

Recyclage matière et valorisation énergétique des biodéchets : enjeux et solutions apportées par la méthanisation

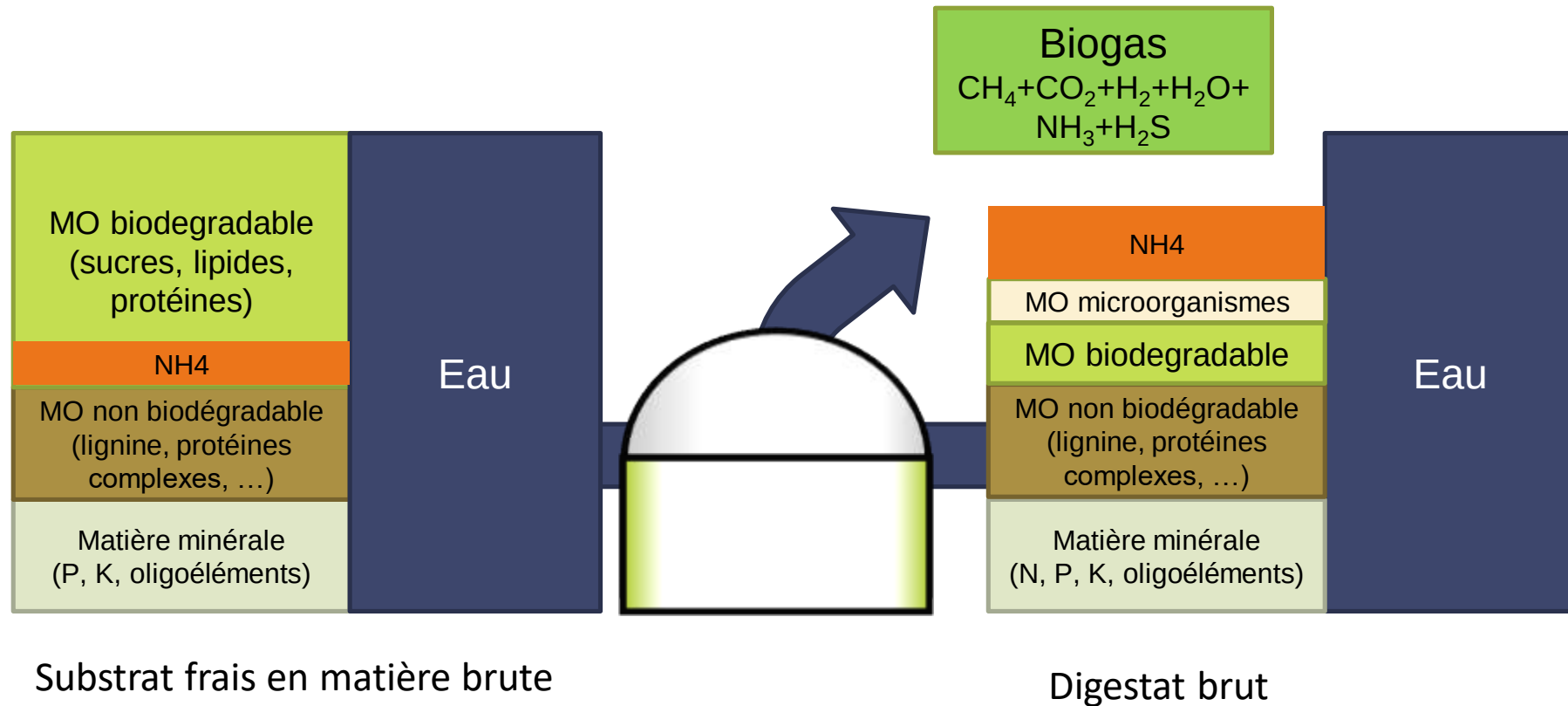
30 septembre 2021 – Paris 15^{ème}

Journée technique organisée avec le soutien de

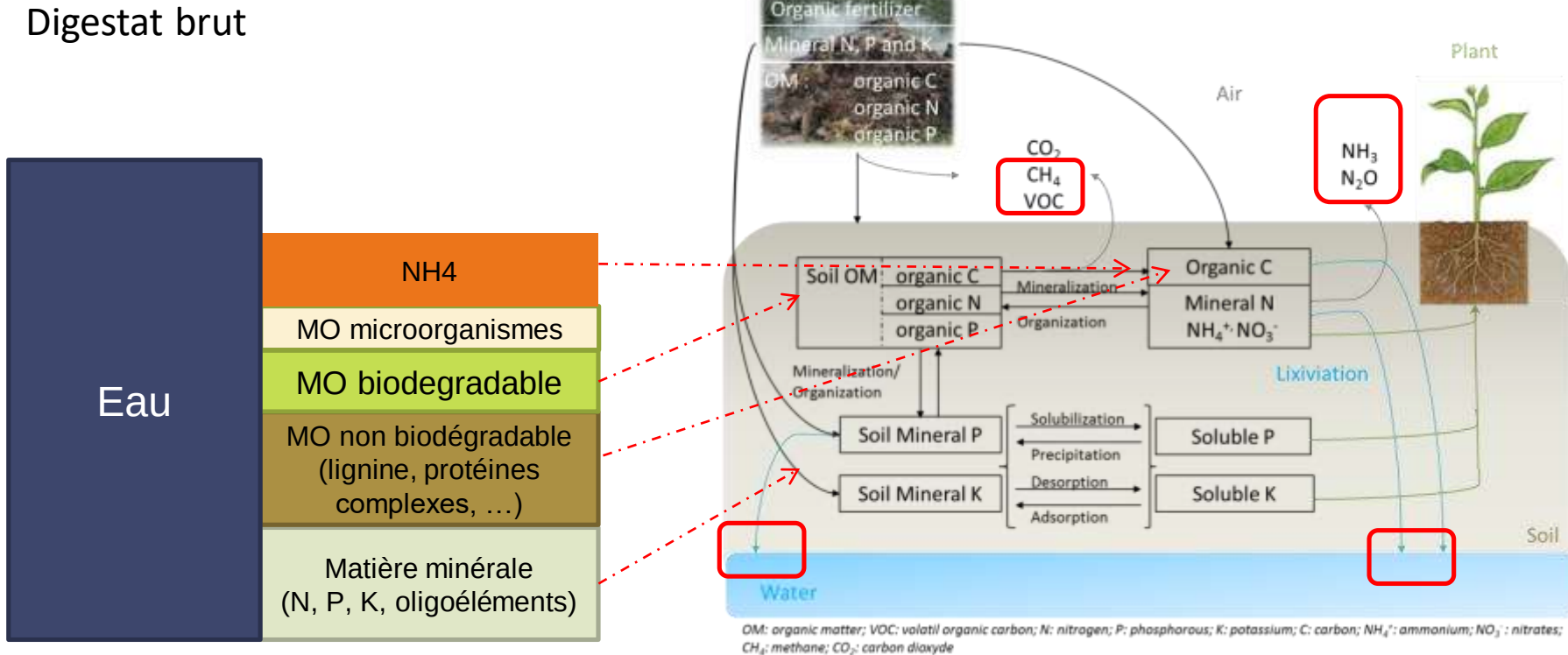
Les caractéristiques des digestats issus de la méthanisation de biodéchets

Julie JIMENEZ, Chercheur INRAe, LBE Narbonne
Julie.jimenez@inrae.fr

Contexte: méthanisation et bilan matière



Contexte: digestat et besoins des agrosystèmes



Tous les ingrédients sont là....
Quel état? Disponible ou non? Stable ?Toxicité ? Effet environnement?

