

**JRI**  
**2024**

26 – 28 mars 2024 PAU

# JOURNÉES RECHERCHE INNOVATION

Biogaz Méthanisation



ARVALiS





## Typologie des digestats « Ferti-Dig » : de l'établissement des classes aux effets sur les agroécosystèmes

L. CARADEC<sup>1</sup>, A. MICHAUD<sup>1</sup>, Y. CAPOWIEZ<sup>2</sup>, S. GENERMONT<sup>3</sup>, S. HOUOT<sup>3</sup>, S. MENASSERI<sup>1</sup>, T. SIMON<sup>4</sup>, M. MOREIRA<sup>5</sup>, M. HEURTAUX, D. PATUREAU<sup>7</sup>, J. JIMENEZ<sup>7</sup>

<sup>1</sup>INRAE, Institut Agro-UMR SAS, <sup>2</sup>INRAE, UMR EMMAH, <sup>3</sup>INRAE, UMR ECOSYS, <sup>4</sup>Chambre Régionale d'Agriculture du Grand Est, <sup>5</sup>Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, <sup>6</sup>ACTA, <sup>7</sup>INRAE, LBE



# Contexte et question de recherche



Variabilité des intrants



Variabilité procédés



Variabilité qualité des digestats:

**Typologie**



Variabilité des impacts sur les agroécosystèmes  
*Hypothèse: impact de la typologie des digestats*

Diversité des pratiques culturales et types de sols

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

## Indicateurs

- Fertilité sol**
  - Fertilité chimique
  - Fertilité biologique
  - Fertilité physique
- Innocuité**
  - Contaminants (métalliques et organiques)



# Contexte et livrable opérationnel

Variabilité des intrants



Variabilités procédés



Variabilité qualité des digestats:

**Typologie**

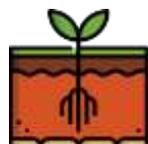


Guide de bonnes pratiques d'utilisation des digestats d'origine agricole  
Site web (2024)



➔ Besoin d'accompagner les agriculteurs et les conseillers dans l'utilisation des références sur les digestats  
➔ fertilisation optimale des cultures dans le respect de l'environnement

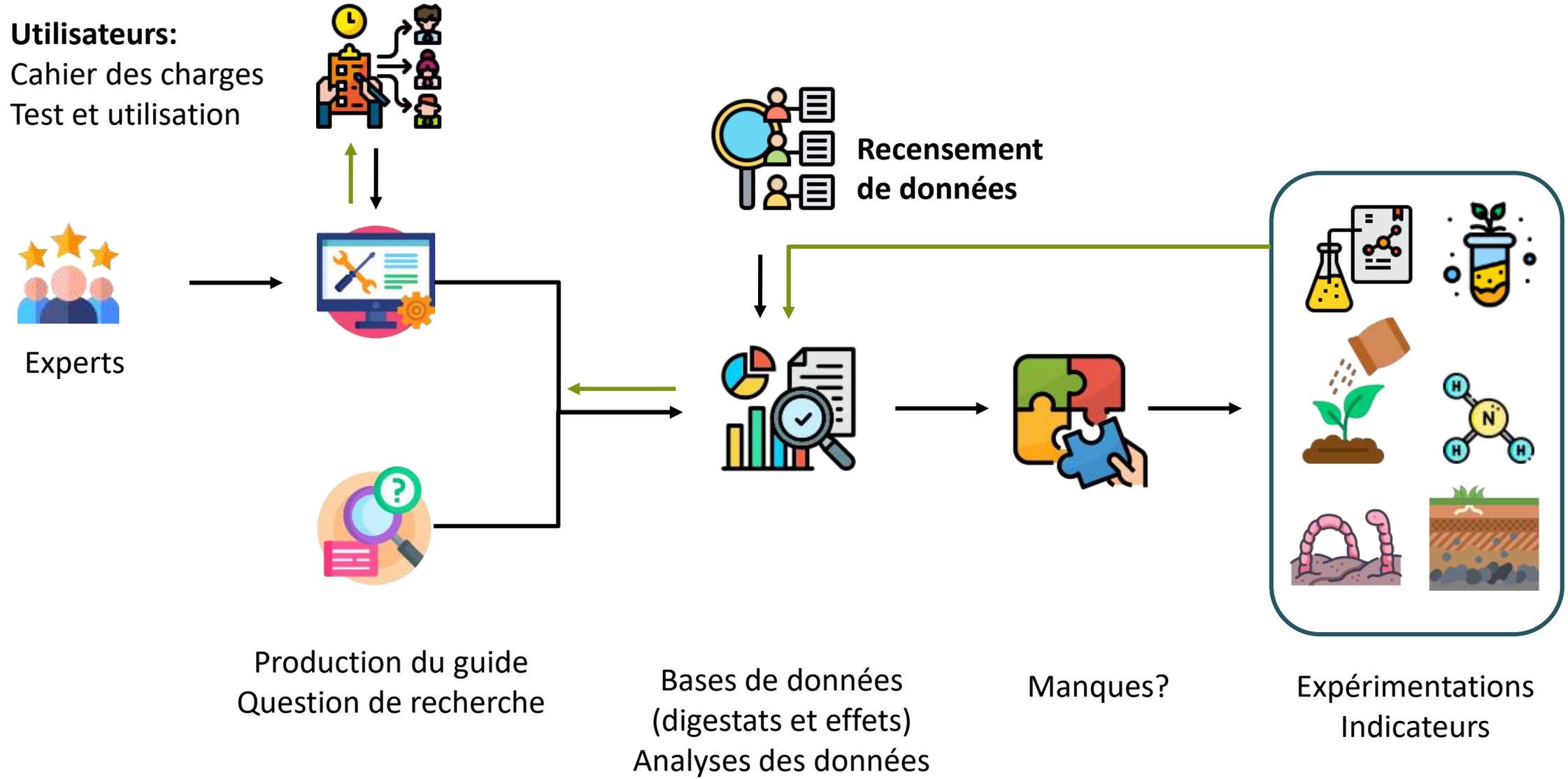
Variabilité des impacts sur les agroécosystèmes  
***Hypothèse: impact de la typologie des digestats***



