



# Ferti-Dig

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

2021-2024



Mariana  
MOREIRA



Julie  
JIMENEZ



# Ferti-Dig

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

## Le projet Ferti-Dig

- Contexte et méthodologie
- Nouvelle typologie des digestats
- Impact de la typologie sur les indicateurs environnementaux et de fertilité du sol

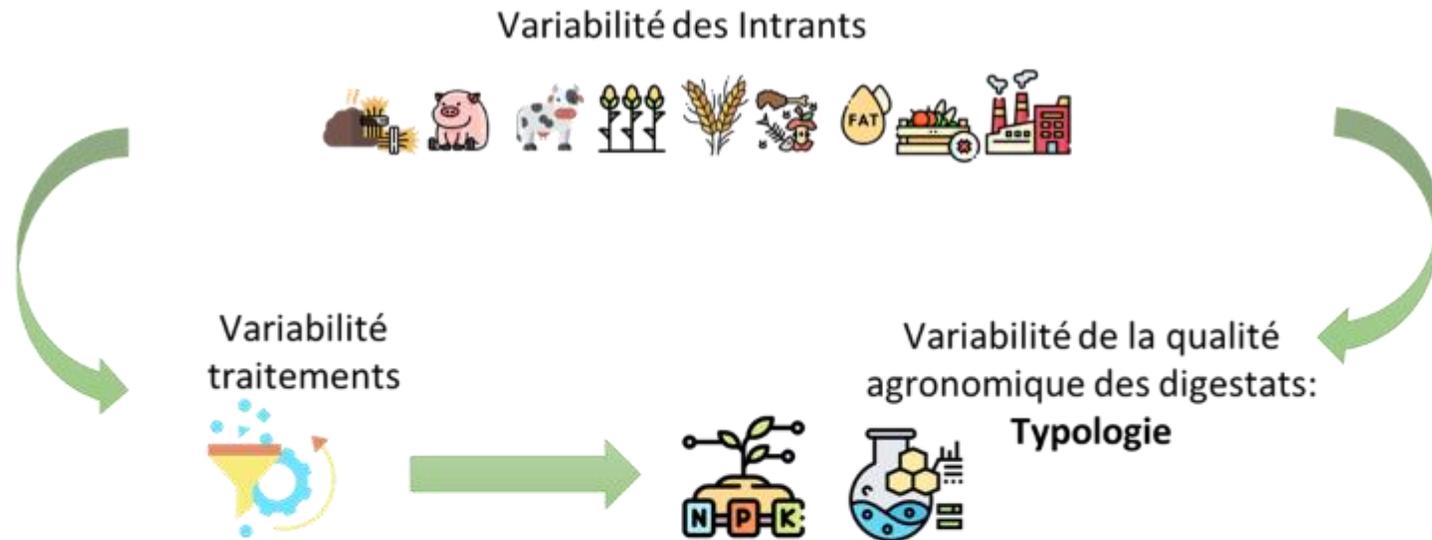


Les fiches digestat

Le site web

# Contexte

## Variabilité des digestats : pas UN mais DES digestats



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



Est-ce que la typologie des digestats impacte les indicateurs associés aux effets sur les agroécosystèmes?

**Fertilité sol**  
Fertilité chimique  
Fertilité biologique  
Fertilité physique

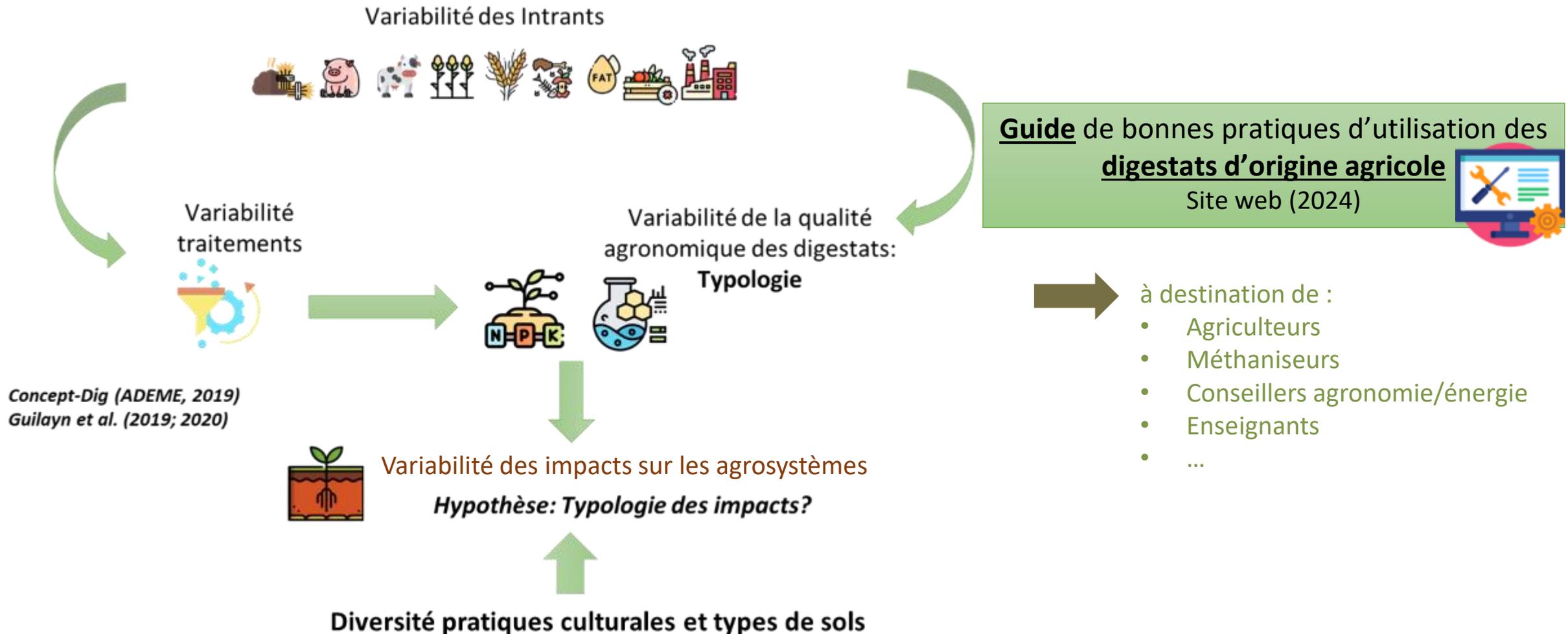
**Innocuité**  
Contaminants (métalliques et organiques)





# Contexte

Variabilité des digestats : pas UN mais DES digestats

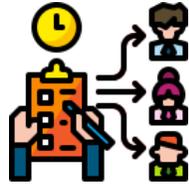


# Méthodologie



**Utilisateurs:**

Cahier des charges  
Test et utilisation



Experts



Production du guide  
Question de recherche



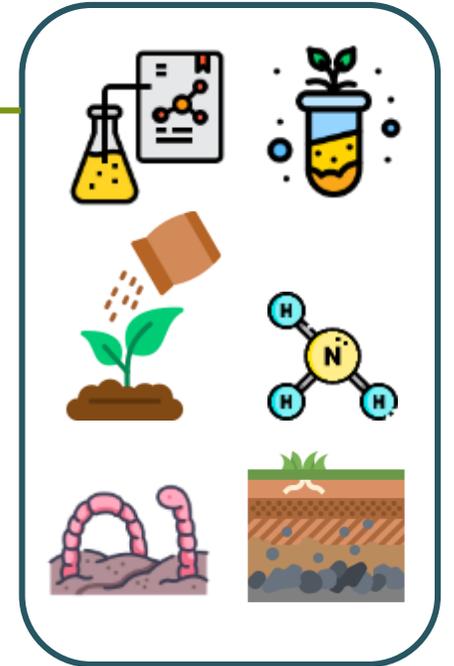
Recensement  
de données



Bases de données  
(digestats et effets)  
Analyses des données



Manques?



