

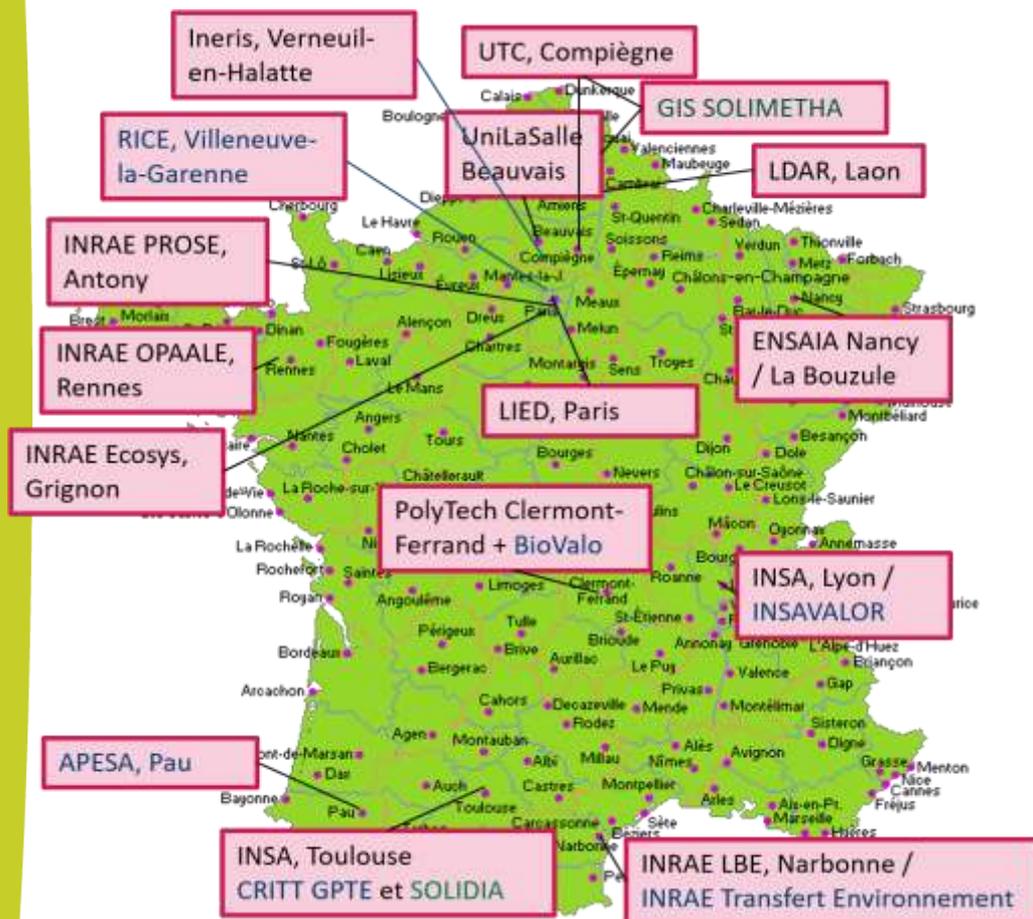
Digestats : état des connaissances scientifiques actuelles

Focus sur le retour au sol

Sabine Houot, Florent Levavasseur
INRAE, AgroParisTech, Université Paris Saclay,
UMR ECOSYS, 78850 Thiverval-Grignon

Webinaire du 30/11/20

Centre Technique national du Biogaz et de la Méthanisation

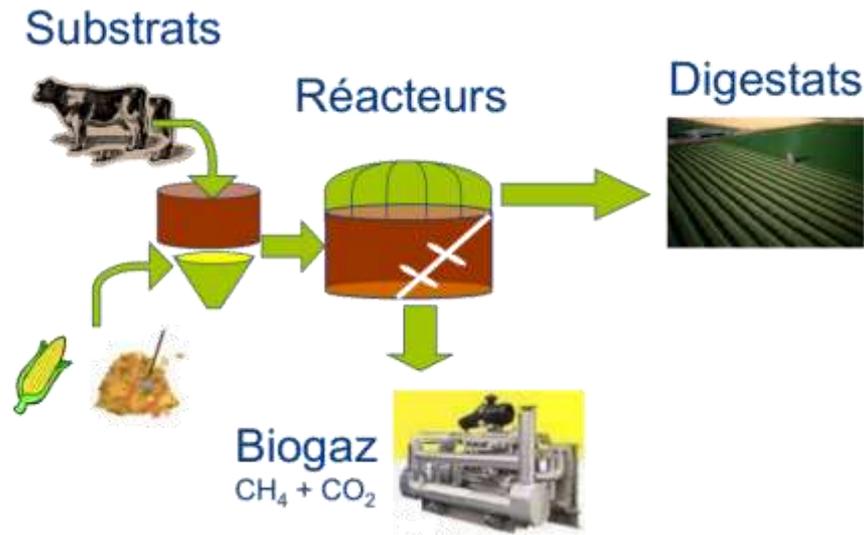


- Réseau des laboratoires
- Vecteur de diffusion des connaissances (InfoMétha.org)
- Co-organisateur des [Journées Recherche Innovation](#)
- Mobilisation des experts au service d'une filière en maturation
- Entité du Club Biogaz de l'ATEE, basée à La Défense
- Soutenu par l'ADEME depuis 2019



