



30 ans

# 16<sup>e</sup> Rencontres

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE

21, 22 et 23 novembre 2023

Palais des congrès de Tours

30 ans

# 16<sup>e</sup> Rencontres

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE

Proposition d'une classification  
des digestats de méthanisation basée  
sur leurs propriétés et leurs effets attendus

**Michaud Aurélie<sup>1</sup>, Lucille Caradec<sup>1</sup>, Mariana Moreira<sup>2</sup>,  
Sabine Houot<sup>1</sup>, Le Roux Caroline<sup>3</sup>, Julie Jimenez<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>INRAE, <sup>2</sup>CRA-B, <sup>3</sup>LDAR

**comifer**

Comité Français d'Étude et de Développement  
de la Fertilisation Raisonnée

**Gemas**  
Groupement d'études méthodologiques pour l'analyse des sols

# Classification des digestats de méthanisation

30 ans

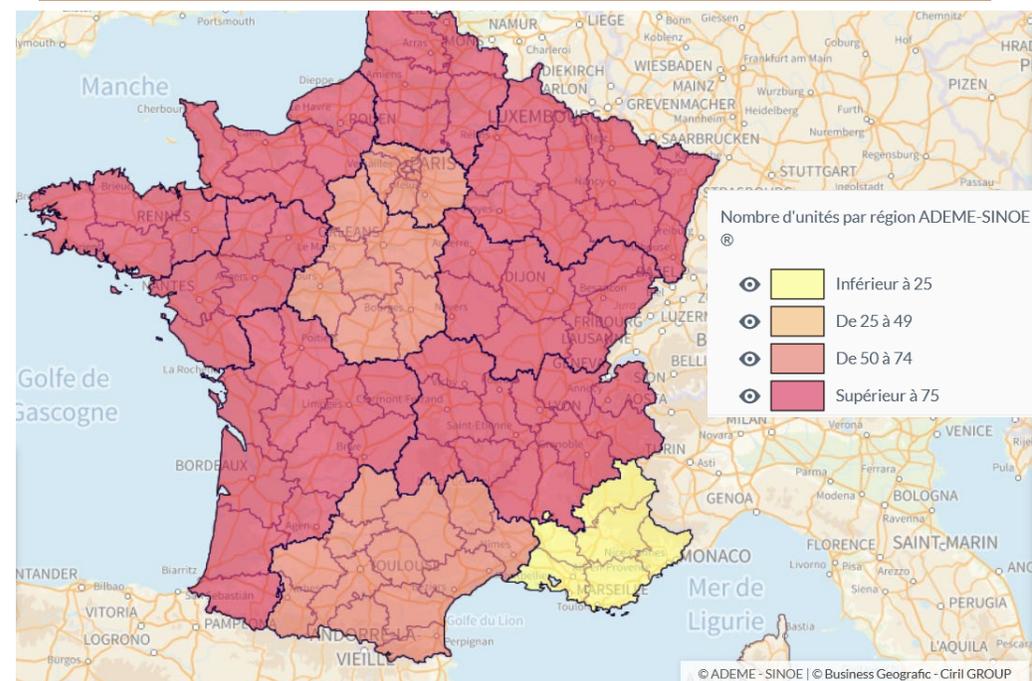


comifer Gemas

## Introduction – La méthanisation ?

- **Fin 2012**, + 300 sites produisant et valorisant du biogaz.
- **Début 2017**, 524 méthaniseurs produisant du biogaz, rythme de construction soutenu, majoritairement à la ferme.
- **En 2022**, plus de 1308 sites, plutôt des installations collectives en co-digestion d'effluents d'élevage (65%) avec des déchets organiques issus des industries agro-alimentaires et des collectivités.
- **Fin juin 2023**, 591 installations ont injecté du biométhane dans des réseaux, après production et épuration de biogaz.

