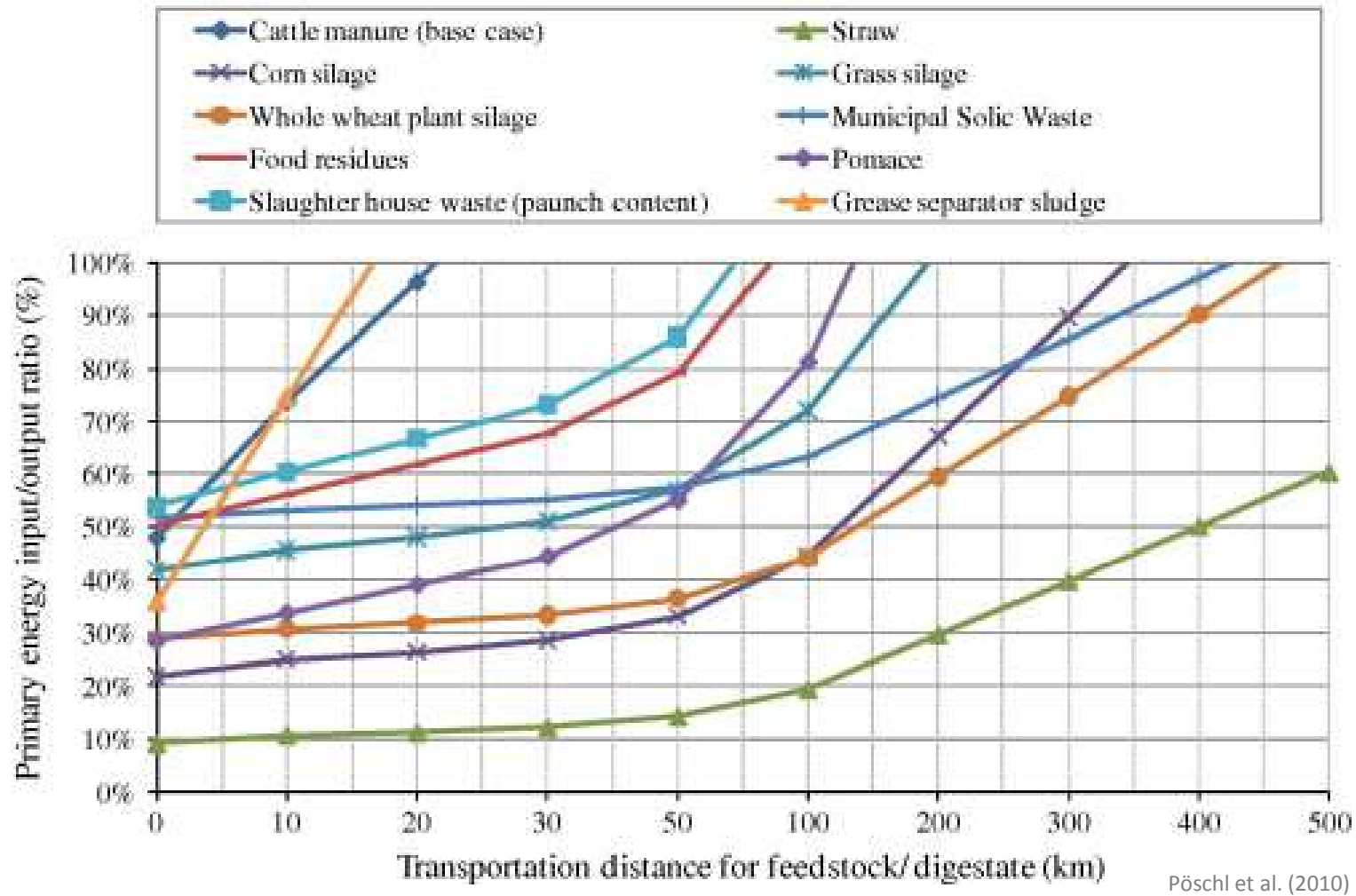


Pöschl et al. (2010)