Contexte: pas « UN » digestat mais « DES » digestats

- Challenge du digestat

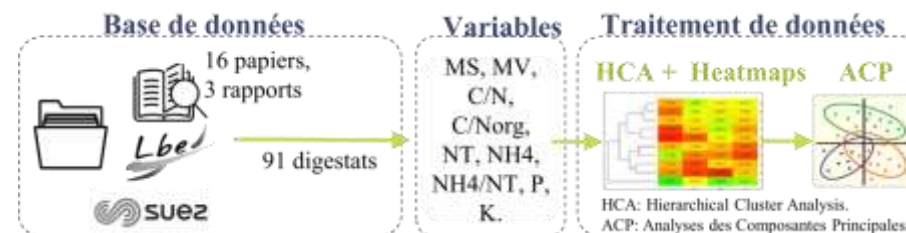
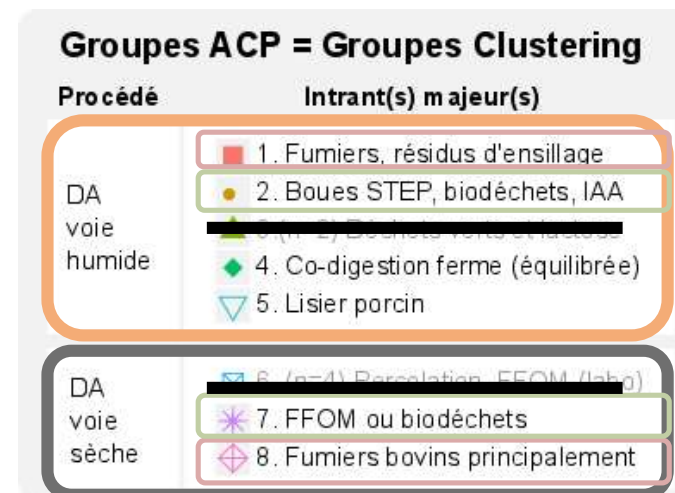
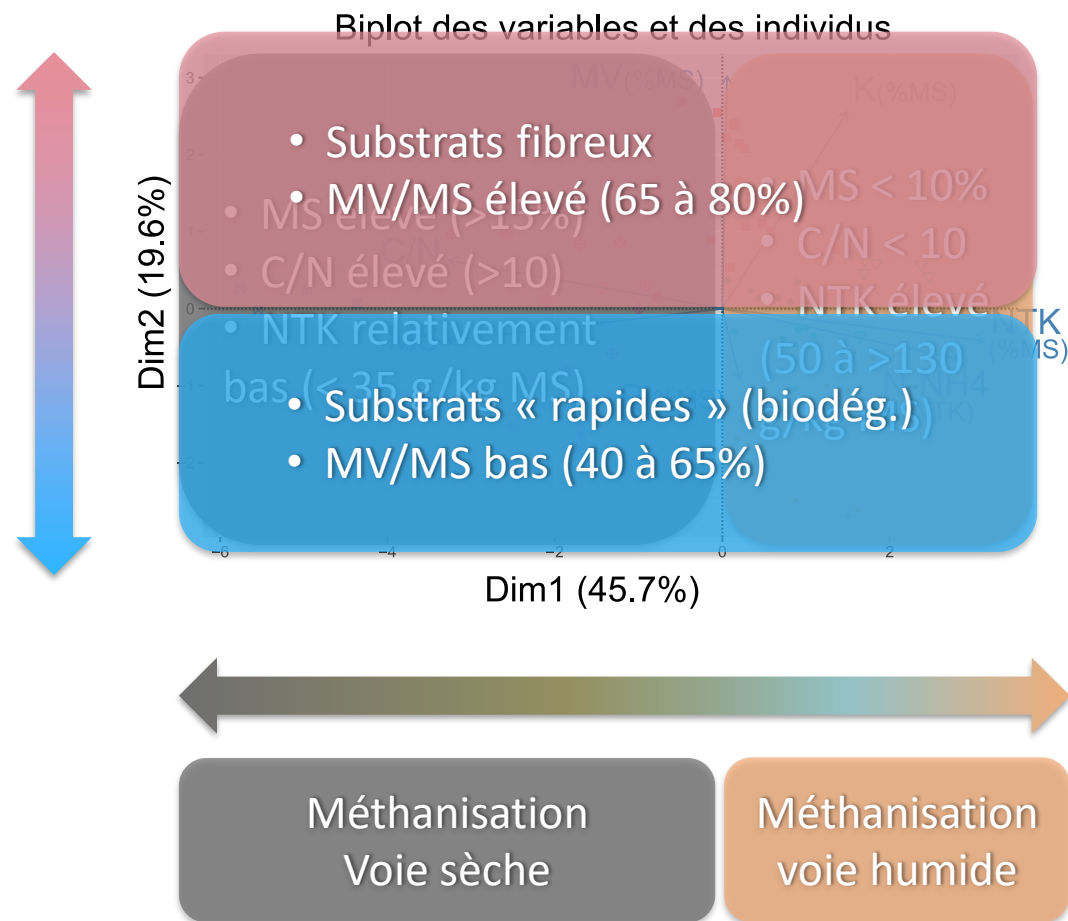
Pas UN mais DES digestats!

- Produit majoritaire (en masse) issu de la digestion anaérobie (DA)
- Mélange de biomasse microbienne, minéraux et matière organique non digérée



Contexte: pas « UN » digestat mais « DES » digestats

• Typologies des digestats d'origine agricole et urbaine





Focus sur les digestats de biodéchets

- Le biodéchet est :
 - tout déchet non dangereux biodégradable de jardin ou de parc,
 - tout déchet non dangereux alimentaire ou de cuisine issu notamment des ménages, des restaurants, des traiteurs ou des magasins de vente au détail,
 - ainsi que tout déchet comparable provenant des établissements de production ou de transformation de denrées alimentaires.

Article R 541-8 du code de l'environnement

- Dans le cadre de cette présentation:
 - Déchets non dangereux alimentaires ou de cuisine
 - Déchets provenant des grandes et moyennes surfaces (denrées alimentaires)
 - FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères)

Composition du digestat de biodéchet

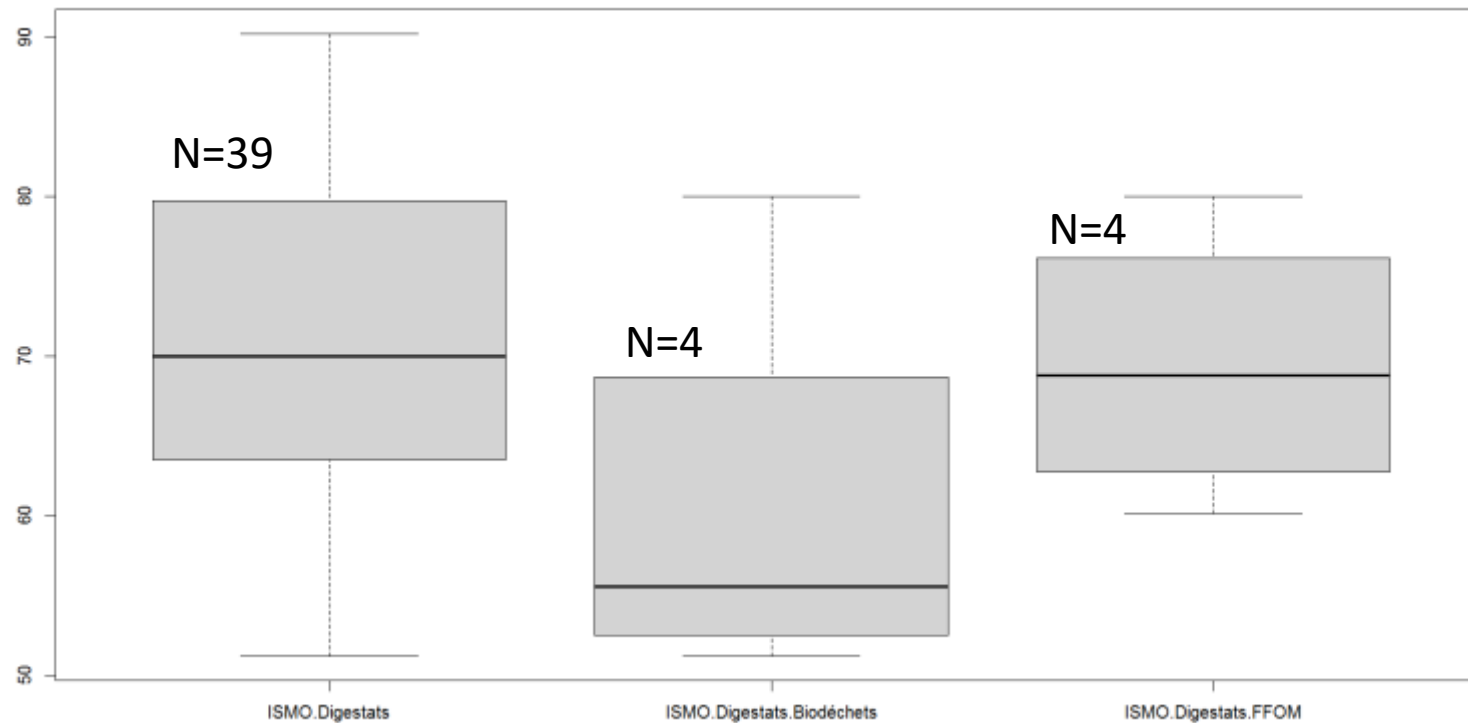
	C/N	C/Norg	MS (%)	MV (% MS)	N disponible N-NH ₄ /NT (%NT)	NT (g/kgMS)	P (g/kgMS)	K (g/kgMS)	
Fumiers, ensilages	4-11	9-16	4-8	70-81	20-60	40-100	7-15	25-75	Voie humide
Boues, IAA, biodéchets	3-5	5-12	2-10	41-72	30-80	60-125	4-40	2-50	
Déchets alimentaires , lisiers porcins	2-5	6-13	2-8	59-74	42-81	40-175	5-25	30-90	
Territorial	14-20	55-70	12-16	64-74	70-75	15-25	8-10	28-37	Voie sèche
FFOM, biodéchets, voie sèche	8-12	15-20	18-28	39-54	32-45	15-30	1-8	1-26	
Fumiers bovins, voie sèche	9-24	15-25	12-24	69-90	5-55	15-40	1-8	2-38	