Méthanisation et digestats

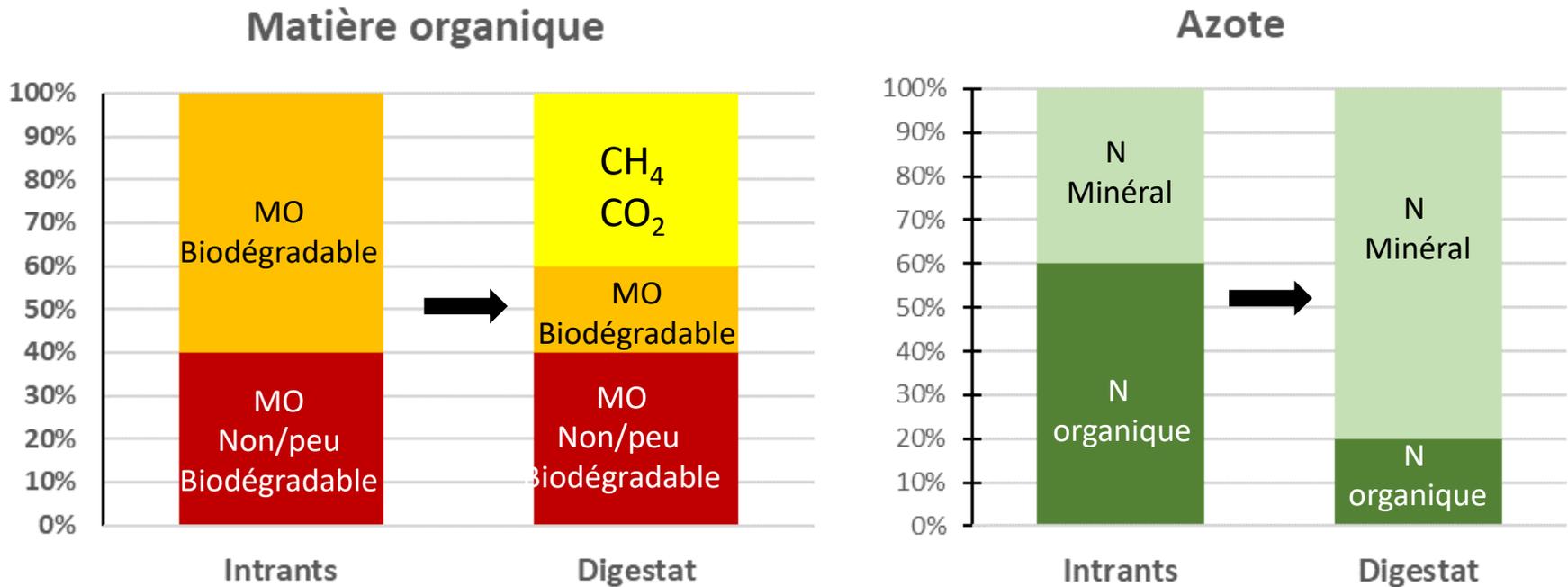
- Production de biogaz (méthane CH_4 et dioxyde de carbone CO_2) par fermentation anaérobie (sans oxygène) de résidus organiques
- Résidus de la méthanisation : le digestat → fertilisation
- Caractéristiques digestats: f(substrats, procédés)
- Effets au champ: f(digestat, pratiques)
- Stockage



Girault (2019)

Transformation de la matière au cours de la méthanisation

- Dégradation de la matière organique :
 - ↘ matière organique dans le digestat, mais relativement + stable
 - Conservation de l'azote dans le digestat, mais ↗ de la fraction minérale
 - Conservation des autres éléments (P, K...)



D'après Girault (2019)



Plan

- Variabilité des digestats
- Valeur fertilisante azotée et volatilisation ammoniacale
- Valeur amendante à long terme
- Valeur fertilisante P et autres effets des digestats
- Conclusion

Effets des digestats lors du retour au sol



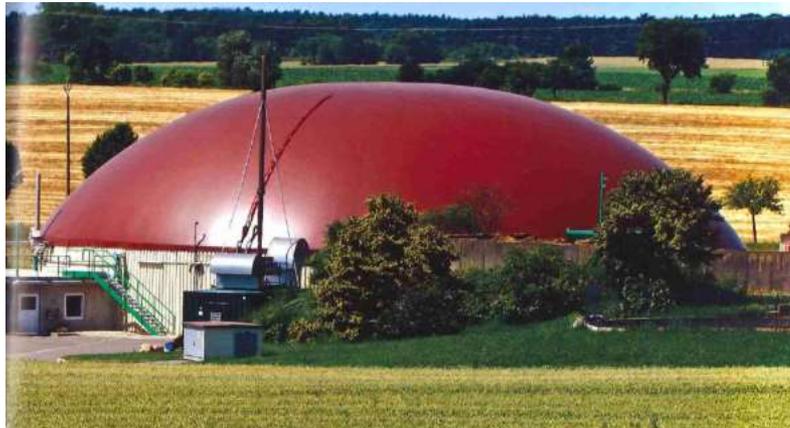
Photo V. Moinard

- Apport de nutriments (N, P, K...): **effet fertilisant à court terme**
 - Apport de matière organique → **effet amendant à + long terme**
 - Augmentation de la fourniture d'azote à long terme
 - Effets associés sur la fertilité physique et biologique du sol
 - Stockage de carbone (lutte contre réchauffement climatique)
 - Perte N ammoniacale / pollution de l'air
- Objet de la présentation**
- Contamination du sol
 - Compaction du sol
 - Lixiviations de nitrates, émissions de gaz à effet de serre (N₂O) ...
 - Mais aussi d'autres effets du fait des changements de systèmes de culture associés à la méthanisation (rotation, couverts...)

Des méthanisations et des digestats

- Variabilité des process (voie humide / sèche, continue / discontinue)
- Variabilité des post-traitements (séparation de phase plus ou moins poussée)
- Variabilité des intrants (effluents d'élevage, CIVE, déchets agro-industriels, boue STEP...)

→ **Grande diversité des digestats**



Girault (2019)

Comparaison des digestats en fonction des intrants

Intrants	Analyses digestats		N rapidement disponible (NH ₄ /N _{tot}) (%)	P (g.Kg ⁻¹ MS)	K (g.Kg ⁻¹ MS)	MS %
	C/Norg					
Fumiers, ensilage	10-12		32-50	10-12	30-70	5-7
Boues, biodéchets, IAA	8-10		38-60	15-25	10-25	3-6
Déchets alimentaires, lisier de porc, FFOM	9-11		58-70	10-17	40-70	4-6
Fumiers et autres	57-63		72-75	9-10	30-35	12-15
FFOM, biodéchets	18-20		38-40	0-5	0-10	20-25
Fumiers, déchets verts	18-23		12-30	0-5	5-15	15-20