Diversité des pratiques culturales et types de sols



# Méthodologie



# Méthodologie: 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, CRA-B, ADEME Concept-Dig / AAMF, Lycée Obernai

### 608 digestats,

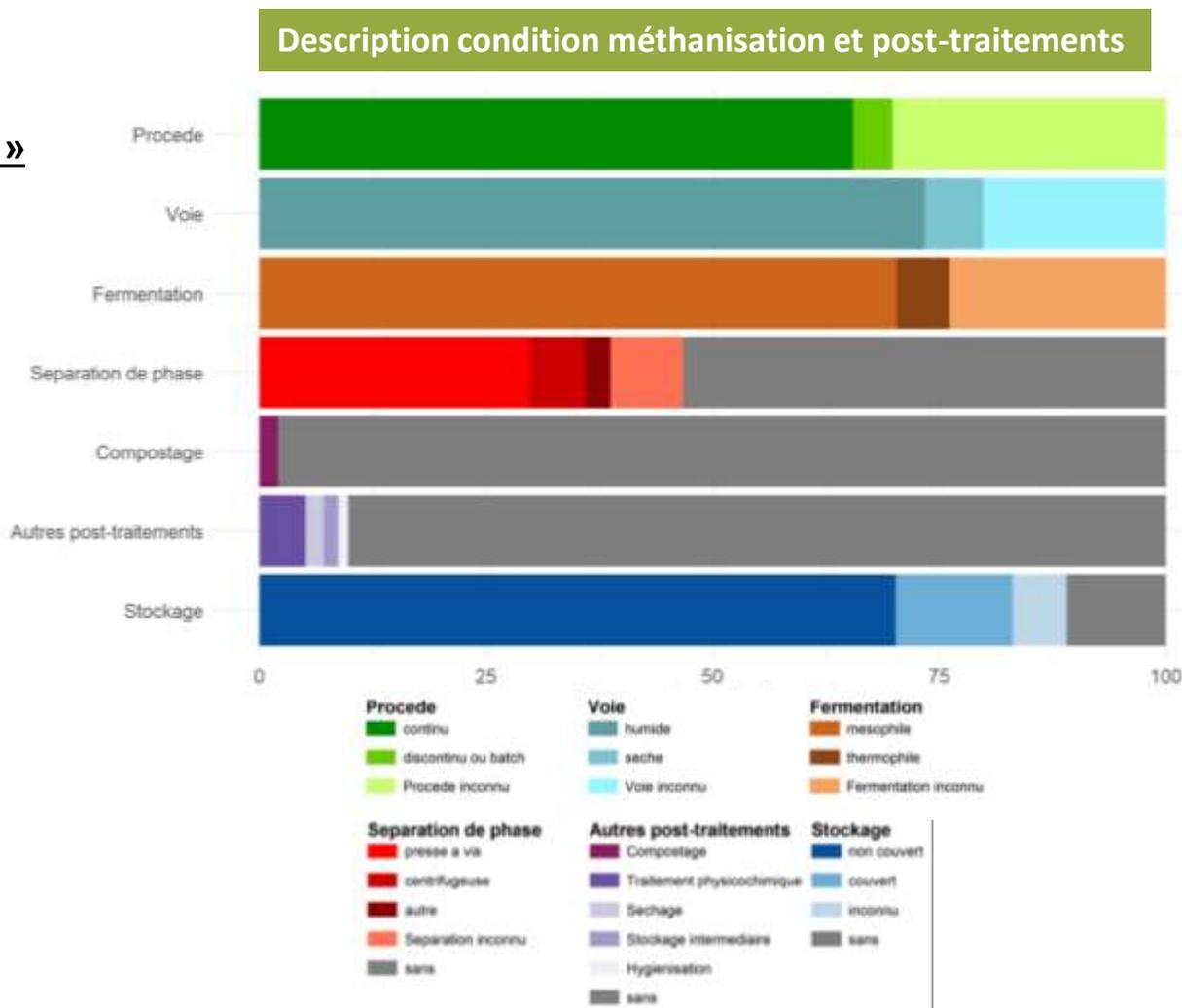
Dont 481 pour établir la classification

**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**



Analyses statistiques: Analyse en Composantes Principales et Classification Hiérarchique Ascendante

# Méthodologie: indicateurs « effets »

## 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 MethaBioSol)
- Micro-organismes (abondance et diversité (projet MethaBioSol))

### Fertilité chimique

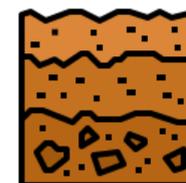
Capacité à fournir des éléments nutritifs pour les plantes  
*Apport de nutriments (N, P, K) disponibles*



- N efficace (KeqN)
- Risques de volatilisation de NH<sub>3</sub>
- %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 MethaBioSol)



