

# **Digestat et qualité physique des sols : état de l'art et premiers résultats dans notre contexte français**

Safya MENASSERI-AUBRY  
UMR SAS



SAS

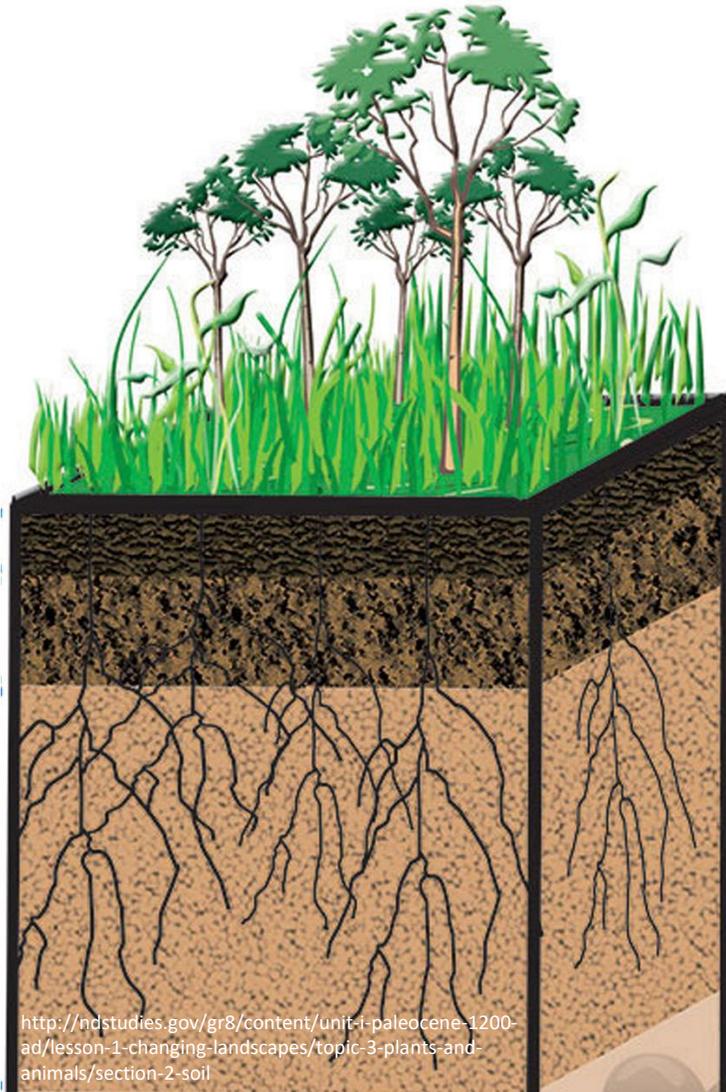
*Workshop Méthanisation et Agroécologie*

*19-20 octobre 2022, Rennes*

# PLAN

- Quelques éléments théoriques
- Petit état de l'art issu de la littérature internationale
- Premiers résultats sur la stabilité structurale
  - Essais agronomiques au champ
    - Long-terme
    - Court terme
  - En conditions contrôlées de laboratoire : étude de l'effet d'une diversité de digestats

# Propriétés physiques couramment étudiées



<http://ndstudies.gov/gr8/content/unit-1-paleocene-1200-ad/lesson-1-changing-landscapes/topic-3-plants-and-animals/section-2-soil>



Portance/résistance à la pénétration

Stabilité structurale

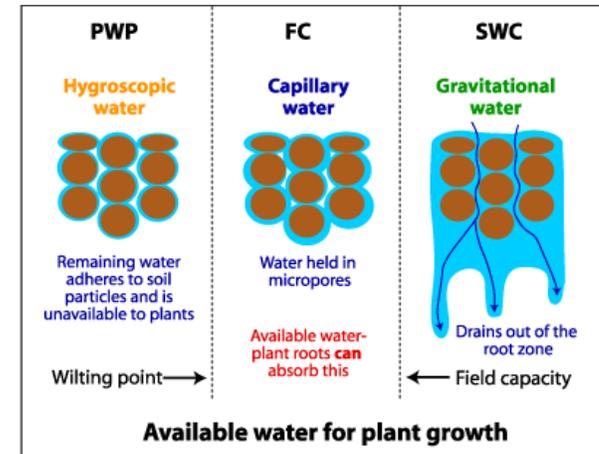
Densité apparente / porosité

Profil racinaire



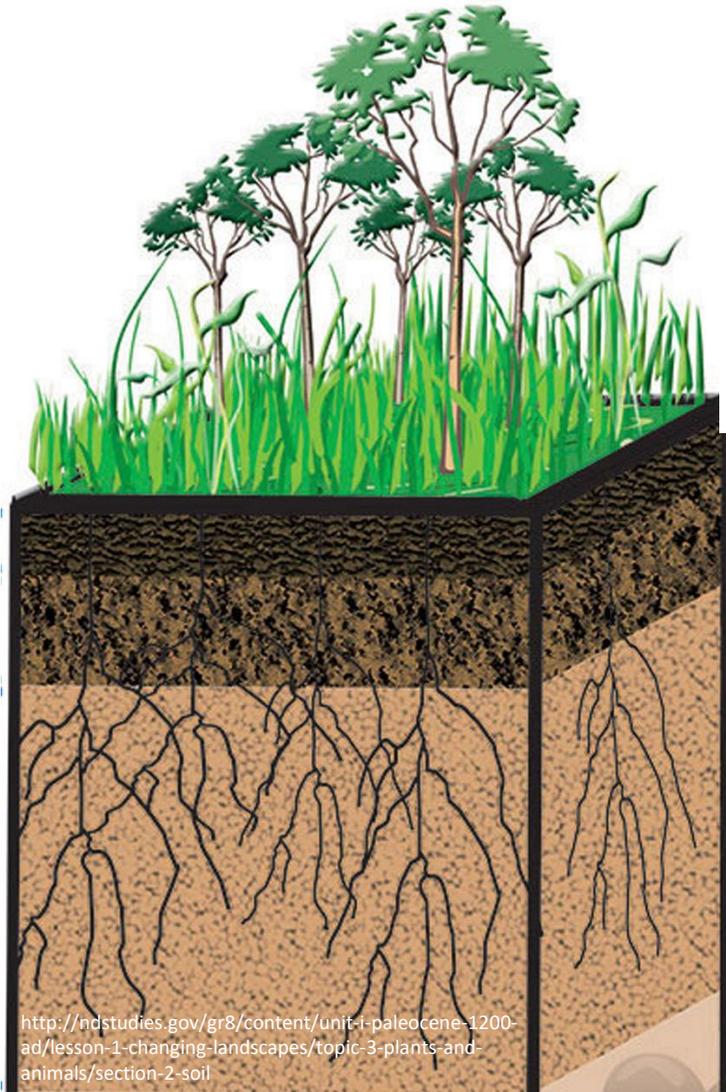
Le taux d'infiltration/conductivité hydraulique

Capacité de rétention / Réserve utile du sol



<http://www.jsw.org.au/elearning/hortIII/Provide%20information%20on%20plants%20and%20their%20culture/resources/depot/seeya/images/capacity.gif>

# Propriétés physiques couramment étudiées

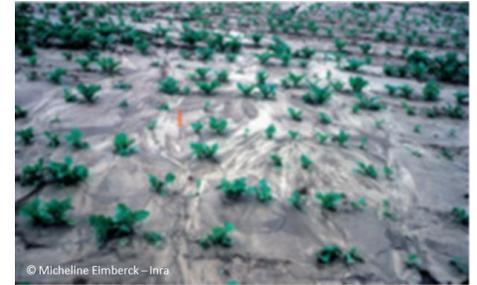
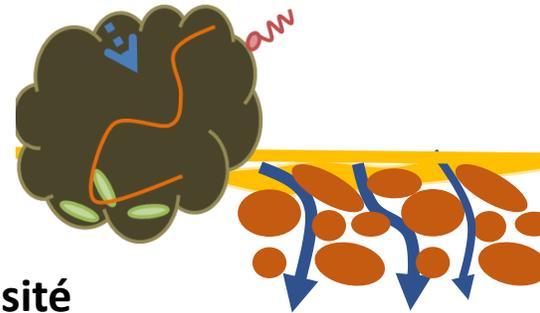