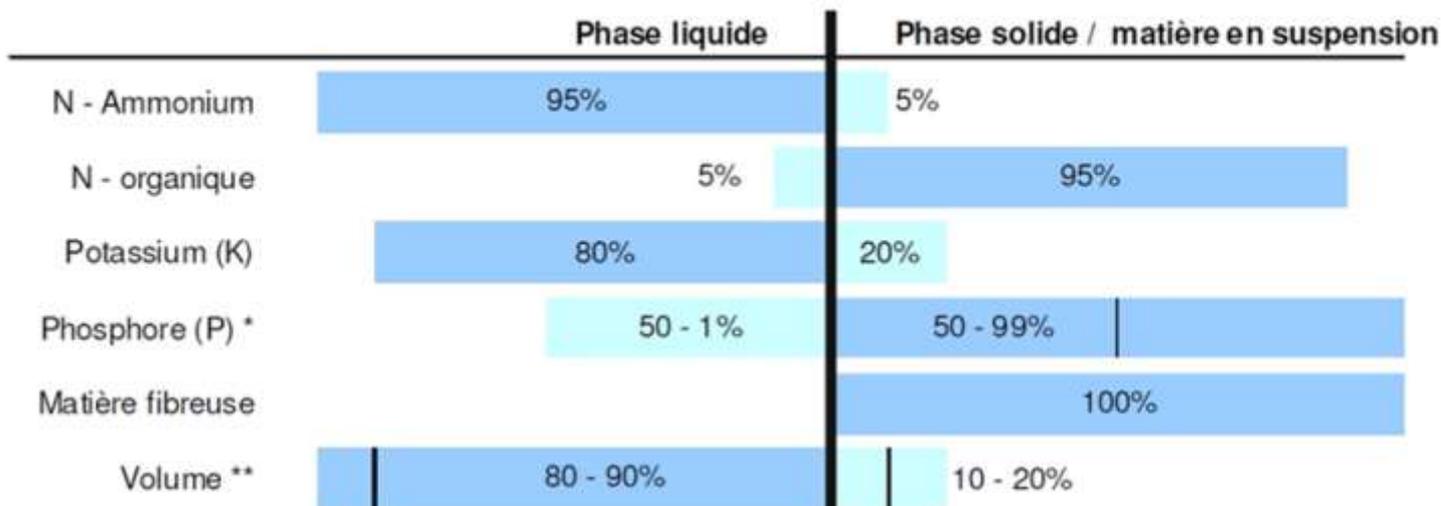
Voie humide

Voie sèche

(d'après Guilayn et al. 2019)

Influence de la séparation de phase

- Obtention d'un digestat liquide majoritairement fertilisant (NH_4) et d'un digestat solide majoritairement amendant

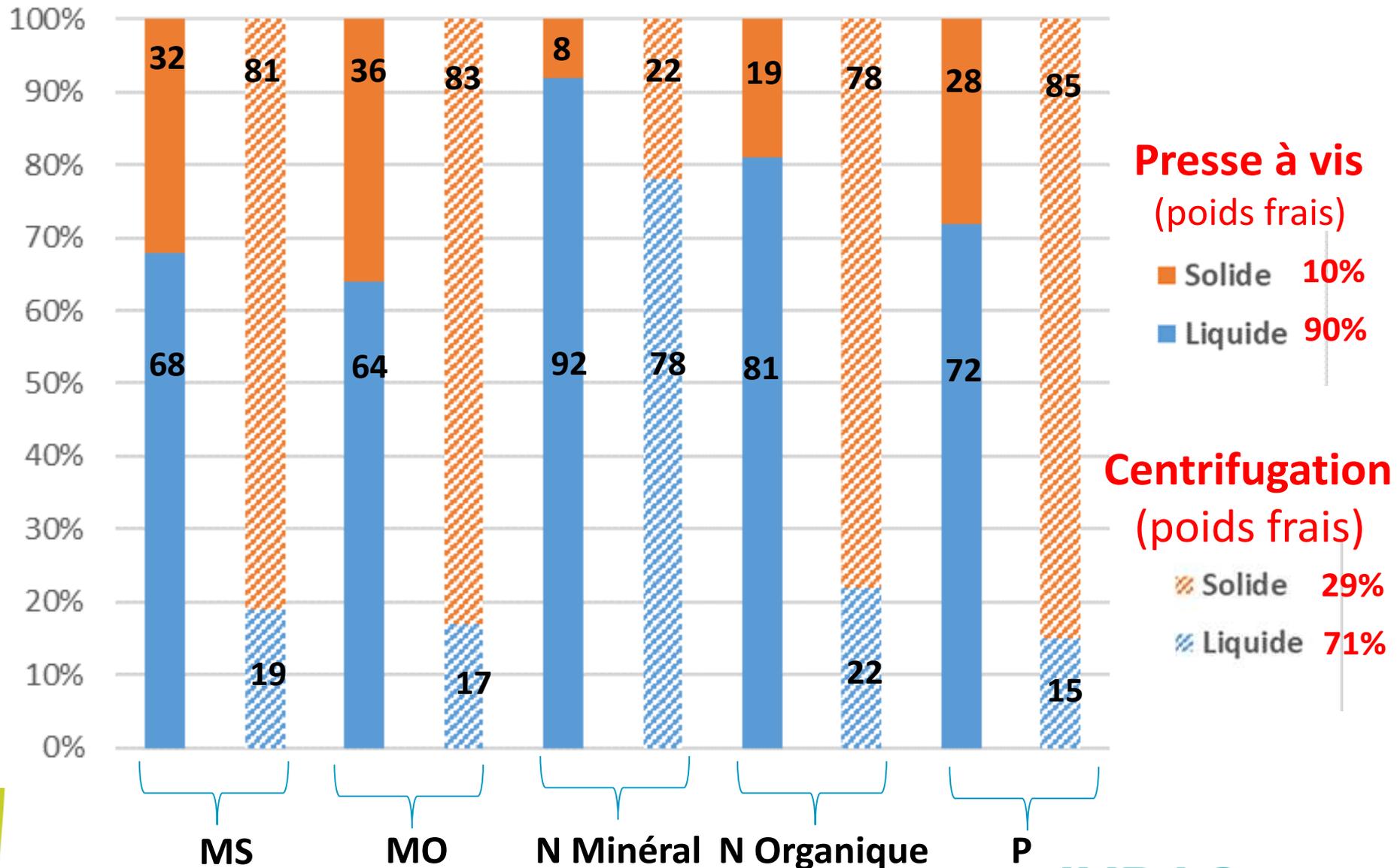


* Dépend de l'utilisation des coagulants / flocculants pour la séparation de la phase solide

** Dépend de la technique utilisée

- Issu de l' « Etat de l'art des méthodes (rentables) pour l'élimination, la concentration ou la transformation de l'azote pour les installations de biogaz agricoles de taille petite/moyenne », EREP SA, EAWAG, 2009