Carte des unités de méthanisation et de biogaz, ADEME-SINOE, 2023



(ATEE Club Biogaz, 2017, 2018 ; ADEME, 2017 ; ADEME-SINOE 2022 ; <https://agriculture.gouv.fr/volet-methanisation> 2023 ; <https://www.ecologie.gouv.fr/biogaz> 2023)

# Classification des digestats de méthanisation

30 ans



comifer Gemas

## Introduction – La méthanisation ?

- **FR/EU dépendante des importations** d'azote et de phosphore, et de biogaz, avec hausse des prix et des tensions sur les marchés.
- **Valorisation de ressources organiques** = alternative pour fertiliser et produire du biogaz = enjeu économie circulaire.
- **Méthanisation** → meilleure autonomie (production biogaz et électricité, digestats en substitution des engrais minéraux).
- **Gisement mobilisable à 2030 en méthanisation** évalué à 130 millions de tonnes de MB, composé à 90 % de matières agricoles.
- Toutefois, pour répondre aux ambitions de développement accru de la méthanisation, un enjeu majeur est de **savoir maîtriser la fertilisation avec des digestats** (i.e. une nutrition adéquate des cultures tout en limitant les impacts) = **projet ADEME/GRDF FertiDig (2021-2024) → classification digestats**

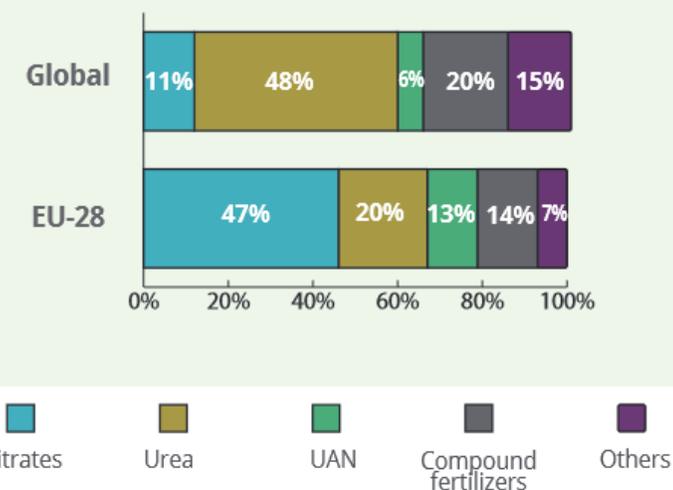
### Nitrogen fertilizer consumption

Global 2018

**103.7**  
million tonnes  
(of nutrient)

EU-28 2019/20

**11.2**  
million tonnes  
(of nutrient)



Note: Due to rounding, figures may not add up to 100%; Agricultural use only

Source: Fertilizers Europe/ IFA

(MAA 2019 ; Green Deal 2021 ; <https://www.ecologie.gouv.fr/biogaz> 2023)

# Classification des digestats de méthanisation

30 ans



comifer Gemas

## Introduction – objectifs de la présentation

INRAE



### Présenter

- 1. la classification des digestats de méthanisation d'origine agricole basée sur leurs propriétés
- 2. les valeurs de  $Keq\ N$  établies en collaboration avec le groupe PRO du COMIFER

Travaux issus du projet **ADEME/GRDF FertiDig (2021-2024)**



# Classification des digestats de méthanisation

30 ans



comifer Gemas

## 1. Classification des digestats

### Base de données

« caractérisation digestats de méthanisation »

