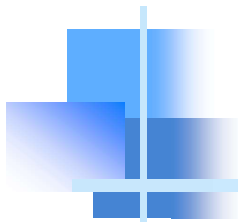


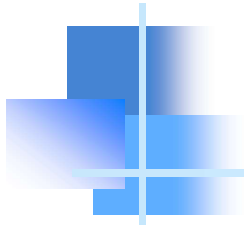
## Groupe de travail - Actualisation des Keq

A decorative graphic consisting of several overlapping blue squares of varying shades and sizes, positioned to the left of the text.

**Animation :** Marie Carré – COMIFER  
Aurélia Michaud – INRAE  
Caroline Le Roux – LDAR

**Membres :** Véronique Stangret – EPLEFPA/LEGTA-OBERNAI  
Thierry Morvan – INRAE  
Enguerrand Burel – ITAB  
Mariana MOREIRA – CRAB  
Hélène Lagrange – Arvalis  
Claire Bodele – CA Pas de Calais  
Florent Levavasseur – INRAE

**Organisation :** 5 réunions depuis septembre 2020



## Points présentés

- Rappels sur les grilles coefficients d'équivalents engrais N (Keq N) du COMIFER
- Objectifs du groupe Keq Digestats
- Essais inventoriés
- Premiers résultats
- Suites ?

## Rappels sur les grilles Keq N du COMIFER

[https://comifer.asso.fr/images/pdf/Tableaux/Tableau%20keq\\_brochure2013.pdf](https://comifer.asso.fr/images/pdf/Tableaux/Tableau%20keq_brochure2013.pdf)

### Types de produits considérés dans la grille (avec déclinaison plus fine)

Composts déchets verts	Fumier cheval
Compost urbain	Fumier ovins/caprins
Digestats méthanisation	Fumier cheval/caprins/ovins
Boues activées	Fumier porcs
Boues digérées	Fumier bovins
Autres boues	Fientes volailles avec litière
Boues digérées traitées thermiquement	Compost fumier bovins
Compost de boues	Compost fiente volailles avec litière
Matières vidanges	Fientes volailles
Boue station épuration papeterie	Lisier porc mixte
Compost fumier porc ou lisier porc + paille	Lisier bovins
	Lisier veaux
	Vinasse betterave concentrée

## Rappels sur les grilles Keq N du COMIFER

[https://comifer.asso.fr/images/pdf/Tableaux/Tableau%20keq\\_brochure2013.pdf](https://comifer.asso.fr/images/pdf/Tableaux/Tableau%20keq_brochure2013.pdf)

### Type de produit x cultures concernées x périodes apports

Cultures concernées	Périodes apports
De printemps (type maïs; betterave)	Printemps
D'automne (colza; blé)	Été
	Fin été
	Automne

### Type de produit x cultures concernées x périodes apports

- Valeur Keq sur la période du bilan (voire sur la période du cycle cultural)
- Sources et amplitudes ou écart-type

# Rappels sur les grilles Keq N du COMIFER

[https://comifer.asso.fr/images/pdf/Tableaux/Tableau%20keq\\_brochure2013.pdf](https://comifer.asso.fr/images/pdf/Tableaux/Tableau%20keq_brochure2013.pdf)

Exemples de PRO	Cultures concernées	Périodes d'apport	Coefficient d'équivalence azote (keqN)						
			keqN sur la période du bilan	Amplitudes ou écart-type ( $\sigma$ )*	SOURCES	keqN sur la période du cycle	Amplitudes ou écart-type ( $\sigma$ )*	SOURCES	
Compost MIATE*** (avec support carbonaté) de 6 mois et plus	de printemps (type maïs)	Printemps	0,15		IL (1)	0,15		IL (1)	
	d'automne (blé)	Automne	0,10		IL (1)				
Compost de déchets verts	Compost de déchets verts de plus de 6 mois	de printemps (type maïs)	0,10	0,05 à 0,15	IL (1)	0,10	0,05 à 0,15	IL (1)	
		de printemps (type maïs)	0,10		EC (2)				
		de printemps (type maïs)	0,10		EC (2)				
		d'automne (colza)	Fin été	0,05		EC (2)			
		d'automne (blé)	Automne	0,05		SA (1)			
		d'automne (blé)	Automne	0,00		SA (2)			
Compost urbain	Compost d'ordures ménagères résiduelles (par TMB)	de printemps (type maïs)	0,10	0,05 à 0,15	IL (2)	0,10	0,05 à 0,15	IL (2)	
		d'automne (blé)	0,05		IL (1)				
Digestats de méthanisation agricole	Digestats bruts	de printemps (type maïs) apport surface	0,50		EC (5)	0,50		EC (5)	
		de printemps (type maïs) injection	0,90		EC (5)	0,90		EC (5)	
		d'automne (colza)	0,80			0,80		EC (5)	
		d'automne (blé)	0,65		EC (5)				
	Fraction liquide après séparation de phase	de printemps (type maïs)	0,70		E (2) (retachement au produit Lisier de Porcs)	0,70		E (2) (retachement au produit Lisier de Porcs)	
Fraction sèche après séparation de phase	de printemps (type maïs)	0,30		RE (1)	0,30		RE (1)		
Boues activées	Boues activées liquides IAA (C/N = 4.4)	de printemps (type maïs)	0,50		IL (4)	0,50		IL (4)	
	Boues activées liquides égouttées IAA (C/N = 4.4)	de printemps (type maïs)	0,50		IL (4)	0,50		IL (4)	
	Boues activées liquides urbaines (C/N = 4.9)	de printemps (type maïs)	0,45		IL (4)	0,45		IL (4)	
	Boues activées liquides égouttées urbaines (C/N = 4.9)	de printemps (type maïs)	0,45		IL (4)	0,45		IL (4)	
	Boues activées filtre presse non chaulées (C/N = 5.9)	de printemps (type maïs)	0,45		IL (4)	0,45		IL (4)	
	Boues activées pâteuses filtre à bandes (C/N=5.2)	de printemps (type maïs)	0,40		IL (4)	0,40		IL (4)	
	Boues activées lits de séchage (C/N=5.4)	de printemps (type maïs)	0,40		IL (4)	0,40		IL (4)	
	Boues activées lits à rhizophytes (C/N = 5.9)	de printemps (type maïs)	0,40		IL (4)	0,40		IL (4)	
	Boues activées déshydratées chaulées		0,35		IL (4)	0,35		IL (4)	

