



Ferti-Dig - lancement du guide « Fertiliser avec les digestats de méthanisation agricole »

Julie JIMENEZ



Mariana MOREIRA



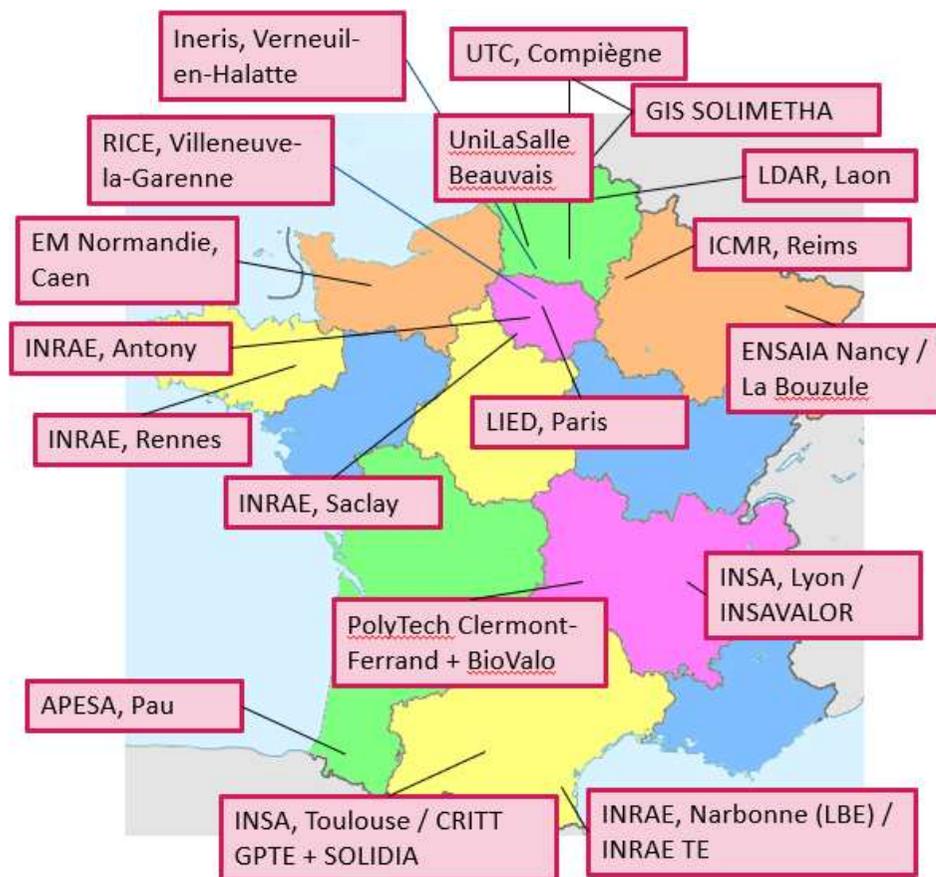
Thiébaut Simon



14 juin 2024



Centre Technique national du Biogaz et de la Méthanisation



- Réseau des laboratoires
- Vecteur de diffusion des connaissances (InfoMétha.org et [webinaires](#))
- Co-organisateur des [Journées Recherche Innovation](#)
- GT : Valorisation du CO₂, Formations, Emissions fugitives
- Entité du Club Biogaz de l'ATEE, basée à La Défense
- Soutenu par l'ADEME depuis 2019

<https://atee.fr/energies-renouvelables/club-biogaz/ctbm>



Ferti-Dig - lancement du guide

« Fertiliser avec les digestats de méthanisation agricole »



- Bref présentation du projet
 - Contexte et méthodologie
 - Nouvelle typologie des digestats
 - Impact de la typologie sur les indicateurs environnementaux et de fertilité du sol
 - Les fiches digestats
- Présentation du site web
 - Description générale
 - Réponses à des questions-type et mise en situation
- Questions/réponses



Ferti-Dig

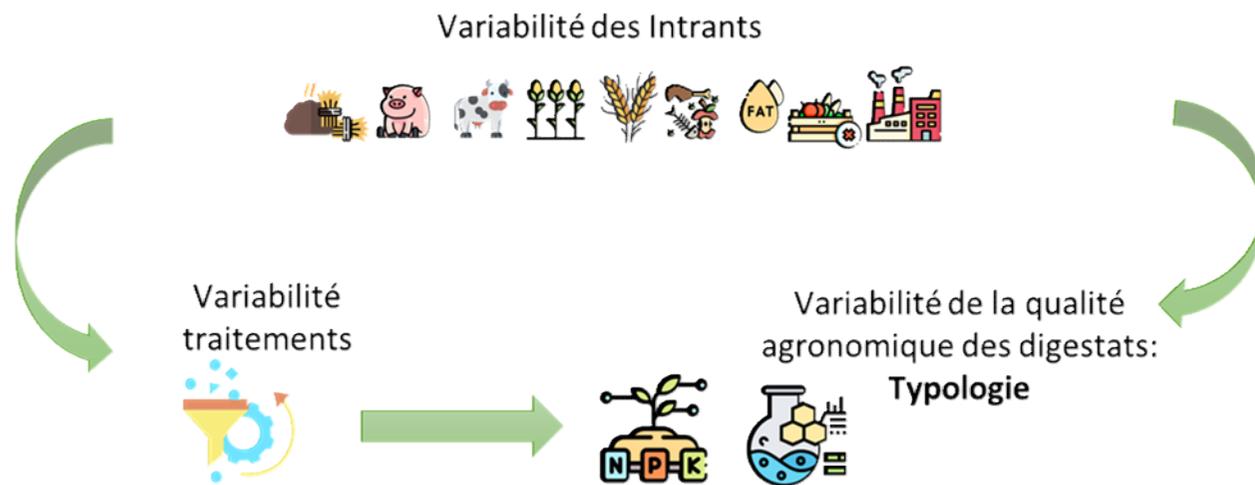
Faut-il raisonner le retour au sol des digestats par typologie?