Stabilité structurale

Densité apparente / porosité

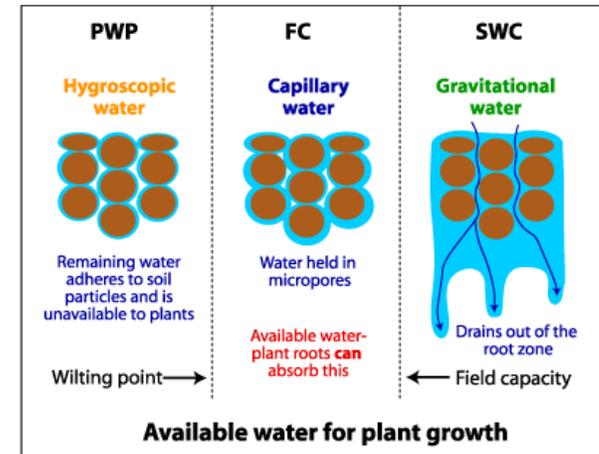
Profil racinaire

Indicateur du risque érosif  
Sensible aux pratiques agricoles  
Reliée aux autres propriétés



Le taux d'infiltration/conductivité hydraulique

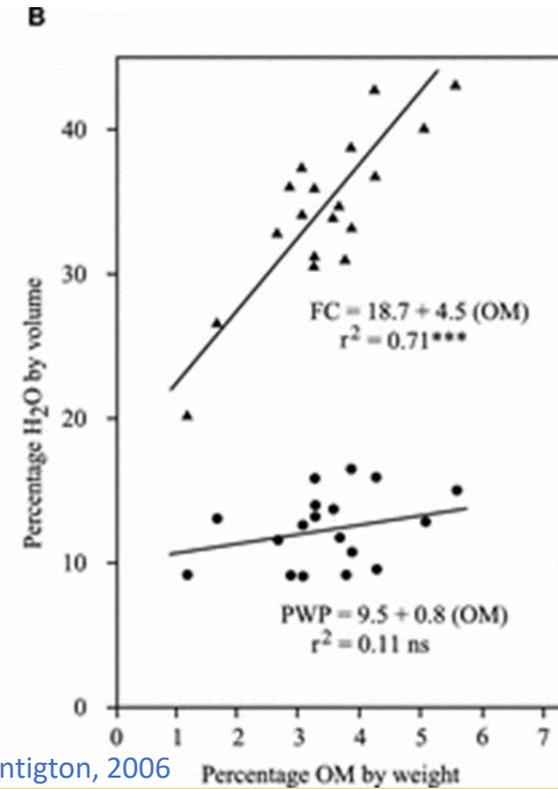
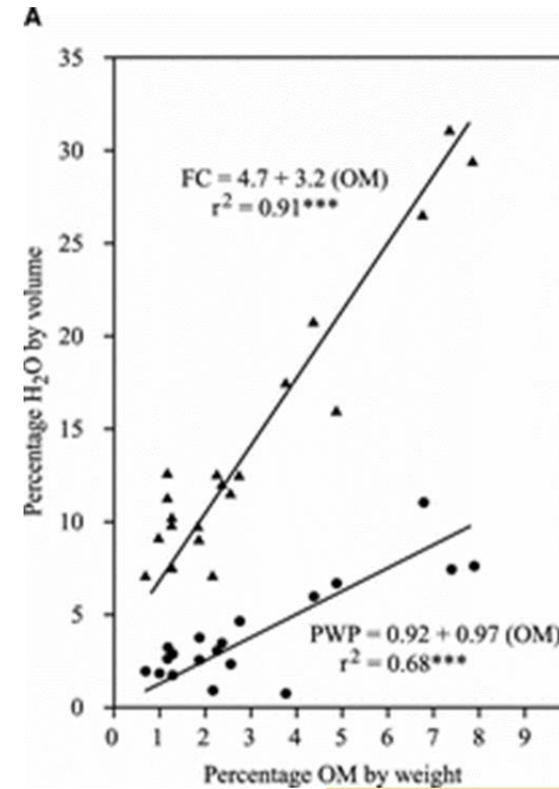
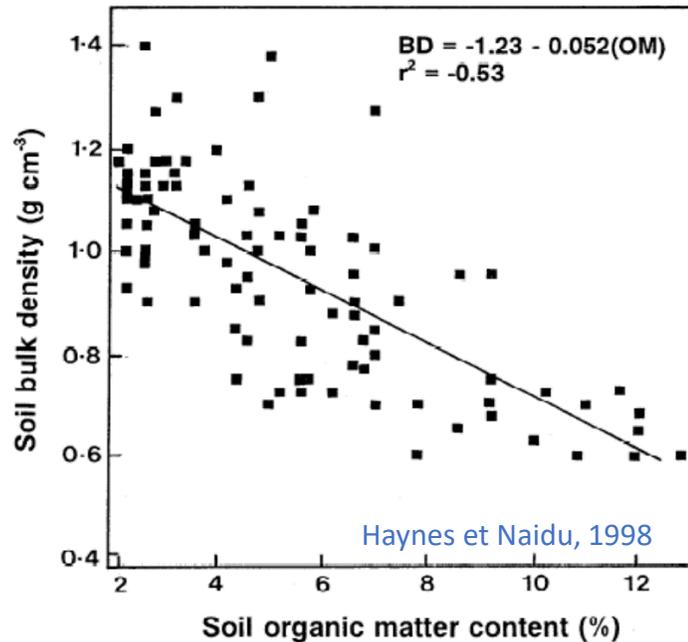
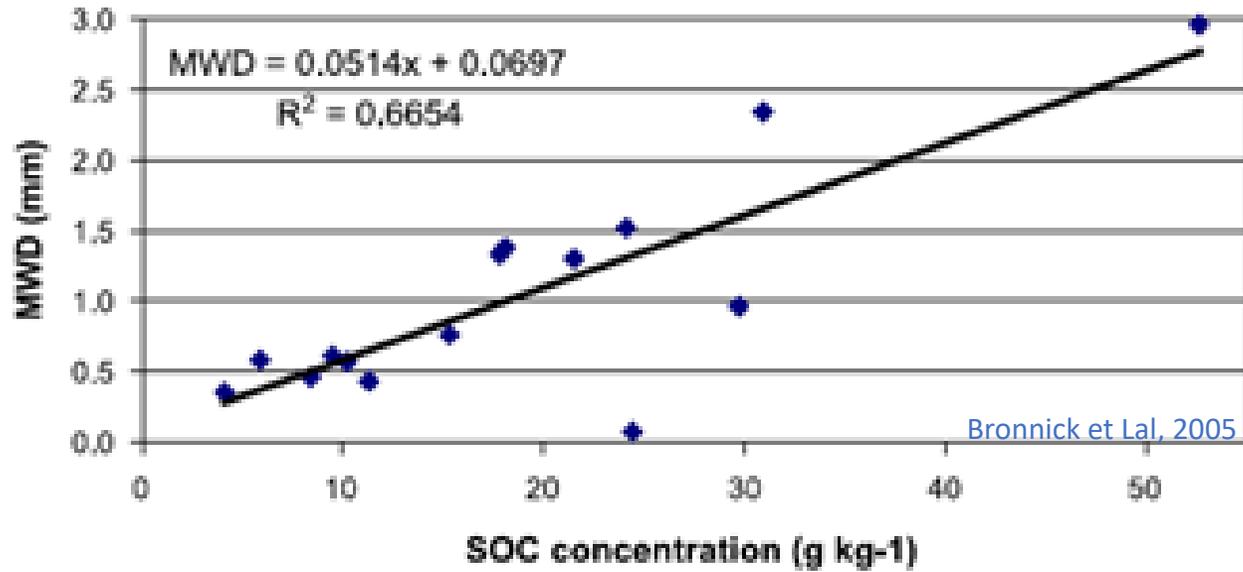
Capacité de rétention / Réserve utile du sol



