



irstea



INRA
SCIENCE & IMPACT



ARMINES



um2
UNIVERSITÉ MONTPELLIER 2
SCIENCES ET TECHNIQUES



Solagro



GÉOTEXIA
MENÉ



comifer

ANR Bioénergie 2010

DIVA

Caractérisation des Digestats et de leur
filières de Valorisation Agronomique

2011-2014



Contexte

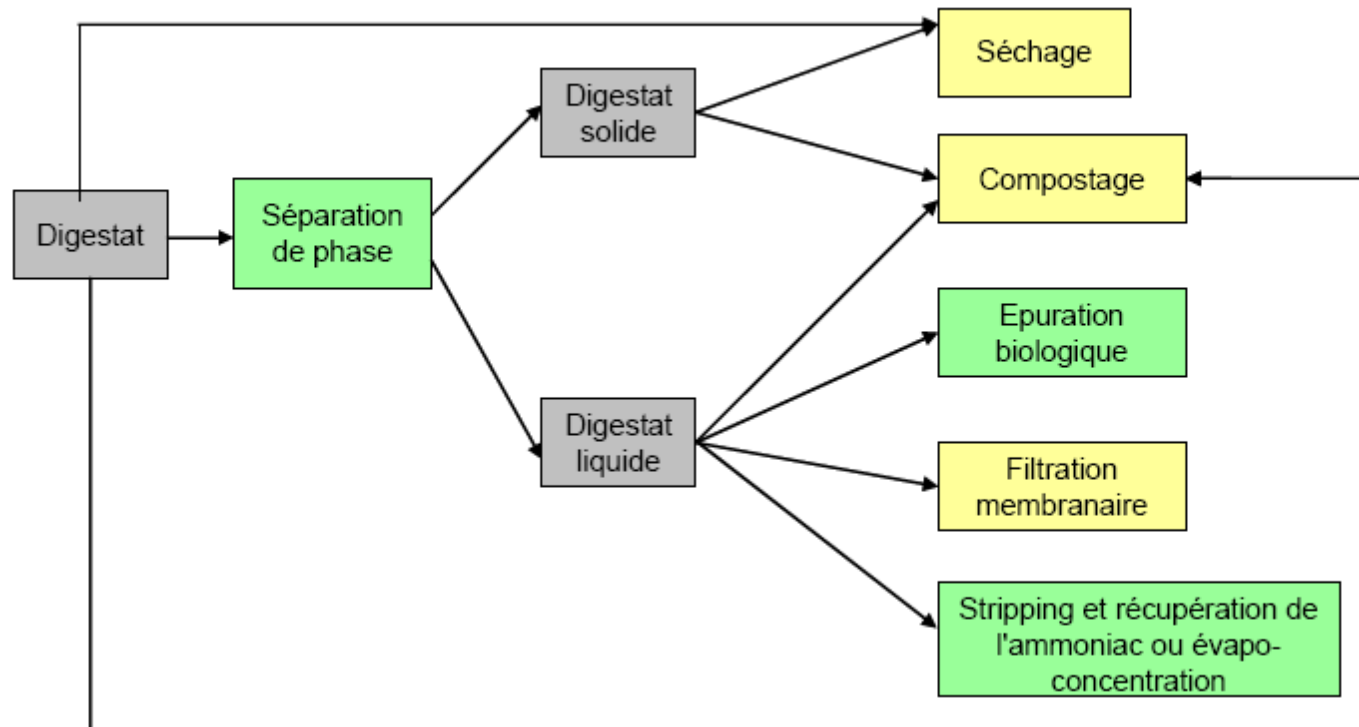
- Développement de la méthanisation
- Frein: devenir des digestats
- Qualité des digestats dépend des intrants et procédé
- Plan d'épandage ou norme 44051 après compostage
- Volonté de normaliser les digestats: meilleure connaissance des effets après épandage nécessaire



Objectifs

- Objectifs scientifiques:
 - Evaluation technique, économique et environnementale de leurs filières de gestion et de valorisation agronomique
 - Analyse de la faisabilité et développement de post-traitements des digestats; qualité des digestats obtenus
- Objectifs techniques:
 - Fournir des données de composition et qualité des digestats qui devraient contribuer à la normalisation des digestats
 - Fournir des données sur des filières de post-traitement pour aider au choix de ces filières de post-traitement par rapport aux contextes

Filières de post-traitement des digestats étudiées



Valeur agronomique des digestats

- Fraction organique récalcitrante: amendement direct sans compostage?
- Azote \rightarrow NH_4^+ en grande partie: quelle disponibilité du N?
- Devenir des CTO au cours de la digestion, ETM
- Bilan énergétique, émission de N_2O , volatilisation NH_3



6 tâches

1. Management du projet: Comité de suivi (ADEME, ANSES, RITTMO, MAP, MEEDDEM, ACTA...)
2. Etat de l'art des digestats et de leurs procédés de post-traitement
3. Caractérisation des digestats bruts
4. Post-traitement des digestats
5. Valeur agronomique des digestats
6. Bilan technico-économique et environnemental des filières de post-traitement des digestats


Tâche 2: Etat de l'art



- Synthèse sur la composition des digestats en fonction des substrats et des procédés de digestion
- Synthèse sur les procédés de post-traitements, verrous technologiques
- Liste des analyses nécessaires pour caractériser les digestats en vue de leur valorisation agronomique

Tâche 3: Caractérisation des digestats bruts



- 5 sites suivis:
 - 2: Traitement biologique de déchets ménagers: OMR ou FFOM
 - 1: Méthanisation territoriale 
 - 2: Méthanisation à la ferme (Manets -Orne, Beets – Loiret)
- Echantillonnage et représentativité des digestats: Plusieurs échantillonnages échelonnés
- Potentialité d'épandage direct: analyse des normes 44-051 ou 44-095, 42-001
- Traitabilité des digestats bruts: caractéristiques et rhéologiques (épandabilité, aptitude à la deshydratation, biodégradabilité résiduelles)
- Conclusion attendue: potentialité d'épandage direct ou nécessité de post-traitement, potentialité de post-traitement



Tâche 4: Post-traitement des digestats



- Digestats solides:
 - Séchage  ARMINES
 - Compostage  irstea
- Digestats liquides
 - Filtration membranaire  um2
UNIVERSITÉ MONTPELLIER 2
SCIENCES ET TECHNIQUES
 - Traitement biologique  irstea
- Caractérisation des digestats post-traités

Tâche 5: Valo agro des digestats



- Caractériser la valeur agronomique des digestats bruts et transformés: valeur amendante et fertilisante
- Conséquences des épandages sur cycles C et N
- Quantifier émissions N_2O et NH_3 à l'épandage de digestats transformés ou non, comparaison avec produits non digérés
- « Labo » sur grand nombre d'échantillons
- Champ: 2 essais temps court (2 récoltes)

Tâche 6: Bilan technico-économique et environnemental des filières de post-traitement des digestats



- Choix des filières analysées
- Analyse technico-économique
- Analyse environnementale et énergétique :
ACV



Valorisation des digestats de méthanisation : Effet sur les cycles du carbone et de l'azote dans le sol et conséquences environnementales

A.ASKRI^{1*}, P.LAVILLE¹, F.GUIZIOU², A.TREMIER², S.HOUOT¹

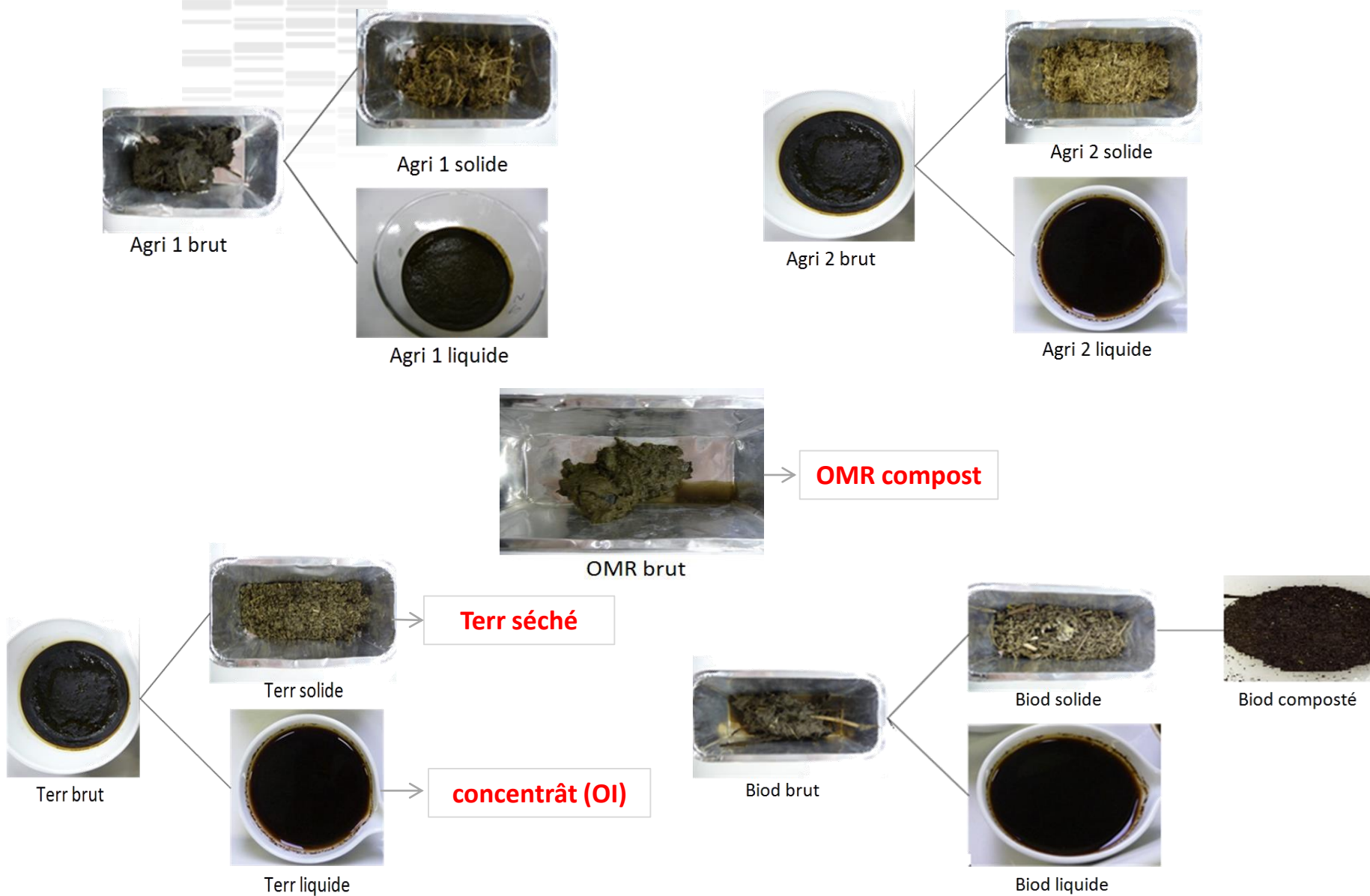
1 INRA-AgroParisTech, UMR ECOSYS, 1 av Lucien Brétignières,
78850 Thiverval-Grignon, France.

