Retour au sol des digestats de méthanisation

Florent Levavasseur, Sabine Houot

INRAE, AgroParisTech, Université Paris Saclay, UMR ECOSYS, 78850 Thiverval-Grignon

Journée Méthanisation be Api

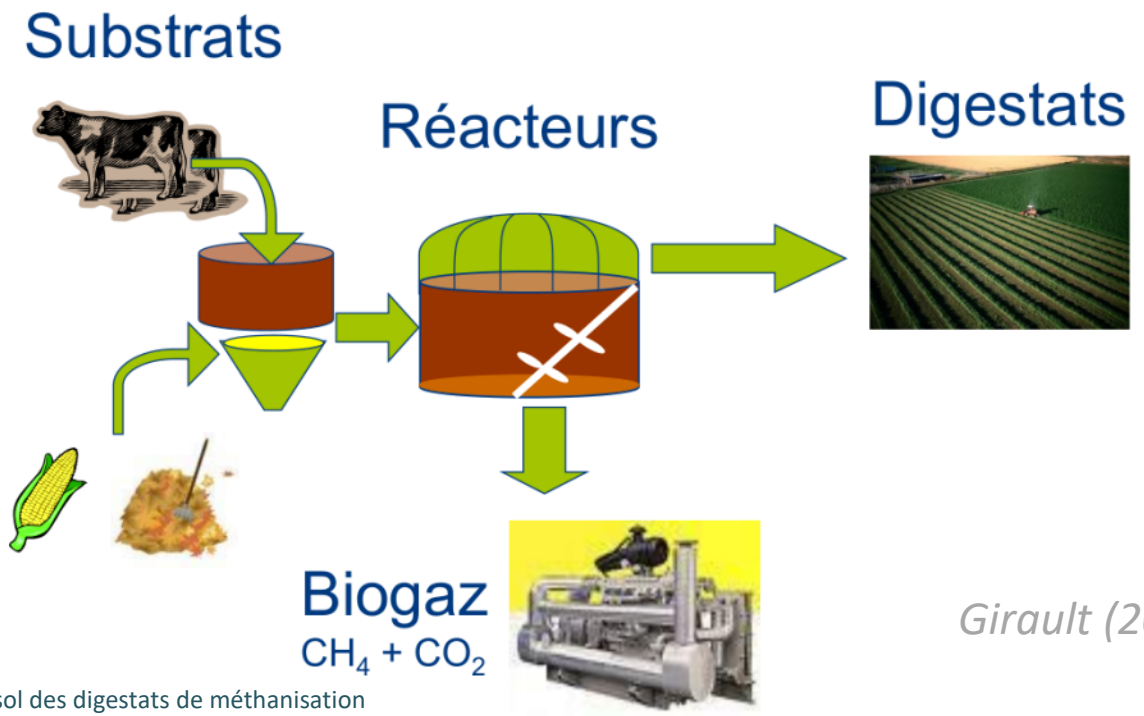
Le Mesnil-en-Ouche, 30 janvier 2020

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

Principe de la méthanisation

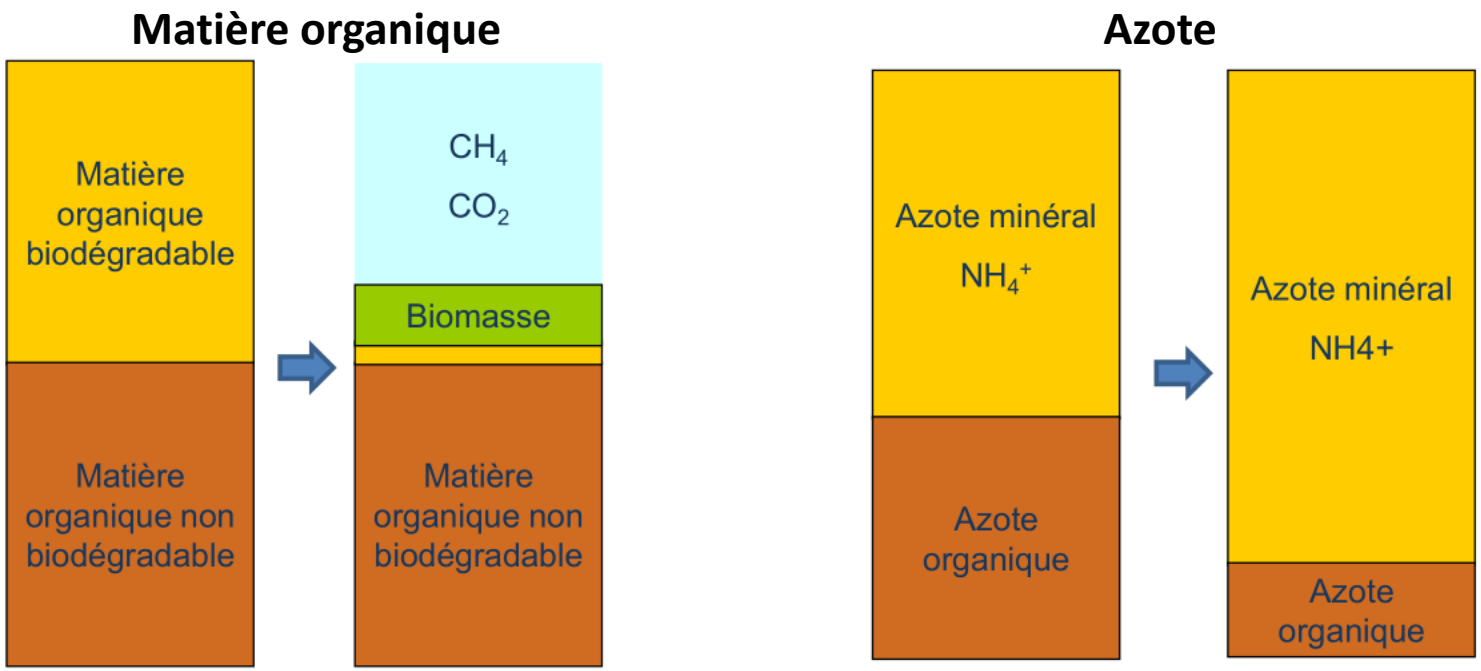
- Production de biogaz (méthane CH_4 et dioxyde de carbone CO_2) par fermentation anaérobie (sans oxygène) de résidus organiques
- Utilisation directe possible du biogaz en injection ou en cogénération (chaleur + électricité)
- Résidus de la méthanisation : le digestat



Girault (2019)

Transformation de la matière au cours de la méthanisation

- Différentes réactions chimiques qui aboutissent à la dégradation +/- complète 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…)



Girault (2019)

Effets des digestats lors du retour au sol

Photo V. Moinard

- Apport de nutriments (N, P, K…)
- Apport de matière organique :
  - 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 (N_2O) …
- Mais aussi d'autres effets du fait des changements de systèmes de culture associés à la méthanisation (rotation, couverts…)