Influence du mode de séparation de phase

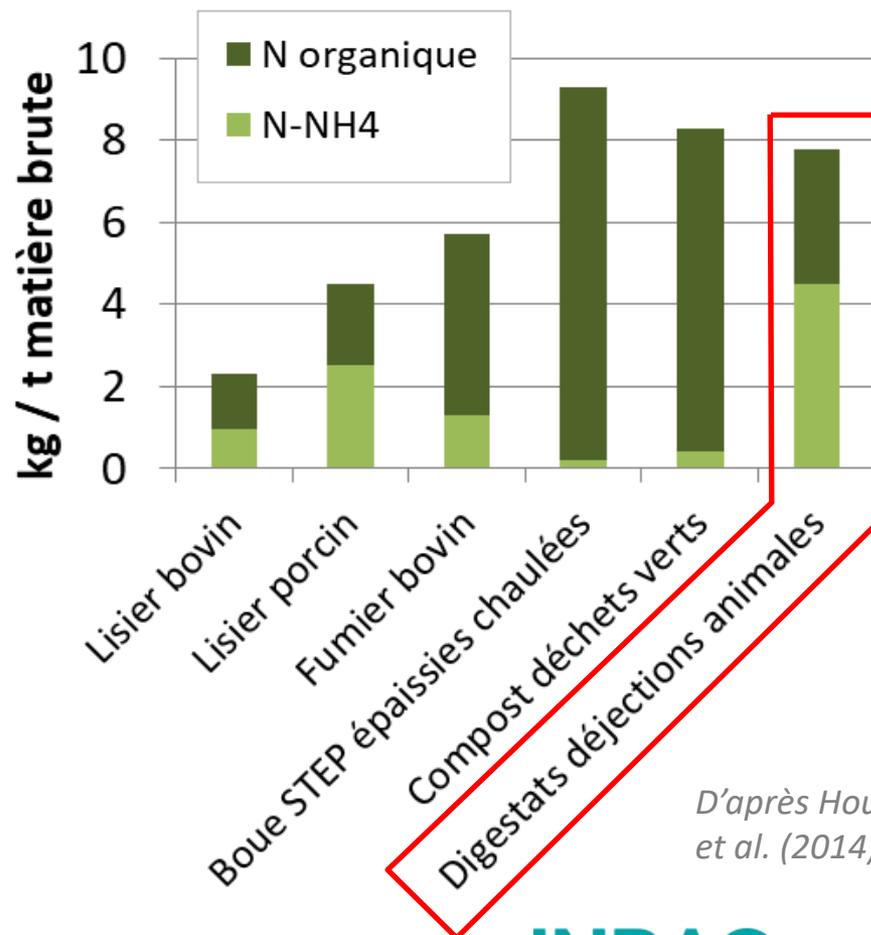


(d'après Guilayn et al. 2019)

Valeur fertilisante azotée à court terme

- Valeur fertilisante azotée à court terme d'un Produit Résiduaire Organique (PRO) : **N minéral du PRO** + minéralisation N organique

- Teneur en azote en moyenne assez élevée par rapport aux autres PRO
- **Fraction de l'azote sous forme minérale en moyenne plus élevée** que pour les autres PRO
- **Mais forte variabilité** → importance de l'analyse

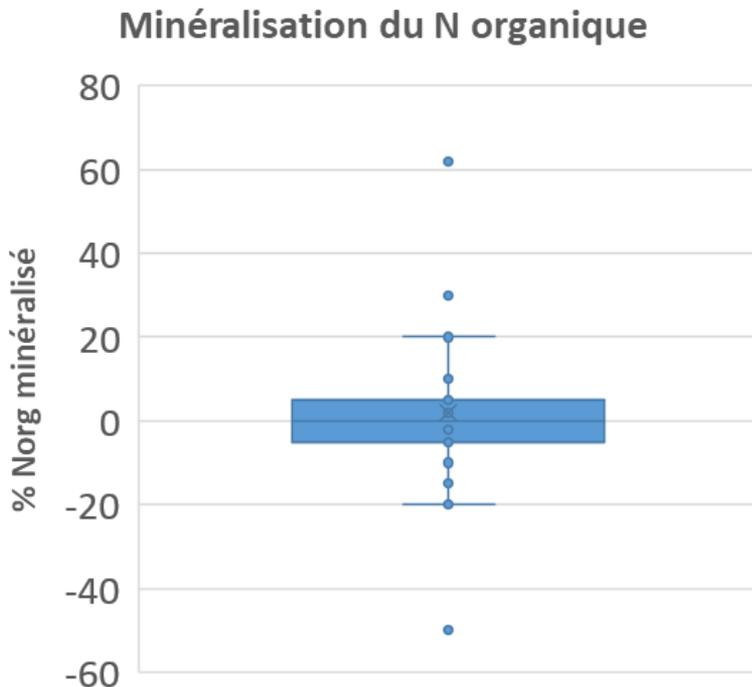


D'après Houot et al. (2014)

Minéralisation de l'azote organique

- Étudiée au laboratoire (sol + digestat, 90 à 180j → 1 à 2 ans au champ)
- Faible minéralisation (moyenne proche de 0%)
- Forte variabilité entre digestats, pas de comportement identifié selon le type de digestat, hormis si beaucoup de lisier de porc (+ minéralisation)

→ **Contribution variable de l'azote organique des digestats à la valeur fertilisante azotée à court terme**



48 digestats (élevage, urbain, territorial, brut, liquide...)
Données internes ECOSYS



Minéralisation positive → augmentation de la disponibilité de l'azote

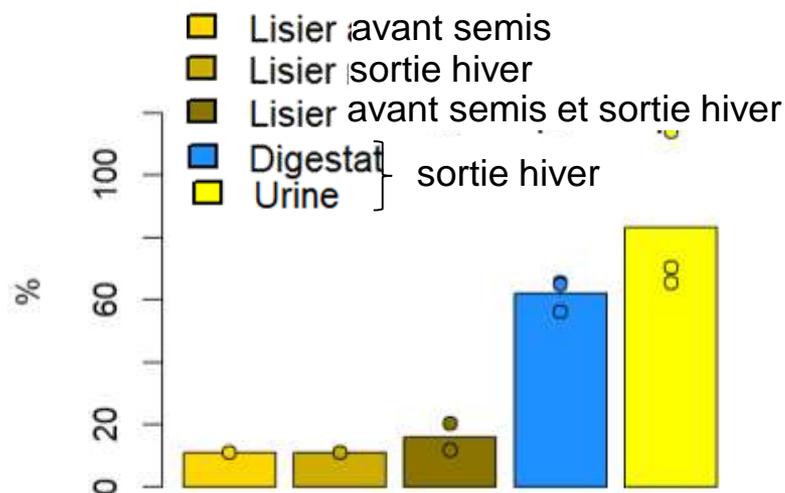
Minéralisation négative → immobilisation N → diminution de la disponibilité de l'azote



Minéralisation au champ peut être différente de celle au labo !