### Echantillonnage :

2006 – 2022

52 départements

165 unités de méthanisation

### Sources :

INRAE, CRA-B, ADEME Concept-Dig / AAMF, Lycée Obernai

**608 digestats,**

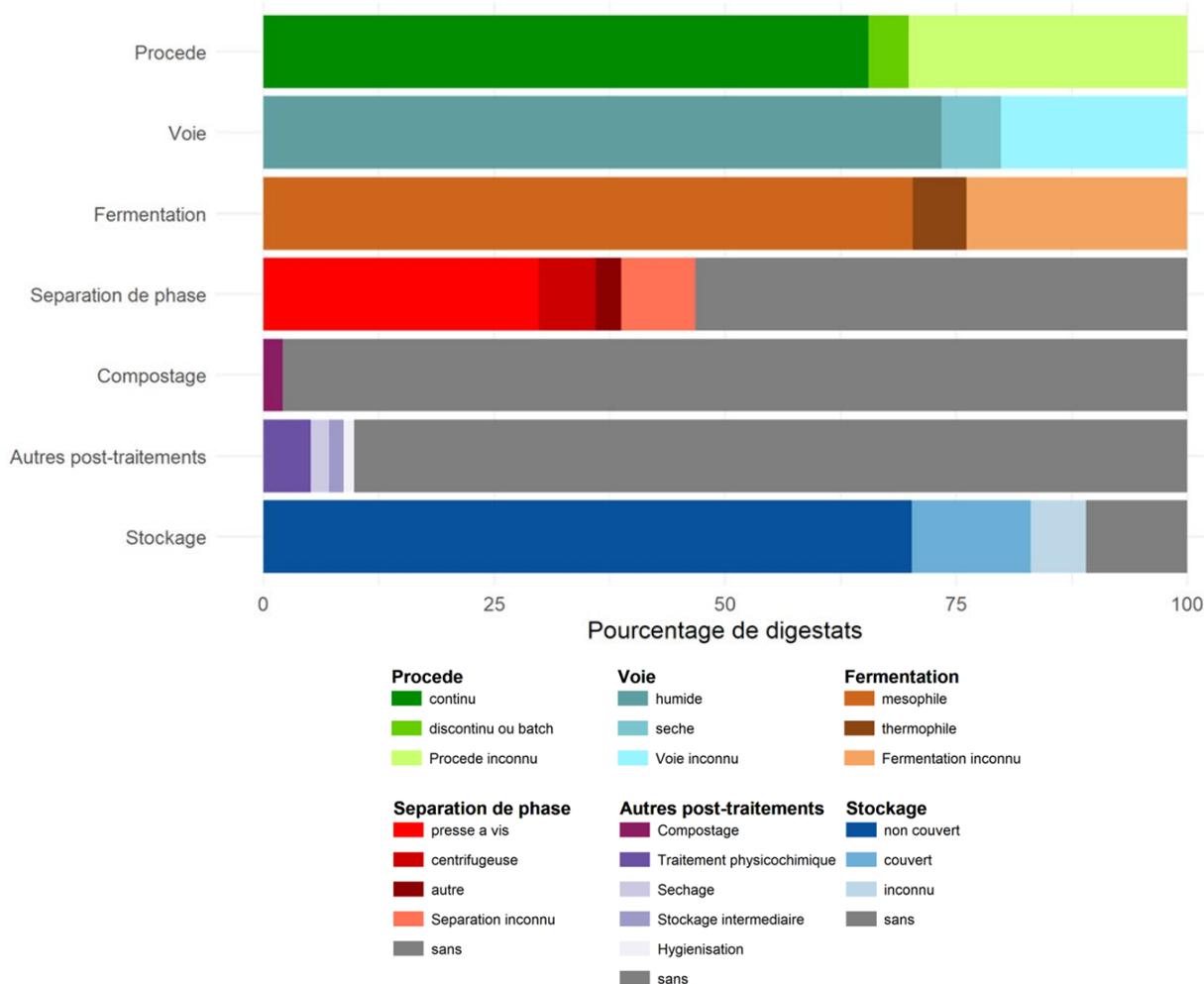
dont 481 pour établir la classification

**Variables agronomiques** (C, Ntot, N-NH4, P, K, C/N...)

**Contaminants** (minéraux, organiques)

**Composition** en intrants et **procédés**

### Procédés et post-traitements appliqués aux digestats



# Classification des digestats de méthanisation

30 ans