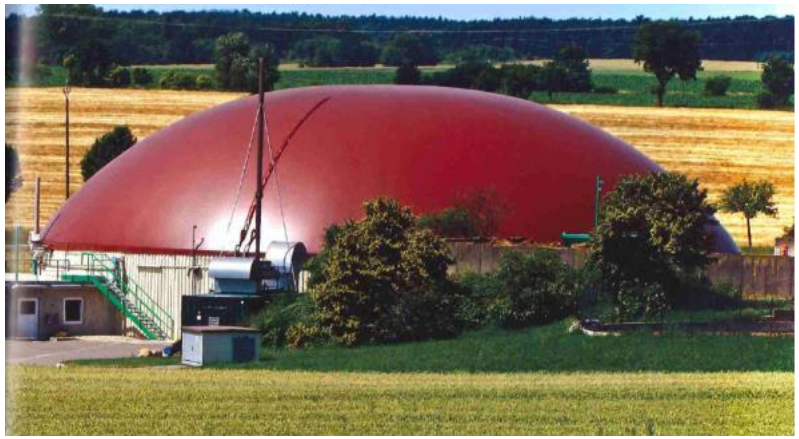
Plan

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

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…)

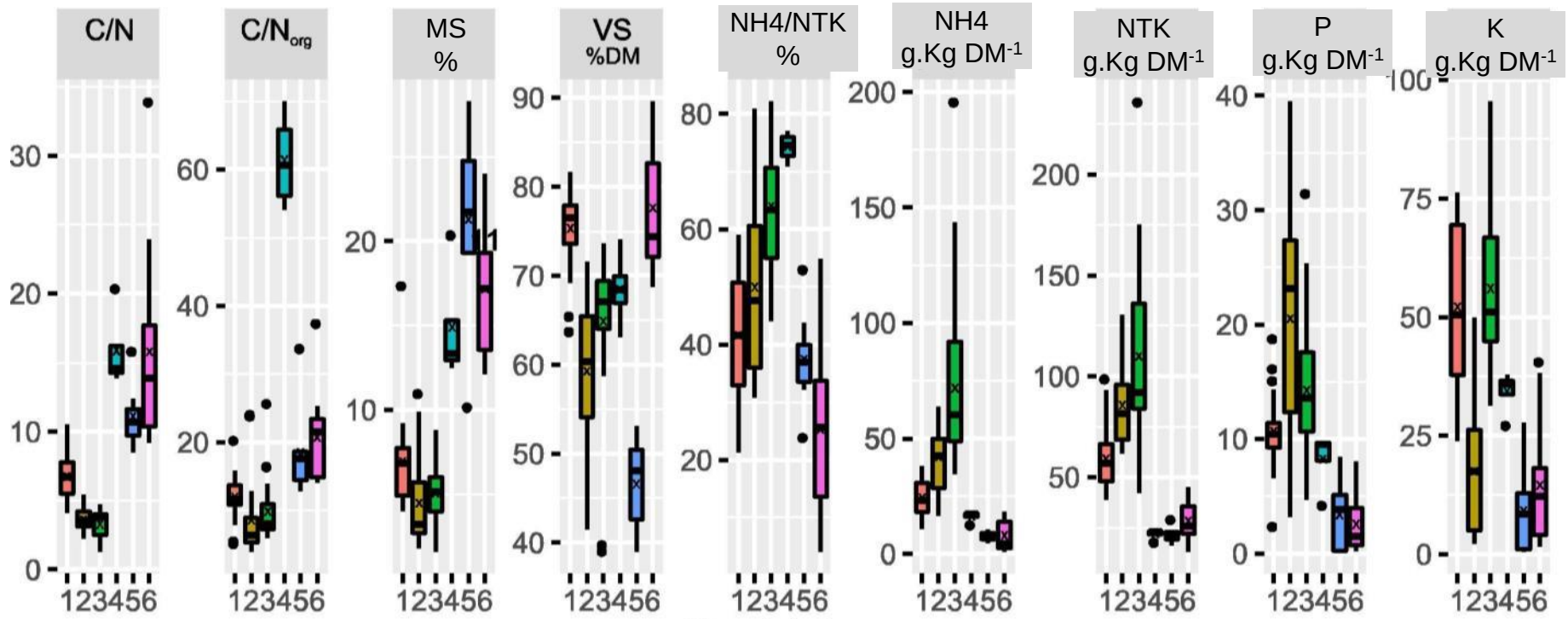
→ **Grande diversité des digestats**



Girault (2019)

Influence des intrants

Digestat bruts



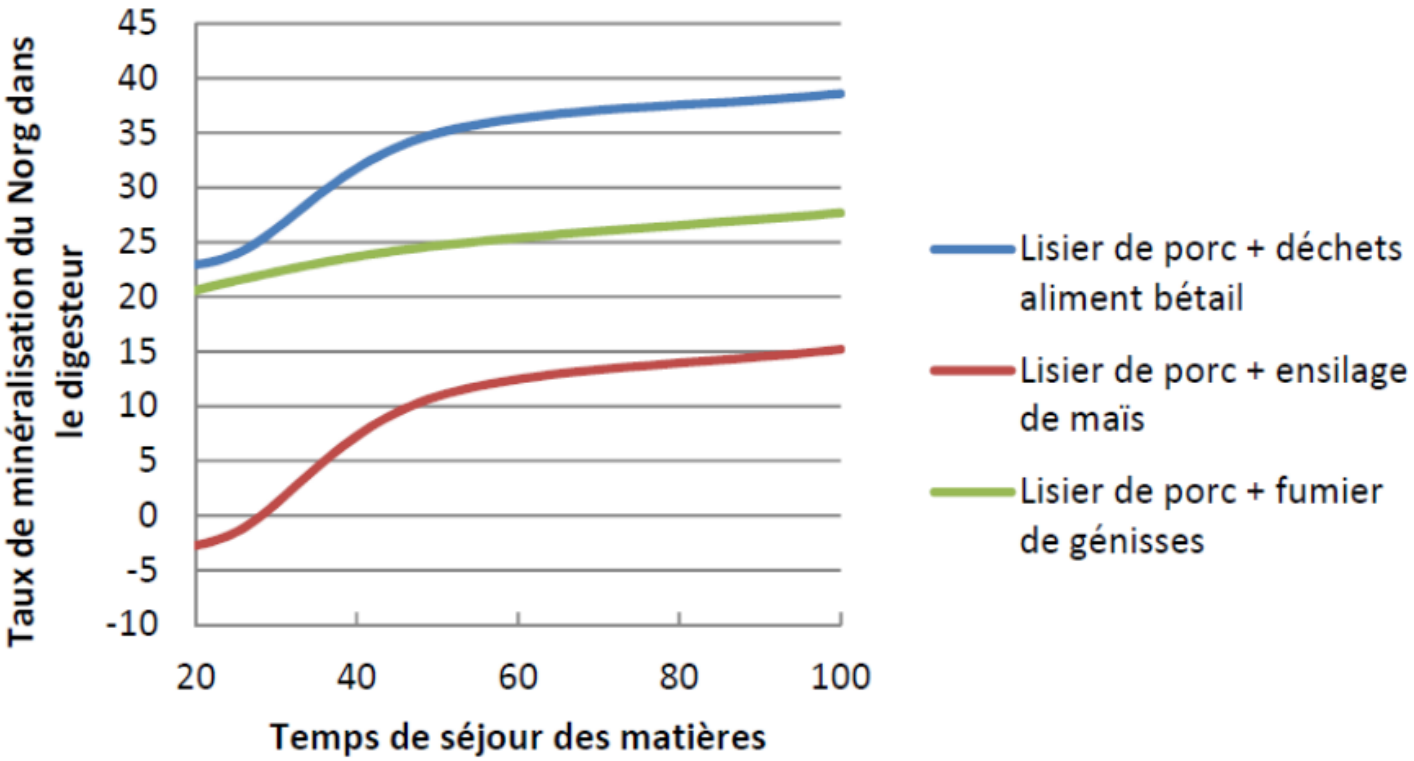
Voie humide
- 1. Fumiers, ensilage
- 2. Boues, biodéchets, IAA
- 3. Déchets alimentaires, lisier de porc, FFOM