## Rappels sur les grilles Keq N du COMIFER

[https://comifer.asso.fr/images/pdf/Tableaux/Tableau%20keq\\_brochure2013.pdf](https://comifer.asso.fr/images/pdf/Tableaux/Tableau%20keq_brochure2013.pdf)

Cultures concernées	Périodes d'apport	Coefficient d'équivalence azote (keqN)						
		keqN sur la période du bilan	Amplitudes ou écart-type ( $\sigma$ )*	SOURCES	keqN sur la période du cycle	Amplitudes ou écart-type ( $\sigma$ )*	SOURCES	
Digestats bruts	de printemps (type maïs) apport surface	Printemps	0,50		EC (2)	0,50		EC (2)
	de printemps (type maïs) injection	Printemps	0,90		EC (2)	0,90		EC (2)
	d'automne (colza)	Printemps	0,80			0,80		EC (2)
	d'automne (blé)	Printemps	0,65		EC (2)			
Fraction liquide après séparation de phase	de printemps (type maïs)	Printemps	0,70		E (2) (rattachement au produit Lisier de Porcs)	0,70		E (2) (rattachement au produit Lisier de Porcs)
Fraction sèche après séparation de phase	de printemps (type maïs)	Printemps	0,30		RE (1)	0,30		RE (1)

## Rappels sur les grilles Keq N du COMIFER

[https://comifer.asso.fr/images/pdf/Tableaux/Tableau%20keq\\_brochure2013.pdf](https://comifer.asso.fr/images/pdf/Tableaux/Tableau%20keq_brochure2013.pdf)

### Reprise des grilles Keq COMIFER en régions pour les digestats de méth. ?

**Pays de la Loire** : ARR 2019

**Centre** : ARR 2018

**Auvergne- Rhône Alpes** : ARR 2018

**Ile de France** : ARR 2015; données de Keq différentes du COMIFER; les agriculteurs doivent faire analyser leurs PRO ou utilise les tableaux du GREN pour connaitre la classe du Keq

**Nouvelle-Aquitaine** : ARR 2015; Produit qui ne sont pas exactement les mêmes que le COMIFER; Valeurs qui peuvent différer

**Occitanie** : ARR 2015; Tableau différent du COMIFER

**PACA** : ARR 2012; Référence aux tableaux du COMIFER

**Bretagne** : ARR 17/07/2017, Valeurs  $\pm$  différentes des tables du comifer (ajout compost)

**Normandie** : ARR du 14/08/2019; Ajout des composts avec fraction solide + ref (ex. prairie)

**Bourgogne Franche Comté** : ARR du 20/11/2019; table comifer pour apports printemps; autres valeurs pour apports automne

**Hauts de France** : ARR du 25/10/2020; ajout de ref apport automne

**Grand-Est** : ARR du 22/08/2019; Valeurs différentes selon les départements (ex région)

## Rappels sur les grilles Keq N du COMIFER

[https://comifer.asso.fr/images/pdf/Tableaux/Tableau%20keq\\_brochure2013.pdf](https://comifer.asso.fr/images/pdf/Tableaux/Tableau%20keq_brochure2013.pdf)

### Besoins de compléter les grilles COMIFER

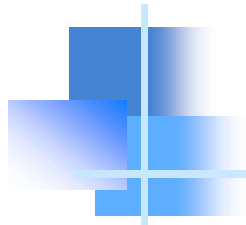
**Diversifier les digestats x cultures concernées**

**Valoriser des essais Keq conduits en France depuis 2013 (inventaire Bell et Leclerc 2015)**

**→ Transmettre des valeurs références aux GREN**

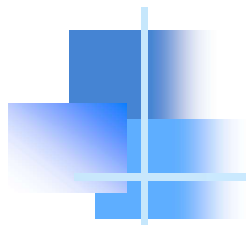


## Objectifs du groupe Keq du COMIFER



### **Pour les digestats méthanisation (priorité 1), voire pour d'autres produits**

- Inventaire des essais Keq Digestats méthanisation
- Recueil et traitement des données
- MAJ des grilles Keq COMIFER pour digestats
- Valoriser le travail de recueil et traitement des données



## Vingtaine d'essais au champ inventoriés

**Période** : 2011 – 2018

**Régions** : Bretagne, Pays de Loire, Ile de France, Grand-Est, Hauts de France

**Sols** : calcaires (1/4) et non calcaire (3/4)

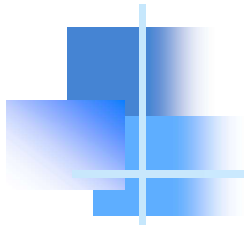
**Produits étudiés** :

Digestats agricoles majoritairement (lisier, mélanges effluents, fumiers) : bruts, en séparation de phase