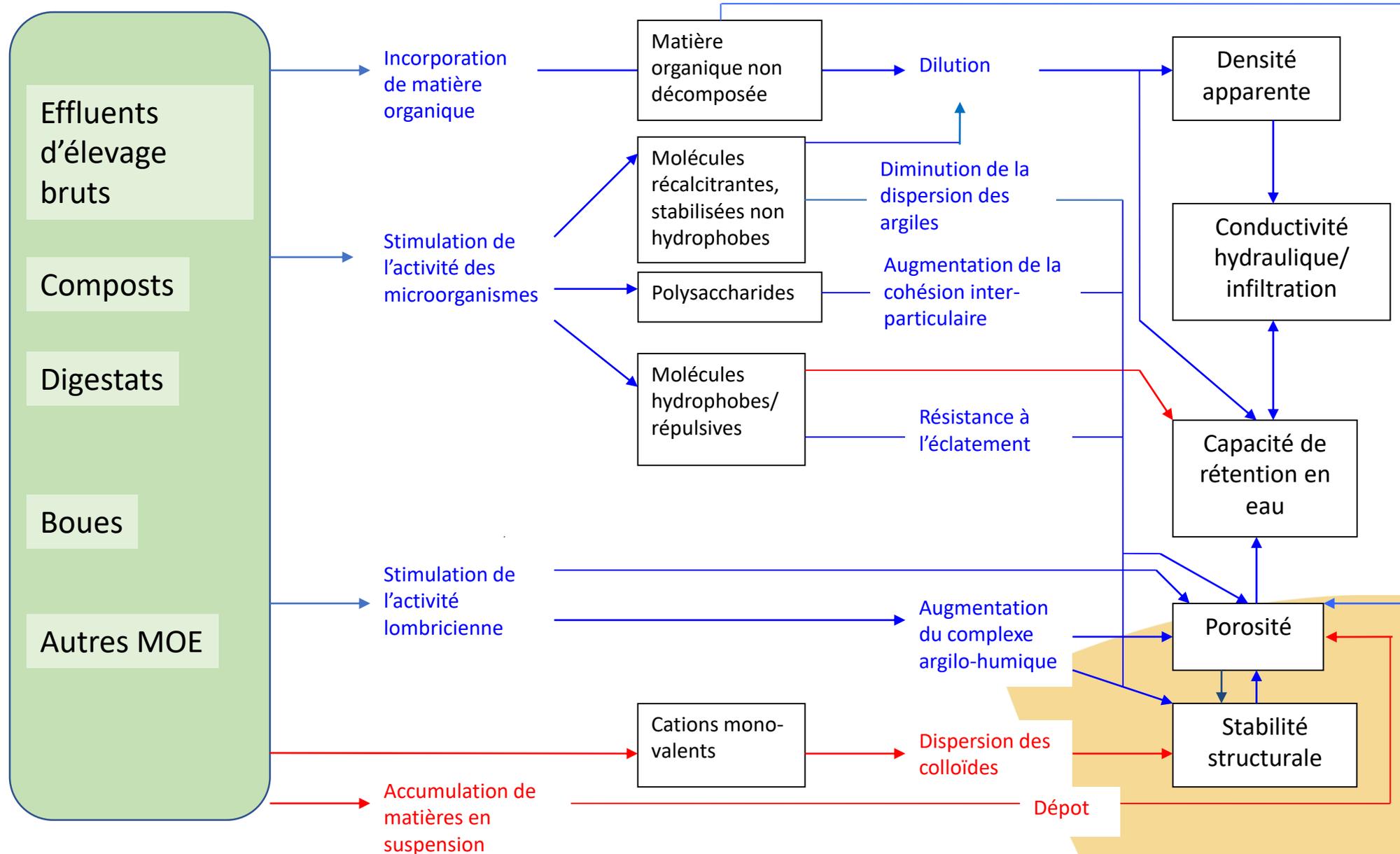
<http://ndstudies.gov/gr8/content/unit-1-paleocene-1200-ad/lesson-1-changing-landscapes/topic-3-plants-and-animals/section-2-soil>

<http://www.jsw.org.au/elearning/hortIII/Provide%20information%20on%20plants%20and%20their%20culture/resources/depot/seeya/images/capacity.gif>

# Relations avec les teneurs en MO des sols



# Synthèse des principaux processus en jeu



# Etat de l'art

*Garg et al. 2005 (Inde); Alburquerque et al. 2012 (Espagne); Beni et al. 2012 (Italie); Voelkner et al. 2015 (Allemagne); Froseth et al. 2014 (Norvège); Nkoa et al. 2014 (Review); Eich-Greatorex et al. 2017 (Suède); Boghal et al. 2018 (RU); Badagliaca et al. 2020 (Espagne)*

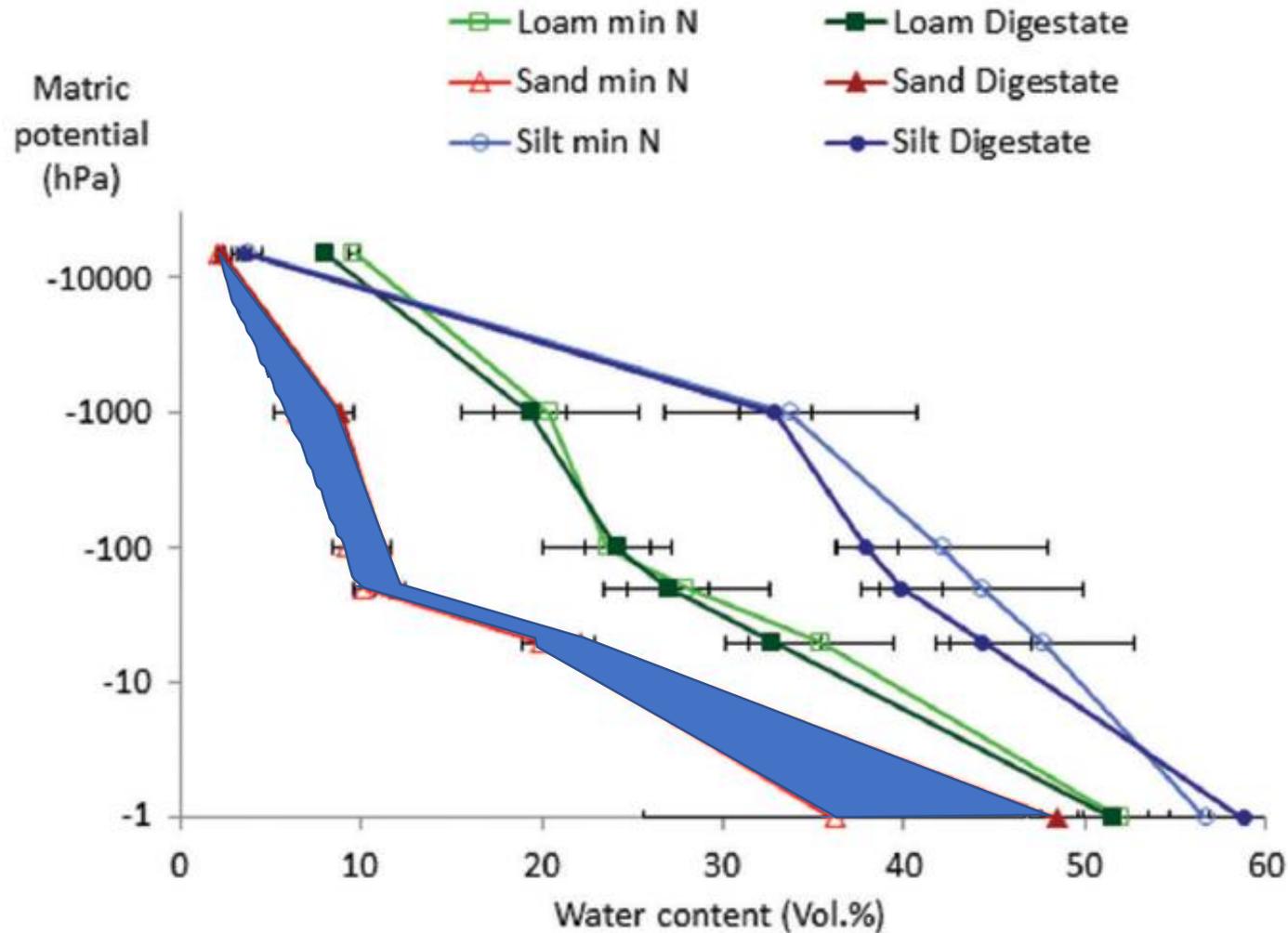
Digestats liquides à partir d'une diversité de substrats (copeaux de bois, fumiers, cultures, engrais vert,...)

