

Comparaison des effets d'apports répétés de PRO dans un contexte agricole Européen : une approche multicritère de l'évaluation de la qualité des sols

L. Caradec, L. Vieublé-Gonod, A. Michaud, S. Houot



EJP SOIL
European Joint Programme

EJP SOIL has received
funding from the European
Union's Horizon 2020
research and innovation
programme: Grant
agreement No 862695



Introduction

Produit Résiduaire Organique (PRO) : matières organiques secondaires, issues d'activités agricoles, industrielles et urbaines, ayant parfois subi un post traitement.
(Moinard et al., 2021)

Introduction

Produit Résiduaire Organique (PRO) : matières organiques secondaires, issues d'activités **agricoles, industrielles et urbaines**, ayant parfois subi un post traitement.
(Moinard et al., 2021)

Contexte réglementaire : incitations au recyclage des PRO

- UE directive 2008/98/CE (2024)
- France Loi anti-gaspillage et pour l'économie circulaire (2020)
- Obligation de collecte séparée à la source pour les biodéchets
- **Augmentation de la diversité des origines des PRO**

Introduction

Produit Résiduaire Organique (PRO) : matières organiques secondaires, issues d'activités agricoles, industrielles et urbaines, ayant **parfois subi un post traitement**.
(Moinard et al., 2021)

Augmentation de la diversité des processus de post-traitement :

Méthanisation Biochar Bioéthanol de
Compostage Stripping 3^e génération
...

→ **Augmentation de la diversité des PRO**

Introduction

Les PRO à la fin des procédés de post-traitements sont le plus souvent épandus sur les sols agricoles.

Comment garantir la bonne insertion de ces PRO dans les pratiques agronomiques ?



→ Besoin d'une approche multicritère pour comprendre les effets d'épandages répétés de PRO sur les agrosystèmes

Méthode statistique

Multi-criteria indices to evaluate the effects of repeated organic amendment applications on soil and crop quality

Fiona Obriot^a, Marie Stauffer^a, Yolaine Goubard^a, Nathalie Cheviron^b, Guénola Peres^c, Marie Eden^d, Agathe Revallier^e, Laure Vieublé-Gonod^{a,*}, Sabine Houot^{a,*}

Méthode de calcul d'indices multicritères de qualité du sol définie par Obriot et al, 2016.

Site d'étude : QUALIAGRO

5 étapes à l'analyse :

1. Collecte de données et définition de 7 catégories de variables
Soil fertility, Soil biodiversity, Soil biological activity, Soil physical properties, Total soil contamination, available soil contamination, Crop productivity
2. Définition d'un Minimum Data Set, composé de variables non corrélées et avec une différence significative entre traitements
3. Transformation en indicateurs : chaque paramètre est associé à une courbe de réponse linéaire / inverse
4. Calcul des indices de qualité du sol par pondération
5. Représentation en diagrammes radar

Points forts :

- Compromis entre connaissance expert et représentativité statistique
- Forte réduction de dimensionnalité : 119 paramètres → 7 indices
- Méthode calibrée pour maximiser l'interprétabilité : propose une évaluation de la qualité du sol accessible à un large public

Faiblesses

- Choix basés sur la connaissance experte → peuvent être discutés
- Outil développé sur QUALIAGRO, site particulier à deux égards :
 - Grand nombre de paramètres disponibles (119)
 - Quantités de PRO épandues supérieures aux pratiques agronomiques classiques

Méthode statistique

Méthode de calcul selon Obriot et al :

1. Collecte de données et définition de 7 catégories de variables
Soil fertility, Soil biodiversity, Soil biological activity, Soil physical properties, Total soil contamination, available soil contamination, Crop productivity
2. Définition d'un Minimum Data Set, composé de variables non corrélées et avec une différence significative entre traitements
3. Transformation en indicateurs : chaque paramètre est associé à une courbe de réponse linéaire / inverse
4. Calcul des indices de qualité du sol par pondération
5. Représentation en diagrammes radar

Méthode modifiée :

1. Collecte de données et définition de 6 catégories de variables
Soil fertility, Soil biodiversity, Soil physical properties, Soil contaminants, Carbon storage, Crop productivity
2. Imputation de données manquantes
3. Définition d'une Minimum Data Set par connaissance experte
4. Transformation en indicateurs : passage à une courbe de réponse « loi normale »
5. Calcul des indices de qualité de sol par pondération
6. Représentation en diagrammes radar
7. Comparaison inter-site par calcul de différences PRO - témoin

Minimum Data Set

Soil fertility	Soil contaminants	Soil biodiversity	Crop productivity	Carbon storage	Soil physical properties
Ca_exchangeable CEC Cu_extractable Electrical conductivity K_exchangeable Mg_exchangeable N_org / N_total Na_exchangeable P_available pH Zn_extractable	Cd_extractable Cd_total Co_total Cr_extractable Cr_total Cu_total Hg_total Mo_total Ni_extractable Ni_total Pb_extractable Pb_total Tl_total Zn_total	Abundance_anecic worms Abundance_epigeic worms Abundance_juvenile worms Biomass_earthworms Biomass_microbial Alk. phosphatase activity Arylamidase activity Arylsulfatase activity Basal respiration beta-glucosidase activity Deshydrogenase activity Phosphatase activity Urease activity Nematode Enrichment Index Nematode Structure Index Shannon bacteria Shannon fungi Shannon nematode	Ca_total Crop yield Cu_total Fe_total K_total Mg_total Mn_total N_total P_total Protein_content Ratio N/S S_total Zn_total	C_org / Organic matter	Aggregate stability Bulk density MWD_mean

Collecte de données

Travail préliminaire mené par le CRA-W : 120 sites étudiant des PRO en Europe

Sélection de 9 sites expérimentaux étudiant des PRO en Europe :

- France - QUALIAGRO, PROSPECTIVE, EFELE
- Italie - PARMA, RAVENNA
- Belgique - LTE MO
- Suisse - CHANGINS
- Autriche - RITZLHOF
- Suède - LANNA

Critères de choix :

- Diversité pédologique
- Diversité climatique
- Diversité de PRO
- Antériorité des sites
- Quantité et type de données disponibles



Google

Map data ©2024 Google, INEGI Terms

Focus sur QUALIAGRO

Site du SOERE PRO mis en place en 1998

4 modalités de traitements organiques :

C-GWS (green waste sludge) : compost de déchets verts et boue de station d'épuration

C-BIOW (biowaste) : compost de biodéchets – tri à la source

C-MSW (municipal solid waste) : compost d'ordures ménagères résiduelles – tri après collecte

FYM-C (farmyard manure from cattle) : fumier de bovins

+ **CN** : un témoin minéral (avant 2014) puis avec engrais organique (après 2014).

+ après 2014 : arrêt des pesticides

Deux séries temporelles sélectionnées : 2011 et 2018-2020.

➤ **Caractériser les effets induits par les épandages de PRO sur QUALIAGRO**

➤ **Après 14 ans de vie de l'essai**

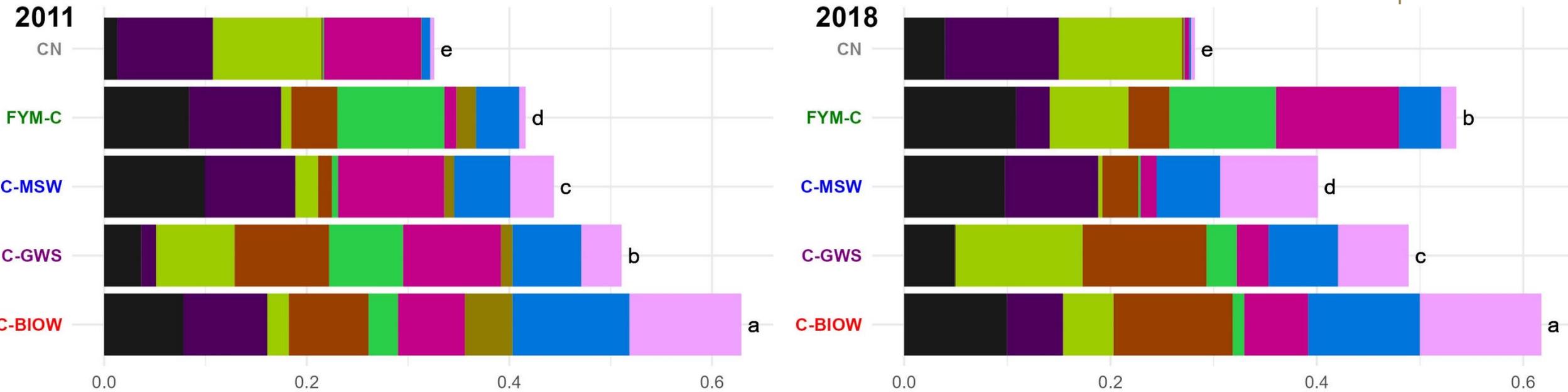
➤ **Après 20 ans de vie de l'essai**

➤ **Caractériser les changements dans la qualité du sol entre 2011 et 2018-2020**