Digestats urbain (surtout biodéchets) : brut, séparation de phase, composté

Effluents élevages bruts

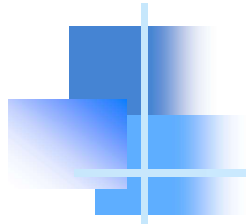
**Cultures** : blé, maïs ensilage > prairie > orge, colza > betterave, maïs grain



## Vingtaine d'essais au champ inventoriés

### Variabilité

- contexte (produit, culture, sol, climat)
- fiabilité des essais
- périodes et matériels d'apports
- durée d'enfouissement en post-apport



## Codification des produits ?

Différente entre essais

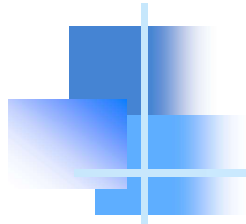
→ Volonté d'harmoniser entre essais

## Codifications existantes ?

Nomenclature observatoire SOERE PRO et CasDAR/ADEME Réseau PRO

Typologie Concept Dig (J Jimenez)

Grille COMIFER



## Codification des produits ?

Différente entre essais

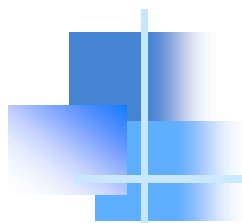
→ Volonté d'harmoniser entre essais

## Codifications existantes ?

Nomenclature observatoire SOERE PRO et CasDAR/ADEME Réseau PRO (à tester)

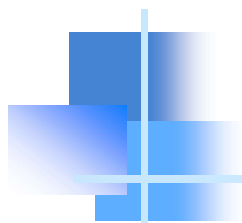
Typologie Concept Dig (J Jimenez) (en cours, incomplète, peu explicite en conseil)

Grille COMIFER (incomplète)



## Vingtaine d'essais au champ inventoriés

Culture	Sol calc	Nom SOERE PRO
maïs	non	Effluent_Elevage_Digestat_Lisier_Porc_brut
maïs	non	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_brut
maïs	non	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_solide
maïs	non	Effluent_Elevage_Digestat_fumier bovins ?
maïs	non	Urbain_Digestat_biodechets_solide
maïs	non	Urbain_Compost_digestat_biodechets
maïs	non	Effluent_Elevage_Lisier_porc
blé	non	Effluent_Elevage_Digestat_Lisier_Porc_brut
blé	non	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_brut
blé	non	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_liquide
blé	non	Effluent_Elevage_Digestat_lisier volailles_brut
blé	non	Effluent_Elevage_Digestat_fumier bovins ?
blé	non	Effluent_Elevage_Lisier_porc
blé	non	Effluent_Elevage_Digestat_lisier volailles_brut
blé	non	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_brut
blé	non	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_liquide
blé	non	Urbain_Digestat_biodechets_brut
blé	non	Effluent_Elevage_Lisier_bovins



## Vingtaine d'essais au champ inventoriés

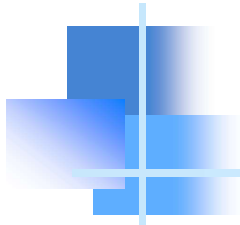
Culture	Sol calc	Nom SOERE PRO
orge	non	Effluent_Elevage_Digestat_Lisier_Porc_brut
orge	non	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_brut
orge	non	Effluent_Elevage_Lisier_porc
colza	non	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_brut
colza	non	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_liquide
colza	non	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_brut
colza	non	Urbain_Digestat_biodechets_brut
prairie	non	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_brut
prairie	non	Effluent_Elevage_Digestat_Lisier_Porc_brut
prairie	non	Effluent_Elevage_Lisier_porc
prairie	non	Effluent_Elevage_Lisier_bovins
prairie	non	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_brut
prairie	non	Effluent_Elevage_Digestat_Lisier_Porc_brut
prairie	non	Effluent_Elevage_Lisier_porc
blé	oui	Autre_Agricole_Digestat_co-digestion
blé	oui	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_brut
orge	oui	Urbain_Digestat_biodechets_brut
maïs	oui	Urbain_Digestat_biodechets_brut
betterave	oui	Urbain_Digestat_biodechets_brut
betterave	oui	Urbain_Digestat_biodechets_brut

## Codification des produits ?

Matière première majoritaire > 50 % composition → attachement à type produit

Code figures	Nomenclature
C-Dig-Bio	Urbain_Compost_digestat_biodechets
LB	Effluent_Elevage_Lisier_bovins
Dig-LV-B	Effluent_Elevage_Digestat_lisier volailles_brut
Dig-FB	Effluent_Elevage_Digestat_fumier bovins
Dig-CoDig-B	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_brut
Dig-Bio-B	Urbain_Digestat_biodechets_brut
Dig-CoDig-S	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_solide
LP	Effluent_Elevage_Lisier_porc
Dig-Agri-CoDig	Autre_Agricole_Digestat_co-digestion
Dig-LP-B	Effluent_Elevage_Digestat_Lisier_Porc_brut
Dig-Bio-S	Urbain_Digestat_biodechets_solide
Dig-CoDig-L	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_liquide