2021-2024



Contexte et question de recherche

Variabilité des digestats: pas Un mais DES digestats

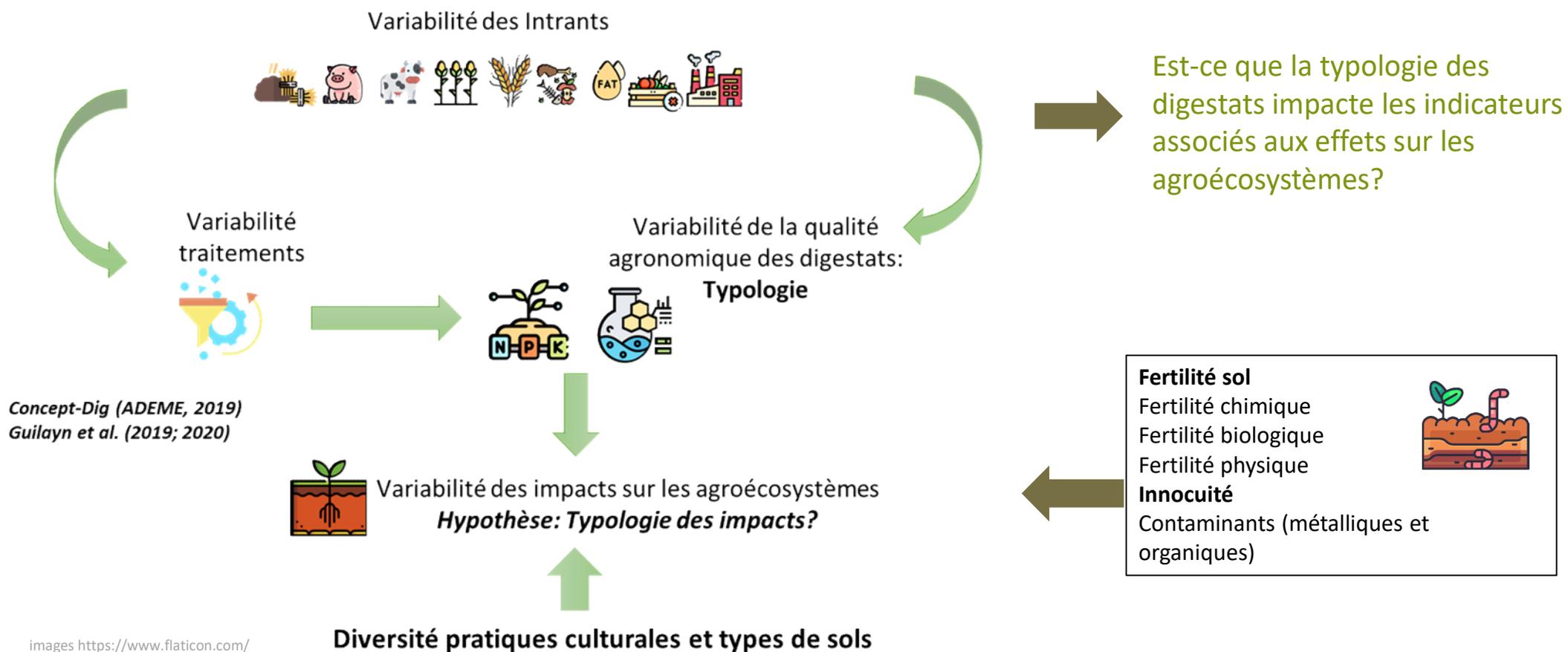


Concept-Dig (ADEME, 2019)
Guilayn et al. (2019; 2020)

images <https://www.flaticon.com/>

Contexte et question de recherche

Variabilité des digestats: pas Un mais DES digestats



images <https://www.flaticon.com/>

Contexte et question de recherche

Variabilité des digestats: pas Un mais DES digestats



Variabilité des Intrants



Variabilité traitements



Variabilité de la qualité agronomique des digestats:

Typologie



Variabilité des impacts sur les agroécosystèmes
Hypothèse: Typologie des impacts?



Diversité pratiques culturales et types de sols

Guide de bonnes pratiques d'utilisation des **digestats d'origine agricole**

Site web (2024)



à destination de :

- Agriculteurs
- Méthaniseurs
- Conseillers agronomie/énergie
- Enseignants
- ...

Concept-Dig (ADEME, 2019)
Guilayn et al. (2019; 2020)

images <https://www.flaticon.com/>

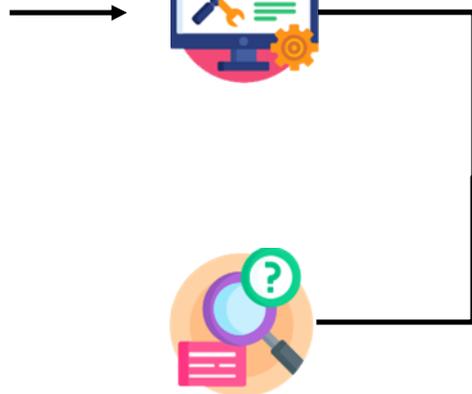
Méthodologie



Utilisateurs:
Cahier des charges
Test et utilisation



Experts



Production du guide
Question de recherche



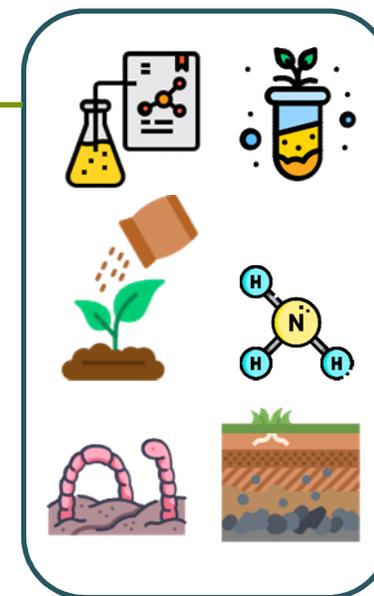
Recensement
de données



Bases de données
(digestats et effets)
Analyses des données



Manques?



Expérimentations
Indicateurs

images <https://www.flaticon.com/>



Base de données « digestats »



Base de données

« caractérisation des digestats de méthanisation d'origine agricole »

Echantillons

2006 – 2022

52 départements

165 unités de méthanisation

Sources :

INRAE, CAB, ADEME Concept-Dig / AAMF, Lycée Obernai

608 digestats,

Dont 481 pour établir la classification

Fractions : 56% bruts, 21% liquides, 18% solides, 5% compostés

Paramètres physico-chimiques (MS, MO, C, Ntot, N-NH4, P, K, C/N...)

Contaminants (minéraux, organiques)

Composition en intrants (15 catégories) et conditions procédés

images <https://www.flaticon.com/>

Collection Ferti-Dig "use of agricultural digestates"

<https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/dataverse/ferti-dig>

Analyses statistiques: Analyse en Composantes Principales et Classification Hiérarchique Ascendante

WEBINAIRE ATEE



Fertilité chimique

- Capacité à fournir des éléments nutritifs pour les plantes
- *Apport de nutriments (N, P, K) disponibles*

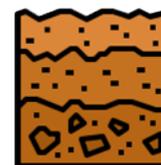


Indicateurs

- N efficace (Keq N)
- Risques de volatilisation de NH_3
- %Minéralisation de Norg dans le sol

Fertilité physique

- Améliore la structure du sol, sa capacité de rétention d'eau, sa porosité (aération), résistance à l'érosion et compaction
- *Apport de MO stable*



- %Minéralisation de C dans le sol, ISMO, ISBAMO
- Stabilité structurale (*Diamètre moyen pondéré*)
- Rock Eval C (projet Metha-BioSol)

Fertilité biologique

- Améliore l'activité biologique des micro-organismes et méso-organismes qui décomposent la matière organique (MO)
- *Apport de MO labile*



- Vers de terre (abondance et diversité)
- Nématodes (projet Metha-BioSol)
- Micro-organismes (abondance et diversité, projet Metha-BioSol)