comifer Gemas

## 1. Classification des digestats

### Description des digestats

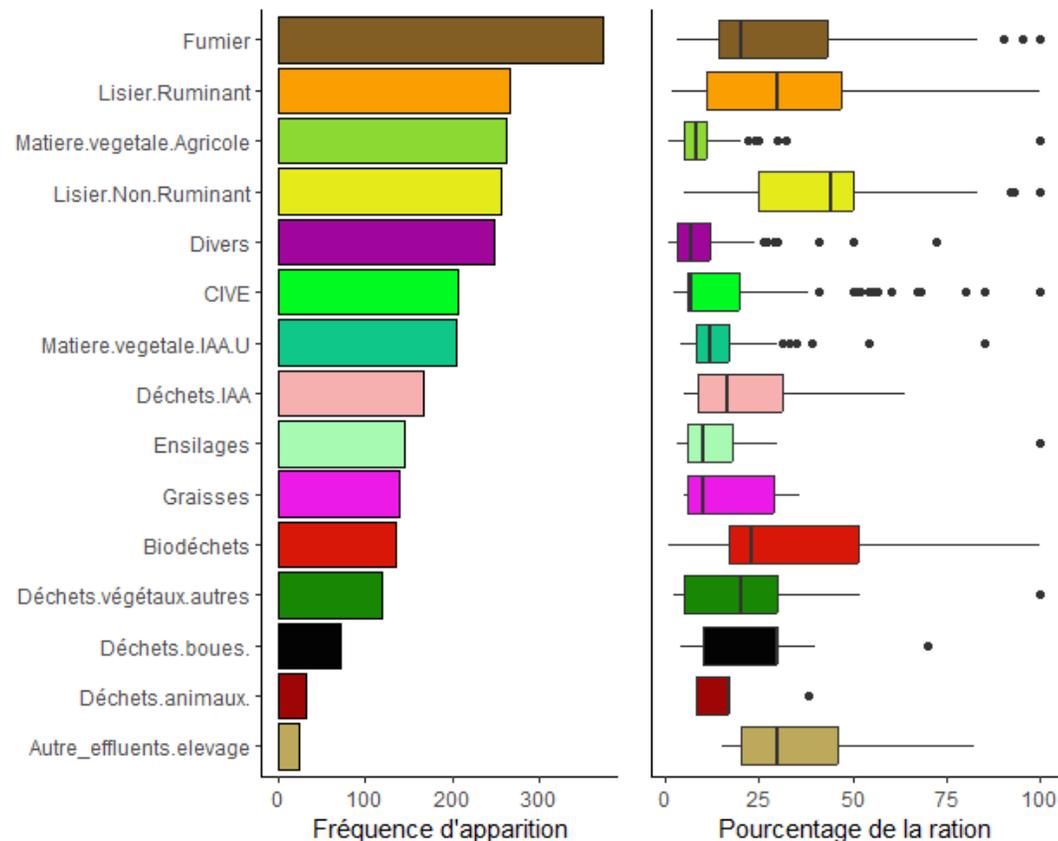
#### Composition :

majorité de fumier, lisier ruminant et non ruminant, matières végétales agricoles et non agricoles et divers déchets et coproduits issus des industries agro-alimentaires

#### Fractions :

56% bruts  
21% liquides  
18% solides  
5% compostés

### Composition des digestats



# Classification des digestats de méthanisation

30 ans