Expérimentations  
Indicateurs





# Méthodologie

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**

## Collection Ferti-Dig "use of agricultural digestates"

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

Ferti-Dig "use of agricultural digestates"  
(INRAE)

Recherche Data Gov > Data INRAE > Experimental - Observation - Simulation Dataverse >

[Contact](#) [Partager](#)

FertiDig is a French research project (2021-2024) devoted to the study of digestates coming from agricultural anaerobic digestion plants. The project objectives are to (i) create a database of agricultural digestates physico-chemical properties associated with their anaerobic digestion process operational conditions data, (ii) establish a classification of agricultural digestates based on their properties and composition, (iii) evaluate the effects of digestats on soil (iv) to communicate to agricultural partners through guidelines and description forms focused on agricultural characteristics and effects of each class of digestates, published in a dedicated website. // Financial support: ADEME and GRDF // Project manager: Julie Jimenez (INRAE) and Mariana Moreira (CRAB). // Project partners: INRAE LBE, INRAE SAS, INRAE EcoSys, INRAE EMMAH, CRAB, CRAGE, ACTA, and AAMF, LDAR, Lycée Obernai and Lycée Bar le Duc.

Chercher dans cette collection... Recherche avancée

1 à 1 de 1 résultat

Collections (0)  
 Jeux de données (1)  
 Fichiers (13)

Année de publication  
2023 (1)

Origine des données  
analysis data (1)

Type de données

Agricultural digestates - database of physico-chemical properties and process informations Sous embargo  
21 sept. 2023  
Michaud, Aurélia; Caradec, Lucille; Moreira, Mariana; Jimenez, Julie, 2025, "Agricultural digestates - database of physico-chemical properties and process informations", <https://doi.org/10.57745/M1JSU5>, Recherche Data Gov, V1.  
UNF:6:1hOma5tzww1bGgKVgiiMg= [fileUNF]

Agricultural digestates database established in the project ADEME/GRDF FertiDig, wich considers 808 digestates, including 808 from agricultural methanisation units and 198 digestates compiled from the international literature. The following datasets are available to upload: proc...



Analyses statistiques: Analyse en Composantes Principales et Classification Hiérarchique Ascendante



# Méthodologie

Base de données « effets des digestats »



## Indicateurs

### 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)



### Fertilité chimique

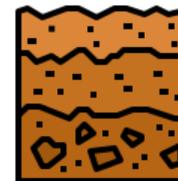
- Capacité à fournir des **éléments nutritifs** pour les plantes
- *Apport de nutriments (N, P, K) disponibles*



- N efficace (Keq N)
- Risques de volatilisation de  $\text{NH}_3$
- %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)

Légende: Nombre d'observations nécessaires par typologie de digestats

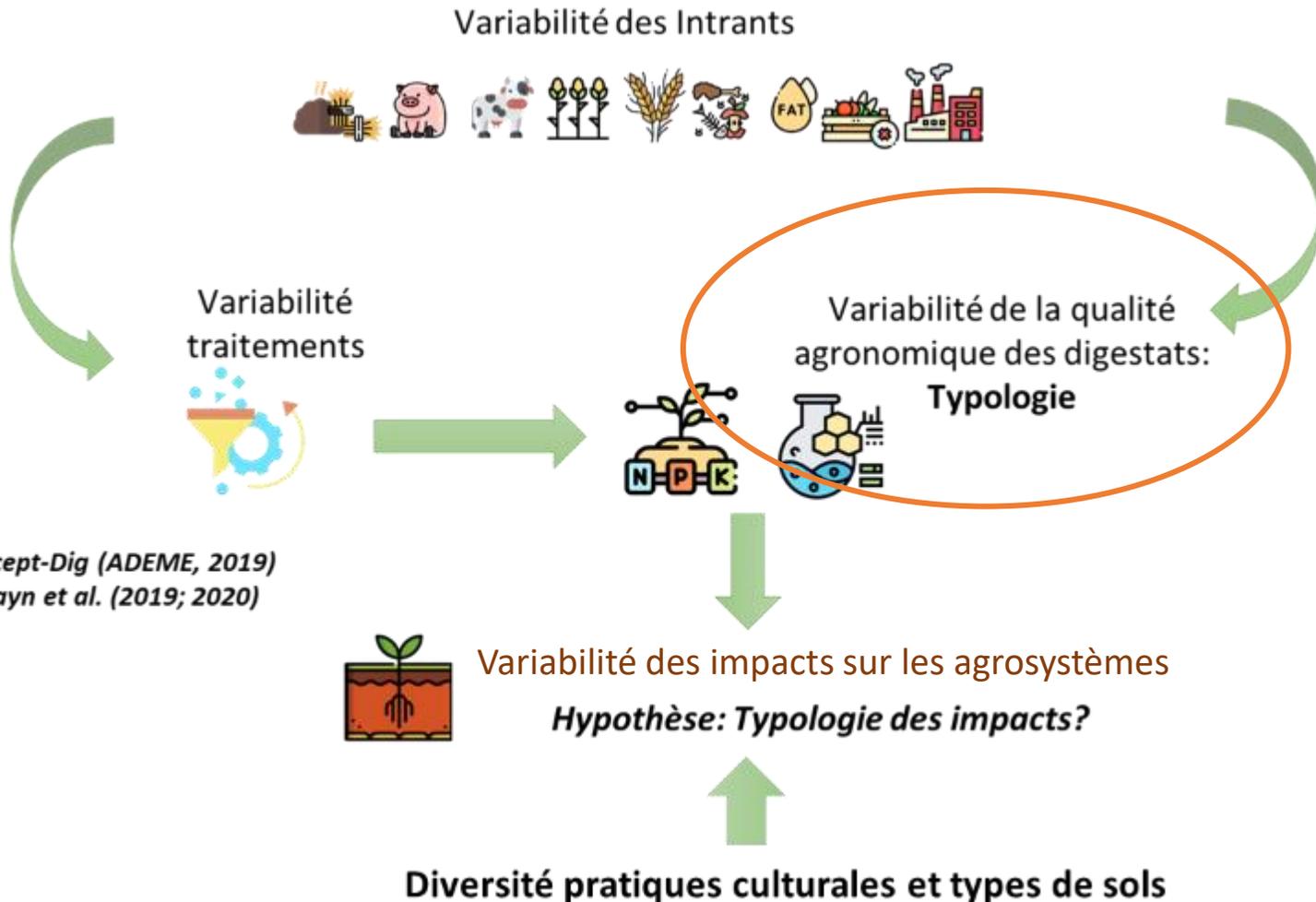
Peu de données



Nombre de données suffisant

# Typologie des digestats

Variabilité des digestats : pas UN mais DES digestats



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



Est-ce que la typologie des digestats impacte les indicateurs associés aux effets sur les agroécosystèmes?