Déchets agro-alimentaires: coût énergétique lié au transport et pré-traitement

Cultures: coût énergétique lié à la culture

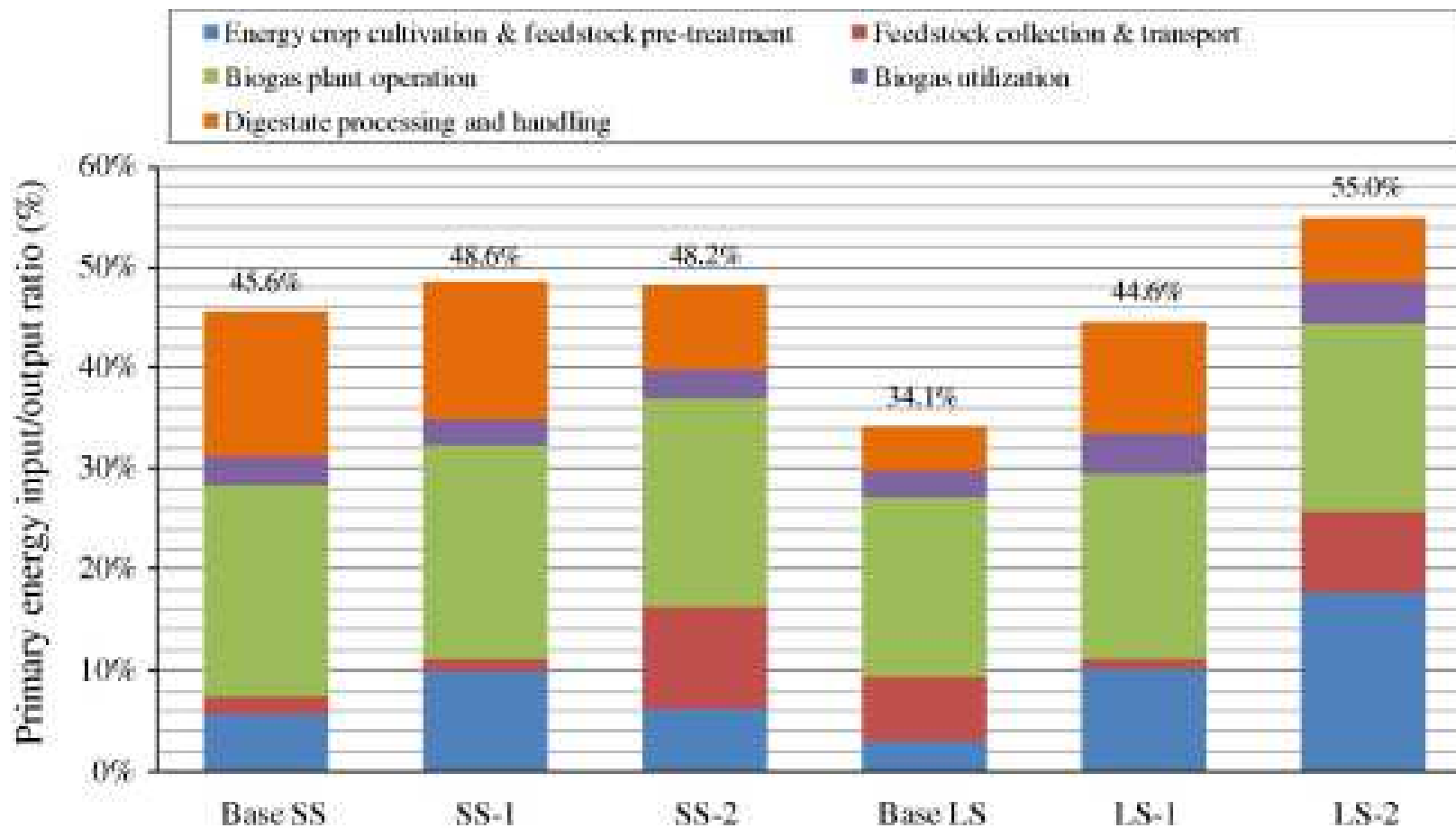
Lisier: faible efficacité due au faible potentiel méthanogène



Le transport est prépondérant dans l'efficacité environnementale et économique

Ex: la performance énergétique serait nulle si le lisier bovin est transporté à plus de 22 km!

Cause: trop faible potentiel méthanogène/t matière fraîche



SS= small-scale

<500 kW

< 10000 t

LS= large-scale

> 500 kW

> 10000 t

Base SS: 55% manure + 45% maize

SS-1: 30% manure + 50% maize + 10% wheat + 10% MSW

SS-2: 40% manure + 5% straw + 20% food residues + 10% pomace + 15% SW + 10% grease