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

# Typologies des digestats: historique

Deux études basées sur les mêmes variables descriptives des digestats

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

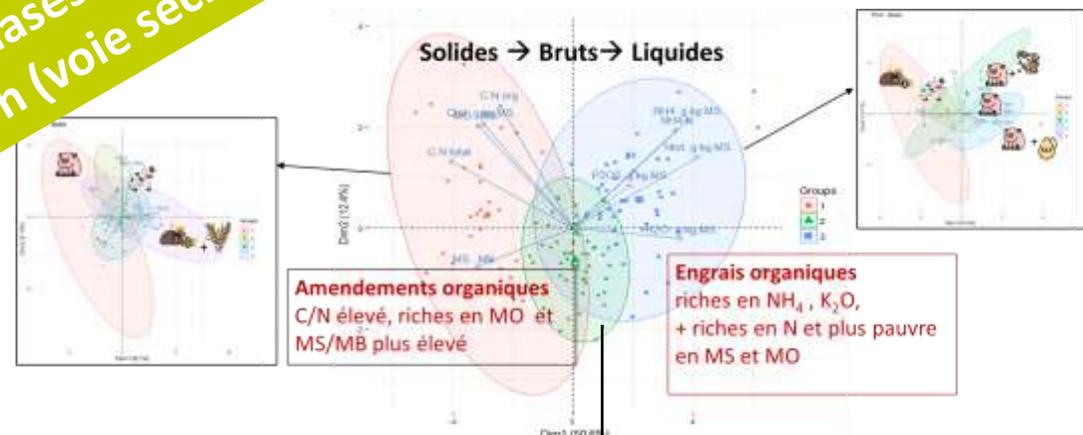
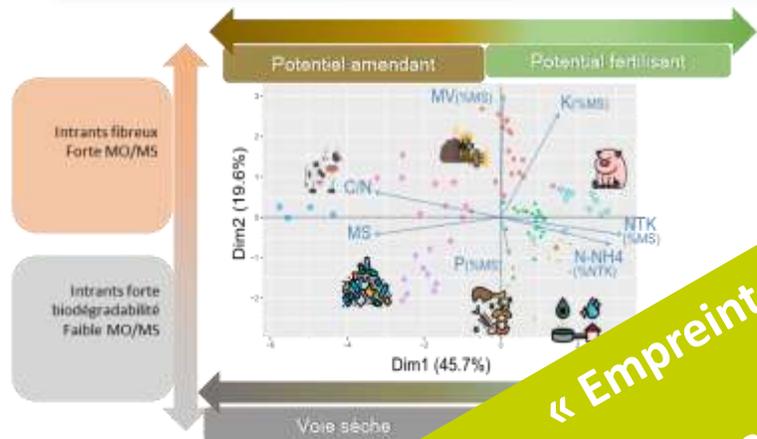
Thèse F. Guilayn (Guilayn et al., 2019)

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)

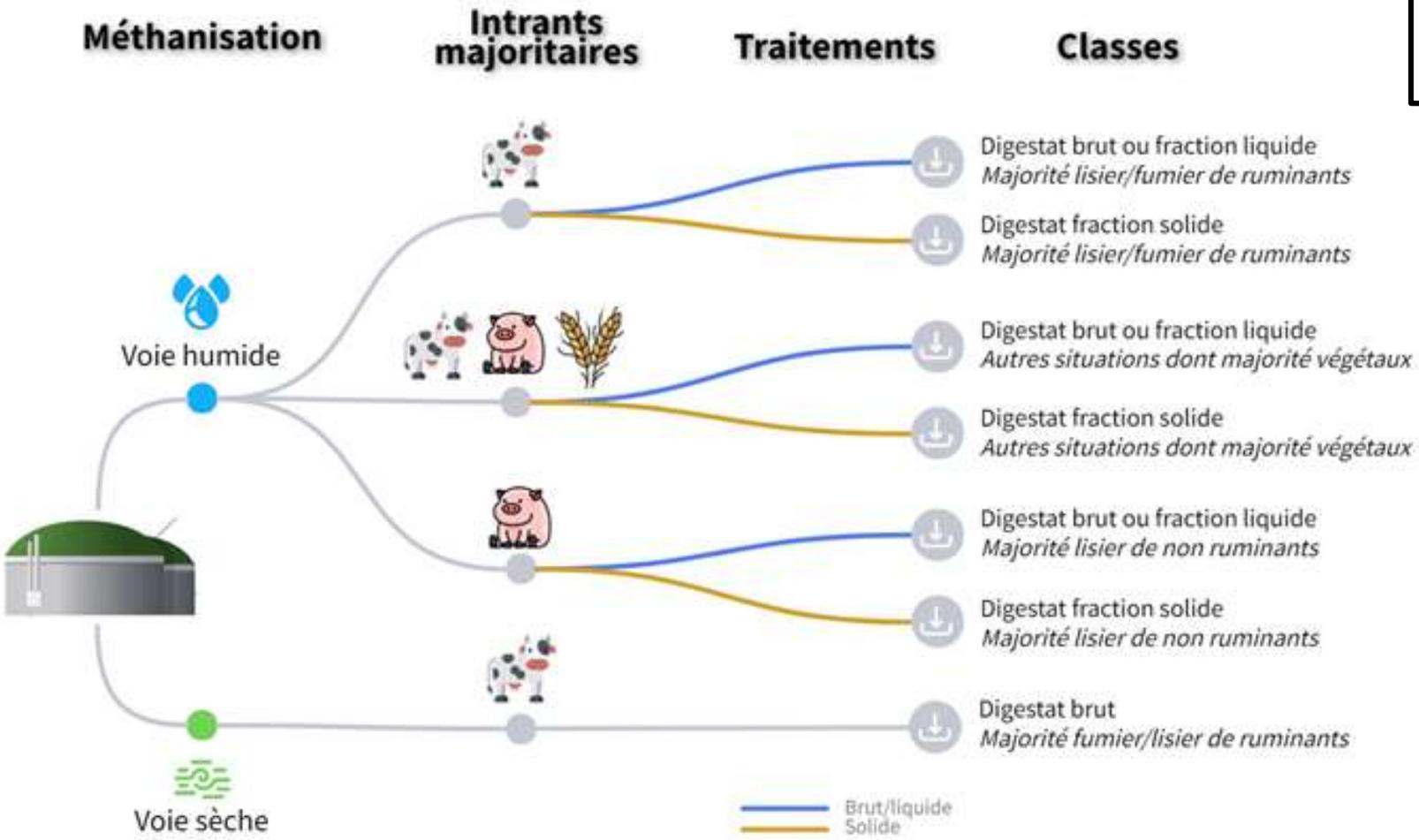
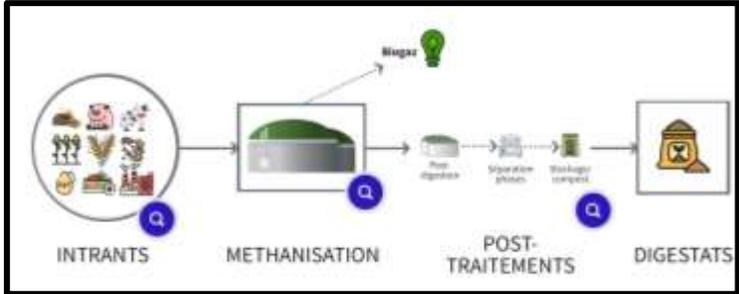
Nbre limité: 48 bruts, 33 liquides, 30 solides  
 Manques: voie sèche, digestats issus de nouveaux intrants (CIVEs, biodéchets, ...)  
 Beaucoup de classes, peu de données et très peu de données d'effets!