**Fertilité sol**  
Fertilité chimique  
Fertilité biologique  
Fertilité physique

**Innocuité**  
Contaminants (métalliques et organiques)



# Typologie des digestats : historique

Deux études basées sur les mêmes variables descriptives des digestats



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

Paramètres physico-chimiques

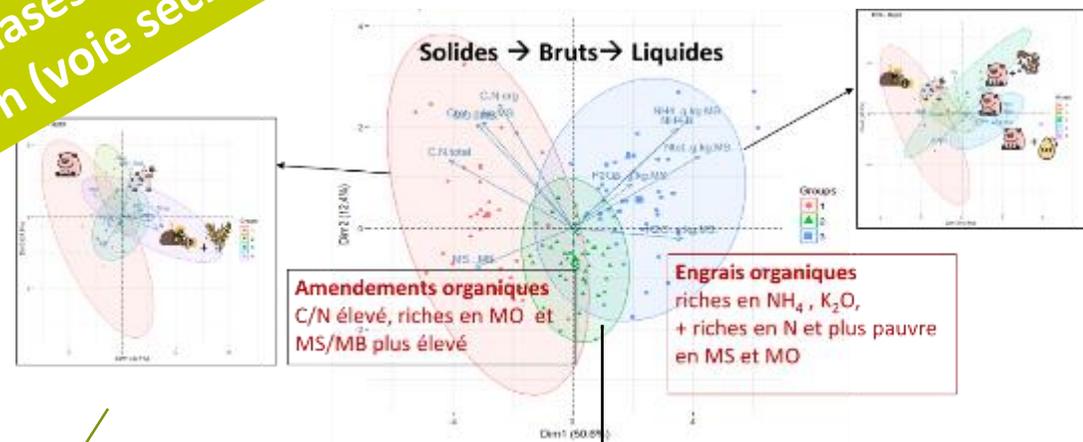
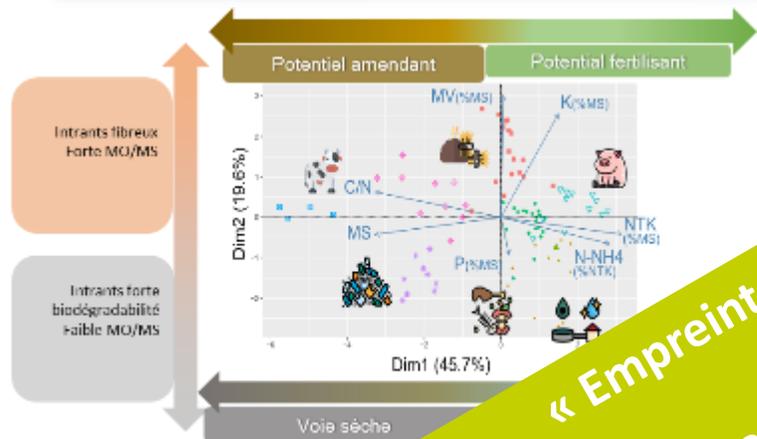
MS, MO, C, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, NT, NH<sub>4</sub>, C/N

Concept-Dig (ADEME, 2019)



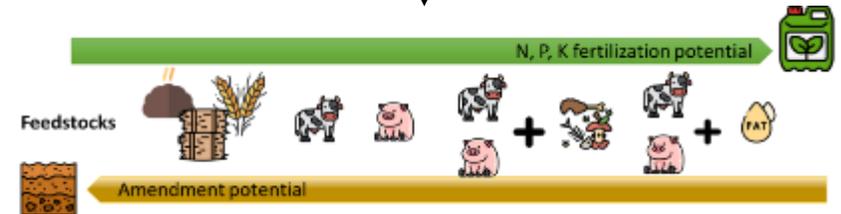
Données littératures + internes : 150 digestats urbains + agricoles

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!

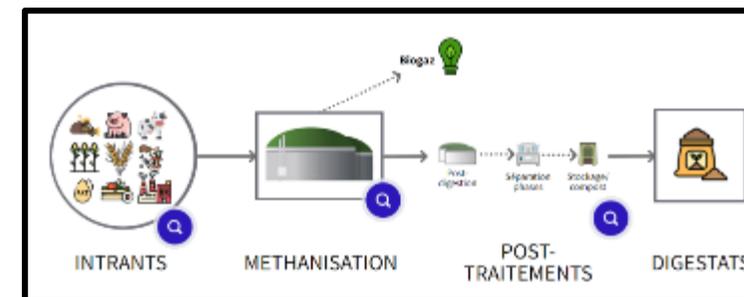
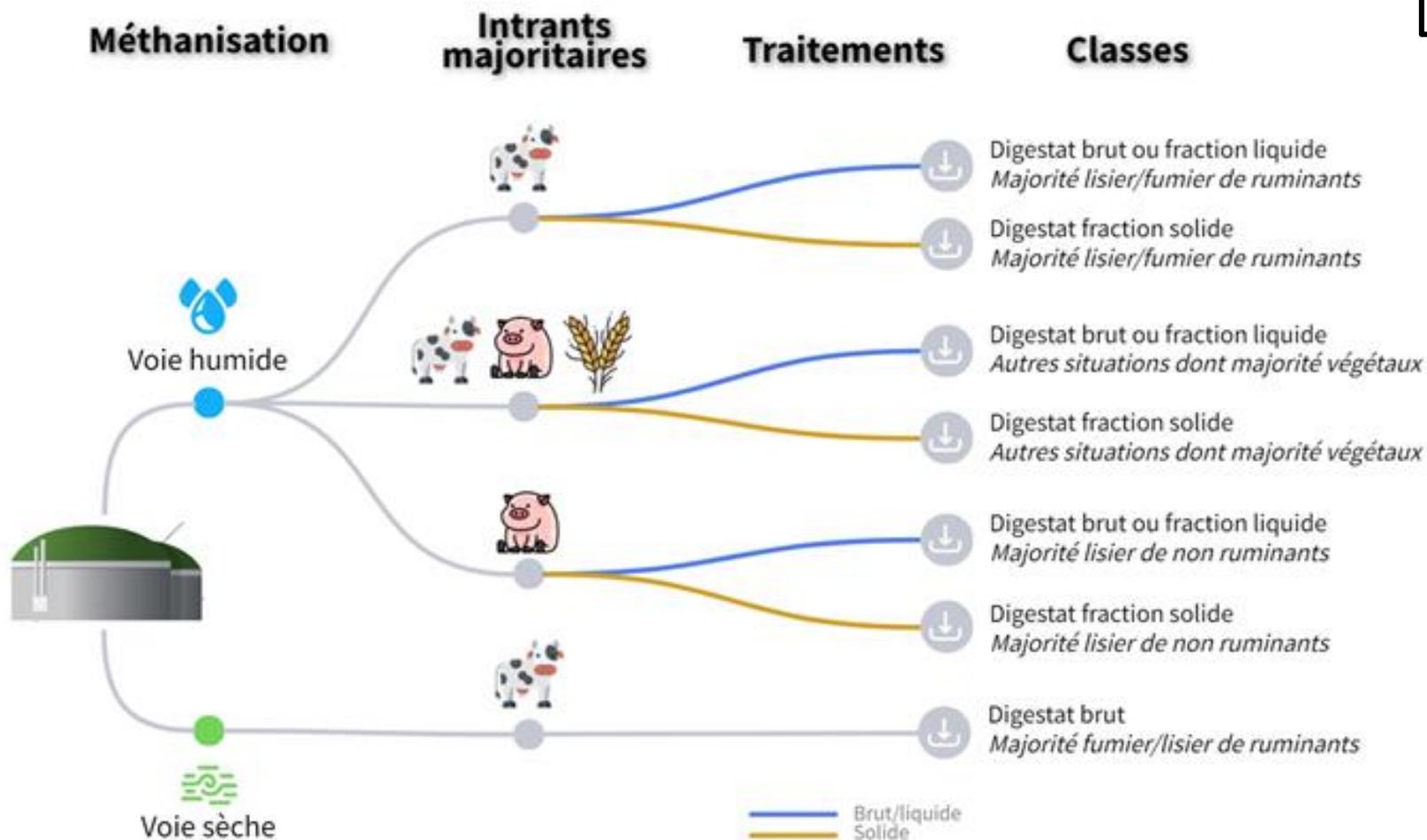