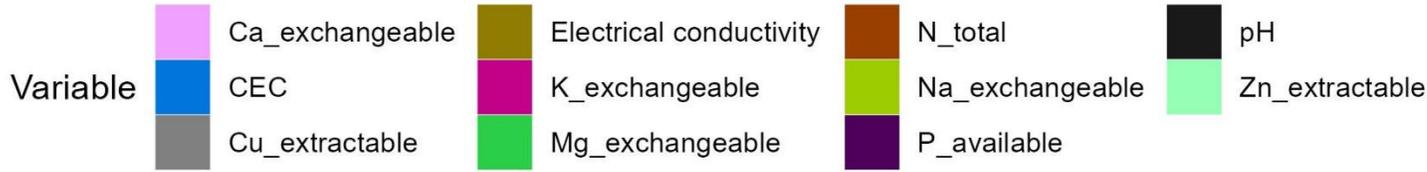
Résultats

Soil fertility

- CN control
- FYM-C farmyard manure from cattle
- C-MSW municipal solid waste compost
- C-GWS green waste sludge compost
- C-BIOW biowaste compost



- Ordre des traitements :
1. C-BIOW
 2. C-GWS
 3. C-MSW
 4. FYM-C
 5. CN

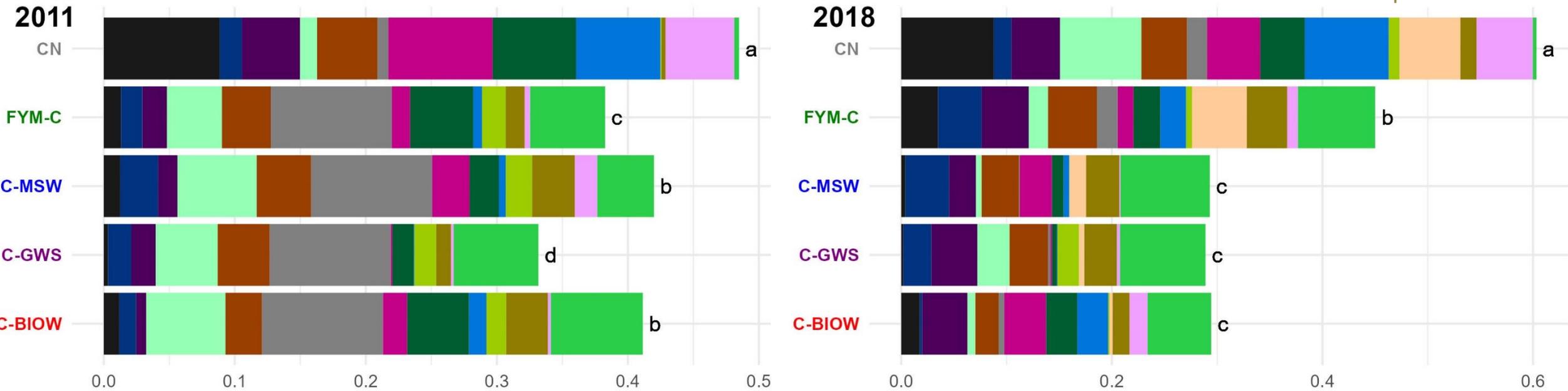


- Ordre des traitements :
1. C-BIOW
 2. FYM-C
 3. C-GWS
 4. C-MSW
 5. CN

Même ordre des traitements entre les deux années, à l'exception de FYM-C
 Nette progression de FYM-C entre 2011 et 2018 (K_exchangeable)

Soil contaminants

CN control
FYM-C farmyard manure from cattle
C-MSW municipal solid waste compost
C-GWS green waste sludge compost
C-BIOW biowaste compost



Soil contaminants index



- Ordre des traitements :
1. CN
 2. **C-BIOW** et **C-MSW**
 3. **FYM-C**
 4. **C-GWS**

- Ordre des traitements :
1. CN
 2. **FYM-C**
 3. **C-BIOW**, **C-GWS** et **C-MSW**

CN : Traitement avec la contamination la plus faible en 2011 et 2018
 Niveaux de contamination égaux sur **C-BIOW**, **C-GWS** et **C-MSW** en 2018

Synthèse

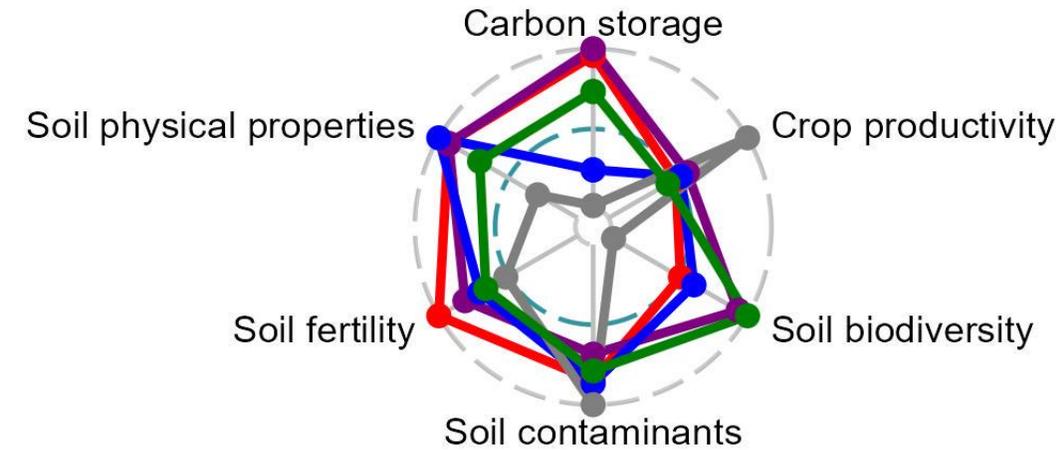
Quels traitements produisent les meilleurs indices ?

Indice	2011	2018
Soil fertility		C-BIOW
Soil contaminants		CN
Soil biodiversity		FYM-C C-GWS
Crop productivity	CN	C-BIOW FYM
Carbon storage		C-BIOW C-GWS
Soil physical properties		C-BIOW C-GWS C-MSW

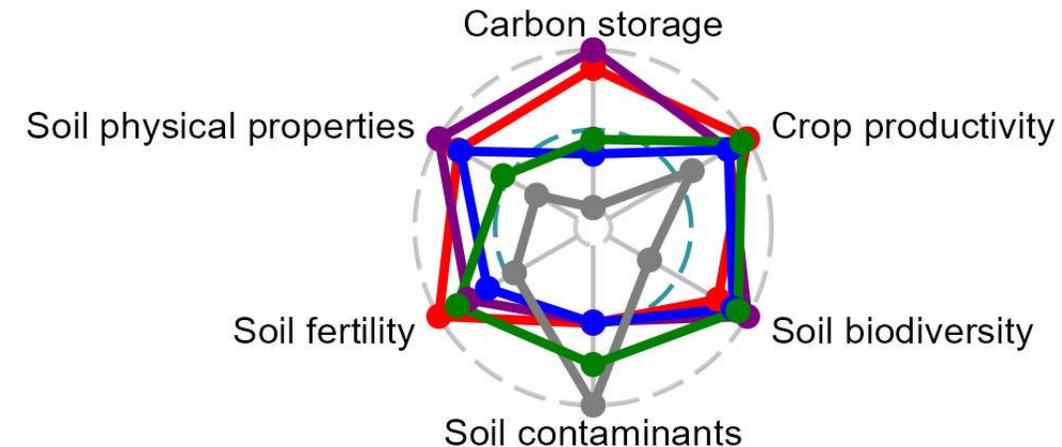
→ Effet du compostage

CN control
 FYM-C farmyard manure from cattle
 C-MSW municipal solid waste compost
 C-GWS green waste sludge compost
 C-BIOW biowaste compost