Base LS : 13% manure + 14% MSW + 10% food residues + 14% SW + 49% grease

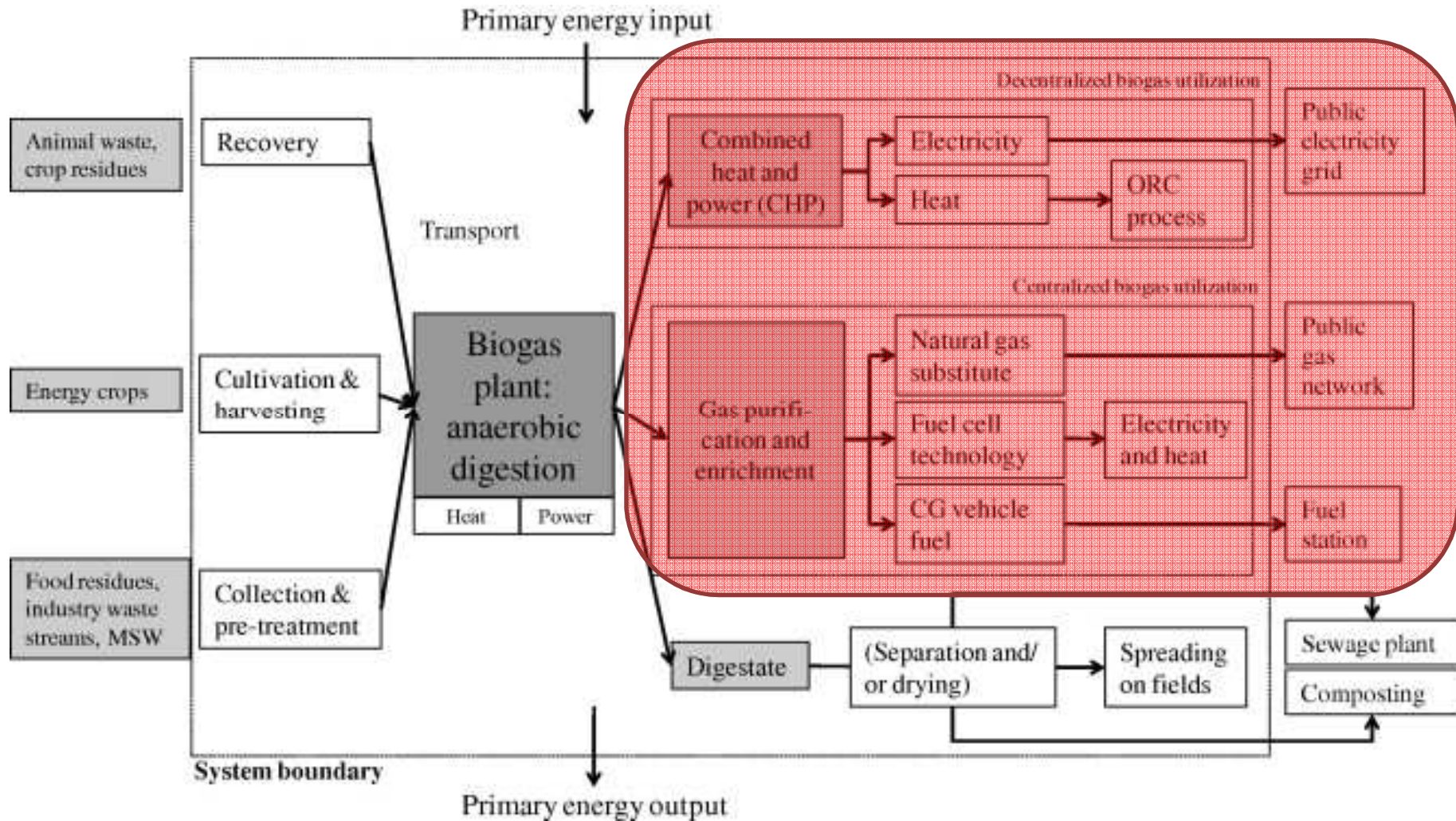
LS-1: 25% manure + 35% maize + 18% grass + 22% wheat