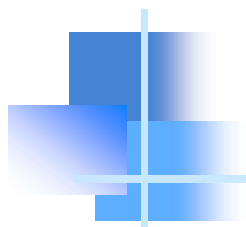




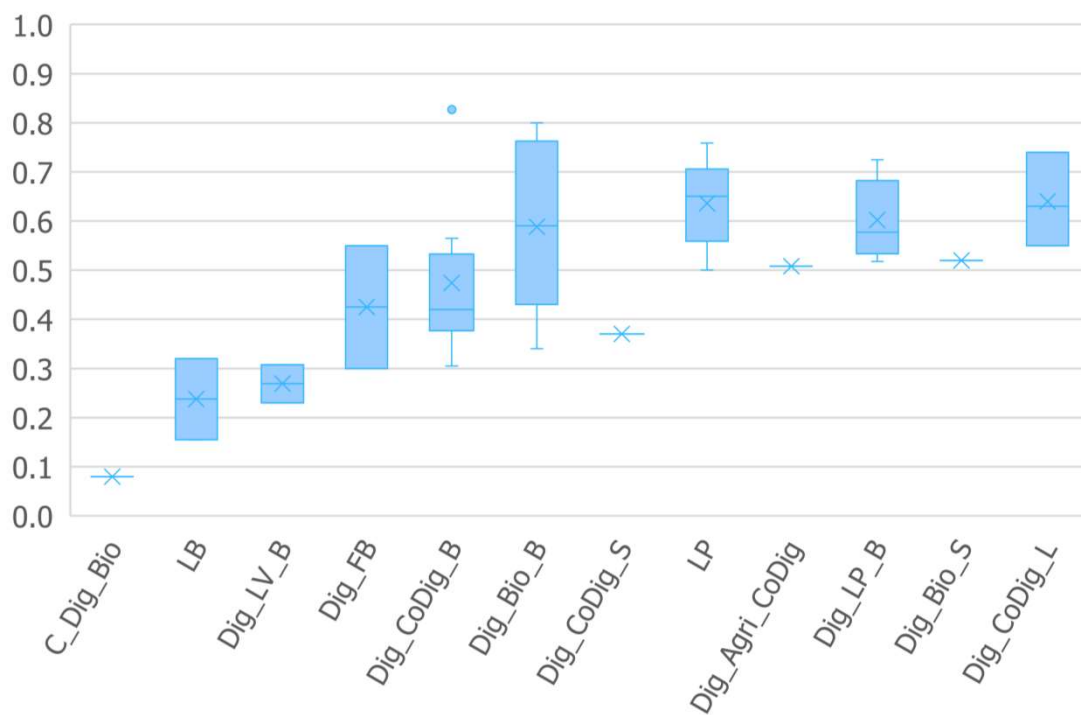
## « Déterminants » des valeurs de Keq ?

### → Liste de variables descriptives harmonisées entre essais

- codification des produits
- période apport
- enfouissement (durée)
- culture
- sol calcaire/non calcaire
- composition (ex. C/N)



## Valeurs Keq en fonction des produits



## Premiers résultats

Code figures	Nomenclature
C-Dig-Bio	Urbain_Compost_digestat_biodechets
LB	Effluent_Elevage_Lisier_bovins
Dig-LV-B	Effluent_Elevage_Digestat_lisier_volailles_brut
Dig-FB	Effluent_Elevage_Digestat_fumier_bovins
Dig-CoDig-B	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_brut
Dig-Bio-B	Urbain_Digestat_biodechets_brut
Dig-CoDig-S	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_solide
LP	Effluent_Elevage_Lisier_porc
Dig-Agri-CoDig	Autre_Agricole_Digestat_co-digestion
Dig-LP-B	Effluent_Elevage_Digestat_Lisier_Porc_brut
Dig-Bio-S	Urbain_Digestat_biodechets_solide
Dig-CoDig-L	Effluent_Elevage_Digestat_co-digestion_liquide

### Keq < 0.3

Compost digestat biodéchets  
Lisier bovins  
Digestat litière volaille brut

### Keq 0.3-0.6

Digestat fumier bovins  
Digestat codigestion EE brut/solide  
Digestat biodéchet brut

### Keq ≥ 0.6

Lisier porcs  
Digestats agri. codigestion brut  
Digestat codigestation EE liq.  
Digestat lisier porc brut  
Digestat biodéchet solide (confirmer)



## Valeurs Keq en fonction de la période d'enfouissement post-apport Calculable pour certains produits

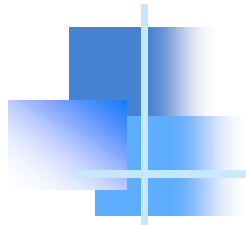
### Exemple du cas Effluent\_Elevage\_Digestat\_Lisier\_Porc\_brut x maïs

Enfouissement	Keq	Ecart-type
Tout	0.64	0.21
immédiat	0.86	0.09
4-12h	0.57	0.15
12-24h	0.68	0.18
sans	0.4	0.21

