



DISPOSER DE METHODES ABORDABLES, PRECISES ET ROBUSTES POUR LES INDICATEURS DE GESTION DES MATIERES ORGANIQUES DANS LES SOLS CULTIVES

Valé Matthieu¹, Bouthier Alain², Chaussod Rémi³, Cusset Elodie⁴, Deschamps Thibaud², Houot Sabine⁵,
Laurent Nadia⁴, Le Net Justine¹, Leclerc Blaise⁶, Perrin Anne-Sophie⁷, Recous Sylvie⁸, Riah-Anglet
Wassila⁴, Roussel Pierre-Yves⁹, Trinsoutrot-Gattin Isabelle⁴

¹ AUREA AgroSciences, ² ARVALIS, ³ SEMSE, ⁴ UNILASALLE, ⁵ INRA – AgroParisTech UMR ECOSYS,
⁶ ITAB, ⁷ TERRES INOVIA, ⁸ INRA / URCA UMR FARE, ⁹ Chambres d'agriculture de Bretagne

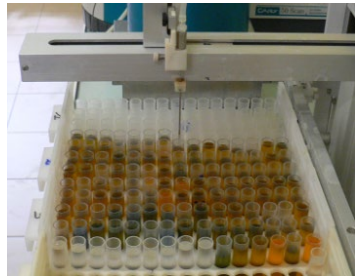


Quels indicateurs pour la gestion des matières organiques dans les sols cultivés ?

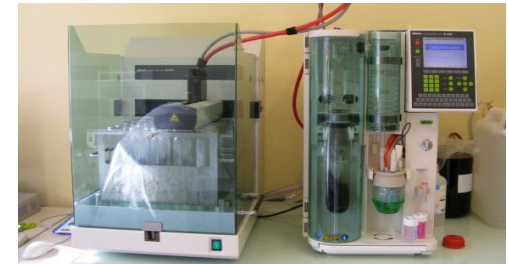
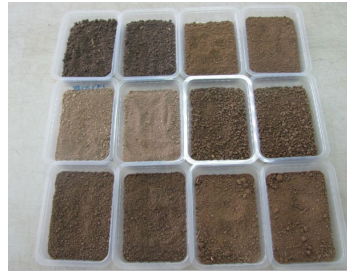
Carbone organique

Analyse de terre

Azote total



Oxydation
sulfochromique
(méthode Anne,
NF ISO 14235)



Minéralisation (méthode
Kjeldahl, NF ISO 11261)

Combustion sèche
(méthode Dumas,
NF ISO 10694)



Combustion sèche
(méthode Dumas,
NF ISO 13878)



Quels indicateurs pour la gestion des matières organiques dans les sols cultivés ?

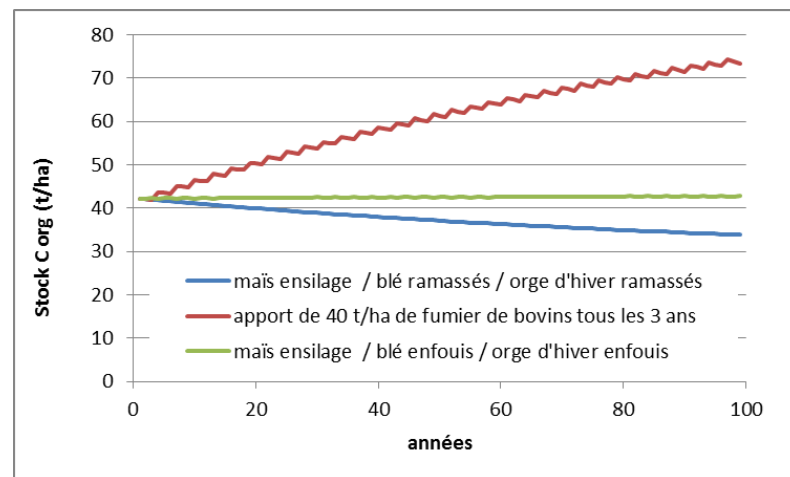
Carbone organique (Anne) et Azote total (Dumas)

Préparation	Délai mesure	Débit (/ j / ETP)	Incertitude	Prix
Sol séché broyé 200 μm		> 100	+/- 5 à 10 %	€

Valorisation pour la gestion des MO : données d'entrée de modèles de bilan humique

Notion de stock : attention au prélèvement et à l'estimation de la terre fine !

Incertitude de mesure d'un laboratoire de routine : environ +/- 4 t C / ha





Quels indicateurs pour la gestion des matières organiques dans les sols cultivés ?