2 IRSTEA, UR GERE, 17 av de Cucillé, 35044 Rennes, France.

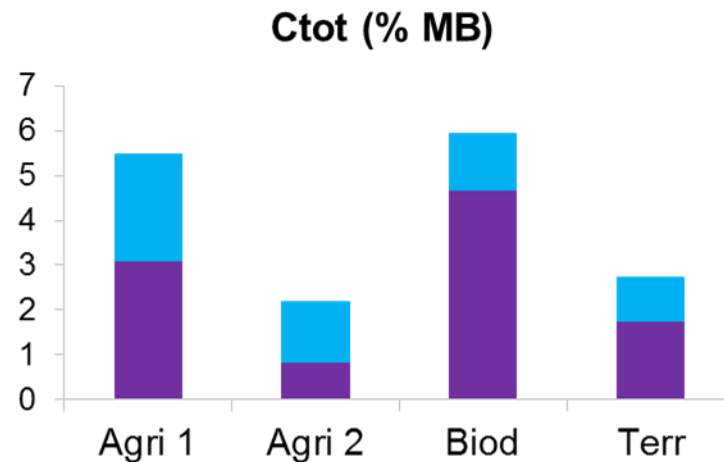
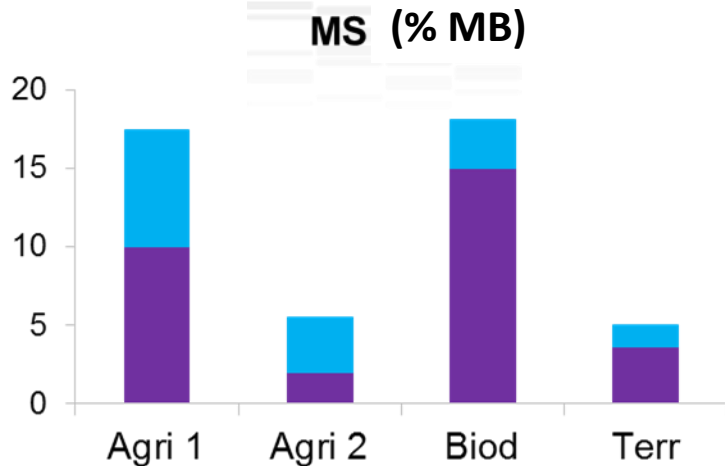
Digestats utilisés

	Intrants	Digestion	Séparation de phase	Post-traitement
Agri 1	95% fumier bovin, 5% céréales	Mésophile (40°C – 42°C) rétention : 60 – 70 j Alimentation : 12T – 19T/j	Presse à vis + tamis	-
Agri 2	18% fumier bovin, 42% lisier bovin, 17% lisier porcin, 10% céréales, 13% déchets d'IAA	Mésophile (44°C) Rétention : 30 j	Presse à vis + tamis	-
Terr	51% lisier porcin, 49% déchets divers (déchets IAA, boue physico-chimique d'abattoirs, céréales, fientes de volailles)	Mésophile humide (35°C – 38°C) Rétention : 60 j	Centrifugation avec ajout de flocculant	Séchage de phase solide OI phase liquide
Biod	85% biodéchets (papiers, déchets verts,...), 9% déchets IAA, 6% graisse	Thermophile humide (55°C) Rétention : 21 j	Pressage, tamisage puis centrifugation avec ajout de flocculant	Compostage de phase solide
OMR	80% OMR, 20% biodéchets	Thermophile sèche	-	Compostage

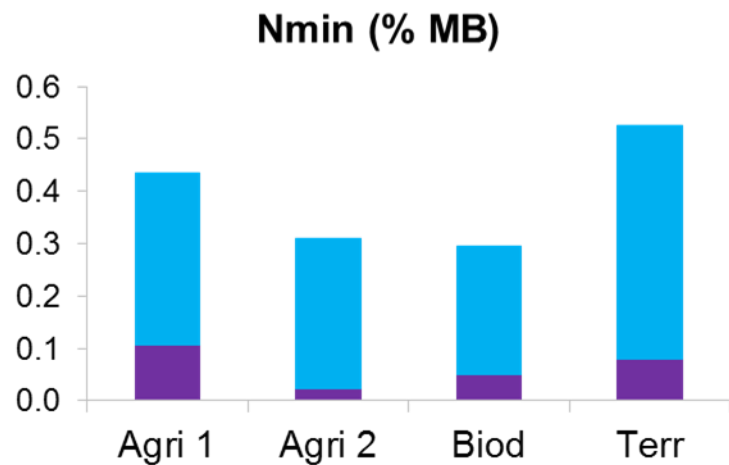
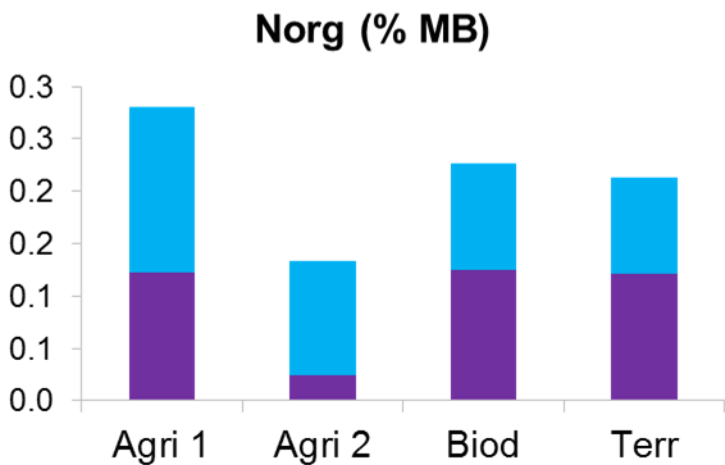
Digestats utilisés



Effet de la séparation de phase sur la distribution de la MS et des nutriments



liquide
solide



Valeur amendante : Cinétiques de minéralisation de C

Minéralisation de C → Biodégradabilité résiduelle du C organique des digestats

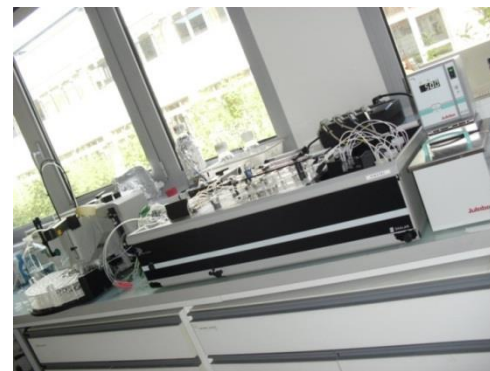
- Incubation pendant 6 mois
- 10g de digestats frais + 100g de sol frais tamisé (4mm)
- 4 répétitions par échantillon
- Conditions expérimentales : $T^{\circ} = 28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$

Obscurité

Humidité constante



- Piégeage du CO_2 dans NaOH 1N
- Dosage colorimétrique



Valeur amendante: Fractionnement biochimique et calcul de l'indice de stabilité de la MO

Fractionnement biochimique MO (Van-Soest)