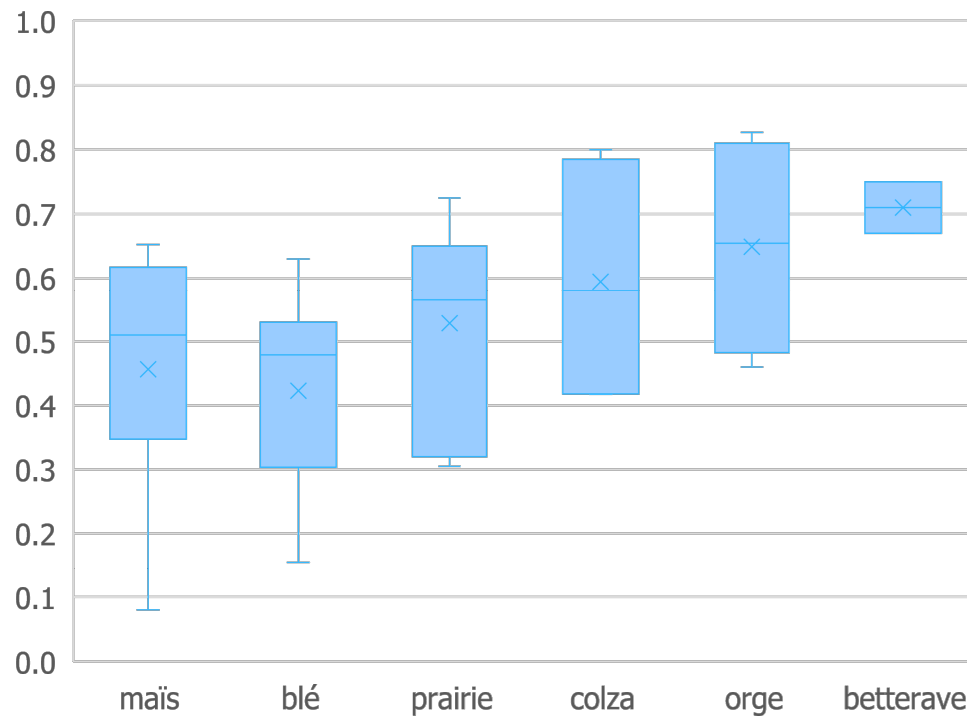
#### Moyenne Keq 0.6

> 0.8 en enfouissement immédiat  
0.6-0.7 en enfouissement 4-24h  
0.4 sans enfouissement

Confirmer sur davantage de situations



## Valeurs Keq en fonction de la culture



**Fonction jeu données  
et disparité situations**  
(= nombre essai / culture)

**Keq < 0.6**

Maïs

Blé

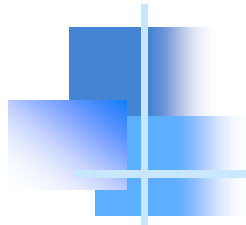
Prairie

**Keq ≥ 0.5-0.6**

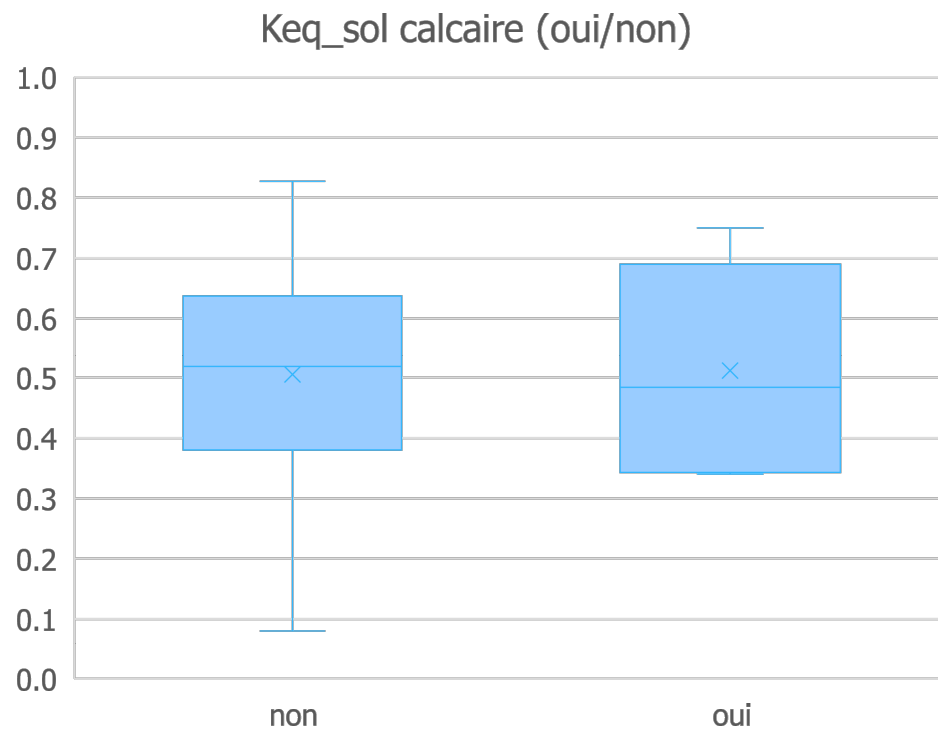
Colza

Orge

Betterave



## Valeurs Keq en fonction du sol



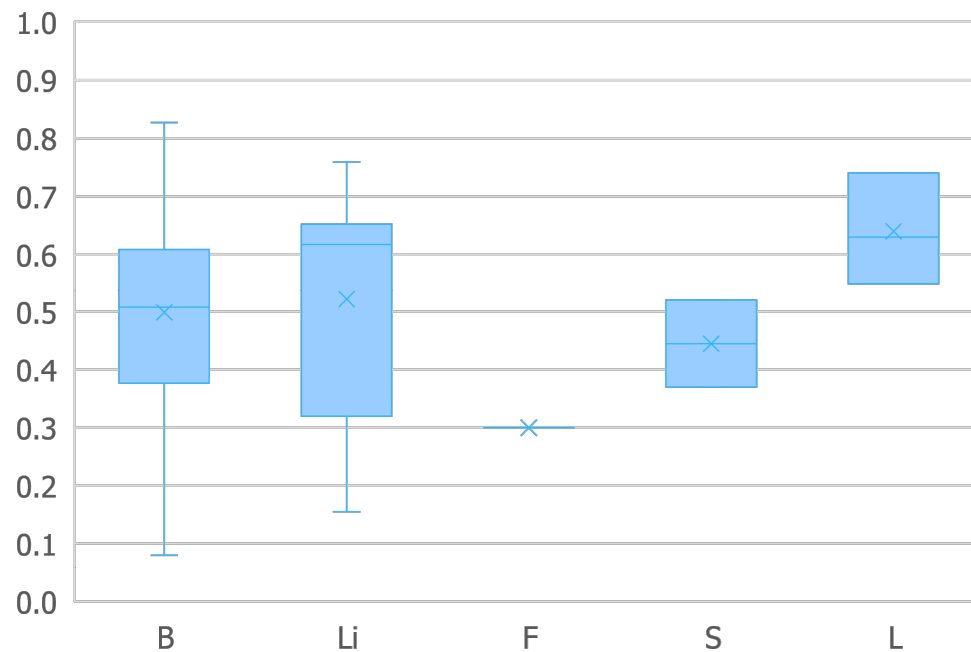
**Fonction jeu données  
et disparité situations**  
(= nombre essai / sol)

