



INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
TOULOUSE



CONCEPT-DIG

Outil d'aide à la conception de filière pour la valorisation agronomique des digestats

Julie JIMENEZ¹, Romain GIRAULT², Anne WALLRICH⁶, Claire CALMETTE¹,
Florian CHRIST³, Denis OLLIVIER⁴, Dominique PATUREAU¹, Eric LATRILLE¹,
Jean-Michel COMMANDRE⁵, Sabine HOUOT⁶

¹INRA UR 0050 Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement, Narbonne; ²IRSTEA, Unité GERE, Rennes; ³Exploitant unité METHACHRIST, AAMF, Willgottheim; ⁴TRAME, Paris; ⁵CIRAD, Biomasse et Bioénergie, Montpellier; ⁶INRA, UMR ECOSYS, Grignon

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

en partenariat avec



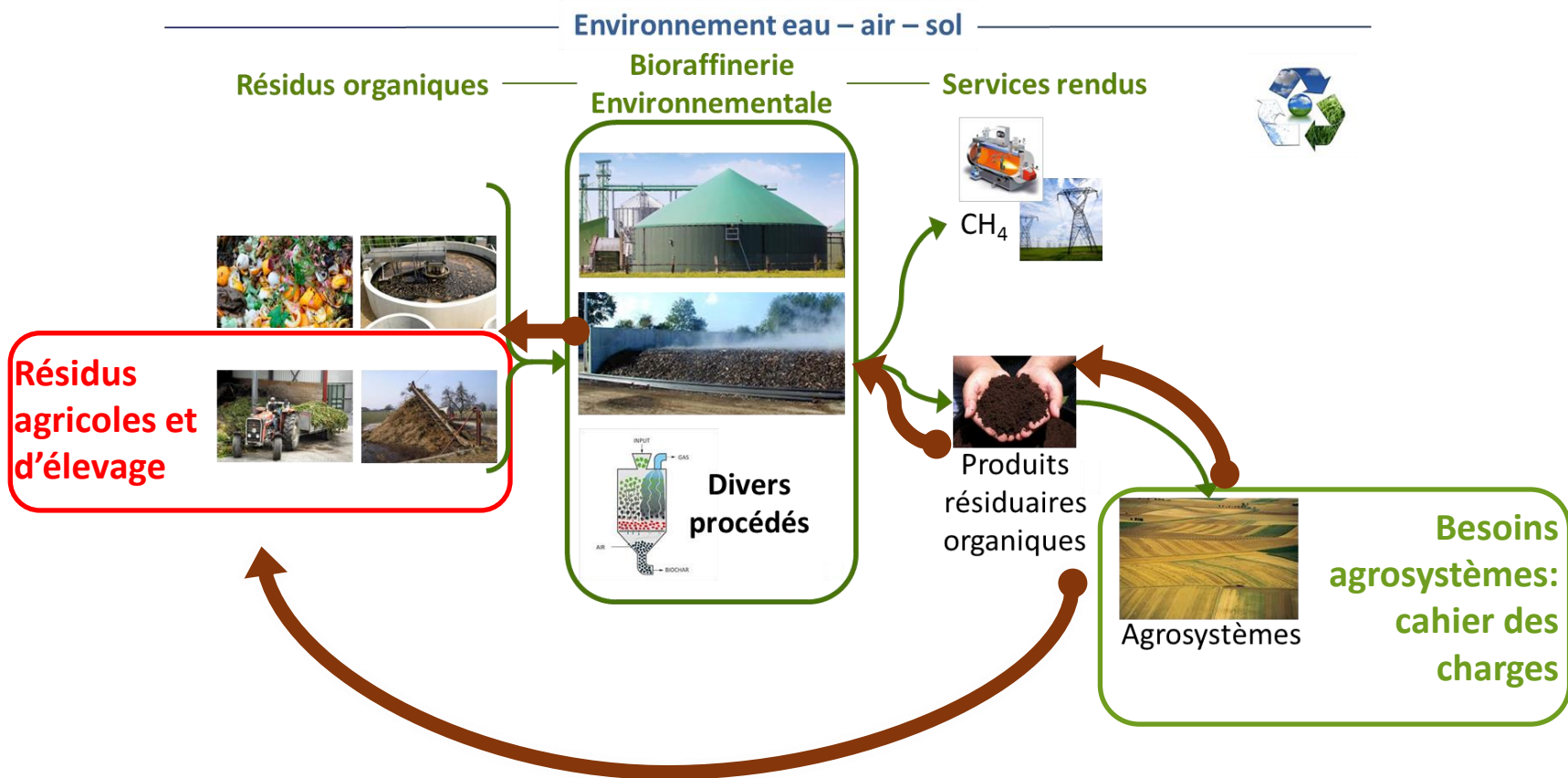
Contexte et enjeux

- Le challenge du devenir du digestat issu de méthanisation
 - Produit majoritaire (en masse) issu de la digestion anaérobie (DA)
 - Mélange de biomasse microbienne, minéraux et matière organique non digérée



Contexte et enjeux

- Adaptation des procédés de traitements des résidus pour une gestion durable des agrosystèmes



Objectifs du projet



Valeurs
agronomiques
différentes

- **Créer une typologie des digestats** reliant les intérêts agronomiques en fonction de ces paramètres;
- **Evaluer les effets de post-traitements existants et potentiels;**
- **Proposer un outil d'aide à la décision** afin de dimensionner les filières de traitement des digestats selon les contraintes imposées par les agrosystèmes .