Voie sèche
- 4. Fumiers et autres
- 5. FFOM, biodéchets
- 6. Fumiers, déchets verts

Adapté de Guilayn et al. (2019)

Influence du temps de séjour

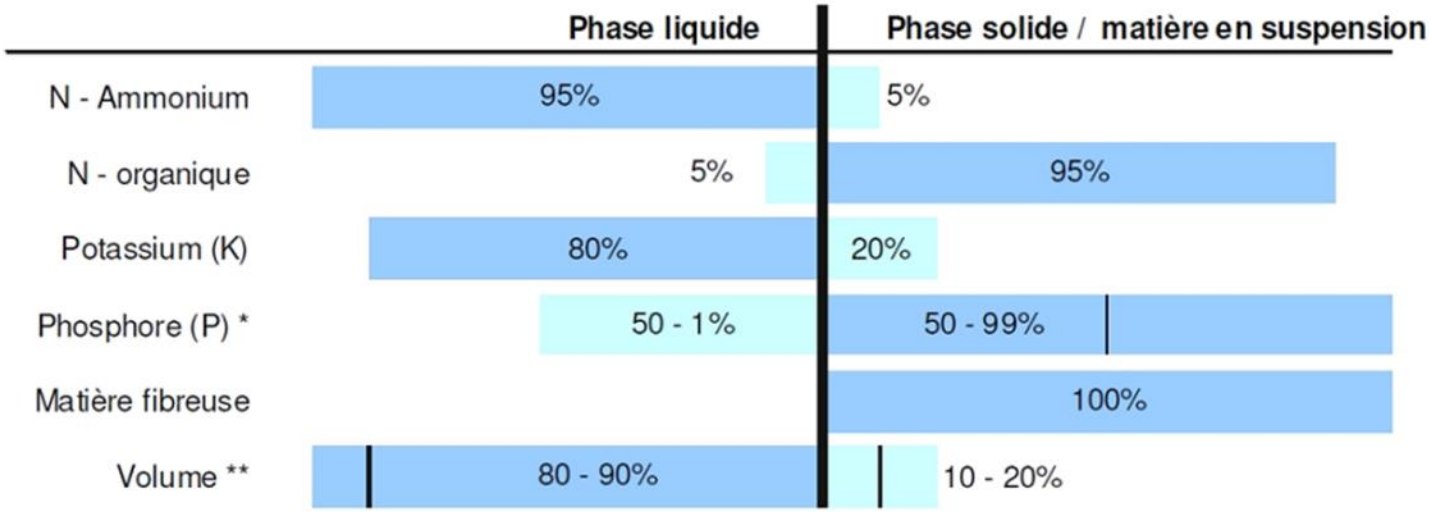
- Le temps de séjour dans le méthaniseur augmente la part minéralisable de l'azote du digestat



Simulation de la minéralisation de l'azote organique au cours de la digestion (Bareha, 2018)