Séchage des digestats à 40°C et broyage à 1 mm

4 attaques : NDF, ADF, ADL, eau

→ fraction soluble, cellulose, hémicellulose et lignine

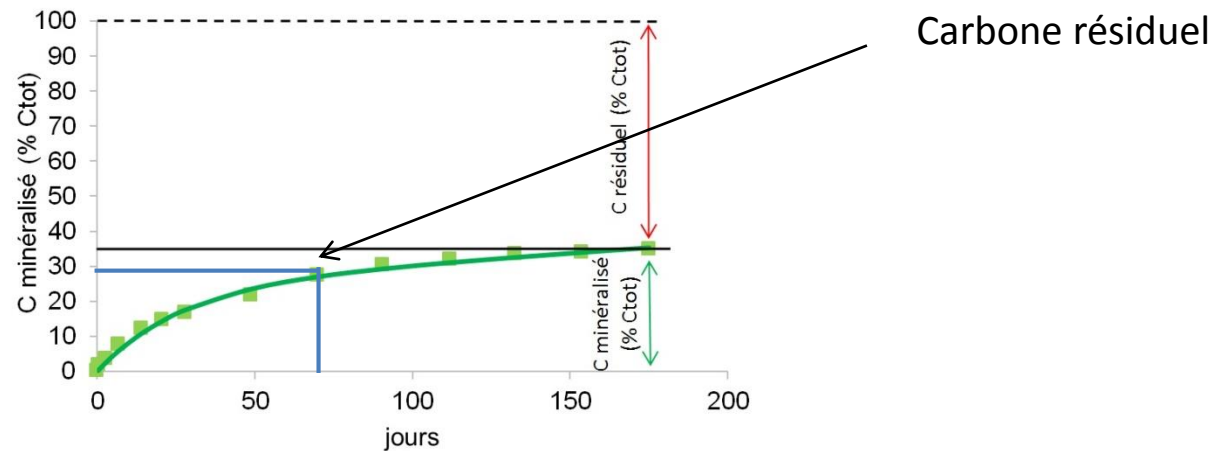
Détermination de l'indice ISMO



Biodégradabilité résiduelle de la matière organique des digestats

Ajustement à un modèle de dégradation à 2 compartiments: Labile et Récalcitrant

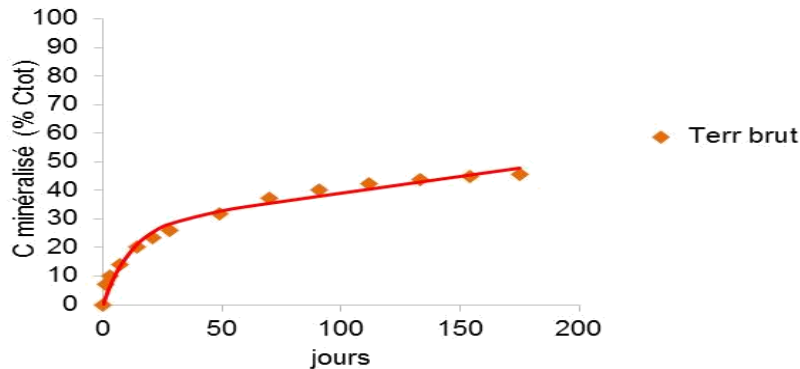
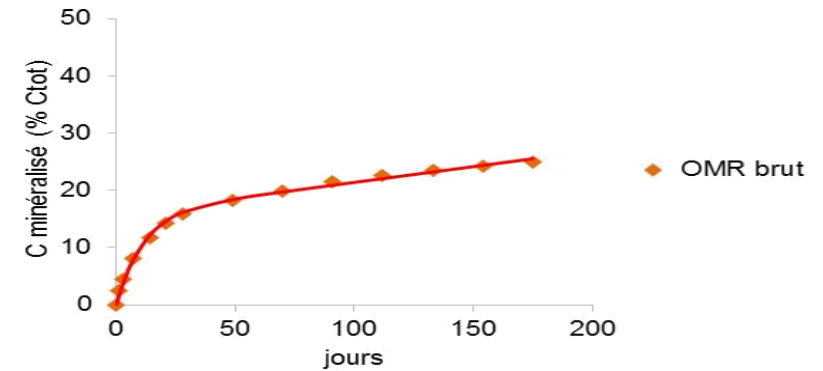
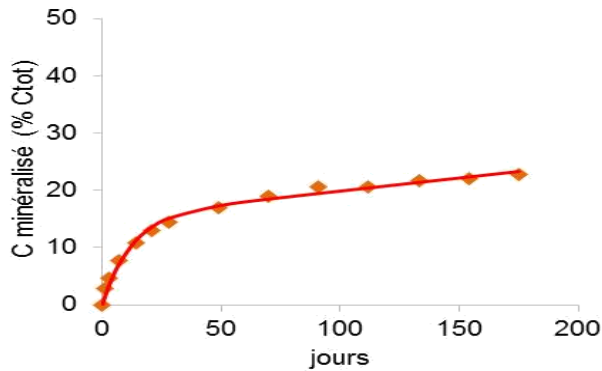
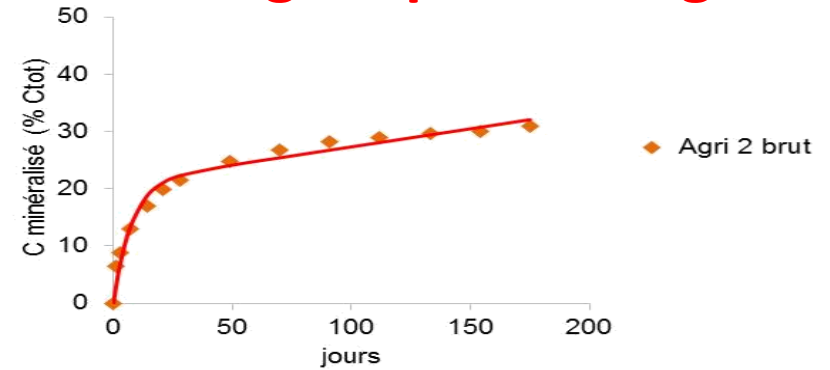
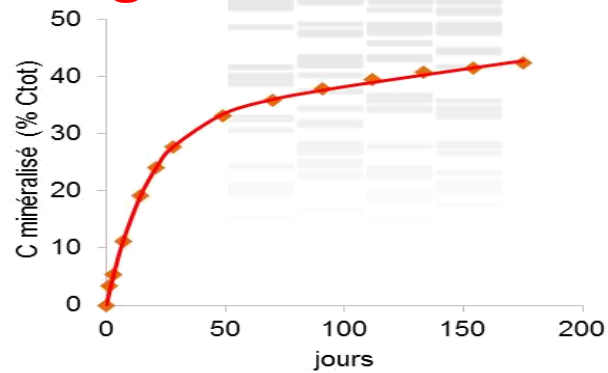
$$y = a \cdot (1 - \exp^{-bt}) + (y_0 \cdot t)$$



$$C \text{ résiduel} = 100 - y$$

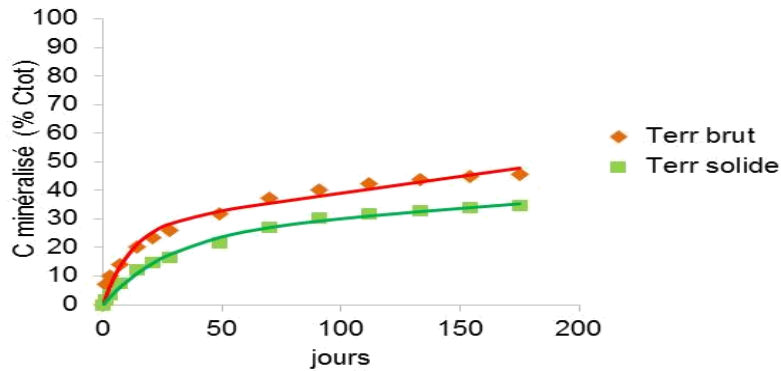
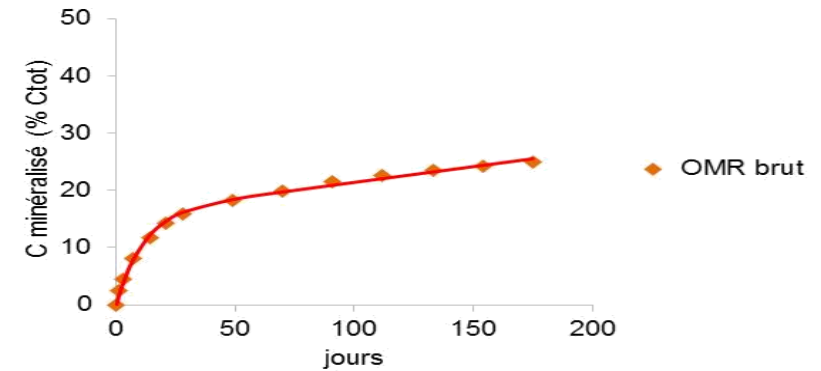
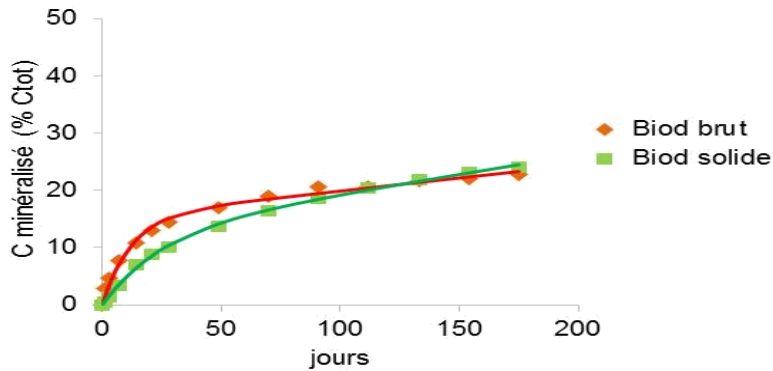
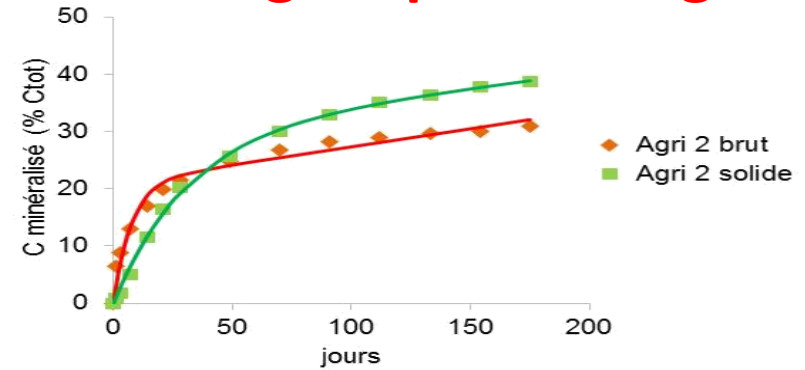
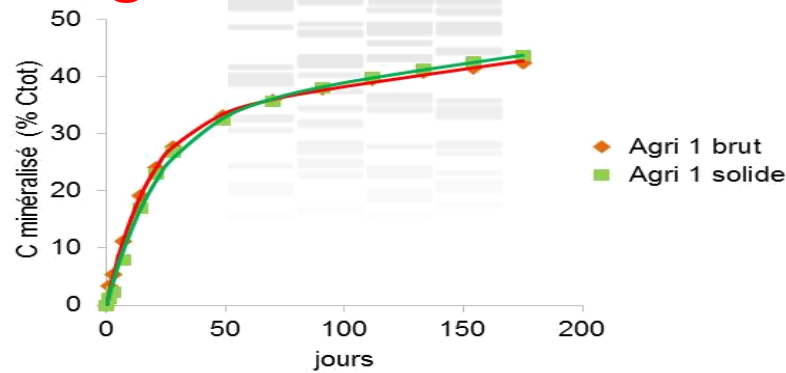
($y = C$ minéralisé 1 an après épandage au champ, avec $t = 70$)

Biodégradabilité résiduelle de la matière organique des digestats



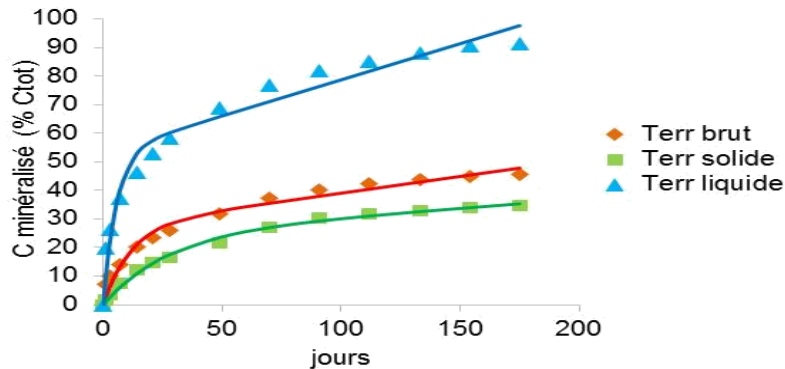
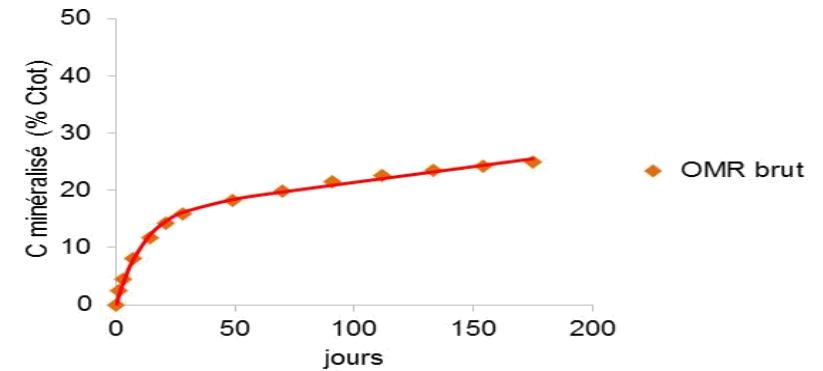
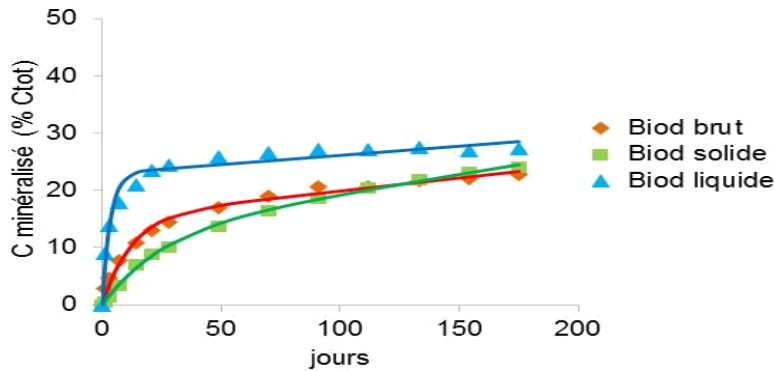
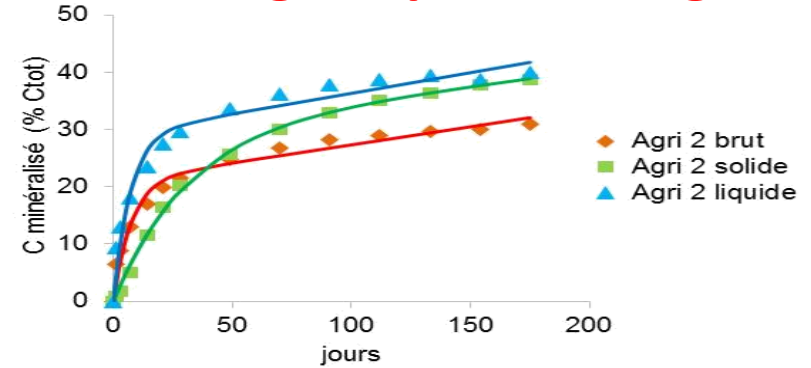
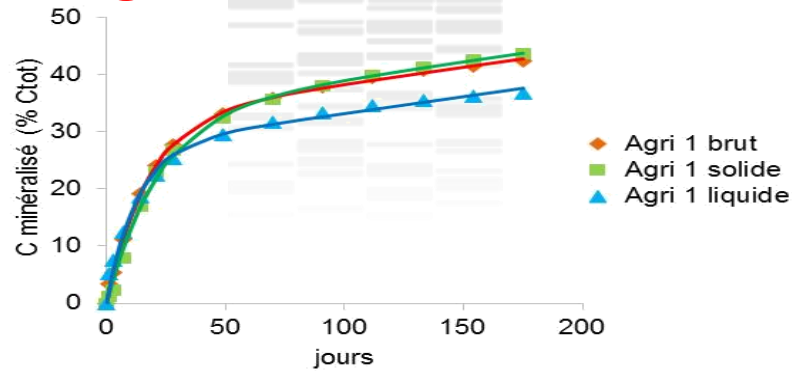
Forte biodégradabilité de C en début d'incubation :
fraction organique biodégradable.