1) Typologie digestats d'origine agricole

- Présentation aux JRI 2018
- Relier les caractéristiques analytiques des digestats des digestats à la nature des intrants: classes de digestats en fonction des intrants, (procédés)
- A partir des résultats d'analyses des digestats AAMF
- Questionnaire et collecte des analyses auprès AAMF

96 types de matières premières: **Effluents d'élevage, Résidus d'exploitation, Ensilages + CIVES, Matières végétales industrielles, Déchets autres**



9 catégories

- F: Fumiers
- LR: lisier ruminants
- LNR lisier non ruminants (porcs et autres)
- V: matières végétales
- R: résidus de cultures, ensilages
- C: CIVES
- B: biodéchets
- G: graisse
- D: autres déchets

➤ 10 données agronomiques retenues

Caractéristiques

- MS sur MB
- MO sur MS
- C total g/kg MS
- C/N total
- C/N organique

Valeurs fertilisantes

- K_2O g/kg MS
- P_2O_5 g/kg MS
- N total g/kg MS
- NH_4 g/kg MS
- % NH_4 dans N total

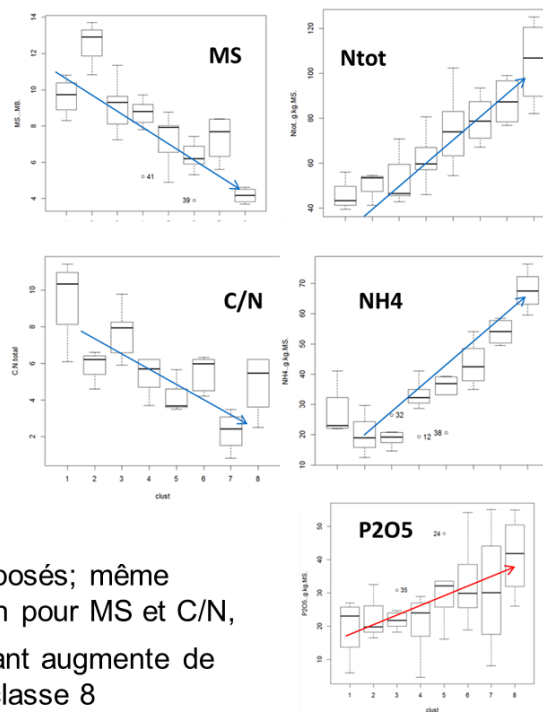
1) Typologie digestats d'origine agricole

- Résultats

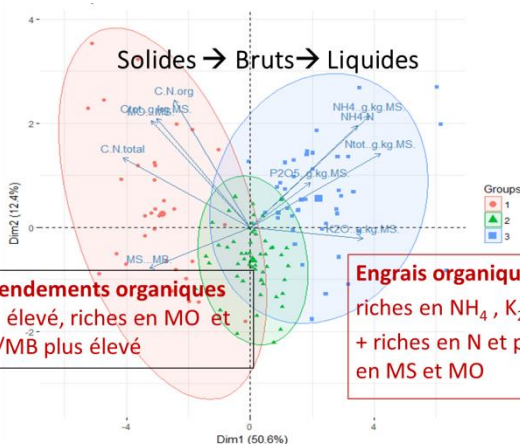
Digestats bruts (n=47)

Classe	Intrants
1	Fumiers+Vgtx
2	Fumiers + Vgtx+ Lisier Rum.
3	Fumiers
4	Lisier Ruminant
5	Lisier NR + Biodéchets
6	Lisier NR
7	Lisier Ruminant + Graisse
8	Lisier NR+ Graisse

- MS et N opposés; même classification pour MS et C/N,
- Effet fertilisant augmente de classe 1 à classe 8



1) Typologie digestats d'origine agricole



Amendements organiques
C/N élevé, riches en MO et MS/MB plus élevé

Engrais organiques
riches en NH_4 , K_2O ,
+ riches en N et plus pauvre en MS et MO

Digestats liquides

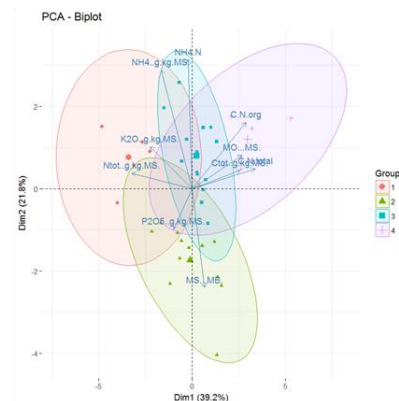
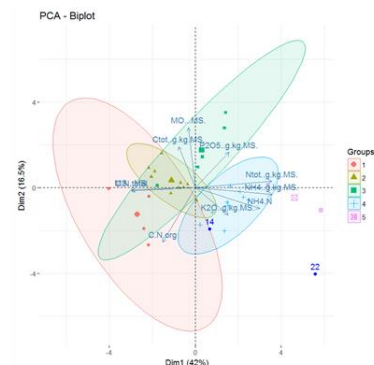
Digestats solides

Ferti_N

Amendant, fibreux

Classe	Intrants
1	Fumiers
2	Lisier Ruminant
3	Lisier NR + Biod/autres D
4	Lisier NR
5	Lisier NR+ Graisse

Classe	Intrants
1	Voie Sèche: fumier
2	Lisier NR
3	Lisier NR + Biod/autres D
4	Lisier Ruminant
5	Fumiers+Cives Vgtx