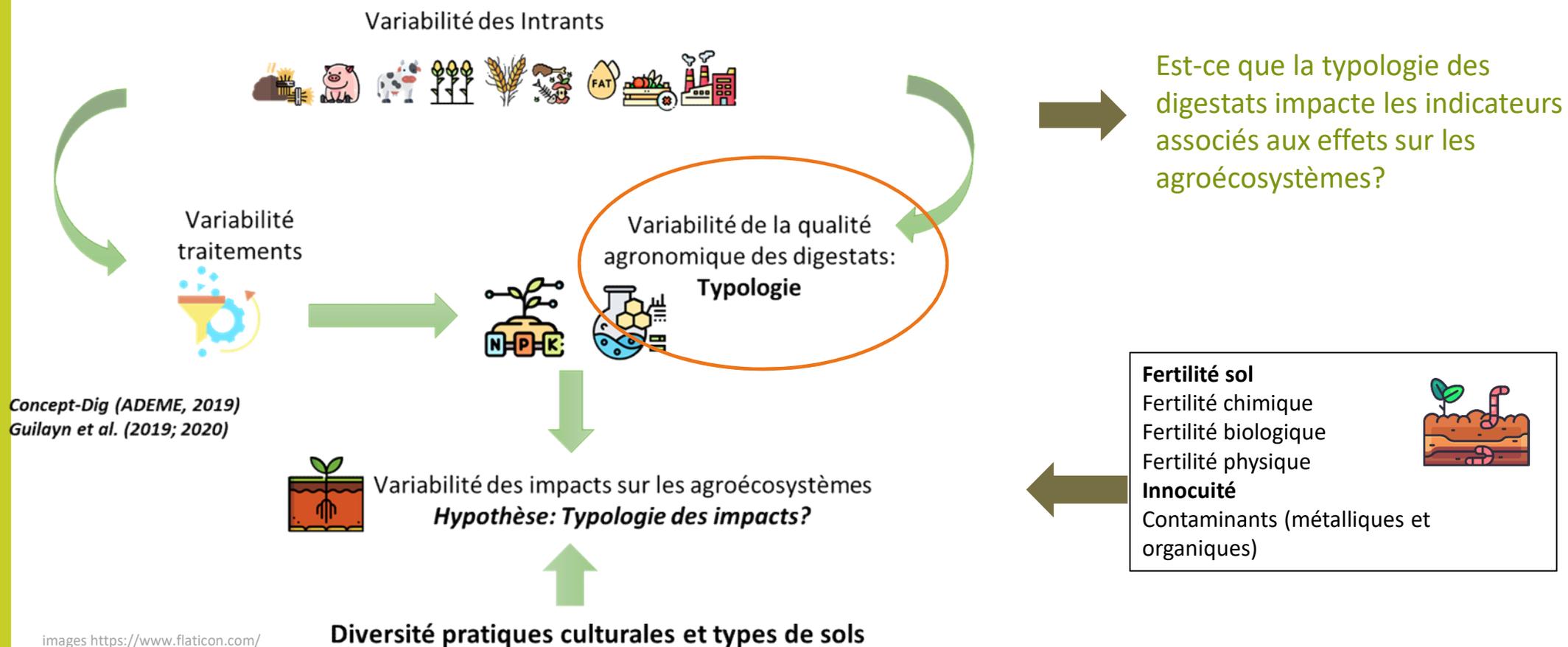


Légende: Nombre d'observations nécessaires par typologie de digestats
 Peu de données Nombre de données suffisant

images <https://www.flaticon.com/>

Contexte et question de recherche

Variabilité des digestats: pas Un mais DES digestats



images <https://www.flaticon.com/>

Typologie des digestats: historique



Deux études basées sur les mêmes variables descriptives des digestats

Thèse F. Guilayn (Guilayn et al., 2019)

Paramètres physico-chimiques

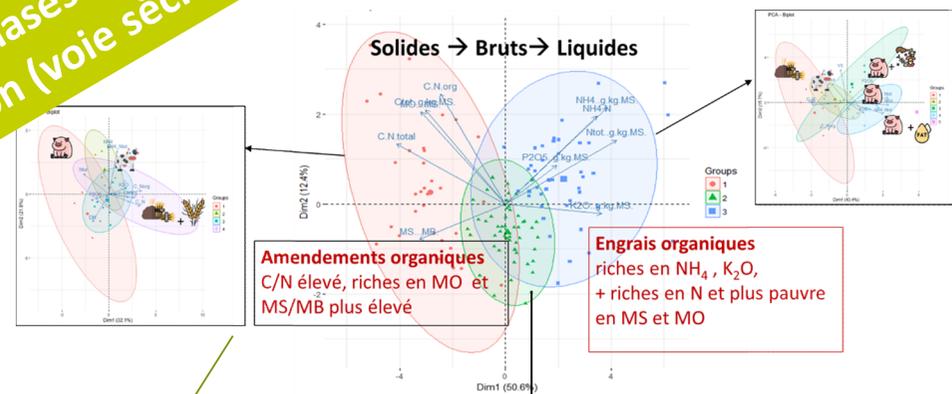
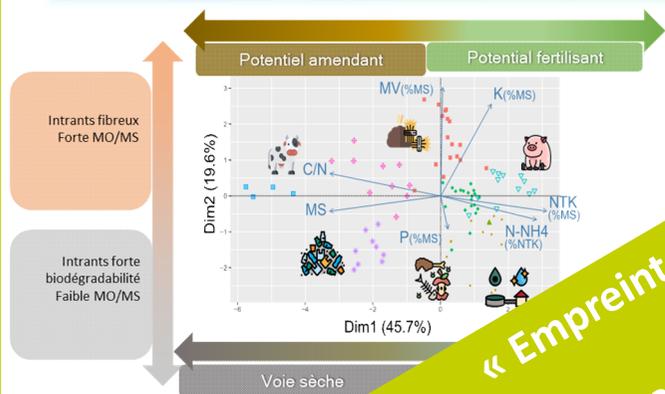
MS, MO, C, K₂O, P₂O₅, NT, NH₄, C/N

Concept-Dig (ADEME, 2019)



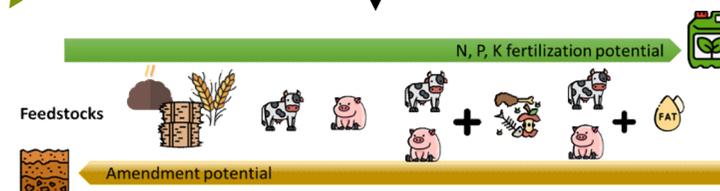
Données littératures + internes : 150 digestats urbains + agricoles

Données sites agricoles: 72 sites (AAMF)



**« Empreinte » nature intrants sur qualité digestats
Impact séparation de phases
Impact condition méthanisation (voie sèche)**

Nbre limité: 48 bruts, 33 liquides, 30 solides
Manques: voie sèche, digestats issus de nouveaux intrants (CIVEs, biodéchets, ...)
Beaucoup de classes, peu de données et très peu de données d'effets!