Biodégradabilité résiduelle de la matière organique des digestats



Forte biodégradabilité de C en début d'incubation :
fraction organique biodégradable.
Séparation de phase → Solides + stables

Biodégradabilité résiduelle de la matière organique des digestats

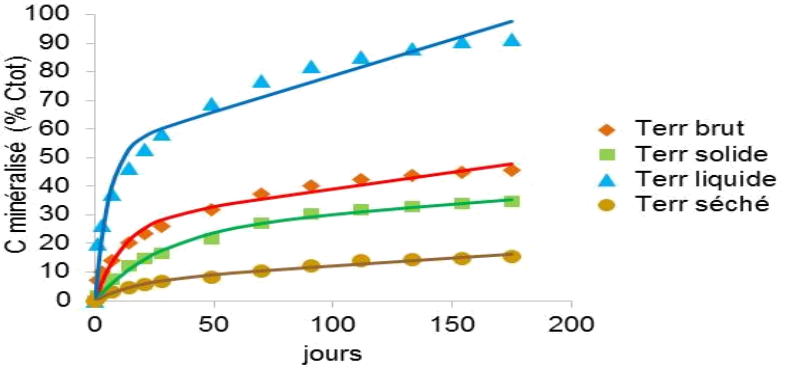
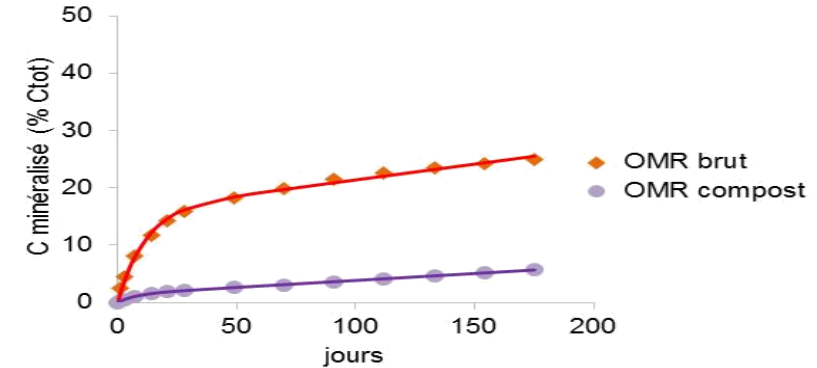
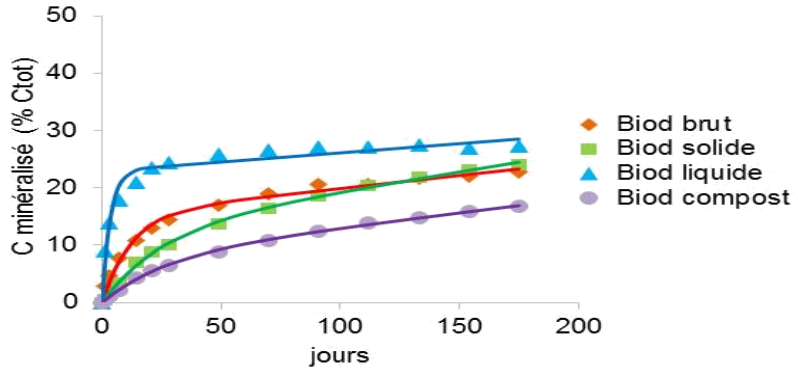
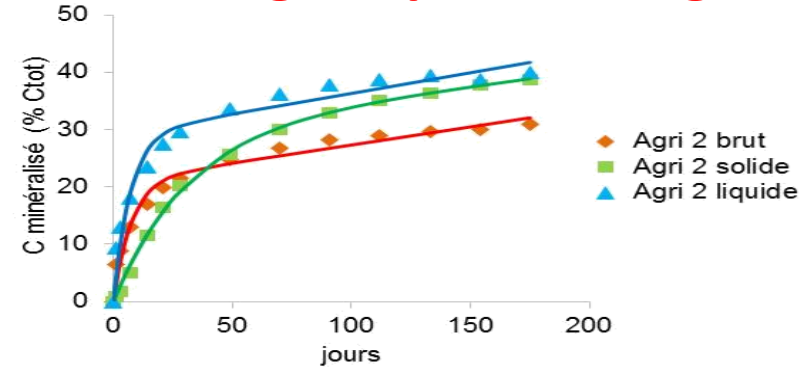
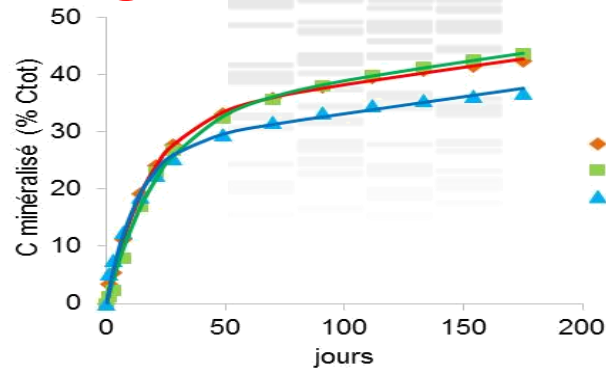


Forte biodégradabilité de C en début d'incubation :
fraction organique biodégradable.

Séparation de phase → Solides + stables

→ Liquides + biodégradables

Biodégradabilité résiduelle de la matière organique des digestats



Forte biodégradabilité de C en début d'incubation :
fraction organique biodégradable.

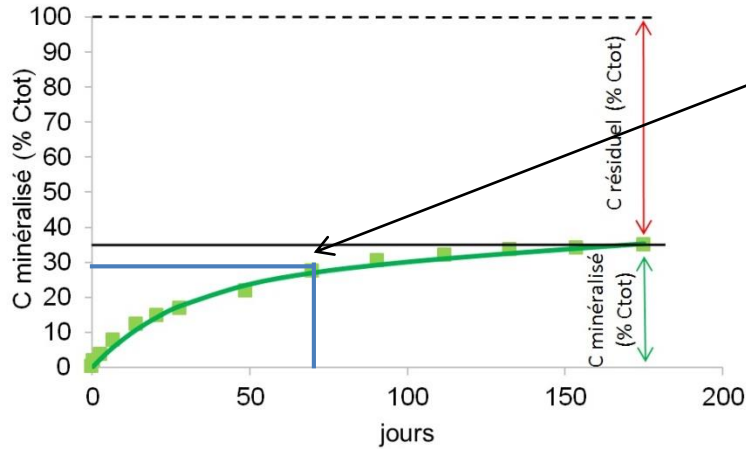
Séparation de phase → Solides + stables

→ Liquides + biodégradables

Compostage / Séchage → Stabilisation de MO

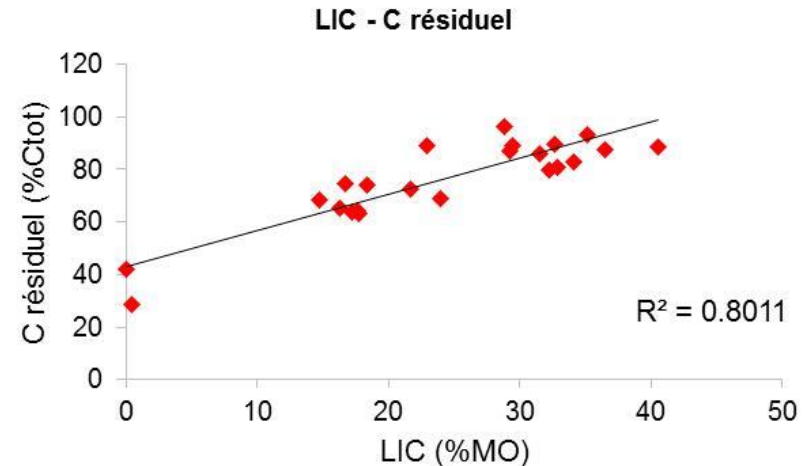
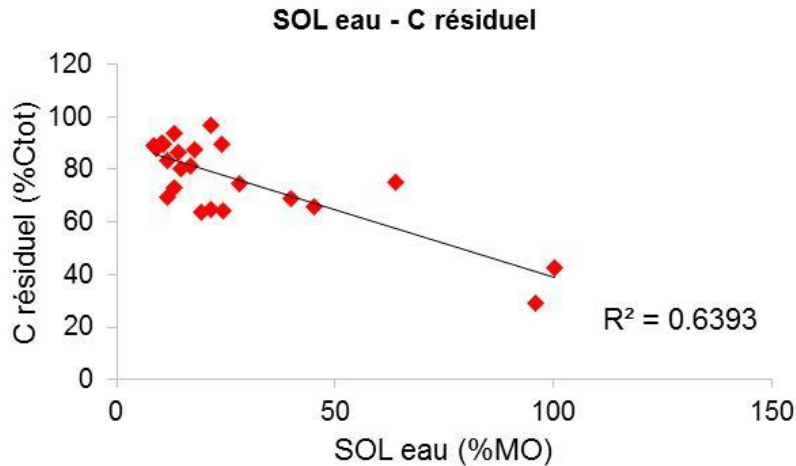
Digestats d'origine urbaine plus stables