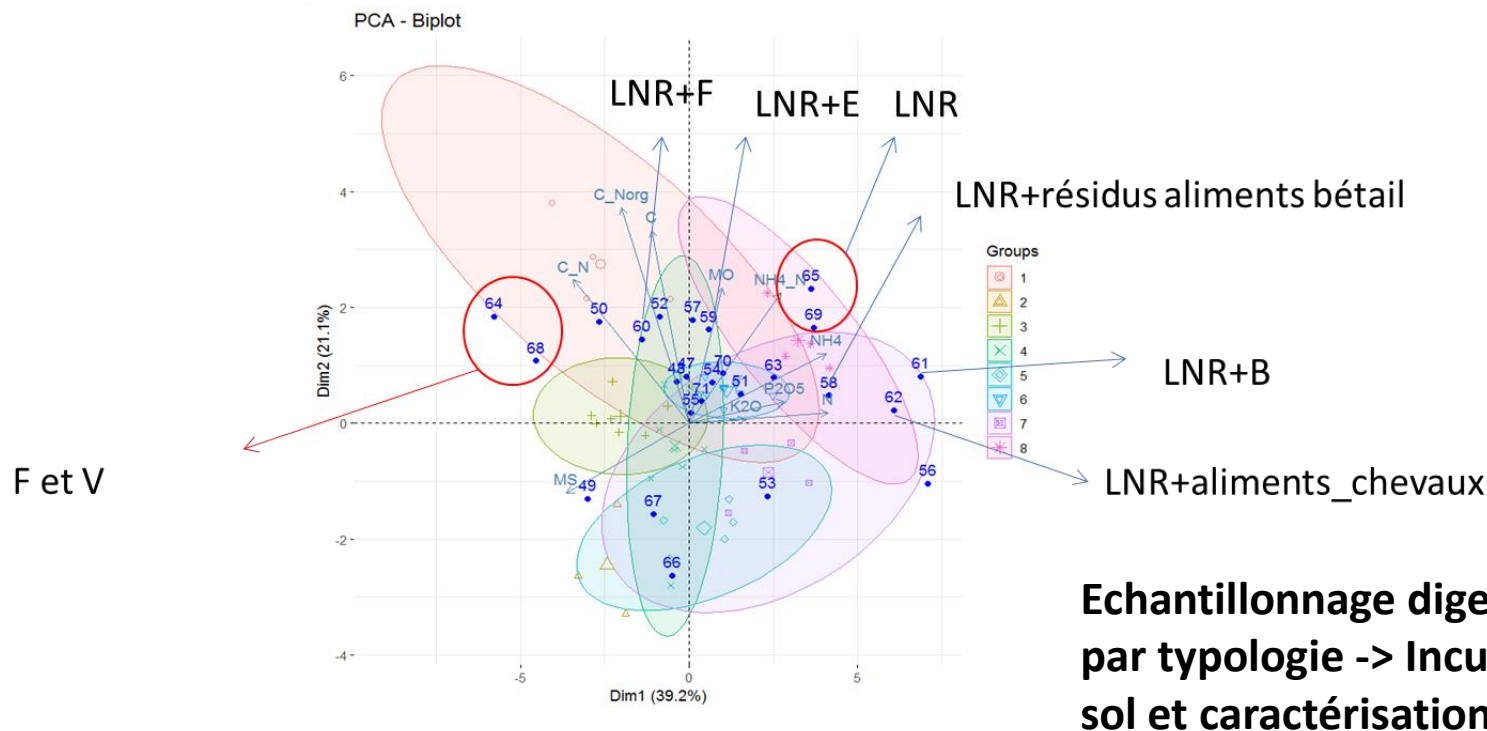


1) Typologie digestats d'origine agricole

- Validation de la typologie

5 digestats issus de co-digestion LNR (60-90%MB)+co-substrats (MAPPED, ADEME)

Autres digestats issus base de données projets antérieurs (PROLAB, PROBIOTIC)



2) Impacts post-traitements

- Traitements caractérisés sur 3 digestats communs
 - Séparation de phase (bilans matière sites)
 - Stockage et compostage: pilotes OPAALE



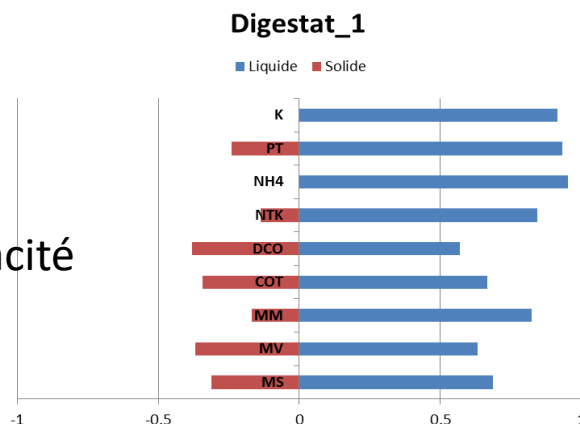
- Pyrolyse (CIRAD)
- Traitements thermochimiques (LBE)
 - Acide, basique, 70°C, 133°C, 190°C



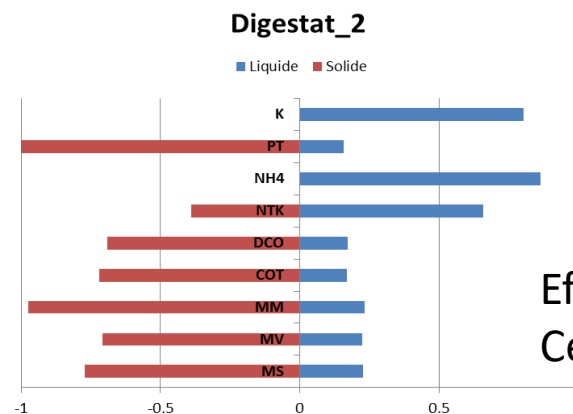
2) Impacts post-traitements

- Séparation de phases:
 - 2 comportements selon faible vs forte efficacité de séparation
 - validation des bilans matières et calculs d'efficacité obtenus par Guilayn et al. (2019)

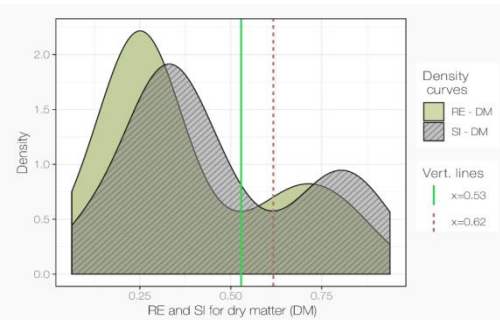
Faible efficacité
Presse à vis



Efficacité élevée
Centrifugeuse



Guilayn et al. (2019)



$$RE_X = 1 - [X]_{LF} / [X]_{IN}$$

$$SI_X = R_{SF} \cdot [X]_{SF} / [X]_{IN}$$

“IN”: digestat brut
 “SF”: solid fraction
 “LF”: liquid fraction
 “[X]”: concentration d’un composé donné
 RSF: ratio solid fraction