comifer Gemas

## 1. Classification des digestats

### Sept classes de digestats :

- 3 classes, digestats « voie humide » bruts et liquides
- 3 classes, digestats « voie humide » solides/composts
- 1 classe, digestats « voie sèche »

### Classes expliquées par les intrants majoritaires :

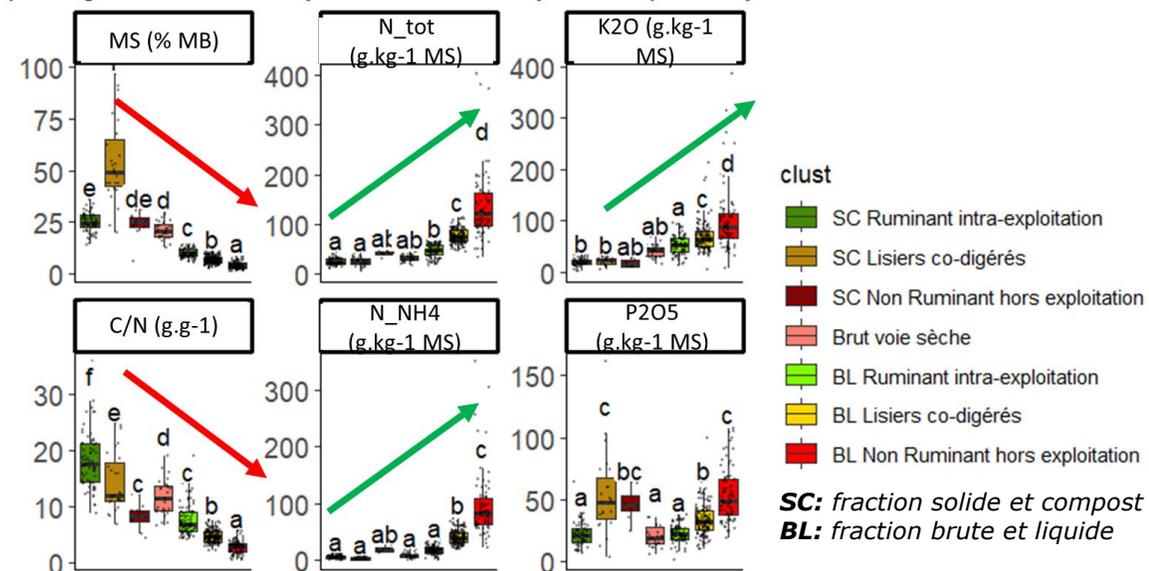
- Fumiers ruminants + intrants exploit. (i.e. mat. végétales)
- Lisiers + intrants industries agro-alimentaires et biodéchets