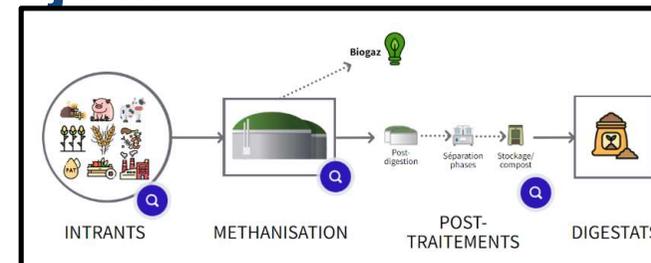
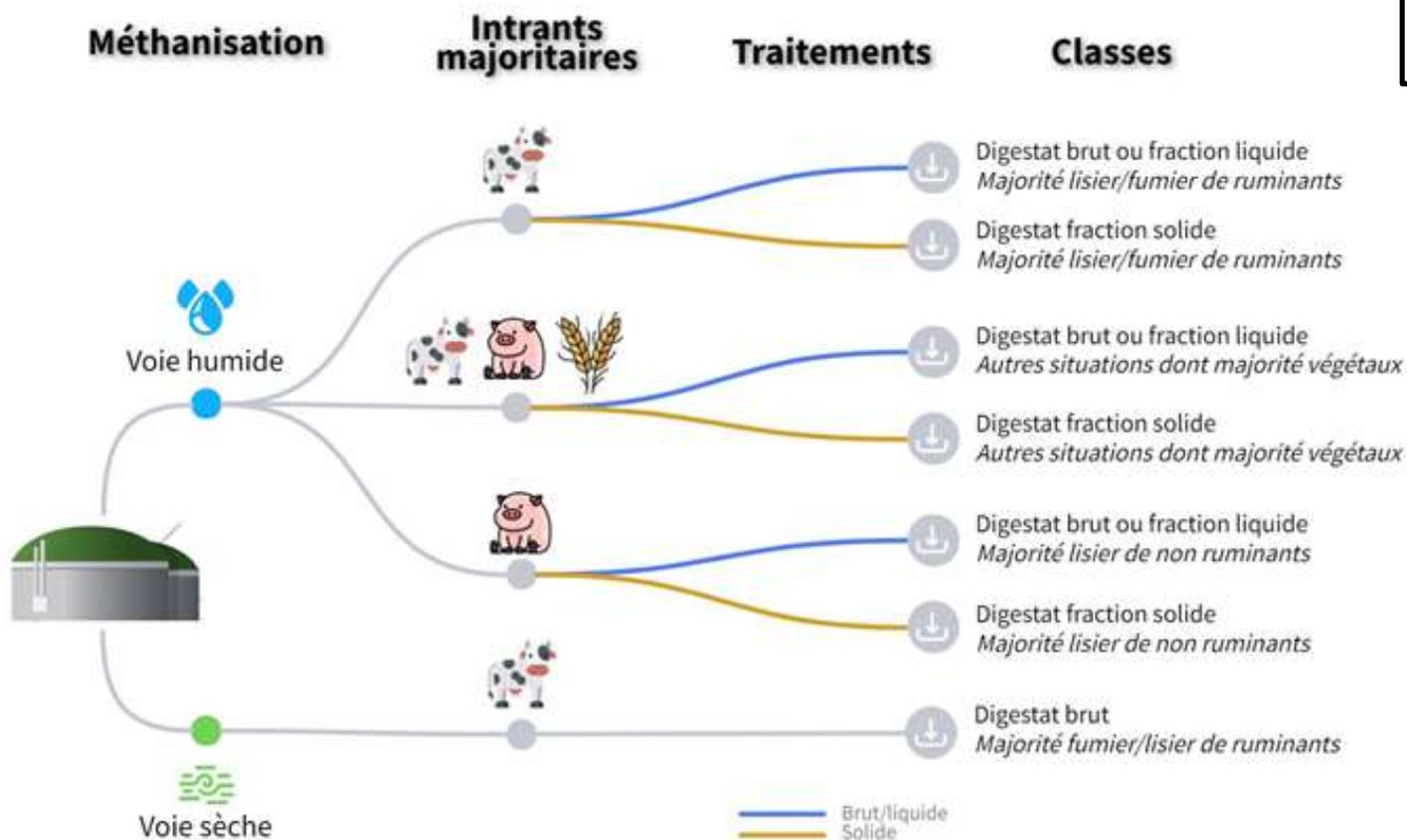
images <https://www.flaticon.com/>

Webinaire de lancement du guide « Fertiliser avec les digestats de méthanisation agricole » - 14 juin 2024

<https://inraelbe.shinyapps.io/ConceptDig/>
<https://projet-methanisation.grdf.fr>

Typologie des digestats: mise à jour

Résultats des analyses statistiques



Fumier/lisier bovins

Co-digestion avec résidus de récoltes et résidus intra-exploitation

Intermédiaires:

Lisiers en mélange co-digestion avec CIVEs et intrants CIVEs majoritaires

Lisier de porc et non ruminant

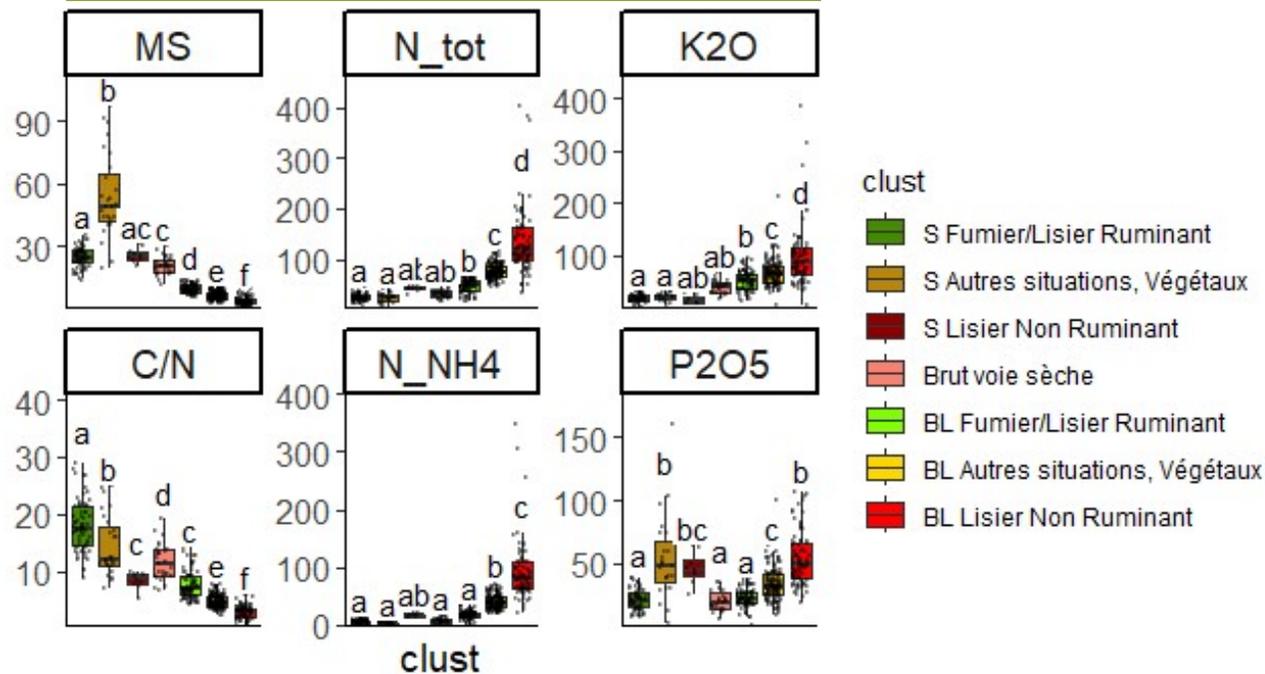
Co-digestion avec biodéchets, graisses, déchets agroindustries, résidus extra-exploitation