Plus loin que le stock → Fraction vivante : **biomasse microbienne** (NF EN ISO 14240-2)

Préparation	Délai mesure	Débit (/ j / ETP)	Incertitude	Prix
Sol brut tamisé 5 mm	⌚⌚	< 25	+/- 10 à 15 %	€€€

→ Proportion MO labile / stable : **Fractionnement granulométrique** (NF X31-516)

Sol séché tamisé 2 mm	⌚⌚	25 à 50	+/- 10 à 15 %	€€(€)
-----------------------	----	---------	---------------	-------

→ Fonctions de minéralisation : **incubation aérobie 28 jours 28°C** (NF EN ISO 16072 / NF ISO 14238)

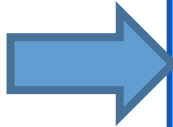
Sol brut tamisé 5 mm	⌚⌚⌚⌚	< 25	+/- 10 à 15 %	€€€€
----------------------	------	------	---------------	------



Objectifs et jeu de données

Sur un jeu de données très complet et renseigné, comparer la pertinence de différents indicateurs liés au carbone et à l'azote

- Capacité à discriminer les modalités
- Sensibilité à la variabilité spatiale et analytique
- Corrélation entre méthodes



méthode de référence	méthode alternative
Biomasse microbienne * fumigation / extraction (BMI)	extraction d'ADN microbien (BMM) *
C fraction 50 – 2000 µm *	Carbone oxydable au KMnO ₄ (MOL-Ox) #
C minéralisé 28 J ^*	
N fraction 50 – 2000 µm *	incubation anaérobie 7 jours 40°C (ABM) #
N minéralisé 28 J ^*	

Analyses réalisées par : # SEMSE, ^ Celesta-Lab, * Auréa

Projet CASDAR RT Innovation 2017 → 2020

Pilote

"MICROBIOTERRE : Référencer des indicateurs de microbiologie des sols et les intégrer dans l'analyse de terre de routine, pour améliorer la gestion des restitutions organiques dans les systèmes de grandes cultures et polyculture élevage "

LIBERTÉ • ÉGALITÉ • FRATERNITÉ
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORÊT

avec la contribution financière de la région Bretagne et de l'État

6 Partenaires techniques financés

3 Partenaires techniques associés

4 Prestataires

Développement d'une filière technique et économique sur le diagnostic et le conseil pour une gestion agroécologique des sols cultivés

Juillet 2017 → décembre 2021

PORTEUR DU PROJET

PARTENAIRES

ADEME

Agence de l'Environnement et de la Métrique de l'Énergie

Projet accompagné par l'ADEME dans le cadre du programme Industrie et Agriculture éco-efficientes du programme des Investissements d'Avenir



Objectifs et jeu de données

PRO : apport de produits résiduaux organiques

W sol : travail du sol

CI : cultures intermédiaires

SDC : système de culture / rotation

Essais retenus dans Microbioterre	Organismes	Site	Facteurs étudiés		
SOERE PRO	INRA	Colmar (68)		PRO	
EFELE	INRA	Le Rheu (35)		PRO	
SOERE PRO	INRA	Feucherolles (78)		PRO	
Jeu Les Bois	ARVALIS, OIER	Jeu Les Bois (22)		PRO	
Crécom	CRAB	Saint-Nicolas du Pélem (22)		PRO	SDC
Kerguéhennec travail du sol / rotation	CRAB	Bignan (56)	W sol	PRO	SDC
Travail du sol / environnement	ARVALIS	Boigneville (91)	CI	W sol	SDC
Combe Poissonet	Dijon Céréales	Fromenteau (21)	CI	W sol	
ELD En Crambade	ARVALIS, ACTA, Terres Inovia	Baziège (31)	CI	W sol	SDC
SOERE ACBB	INRA	Mons (80)		W sol	SDC
ECO Puissance 4	INRA	Auzeville (31)	CI		SDC
Rouffach	CRAGE, Lycée Agricole	Rouffach (68)			SDC
Rotaleg	CRAPL, CA49	Thorigné (49)			SDC
ECO Puissance 4	INP Purpan	Lamothe (31)			SDC
ECO Puissance 4	INRA	Bretenière (21)			SDC
La Cage	INRA	Versailles (78)			SDC



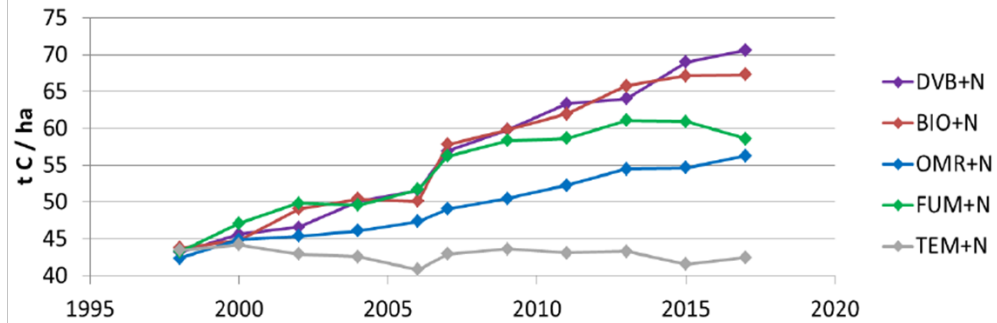
Capacité à discriminer et variabilité indicateurs de teneur en C et N