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

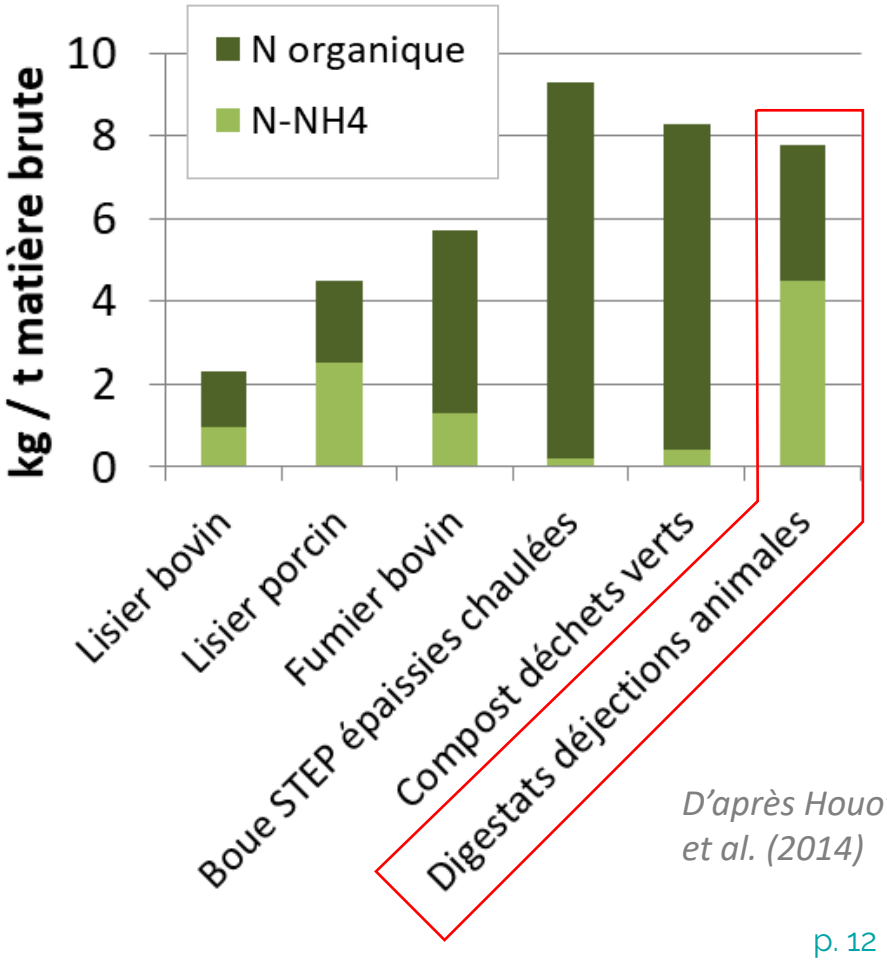
Plan

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

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**



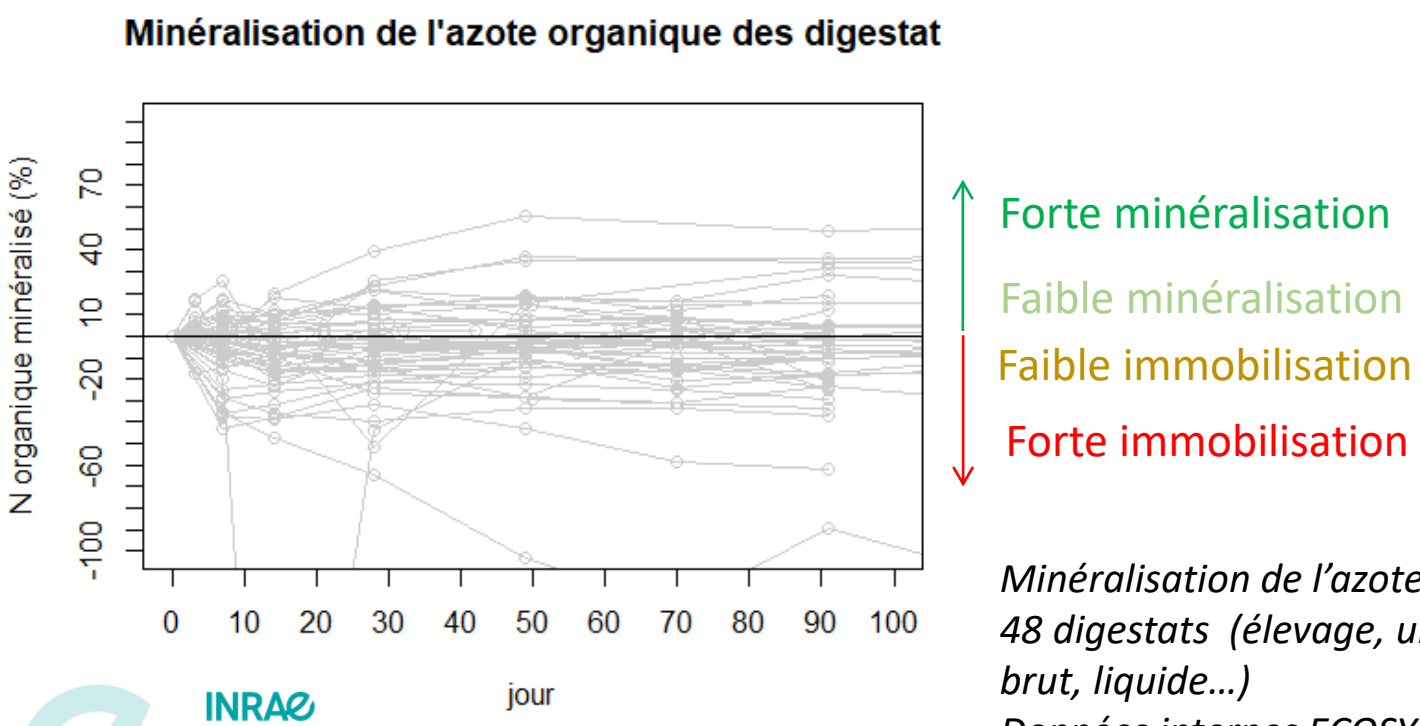
D'après Houot et al. (2014)

Minéralisation de l'azote organique en laboratoire

- 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**

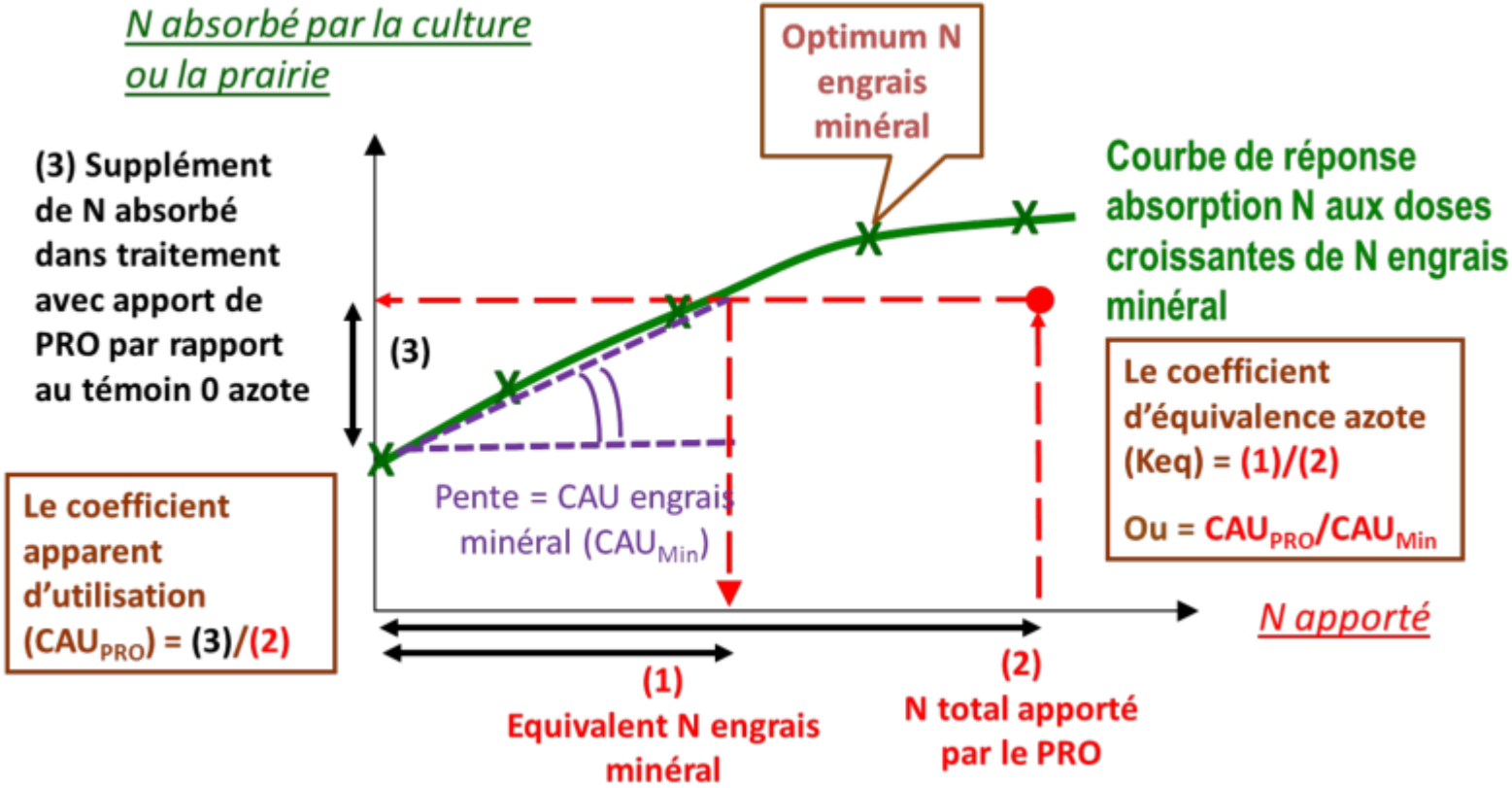
⚠ Minéralisation au champ peut être différente de celle au labo !



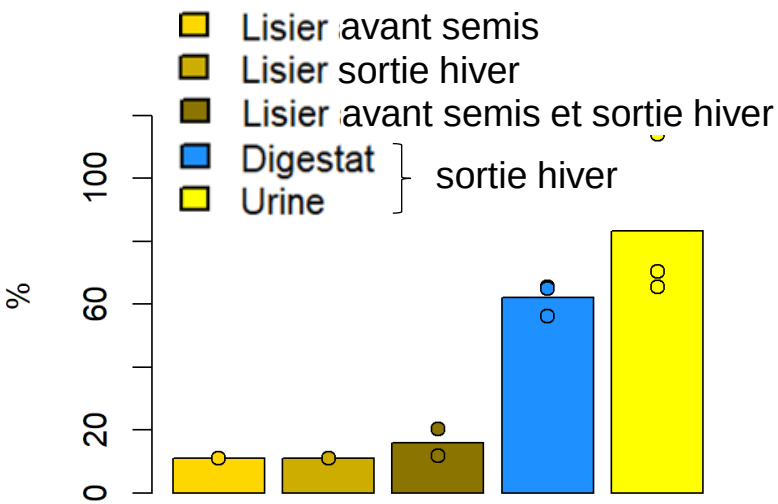
Minéralisation de l'azote organique de 48 digestats (élevage, urbain, territorial, brut, liquide…)
Données internes ECOSYS

Détermination de la valeur fertilisante azotée au champ

- Coefficient apparent d'utilisation de l'azote (CAU) et coefficient d'équivalence engrais (KEQ)