<https://inraelbe.shinyapps.io/ConceptDig/>  
<https://projet-methanisation.grdf.fr>



# Typologie des digestats: mise à jour

Résultats des analyses statistiques (n=481)



## 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

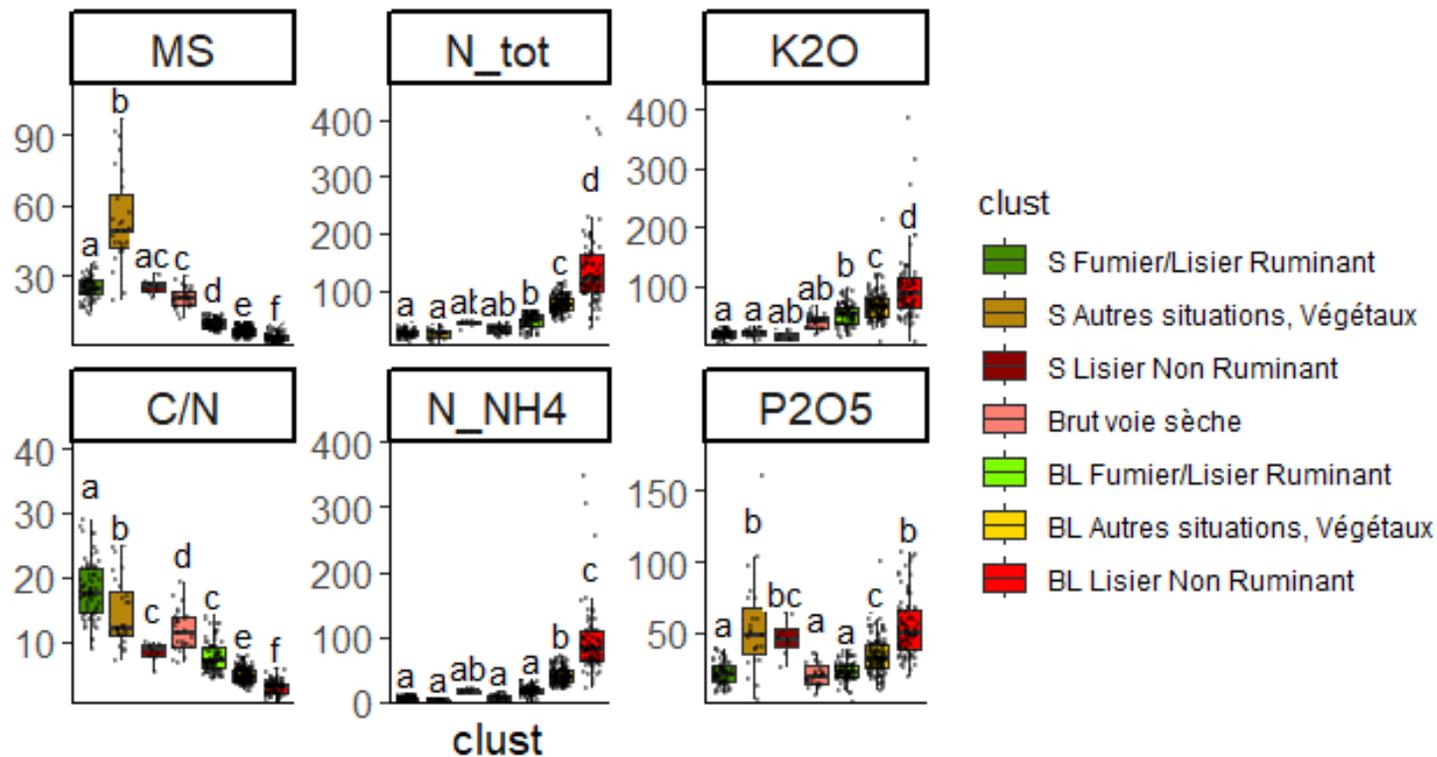
## Fumiers bovins et résidus de récoltes



# 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

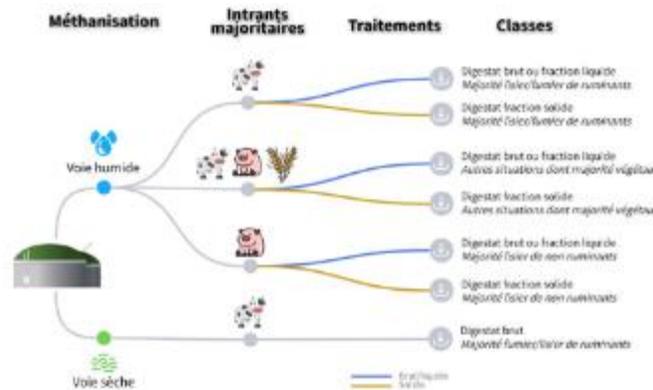
# Typologie des digestats: validation (n=30)



## Tests sur 30 digestats



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



Classe prédite (distance euclidienne)