Amélioration des propriétés physiques des sols : En général,

- Diminution de la densité apparente
- Augmentation de la conductivité hydraulique à saturation
- Augmentation de la capacité de rétention en eau du sol
- Amélioration de la stabilité structurale du sol

Mais il existe des points de vigilance à surveiller en fonctions des digestats et des sols

# Etat de l'art : effet sur la rétention en eau du sol



Expérimentation en pot  
15 semaines de croissance  
de roseaux

Digestat liquide à base de  
copeaux de bois et de  
fumier

Intérêt à apporter ce type de digestat dans un sol sableux

# Etat de l'art : effet sur la stabilité structurale

Pourcentage d'agrégats stables après une simulation de pluie, sur de l'orge :

Sur 3 ans :

Enfouissement d'engrais vert (G-3M) ; exportation de l'engrais vert et apport de digestat (G-0M-D) ; Contrôle avec apport de Digestat (C-D) incorporé au sol

	2-6 mm	6-10 mm
Site		
Ås	61.0	77.6
Kvithamar	59.0	69.4
Apelsvoll	78.1	85.6
Værnes	40.1	52.7
LSD, 5%	18.3	13.0
Treatment		
G-3M	55.9	70.3
G-0M-D	64.8	74.6
C-D	57.9	69.0
LSD, 5%	5.5	4.9
Mean	59.5	71.3

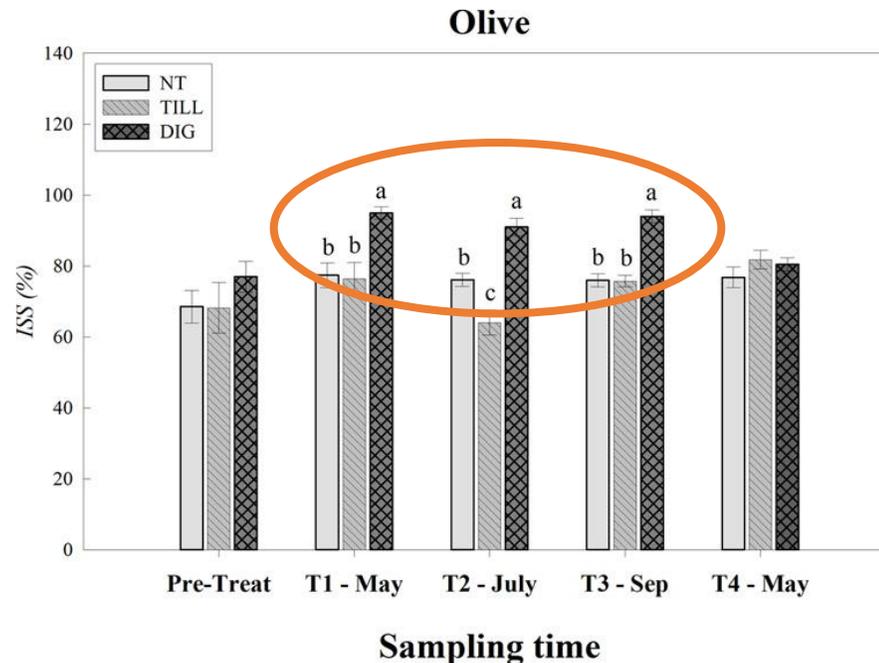
Après 3 années, effet positif ou nul de l'apport de digestat

Indice de stabilité des agrégats Sur une saison

NT : no-tillage

TILL : labour conventionnel

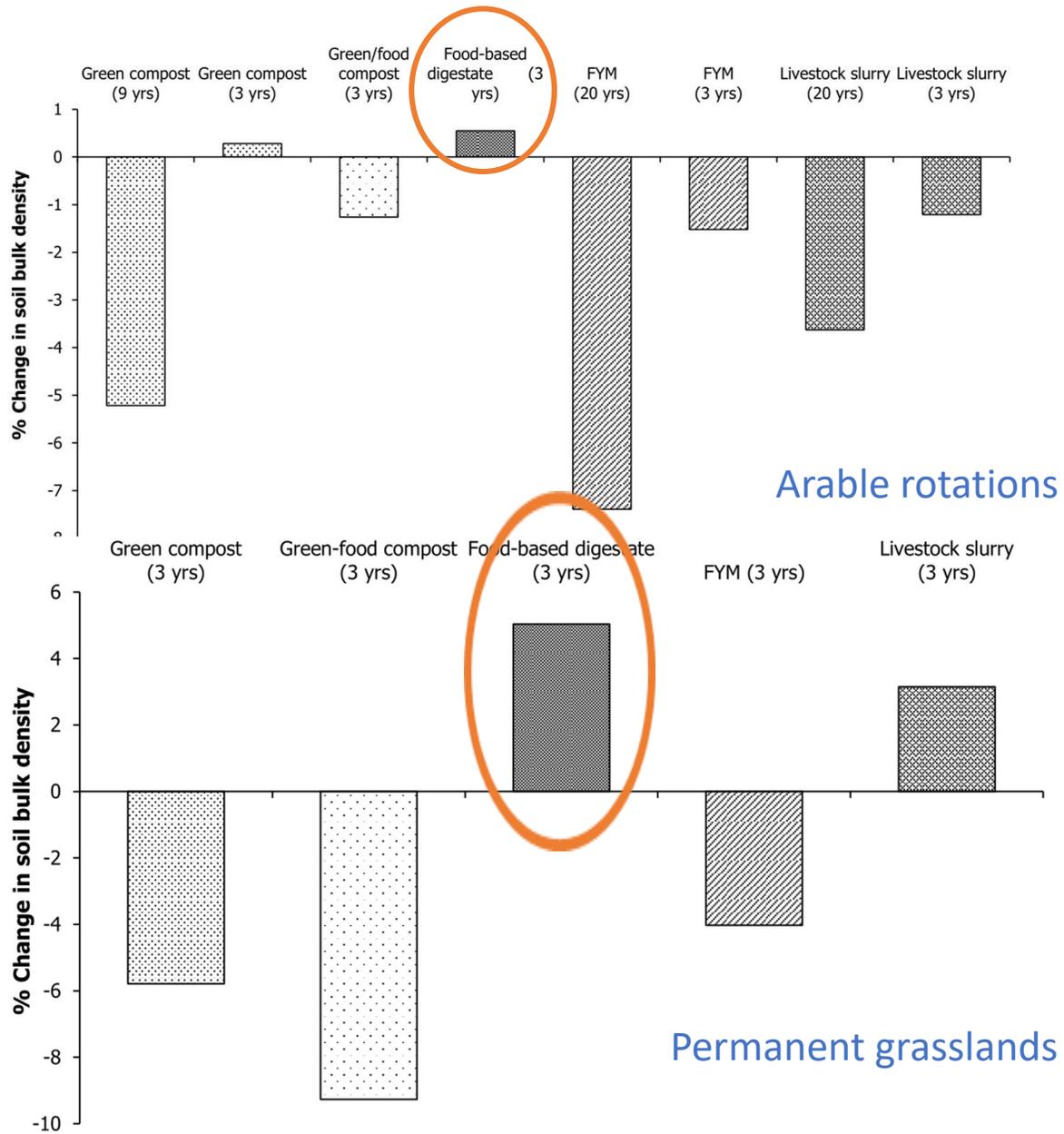
DIG : Labour + 30 T de Digestat solide (70 % de fumiers, résidus des filières Citrons et Olives), sérum de lait