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

# Typologie des digestats: mise à jour à partir de la nouvelle base de données

Résultats issus des analyses statistiques



**Fumier/lisier bovins**  
Co-digestion avec résidus de récoltes et résidus intra-exploitation

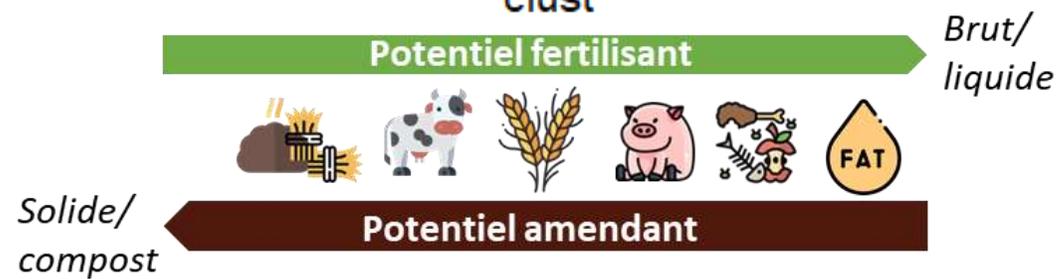
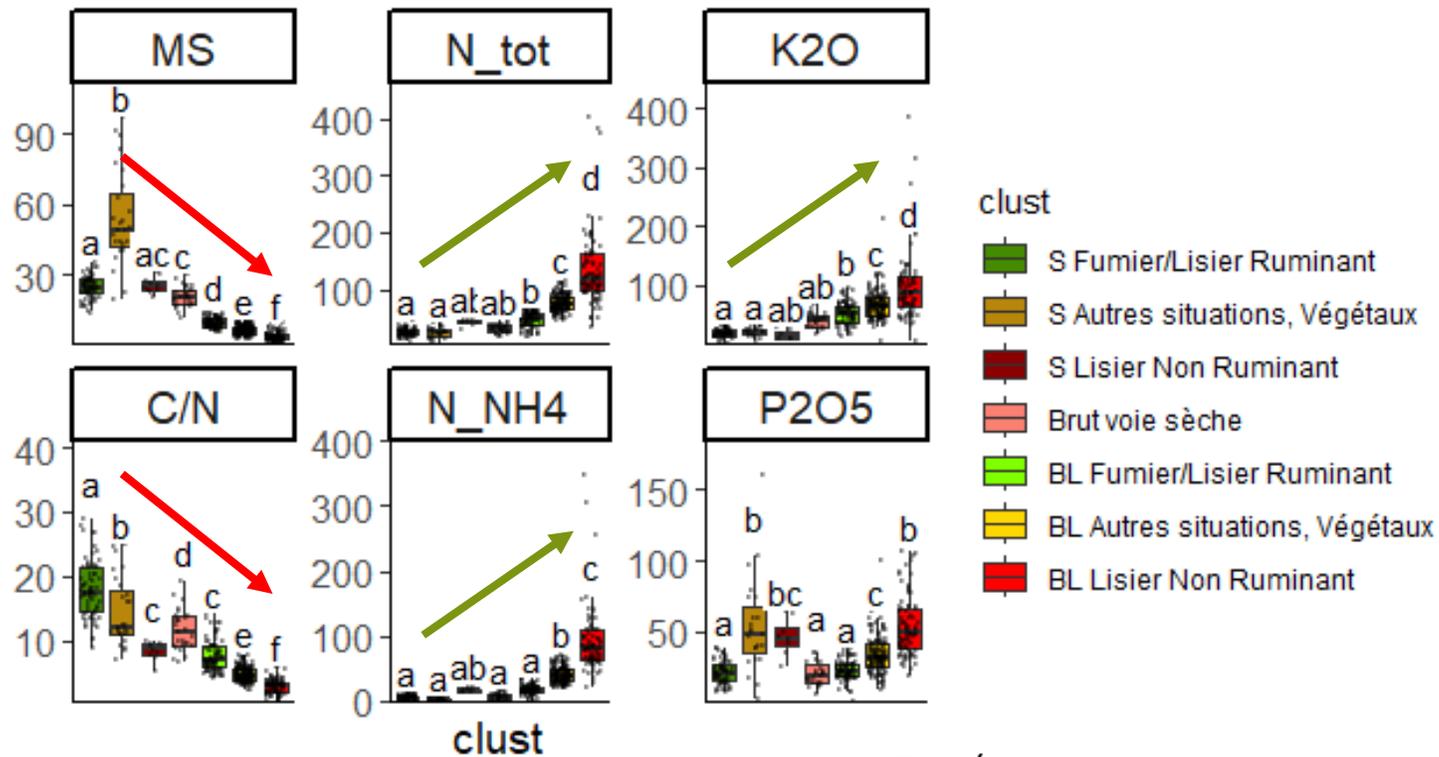
**Intermédiaires:**  
Lisiers en mélange co-digestion avec CIVEs et intrants CIVEs majoritaires