2011



2018



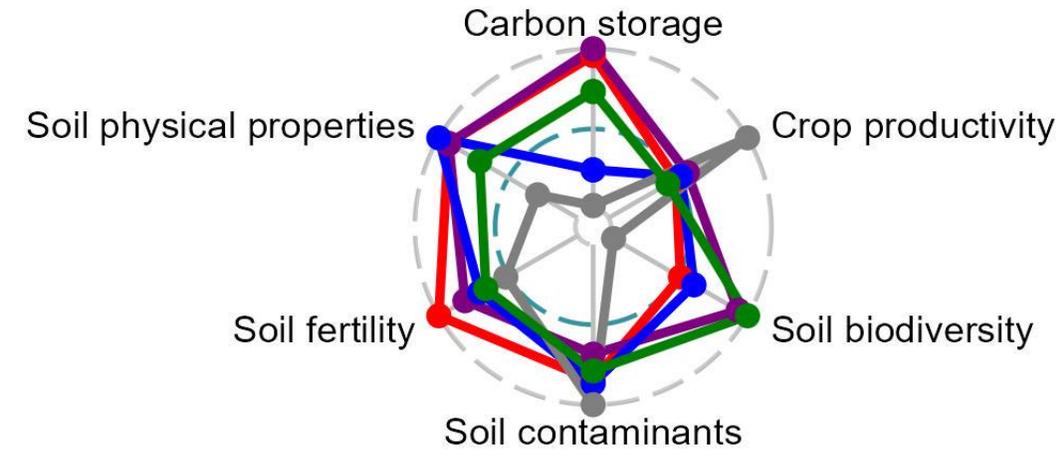
Synthèse

Quelles évolutions entre 2011 et 2018 ?

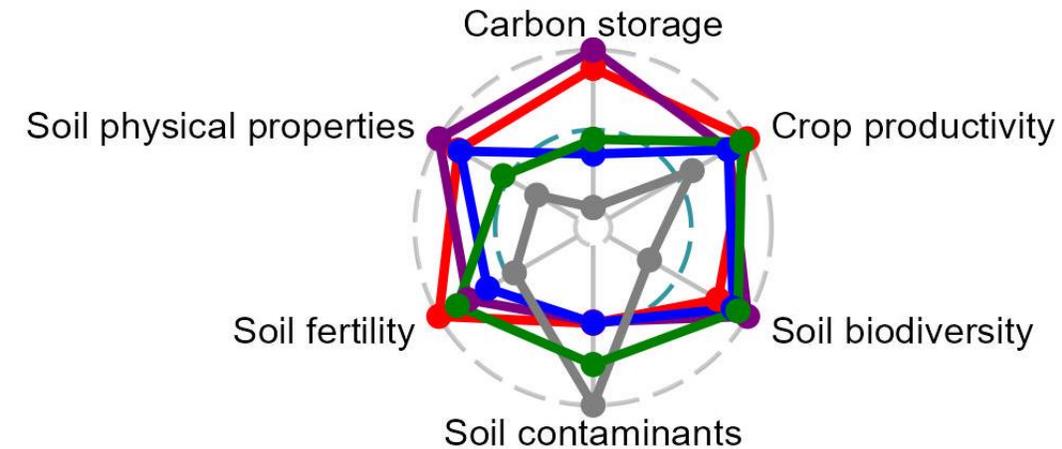
- Soil fertility : nette augmentation de FYM-C
- Soil contaminants : dégradation de C-MSW et C-BIOW → niveau de contamination similaire à C-GWS en 2018
- Soil biodiversity : augmentation pour C-MSW, C-BIOW et CN
- Crop productivity : inversion entre CN et traitements PRO : dû à la culture (blé vs maïs)
- Carbon storage : diminution de FYM-C
- Soil physical properties : pas de modification

CN control
FYM-C farmyard manure from cattle
C-MSW municipal solid waste compost
C-GWS green waste sludge compost
C-BIOW biowaste compost

2011



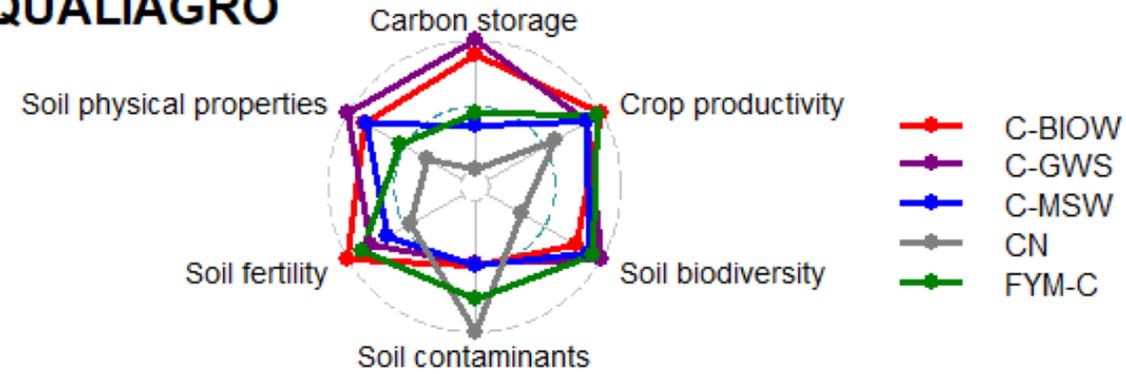
2018



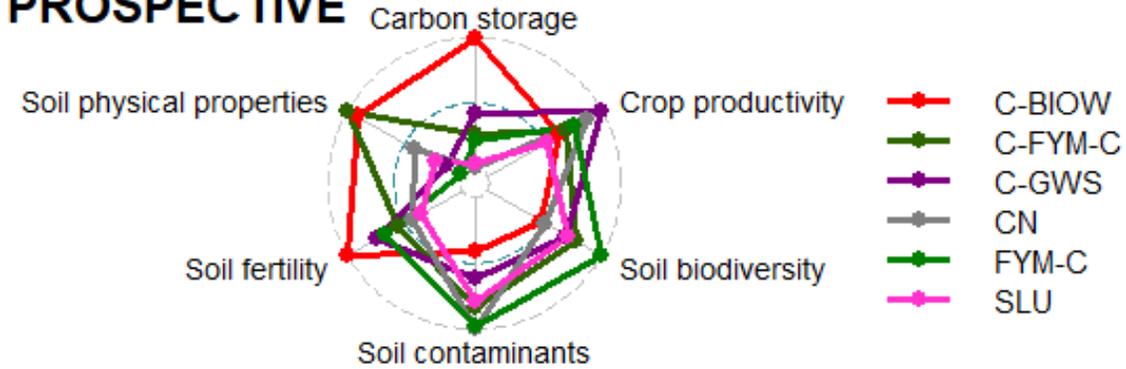
Perspectives

- Mener l'analyse sur les autres sites et autres données échantillonnées
À droite : exemple sur les sites du SOERE PRO en 2018
- Comparer les témoins entre sites pour comprendre les différences dues au contexte pédo-climatique
- Pour chaque site, calculer une différence PRO - témoin. Comparer les différences entre sites pour comprendre les points communs entre PRO similaires.

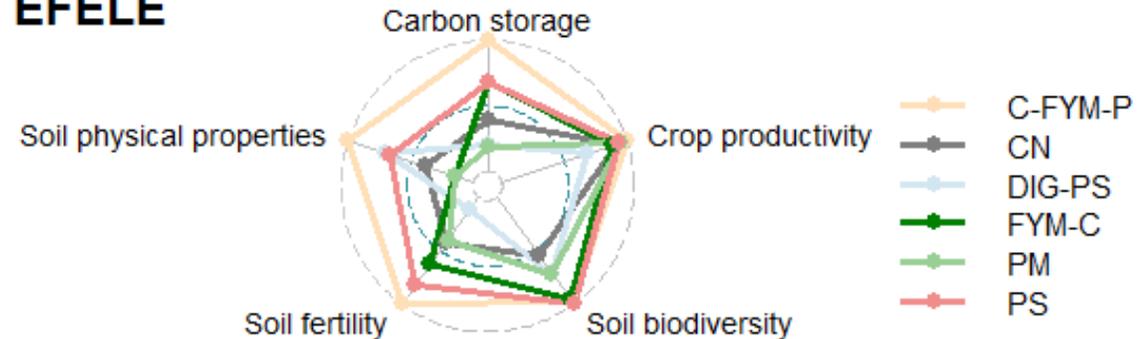
QUALIAGRO



PROSPECTIVE



EFELE



Merci pour votre attention

Contact : lucille.caradec@inrae.fr
Laure.vieuble-gonod@inrae.fr



EJP SOIL
European Joint Programme

EJP SOIL has received
funding from the European
Union's Horizon 2020
research and innovation
programme: Grant
agreement No 862695