Sur une saison, effet positif et temporaire du digestat

Froseth et al 2014,  
Badagliacca et al 2020

# Point de vigilance : Porosité du sol



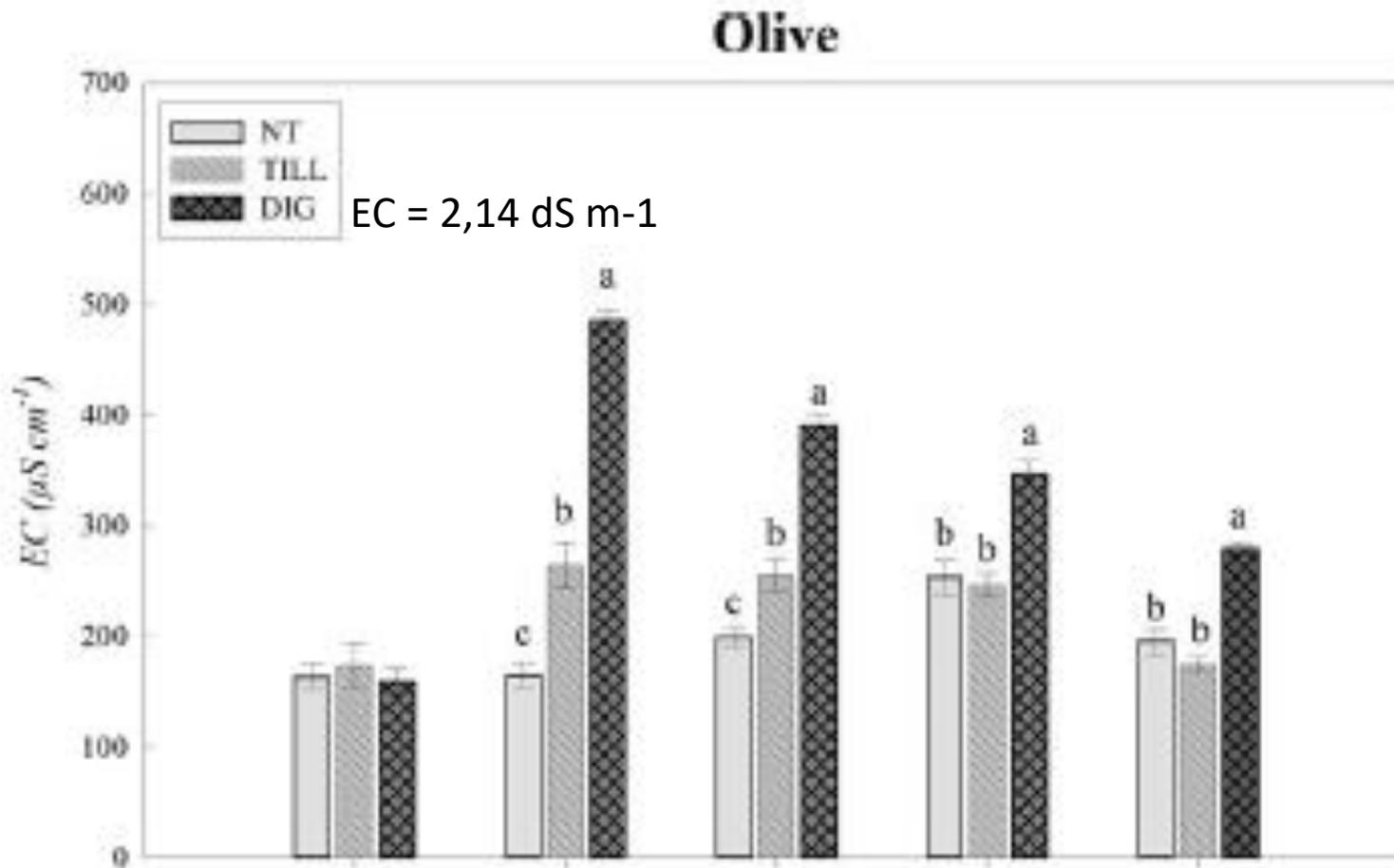
Après 3 années d'apport à doses agronomiques sur des rotations de cultures annuelles et des prairies permanentes (7 sites dont 2 expérimentaux et 5 chez des agriculteurs)

Comparaison à un témoin sans apport

Volume, la viscosité et la conductivité des produits

- ➔ Eclatement des agrégats en surface
- ➔ Diminution de la porosité en surface
- ➔ Risque de compaction

# Point de vigilance : Salinité du sol



L'augmentation de la stabilité des agrégats s'accompagne d'une augmentation de la salinité du sol ici non préjudiciable (seuil 2 dS/m)

➡ Vigilance sur les apports répétés

Digestate	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )
Pig slurry		
PS-EC1	7.82	26.0
PS-EC2	7.92	24.1
PS-EC3	7.90	23.3
PS-AB1	7.95	21.1
PS-AB2	7.86	30.8
PS-AB3	8.20	30.3
Median	7.91	25.0
(CV)	(1.7)	(15.2)
Cattle slurry		
CS-G1	5.64	14.5
CS-G2	7.35	11.7
CS-G3	6.35	5.2
CS-AW1	7.86	8.7
CS-AW2	7.90	10.0
CS-AW3	7.50	25.7
Median	7.42	10.9
(CV)	(12.8)	(56.2)

Albuquerque et al., 2012  
Badagliacca et al 2020

# Point de vigilance : Dispersion des argiles

RDC : Amount of readily dispersible clay

Expérimentation en colonnes

2 types de sol : respectivement 17 et 3 % argiles

Digestat issu d'une expérimentation en batch avec 100 % de maïs

## Hohenschulen (HS)

Depth (cm)	C		M100	
	-6 kPa	Air-dried	-6 kPa	Air-dried
0-2	122.5	4.0	131.7	3.4
2-4	105.4	3.9	130.1	3.6
4-6	105.8	3.9	125.7	3.6
6-8	105.4	4.0	202.7	3.2
12-14	103.0	3.9	223.9	3.2

Karkendamm (KD)				
Depth (cm)	C	Air-dried	M100	Air-dried
0-2	1.9	0.5	3.0	0.3
2-4	1.8	0.5	2.4	0.3
4-6	2.0	0.5	2.3	0.3
6-8	1.8	0.5	2.1	0.3
12-14	1.9	0.5	1.7	0.3

Risque d'augmentation du risque de dispersion en conditions humides  
Surtout pour un sol argileux

# Stabilité structurale après 9 années d'apport

Dose C T.ha <sup>-1</sup> .an <sup>-1</sup>	2	1,38	0,77	0,56	
Corg g.kg <sup>-1</sup>	9,89	11,52	11,24	10,14	9,79
BM mg.kg <sup>-1</sup>	139,89	169,96	170,43	184,22	144,06

## Dispositif agronomique EFELE (SOERE PRO)

	FB	COMP	LP	DIGLP
Dose (T/ha/an)	25	14	29	30
MS %	30,5	27,8	6,4	5,4
Corg g/kg	266	356	417	358
pH	7,76	8,27	7,39	8,98
EC ms/cm	1,4	3,58	6,99	7,68

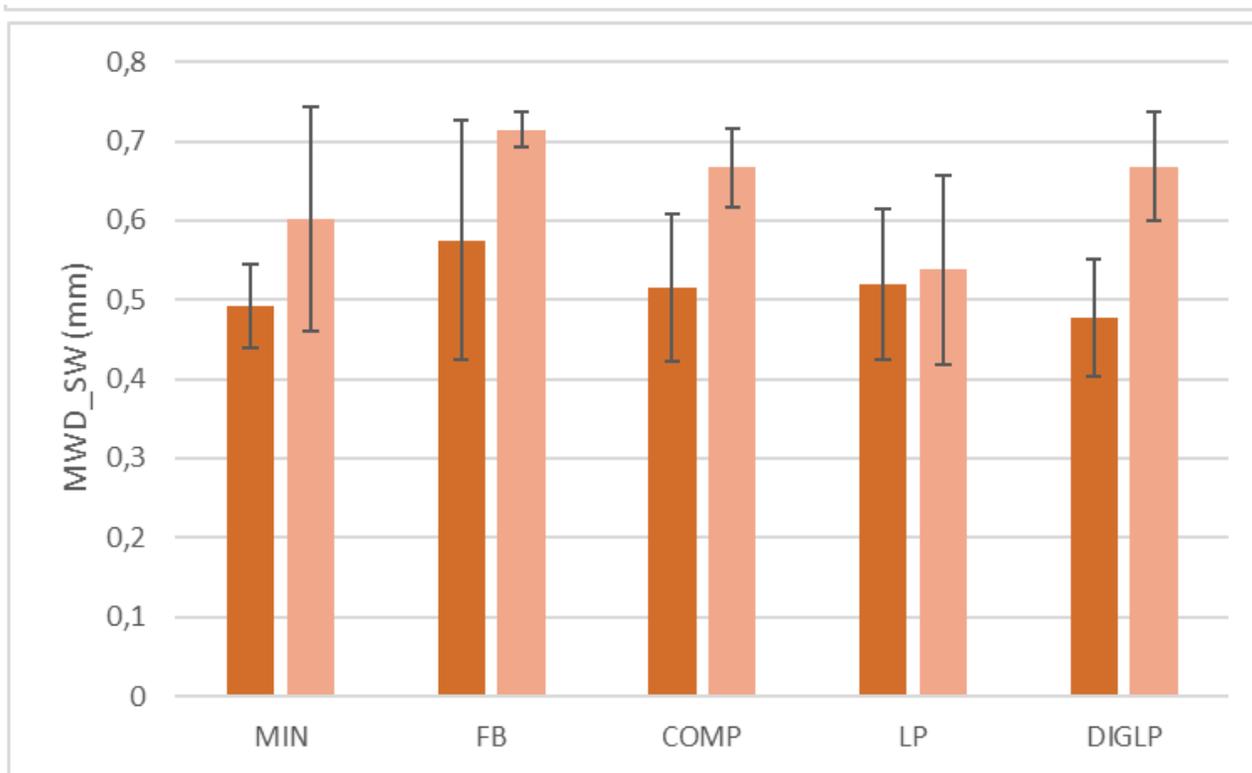
Source : Rapport Efele 2012 (T. Morvan)