LS-2: 90% MSW + 6% food residues + 4% SW

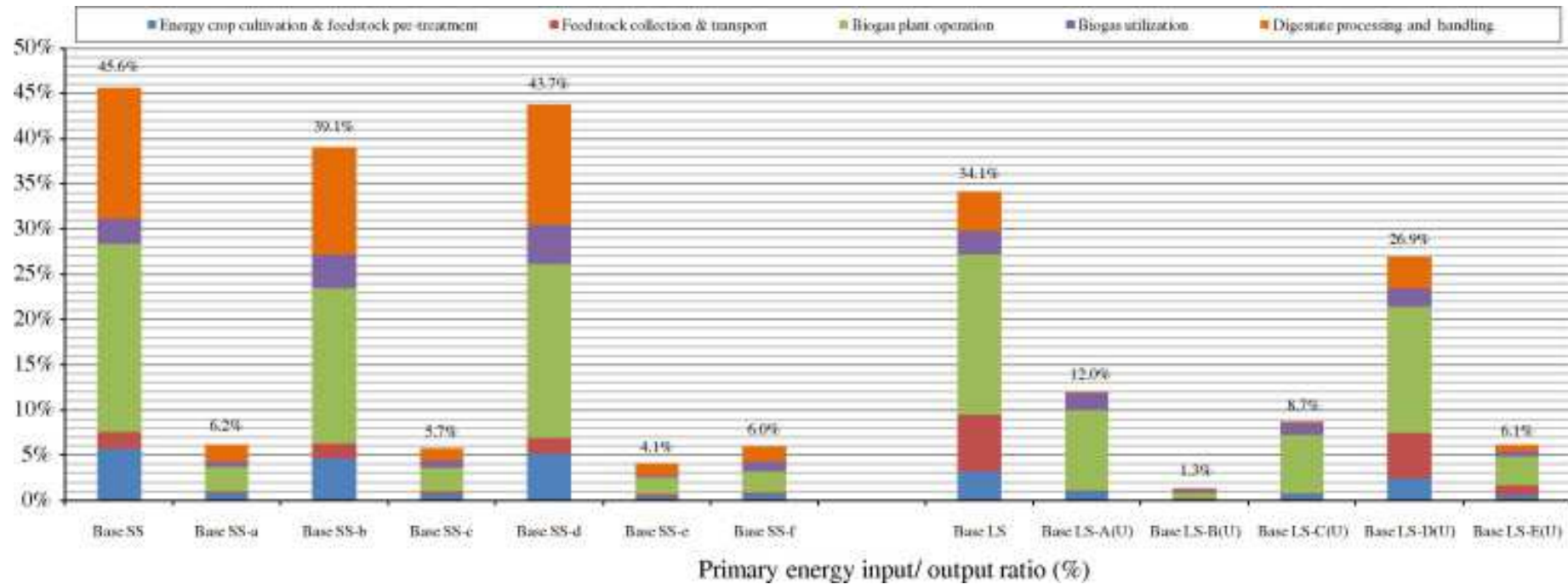
Pöschl et al. (2010)

L'efficacité est meilleure pour les stations employant des substrats agricoles

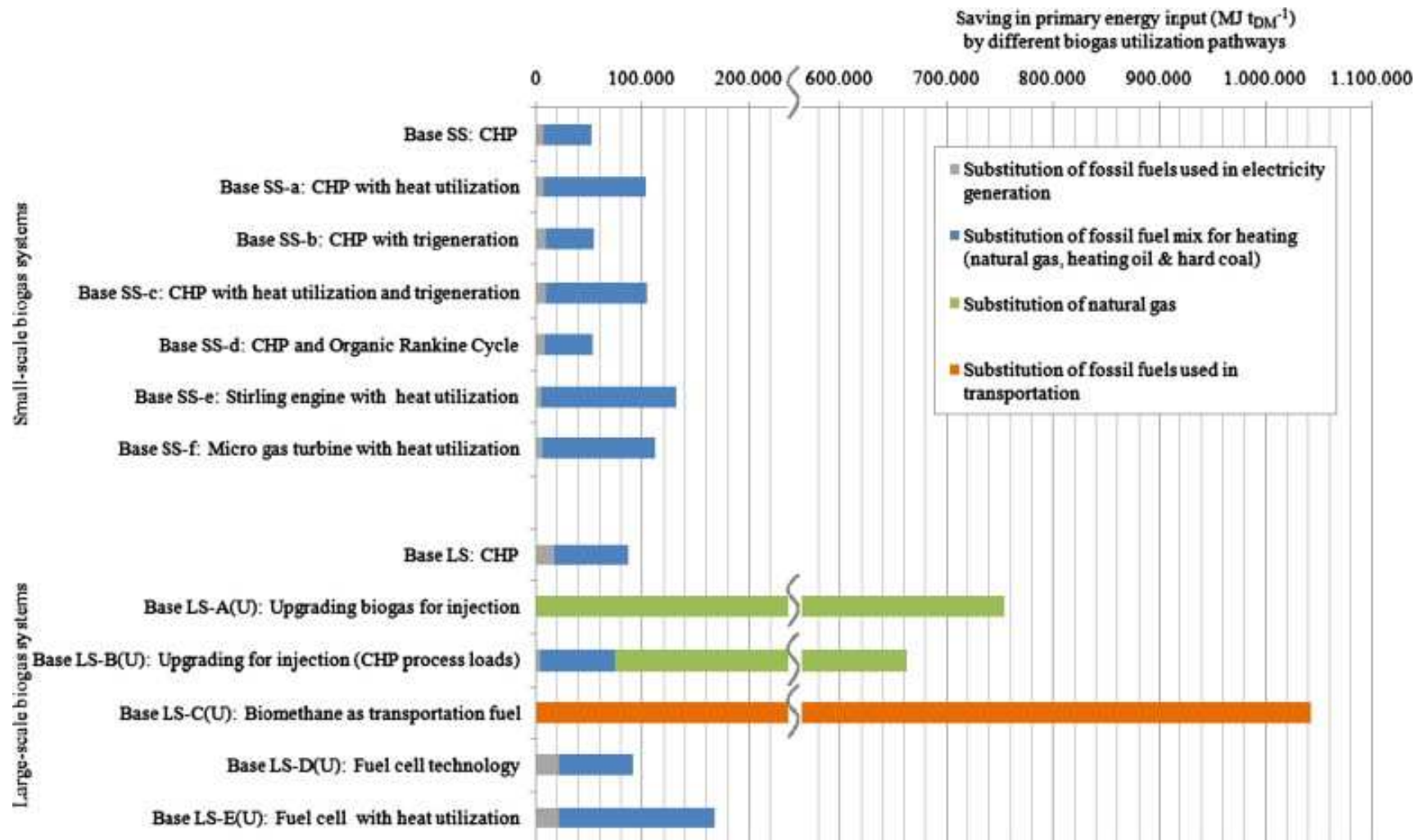
2. Performance énergétique à la valorisation de l'énergie