↗ **N tot, N-NH<sub>4</sub> et K<sub>2</sub>O** : SC - B voie sèche < BL ruminant intra-exploit. < BL lisiers co-digérés < BL non ruminant hors exploit.

↘ **Matière sèche et C/N** : SC - B voie sèche > BL ruminant intra-exploit. > BL lisiers co-digérés > BL non ruminant hors exploit.

### Boxplots des concentrations des paramètres physico-chimiques des digestats

Statistical difference was tested by pairwise Tukey and Wilcoxon-Cox tests with Holm p-value correction, depending on whether normality and homoscedasticity were respected by the variables.



**MS**: matière sèche en % matière brute (%MB)  
**N<sub>NH4</sub>**: azote ammoniacal en g/kgMS  
**N<sub>tot</sub>**: azote total en g/kgMS  
**C/N**: ratio entre carbone et azote total  
**K<sub>2</sub>O**: potassium total en g/kgMS  
**P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**: phosphore total en g/kgMS

# Classification des digestats de méthanisation

30 ans



comifer Gemas

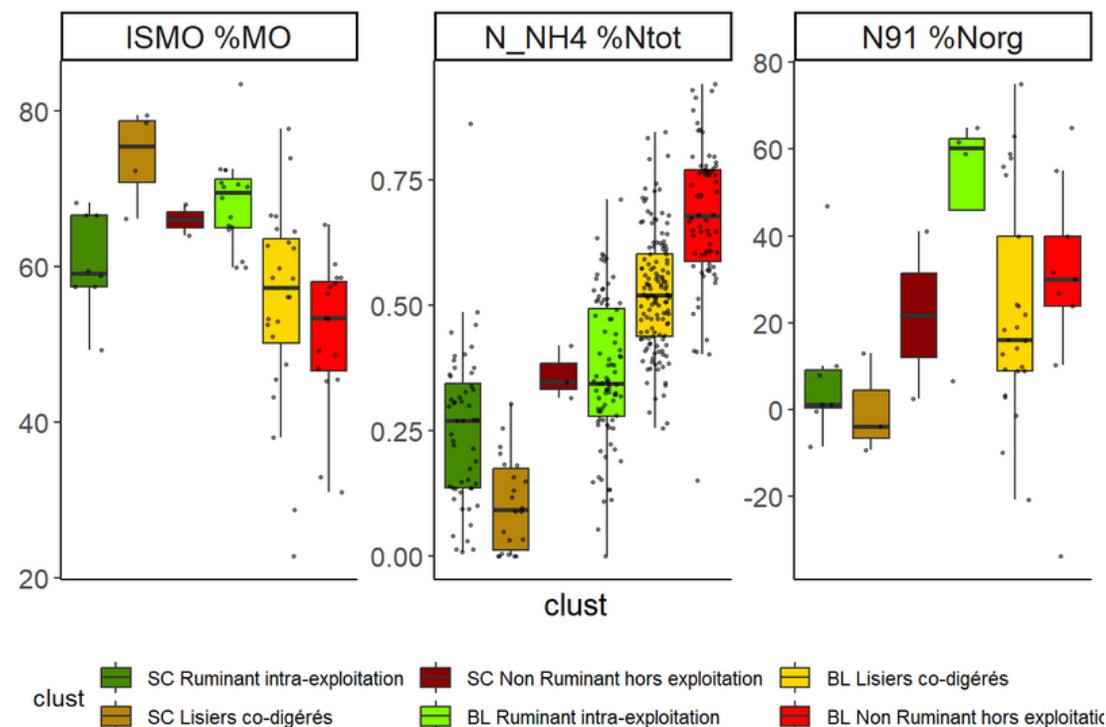
## 1. Classification des digestats

➔ **ISMO** : SC lisiers co-digérés > SC ruminant intra-exploit. – SC non ruminant hors exploit. – BL ruminant intra-exploit. – BL lisiers co-digérés > BL non ruminant hors exploit.

➔ **N-NH<sub>4</sub> (% N total)** : SC - BL ruminant intra-exploit. < BL lisiers co-digérés < BL non ruminant hors exploit.

➔ **N minéralisé 91 jours** : SC ruminant intra-exploit. – SC lisiers co-digérés < SC non ruminant hors exploit. – BL lisiers co-digérés – BL non ruminant hors exploit. < BL ruminant intra-exploit.

### Boxplots des paramètres physico-chimiques supplémentaires



**SC:** fraction solide et compost  
**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)

# Classification des digestats de méthanisation

30 ans



comifer Gemas

## 2. Valeurs de Keq N des digestats

Base de données « Essais au champ étudiant les digestats »

### Echantillonnage :

40 essais évaluant les Keq N de digestats  
2010 - 2022  
22 départements

### Sources :

Arvalis, CA, INRAE, LDAR, Lycée Obernai

### Traitements :

digestat (n = 153), lisier porc (n = 43)  
fertilisation minérale (n = 75), témoin sans azote (n = 43)

### Epanrages de digestat :

principalement sur cultures d'hiver et de printemps  
principalement du blé, du maïs, de la prairie et du colza

Culture	Variable	Moyenne	Ecart-type	Unité	Humidi	Methode
blé	N_absorbé	196,00	7,00	kg.ha-1	sans	Calcul
blé	keq_N	0,51	na	sans	sans	Courbe_réponse_azote
blé	CAU	0,47	na	sans	sans	Calcul
colza	N_absorbé	189,00	17,00	kg.ha-1	sans	Calcul
colza	keq_N	0,80	na	sans	sans	Courbe_réponse_azote
colza	CAU	0,70	na	sans	sans	Calcul
blé	CAU	0,94	na	sans	sans	Calcul
colza	CAU	0,88	na	sans	sans	Calcul
blé	N_absorbé	139,00	18,00	kg.ha-1	sans	Calcul
blé	keq_N	0,51	na	sans	sans	Courbe_réponse_azote
blé	CAU	0,32	na	sans	sans	Calcul
blé	CAU	0,64	na	sans	sans	Calcul
colza	N_absorbé	102,00	13,00	kg.ha-1	sans	Calcul
colza	N_absorbé	114,00	32,00	kg.ha-1	sans	Calcul
colza	CAU	0,56	na	sans	sans	Calcul