D'après Guilayn (2019)

- Pauvre en MO et faible C/N: potentiel amendant plus faible?
- Riche en N, P, K : fort potentiel fertilisant?
- FFOM: C/N fort: amendant/structurant intéressant?

Valeur amendante des digestats de biodéchets

- ISMO (basé sur incubations sur sols en laboratoires sur 39 digestats **bruts**)
 - Valeur amendante plus faible vis-à-vis de l'ensemble des digestats



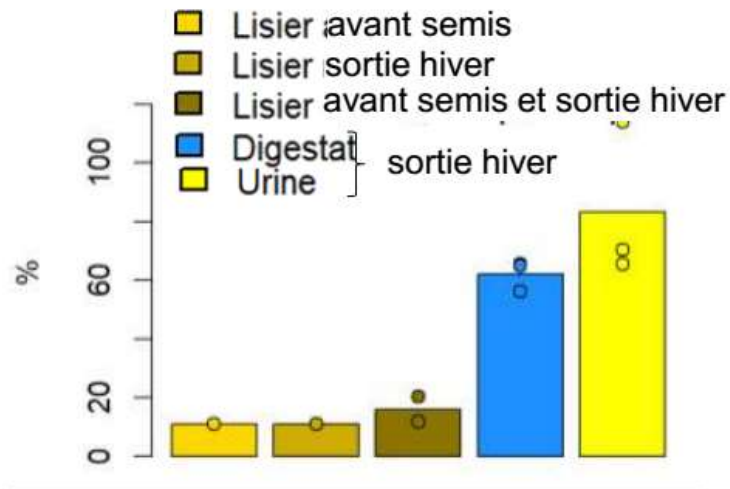
Manques données sur
digestats bruts de
biodéchets/FFOM!

Données INRAe

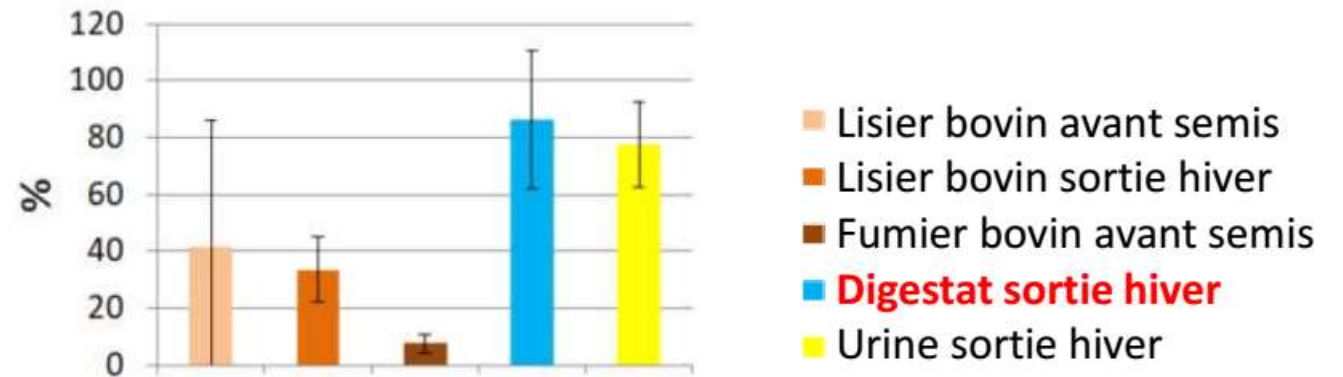
Valeur fertilisante N des digestats de biodéchets

Exemples: $100 \text{ kg N digestat} = K_{eq} \text{ kg N engrais}$

Digestat brut de biodéchets sur blé



Digestat brut de biodéchets sur colza



(Levavasseur et al., 2018, 2019) et Houot (2020)

C/N digestats biodéchets compris entre 2-5: **60 +/-18%** (sur 5 références d'essais au champ en France avec des digestats bruts de biodéchets; données COMIFER)

Impact ajout biodéchet sur la qualité du digestat (1)

- Impacts des co-substrats (tels que biodéchets)

Enquête sur 74 sites méthanisation agricole (Concept-Dig, 2019)

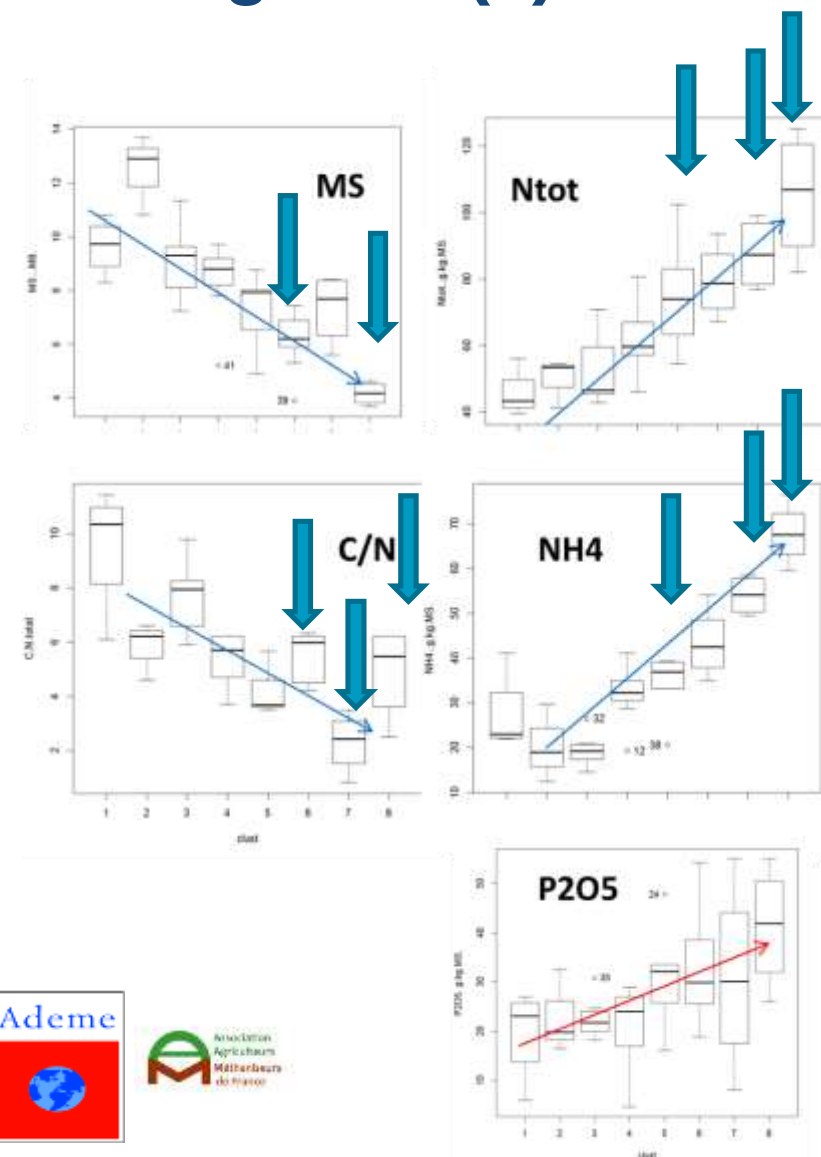
Classe	Intrants
1	Fumiers+Vgtx
2	Fumiers + Vgtx+ Lisier Rum.
3	Fumiers
4	Lisier Ruminant
5	Lisier NR + Biodéchets
6	Lisier NR
7	Lisier Ruminant + Graisse/Biodéchets
8	Lisier NR+ Graisse+biodéchets