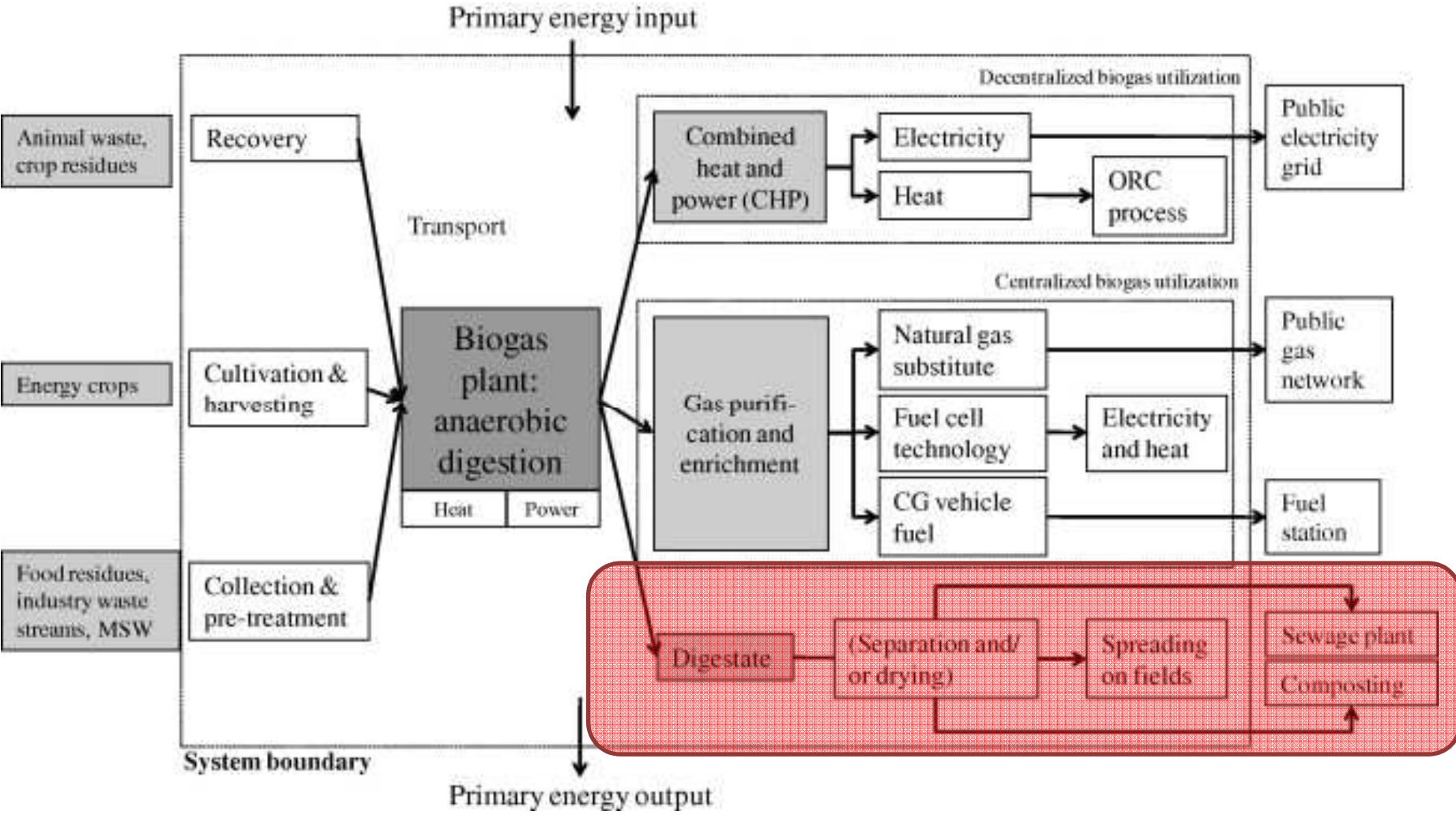
Pöschl et al. (2010)