2) Bilan impacts post-traitements (1/2)

Digestats bruts et liquides



Corg/MO

↗ phase solide;
proportionnelle à efficacité

≈

(Légère perte: 5-6% digestats
bruts
6-10% digestats liquides)

Pas de pertes;
Solubilisation matière avec base
Précipitation substances humiques
solubles avec acide
T°C catalyseur

N, P

↗ Norga phase solide
↗ Nmin phase liquide

↗ P phase solide
(efficacité élevée)

N ≈ si stockage couvert

↘ N si stockage non couvert

Couverture: -80% d'émission

Croutage piloté: -30-40% d'émission

↘ ↘ NH₄ en conditions
basiques

Pas de pertes en NH₄ avec
ajout d'acide

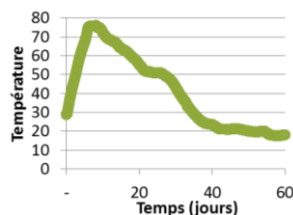
2) Bilan impacts post-traitements (2/2)

Digestats solides



Biodégradabilité aérobie
significative 24-40%

Impact très significatif du stockage
mais env. identique entre
compostage (andain ou aération
forcée) et stockage long



Exemple de courbe de
température au stockage



50% massique de biochar produit
Carbone organique non
accessible, stable

Corg/MO

N



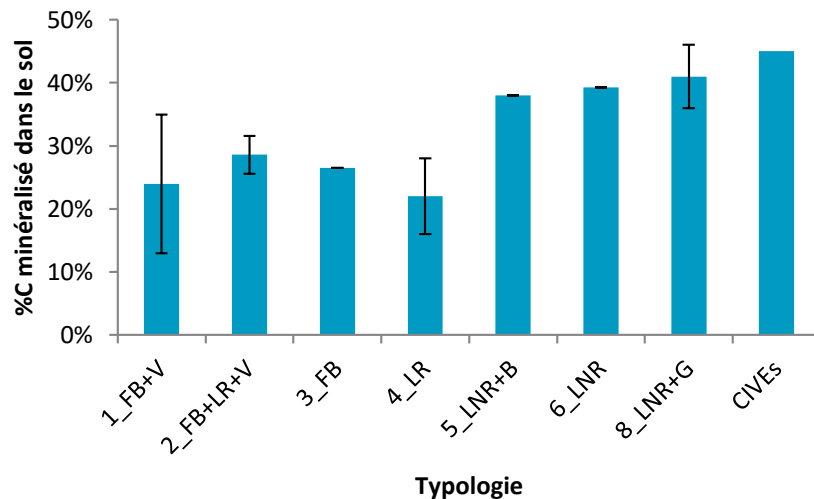
Volatilisation 1-5% N_{tot}

Nitrification/dénitrification: 2-
15% N_{tot}

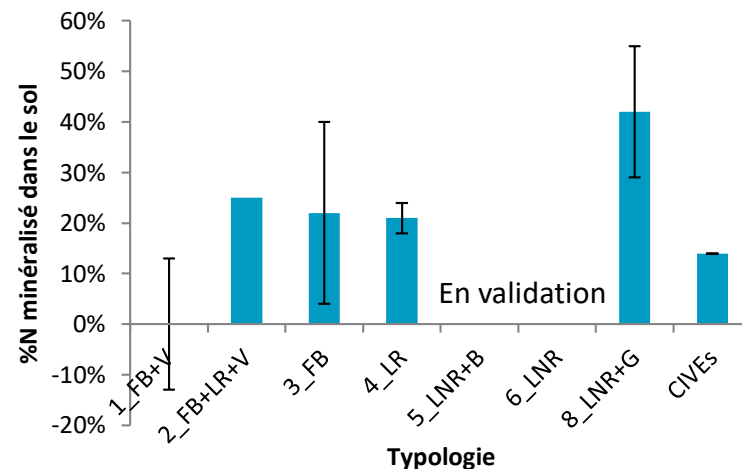
Organisation significative du NH₄:
25-33% N_{tot} -> 1-9% N_{tot}

3) Typologie et retour au sol

C minéralisé dans le sol



N minéralisé dans le sol (résultats intermédiaires)



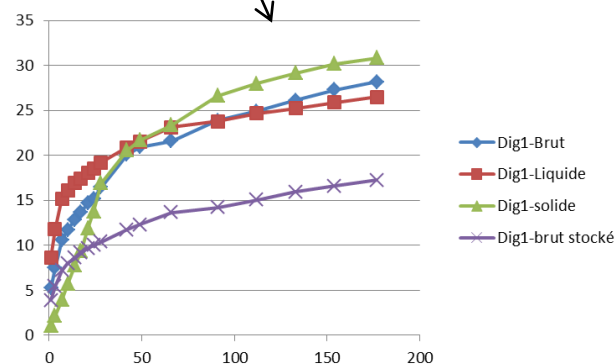
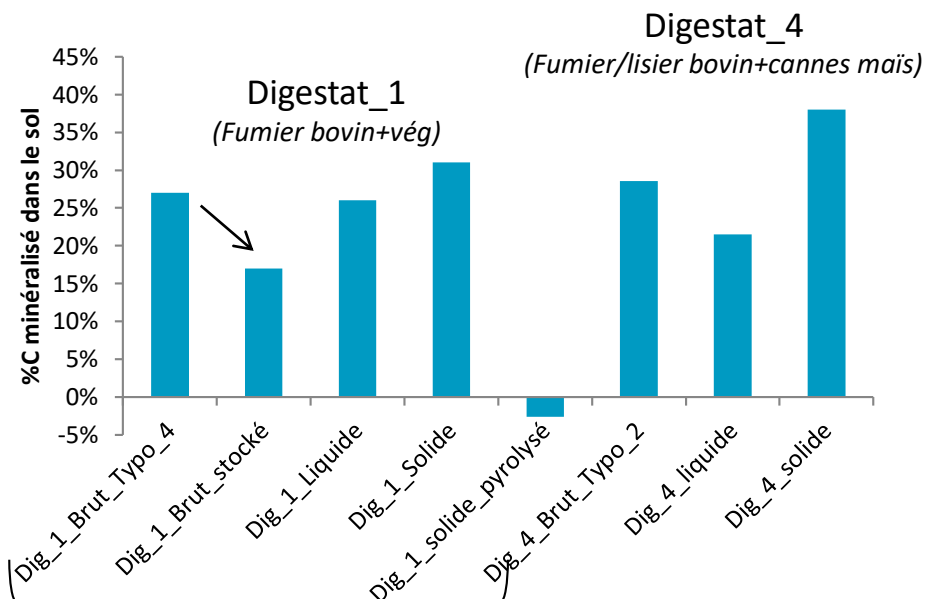
Incubation sol par typologie -> recensement données et évaluation de la variabilité intra-typologie en utilisant des données disponibles (C-Dig+ anciens projets)