Ajout biodéchets:

Hypothèse:

Forte valeur fertilisante (N et P) et faible valeur amendante vis-à-vis des autres digestats

Effet fertilisant augmente de classe 1 à classe 8

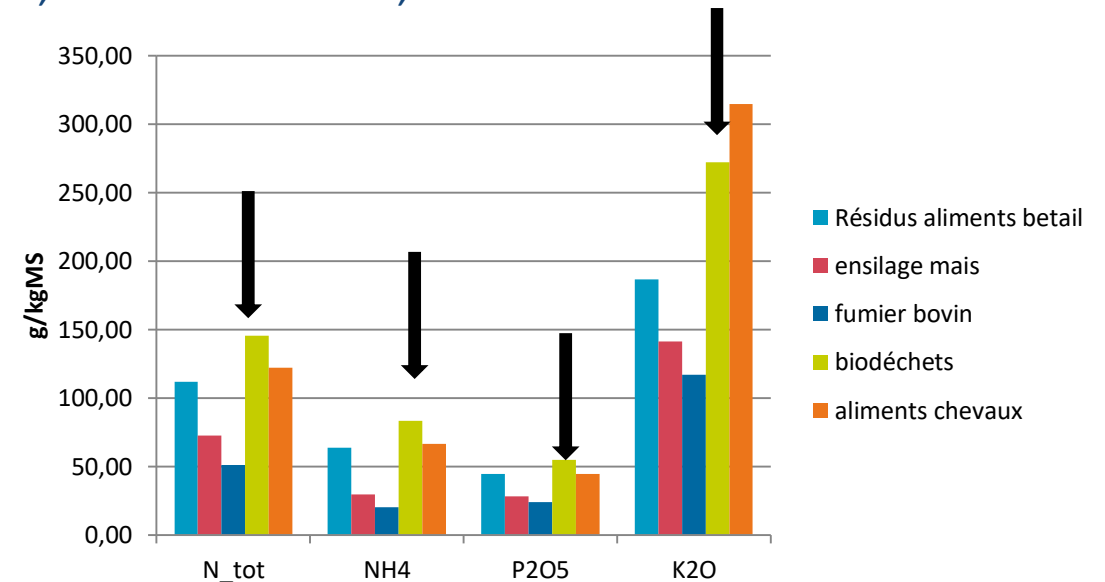
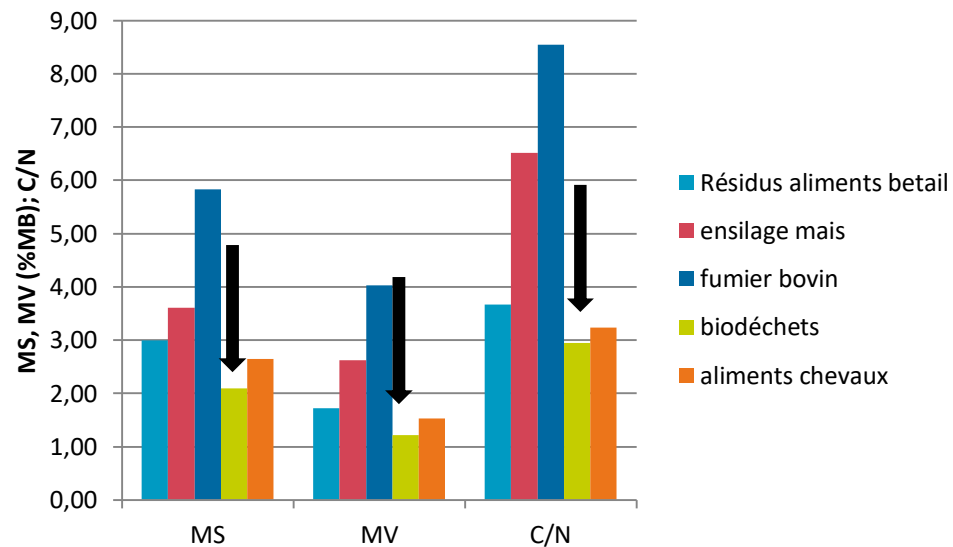


Impact ajout biodéchet sur la qualité du digestat (2)

- **Projet PIA-MAPPED (ADEME, 2019)**

- 5 digestats base lisier porcin (>60-90% en masse)

- Co-substrats: ensilage maïs, fumier, **biodéchets**, aliments chevaux, résidus aliments bétail



Digestat lisier porc + fumier = Typologie 3 (fumier)



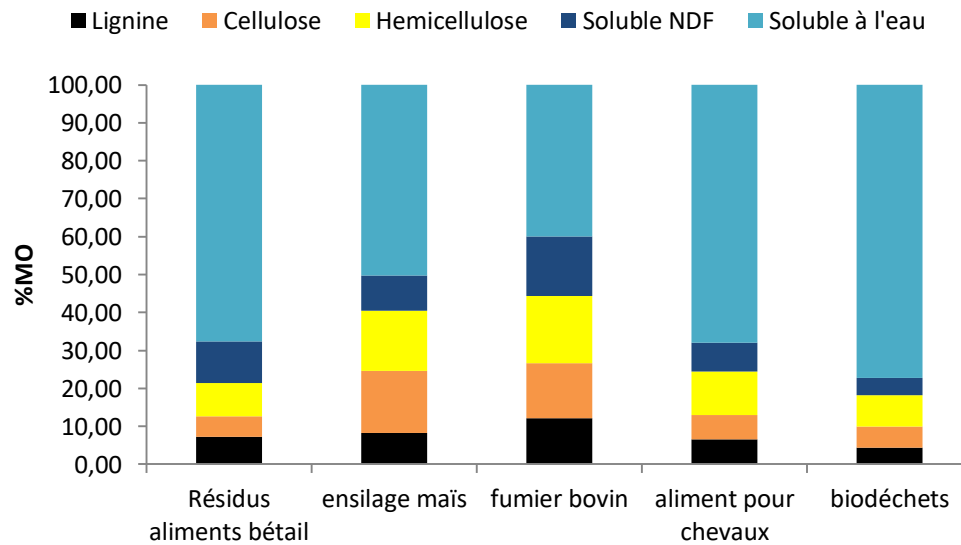
Digestat lisier porc + ensilage = Typologie 6 (non ruminant)

Digestat lisier porc + biodéchet = Typologie 8 (non ruminant + graisses/biodéchets)

Impact ajout biodéchet sur la qualité du digestat (3)

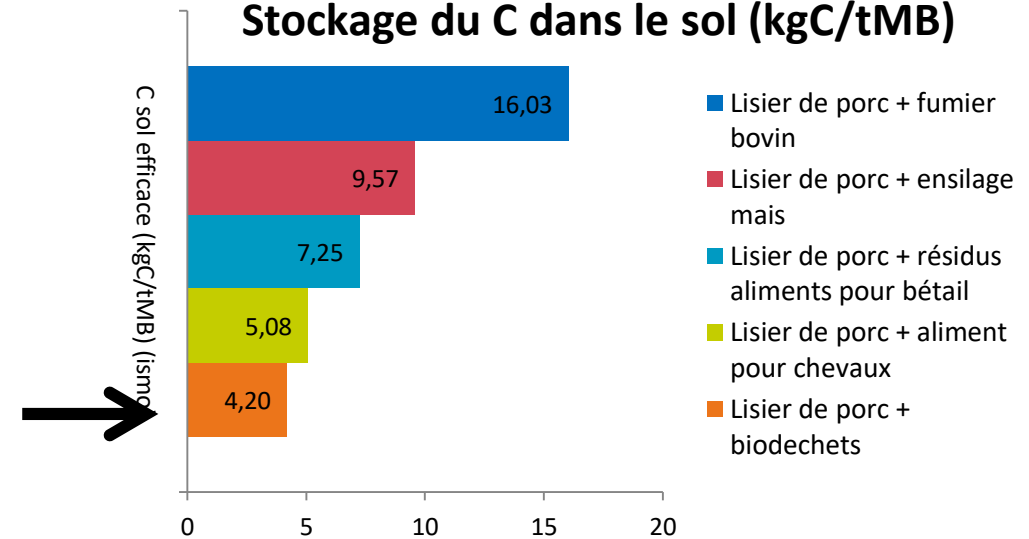
- **Projet PIA-MAPPED (ADEME, 2019)**
 - 5 digestats base lisier porcin (>60-90% en masse)