Sol: 14,6 % Argiles, 69,3 % Limons, 2,06 % MO, pH=6,1

Cultures : Blé- maïs /prélèvement en 2021 après une CIPAN

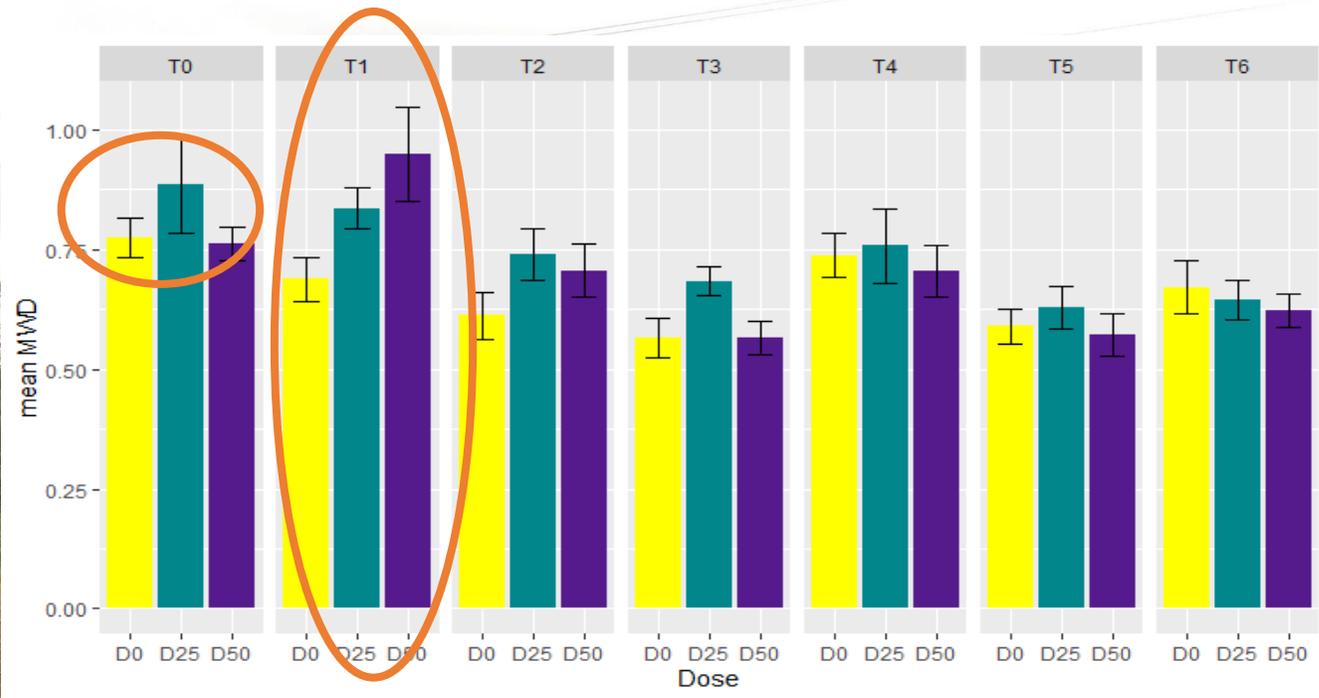
Plan: 4 blocs aléatoires

- Pas de différences significatives entre les modalités
- A quantités de carbone apportées très différentes
- Effet du couvert végétal



2012 2021

# Dynamique de la stabilité structurale au champ



1 jour après  
épandage

Après la pluie  
(début oct.)

Un niveau de stabilité structurale > à la situation sur Efele

Effet initial positif du digestat à dose 50 m<sup>3</sup>/ha

Pas d'effet sur le reste du cycle du fait des conditions  
hivernales humides

Thèse Joshua Cooke

Parcelle qui reçoit du digestat depuis quelques  
années

Sol: 15,2 % Argiles, 77 % Limons, 2,13 % MO, pH=6,5

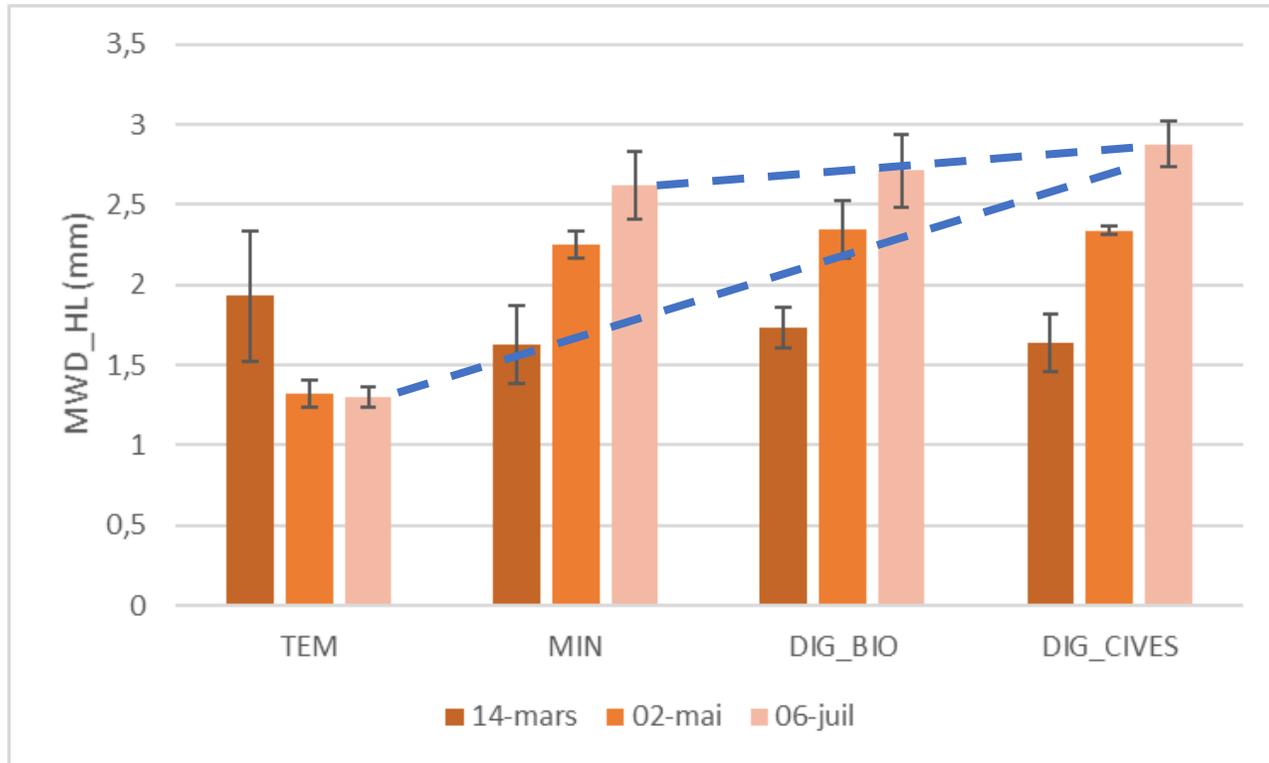
Culture : Colza (2021-2022)

Digestat: brut stocké, à base de lisier (bovin),  
fumier (bovin et volaille), déchets d'IAA et CIVES