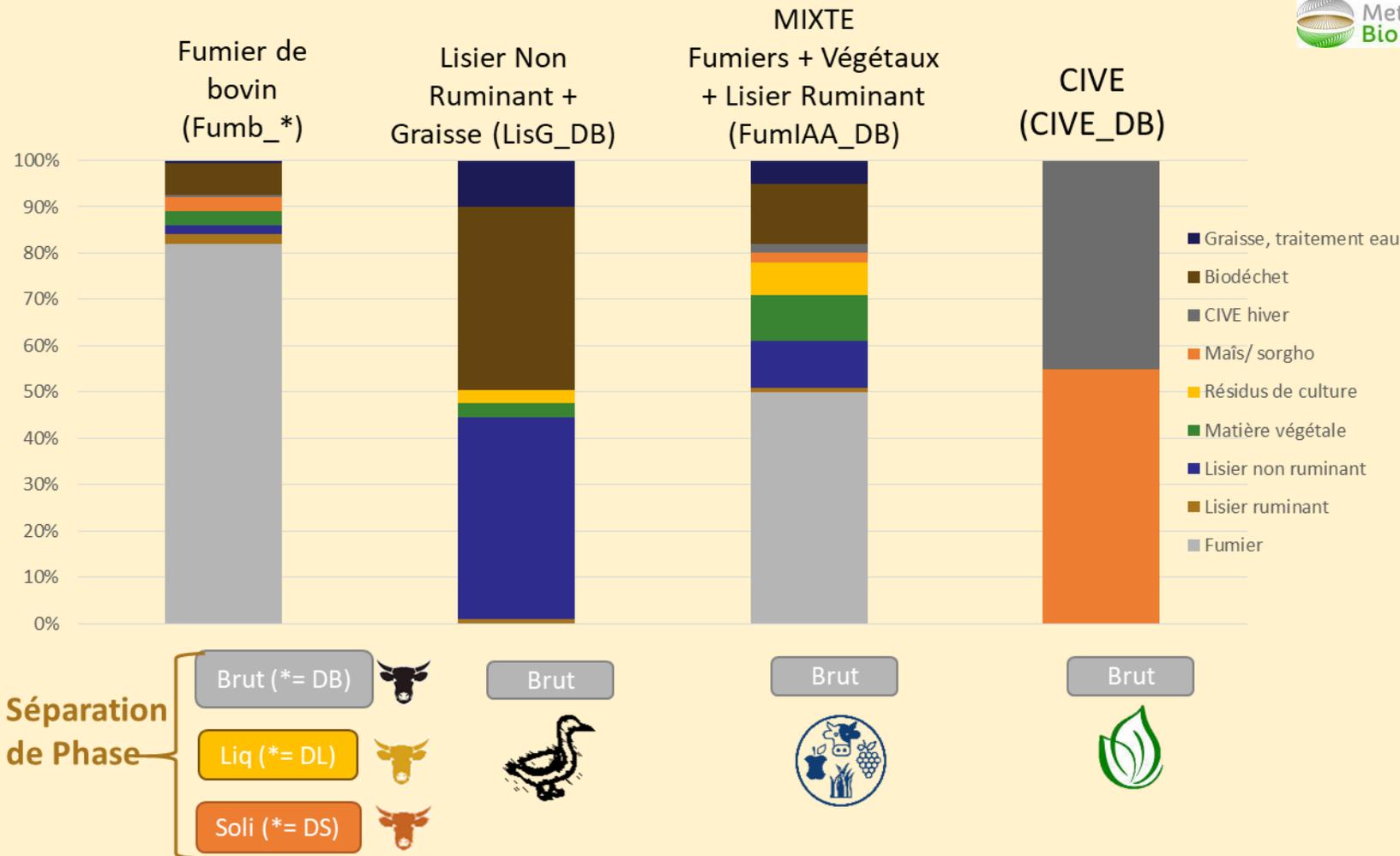
*Concept-Dig 2.0 (en cours de mise à jour)*

Comparaison à la Base de données



# Typologie des digestats: validation (n=30)

## Caractéristiques des 6 digestats des tests en laboratoire



### Métadonnées



- Analyses physico-chimiques MS, MO, Ntot, NH4, P2O5, K2O
- Comparaison à la Base de données

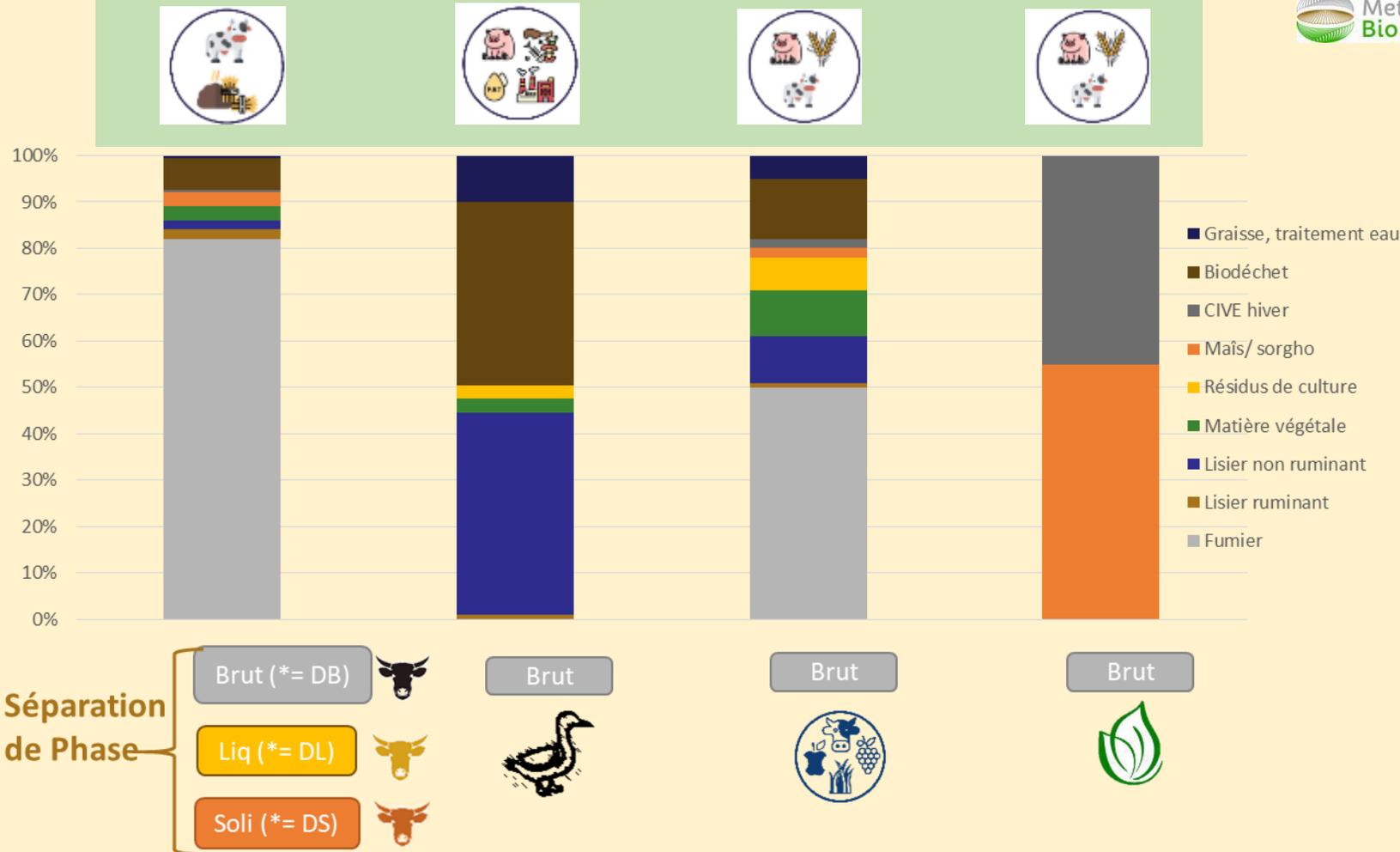


# Typologie des digestats: validation (n=30)

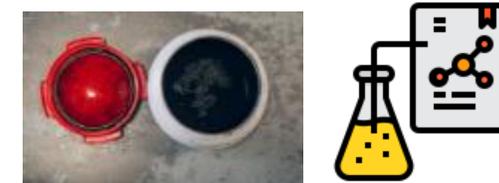
## Caractéristiques des 6 digestats des tests en laboratoire