Fumiers bovins et résidus de récoltes

Typologie des digestats: paramètres physico-chimiques



Concentrations (g/kg MS)
des paramètres physico-chimiques par typologie



MS: matière sèche en % matière brute (%MB)
N_NH4: azote ammoniacal en g/kgMS
Ntot: azote total en g/kgMS

C/N : ratio entre carbone et azote total
K2O: potassium total en g/kgMS
P2O5: phosphore total en g/kgMS

Brut/
liquide



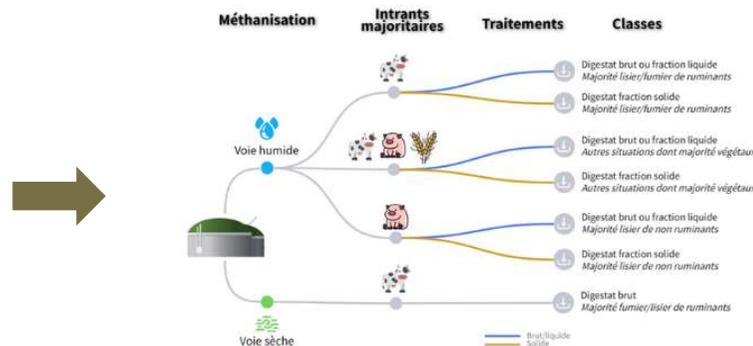
Solide/
compost

images <https://www.flaticon.com/>

Typologie des digestats: validation



Analyses physico-chimiques
MS, MO, Ntot, NH4, P2O5, K2O



Classe prédite (distance euclidienne)
Concept-Dig 2.0 (en cours de mise à jour)

Comparaison à la Base de données

Tests sur 30 digestats

Nom du digestat analysé	Typologie		Métadonnées		
	Classe prédite		Voie sèche / humide	Fraction	Intrants
FertiDig_7	Brut-Liquide Majorité lisier de non ruminants	de non	Humide	Brut	45 % Lisier non ruminant + 40 % graisses + 15 % matières végétales
FertiDig_16	Brut-Liquide Autres situations dont intrant majorité végétaux	Autres situations dont majorité végétaux	Humide	Brut	Ensilages (55%) + CIVE (45%)
FertiDig_33	Brut voie sèche		Sèche	Brut	Fumier

images <https://www.flaticon.com/>

Selon ration, post-traitement -> certains sites passent d'une classe à une autre

Typologie des digestats: indicateurs d'effet



- Quel impact de la typologie sur les indicateurs environnementaux et de fertilité du sol ?
 - **innocuité** : ETM et HAP
 - **stabilité de la matière organique** et la **disponibilité en azote**
 - **coefficient d'équivalence engrais**
 - risque de **volatilisation d'ammoniac** à l'épandage
 - **fertilité physique** du sol
 - **biologie du sol**
- Analyse des données existantes et des données acquises par typologie de digestats

Indicateurs de l'innocuité

Quel impact de la typologie sur ces indicateurs?



Éléments Traces Métalliques (ETM) - réglementations

- Teneurs en mg/kg MS globalement < seuils réglementaires
- Certains ETM néanmoins à surveiller: **Cu et Zn** (digestats issus de lisiers porcs), **Hg** (digestats fumiers/lisiers bovins)

Contaminants organiques – HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques)

- Teneurs en mg/kg MS globalement << seuils réglementaires



Stabilité de la MO et disponibilité N

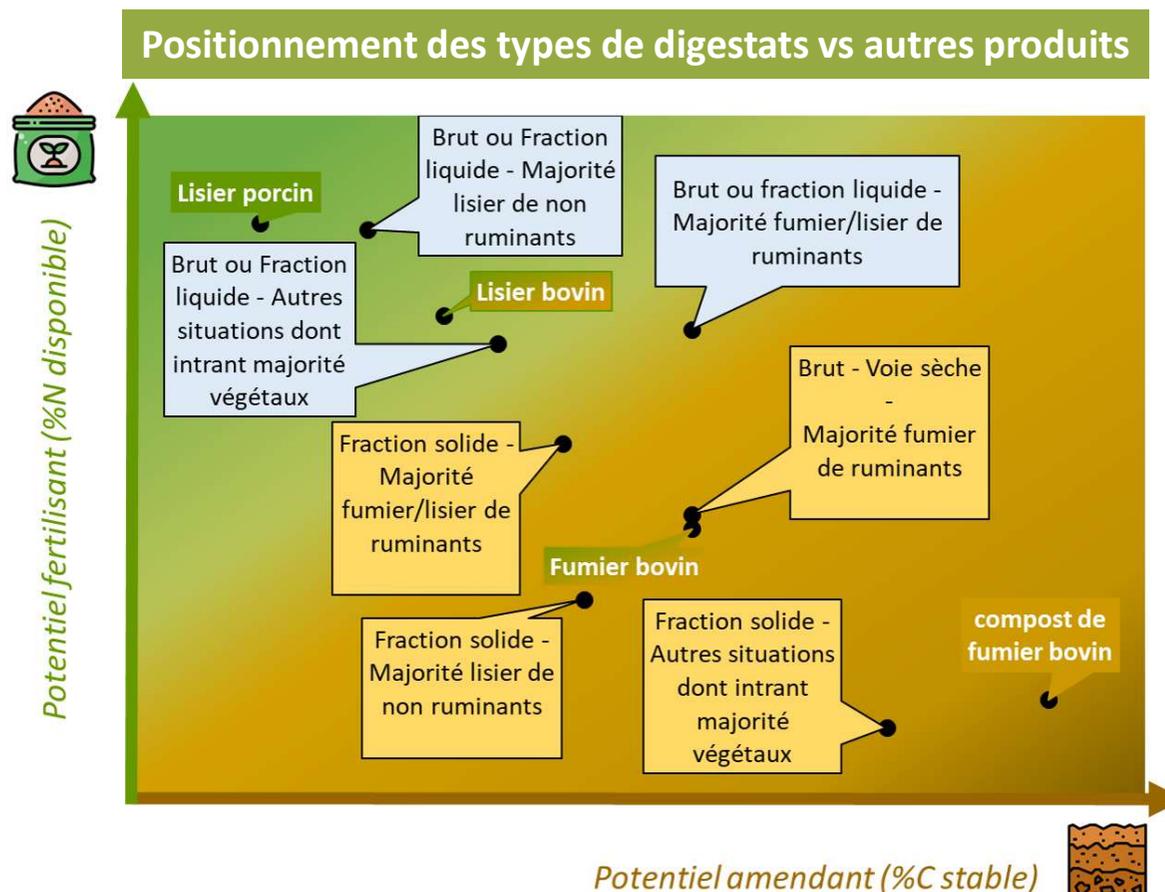


Quel impact de la typologie sur ces indicateurs?