**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

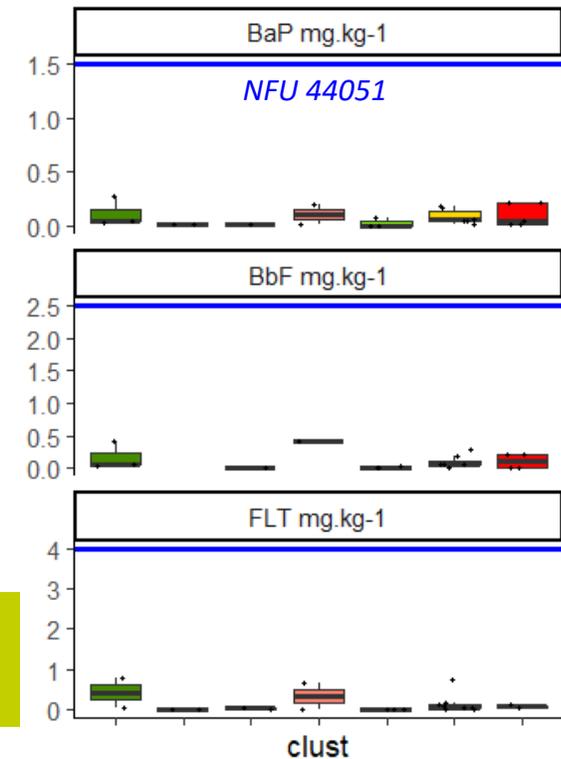
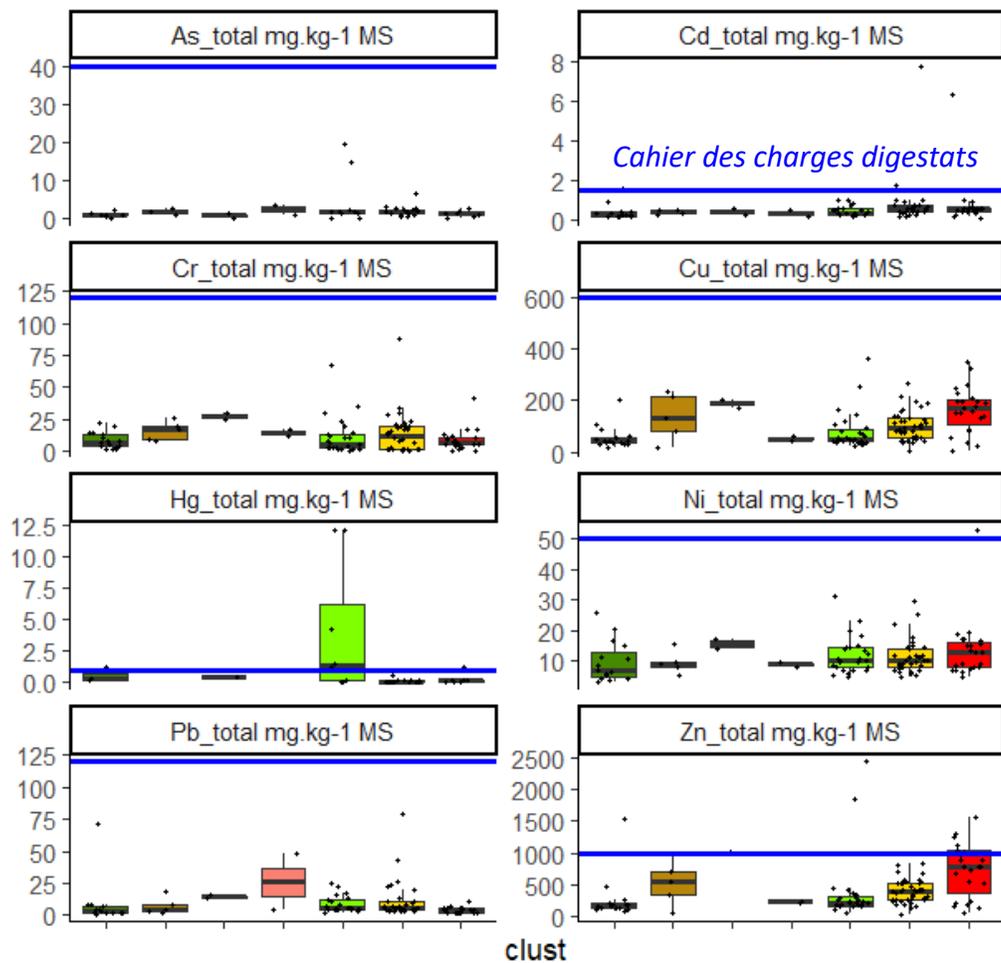


MS: matière sèche en % matière brute (%MB)  
 N\_NH4: azote ammoniacal en g/kgMS  
 Ntot: azote total en g/kgMS  
 C/N : ratio entre carbone et azote total  
 K2O: potassium total en g/kgMS  
 P2O5: phosphore total en g/kgMS

# Typologie des digestats et indicateurs d'innocuité

Éléments traces métalliques et contaminants organiques vs réglementations

Certains éléments traces à surveiller: Cu, Zn par exemple dans les digestats à lisier de porc majoritaire



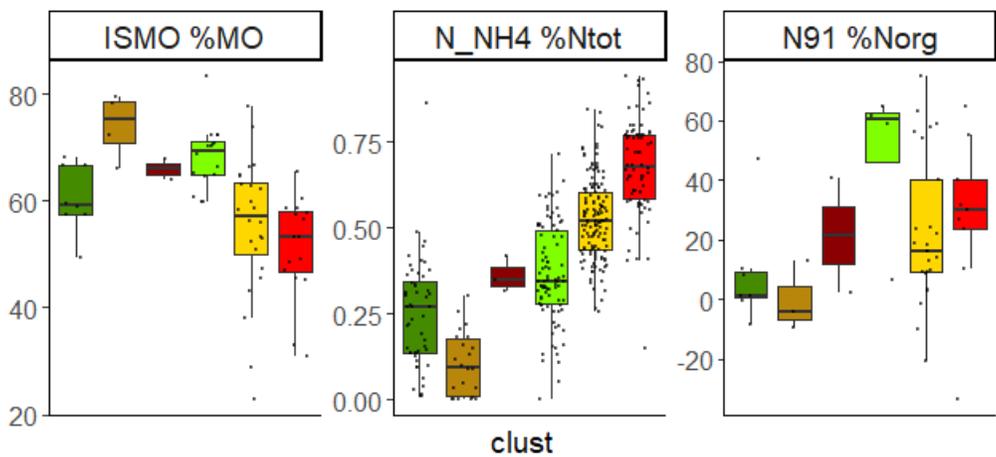
Largement en-dessous des seuils réglementaires