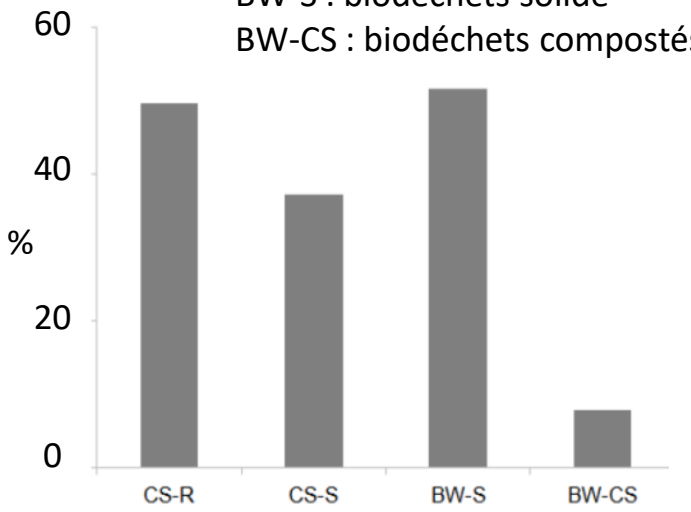


KEQ N : Quelques essais « locaux »



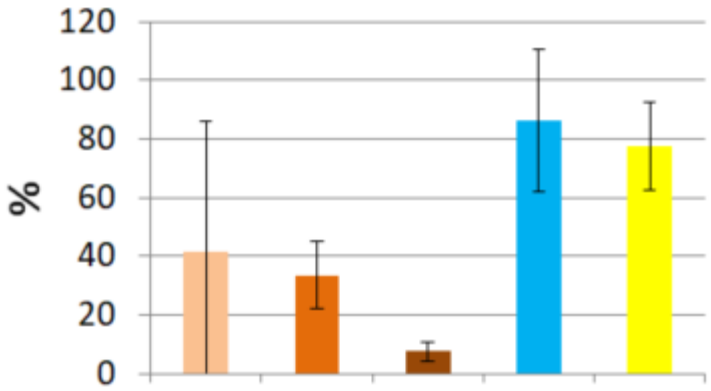
Essai LEADER Saclay 2018
Digestat brut de biodéchets sur blé

CS-R : élevage brut
CS-S : élevage solide
BW-S : biodéchets solide
BW-CS : biodéchets compostés



Essai maïs Grignon, adapté de Askri (2015)

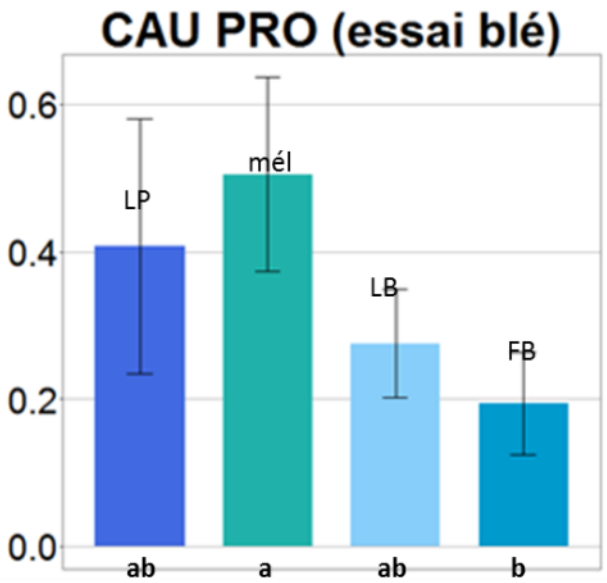
Essai LEADER Saclay 2019
Digestat brut de biodéchets sur colza

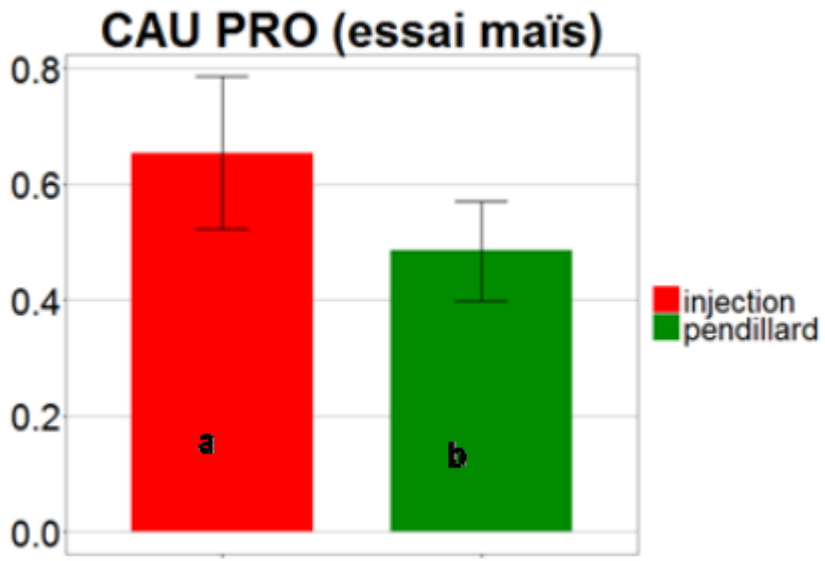


- Lisier bovin avant semis
- Lisier bovin sortie hiver
- Fumier bovin avant semis
- Digestat sortie hiver
- Urine sortie hiver

Valeur azotée et teneur en azote ammoniacal

- Nombreux essais chambre d'agriculture de Bretagne
  - Valeur azotée au champ fortement corrélée à la teneur en azote ammoniacale
  - Importance de l'enfouissement pour réduire la volatilisation



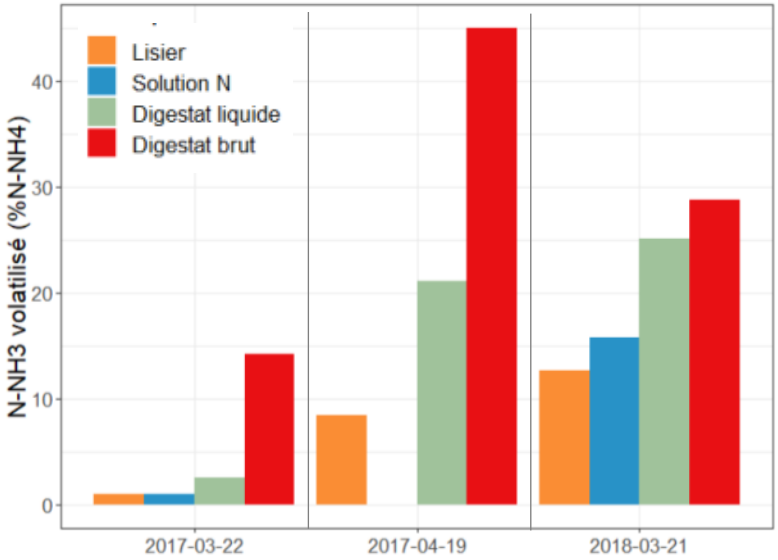


Decoopmann et al. (2017)

CAU = 0,137 + 0,007 x N-NH_4/N total – 0,017 x C/Norganique (R^2 = 0,56)

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



Données internes ECOSYS (thèse V. Moinard)

Illustration des pertes N par volat
Apport 20 m^3/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