Fibres Van Soest



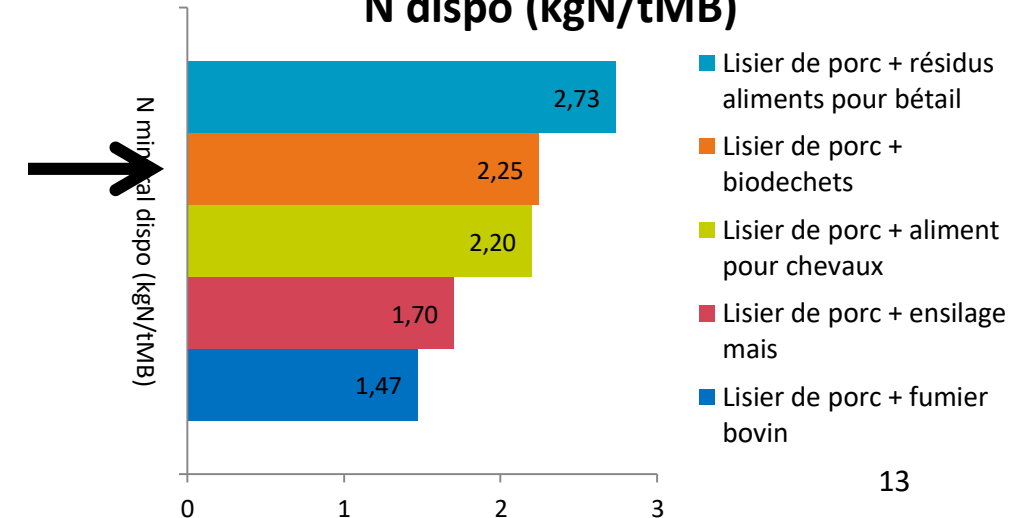
Données INRAe(LBE, OPAALE, ECOSYS)

Stockage du C dans le sol (kgC/tMB)



Incubations sol 175j

N dispo (kgN/tMB)





Impacts sur la biologie du sol

- Peu de données scientifiques sont disponibles (Sadet-Bourgeteau, 2020):
 - D'après certaines études: un apport de digestats augmente la biomasse et l'activité microbienne des sols (notamment par rapport à un système sans apport de PRO)
 - D'autres travaux ne reportent aucun effet des digestats de méthanisation sur ces mêmes paramètres, notamment vis-à-vis d'un PRO non digéré
 - Variabilités de facteurs expérimentaux tels que le type de digestats, la quantité apportée, le type de sol...
 - Premiers résultats (Thèse Victor Moinard): effet négatif possible à court terme (NH_3 ?): à investiguer
 - Programmes de recherche en cours: programme METHABIOSOL (Casdar/Ademe) et Fertidig (Ademe)

Innocuité des digestats



Revue de littérature sur l'inactivation des pathogènes selon plusieurs facteurs et analyse statistiques: Jiang et al. 2020

Effet significatif de la T°C (thermophile)

CSTR vs Batch: pas d'effet mais voie sèche semble avoir un effet

Potentielle inactivation via les AGV et NH_3 : à approfondir

Pas d'effet du temps de séjour (sauf si AGV produits)

Pas d'effet significatif de la composition des substrats

Données digestats biodéchets en co-digestion mésophile, en dessous des normes : *E. coli* < 10^2 /gMB, *Salmonella* (absence), *Enterocoques* < LOD – jusqu'à 10^3 - 10^6 /gMB en co-digestion avec boues

Digestats et réglementation

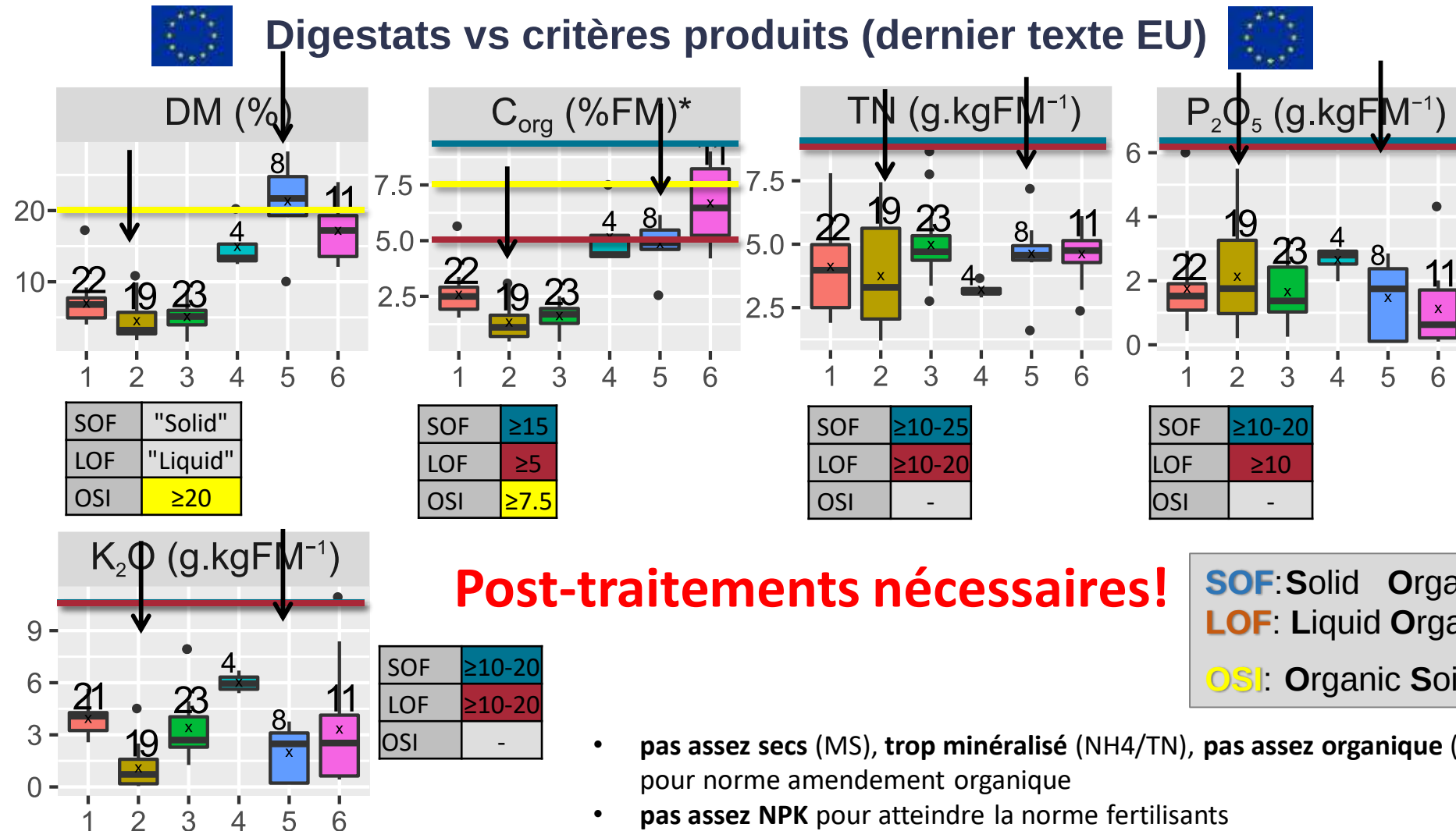
- Statut du digestat: sortie du statut de déchets dans les cas suivants

- Cahier des charges DigAgri (8/11/2020)

Seules les matières premières listées ci-dessous sont acceptées dans le méthaniseur :