# Indicateurs de stabilité de la MO et disponibilité de N

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

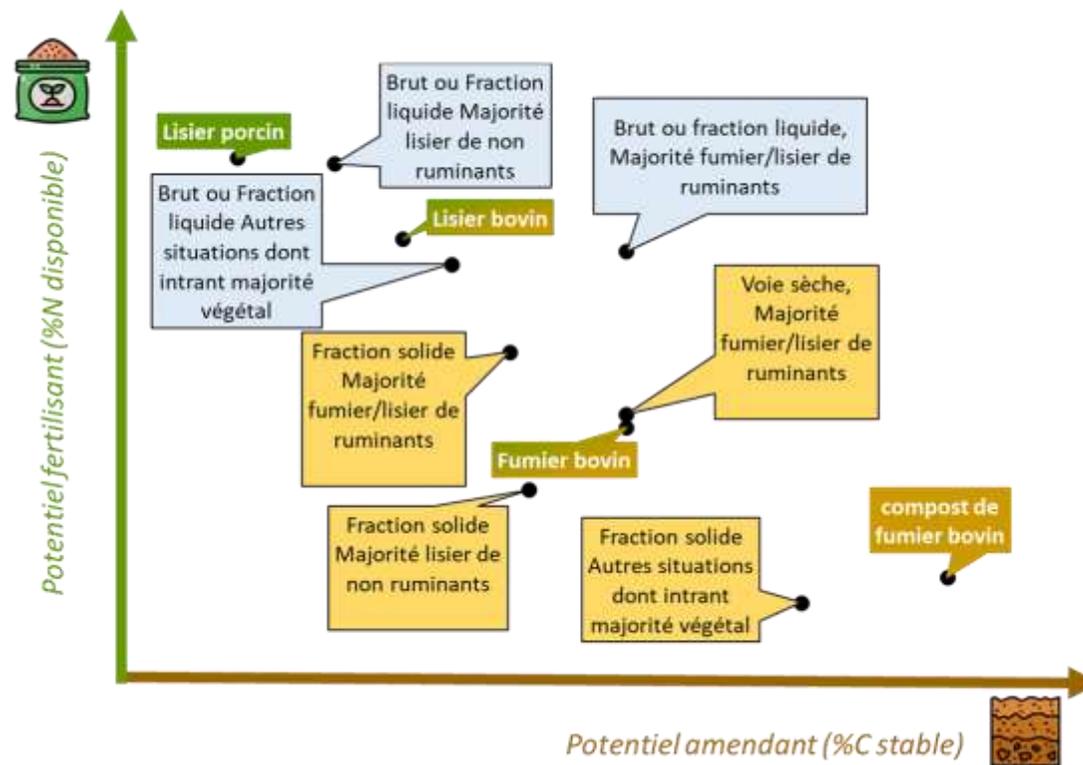
## Propriétés agronomiques: stabilité MO et disponibilité N



**S:** fraction solide  
**BL:** fraction brute et liquide

**ISMO:** indice de stabilité de la matière organique (% MO)  
**N\_NH4:** azote ammoniacal (% N total)  
**N91 :** N minéralisé en 91 jours (% du N organique)