Coefficients équivalent-engrais: Keq

100 kg N digestat = Keq kg N engrais



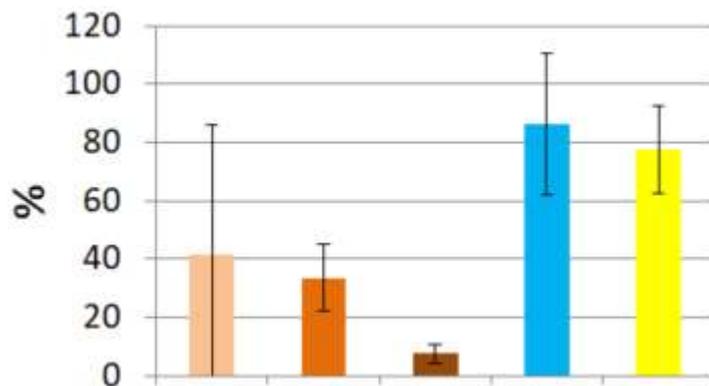
Quelques essais « Ile de France »
(Levavasseur et al., 2018, 2019)

Digestat brut de biodéchets sur blé

Essai LEADER Saclay 2018

Digestat de biodéchets sur colza

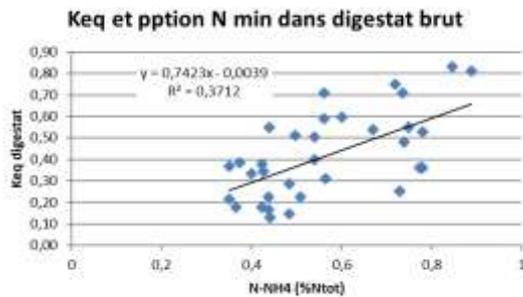
Essai LEADER Saclay 2019



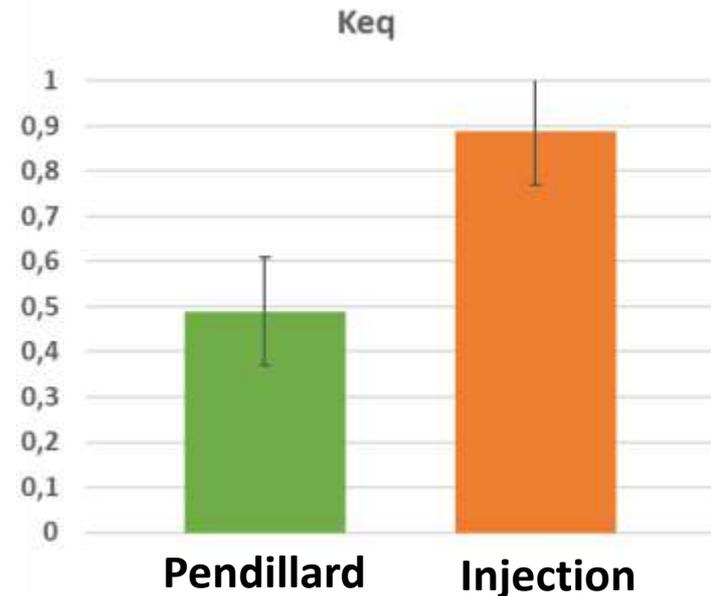
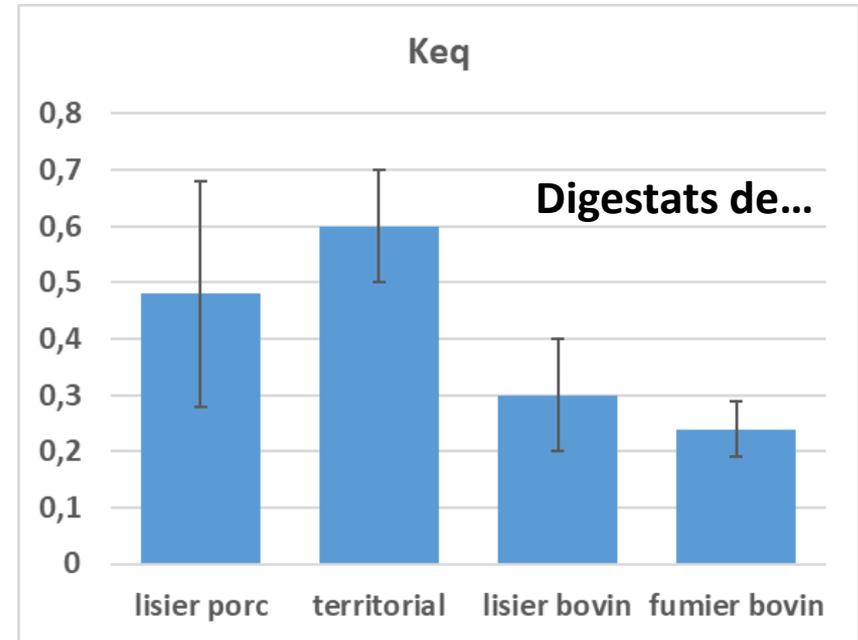
- Lisier bovin avant semis
- Lisier bovin sortie hiver
- Fumier bovin avant semis
- Digestat sortie hiver**
- Urine sortie hiver

Valeur azotée et teneur en azote ammoniacal

- Coefficient équivalent engrais varie avec l'origine des intrants
- Importance de la teneur et proportion en N-NH₄