Classe prédite



### Métadonnées



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

Comparaison à la Base de données



# Typologie des digestats: impact sur les indicateurs



- Est-ce que la typologie des digestats impacte les indicateurs associés aux effets sur les agroécosystèmes ?
  - **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

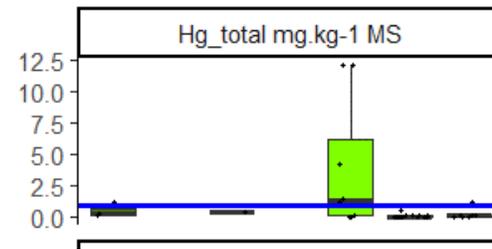
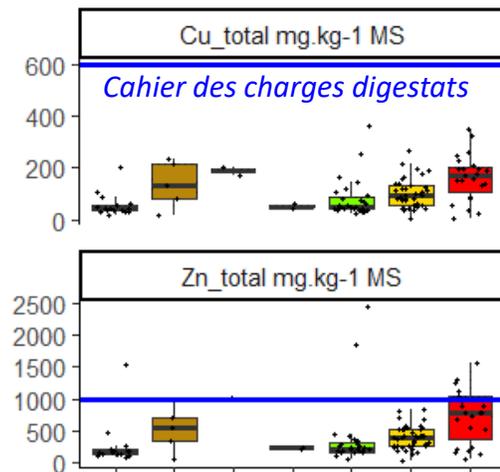


# Innocuité - Quel impact de la typologie sur ces indicateurs?



## 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**



clust

- S Fumier/Lisier Ruminant
- S Autres situations, Végétaux
- S Lisier Non Ruminant
- Brut voie sèche
- BL Fumier/Lisier Ruminant
- BL Autres situations, Végétaux
- BL Lisier Non Ruminant

## 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)

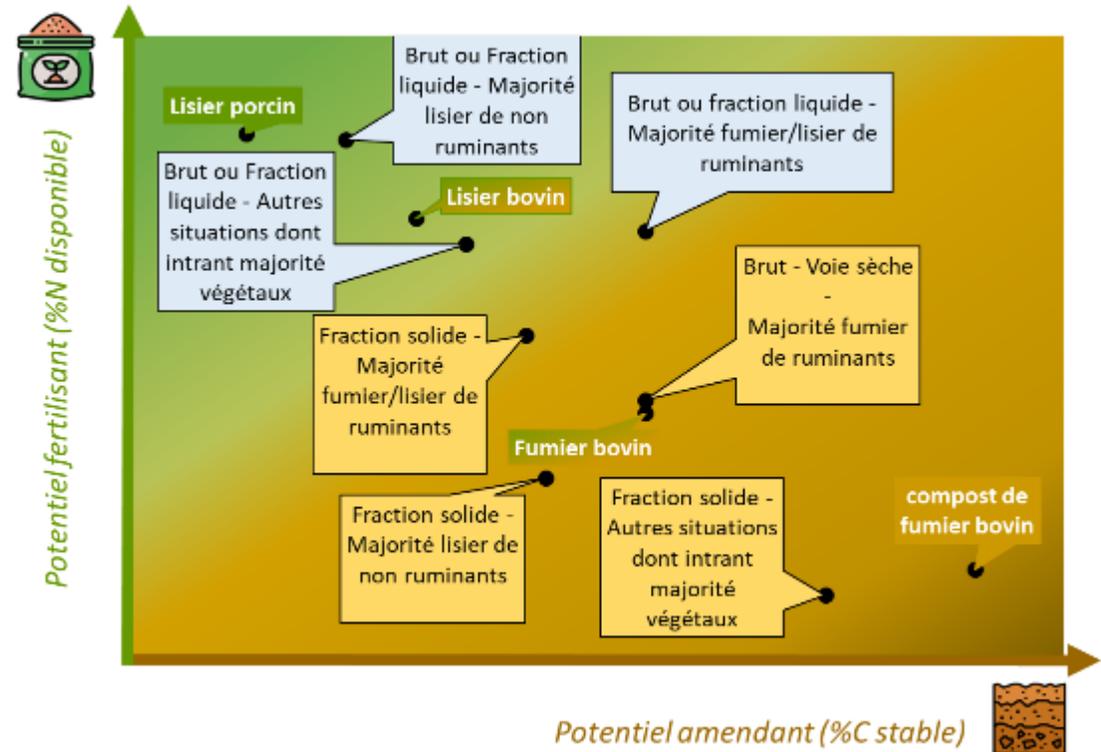
**C91 :** C minéralisé en 91 jours (% du C)

**N91 :** N minéralisé en 91 jours (% du N organique)

**N disponible:** somme NH4 + N91 (% N total)

*Indicateurs obtenus en conditions contrôlées*

### Positionnement des types de digestats vs autres produits





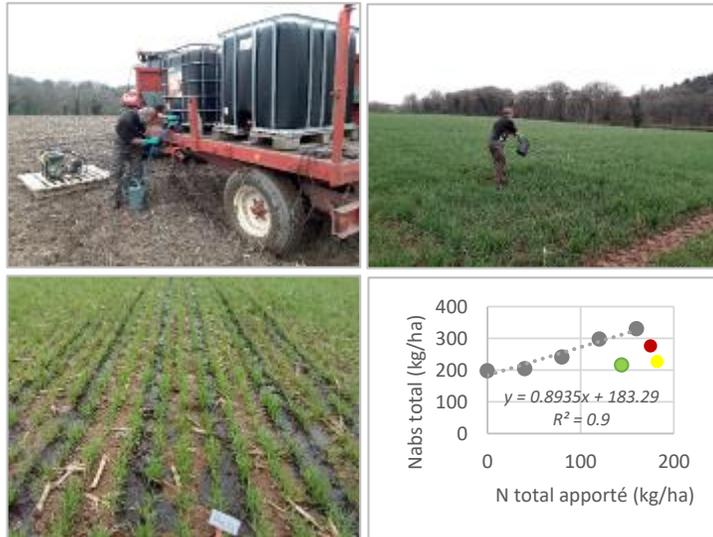
# Coefficient d'équivalence engrais azoté - KeqN

## 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

## 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*



# Indicateurs de la fertilité physique et biologique des sols

## Quel impact de la typologie sur ces indicateurs?



- Pas assez de données par typologie ...
- Impact type sol/dispositif fort
  
- Tendances observés :

### Fertilité physique - approche par la mesure de la *stabilité des agrégats*

- 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



### Fertilité biologique - vers de terre et *projet Métha-BioSol*



#### ➤ pour les vers de terre :

- Mortalité de surface juste après épandage :
  - pas systématique, faible en % de la population initiale (< 2%), liée à la teneur en N-NH<sub>4</sub> des digestats
- A moyen terme, effets positifs > effets potentiellement négatifs





# Synthèse sur Typologie et effet des digestats

Est-ce que la typologie des digestats impacte les indicateurs associés aux effets sur les agroécosystèmes?