- les matières suivantes de catégorie 2 issues d'élevages qui ne font pas l'objet de mesures de restrictions sanitaires et respectent les conditions de l'arrêté du 9 avril 2018, notamment son article 3 : les lisiers, fumiers ou fientes, à savoir tout excrément et/ou urine d'animaux d'élevage autres que les poissons, avec ou sans litière, le contenu de l'appareil digestif sans son contenant et les eaux vertes d'élevage.
- Les sous-produits animaux de catégorie 3, sans emballage, suivants :
 - le lait ;
 - les produits issus du lait ou de la fabrication de produits laitiers (y compris le colostrum et les produits à base de colostrum), dont les eaux blanches de laiteries et de salles de traite telles que définies au point 15 de l'annexe I du règlement (UE) n° 142/2011 susvisé et les boues de centrifugeuses ou de séparateurs de l'industrie du lait, c'est-à-dire les matières constituant des sous-produits de la purification du lait cru et de sa séparation du lait écrémé et de la crème (point 26, article 3 du règlement (CE) 1069/2009 susvisé) ;
 - les denrées alimentaires animales ou d'origine animale issues exclusivement des industries agro-alimentaires (IAA), retirées du marché pour des motifs autres que sanitaires et transformées (point f de l'article 10 du règlement CE 1069/2009 et « transformées » au sens du règlement CE 852/2004 avant leur classement en sous-produits animaux),
 - les anciens aliments pour animaux contenant des matières animales autres que crues, issues des industries agro-alimentaires (IAA) ou des élevages (fond de silo d'aliment non médicamenteux, retirées du marché pour des motifs autres que sanitaires (point g de l'article 10 du règlement CE 1069/2009) ;
 - les matières issues du traitement des eaux résiduaires des IAA exclusivement, y compris les graisses de flottation, à l'exception des boues brutes ou transformées, des résidus de dégrillage et des sous-produits animaux définis aux articles 8 e et 9 b du règlement (CE) n° 1069/2009, seules ou en mélange ;
 - les matières végétales agricoles brutes, les jus d'ensilage ou les issues de silo, qui ne font pas l'objet de restrictions relatives au traitement par méthanisation dans le cadre de mesures de lutte contre les organismes nuisibles ou d'autres mesures sanitaires ;
 - les biodéchets exclusivement végétaux issus de l'industrie agro-alimentaire, triés à la source tels que définis à l'article R. 541-8 du code de l'environnement, sans emballage, qui ne font pas l'objet de restrictions relatives au traitement par méthanisation dans le cadre de mesures de lutte contre les organismes nuisibles ou d'autres mesures sanitaires ;
 - les sous-produits d'origine végétale issus exclusivement des IAA tels que définis dans l'article L. 541-4-2 du code de l'environnement, qui ne font pas l'objet de restrictions relatives au traitement par méthanisation dans le cadre de mesures de lutte contre les organismes nuisibles ou d'autres mesures sanitaires ;
 - les déchets végétaux issus de l'entretien des jardins et espaces verts (tontes, tailles, élagages, feuilles) ;
 - les additifs de digestion qui sont nécessaires pour améliorer l'efficacité du procédé ou la performance environnementale de la digestion, pour autant que :

Digestats et réglementation

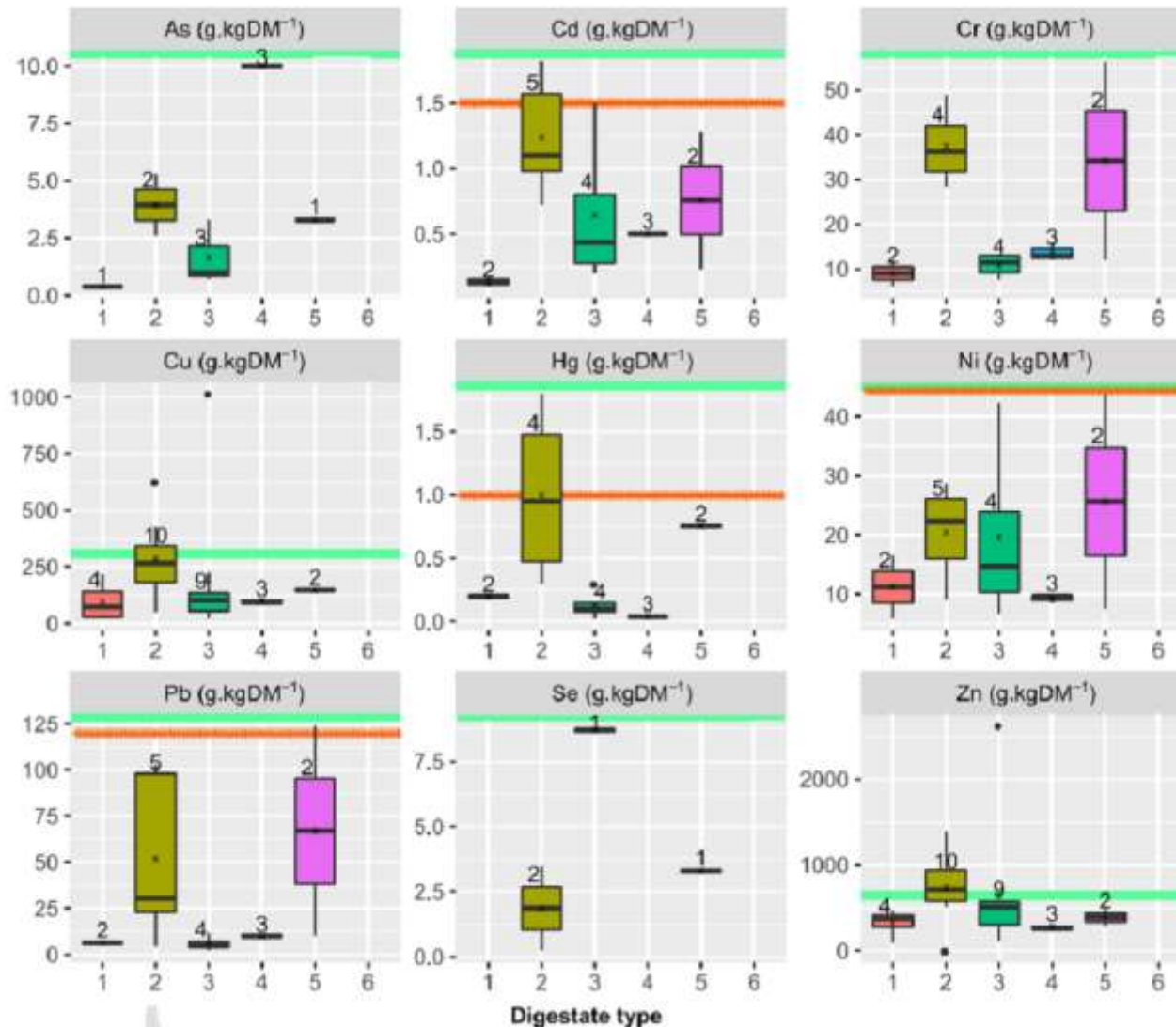


Digestats et réglementation

Métaux:

En dessous des normes

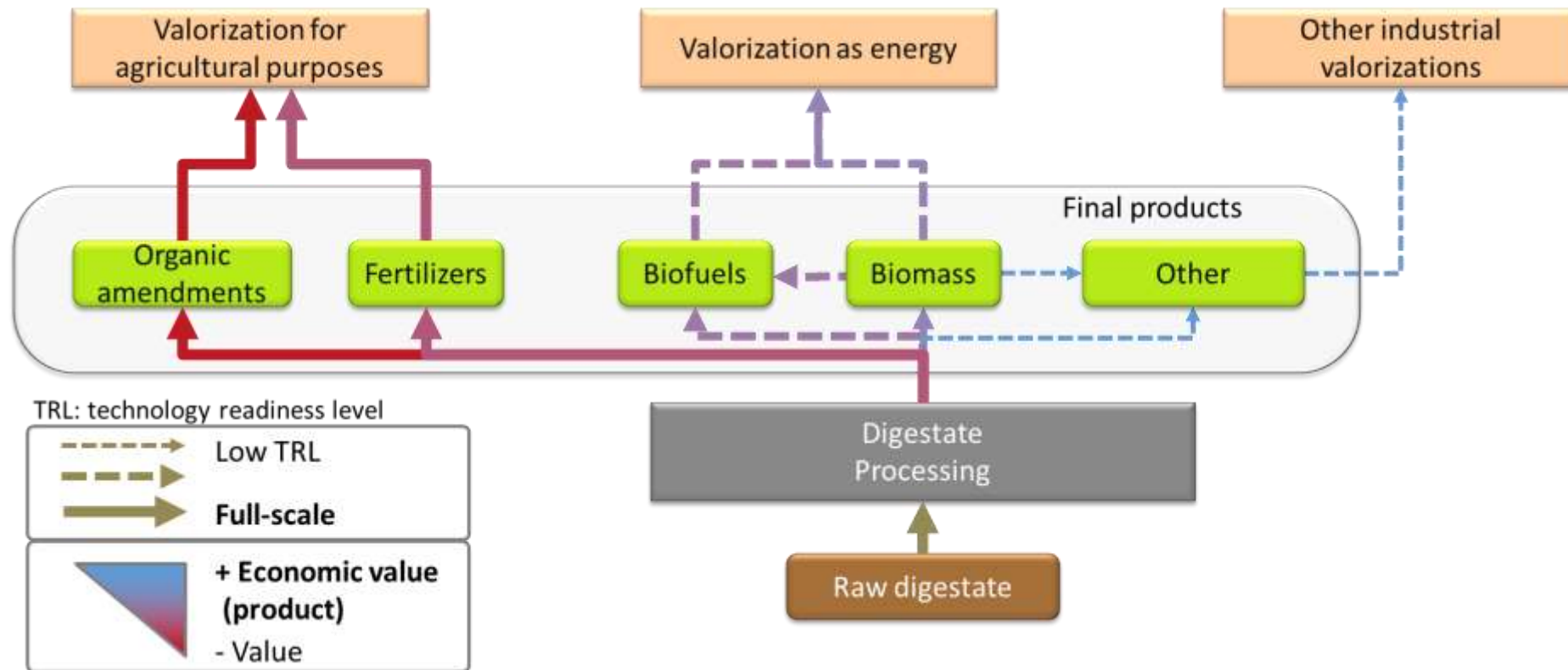
Hors limites: boues STEP (type 2) et certains FFOM (type 5)



D'après Guilayn (2019)

Perspectives en R&D

- Post-traitements



Post-traitements possibles pour valorisation (extrait Thèse F. Guilayn, 2019)

Post-traitements classiques

• Séparation de phases

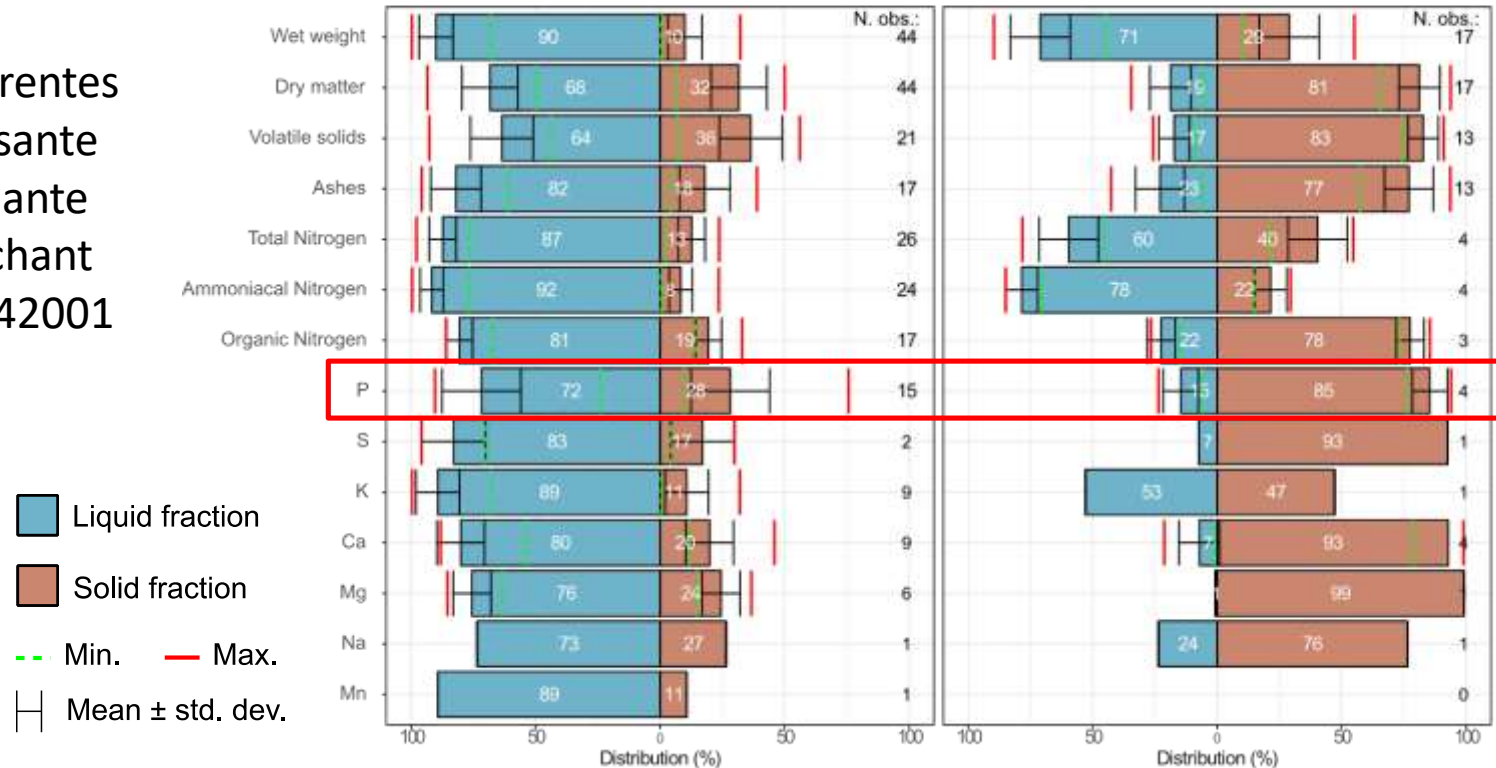
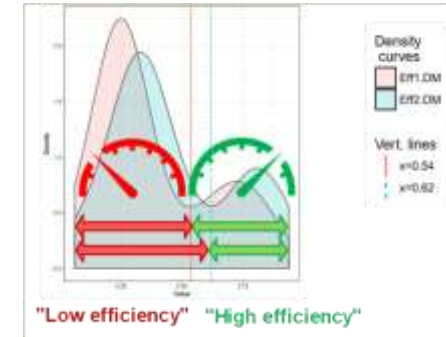
Intérêts:

- 2 produits de qualités différentes
- Liquide plutôt valeur fertilisante
- Solide plutôt valeur amendante
- Potentiellement se rapprochant des normes NFU 44051 et 42001

Presse à vis



Centrifugation



Guilayn, F., et al., 2019. Digestate mechanical separation: Efficiency profiles based on anaerobic digestion feedstock and equipment choice. *Bioresour. Technol.* 274, 180–189.