	Carbone organique	Azote total
% sites avec différence significative entre les modalités à 5 %	22 %	28 %
% sites avec différence significative entre les modalités à 10 %	33 %	33 %
CV moyen (modalité x site) (%)	9 %	8 %

Les indicateurs de teneur ne discriminent que des historiques très différenciés (durée et quantité de MO restituée)



Evolution des stocks de C à masse équivalente de sol sur l'essai N+



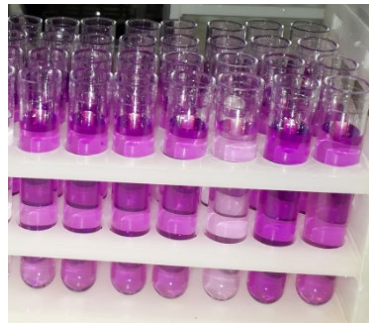


Capacité à discriminer et variabilité

indicateurs liés au carbone

	Carbone organique	C 50 -2000 μm	C miné 28 J	C KMnO_4
% sites avec \neq significative entre les modalités à 5 %	22 %	39 %	17 %	50 %
% sites avec \neq significative entre les modalités à 10 %	33 %	44 %	22 %	56 %
CV moyen (modalité x site) (%)	9 %	11 %	20 %	8 %

Carbone KMnO_4 :
oxydation « douce » et à froid de matières organiques « labiles », mesure de la décoloration du KMnO_4
→ Protocole en cours de stabilisation



Bonne performance du fractionnement granulométrique et du C KMnO_4

Résultats du carbone minéralisé plus variables et moins discriminants



Capacité à discriminer et variabilité

indicateurs liés à l'azote

	Azote total	N 50 – 2000 μm	N miné 28 J	ABM
% sites avec \neq significative entre les modalités à 5 %	28 %	39 %	28 %	47 %
% sites avec \neq significative entre les modalités à 10 %	33 %	50 %	33 %	53 %
CV moyen (modalité x site) (%)	8 %	11 %	16 %	12 %

Azote Biologiquement Minéralisable (ABM) :
Incubation anaérobie 7 jours à 40 °C, mesure N-NH₄
→ Protocole en cours de stabilisation

Bonne performance du fractionnement granulométrique et de l'ABM (ABM : mesures disponibles sur 15 sites au lieu de 18)

Résultats de l'azote minéralisé plus variables et moins discriminants





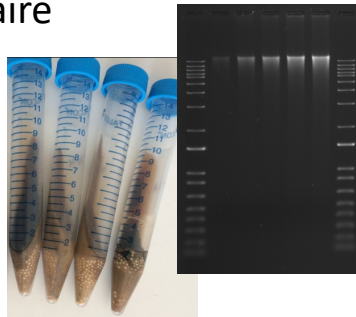
Capacité à discriminer et variabilité

Biomasse microbienne

	Carbone organique	fumigation / extraction	quantification ADN
% sites avec \neq significative entre les modalités à 5 %	22 %	50 %	28 %
% sites avec \neq significative entre les modalités à 10 %	33 %	56 %	56 %
CV moyen (modalité x site) (%)	9 %	12 %	19 %

Biomasse microbienne moléculaire
(BMM, INRA Dijon) :

Extraction d'ADN brut dans un
lysât d'1 g de sol sec
Quantification après migration
sur gel d'agarose



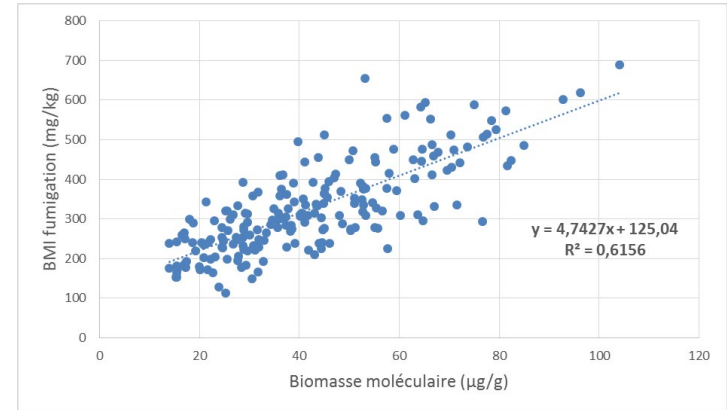
La biomasse microbienne par fumigation /
extraction est la plus discriminante au
seuil de 5 %