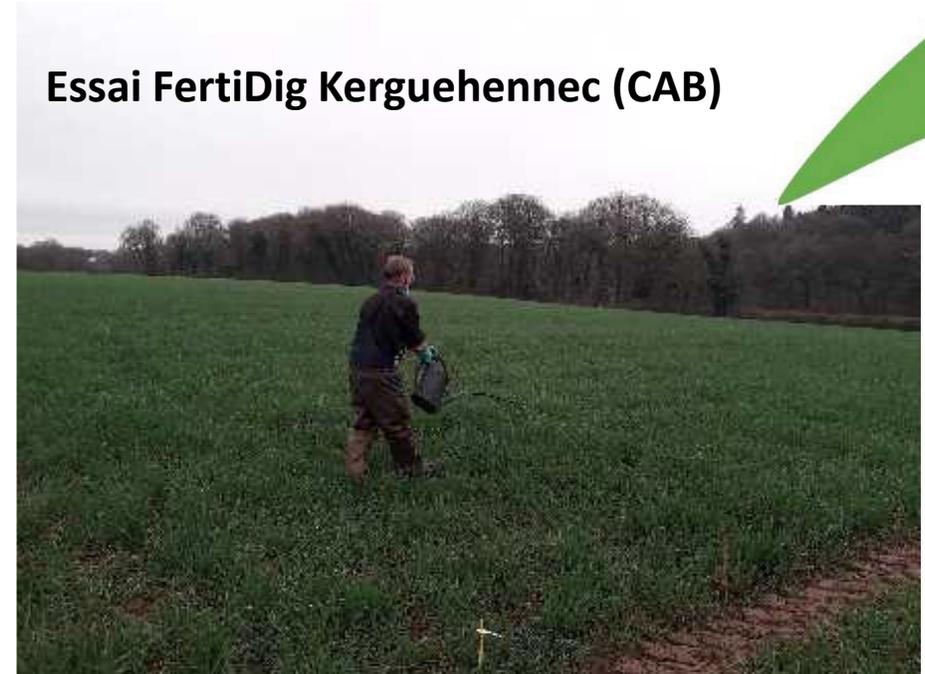
Plan: 3 blocs aléatoires x 3 doses de digestat  
0 m<sup>3</sup>/Ha (Témoin)  
25 m<sup>3</sup>/Ha (= 165 kg<sub>N</sub>/Ha)  
50 m<sup>3</sup>/Ha (= 330 kg<sub>N</sub>/Ha)

Durée: Aout/Sept 2021 – Mars 2022

# Dynamique de la stabilité structurale au champ



- **Effets positifs des digestats par rapport au témoin**
- **Mais pas de différence avec la fertilisation minérale**
- **Effet du blé et des conditions de dessiccation croissante**



Sol: 17 % Argiles, 65,3 % Limons, 4,3 % MO, pH=5,2

Culture : Blé (2021-2022)

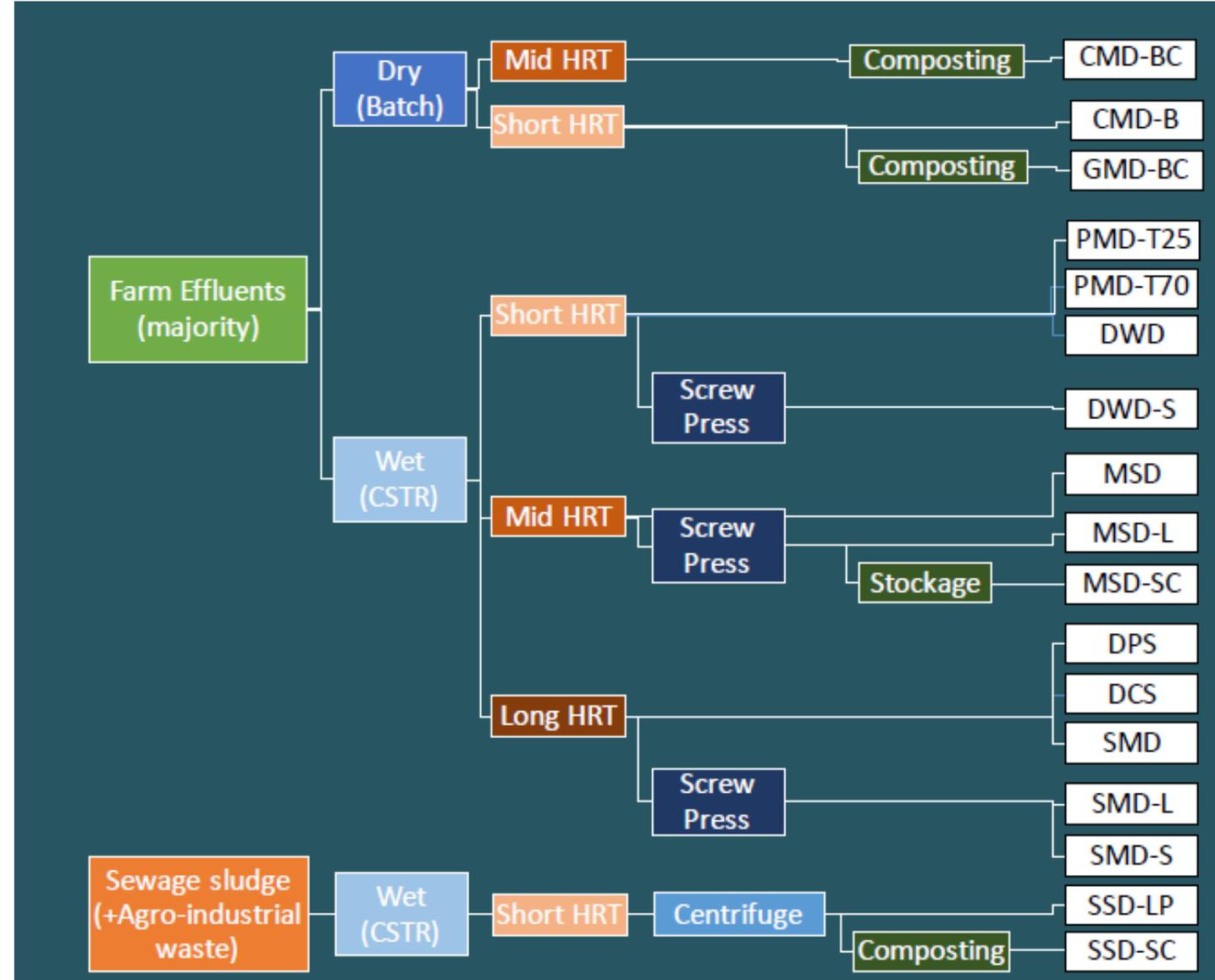
Digestats bruts de biodéchets et de cives apportés à des doses agronomiques

Plan: 3 blocs aléatoires

# Relations avec les caractéristiques des digestats

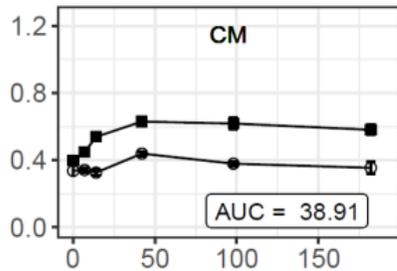
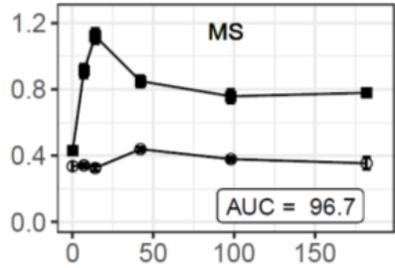
- L'approche méthodologique de suivi de la stabilité structurale en conditions contrôlées de laboratoire est conservée
- 17 MOE ont été étudiées : des MOE brutes et digestats essentiellement d'origine agricole (élevages)
- Les MOE sont caractérisées par la méthode de fractionnement EPS couplée à la de la fluorescence

- *NEOM* : lignine et acides humiques complexes
- *PEOM* : Holocellulose
- *SEOM* : Protéines, Acides humiques et lignocellulose
- *REOM* : protéines et lipides
- *SPOM* : Protéines et sucres

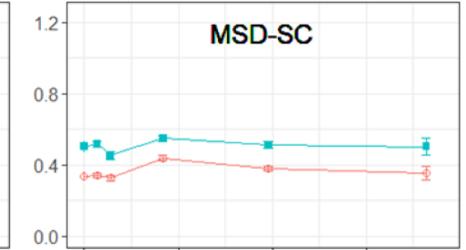
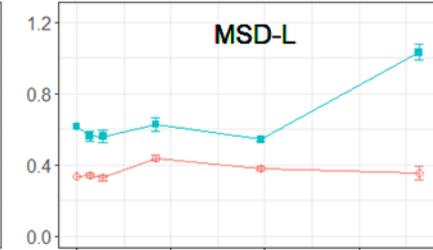
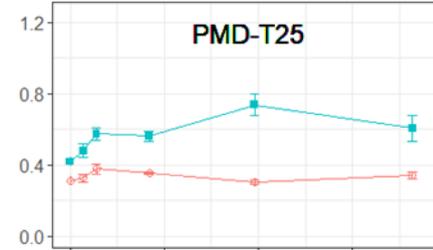
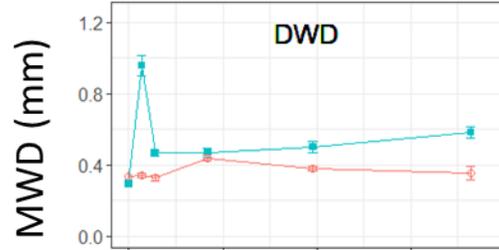