# Classification des digestats de méthanisation

30 ans



comifer Gemas

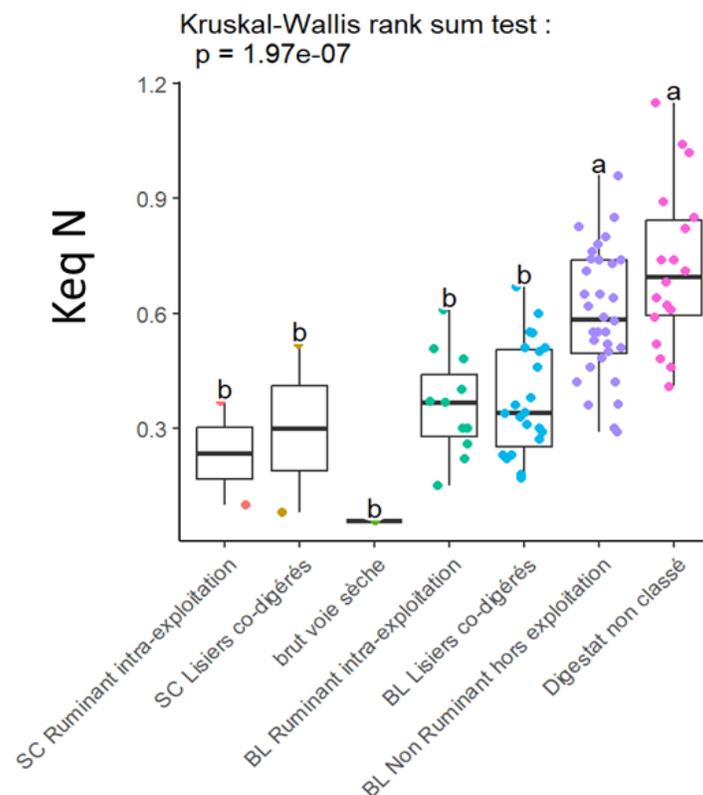
## 2. Valeurs de Keq N des digestats

### Coefficients d'équivalence engrais azoté des digestats

En fonction de la classification des digestats établie précédemment

- ➔ **Keq N** : SC – B voie sèche - BL ruminant intra-exploitation – BL lisiers co-digérés < BL non ruminant hors exploitation
- ➔ Keq N « voie humide » bruts/liquides avec mêmes gradients que la teneur en azote dans la classification
- ➔ **Valeurs plus élevées pour les digestats bruts et liquides issus de lisier de porc**

Boxplots des Keq N des digestats  
toutes cultures confondues  
en fonction de la classification des digestats



**SC** : fraction solide et compost  
**BL** : fraction brute et liquide

# Classification des digestats de méthanisation

30 ans



comifer Gemas

## 2. Valeurs de Keq N des digestats

### Valeurs → grilles COMIFER

Travail en cours de finalisation (exemple pour 2 digestats)

- Pour harmoniser les catégories de digestats, leurs propriétés et identifier les situations manquantes
- Pour utiliser *in fine* dans les calculs de doses à apporter = après introduction dans les arrêtés régionaux

Exemples de PRO		Cultures concernées	Périodes d'apport	Mode d'apport	keqN sur la période du bilan	écart-type	KeqN sur la période du cycle
Digestat de méthanisation agricole	Digestat brut - Lisier de porcs en intrant majoritaire	d'automne (type blé)	Printemps	Surface	0.55	+/-0.16	0.55
		Prairie	Printemps	Na	0.60	+/-0.23	0.60
		de printemps (type maïs)	Printemps	Surface	0.60	+/-0.13	0.60
		de printemps (type maïs)	Printemps	Injection	0.80	+/-0.09	0.80
	Digestat brut et fraction liquide issue de séparation de phase à base d'intrants hors exploitation en majorité	d'automne (type blé)	Printemps	Surface	0.55	+/-0.16	0.55
		Prairie	Printemps	Na	0.50	+/-0.13	0.50
		d'automne (type colza)	Printemps	Surface	0.75	+/-0.09	0.75
		de printemps (type maïs)	Printemps	Surface	0.50	+/-0.09	0.50
		de printemps (type maïs)	Printemps	Injection	0.80	+/-0.16	0.80

# Classification des digestats de méthanisation

30 ans



comifer Gemas

## Suites et communications

### Site web FertiDig

Fiches effets par digestats de la classification (figure à droite)

Disponible au printemps 2024

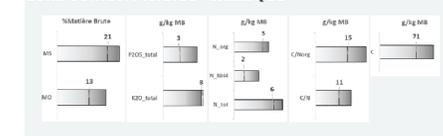


### DIGESTAT VOIE SÈCHE

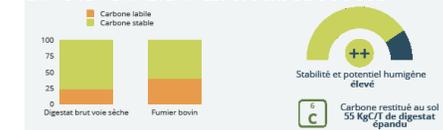
Composition moyenne : fumier  
58% matière végétale IA 6.7%,  
matière végétale agricole 6.3,  
déchets IA 6.7%, biodéchets 6.2%,  
divers 5.6%