Biodégradabilité résiduelle de la matière organique des digestats



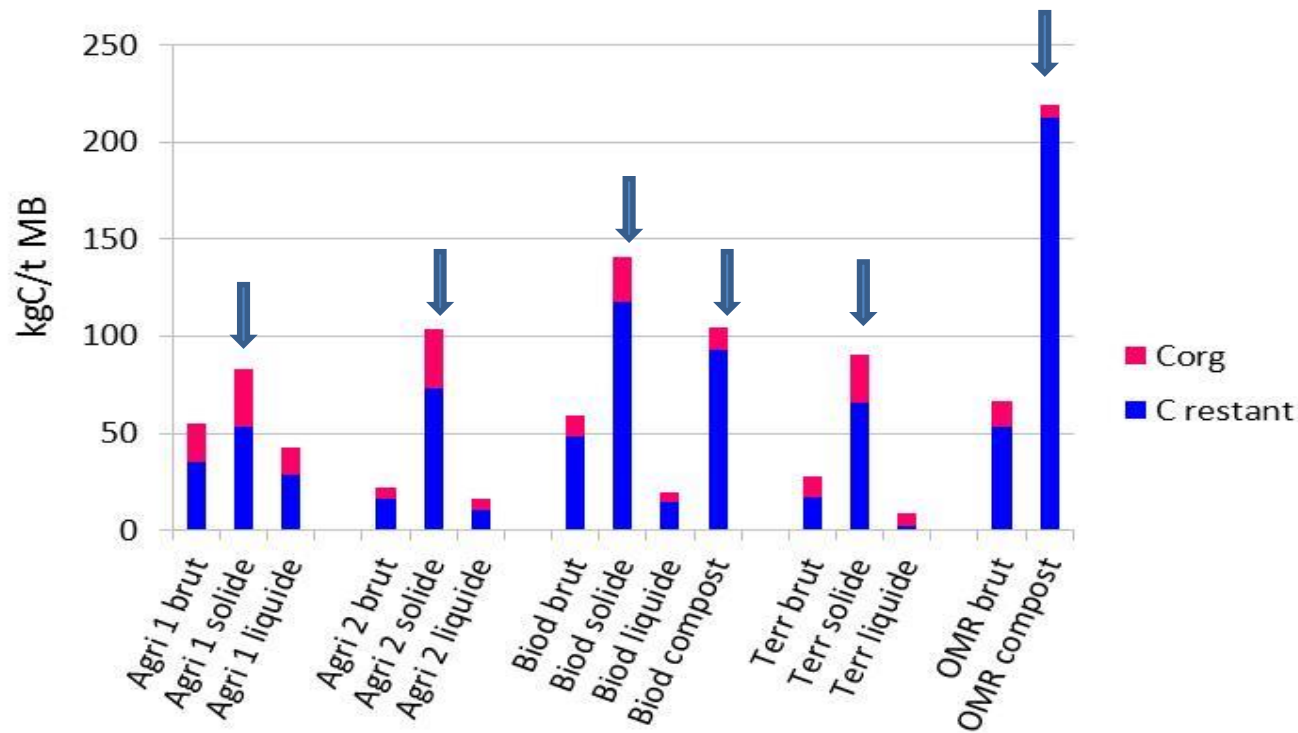
Carbone résiduel

$C \text{ résiduel} = 100 - y$
(C minéralisé 1 an après épandage au champ, avec $t = 70$)



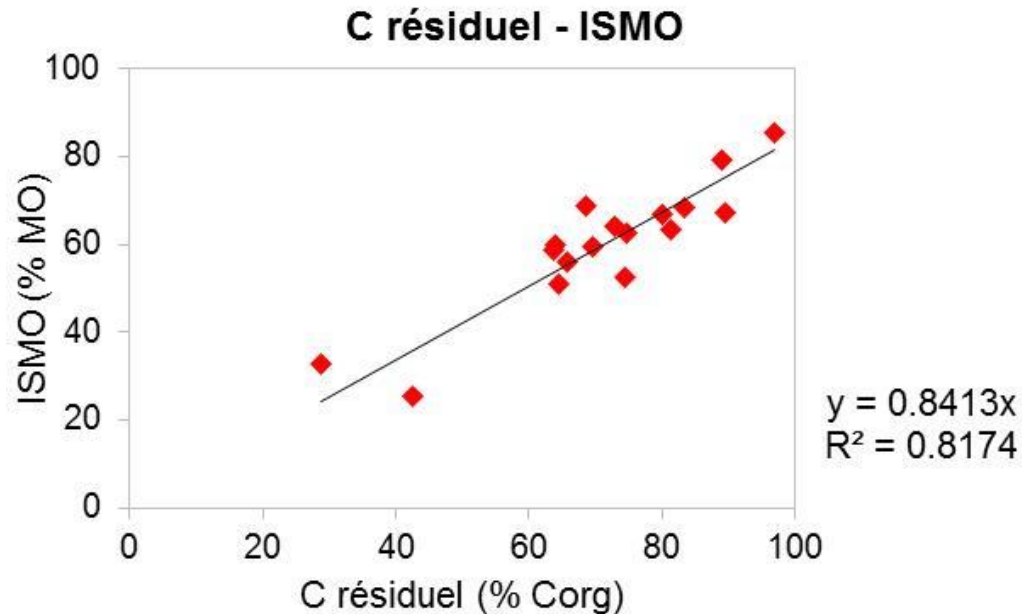
Valeur amendante des digestats : Capacité à entretenir les stocks de MO des sols

- Transposition à la tonne de digestat apportée → différenciation des digestats
- Digestats liquides: pas d'apport de MO
- Digestats solides et composts: valeur amendante plus importante



Validité d'ISMO

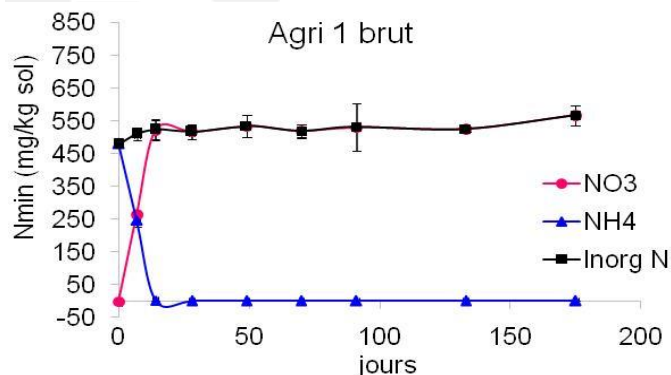
$$\text{ISMO} = 445 + 0,5 \cdot \text{SOL} - 0,2 \cdot \text{CEL} + 0,7 \cdot \text{LIC} - 2,3 \cdot \text{C}_{3j} \quad (\text{Lashermes et al., 2009})$$



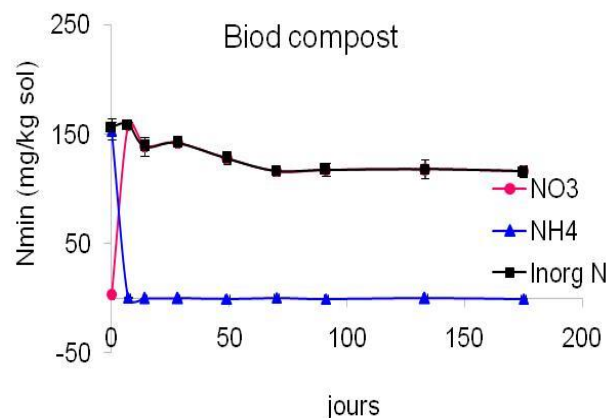
ISMO corrélé avec le calcul du C résiduel

→ ISMO reste valable pour les digestats

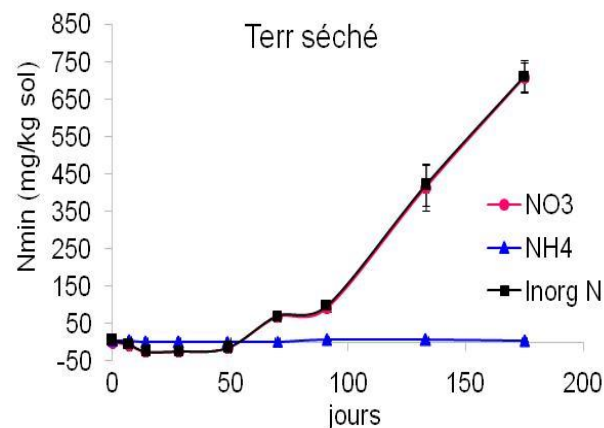
Evolution du N minéral après apport des digestats au sol



Nitrification → \downarrow NH_4 + \uparrow NO_3

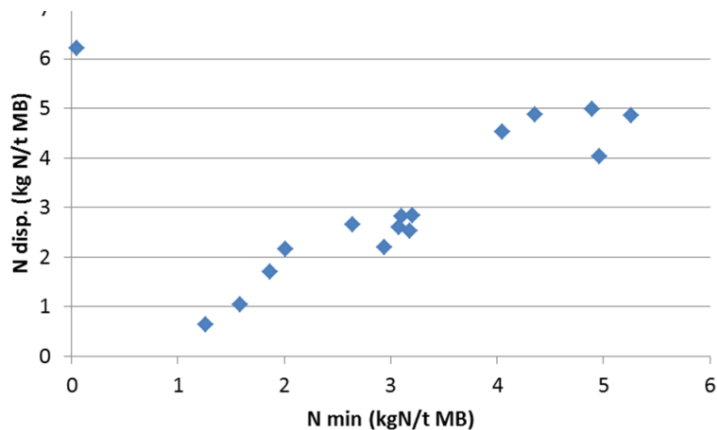
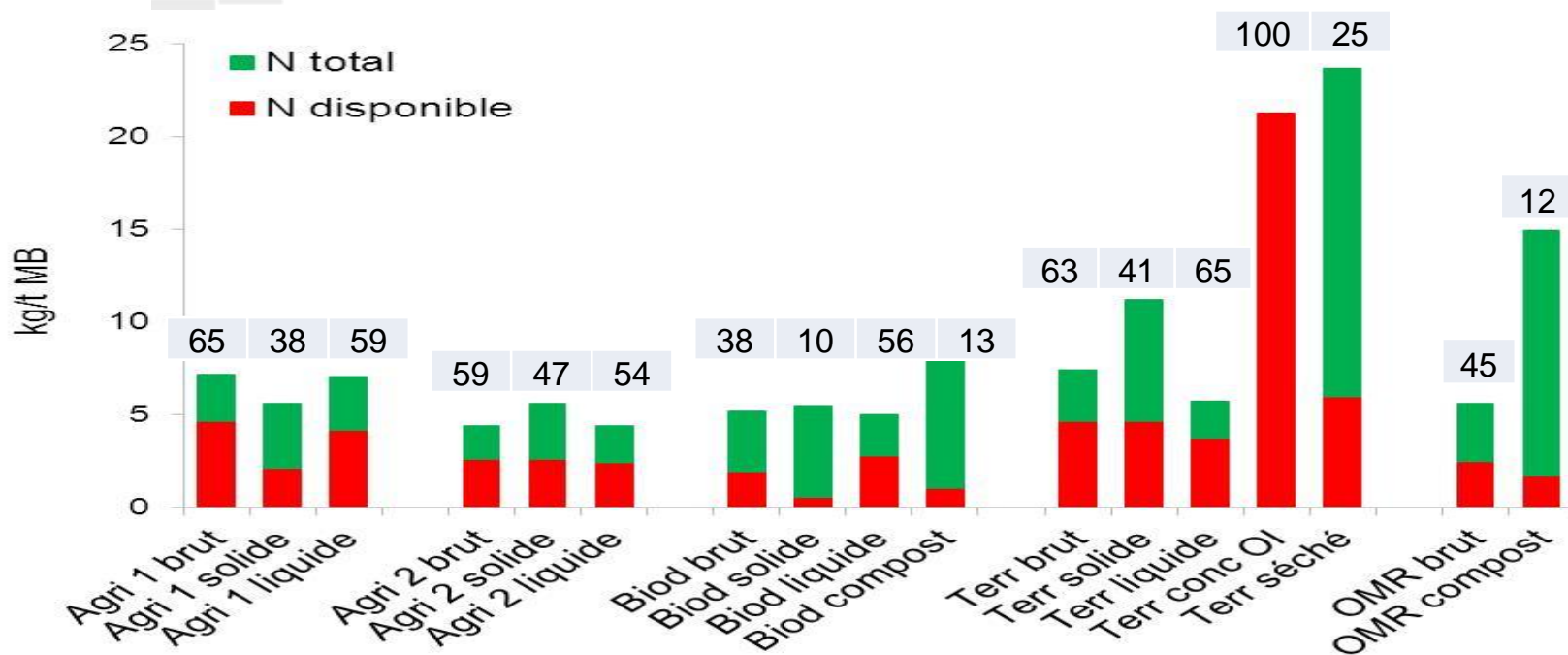