# Relations avec les caractéristiques des digestats

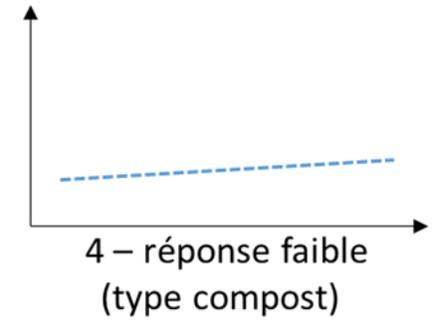
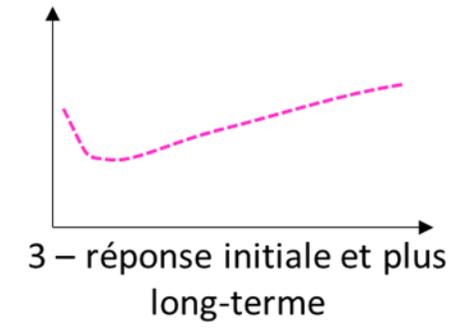
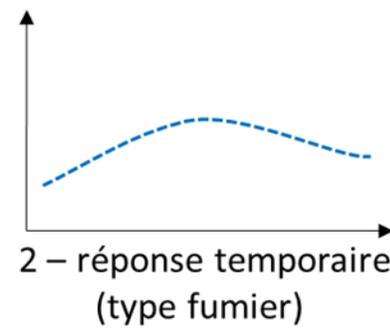
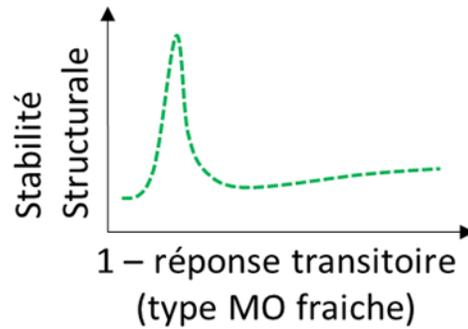
## Références



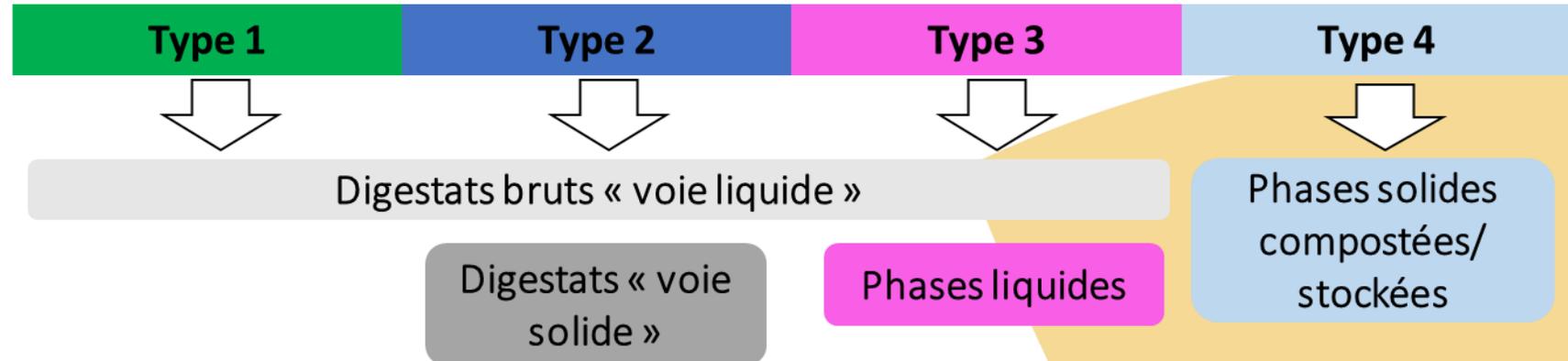
## Digestats



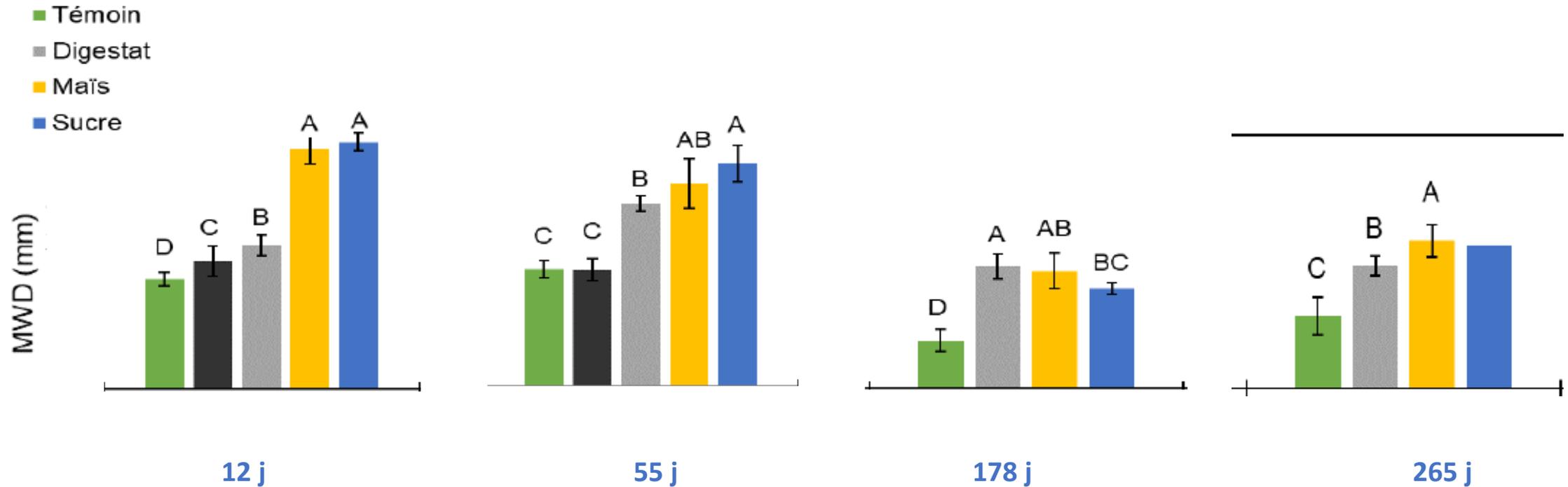
Barres d'erreur montrent l'erreur type (n=4)



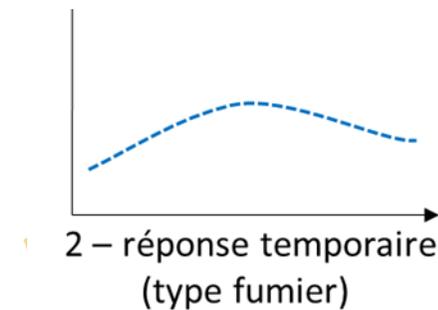
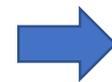
Incubations en conditions contrôlées de laboratoire  
Sol Efele  
Apport équivalent à 4g C.kg<sup>-1</sup> sol sec



# Relations avec les caractéristiques des digestats



Incubations en conditions contrôlées de laboratoire  
Sol limoneux avec 1,5 % C  
Digestat expérimental à base de maïs et de Lisier de bovins  
Apports équivalents à 41 T MS/ha soit 5 C.kg<sup>-1</sup>



# CONCLUSIONS

Peu encore d'études et encore moins sur des dispositifs de longue durée – donc peu de recul  
N'a pas été considérée ici la portance des sols et les avancées du machinisme dans ce domaine.

Comme pour toute famille de produits les effets des digestats sur les propriétés physiques dépendent de :

- Type de sol ; Type de digestat ; Dose et fréquence ; Type de système de culture

Ces effets présentent une dynamique temporelle marquée : cas de la stabilité structurale des sols – qu'on a espoir de pouvoir prédire

En général les apports de digestats sont considérés comme favorables aux propriétés physiques du sol, surtout s'ils sont solides et enfouis dans le sol (exception faite de la stabilité des agrégats).

Des points de vigilance sont soulevés autour des risques d'augmentation de:

- La densité apparente en surface
- La conductivité électrique des sols
- La dispersion des argiles en sols argileux



Attention aux apports répétés



Vers une caractérisation fine et systématique des digestats et des conditions d'application  
Un suivi sur le long-terme chez les agriculteurs selon le fonctionnement du sol souhaité