Bibliographie

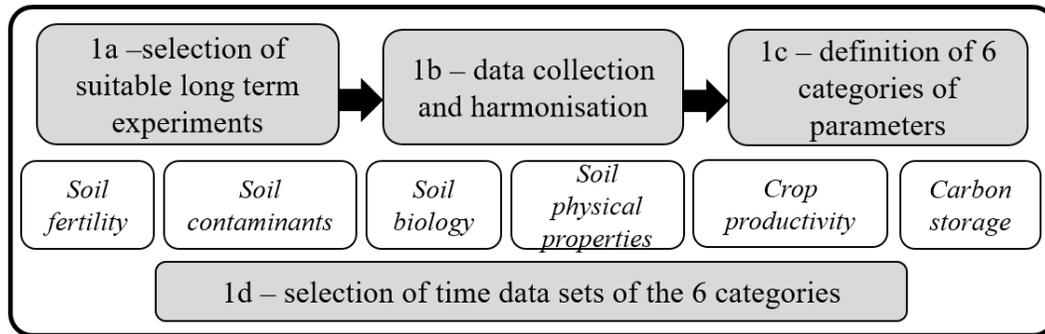
- Moinard, V., Levavasseur, F., Houot, S., 2021. Current and potential recycling of exogenous organic matter as fertilizers and amendments in a French peri-urban territory. *Resources, Conservation and Recycling* 169, 105523. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105523>
- Obriot, F., Stauffer, M., Goubard, Y., Cheviron, N., Peres, G., Eden, M., Revallier, A., Vieuble-Gonod, L., Houot, S., 2016. Multi-criteria indices to evaluate the effects of repeated organic amendment applications on soil and crop quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 232, 165–178. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.004>

Annexes

Site	Country	Climate	EOM studied	Soil texture, according to the GEPPA classification	Additional information about soil type
RITZLHOF	Austria	Continental	Composted source-sorted biowaste Composted green waste Composted cattle manure Composted sewage sludge with wood chips and bark	L	Cambisol
LTE MO	Belgium	Atlantic central	Cattle manure Pig slurry	L	Luvisol
EFELE	France	Oceanic	Composted pig manure Digestate of Pig slurry Pig slurry Cattle manure Poultry manure	L	Luvisol-redoxisol
PROSPECTIVE	France	Semi-continental	Composted source-sorted biowaste Sewage sludge Composted green waste and sewage sludge Cattle manure Composted cattle manure	Lsa	Calcisol
QUALIAGRO	France	Degraded oceanic	Composted source-sorted biowaste Composted green waste and sewage sludge Cattle manure Composted municipal solid waste	L	Luvisol
PARMA	Italy	Mediterranean	Cattle manure Composted green waste	La	Haplic Calcisol
RAVENNA	Italy	Mediterranean	Cattle manure Composted green waste	La	Calcaric Stagnic Cambisol
LANNA	Sweden	Boreal	Cattle manure Sewage sludge	A	Aquic haplocryept
CHANGINS	Switzerland	Continental	Cattle manure Pig slurry	Sal	Luvisol

Méthode statistique

Step 1 – data collection



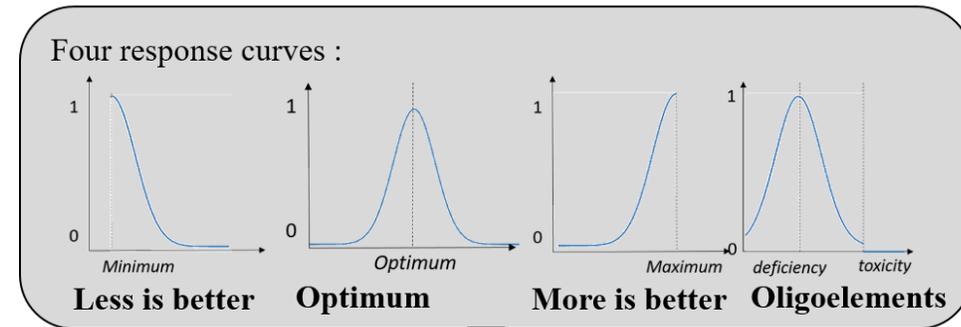
Step 2 – Minimum data set (MDS)

Litterature review

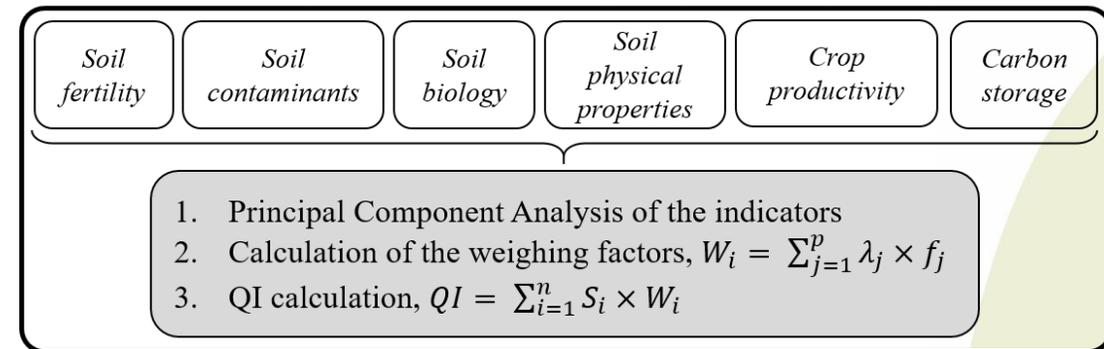
Step 3 – Missing value imputation

Missing value imputation by iterative regularized Principal Component Analysis

Step 4 – Indicator interpretation

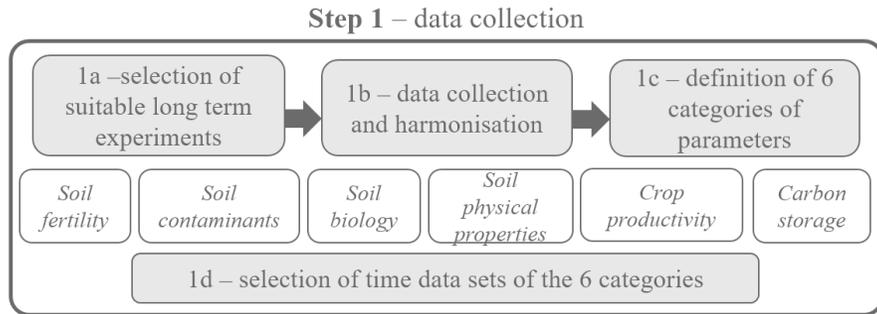


Step 5 – calculation of quality index (QI)



Step 6.a – intra-site interpretation : radar diagrams Step 6.b – inter-site interpretation : difference calculation

Démarche détaillée - Soil fertility



Step 2 – Minimum data set (MDS)

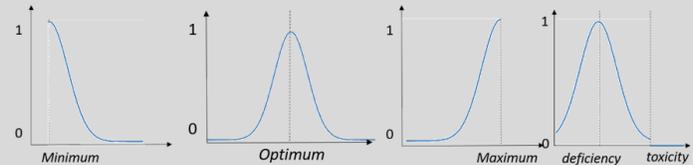
Litterature review

Step 3 – Missing value imputation

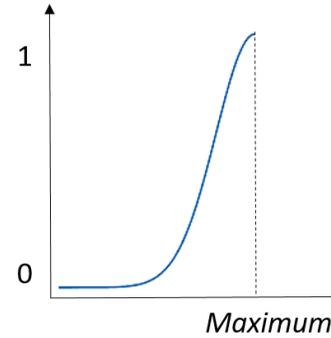
Missing value imputation by iterative regularized Principal Component Analysis

Step 4 – Indicator interpretation

Four response curves :

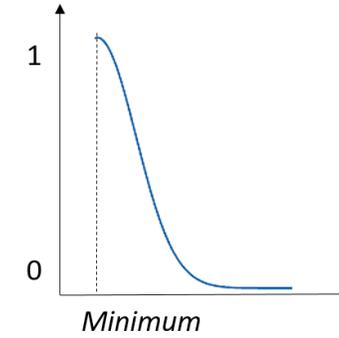


Less is better Optimum More is better Oligoelements



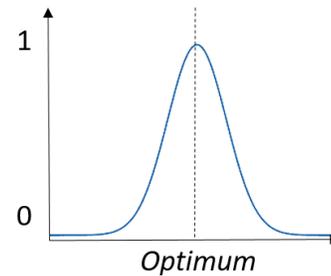
More is better :