Faible NH_4 → tendance à l'immobilisation du N pour les digestats compostés



Terr séché : immobilisation microbienne au début de l'incubation (forte minéralisation de C) puis minéralisation rapide

Estimation du N potentiellement disponible dans les digestats



Brut ≈ Liquide > Solide ≈ composté

SAUF Agri2 (mauvaise séparation)

Origine principale de Ndispo : nitrification NH_4

Impacts environnementaux: Emissions N₂O

Apport de digestats frais au sol avec l'équivalent de 170 kg N/ha (sauf pour les digestats solides de Agri1, Agri 2 et Terr et le digestat brut de Agri 1, l'apport était de plus de 200kg N / ha)

Saturation en eau des mélanges

Incubation pendant 3 mois

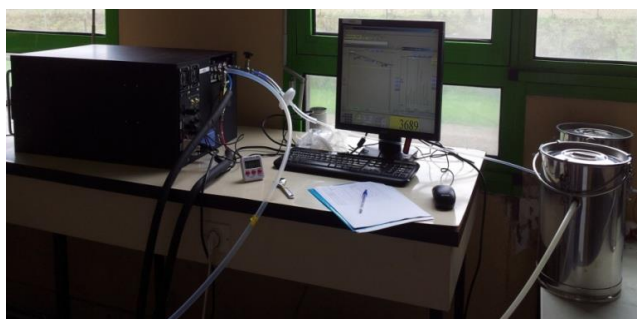
Conditions expérimentales : T° = 20°C

Obscurité

Humidité constante

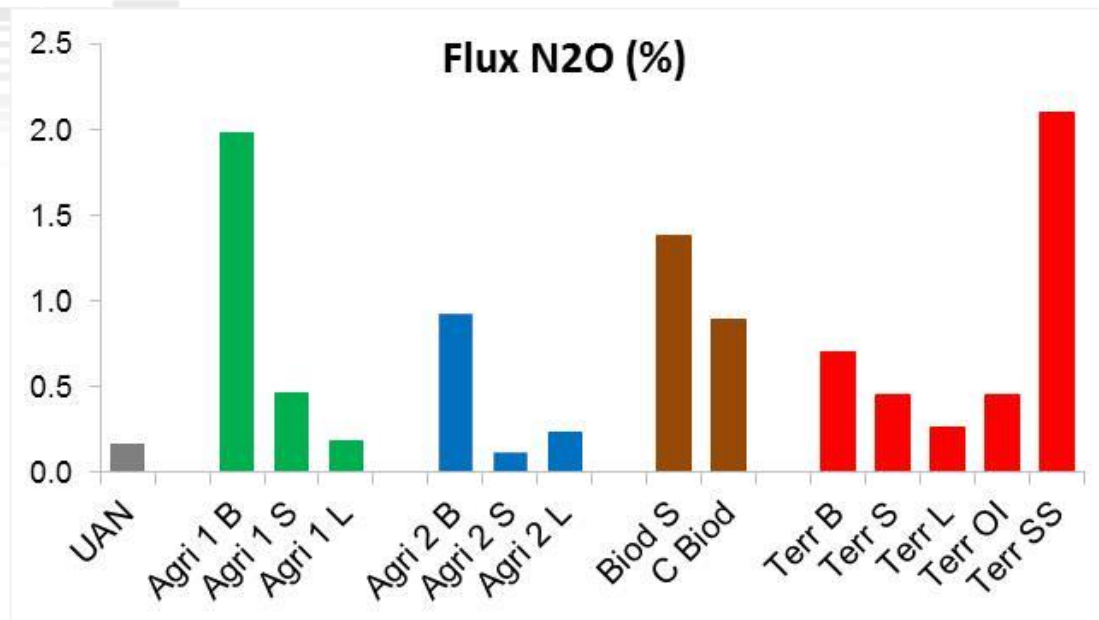


Mesures des dégagement gazeux avec un analyseur laser (QCL)



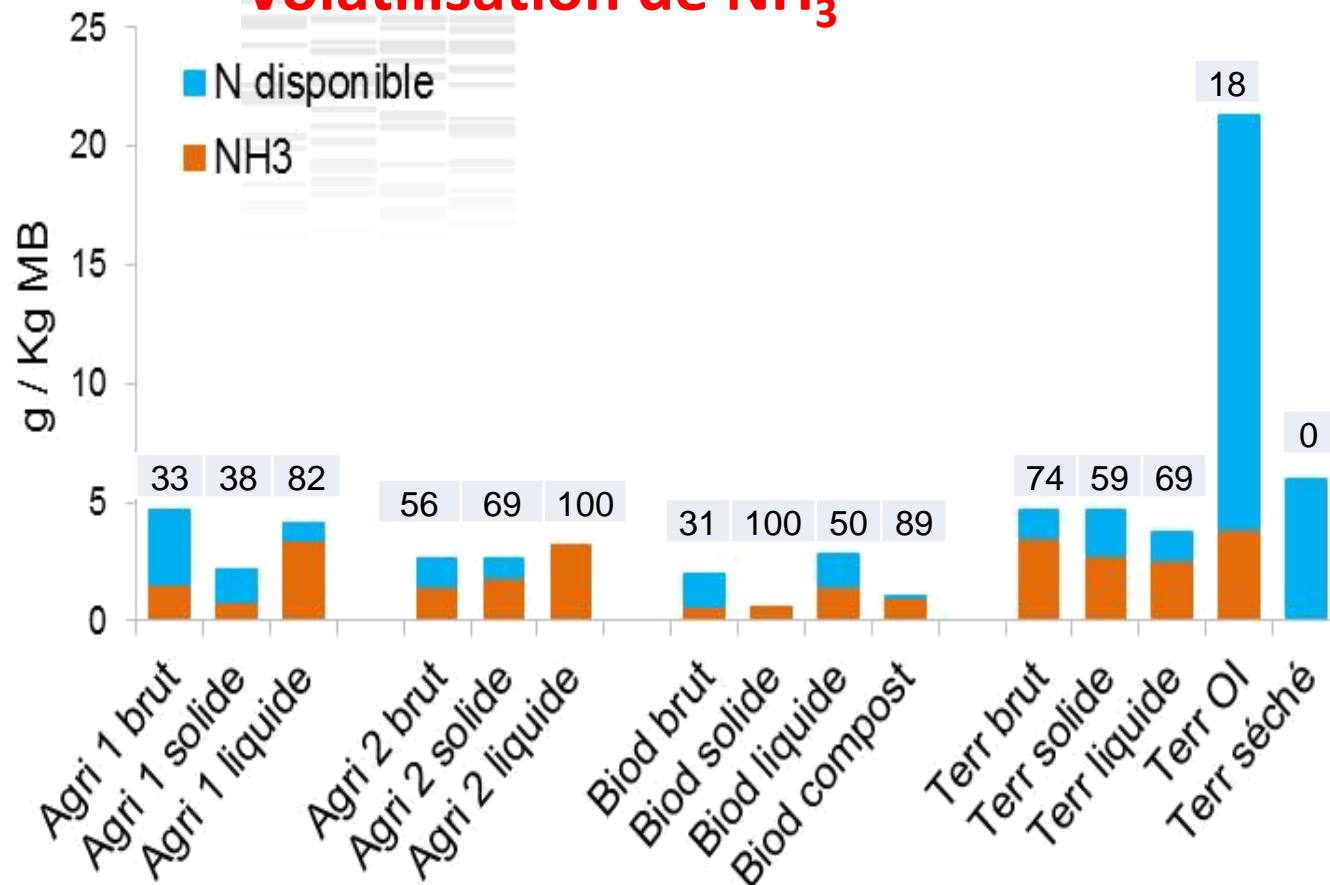
Mesure des émissions N₂O

Emissions de N₂O



- Séparation de phase → Diminution des flux de N₂O, principalement de Agri1 et Agri 2
- 0.11% (Agri 2 S) < EF < 2.01% (Terr SS)
- Rapprochement des émissions de UAN (0.16%) mais pour AGR2S flux non stabilisé /témoin !!
- IO par rapport à Terr L → légère augmentation des flux
- Séchage sur Terr S → fortes augmentations des flux
- Compostage (C Biod) → Diminution du flux → il reste de l'N plus stable ?

Volatilisation de NH₃



Volatilisation de 0 à 100% de N disponible

Liquides d'origine agricole, solide et compost de biodéchets : volatilisent le plus de NH₃.

La séparation de phase augmente la volatilisation de NH₃, sauf dans le cas de Terr.

→ Diminution du pouvoir fertilisant des digestats.