**Pas de différence entre sols  
calcaires/non calcaires**

Confirmer sur davantage de situations

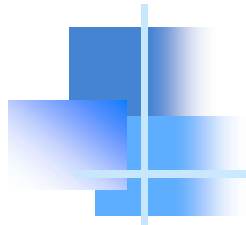


## Valeurs Keq en fonction de l'état du produit

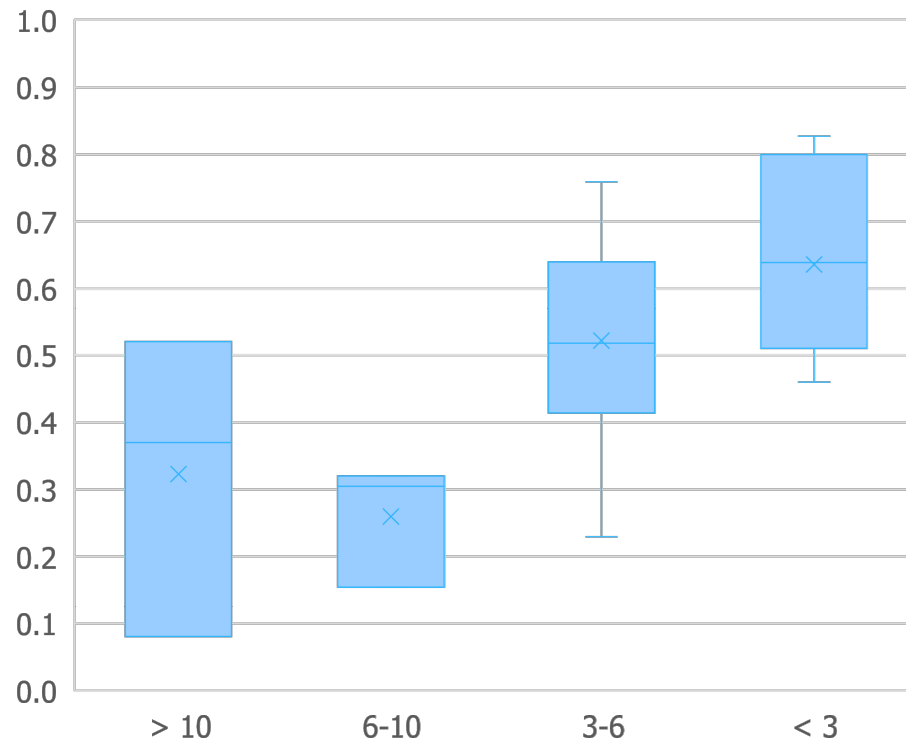


**Fonction jeu données  
et disparité situations**  
(= nombre essai / état)

F – fumier  
< B – brut, Li – lisier, S – solide  
< L - liquide



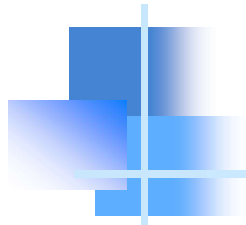
## Valeurs Keq en fonction de la composition du produit (classes de C/N)



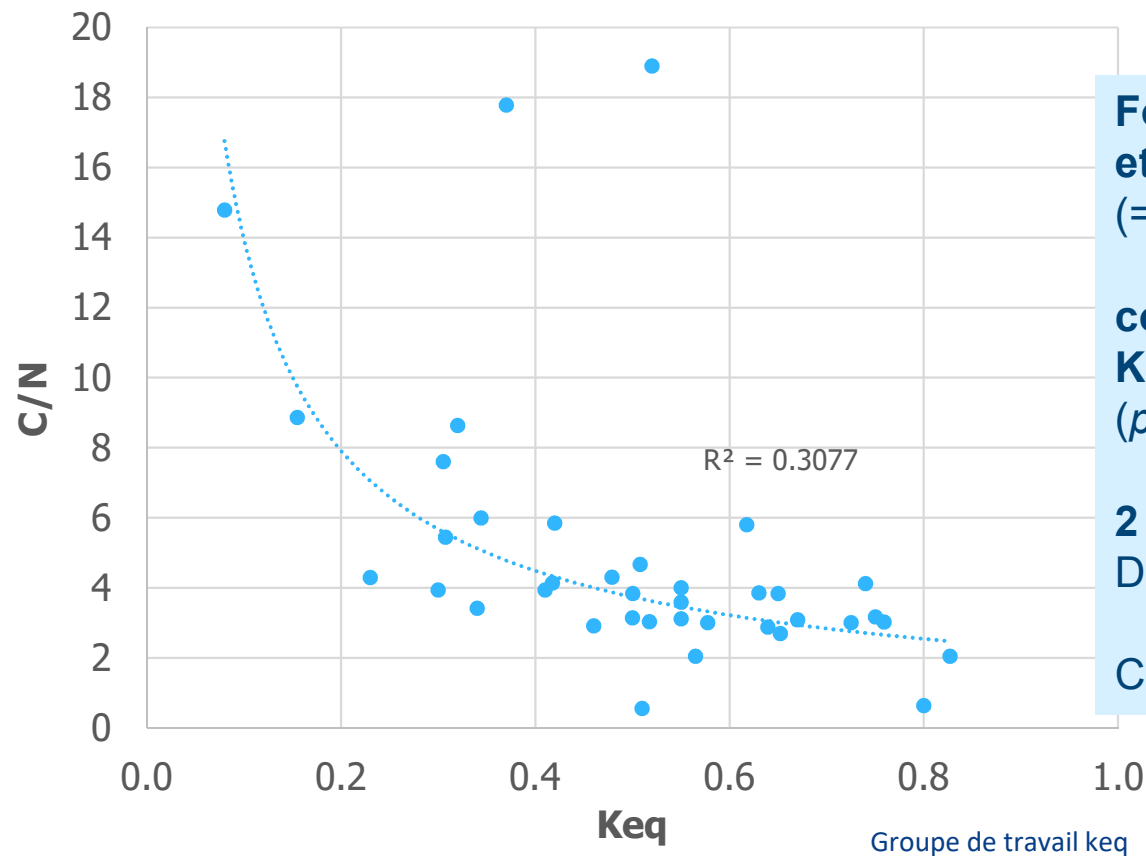
**Fonction jeu données  
et disparité situations**  
(= nombre essai / classe C/N)