Ca_exchangeable
CEC
Electrical conductivity
Mg_exchangeable
N_total



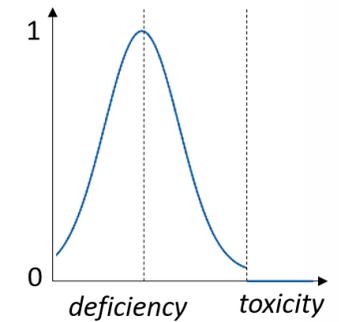
Less is better :

Na_exchangeable



Optimum :

K_exchangeable
P_available
pH



Oligoelements :

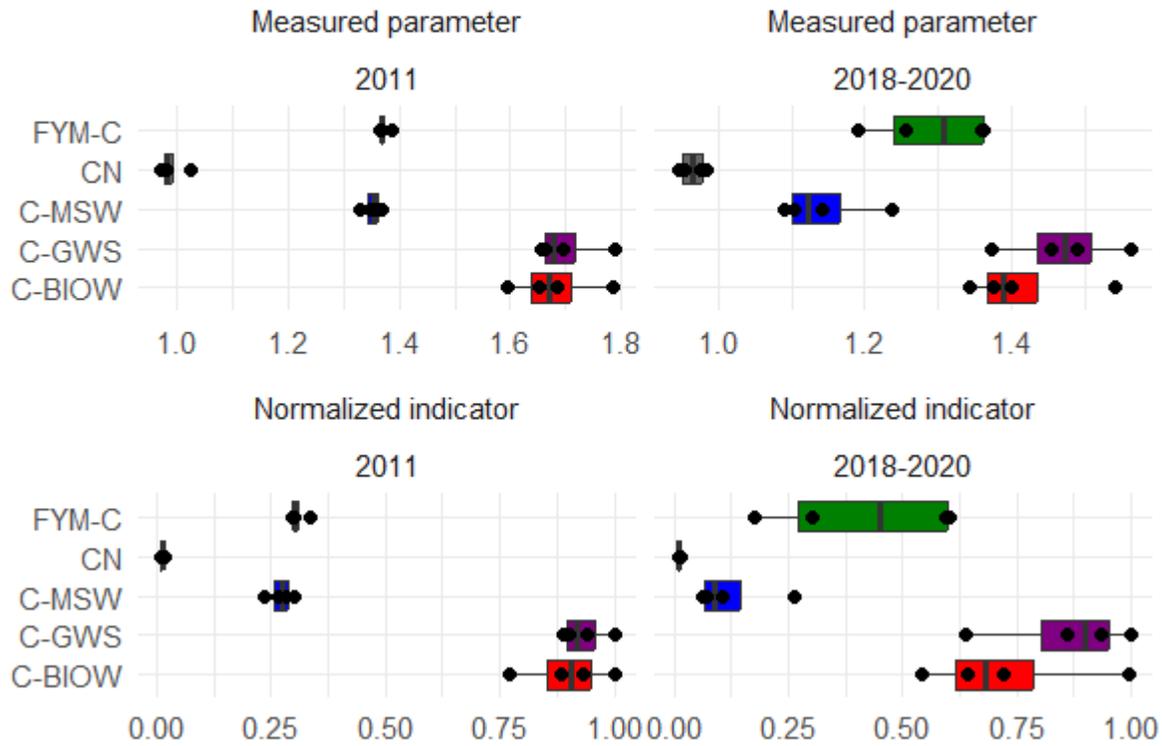
Cu_extractable
Zn_extractable

Du paramètre à l'indicateur

- CN control
- FYM-C farmyard manure from cattle
- C-MSW municipal solid waste compost
- C-GWS green waste sludge compost
- C-BIOW biowaste compost

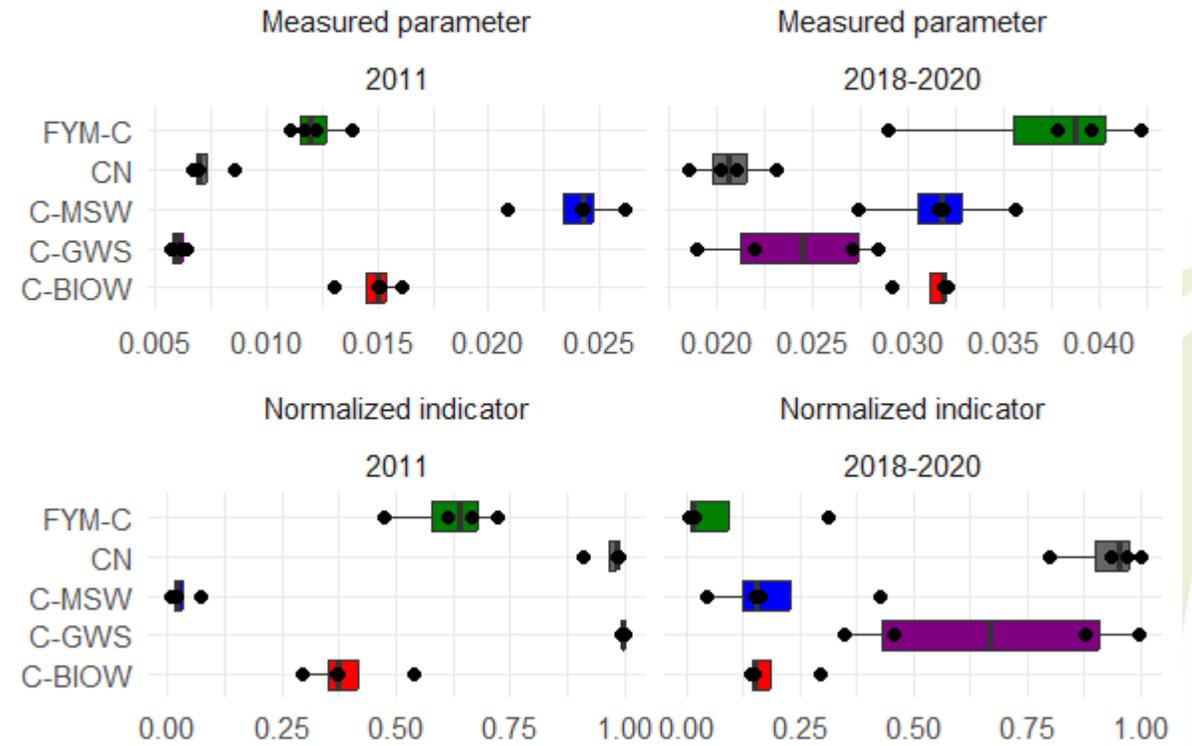
More is better response curve

N_{total} (g.kg⁻¹)



Less is better response curve

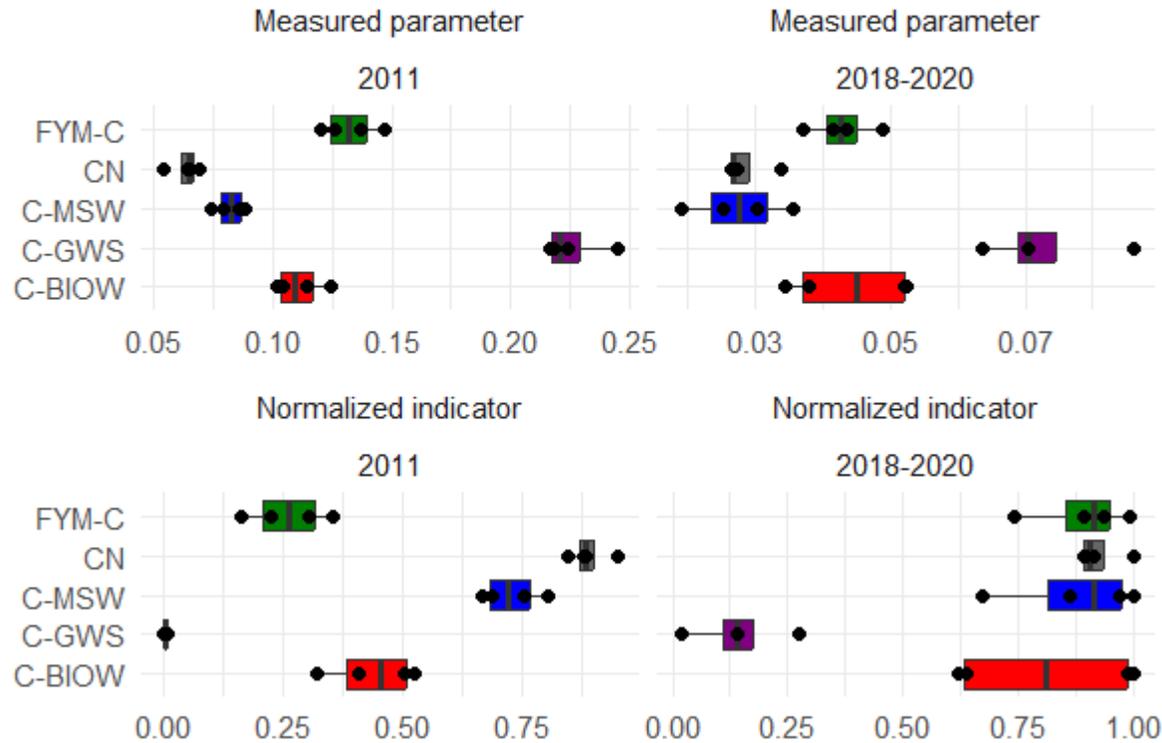
Na_{exchangeable} (cmol+.kg⁻¹)