Rq: Barres d'erreur réalisés sur résultats d'incubation de N digestats classés dans chaque typologie

- A approfondir et à croiser avec les données de caractérisation fine des C et N organiques

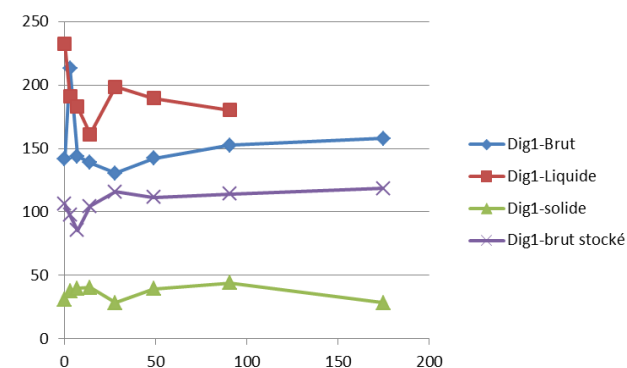
4) Traitements et retour au sol

C minéralisé dans le sol

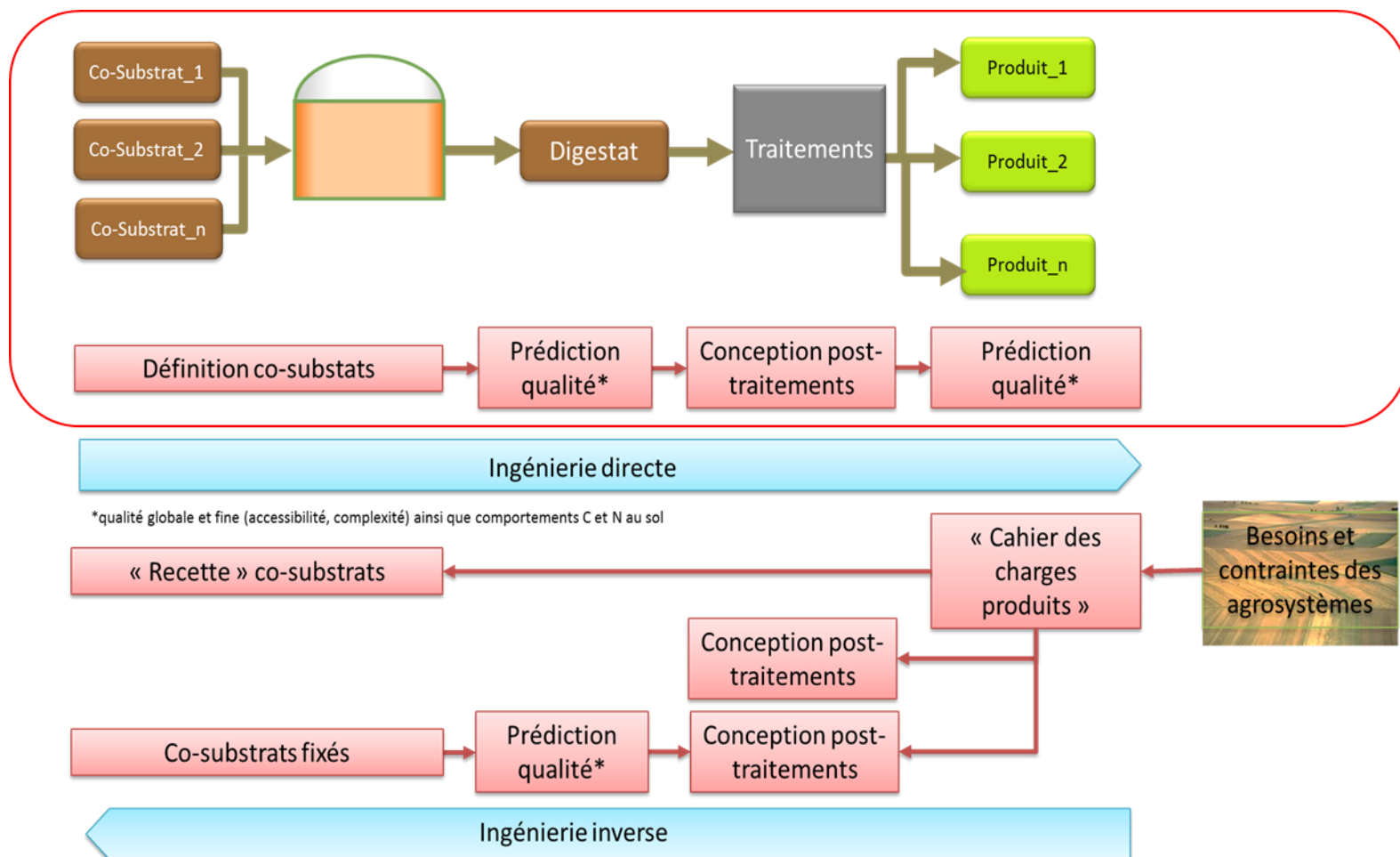


N disponible pour un apport de 30 tMB/ha

	kgN/ha	%N app
Dig1 brut	91	58
Dig1 Liquide	103	70
Dig 1 Solide	16	8
Dig 1 stocké	68	45



5) Développement d'une application Web



4) Développement d'une application Web

Prototype Concept Dig Tool

Définition du % ration en MB

ConceptDig!