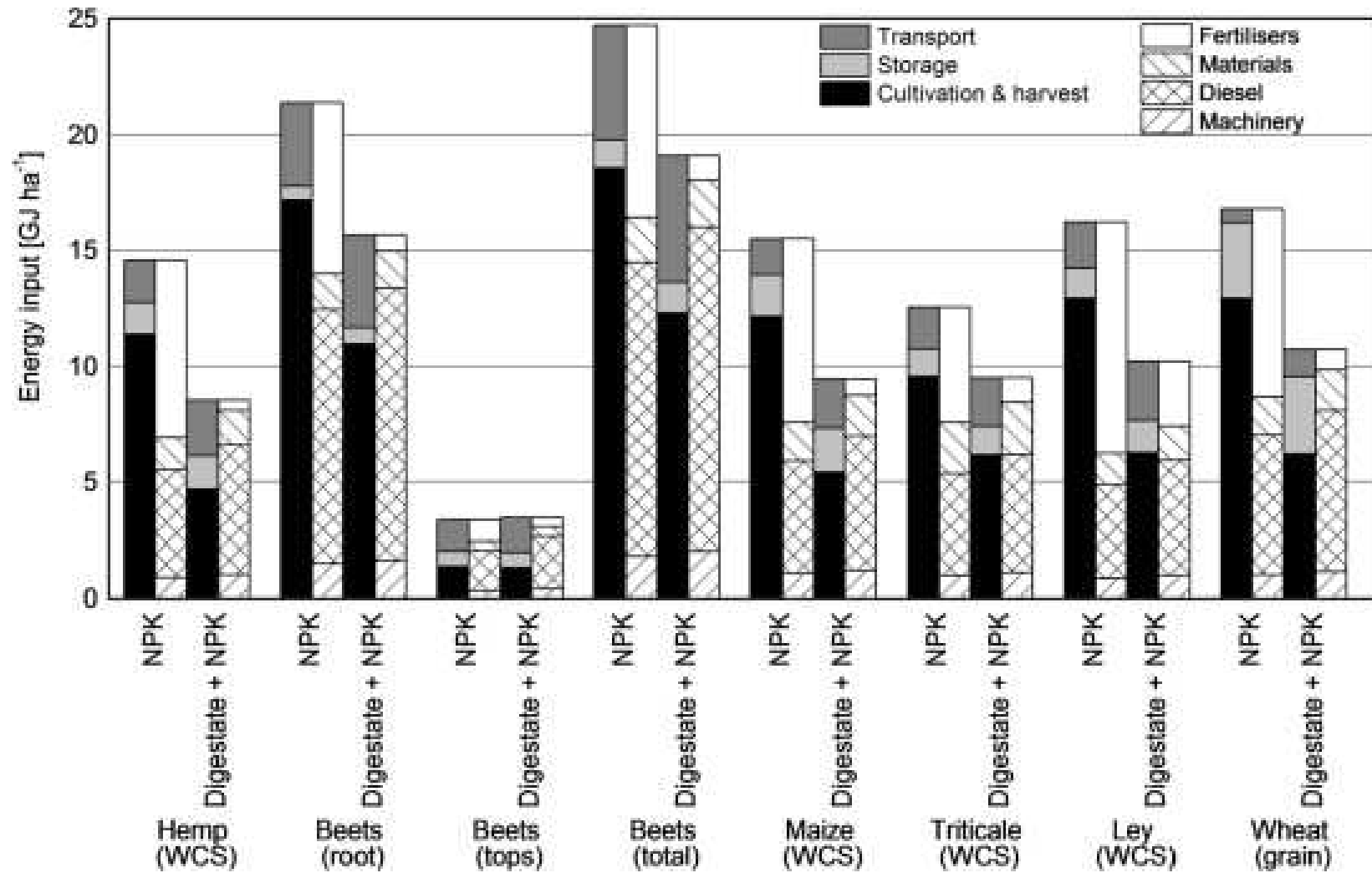
Biogas utilization pathways	Small-scale plants						Large-scale plants						
	Base SS	a	b	c	d	e	f	Base LS	A(U)	B(U)	C(U)	D(U)	E(U)
CHP	x	x	x	x	x			x		x			
External heat		x		x		x	x						x
Cooling energy			x	x									
ORC					x								
Stirling engine						x							
Micro gas turbine							x						
Gas grid injection								x	x				
Transport fuel											x		
Fuel cell												x	x



3. Performance énergétique au recyclage des nutriments



Pöschl et al. (2010)



Gissén et al. (2014)

Le digestat permet une économie d'énergie substantielle en évitant d'employer les engrais de synthèse