Du paramètre à l'indicateur

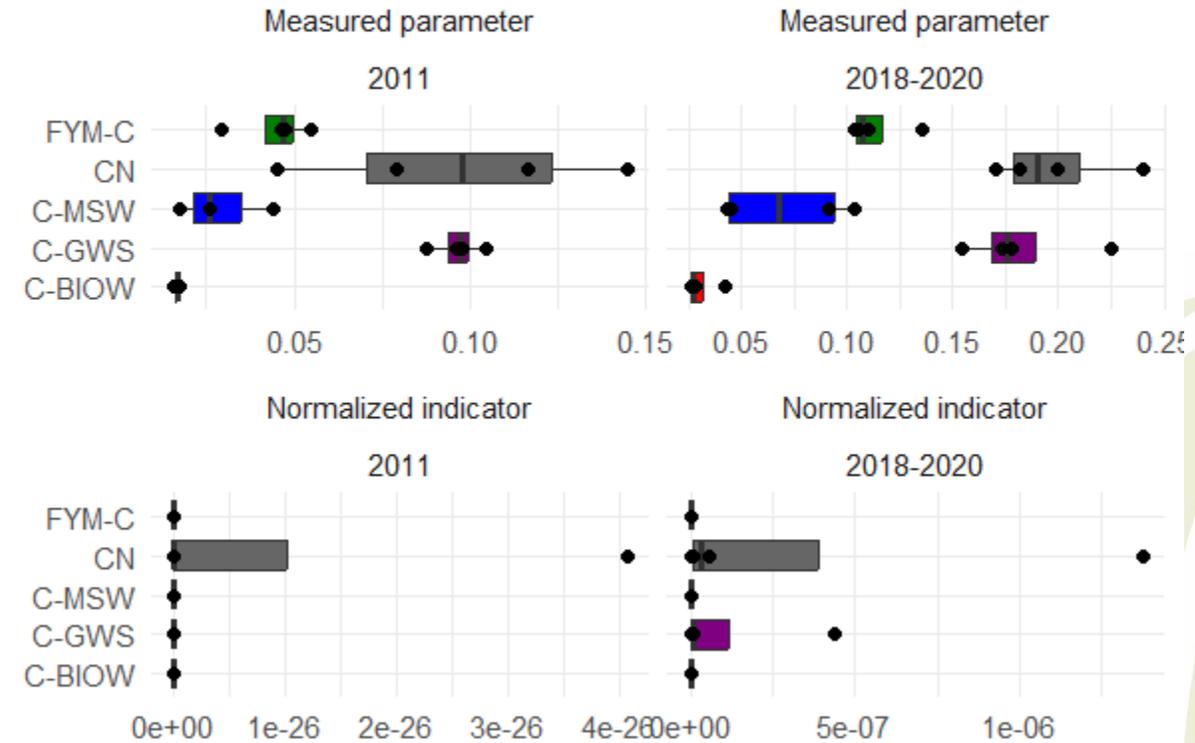
- CN control
- FYM-C farmyard manure from cattle
- C-MSW municipal solid waste compost
- C-GWS green waste sludge compost
- C-BIOW biowaste compost

Optimum response curve
P_{available} (g.kg⁻¹)



Optimum for P : 0,04 g.kg⁻¹

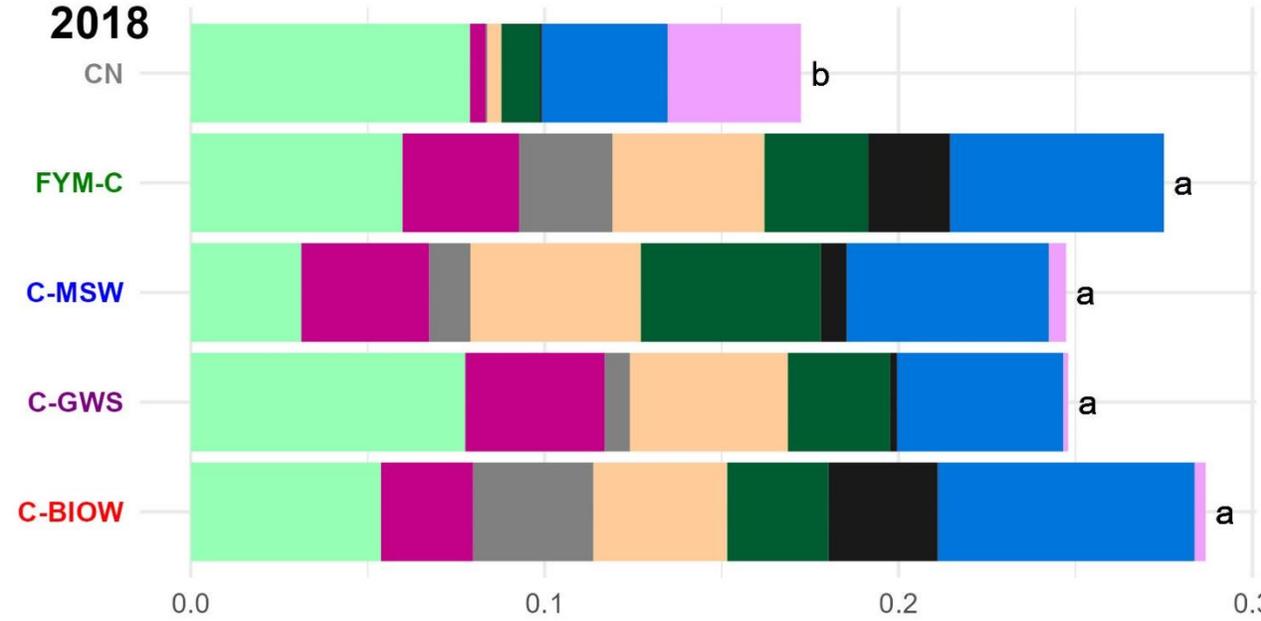
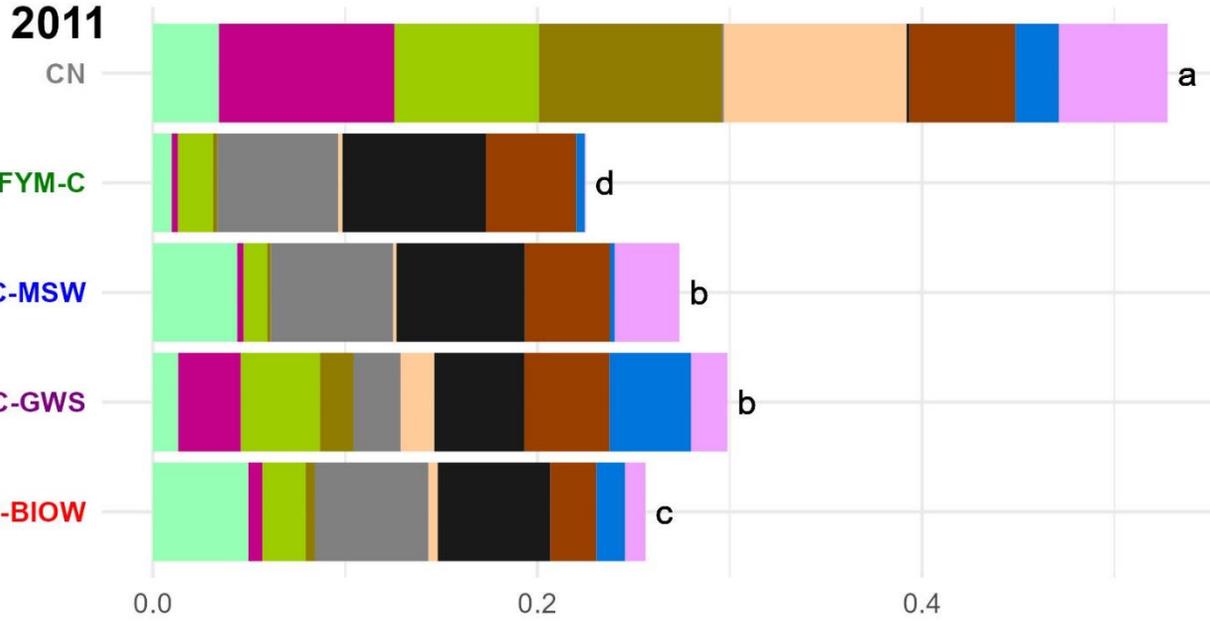
Oligoelements response curve
Zn_{extractable} (mg.kg⁻¹)