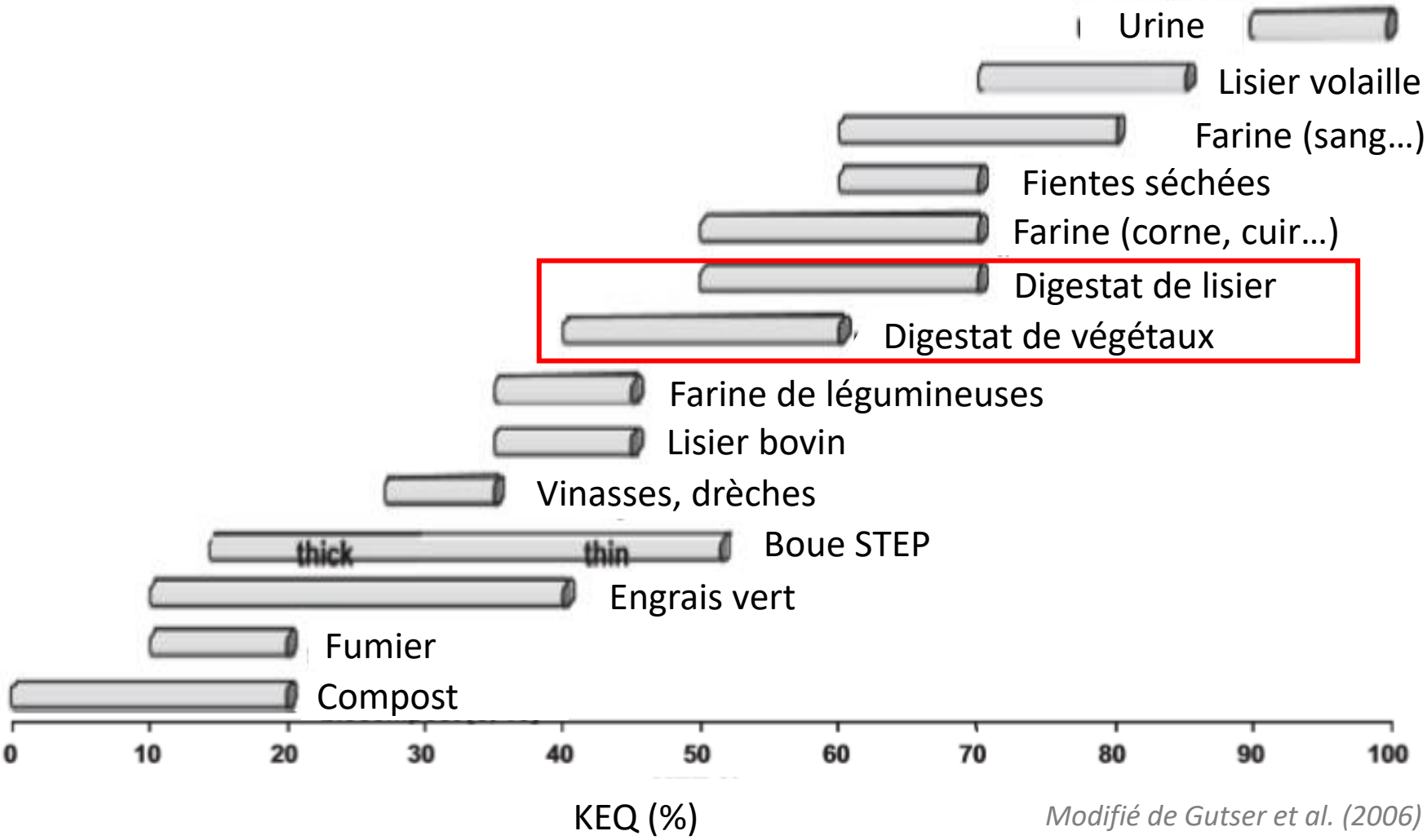
- Variabilité des KEQ N selon les cultures, le mode d'apport, l'année climatique, le type de digestat, le sol… :
  - Digestat liquide plus efficace (+ NH_4, + infiltration : – sensible à la volat)
  - Apport plus efficace si enfoui immédiatement (ou injecté)
  - Apport plus efficace si pas de vent, frais, 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…

Bilan KEQ N par rapport aux autres PRO



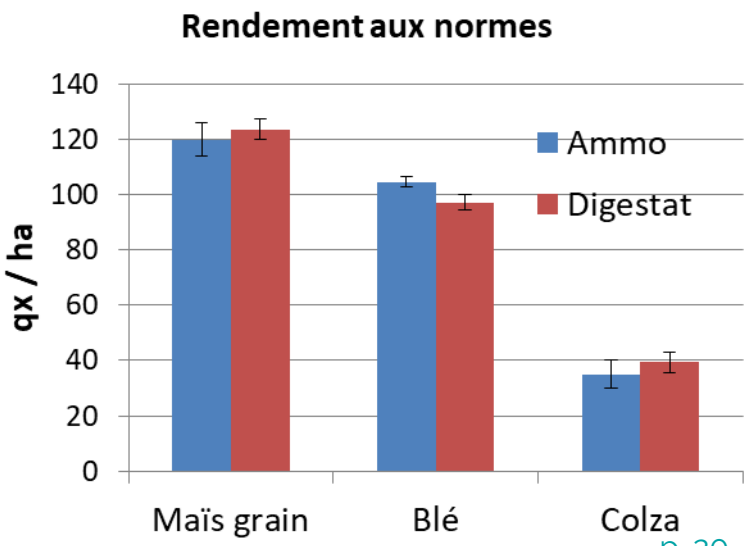
Modifié de Gutser et al. (2006)

Substitution totale des engrais ?

Essai pluriannuel plateau de Saclay avec digestat de biodéchets

Culture	Date	Traitement ammo	Traitement digestat
Maïs grain	11/04/2017	Ammo : 80 u N	Digestat : 25 m^3/ha (160 u N)
Blé tendre	21/02/2018 29/03/2018 18/05/2018	Ammo : 40 u N Ammo : 100 u N Ammo : 40 u N	Digestat : 10 m^3/ha (66 u N) Digestat : 26 m^3/ha (160 u N) Ammo : 40 u N
Colza	20/02/2019 20/02/2019	Ammo : 90 u N Ammo : 90 u N	Digestat : 18 m^3/ha (137 u N) Digestat : 18 m^3/ha (137 u N)
Moyenne / an	-	Ammo : 147 u N	Ammo : 13 u N Digestat : 32 m^3/ha

- Rendement identique sur 3 années successives (protéines sur blé identiques)
- Faisabilité technique : épandage sans tonne obligatoire ?
- Risque de volatilisation + important pour les épandages tardifs
- Surfertilisation P-K ?