- Importance de l'enfouissement pour réduire la volatilisation



Valeur azotée et volatilisation ammoniacale

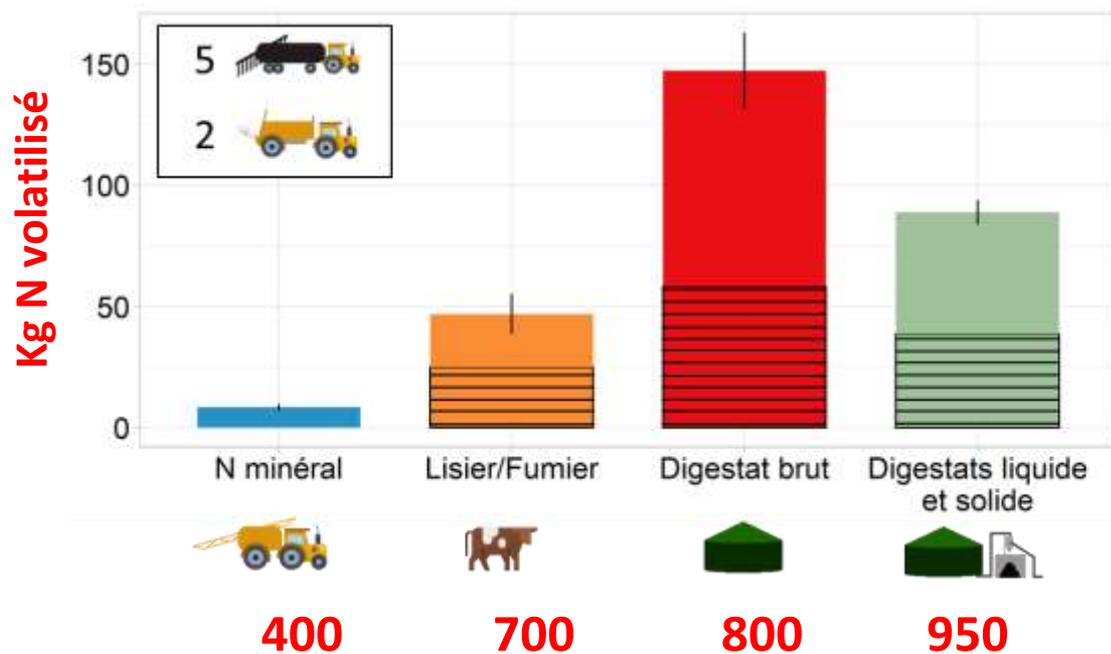
- Valeur fertilisante azotée à court terme fortement liée à la teneur en azote ammoniacale, généralement élevée → **importance de limiter la volatilisation** :
 - Préférer l'enfouissement, a minima l'épandage au pendillard
 - Eviter les apports avec météo défavorables (température, vent...)
 - Digestat liquide moins sensible que digestat brut (+ infiltration, - volat)
 - Digestat solide en surface très sensible à la volat, mais généralement moins de N ammoniacal dans ces digestats
 - Phénomènes beaucoup plus importants en sols calcaires

*Moinard, Savoie et al. 2020
Essai MétaMétha, Nouzilly*

3 ans



Émissions après apports d'été ou d'automne



Ntot apporté

Valeur azotée et volatilisation ammoniacale

- Valeur fertilisante azotée à court terme fortement liée à la teneur en azote ammoniacale, généralement élevée → **importance de limiter la volatilisation** :

Illustration des pertes azotée par volatilisation
Apport 20 m³/ha de digestat sur orge hiver AB

Buse palette

rendement : **35 qx/ha**



Pendillard

Rendement : **43 qx/ha**



*Chambre agriculture
grand est, 2019*

Bilan KEQ N

- Variabilité des KEQ N selon les cultures, le mode d'apport, l'année climatique, le type de digestat, le sol... :
 - Digestat liquide plus efficace (+ NH₄, + infiltration : – sensible à la volatilisation)
 - Apport plus efficace si enfoui immédiatement (ou injecté)
 - Apport plus efficace si pas de vent, frais, pluie aussitôt après, sur sols non calcaires
 - Apport plus efficace au plus près des besoins des cultures

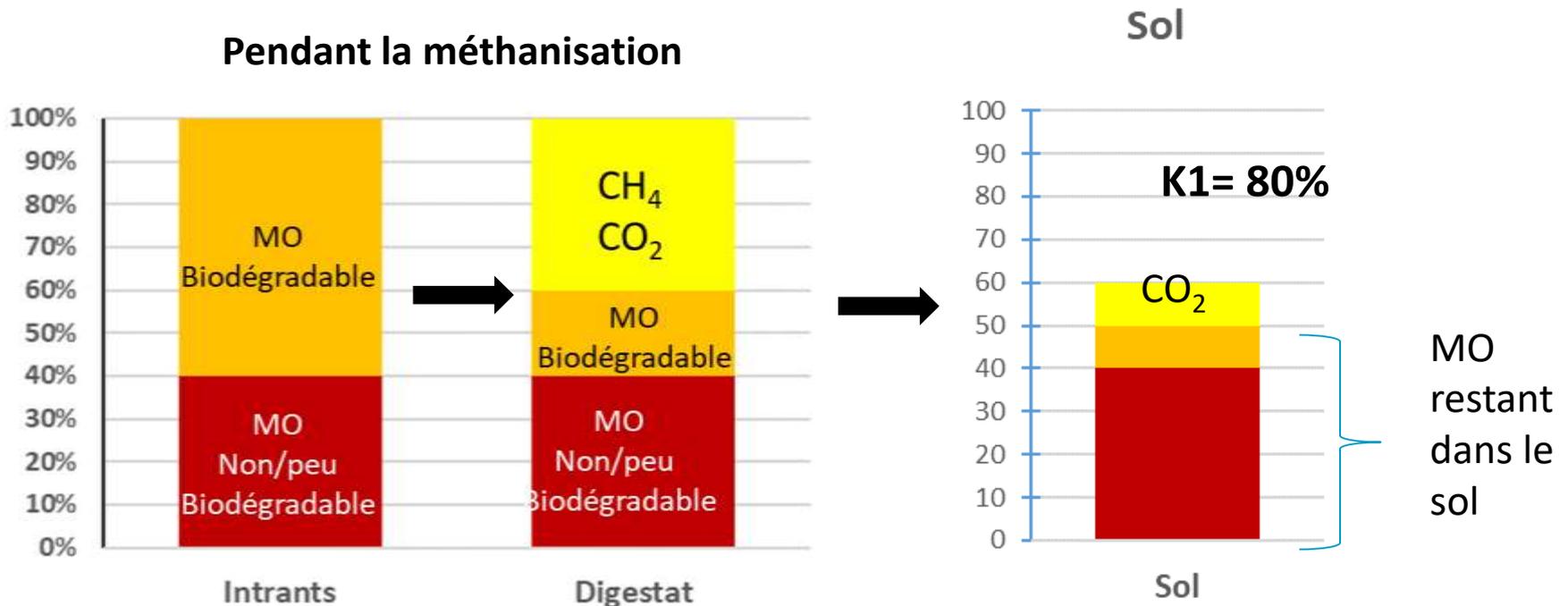
Culture	Mode d'apport	KEQ N
Maïs grain	Enfoui avant semis	0.5 – 0.9
Blé sortie hiver	Enfoui avant semis	< 0.2 ?
	En culture sortie hiver	0.2 – 0.7
Colza	Enfoui avant semis	0.3 - 0.6
	En culture sortie hiver	0.5 - 0.7