## Positionnement des types de digestats vs autres produits



# Indicateurs fertilité chimique: N efficace

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

## Echantillonnage :

40 essais au champ

2010 - 2022

22 départements

## Sources :

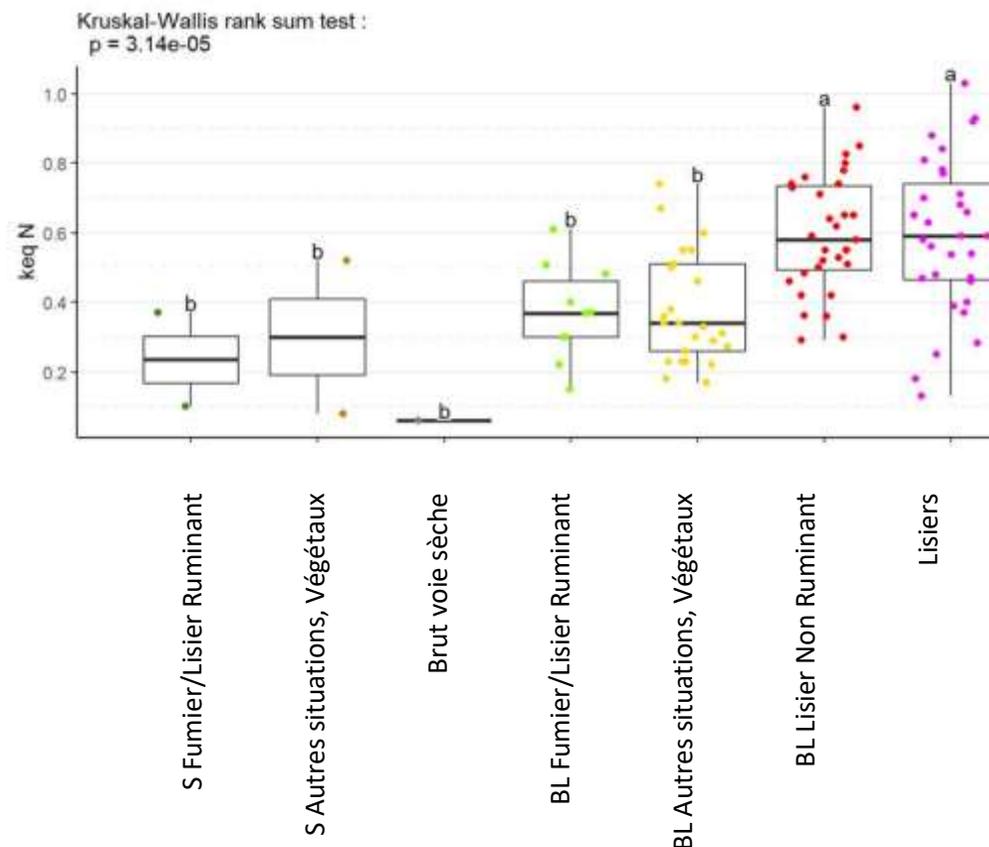
Arvalis, CA, INRAE, LDAR, Lycée Obernai

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

### Facteurs de variabilité KeqN

- Type de produit
- culture et période d'apport
- conditions d'épandage et météorologiques après apport

KeqN : coefficient équivalent engrais



- ✓ Tendence apparaît avec la typologie
- ✓ Valeur significativement différente pour les digestats brut/liquides majorité non ruminants
- ✓ Références -> groupe de travail du COMIFER sur les grilles KeqN

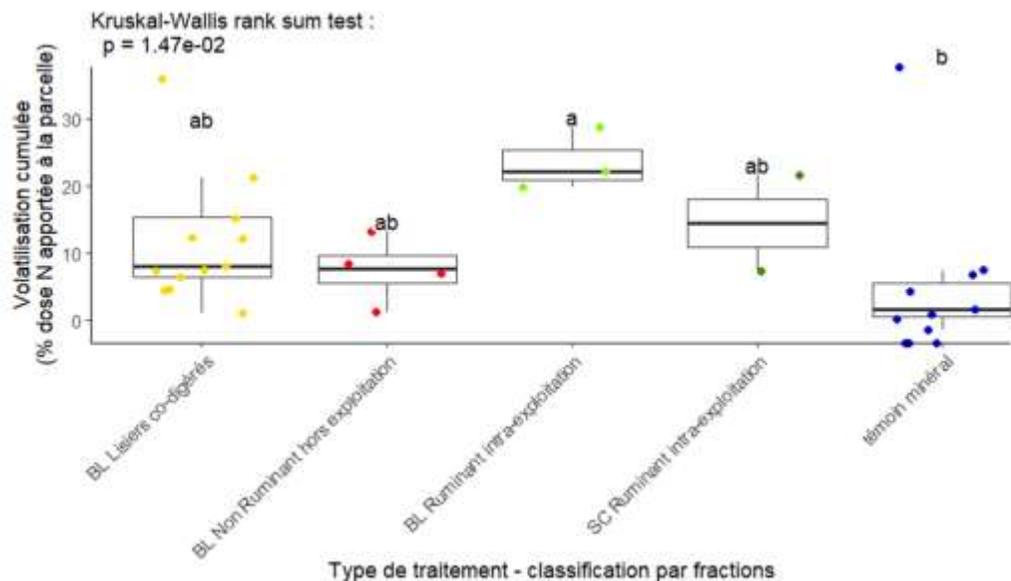
**S:** fraction solide

**BL:** fraction brute et liquide

# Indicateurs affectant la fertilité chimique: volatilisation NH<sub>3</sub>

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

## Potentiel de volatilisation NH<sub>3</sub> à l'épandage



*Non confirmé par les observations en conditions contrôlées*

**Manque de données par typologie, toutefois...**

**Pas de tendances identifiées!**

- ✓ Digestats liquides ont un risque de volatilisation de NH<sub>3</sub> plus faible que les digestats bruts « pâteux » ou solides (vitesse 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 références en conditions contrôlées

*Paramètres définissant la typologie non suffisants pour expliquer les observations de cet indicateur : descripteurs complémentaires physico-chimiques (pH, force ionique, etc.) et physiques (distribution des tailles de particules, caractéristiques structurales, etc.) ?*

# Indicateurs de la fertilité physique et biologique

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

Pas assez de données par typologie

Des tendances peuvent être observées selon digestats solides ou liquides. Les digestats ont souvent les mêmes effets que les autres produits résiduels organiques utilisés

## Indicateurs biologiques

Vers de t...



(production de MO) > possibles effets négatifs observés (toxicité immédiate, hyp: toxicité due à l'azote ammoniacal)

## Micro-organismes and nématodes

L'utilisation des digestats peut impacter et modifier la biomasse microbienne du sol

Projet Metha-BioSol (2024)



FERTIDIG

### PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU SOL

**AVANTAGES**  
dans de bonnes conditions d'apport:

- Diminution de la densité apparente
- Augmentation de la conductivité hydraulique / infiltration
- Augmentation de la stabilité structurale

**RISQUES**  
en cas d'apports répétés:

- Dispersion des colloïdes
- Colmatage de la porosité / compaction

**PROCESsus**

- Matière organique stable
- Dilution

**Stimulation de l'activité lombricienne**

- Galeries

**Activité microbienne**

- Aggrégats à court terme

Plus d'information sur <https://ferti-dig.acta.asso.fr/>



# Conclusions et perspectives

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

**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  
 $Keq N \geq 0.6$



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

**Perspectives:** aller plus loin dans l'analyse de données, prédiction d'indicateurs d'effets à partir de données de caractérisation et diagnostic multicritères  
Mise à jour Concept-Dig  
Guide et bases de données à mettre à jour post projet

# Diffusion des bases de données

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

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

Sous (publications en cours) :

- "Agricultural digestates - **database of physico-chemical properties and process informations**"
- "Agricultural digestates - **database of field experiments**"

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

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

Contact Partager Modifier

Ferti-Dig 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 digestates 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 AMMF, LDAR, Lycée Obernai and Lycée Bar le Duc.