Post-Traitements

Composition du digestat brut

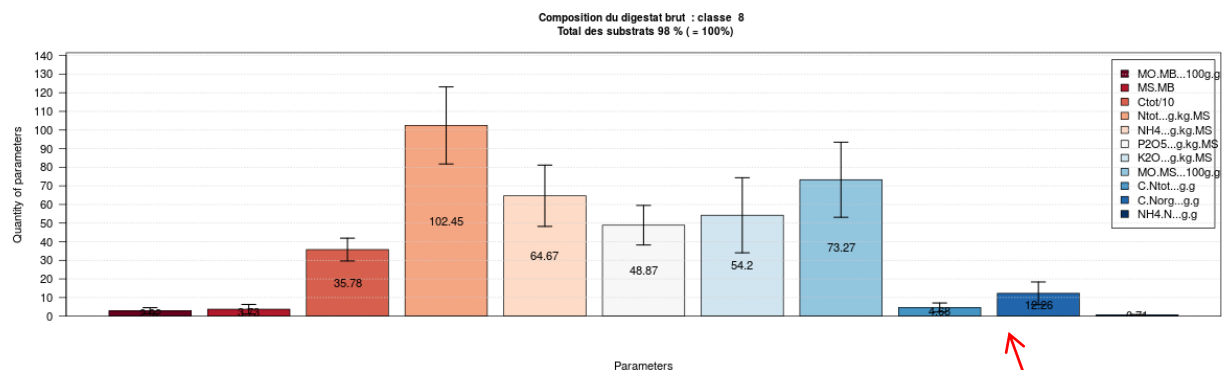
Post-traitement - Sep Liq

Post-traitement - Sep Sol

Post-traitement - Stockage Brut

Post-traitement - Stockage Liq

Post-traitement - Stockage Sol



Fiche technique

Classe 8 Lisier Non Ruminant + Graisses

Caractéristiques

Faible potentiel amendant (MO disponible biodégradable), fort potentiel fertilisant N, faible en MS, MO, C/N et riches en nutriments

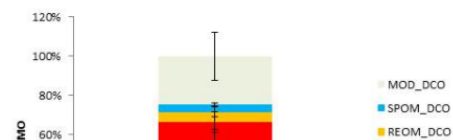
Potential amendant Potential fertilisant N

C_minéralisable = 41+/-5% 42+/-13%

Fractionnement accessibilité chimique

MO	MOD	SPOM	REOM	SEOM	PEOM	NEOM
Moyenne	24.69%	3.77%	5.19%	11.98%	17.69%	36.67%
Ecart-type	12.15%	0.79%	2.38%	5.39%	8.41%	10.70%
NTK	MOD	SPOM	REOM	SEOM	PEOM	NEOM
Moyenne	51.50%	2.19%	4.28%	6.56%	21.26%	3.44%
Ecart-type	16.78%	0.59%	1.48%	1.57%	8.69%	6.89%

Qualité prédite
(modèle statistique
base de données)



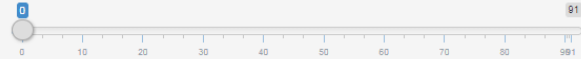
Classe digestat et propriétés
associées
(en cours d'amélioration)

Définition du % ration en MB

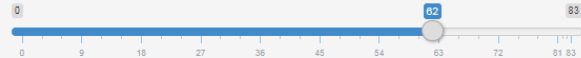
ConceptDig!

Le total des ratios des digestats doit être égale à 100%

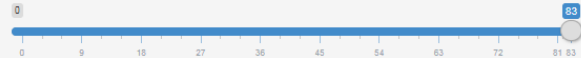
Lisier ruminant-LR:



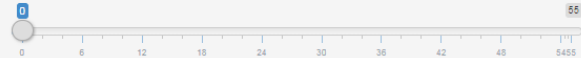
Lisier non ruminant-LNR:



Fumier-F:



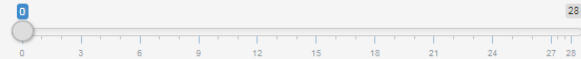
CIVES-C:



Ensilages-E:



Residus de recolte-R:



Graisse-G:



Matiere vegetale-V:



Biodechets-B:



Composition du digestat brut

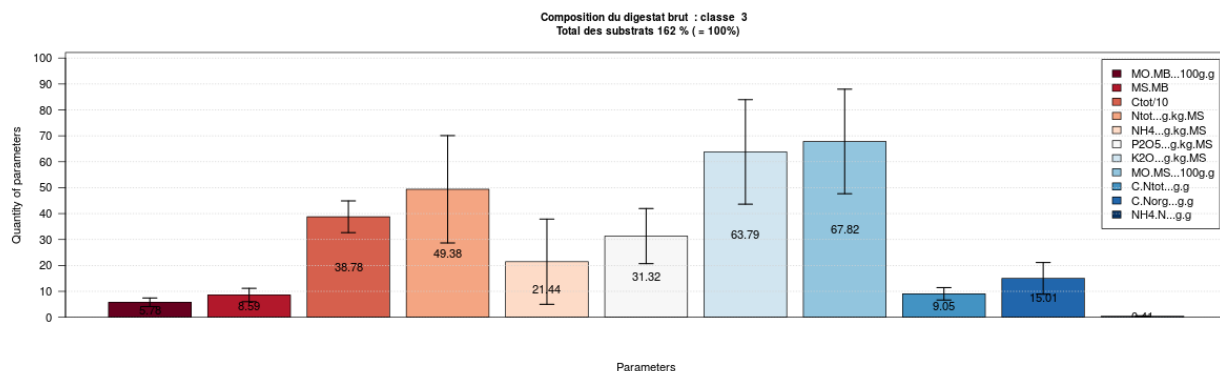
Post-traitement - Sep Liq

Post-traitement - Sep Sol

Post-traitement - Stockage Brut

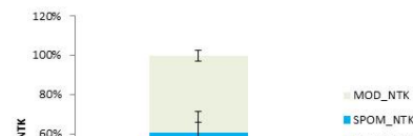
Post-traitement - Stockage Liq

Post-traitement - Stockage Sol



Fiche technique

Classe 3		Fumiers					
Caractéristiques							
Digestat similaire à la classe 1 mais avec MO plus accessible et plus de N disponible							
Potentiel amendant		Potentiel fertilisant N					
C_minéralisable = 24+/- 6%		17+/- 18%					
Fractionnement accessibilité chimique							
MO	MOD	SPOM	REOM	SEOM	PEOM	NEOM	
Moyenne		10.37%	5.41%	5.43%	17.28%	27.94%	35.04%
Ecart-type		10.16%	2.42%	1.59%	5.17%	7.64%	8.59%
NTK	MOD	SPOM	REOM	SEOM	PEOM+NEOM		
Moyenne		38.93%	#DIV/0!	6.67%	15.88%	11.70%	26.82%
Ecart-type		2.85%	#DIV/0!	4.84%	17.33%	2.61%	21.22%



ConceptDig!

Le total des ratios des digestats doit être égale à 100%

Lisier ruminant-LR:

0 91

Lisier non ruminant-LNR:

0 83

Fumier-F:

0 83

CIVES-C:

0 55

Ensilages-E:

0 33

Residus de recolte-R:

0 28

Graisse-G:

0 36

Matiere vegetale-V:

0 48

Biodechets-B:

0 60

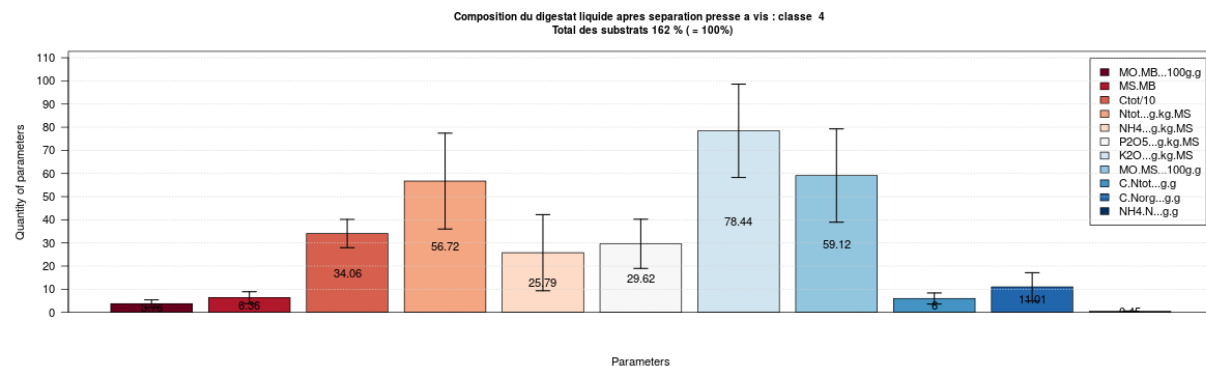
Séparation phases Choix efficacité

Composition du digestat brut Post-traitement - Sep Liq Post-traitement - Sep Sol Post-traitement - Stockage Brut Post-traitement - Stockage Liq Post-traitement - Stockage Sol

Séparation

- ☒ Presse à vis
☐ centrifugation

Composition du digestat



Fiche technique

Classe 4 Lisier Ruminant							
Caractéristiques							
Digestat issu de ruminants ayant le plus de N soluble disponible, de MO soluble disponible mais une grande part de non accessible							
Potentiel amendant				Potentiel fertilisant N			
C_minéralisable = 22 +/- 6%				a remplir			
Fractionnement accessibilité chimique							
MO	MOD	SPOM	REOM	SEOM	PEOM	NEOM	
Moyenne		22.34%	2.94%	2.55%	11.04%	23.99%	37.14%
Ecart-type		12.05%	0.98%	1.34%	4.29%	15.35%	13.52%
NTK	MOD	SPOM	REOM	SEOM	PEOM	NEOM	
Moyenne		47.10%	8.96%	3.95%	9.70%	10.84%	10.45%
Ecart-type		22.58%	6.38%	2.44%	5.13%	10.90%	10.98%

120%

140%

ConceptDig!

Le total des ratios des digestats doit être égale à 100%

Lisier ruminant-LR:

0 91

Lisier non ruminant-LNR:

0 83

Fumier-F:

0 83

CIVES-C:

0 55

Ensilages-E:

0 33

Residus de recolte-R:

0 28

Graisse-G:

0 38

Matiere vegetale-V:

0 48

Biodechets-B:

0 60

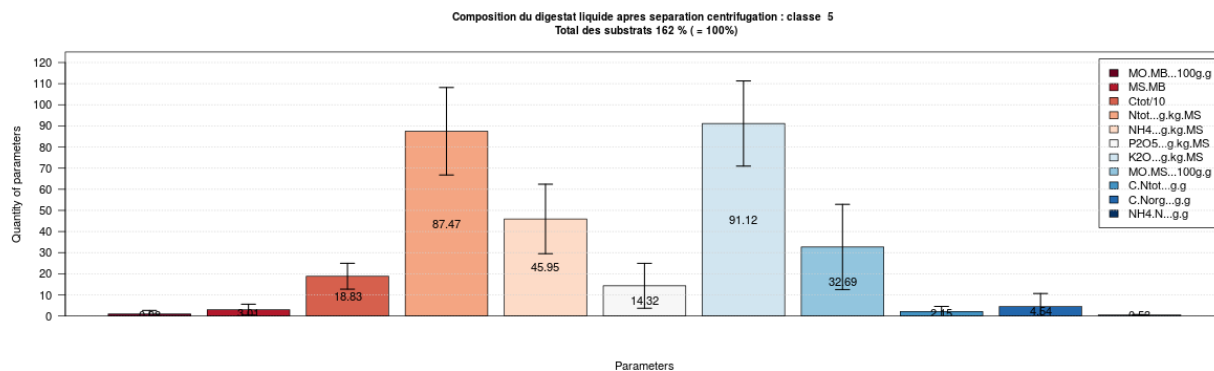
Séparation phases Choix efficacité

Composition du digestat brut Post-traitement - Sep Liq Post-traitement - Sep Sol Post-traitement - Stockage Brut Post-traitement - Stockage Liq Post-traitement - Stockage Sol