Compilation de quelques valeurs de KEQ min-max pour les digestats bruts ou liquides

*Askri (2015), Decoopman et al., (2017)
Données internes ECOSYS...*

Valeur amendante – matière organique

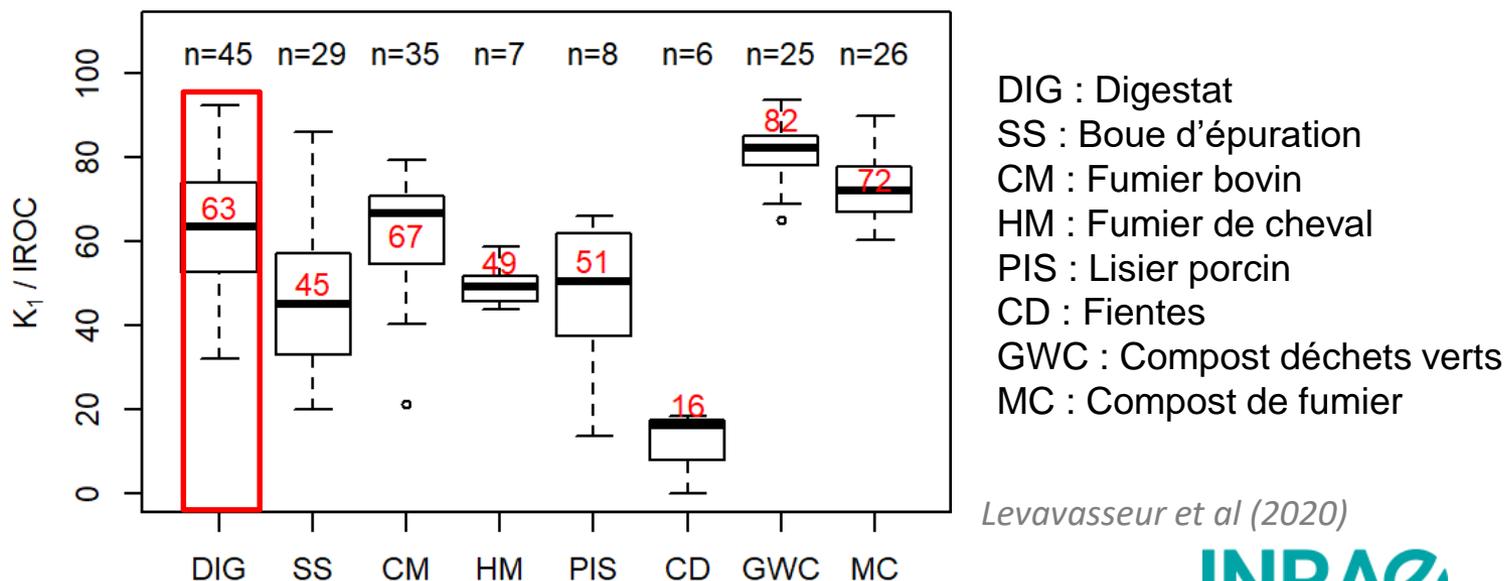
- Valeur amendante (capacité à augmenter la MO du sol), dépend :
 - Teneur en carbone organique du digestat
 - Stabilité du carbone
- Perte de carbone pendant la méthanisation : réduction de 50 % environ de la teneur en carbone par rapport aux intrants
- Après apport au sol → poursuite dégradation → MO restant : valeur amendante (coefficient isohumique, K1....)



Valeur amendante – matière organique

- Peu (pas ?) de données d'essais au champ longue durée pour caractériser l'efficacité de stockage du carbone des digestats
- Estimation de la stabilité du carbone basée sur des caractérisations au laboratoire → ISMO
 - Variable et intermédiaire entre boues et composts
 - Résultats similaires entre différentes fractions (brut, solide, liquide)

*Coefficient isohumique de différentes matières organiques
≈ fraction de carbone qui intègre la matière organique du sol au bout d'un an*

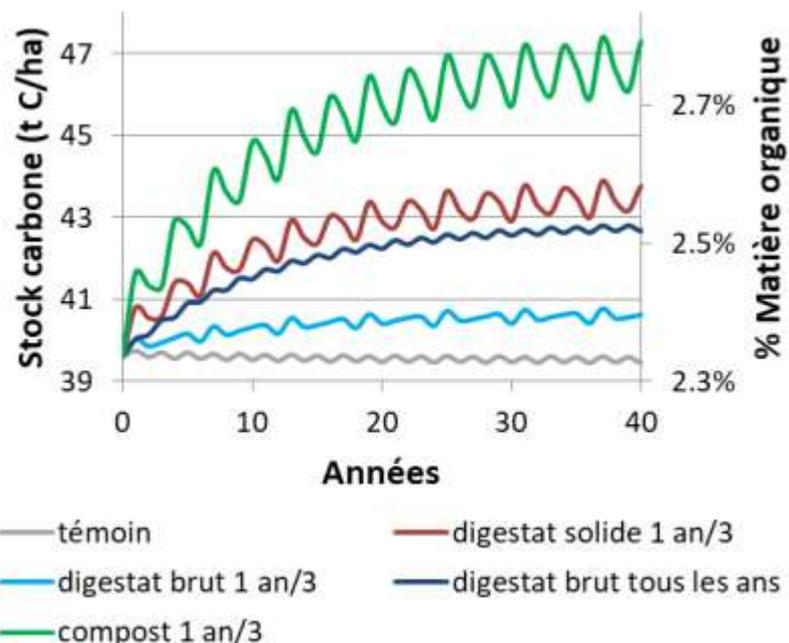


Levavasseur et al (2020)