Indicateurs: stabilité MO et disponibilité N

- ISMO:** indice de stabilité de la matière organique (% MO)
- N_NH4:** azote ammoniacal (% N total)
- C91 :** C minéralisé en 91 jours (% du C)
- N91 :** N minéralisé en 91 jours (% du N organique)
- N disponible:** somme NH4 + N91 (% N total)

Indicateurs obtenus en conditions contrôlées

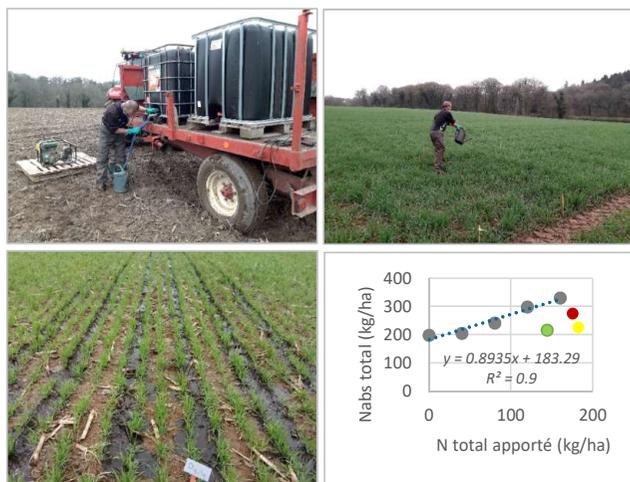


images <https://www.flaticon.com/>

Quel impact de la typologie sur ces indicateurs?

$$N \text{ efficace digestat} = N \text{ total digestat} \times Keq N$$

4 dispositifs du type courbe de réponse à l'azote
Bretagne et Grand Est - 2022



7 digestats testés dont
ration 100% végétale ; ration avec biodéchets ; C/N élevé

images <https://www.flaticon.com/>

Groupe de travail Comifer PRO

Echantillonnage

- 40 essais au champ
- 2010 - 2022
- 22 départements

Sources

- Arvalis, CA, INRAE, LDAR, Lycée Obernai

Tendance observé pour les Keq N des digestats bruts/liquides :



- Keq N plus élevé pour les digestats issus de lisier de non ruminants
- mêmes gradients que la teneur en azote dans la classification

nouvelle grille digestats en cours de finalisation

Toujours se référer aux arrêtés des GREN régionaux

Volatilisation NH₃, fertilité physique et biologique



Quel impact de la typologie sur ces indicateurs?

Manque de données par typologie
-> pas de tendances identifiées par typologie

Toutefois...

✓ Etat des connaissances dans le guide site web



Indicateurs biologie du sol



Colloque MethaBioSol le 25 juin 2024 à Dijon!

Webinaire de lancement du guide « Fertiliser avec les digestats de méthanisation agricole » - 14 juin 2024

Les effets des digestats après épandage

Valeur agronomique des digestats
Les digestats présentent des propriétés minérales et organiques. Leurs effets « fertilisants » (apport d'éléments nutritifs pour les cultures) et « amendants » (amélioration de la structure du sol) sont variables selon les types de digestats.

- ↳ Valeur fertilisante
- ↳ Valeur amendante
- ↳ Risques de transfert de métaux lourds

Effets des digestats sur la structure du sol
Le séjour dans le sol de la matière organique apportée par les digestats est susceptible d'améliorer la stabilité structurelle du sol, si condition que des précautions soient prises lors de l'épandage pour éviter le tassement du sol.

- ↳ Effets des digestats sur la stabilité structurelle des sols
- ↳ Impact de l'épandage de digestats sur la stabilité des sols

Effets des digestats sur la biologie du sol
L'épandage de digestats de méthanisation est susceptible d'avoir un effet sur les organismes vivants dans le sol (macrofaune, mésofaune et microorganismes), mais peu de données scientifiques sont disponibles pour décrire et quantifier objectivement cet impact. Les résultats du projet MethaBioSol (2021-2024) contribueront à améliorer les connaissances sur ce sujet.

- ↳ Effets des digestats sur les lombriciens (vers de terre)
- ↳ Effets des digestats sur la microfaune des sols
- ↳ Effets des digestats sur les microorganismes

Risques environnementaux et innocuité
L'épandage de digestats peut avoir un impact sur la qualité de l'eau ou sur la qualité de l'air ? Préviend-il un risque d'émission de gaz à effet de serre ? Quels sont les risques de transfert et/ou accumulation d'éléments nutritifs dans l'eau, l'air ou le sol ? Tous ces risques dépendent du type de digestat, du type de sol, de l'état de surface et des conditions météorologiques à l'épandage, du couvert végétal en place, de la dose apportée, des mobilités d'épandage.

- ↳ Risques de transfert dans l'eau (nitrates)
- ↳ Risques de transfert dans l'atmosphère
- ↳ Risques d'émission de gaz à effet de serre
- ↳ Impact de l'épandage de digestats sur les métaux lourds

Synthèse sur Typologie et effet des digestats



Quel impact de la typologie sur ces indicateurs?

Réponse : cela dépend des indicateurs

- Fertilité biologique et physique et risque de volatilisation de NH_3 : nécessité d'avoir plus de données par typologie et conditions pédoclimatiques
- Autres indicateurs à considérer (structure physique)?

MS faible
teneur en N importante,
% $N-NH_4$ et N minéralisé
élevés
C/N faible
Keq N ≥ 0.6



MS élevée
faible teneur en
nutriments
C/N et/ou Cstable élevés
Keq N $\leq 0,3$

images <https://www.flaticon.com/>

Les « fiches digestats »



Quel impact de la typologie sur ces indicateurs ?