Post-traitements classiques

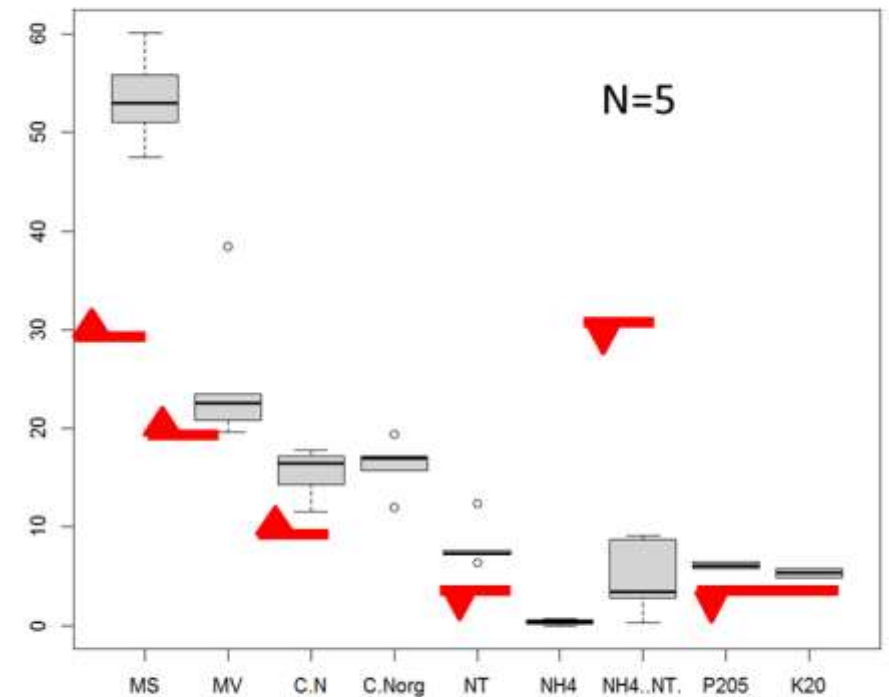
- Stockage
 - Projets Concept-Dig (ADEME, 2019) et MethaPolSol (ADEME, 2019): Digestats effluents d'élevage
 - Digestats bruts et liquides:
 - C: impact peu significatif 5-6% C_{org} de biodégradation pour les digestats bruts et 6-10% C_{org} pour les phases liquides
 - N: Impact dû à la volatilisation de l'ammoniac qui peut être maîtrisée ou non (Couverture : - 80% d'émission, Pilotage du croutage : jusqu'à - 30-40% d'émission)
 - Digestat solide: impact significatif 24 - 40% C_{org} et montée en T°C



INRAe, OPAALE (R. Girault)

Post-traitements classiques

- Compostage
 - Retrouvé sur les usines de traitement des FFOM en co-compostage avec déchets verts (structurant)
 - Intérêts:
 - Hygiénisation avec montée en T°C
 - Produit normé **NFU 44051**
 - Produit stabilisé: amendement
 - Moins intérêt fertilisant
(exemple: $K_{eq} = 0.08$, ANR DIVA, 2013)





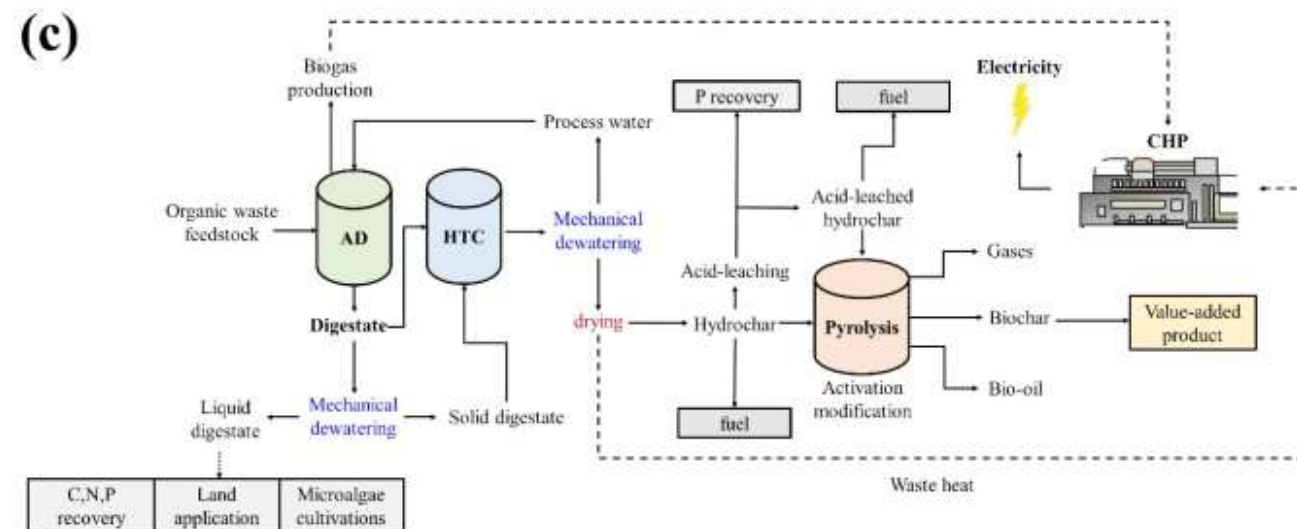
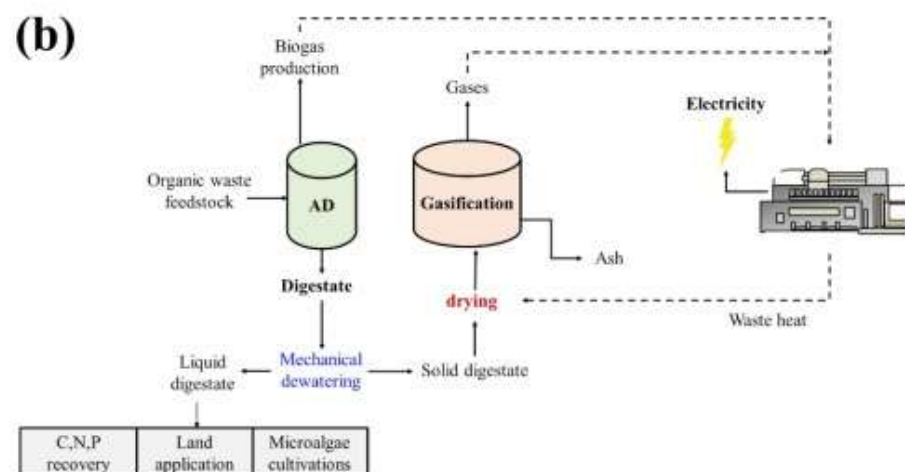
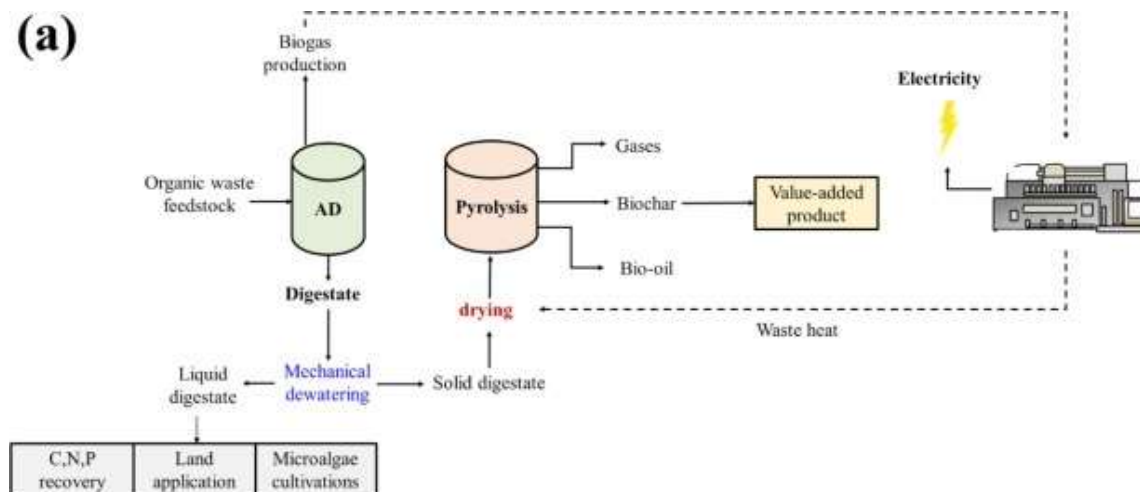
Post-traitements alternatifs et R&D

- Récupération de nutriments
 - stripping NH_3 , évapoconcentration, ajout adsorbants (biochars, ...), cristallisation (P)
- Focus matière organique:
 - Granulation, séchage, compostage/vermicompostage, pyrolyse (biochars), extractions acides humiques (biostimulants)
- Récupération énergie
 - Conversion thermique, production microalgues (biocarburants), saccharification puis fermentation, ...



Conclusions

- Digestats de biodéchets: co-substrat
- Peu de données recensées sur valeur amendante, fertilisante, impact du la biologie et structure du sol des digestats de biodéchets: projet FertiDig (ADEME, 2021-2024) et MéthaBiosol (CASDAR, ADEME, 2021-2024)
- Innocuité et hygiénisation: programmes de recherche en cours
- Selon quantité de biodéchets: digestat = produit, sinon statut de déchets
 - Post-traitements nécessaires



Pyrolyse ou Carbonisation hydrothermale sur digestats
biodéchets/FFOM
Wang and Lee, 2021