L'osmose inverse et le séchage diminuent les pertes d'azote. Le compostage en diminue légèrement

Conclusion

Valeur amendante :

- Digestats solides plus stables → amendements organiques
- Compostage et séchage → Stabilisation de MO
- ISMO valable pour les digestats

Valeur fertilisante : Due au N minéral (NH_4 initial)

- Digestats liquides plus riches en N minéral, valeur fertilisante élevée
- Compostage et séchage → Perte de N minéral, perte de valeur fertilisante

Impacts environnementaux :

- Séparation de phase et compostage → diminution des émissions de N_2O
mais augmentation de la volatilisation NH_3 ≠ séchage et OI



Tâche 5 : Valorisation agronomique des digestats de méthanisation: essai au champ

Digestats utilisés

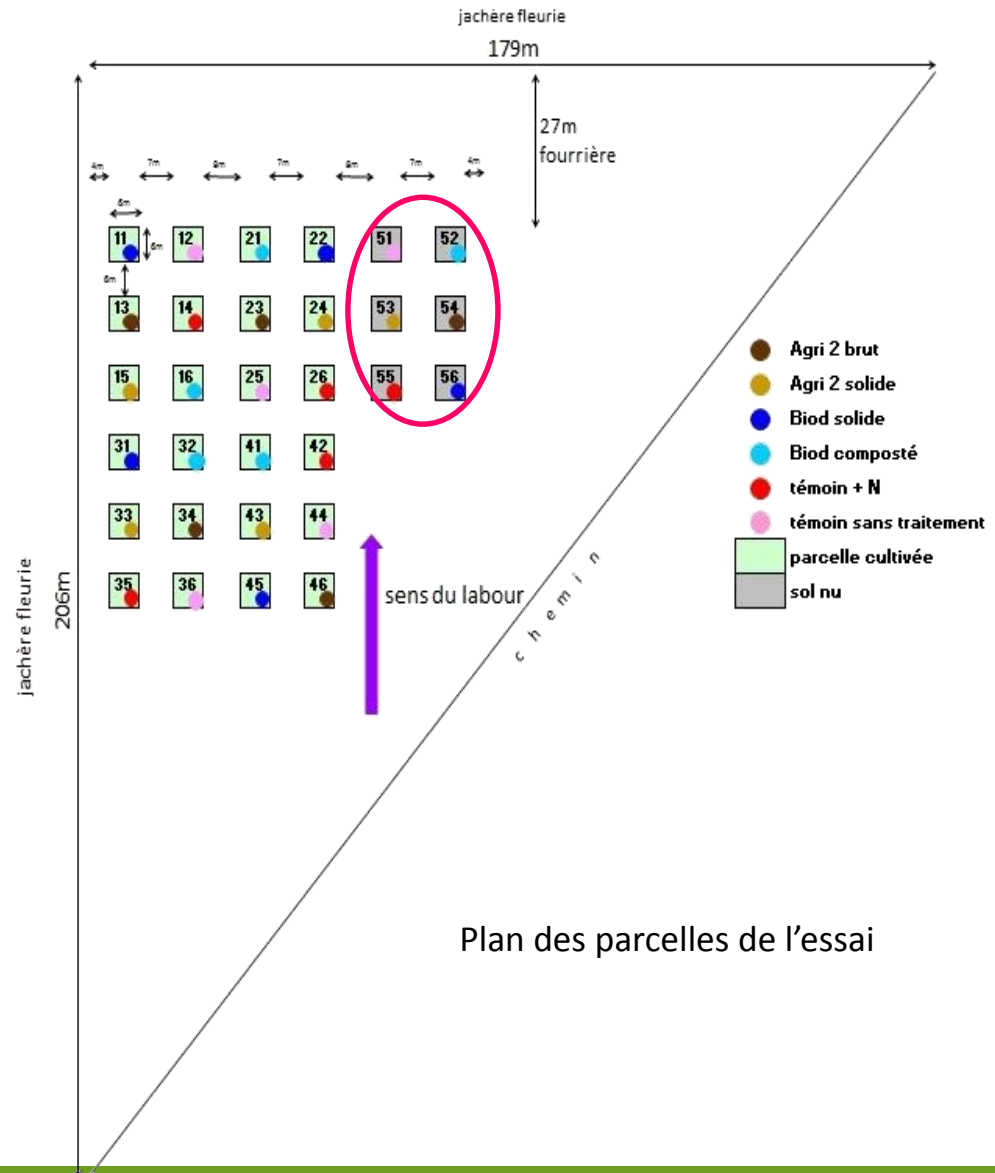


Valeur fertilisante azotée : Essai au champ

- 4 blocs cultivés + 1 non cultivé
- 6 parcelles/ bloc : 4 avec 4 digestats (Agri 2 B, Agri 2 S, Biod S, Biod C) + 1 avec engrais minéral + 1 sans traitement (0 N)
- Dose N : 170Kg N/ha
- 8 prélèvements de reliquats de sols (suivi de l'évolution de N) sur une profondeur 0-120cm (4 horizons) :

- 1^{er} : 9-10/04/13 (-15j E)
- 2^{ème} : 17/05/13 (+21j E)
- 3^{ème} : 10/06/13
- 4^{ème} : 01/07/13
- 5^{ème} : 22/07/13
- 6^{ème} : 23-24/09/13 (+10j R)
- 7^{ème} : 12-13/11/13
- 8^{ème} : 02/14

1^{er}, 6^{ème}, 7^{ème} et 8^{ème} prélèvements sur toutes les parcelles



Essai au champ: digestats épandus

	Agri 2 brut (ch)	Agri 2 brut (T2)	Agri 2 brut (T3)	Agri 2 solide (ch)	Agri 2 solide (T2)	Agri 2 solide (T3)	Biod solide (ch)	Biod solide (T2)	Biod solide (T3)	Biod comp (ch)	Biod comp (T2)	Biod comp (T4)
MS (g/kg MB)	53	55	66	198	230	226	426	437	443	417	475	510
C orga (g/kg MS)	380	398	376	432	459	449	192	327	252	223	222	220
N tot (g/kg MS)	126,3	76,9	51,6	28,9	26,2	23,7	14,2	13,3	12,6	16,5	16,4	14,0
Norg (g/kg MS)	23,4	20,4	10,6	14,4	14,7	14,0	6,9	10,5	9,6	14,6	13,0	11,3
N-NH4 (g/kg MS)	102,9	56,5	41,1	14,5	11,5	9,7	7,3	2,9	3,0	1,2	3,3	2,6

Caractéristiques analytiques des digestats épandus similaires aux digestats étudiés au laboratoire, sauf pour N minéral pour Agri 2 brut et C organique pour Biod solide

Essai au champ

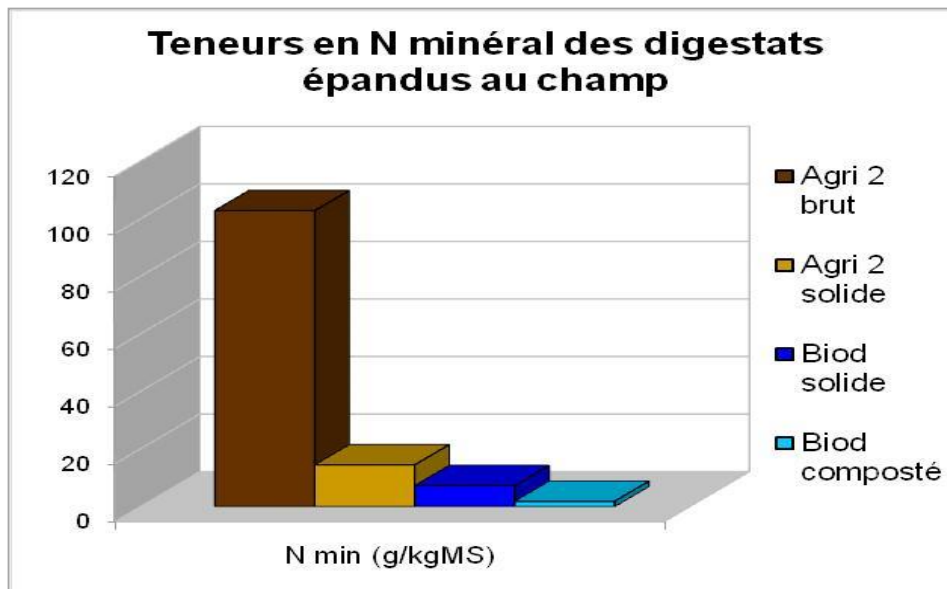
Teneurs en MS des digestats :