DIGESTAT BRUT OU FRACTION LIQUIDE majorité fumier/lisier de ruminants

Intrants majoritaires

- Fumier de ruminants
- Lisier de ruminants
- Matière végétale : agro-industrie/urbaine, déchets végétaux, matière végétale agricole et ensilages

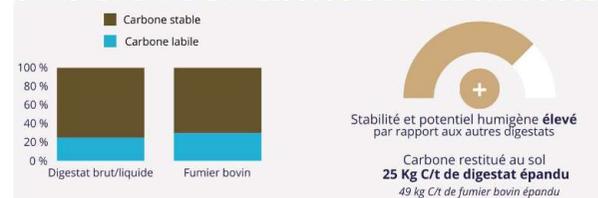


COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUE

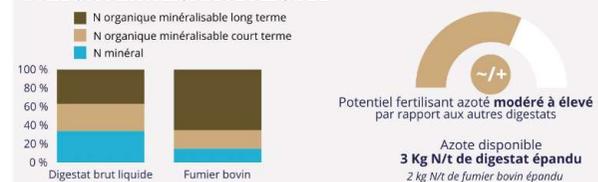
MS (% MB)	MO (% MB)	C (kg/t MB)	C/N tot	C/N org
8-12	5-7	29-41	6-9	9-15
N tot (kg/t MB)	N NH4 (kg/t MB)	N org (kg/t MB)	P2O5 (kg/t MB)	K2O (kg/t MB)
4-6	1-2	2-4	2-3	4-6

MB = Matière Brute
MS = Matière Sèche
MO = Matière Organique
C = Carbone
N tot = Azote total
N NH4 = Azote ammoniacal
N org = Azote organique
P2O5 = Phosphore total
K2O = Potassium total

CAPACITÉ A ENTREtenir LES STOCKS DE CARBONE DU SOL



VALEUR FERTILISANTE AZOTÉE



RECOMMANDATIONS À L'ÉPANDAGE

Digestat à épandre au plus près de la période d'absorption intense de l'azote minéral de chaque culture.

Culture	Période optimale d'épandage*	Équipement		
		Pendillard	Pendillard avec gâchette	Injecteur à disques / type graine
colza, couverts d'hiver	avant semis	si incorporation rapide au sol (< 4 heures)		
colza, couverts d'été	en sortie d'hiver (colza uniquement)	éviter les jours de vent et température > 15°C		
blé, orge et couvet d'hiver	en sortie d'hiver	éviter les jours de vent et température > 15°C	éviter la période de vent, à usage de culture	
maïs, orge printemps, betterave, tournesol	avant semis	si incorporation rapide au sol (< 4 heures)		
prairie	avant semis	éviter les jours de vent et température > 15°C pour favoriser l'impact du compost sur la pousse de la prairie		
	après récolte	si incorporation rapide au sol (< 4 heures)		

Le calcul de la dose à épandre doit considérer l'équilibre de la fertilisation (N, P et K) et l'équivalence engrais azoté des digestats - Keq N - indiqué dans l'arrêté du GREN de votre région (Groupe Régional d'Expertise Nitrates).
Ne pas oublier de regarder les quantités apportées en phosphore et potassium.

CONTAMINANTS ORGANIQUES

La présence d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et de polychlorobiphényles (PCB) reste inférieure aux seuils réglementaires

ELEMENTS TRACES METALLIQUES

A surveiller
NF U 44-051 : As, Cu, Hg, Se, Zn
CDC Agri : Hg, Zn
UE : Hg

images <https://www.flaticon.com/>



Ferti-Dig – site web

« Fertiliser avec les digestats de méthanisation agricole »



Ferti-Dig – site web



« Fertiliser avec les digestats de méthanisation agricole »

➤ Le cahier des charges

- Entretiens semi directifs
 - 4 enseignants
 - 27 conseillers
 - 17 agriculteurs
- Enquête en ligne (85 réponses)

➤ Des tests réalisées

- 39 enseignants et étudiants
- 11 conseillers
- 11 équipe projet

➤ Des mises à jour prévues

✓ **téléchargeable** au format PDF

✓ **disponible en accès libre**

✓ **destiné à un double public**

- les acteurs de la filière, les agriculteurs et leurs conseillers
- les enseignants de l'enseignement technique agricole

✓ **intégrant les caractéristiques agronomiques et des conseils d'apport**

✓ **proposant 2 niveaux de lecture** : informations synthétiques + développements plus approfondis

✓ **avec possibilité de mise à jour**

<https://fertiliser-avec-des-digestats.fr/>



Ferti-Dig - Annexes

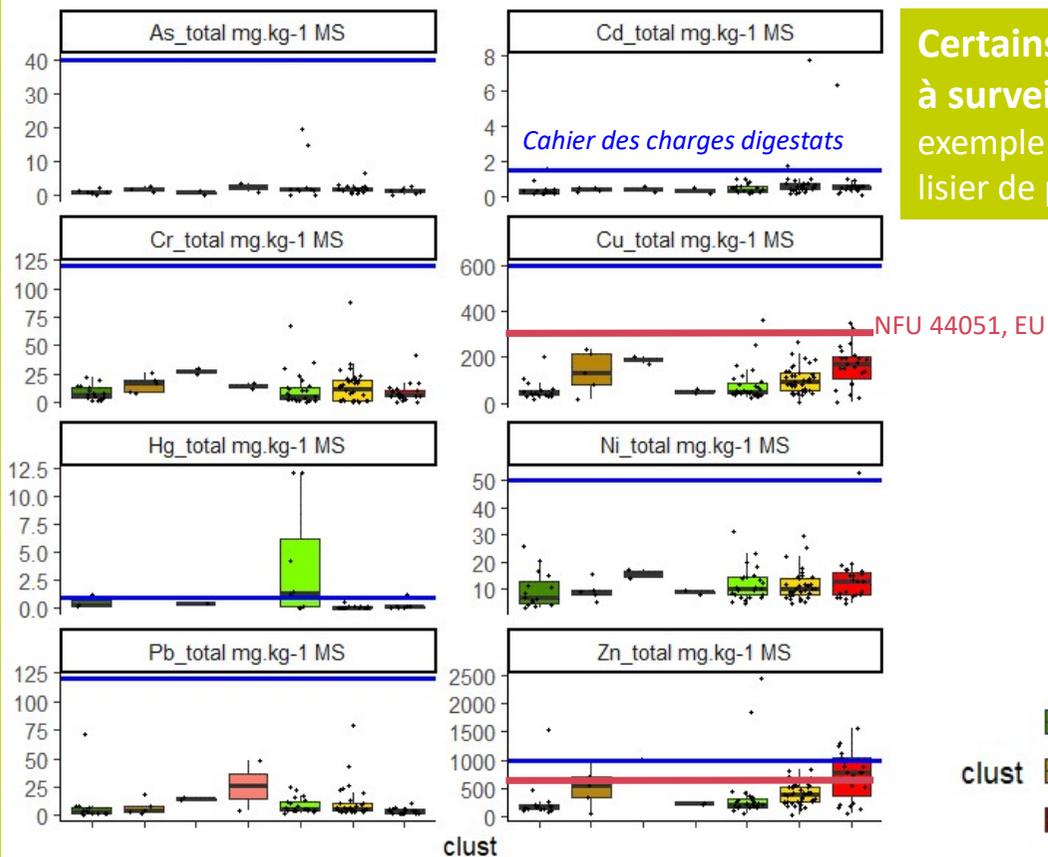
Faut-il raisonner le retour au sol des digestats par typologie?