Revue des ACV

- De Vries et al. (2012):
 - La mono-digestion de lisiers a une bonne performance environnementale mais une faible production d'énergie
 - La co-digestion avec culture énergétique accroît la performance énergétique, mais aussi l'impact environnemental
 - La co-digestion avec les coupes de bordures de route présente la meilleure performance environnementale
- Patterson et al. (2011):
 - CHP avec 80% utilisation de la chaleur: meilleure solution environnementale
 - Faible différence d'impact environnemental entre station de méthanisation centralisée et individuelle
 - Production de bio-méthane: attention aux pertes (effet sur émissions GES)

Avantages environnementaux de la méthanisation agricole: ce qu'en disent les ACV

- Ré-emploi et transformation en énergie de produits à fort impact environnemental: lisier, déchets organiques, déchets abattoirs. On passe de solutions coûteuses en énergie à une production d'énergie
- L'impact environnemental minimal est obtenu par l'utilisation de la chaleur produite par la CHP (réseau de chaleur, séchage, etc.)
- Le transport peut avoir un impact environnemental important
- La valorisation du biogaz a un impact majeur sur l'efficacité énergétique
- La digestat permet une économie substantielle d'énergie comme substitut des engrais de synthèse

Take home message

- Pollution de l'air: **attention à l'ammoniac**. Appliquer les bonnes pratiques d'épandage et de stockage du digestat
- **Nuisance olfactive moindre du digestat**. Une station de méthanisation ne nuit pas plus qu'une ferme
- Efficacité environnementale: **le transport et la valorisation du biogaz sont prépondérants**
- Le digestat permet des économies d'engrais de synthèse et donc de réduire la consommation énergétique d'une ferme. **Il doit être valorisé sur terres agricoles.**
- Contrairement aux autres valorisation énergétique de la biomasse, elle permet:
 - **D'employer une biomasse qui n'est pas valorisable autrement et facilement disponible: lisiers, fumier**
 - **De conserver et recycler les nutriments (+ fraction humique) dans l'agriculture pour former un cycle vertueux**
- La méthanisation agricole permet une économie substantielle d'émission GES et d'énergie fossile. Elle permet d'améliorer l'autonomie et l'efficacité énergétique des exploitations agricoles

Digestats vs fumier/lisier

	Pig slurry	Digestate	TF digestate after separation	TF digestate after separation & drying	LF digestate after separation	Mixture
DWd (%)	10 ± 1	11 ± 1	23 ± 1	76 ± 1	2.5 ± 0.1	6.2 ± 0.6
Ash (% on DWd)	27 ± 0	43 ± 1	42 ± 1	48 ± 13	56 ± -	35 ± 1
OCe(% on DWd)	15 ± 0	24 ± 1	24 ± 1	28 ± 8	31 ± -	19 ± 0
pH (-)	7.4 ± 0.6	7.5 ± 0.6	8.1 ± 0.0	8.2 ± 0.0	7.7 ± 0.5	8.2 ± 0.0
EC (mS cm ⁻¹)	37 ± 2	43 ± 20	24 ± 0	26 ± 0	34 ± 4	29 ± 0
Salt (g kg ⁻¹ FW)	24 ± 1	28 ± 13	15 ± 0	17 ± 0	22 ± 2.6	18 ± 0
Total N (g kg ⁻¹ FW)	8.1 ± 0.2	6.8 ± 0.4	4.5 ± 0.0	23 ± 1	3.6 ± 0.4	4.7 ± 0.0
NH ₄ -N (g kg ⁻¹ FW)	5.6 ± 1.6	5.5 ± 0.3	3.6 ± 0.0	18 ± 1	2.8 ± 0.3	4.0 ± 0.1
Total P (g kg ⁻¹ FW)	2.4 ± 0.1	2.4 ± 1.1	5.9 ± 2.2	18 ± 0	0.27 ± 0.01	0.87 ± 0.12
Na (g kg ⁻¹ FW)	2.3 ± 0.2	2.8 ± 0.5	1.0 ± 0.3	3.2 ± 2.2	3.1 ± -	2.0 ± 0.5
K (g kg ⁻¹ FW)	3.6 ± 0.1	3.8 ± 0.8	2.1 ± 0.5	11 ± 1	2.9 ± -	2.2 ± 0.5
Ca (g kg ⁻¹ FW)	3.0 ± 0.0	2.4 ± 0.2	6.2 ± 0.5	26 ± 2	0.11 ± 0.00	1.3 ± 0.3
Mg (g kg ⁻¹ FW)	1.3 ± 0.0	1.1 ± 0.1	2.6 ± 0.5	11 ± 1	0.016 ± 0.000	0.34 ± 0.04
NUEf(%)	69	81	80	78	77	85