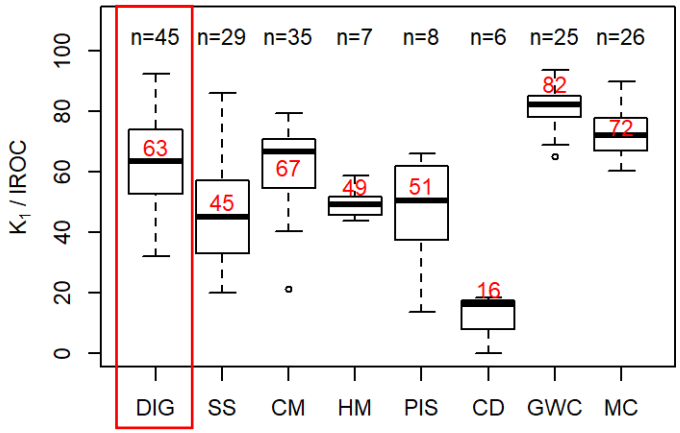
Plan

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

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
- Peu (pas ?) de données d'essais au champ longue durée pour caractériser la stabilité du carbone des digestats
- Estimation de la stabilité du carbone basée sur des analyses labo
  - 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



DIG : Digestat
SS : Boue d'épuration
CM : Fumier bovin
HM : Fumier de cheval
PIS : Lisier porcin
CD : Fientes
GWC : Compost déchets verts
MC : Compost de fumier

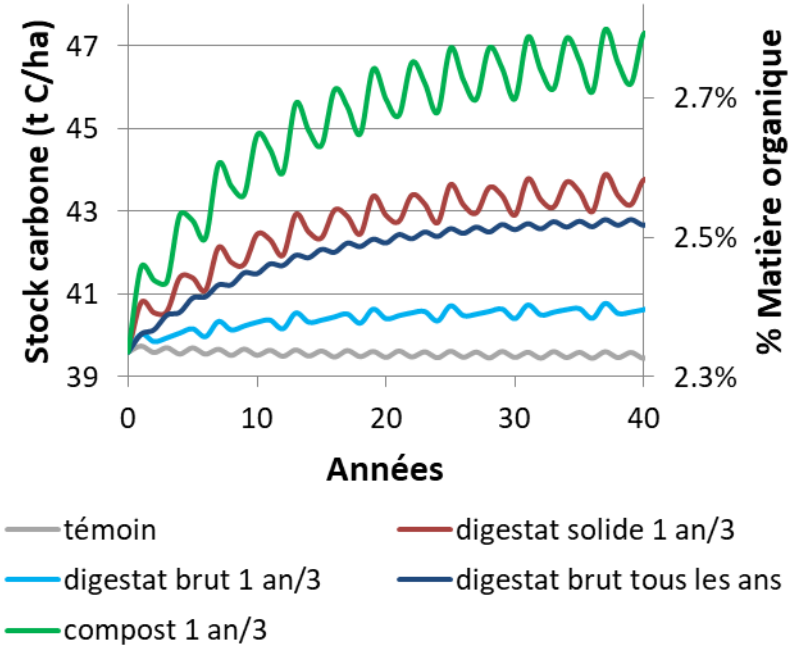
Levavasseur et al (soumis)

Valeur amendante – simulation des effets d'apports répétés

- 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)*

Type	C (%)	K_1 (%)	C humifié pour 20 t/ha (t C/ha)
Digestat brut élevage	2	74	0,3
Digestat brut biodéchets	0,5	65	0,07
Digestat solide territorial	8	66	1,1
Compost déchets verts	12	82	2,0

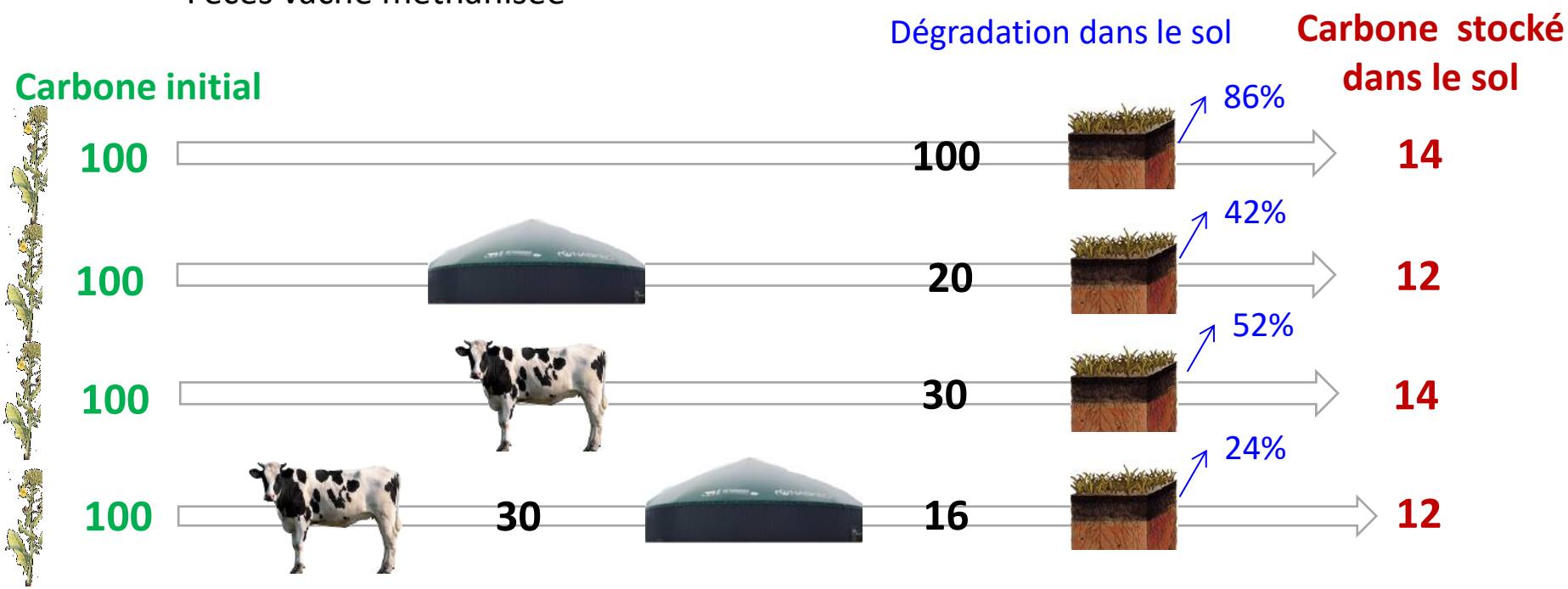
Exemple digestats projet PSDR PROLEG



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

Bilan carbone du sol de la méthanisation

- Comparaison de 4 scénarios de retour au sol *(Thomsen et al., 2013)*
  - Biomasse végétale brute
  - Biomasse végétale méthanisée
  - Fèces vache (biomasse végétale digérée)
  - Fèces vache méthanisée



En considérant les pertes de carbone lors de la digestion des ruminants et/ou la méthanisation, peu de différences sur le C stocké dans le sol