2021-2024

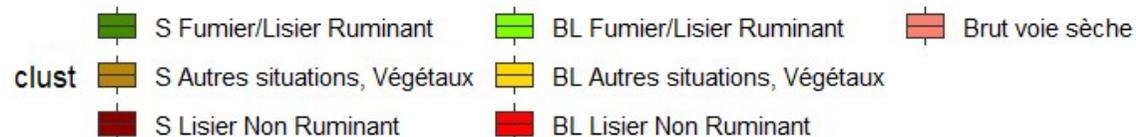
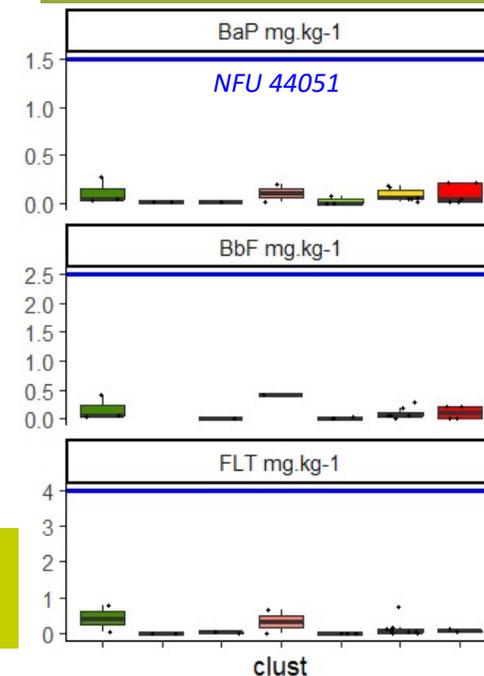


Innocuité: quel impact de la typologie sur ces indicateurs?

Éléments Traces Métalliques (mg/kg MS)



Hydrocarbures aromatiques polycycliques HAP (mg/kg MS)



Stabilité de la MO et disponibilité N

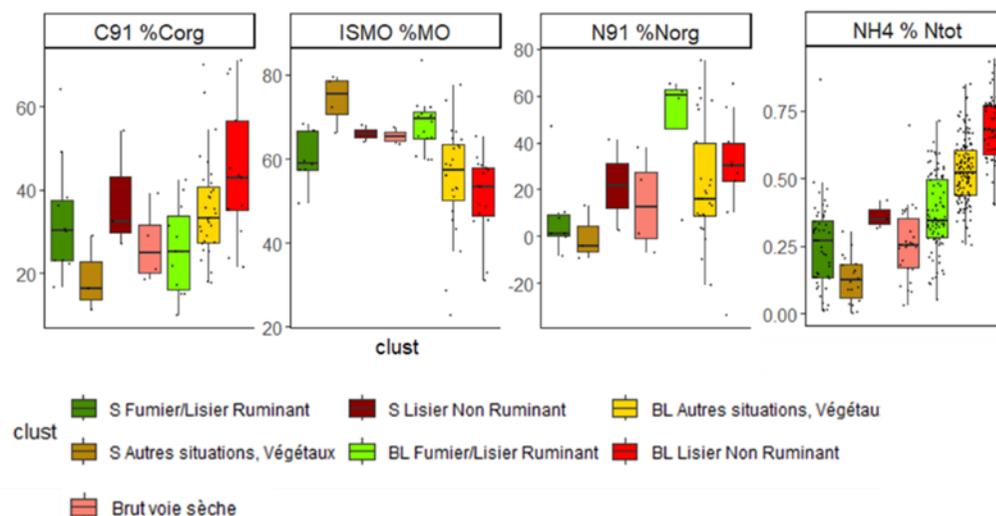


Quel impact de la typologie sur ces indicateurs?

Indicateurs: stabilité MO et disponibilité N

- ISMO:** indice de stabilité de la matière organique (% MO)
- N_NH4:** azote ammoniacal (% N total)
- C91 :** C minéralisé en 91 jours (% du C)
- N91 :** N minéralisé en 91 jours (% du N organique)
- N disponible:** somme NH4 + N91 (% N total)

Propriétés agronomiques: stabilité MO et disponibilité N



S: fraction solide
BL: fraction brute et liquide

Risque de volatilisation de NH₃ à l'épandage



Quel impact de la typologie sur ces indicateurs?

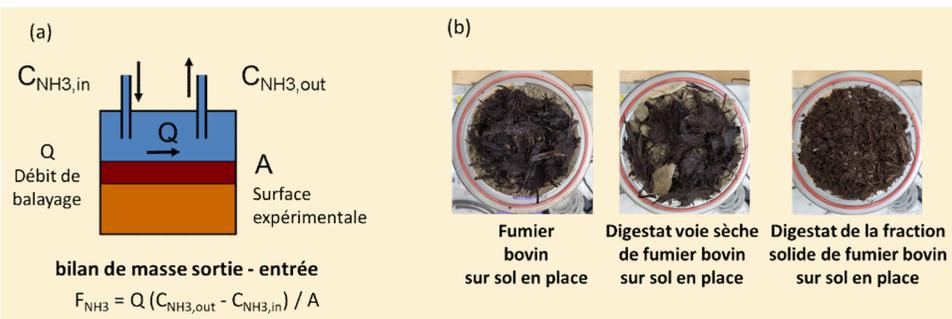
Des produits prédisposés à la volatilisation → risque de perte d'efficacité azotée

% N-NH₄

pH élevé

% MS

Des mesures du potentiel de volatilisation réalisées en conditions contrôlées :



Dispositif Caract'air : (a) principe et (b) apports des PRO solides de la CRAGE sur le sol en place avant la fermeture des cellules pour le suivi de la volatilisation

Manque de données par typologie, pas de tendances identifiées

Toutefois...

- ✓ Digestats liquides : risque de volatilisation de NH₃ plus faible que les digestats bruts « pâteux » ou solides (vitesse d'infiltration dans le sol)
- ✓ Digestats en voie sèche : grande variabilité de résultats mais risque observé le plus élevé
- ✓ Conditions pédoclimatiques et pratiques à considérer
- ✓ Besoin de plus de données obtenues en conditions contrôlées
- ✓ D'autres descripteurs complémentaires ?



Quel impact de la typologie sur ces indicateurs?

Indicateurs de fertilité physique - approche par la mesure de la *stabilité des agrégats*

- Pas assez de données par typologie ...
- Impact type sol/dispositif fort
- Tendances observées et préconisations :
 - risques de dispersion des agrégats, notamment dans les sols argileux
 - les digestats solides sont à privilégier
 - la combinaison de l'épandage de digestat avec des pratiques de conservation des sols doit être encouragée



Indicateurs de fertilité biologique – vers de terre et projet Métha-BioSol



- Pas assez de données par typologie ...
- Impact type sol/dispositif fort
- Tendances observées pour les vers de terre :
 - Mortalité de surface juste après épandage : pas systématique, faible en % de la population initiale (max 2%), liée à la teneur en N-NH4 des digestats
 - A moyen terme, les effets positifs (liés aux apports de matières organiques) sont supérieurs aux effets potentiellement négatifs (toxicité)