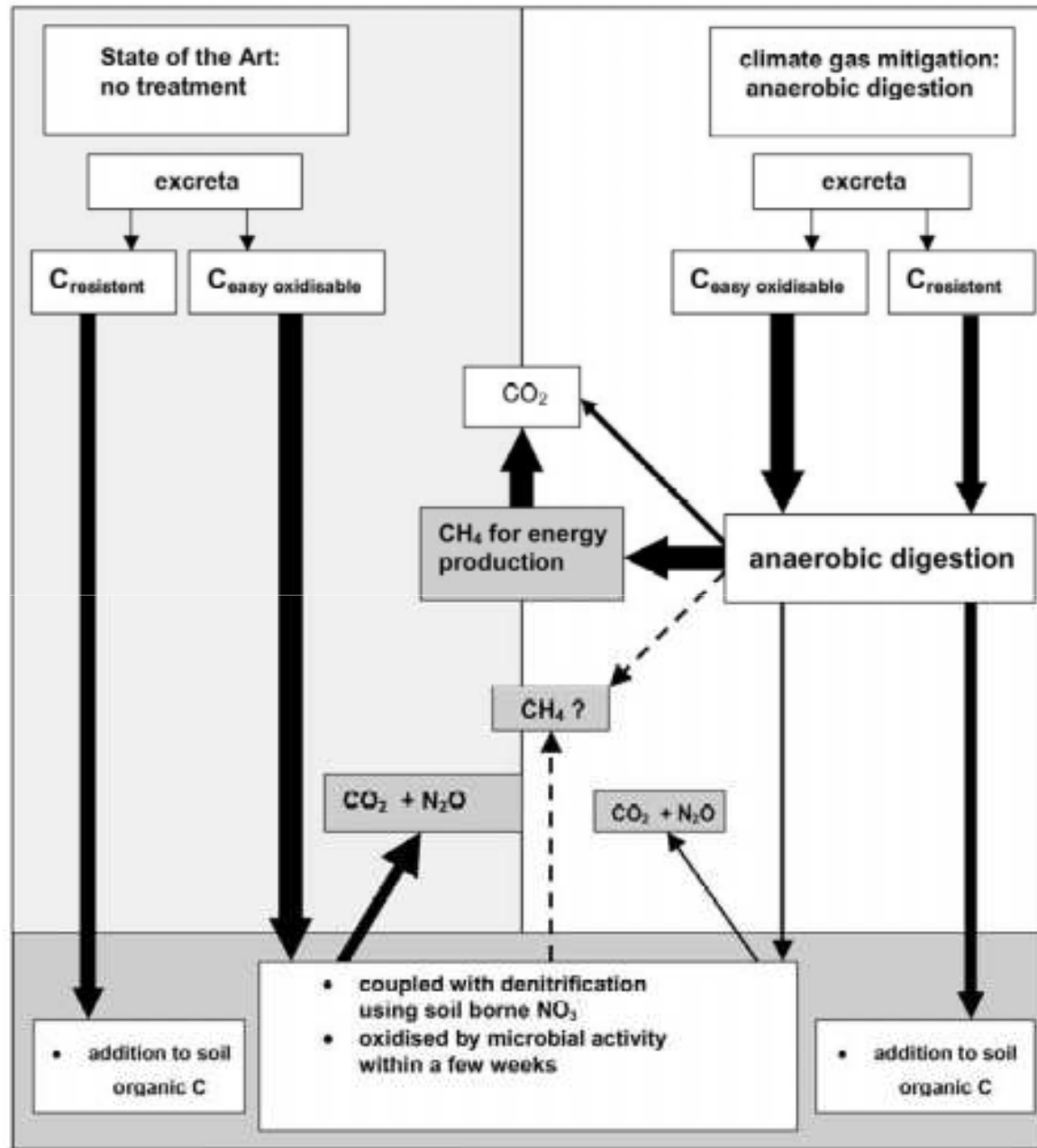


Figure 7. The impact of anaerobic digestion on trace gas emissions.

Cultures énergétiques: la performance énergétique varie très fort selon la culture

	Potatoe	Maize	Fodder beet	Oilseed rape	Rye
Methane yield m ³ ha ⁻¹	10 258	9 886	9 450	1 442	814
MJ ha ⁻¹	367 236	353 919	338 310	51 623	29 141
Process energy demand for digestion	- 55 085	- 53 088	-50 746	-7 745	-4 371
Energy requirement in cropping	- 24 200	- 16 800	-20 350	- 16 800	- 16 800
Total energy requirement	- 79 285	- 69 888	- 71 096	- 24 545	- 21 171
Net energy yield MJ ha⁻¹	287 951	284 031	267 214	27 078	7 970
Ratio output/input	4.6	5.1	4.8	2.1	1.4