**Réponse** : cela dépend des indicateurs

- Fertilité biologique et physique et risque de volatilisation de  $\text{NH}_3$  : nécessité d'avoir plus de données par typologie et conditions pédoclimatiques
- Autres indicateurs à considérer (structure physique)?

MS faible  
teneur en N importante, % N-  
NH4 et N minéralisé élevés  
C/N faible  
Keq N  $\geq 0.6$



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



# Les « fiches digestats »



## DIGESTAT BRUT OU FRACTION LIQUIDE majorité lisier de non ruminants

### Intrants majoritaires

- Lisier de non ruminants
- Déchets agro-industriels
- Graisses
- Biodéchets

### COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUE

MS (% MB)	MO (% MB)	C (kg/t MB)	C/N tot.	C/N org
3-5	2-3	9-18	2-4	6-13

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	3-4	1-2	1-3	2-5

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 À ENTREtenir LES STOCKS DE CARBONE DU SOL

Digestat brut/liquide    Lisier porcin

Stabilité et potentiel humifère **modéré**  
par rapport aux autres digestats

Carbone restitué au sol  
**7 Kg C/t de digestat épandu**  
11 Kg C/t de lisier porcin épandu

## VALEUR FERTILISANTE AZOTÉE

Digestat brut/liquide    Lisier porcin

Potentiel fertilisant azoté **élevé**  
par rapport aux autres digestats

Azote disponible  
**4 Kg N/t de digestat épandu**  
3 kg N/t de lisier porcin épandu

## RECOMMANDATIONS À L'ÉPANDAGE

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

Culture	Période optimale (jours/kg)	Épandage			Calculs à effectuer à l'épandage
		Pendillard	Pendillard avec pulvé	Injection à travers les plants	
colza, couverts d'hiver	avant semis	à l'épandage à l'automne	à l'épandage à l'automne	à l'épandage à l'automne	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 - Key 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.
blé, orge et couverts d'été	avant semis	à l'épandage à l'automne	à l'épandage à l'automne	à l'épandage à l'automne	
maïs, orge printemps, blé av. / av. tardif	avant semis	à l'épandage à l'automne	à l'épandage à l'automne	à l'épandage à l'automne	
potée	avant semis	à l'épandage à l'automne	à l'épandage à l'automne	à l'épandage à l'automne	

### 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 : Cd, Cu, Zn  
 CDC Agri : Cd, Hg, Ni, Zn  
 UE : Cd, Hg, Ni



# 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**

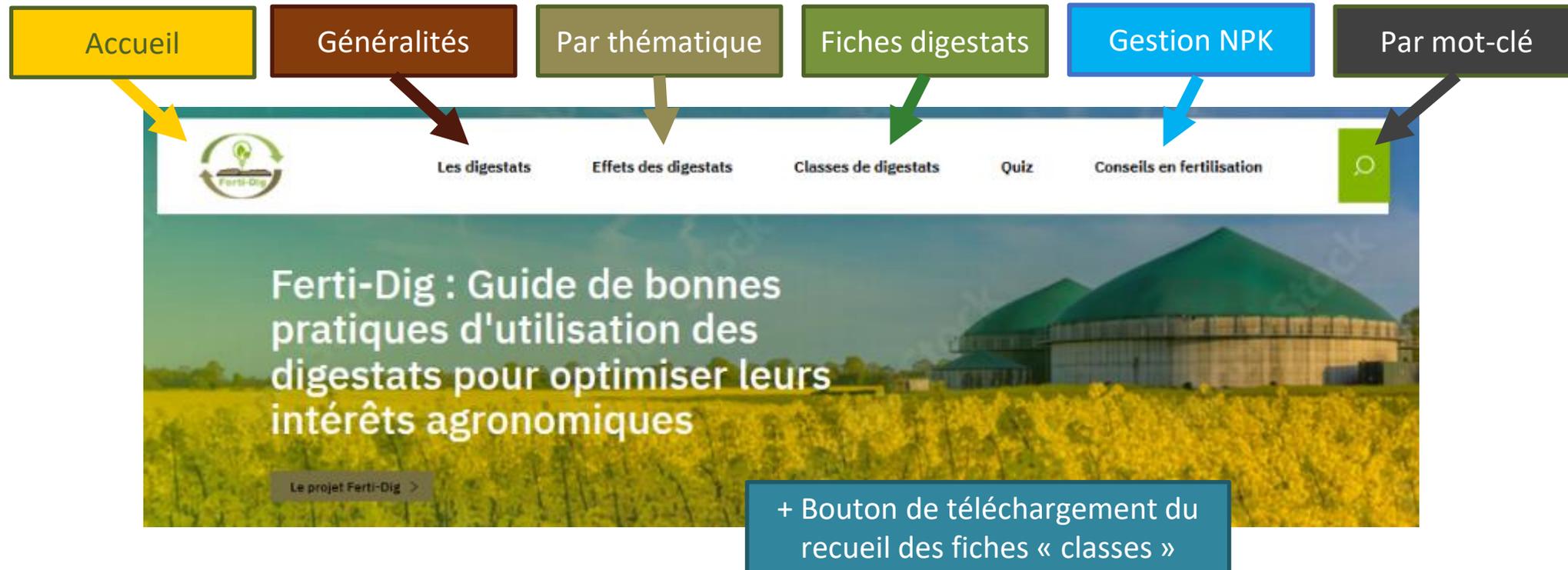


# Ferti-Dig – site web

« Fertiliser avec les digestats de méthanisation agricole »



<https://fertiliser-avec-des-digestats.fr/> mis en ligne le 14/6





# Ferti-Dig – site web

« Fertiliser avec les digestats de méthanisation agricole »



Accueil

## Pourquoi un guide de fertilisation avec les digestats de méthanisation ?

La filière **méthanisation** est en fort développement en France. Elle produit une **énergie renouvelable (le biogaz)** et un **fertilisant organique (le digestat)**. Un enjeu majeur du recyclage agricole des digestats de méthanisation est de connaître la qualité agronomique de ces produits, leurs effets sur la fertilité chimique, biologique et physique du sol ainsi que leurs impacts environnementaux et sanitaires. Toutefois, il n'existe **pas « un » digestat mais « des digestats »** de qualités variables dépendant de divers facteurs. Le **guide Ferti-Dig** a pour objectif d'établir des références de valeurs agronomiques des digestats et d'effets observés de leur utilisation.