**Keq ≤ 0.3-0.5**  
Produits avec C/N > 6

**Keq ≥ 0.4-0.5**  
Produits avec C/N inférieur à 6



## Valeurs Keq en fonction de la composition du produit (C/N)



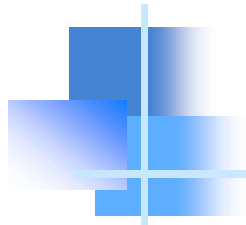
**Fonction jeu données  
et disparité situations**  
(= nombre essai / C/N)

**corrélation -0,643**  
**Keq et C/N produits**  
( $p < 0,0001$ ) (SPEARMAN)

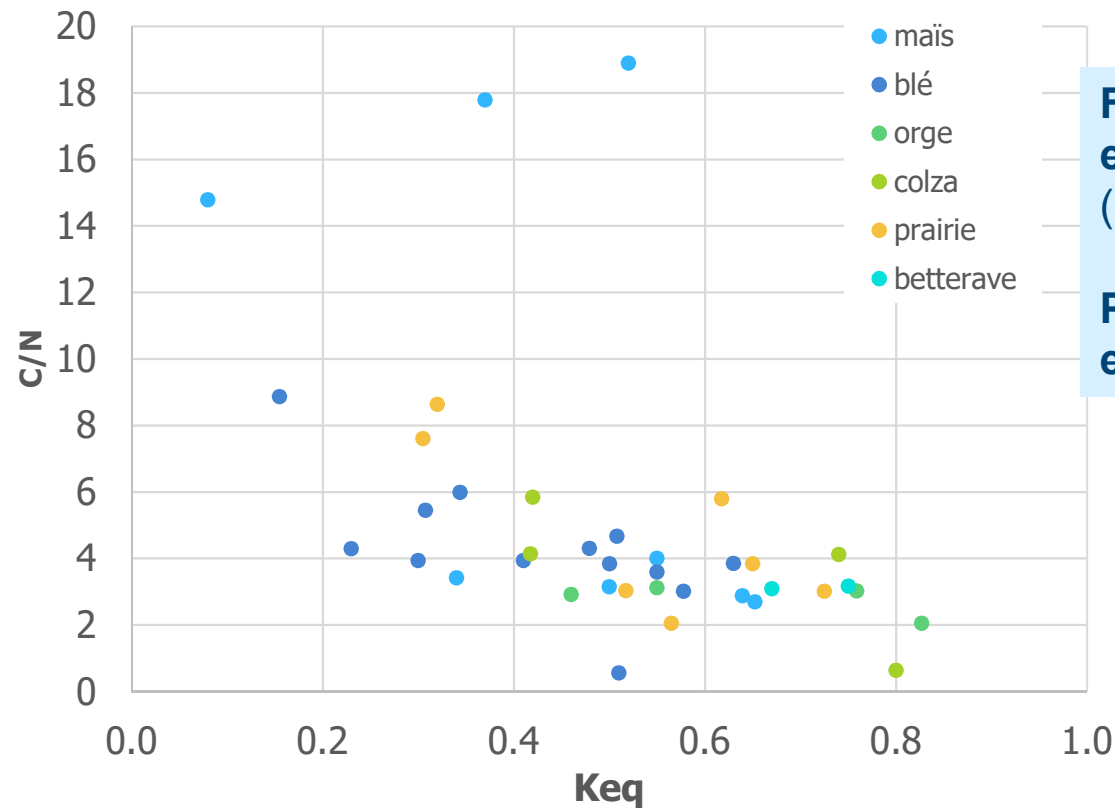
**2 points qui sortent pour maïs**  
Dig\_CoDig\_S et Dig\_Bio\_S

Confirmer sur davantage de situations



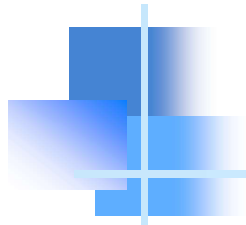


## Valeurs Keq en fonction de la composition du produit (C/N) et de la culture



**Fonction jeu données et disparité situations**  
(= nombre essai / C/N et cultures)

**Pas de distinction nette en fonction de l'espèce**



## Grilles COMIFER – digestats méthanisation

Calcul des valeurs moyennes + écart-types

Validation du groupe des valeurs

MAJ grilles COMIFER

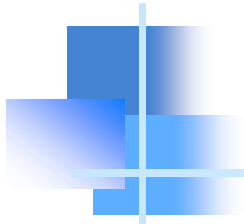
*Idéalement courant 2021*



## Valorisation travail

Finalisation travail de traitement

**Présentation au COMIFER GEMAS**



## FertiDig, futurs essais ?

Creuser la relation  $K_{eq}$  fonction du C/N ?