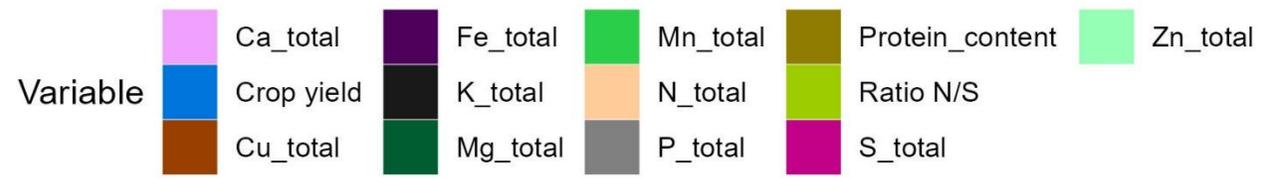
Deficiency for Zn : 0,060 mg.kg⁻¹
Toxicity : 24 mg.kg⁻¹

Crop productivity

- CN control**
- FYM-C** farmyard manure from cattle
- C-MSW** municipal solid waste compost
- C-GWS** green waste sludge compost
- C-BIOW** biowaste compost



Crop productivity index

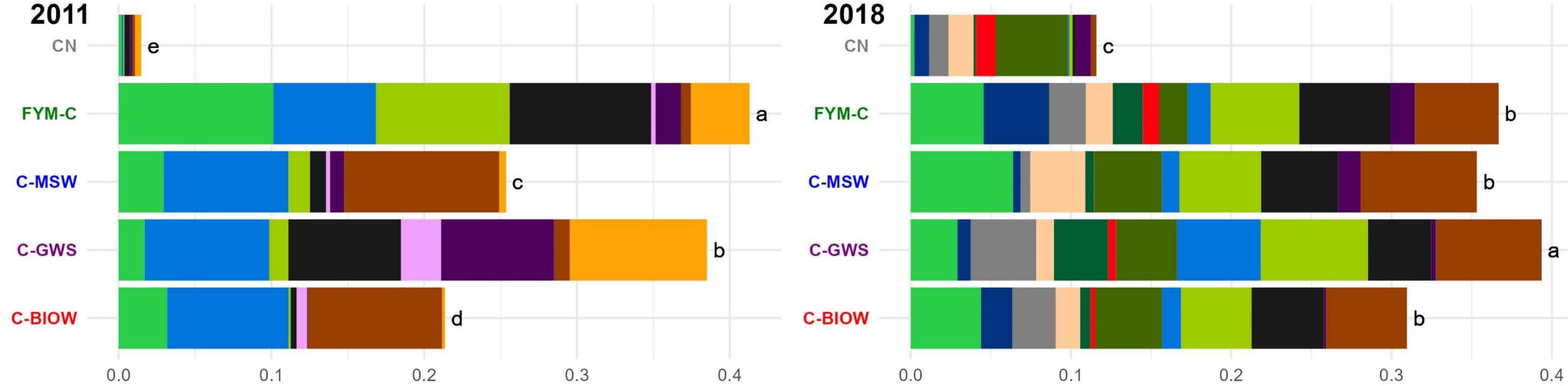


Soil biodiversity

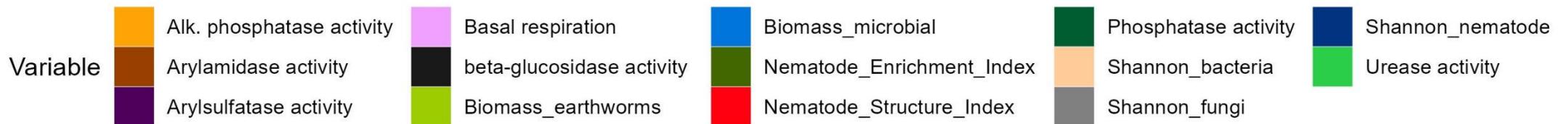
CN control
FYM-C farmyard manure from cattle
C-MSW municipal solid waste compost
C-GWS green waste sludge compost
C-BIOW biowaste compost