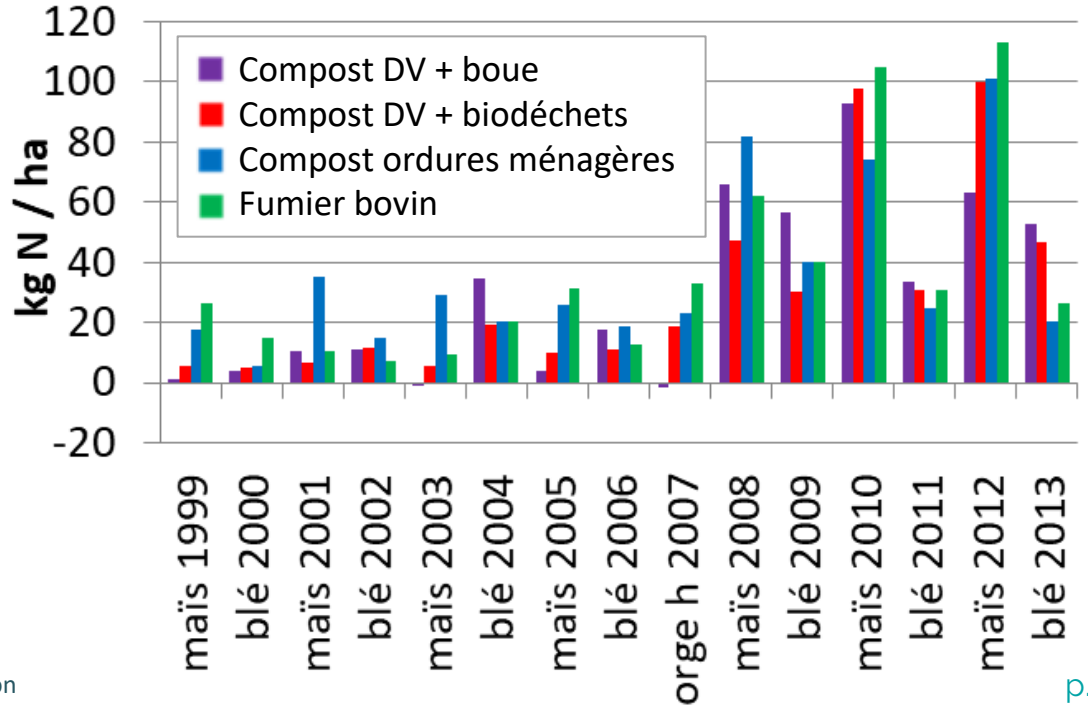
Valeur fertilisante azotée à long terme

- A long terme : augmentation de la matière organique des sols, **augmentation de la fourniture d'azote du sol par minéralisation**
- Pas d'essai de long terme avec digestat permettant de le mettre en évidence : rapprochement avec d'autres essais PRO :

→ Jusqu'à + 100 kg N/ha minéralisé après 15 ans d'apport

Essai QualiAgro (78) – apport de composts ou fumier bovin tous les 2 ans à 4 t C/ha

Surplus de minéralisation par rapport au témoin *



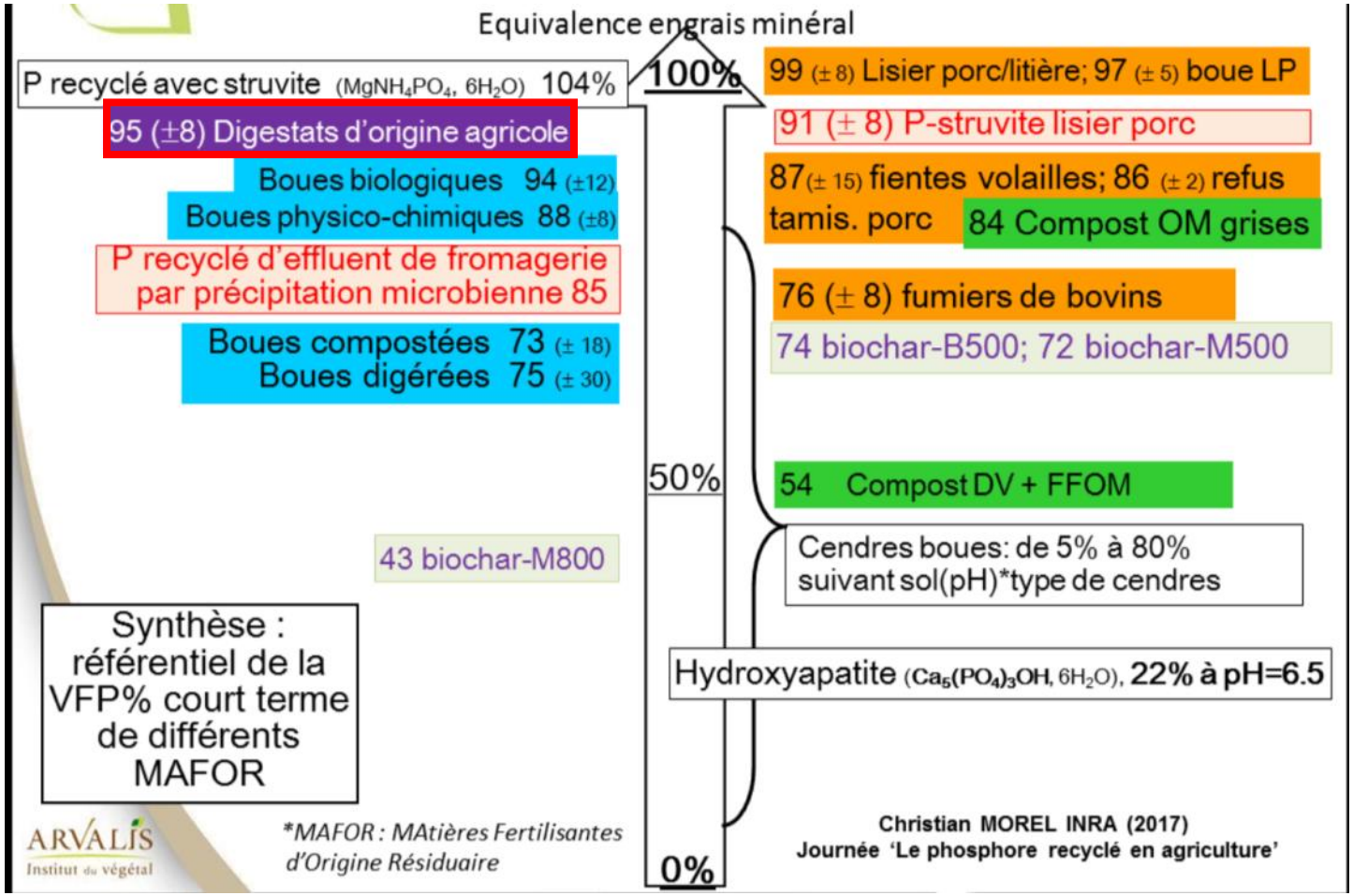
** sur la période absorption N des cultures (essai N+)*

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

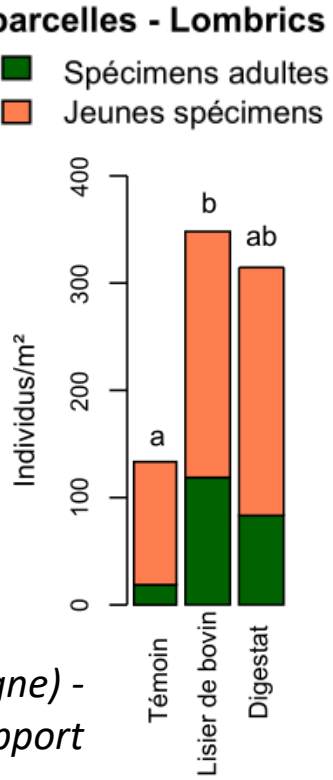
Valeur fertilisante P

- **Efficacité P des digestats ≈ P engrais minéral** *(Jordan-Meille et al., 2017)*



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)

Contamination

- **Métaux, polluants organiques** (antibio, hydrocarbures…) :
  - Dépend des intrants
  - Concentration des contaminants du fait de la perte de matière au cours de la méthanisation
  - Si dans les gammes des PRO existants, peu de risques à long terme d'accumulation des métaux dans les sols *(Michaud et al., 2019)*

- **Pathogènes** :
  - Dépend des intrants
  - Procédé +/- hygiénisant selon la température du méthaniseur, l'hygiénisation ou non, et les pathogènes considérés

- **Adventices :** la méthanisation inactive de nombreuses graines, y compris en procédé mésophile *(Johansen et al., 2013)*

- Réglementation existante fixe des valeurs limites (métaux, pathogènes)

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_2O_5 (kg/ha)	K_2O (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

- 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