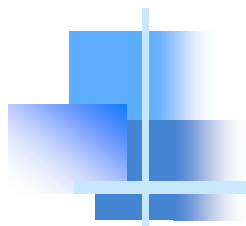
Digestats à C/N extrêmes et composts, sur digestats effluents, biodéchets, CIVE

Cultures : blé, maïs

Sols : calcaire ou non calcaire



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



# Ferti-Dig

---

Essais Keq

## Ferti-Dig – 2019 (dossier pas retenu)

Suite aux travaux de compilation des essais aux champs réalisés dans le cadre du projet DOSTE VADIM (2016) il apparait qu'il y a des manques de références : sur les sols carbonatés (risque de pertes de N-NH<sub>3</sub>) pour toutes cultures avec des digestats à C/N élevé, ainsi que sur les cultures de : prairie (principalement sèches) et surtout colza.

**Un site/essais/date = une courbe de réponse à l'N sur laquelle on s'appuie pour tester 2/3 digestats.**

**CRAGE : 4 sites essais date** → Total 12 références digestat aux champs en CA grand Est

- Alsace : sol carbonaté, culture de maïs, 3 digestats testés durant deux années
- Lorraine : sol carbonaté, culture de colza apport au semis (risque maximal de perte de N-NH<sub>3</sub>), deux modalités (injection et pendillard) 3 digestats testés durant deux années.

**CAPL : 2 sites essais date** → Total 9 références digestat aux champs en CA Pays de Loire

- Station expérimentale de Derval (44) Prairie sèche mixte fauche pâture. 4/5 digestats testés durant deux années. Prévoir 2 voire 3 coupes.

**CRAB : 4 sites essais date** → Total 12 références digestats aux champs en CA Bretagne.

- Station de Kerguéhennec (56) Colza apport semis **et** apport sortie hiver (2 dates) 3 digestats testés durant deux années.

PS : Nous ne prévoyons pas de faire des bilans **sauf** en sol carbonaté et au semis du colza afin d'apprécier les pertes de N-NH<sub>3</sub> dans ces situations à risques forts. Pour faire des bilans nous sommes obligé de faire des reliquats au moins sur 2 horizons. Le coût d'analyse est donc plus élevé dans ces cas.

Nous n'avons pas retenu les cultures de céréales car les dossiers VADIM et surtout VADIMETHAN apportaient de nombreuses références. De plus des nouvelle données (SOER PRO Le Rheu, + chambre Hauts de France) sont disponibles en 2016/2017 pour renforcer la base existante en céréale. (et maïs sol acide).

## Ferti-Dig 2021 – Annexe technique

*Le choix des digestats et de la (ou des) culture(s) réceptrice(s) : privilégier les besoins identifiées dans la tâche 5.1 (cahier des charges du guide) et inexistantes dans les données recensés dans le Lot 2 (expertise des données existantes).*

- *Essais sur 2 ans*
- *3 digestats + 1 lisier (de porc ou de bovin)*
- *protocole du Guide méthodologique Réseau PRO*

# Ferti-Dig 2021 – Premiers résultats d'enquête

## **Résultats encore incomplets des entretiens pour cahier des charges (qui recourent bien les conclusions du GT Keq N) :**

- Pas de besoin exprimé de manque de références sur une culture particulière ou un type de sol particulier. Sauf betterave : peu de besoin en N de la betterave, est-ce pertinent d'épandre du digestat sur cette culture ?
- Mais par contre besoin exprimé de références par type de digestat :
  - Digestats sans effluents d'élevage (ex : déchets IAA) à forte teneur en  $\text{NH}_4$  : comment prendre en compte cette forte proportion de Nmin alors que les Keq sont fournis / Ntot ?
  - Digestats de méthanisation par voie sèche
  - Digestats issus de différents post-traitements : Keq de phase liquide et de phase solide après séparation, Keq de digestats issus de concentration (procédé Néreus par ex)
- Des questions aussi sur les arrière-effets



## GT Keq N – premières éléments

- **Relation statistique entre C/N et Keq** laissant penser à la possibilité de raisonner les apports de digestats par le C/N
- Compléter avec des essais en **sol calcaire (blé/maïs)** ; **colza et prairie**, voire orge (tous sols) ; avec **digestats effluents d'élevage liquide et solides, voire compostés** (toutes cultures) ; **digestats territoriaux** (et matières agricoles en mélange)
- **Peu de références de digestats liquides et solides/compostés**, qui semblent répondre différemment.

# Ferti-Dig 2021 – Proposition essais

- Essais sur maïs (2022/2023 mais sans exploitation des résultats 2023) et/ou blé (2022/2023)
- Rester dans des conditions d'apport optimales où les risques de pertes par volatilisation sont minimisés (enfouissement si maïs, éviter les jours de vent et le temps sec si blé)
- Digestats à tester:
  - Essai 1: Digestat Fumier Ruminant (type 1 ou 2)
    - Solide,
    - Liquide
    - brut
  - Essai 2: Digestat Lisier Non Ruminant
    - en co-digestion avec des biodéchets (type 5)
    - en co-digestion avec des graisses (type 8)
    - Pas de co-digestion (type 6)
- Essais possibles sur différents types de sols.

C/N élevé +  
différentes  
phases

Co-digestion  
biodéchets  
+ graisses