Chercher dans cette collection... Recherche avancée Ajouter des données

Collections (0)  
Jeux de données (2)  
Fichiers (13)

Année de publication  
2023 (1)

Statut de publication  
Version prévisible (1)  
Publié (1)  
Non publié (1)

Origine des données  
analysis data (1)

Type de données  
Dataset (2)

1 à 2 de 2 résultats

**Agricultural digestates - database of physico-chemical properties and process informations** Statut: en partage  
21 sept. 2023  
Michaut, Aurélie; Caradec, Lucile; Moreira, Mariana; Jimenez, Julie, 2023, "Agricultural digestates - database of physico-chemical properties and process informations", <https://doi.org/10.57745/M1J5G5>, Recherche Data Gov, V1, UNF 5:1hOma5zww1bGpVg8lg== [file:INF]  
Agricultural digestates database established in the project ADEME-GRDF FertiDig, which considers 800 digestates, including 600 from agricultural methanation units and 190 digestates compiled from the international literature. The following datasets are available to upload proc...

**Agricultural digestates - database of field experiments** Statut: version prévisible Non publié  
3 jul. 2023  
Caradec, Lucile; Moreira, Mariana; Jimenez, Julie; Michaut, Aurélie, 2023, "Agricultural digestates - database of field experiments", <https://doi.org/10.57745/M58NVS>, Recherche Data Gov, DRAFT VERSION  
Database of field experiments studying agricultural digestates recycling, established in the project ADEME-GRDF FertiDig, which considers x field experiments. xxx

# Classe de digestat résumée dans une page recto-verso

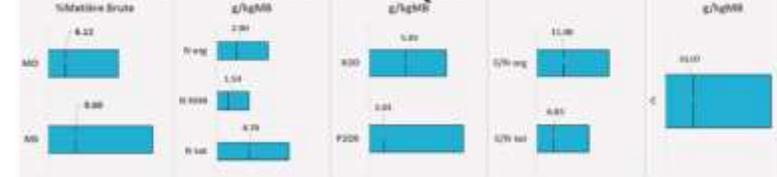
## DIGESTAT BRUT OU FRACTION LIQUIDE majorité lisier/fumier de ruminants

### Composition moyenne

- Fumier (36%)
- Matière végétale IAA/Urbaine, déchets végétaux, matière végétale agricole et ensilages (23%)
- Lisier Ruminant (16%)
- Biodéchets (7%)
- Lisier Non Ruminant (6%)
- Autres intrants (12%)



### COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUE



\*MB = Matière Brute, MS\* = Matière Sèche, MO = Matière Organique, N tot = Azote total, N NH4 = Azote ammoniacal, N org = Azote organique, P205 = phosphore total, K2O = potassium total, C = Carbone

Merci de votre attention

### CAPACITÉ A ENTREtenir LES STOCKS DE CARBONE DU SOL



### Equivalence engrais par culture et période d'apport

Engrais	50%	55%	55%
Engrais organique	50%	55%	55%
Engrais minéral	50%	55%	55%

**VOLATILISATION**  
De façon générale, tous les digestats présentent un risque de volatilisation d'azote ammoniacal à l'épandage pouvant réduire leur potentiel fertilisant azoté. Pour réduire ce risque :  

- Privilégier l'enfouissement immédiat ou une incorporation rapide après apport
- Epandre dans des conditions météorologiques favorables (voir page « Pertes d'azote par volatilisation »)

### 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

# Livrable opérationnel: Guide site web -> POSTER!

Originalité: préconisations par typologie et pages thématiques (état des connaissances)

<https://ferti-dig.acta.asso.fr/> -> Tests et modifications finales en cours avant publication



En savoir plus



### Qu'est-ce que la méthanisation ?

La méthanisation est un procédé qui consiste à transformer des matières organiques en énergie renouvelable (ou biogaz). Elle permet également de produire un effluat à fort potentiel fertilisant organique pour les sols et les cultures. Les digestats obtenus (résidus de méthanisation et de fermentation) sont recyclés et réutilisés comme engrais à long terme. Ils ont pour intérêt de contribuer au développement durable des exploitations agricoles.



### Qu'est-ce que les digestats ?

Les digestats sont les résidus de la méthanisation. Ils sont constitués de deux fractions : une fraction solide (le digestat solide) et une fraction liquide (le digestat liquide). Ils sont riches en nutriments et peuvent être utilisés comme engrais organique.



### Valeur agronomique des digestats

Les digestats sont des produits riches en nutriments et en matière organique. Ils peuvent être utilisés comme engrais organique pour améliorer la fertilité des sols et la qualité des cultures. Ils ont pour intérêt de contribuer au développement durable des exploitations agricoles.



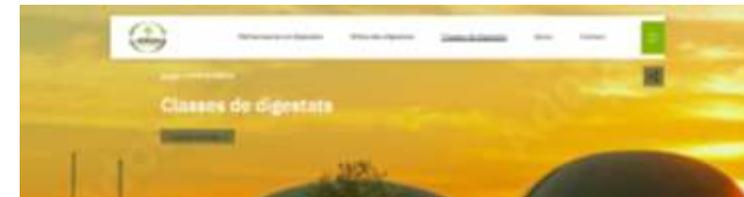
### Effets des digestats sur la structure du sol

Les digestats ont un effet positif sur la structure du sol. Ils améliorent la porosité du sol, ce qui favorise l'aération et le drainage. Ils ont pour intérêt de contribuer au développement durable des exploitations agricoles.



### Effets des digestats sur la biologie du sol

Les digestats ont un effet positif sur la biologie du sol. Ils favorisent le développement des micro-organismes du sol, ce qui contribue à améliorer la fertilité des sols et la qualité des cultures. Ils ont pour intérêt de contribuer au développement durable des exploitations agricoles.



Les classes de digestats sont définies en fonction de leur teneur en matière organique et en nutriments. Elles sont classées en trois catégories : les digestats riches en matière organique, les digestats riches en nutriments et les digestats riches en matière organique et en nutriments.