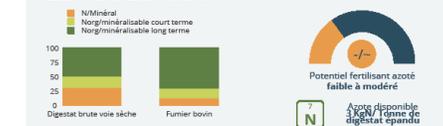
#### COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUE



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



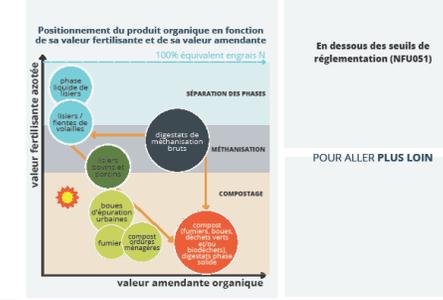
#### VALEUR FERTILISANTE N



#### Coefficients d'équivalence du digestat brut par culture et par période d'apport



#### CONTAMINANTS ORGANIQUES ET ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES



# Classification des digestats de méthanisation

30 ans



comifer Gemas

## Suites et communications

**Collection Ferti-Dig "use of agricultural digestates"**  
<https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/dataverse/ferti-dig>

Publication, avec embargo (articles) puis ouverture :

- "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 Gouv > Data INRAE > Experimental - Observation - Simulation Dataverse >

Contact Partager Modifier

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 Ajouter des données

1 à 2 de 2 résultats

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

Année de publication  
2023 (1)

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

Origine des données  
analysis data (1)

Type de données  
Dataset (2)

**Agricultural digestates - database of physico-chemical properties and process informations** Sous embargo  
21 sept. 2023  
Michaud, Aurélie; 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 Gouv, V1, UNF:6:1hOmaStzwrw1bGgkVgllMg== [fileUNF]  
Agricultural digestates database established in the project ADEME/GRDF FertiDig, wich considers 806 digestates, including 608 from agricultural methanisation units and 198 digestates compiled from the international literature. The following datasets are available to upload: proc...

**Agricultural digestates - database of field experiments** Version provisoire Non publiée  
3 juil. 2023  
Caradec, Lucille; Moreira, Mariana; Jimenez, Julie; Michaud, Aurélie, 2023, "Agricultural digestates - database of field experiments", <https://doi.org/10.57745/WUJUV5>, Recherche Data Gouv, DRAFT VERSION  
Database of field experiments studying agricultural digestates recycling, established in the project ADEME/GRDF FertiDig, wich considers x field experiments. xxx

# Classification des digestats de méthanisation

30 ans



comifer Gemas

## Conclusions et perspectives

Propriétés des digestats (→ publication)

### fertilisantes

MS faible  
teneur en N importante, % N-NH<sub>4</sub> et N minéralisé élevés  
C/N faible  
Keq N ≥ 0.6

### amendantes

MS élevée  
faible teneur en nutriments  
C/N et/ou ISMO élevés  
Keq N ≤ 0,3



BL Lisiers co-digérés



BL Non Ruminant hors exploitation



SC Non Ruminant hors exploitation



Brut voie sèche



BL Ruminant intra-exploitation



SC Ruminant intra-exploitation



SC Lisiers co-digérés

**SC** : fraction solide et compost  
**BL** : fraction brute et liquide

# Classification des digestats de méthanisation

30 ans



comifer Gemas

## Conclusions et perspectives

### Effets au champ des digestats

- Mise à jour grilles COMIFER pour Keq N digestats
- Calcul du bilan N des apports de digestats
- Evaluation des effets sur les variables de fertilité (biologique, physique, chimique)

### Au-delà de FertiDig...

**Compléter les données avec des digestats** solides, C/N élevés, composts de digestats, CIVE, biodéchets



30 ans

**Merci**  
A Lucille Caradec !  
Aux collègues et aux partenaires  
Pour votre écoute

# Classification des digestats de méthanisation

30 ans



comifer Gemas

## 1. Classification des digestats

	MS	MO	Ntot	...
Digestat 1				
Digestat 2				
...				

BDD digestats : 481 digestats,  
12 variables physicochimiques

- 28 digestats bruts en méthanisation voie sèche

- 345 digestats bruts et liquides
- 108 digestats solides et compostés

ACP - classification  
ascendante hiérarchique



**3 classes de digestats bruts et liquides**  
**3 classes de digestat solides et compostés**