Séparation

- ☐ Presse a vis
- ☒ centrifugation

Composition du digestat



Fiche technique

Classe 5 Lisier Non Ruminant +Biodéchets

Caractéristiques

MO facilement accessible et potentiel fertilisant élevé (N disponible)

Potentiel amendant C_minéralisable à remplir

Fractionnement accessibilité chimique

	MOD	SPOM	REOM	SEOM	PEOM	NEOM
Moyenne	17.30%	2.25%	3.47%	6.28%	22.75%	47.95%
Ecart-type	22.05%	0.93%	1.79%	8.10%	9.62%	17.82%
NTK	MOD	SPOM	REOM	SEOM	PEOM	NEOM
Moyenne	47.37%	9.20%	3.68%	8.81%	13.03%	5.57%
Ecart-type	36.05%	9.45%	2.73%	6.41%		

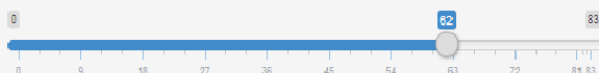
ConceptDig!

Le total des ratios des digestats doit être égale à 100%

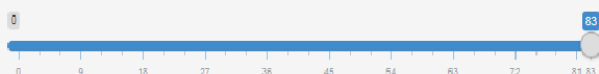
Lisier ruminant-LR:



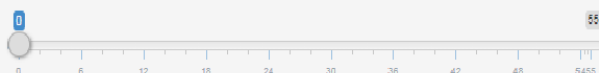
Lisier non ruminant-LNR:



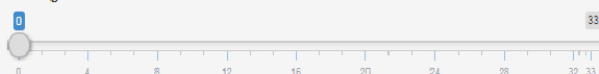
Fumier-F:



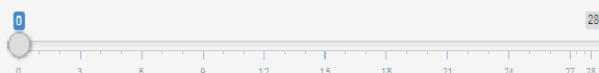
CIVEs-C:



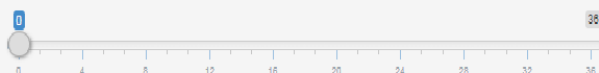
Ensilages-E:



Residus de recolte-R:



Graisse-G:



Matiere vegetale-V:



Stockage

Composition du digestat brut

Post-traitement - Sep Liq

Post-traitement - Sep Sol

Post-traitement - Stockage Brut

Post-traitement - Stockage Liq

Post-traitement - Stockage Sol

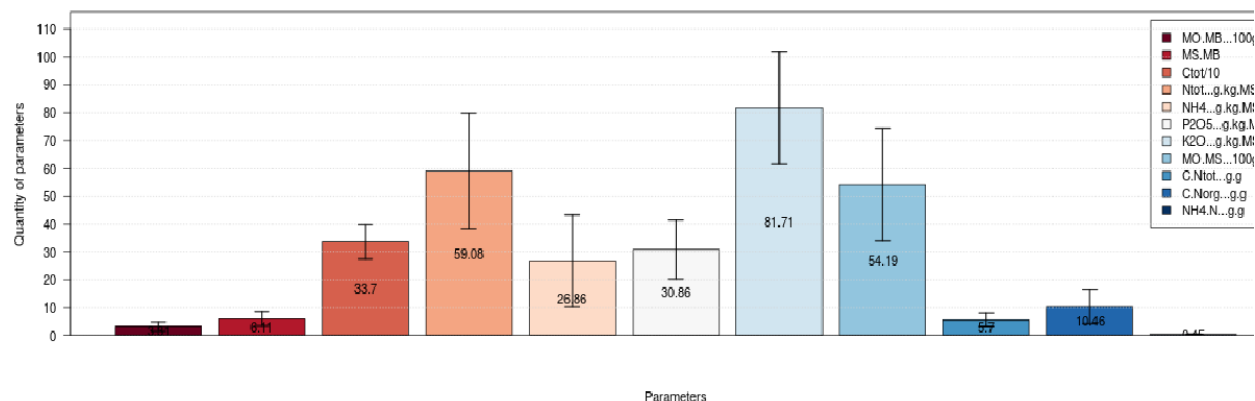
Separation

☒ Presse a vis

☐ centrifugation

Composition du digestat

Composition du digestat liquide apres stockage et presse a vis : classe 5
Total des substrats 162 % (= 100%)



Fiche technique

Classe 5 Lisier Non Ruminant +Biodéchets

Caractéristiques

MO facilement accessible et potentiel fertilisant élevé (N disponible)

Potentiel amendant Potentiel fertilisant N

C_minéralisable à remplir à remplir

Conclusions et perspectives

- Typologie: discrimination par les co-substrats sur la qualité des digestats
- Observations et conclusions sur les impacts des traitements
- Prototype prédiction de la qualité agronomique des digestats en fonction de la ration des co-substrats
- Prototype prédiction de la qualité des digestats après post-traitements classiques
 - Spécificités par classe: à consolider
 - Ajouter données minéralisation
 - Recensement données!
 - Ajouter données littérature?
- Pour aller plus loin: projet Ferti-Dig déposé (APR GRAINE): bonnes pratiques d'utilisation des digestats selon la classe du digestat
- Pour aller encore plus loin: définir besoins des agro-systèmes selon territoire, région -> ingénierie reverse