2011

2018



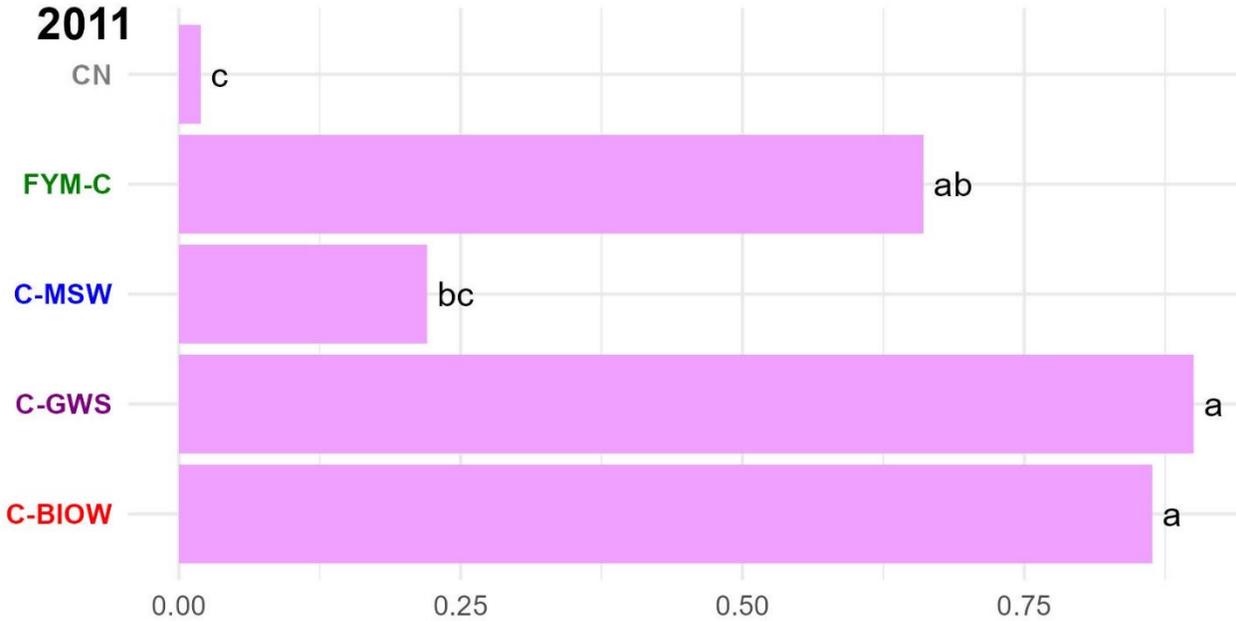
Soil biodiversity index



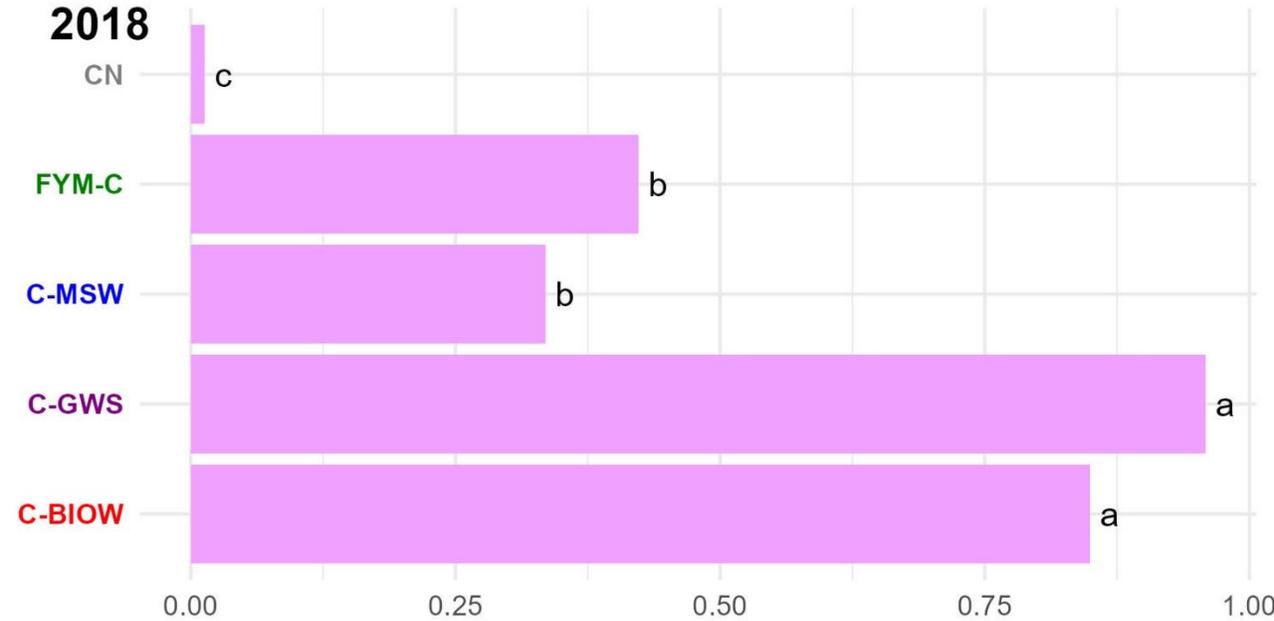
Soil carbon storage

- CN control
- FYM-C farmyard manure from cattle
- C-MSW municipal solid waste compost
- C-GWS green waste sludge compost
- C-BIOW biowaste compost

2011



2018

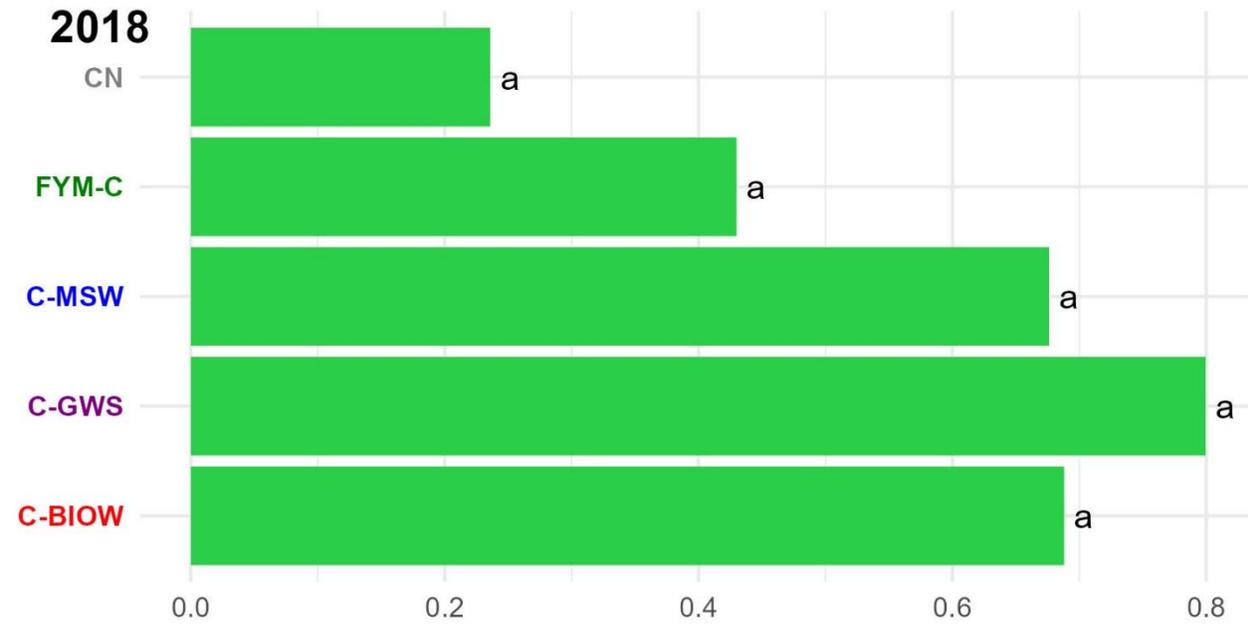
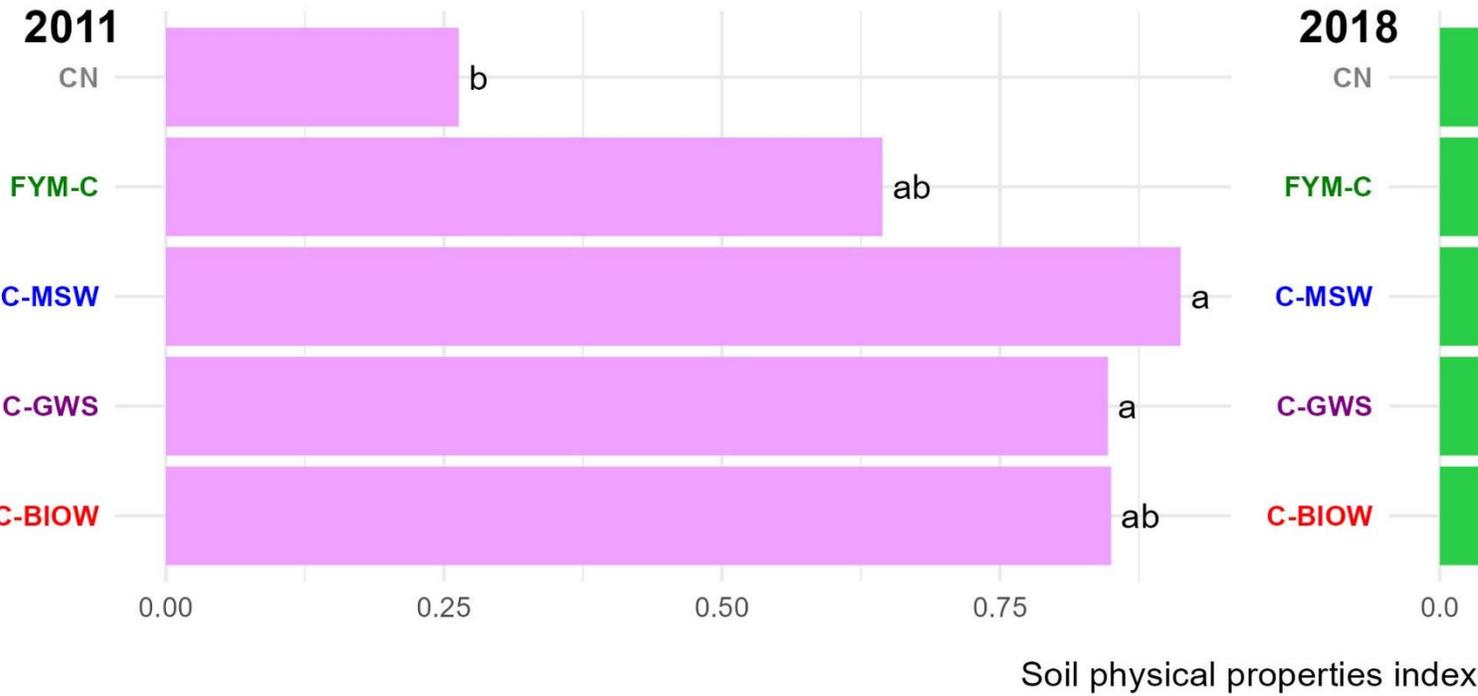


Carbon storage index

Variable ■ C_{org}

Soil physical properties

- CN control**
- FYM-C** farmyard manure from cattle
- C-MSW** municipal solid waste compost
- C-GWS** green waste sludge compost
- C-BIOW** biowaste compost



Variable ■ Bulk density ■ MWD_mean