En savoir plus

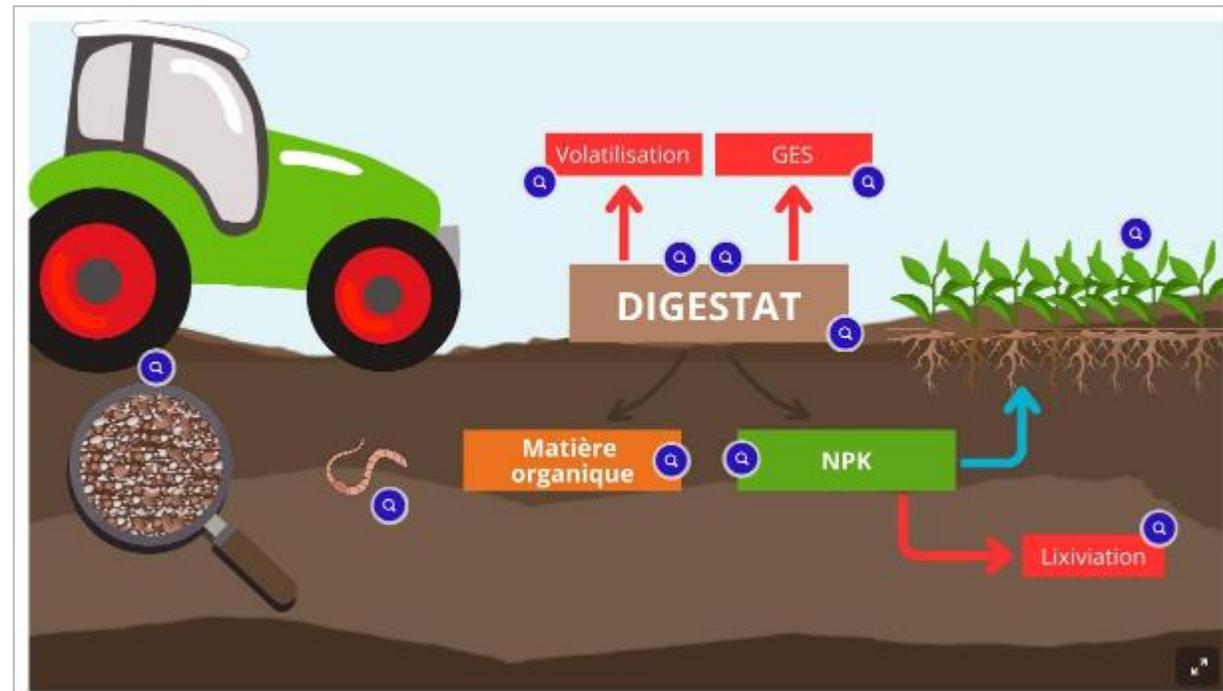
## Comment utiliser le guide Ferti-Dig ?

L'originalité du guide Ferti-Dig réside dans l'établissement de **références par classe de digestat** et dans la proposition de **thématiques dédiées à l'état des connaissances sur l'utilisation des digestats**. Il peut être consulté selon plusieurs modes de navigation :

- par **thématique** pour en savoir plus sur la production de digestats (**Les digestats**) et les **Effets des digestats**,
- par **Classe de digestats** pour en savoir plus sur les caractéristiques et propriétés agronomiques des digestats,
- par la page dédiée aux **Conseils en fertilisation** sur les pratiques d'épandage,
- et enfin par un **Quiz** pour tester ses connaissances sur les digestats de manière ludique.

Le schéma interactif suivant facilite également la navigation.

Schéma de navigation dans le site



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



# Ferti-Dig – site web

« Fertiliser avec les digestats de méthanisation agricole »



Par thématique





# Ferti-Dig – site web

« Fertiliser avec les digestats de méthanisation agricole »



Par thématique

Valeur agronomique des digestats

Effets des digestats sur la structure du sol

Effets des digestats sur la biologie du sol

Risques environnementaux et innocuité



## 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 Metha-BioSol](#) (2021-2024) contribuent à enrichir les connaissances sur ce sujet.

- > [Effets des digestats sur les lombriciens \(vers de terre\)](#)
- > [Effets des digestats sur la microbiologie des sols](#)
- > [Effets des digestats sur les nématodes](#)

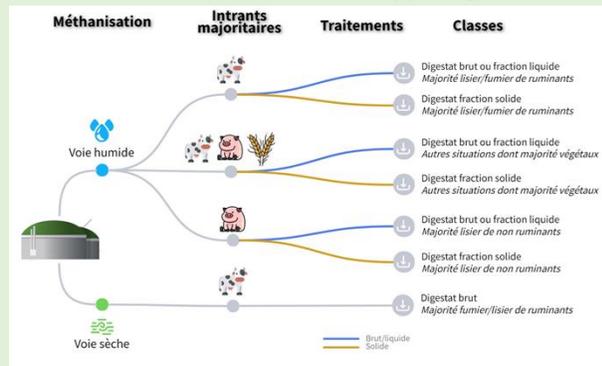




# En conclusion - Ferti-Dig a contribué à :

- mieux comprendre la **variabilité des digestats**

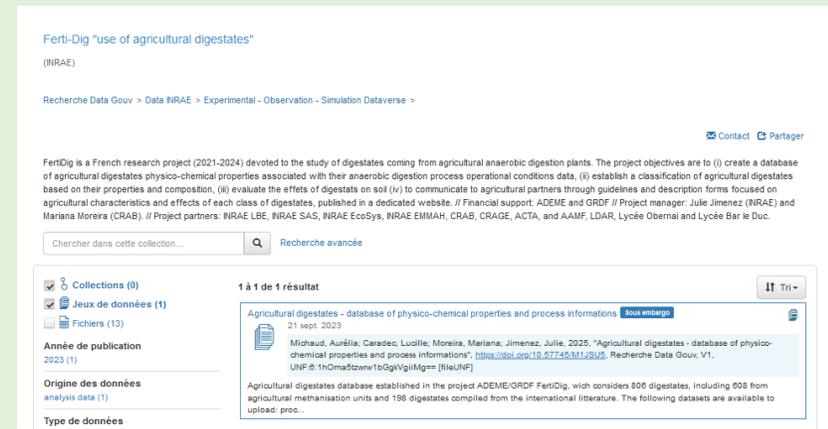
*consolidation d'une typologie*



- rendre accessible au plus grand nombre les références sur les digestats

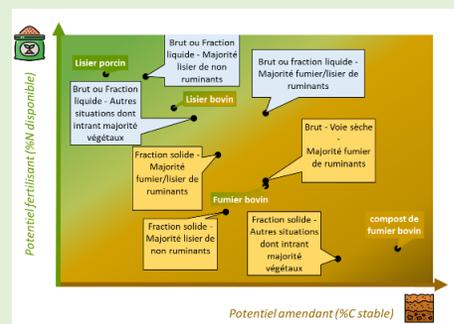
*Collection Ferti-Dig "use of agricultural digestates"*

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



- apporter un éclairage sur les **effets des digestats** sur les agroécosystèmes

*pour différents indicateurs*



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