Valeur amendante – simulation d’apports répétés

Type	C (%)	C apporté pour 20 t/ha (t C/ha)	K ₁ (%)	C humifié pour 20 t/ha (t C/ha)
Digestat brut élevage	2	0,4	74	0,3
Digestat brut biodéchets	0,5	0,1	65	0,07
Digestat solide territorial	8	1,6	66	1,1
Compost déchets verts	12	2,4	82	2

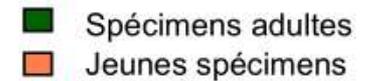
Exemple digestats projet PSDR PROLEG



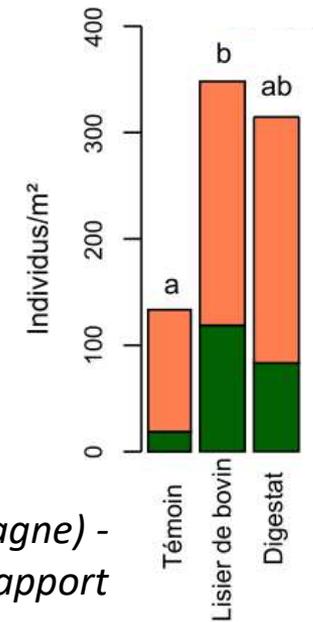
Simulation d’apports répétés de digestat et de compost avec AMG

- Digestat solide avec le plus de potentiel de stockage de carbone
- Effet non négligeable d’apports répétés de certains digestats bruts (et liquides) tous les ans (Tambone et al., 2019)

Effets sur la vie du sol



- **Microfaune du sol** (vers de terre...) (*Burmeister et al., 2010*) :
 - Effet positif à long terme en comparaison à une absence de fertilisation organique (due à l'↑ matière organique)
 - Peu de différences par rapport à des apports de lisier
 - Effet négatif possible à court terme sur les vers (toxicité NH_3 ?)



Essai Scheyern (Allemagne) - Résultats après 3 années d'apport

- Autres effets sur la **biologie du sol** (*Moller, 2015*) :
 - Augmentation de l'activité biologique par rapport à un système sans apport de PRO
 - Peu d'effets ou effets variables par rapport à un système avec apport de PRO non méthanisés
 - Effets à long terme du fait de quantités moindres de matière organique dans le digestat et de sa moindre accessibilité ?

Effets sur la compaction du sol

- Même problématique qu'avec les autres apports de PRO
- Mesures pour limiter la compaction :
 - Sol le + sec possible
 - Epandage sans tonne
 - Pneumatique adapté
 - Fractionner les apports avec des petites tonnes ?
 - Control Traffic Farming (voie de passage permanente) ?

Duaferti
(*Entraid.com*)





Plan

- Introduction
- Variabilité des digestats
- Valeur fertilisante azotée et volatilisation ammoniacale
- Valeur amendante à long terme
- Valeur fertilisante P et autres effets des digestats
- Conclusion

Bilan – exemples d'apports de digestats et autres PRO

Apport à 30 t/ha



Seulement des exemples, forte variabilité, importance de l'analyse !

PRO	N (kg/ha)	N rapidement disponible (%)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	C humifié (t/ha)
Digestat élevage brut	120	50-70 %	50	90	0,7
Digestat élevage liquide	120	50-80 %	40	100	0,3
Digestat élevage solide	120	< 30 %	100	70	1,9
Lisier bovin	70	< 50 %	40	80	0,4
Fumier bovin	170	< 25 %	90	200	1,7
Compost DV	250	< 5 %	120	150	3

- **Digestat brut** : globalement + effet fertilisant N que les autres PRO, effet amendant non négligeable en cas d'apports répétés
- **Digestat liquide** : encore + fertilisant N, effet amendant négligeable sauf en cas d'apports très réguliers
- **Digestat solide** : proche d'un fumier
- **Tous digestats** : apports non négligeables de PK



Conclusion

- Grande variabilité des digestats selon les intrants et le process
→ Importance de l'analyse du digestat, typologie
- Valeur fertilisante azotée à court terme fortement dépendante de la teneur en azote ammoniacale
→ Importance de limiter la volatilisation ammoniacale (enfouissement, bonnes conditions météo...)
- Valeur fertilisante P équivalente aux engrais minéraux
- Valeur amendante + élevée que les matières entrantes :
compense la perte de carbone lors de la méthanisation ?
- Peu d'effets ou effets variables sur les propriétés biologiques et physiques du sol par rapport aux mêmes matières non méthanisées, bénéfiques comparés à des systèmes sans apport
- Importance de considérer les effets des modifications de systèmes liées à la méthanisation (CIVE...)

Merci de votre attention





Références

- Chambre agriculture grand est, 2019. Digestats de méthanisation : Optimiser le retour au sol pour profiter des bénéfices agronomiques et économiques. Résultats d'essais et suivis d'exploitations.
- Burmeister J., Walter R., Fritz M., 2010. Fertilisation à base de digestats – Effets sur la faune du sol. Extrait de : Biogas Forum Bayern N° I - 27/2015, éd. ALB Bayern e.V.
- Decoopman B, Germain M, Houot S, 2017. Valeur azote des digestats de méthanisation. 13èmes Rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse Comifer Gemas. 8 & 9 novembre 2017- Nantes.
- Girault, 2019. Déterminants de l'évolution des matières organiques en lien avec les procédés de transformation – Volet Méthanisation. Ecole chercheur SYSTMO, 20 novembre 2019, Rennes.
- Gutser et al., 2006. Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 168: 439-446.
- Guylain et al., 2019. First fertilizing-value typology of digestates: A decision-making tool for regulation. Waste Management 86: 67-79.
- Houot et al., 2014. Expertise collective MAFOR.
- Johansen et al., 2013. Survival of weed seeds and animal parasites as affected by anaerobic digestion at meso- and thermophilic conditions. Waste Management 33: 807-812.
- Jordan-Meille L, Morel C, Salducci X, Michaud J, 2017. Valeur agronomique (C, N, P) de digestats de méthanisation d'origine agricole et agro-alimentaire de Dordogne. 13èmes Rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse Comifer Gemas. 8 & 9 novembre 2017- Nantes.
- Michaud et al., 2019. Mass balance and long-term soil accumulation of trace elements in arable crop systems amended with urban composts or cattle manure during 17 years. Environmental Science and Pollution Research
- Moller, 2015. Effects of anaerobic digestion on soil carbon and nitrogen turnover, N emissions, and soil biological activity. A review. Agron. Sustain. Dev. 35:1021–1041