Agri 2 brut : MS = 5,3%

Agri 2 solide : MS = 19,8%

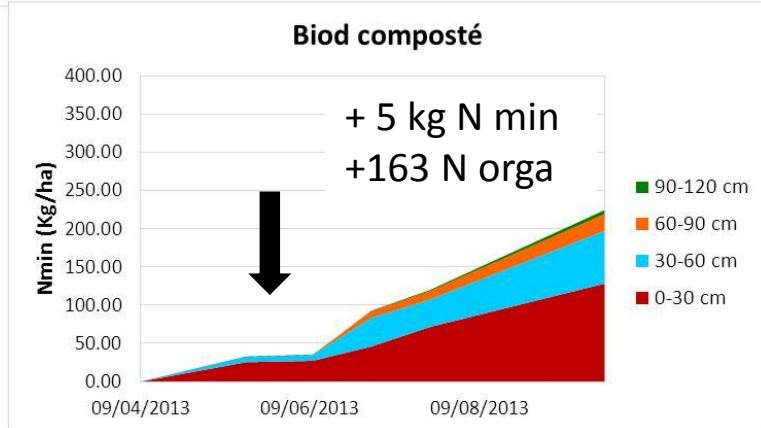
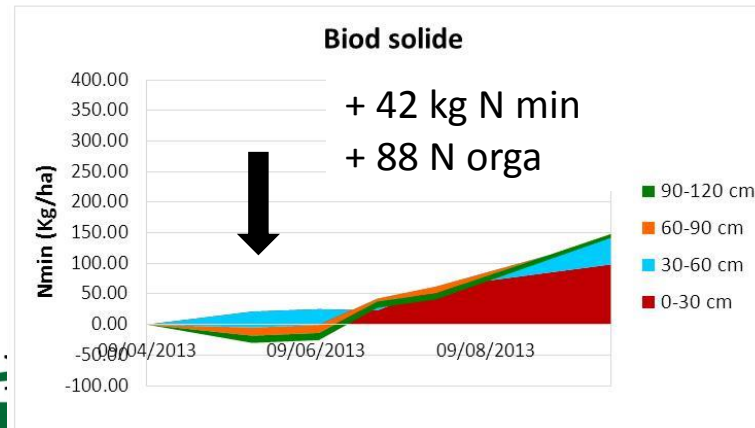
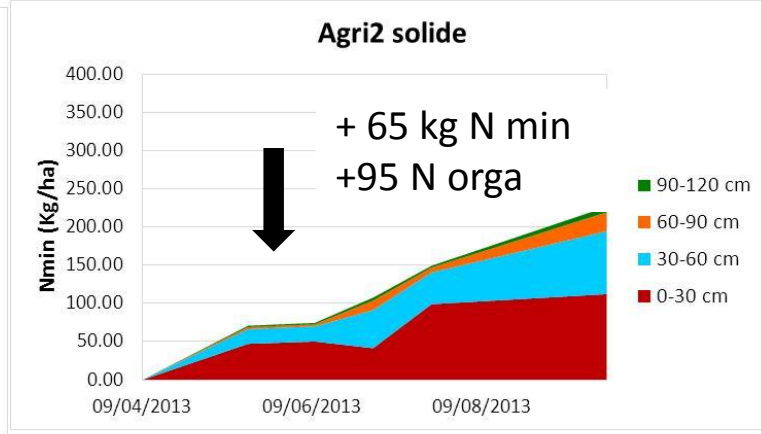
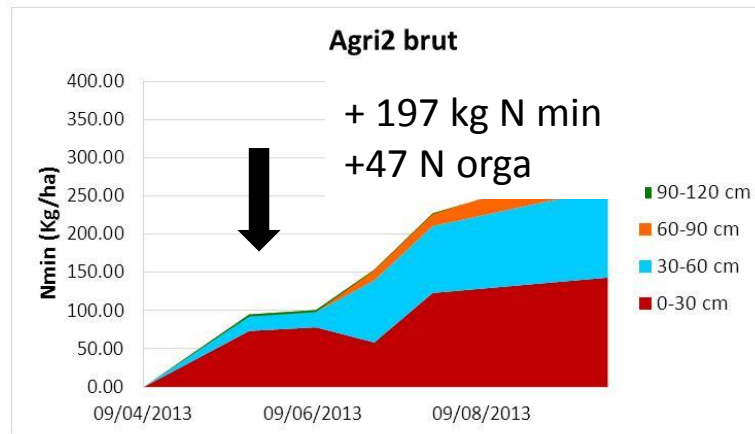
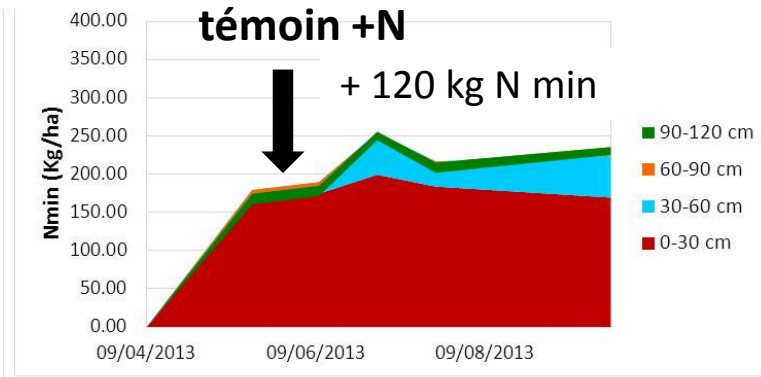
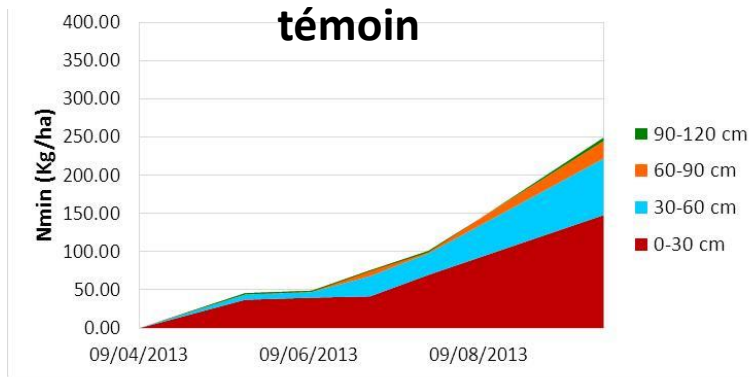
Biod solide : MS = 42,6%

Biod composté : MS = 41,7%

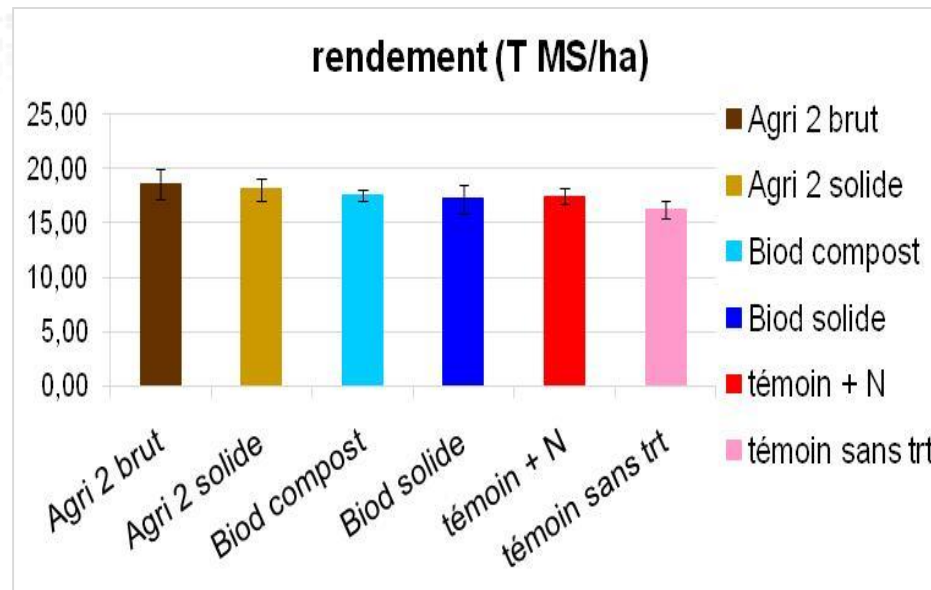


	dose MB (T/ha)	dose MS (T/ha)	N org apporté (kg/ha)	N min apporté (kg/ha)	N tot apporté (kg/ha)
Agri2 brut	38	2	47	197	244
Agri2 solide	33	6.6	95	65	159
Biod Solide	30	12.8	88	42	130
Biod composté	26	11.1	163	5	168

Evolution de l'azote dans les sols nus : perte par volatilisation, organisation

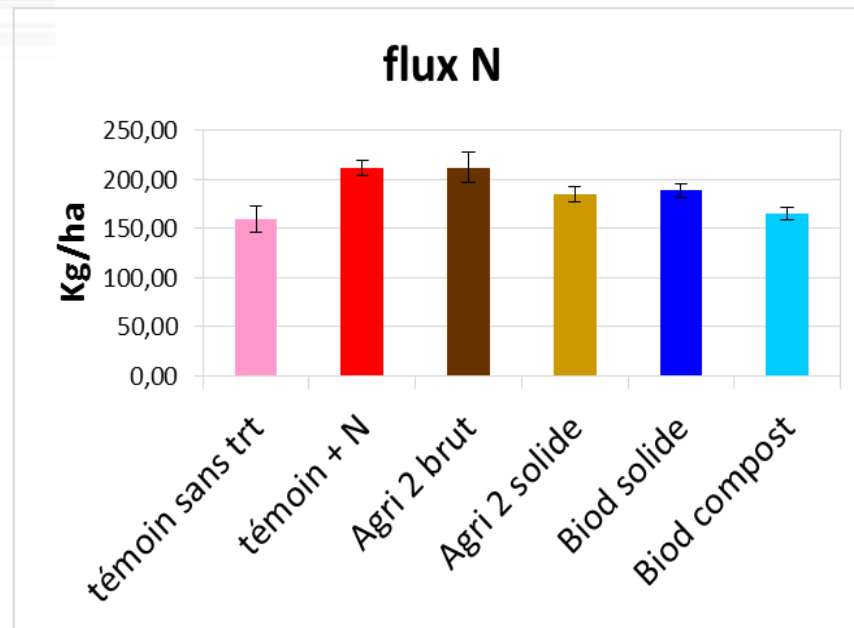


Rendement des cultures



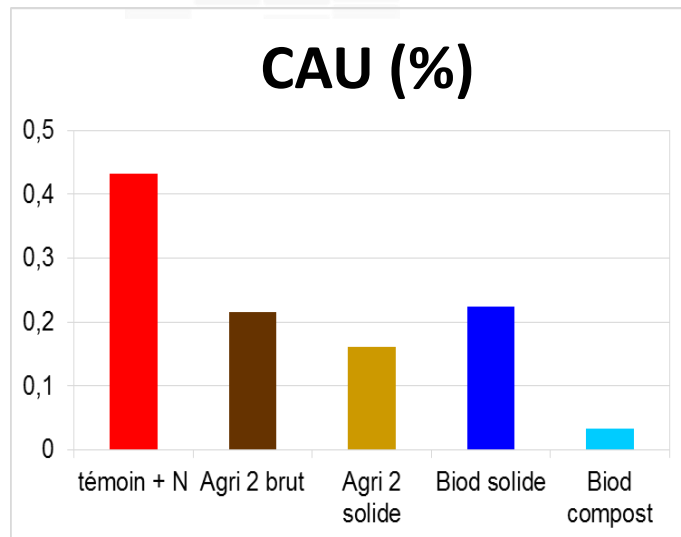
- Rendements en maïs similaires dans les traitements avec digestats et N minéral (17-18 t MS/ha versus 16 t MS/ha pour témoin sans N)
- Pas de différences entre digestats (pas d'effet de la séparation de phases, ni du compostage) pour les rendements

Exportations des cultures

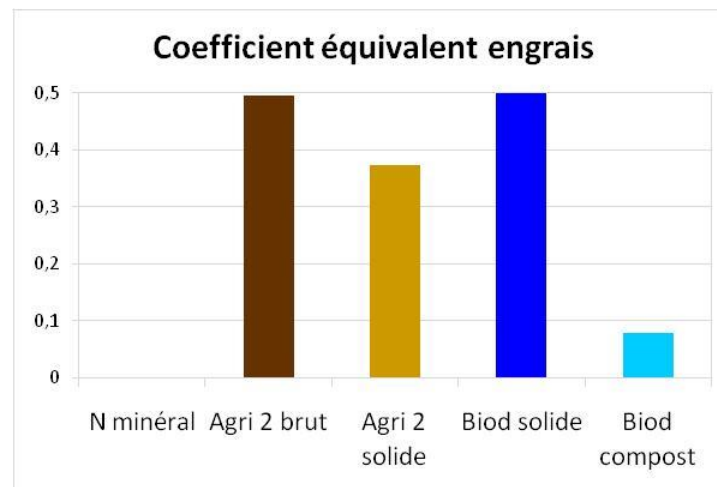


Teneurs et exportations en N légèrement supérieures dans les traitements **N minéral** et **Agri 2 brut**

Efficacité du N des digestats



CAU = (flux N plantes avec fertilisation – flux N plantes sans fertilisation) / N total apporté par le digestat



- CAU: 45% pour l'engrais minéral, 16 à 22% pour Agri 2 brut solide et Biod solide (volatilisation du N minéral), 5% pour Biod composté → organisation du N minéral
- KEQ: CAU (digestat)/CAU (engrais) → 40-50% sauf pour Biod composté

Bilan

- Fortes pertes du N minéral des digestats (pH, vent?)
- CAU relativement faible en raison de la volatilisation et de l'organisation partielle du N minéral
- Coefficient équivalent engrais \approx 40 à 50% pour les digestats non compostés; 10% pour le digestat composté
- Arrière-effet en cours d'analyse



Merci pour votre attention