La méthode moléculaire (INRA Dijon)
semble moins puissante mais prometteuse



Corrélations entre méthodes

méthode de référence	méthode alternative	R ²
Biomasse microbienne fumigation / extraction (BMI)	extraction d'ADN microbien (BMM)	0.62
C fraction 50 – 2000 µm	Carbone oxydable au KMnO ₄ (MOL-Ox)	< 0.01
C minéralisé 28 J		0.07
N fraction 50 – 2000 µm	incubation anaérobie 7 jours 40°C (ABM)	< 0.01
N minéralisé 28 J		0.23











Pas de corrélation entre méthodes sur le jeu de données, sauf pour la biomasse microbienne

	Préparation	Délai mesure	Débit (/ j / ETP)	Incertitude	Prix
BMI	Sol brut tamisé 5 mm	⌚⌚	< 25	+/- 10 à 15 %	€€€
BMM	Sol « séché » tamisé 2 mm	? (⌚⌚⌚)	25 à 50 (?)	?	? (€€€)

→ Optimisation méthodologique nécessaire



Synthèse : indicateurs liés au carbone

	Préparation	Délai mesure	Débit (/ j / ETP)	% sites P < 0.1	Prix
Carbone organique	Sol séché broyé 200 µm		> 100	33 %	€
C 50 – 2000 µm	Sol séché tamisé 2 mm	 	25 à 50	44 %	€€(€)
C minéralisé 28 J	Sol brut tamisé 5 mm	   	< 25	22 %	€€€€
Carbone KMnO ₄	Sol séché tamisé 2 mm	? 	? (> 100)	56 %	? (€)

Sur le jeu de données étudié, ces indicateurs répondent principalement à l'apport de PRO.
Le C de la fraction 50-2000 µm semble plus apte à distinguer les différentes modalités de travail du sol

Le carbone KMnO₄ distingue sur quelques sites l'effet système de culture.

→ À confirmer, analyse en cours



Synthèse : indicateurs liés à l'azote

	Préparation	Délai mesure	Débit (/ j / ETP)	% sites P < 0.1	Prix
Azote total	Sol séché broyé 200 µm		> 100	33 %	€
N 50 – 2000 µm	Sol séché tamisé 2 mm		25 à 50	50 %	€€(€)
N minéralisé 28 J	Sol brut tamisé 5 mm		< 25	33 %	€€€€
ABM	Sol brut tamisé 5 mm	? ()	? (≈ 50)	53 %	? (€€)

L'effet des PRO est moins marqué que pour les indicateurs liés au carbone.
Comme pour le C, le N de la fraction 50-2000 µm semble plus apte à distinguer les différentes modalités de travail du sol.

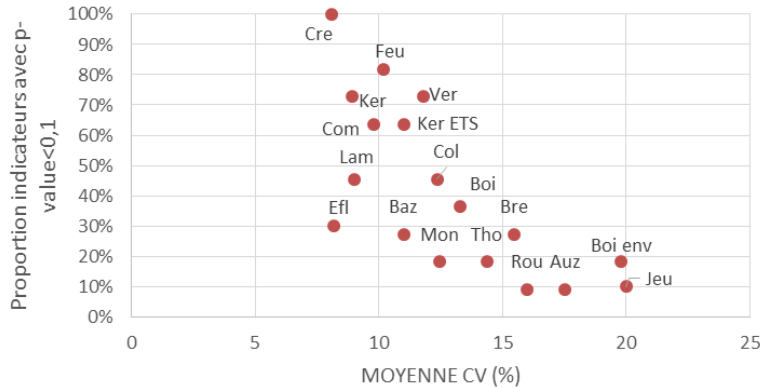
→ À confirmer, analyse en cours



Perspectives

Certains sites montrent très peu de réponses des indicateurs (voire aucune).

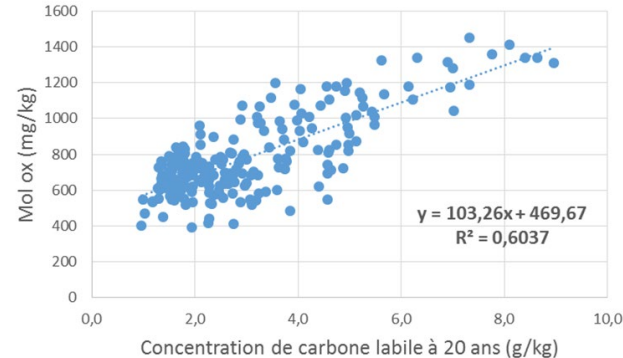
→ Corrélation entre le CV moyen des indicateurs par site et la proportion d'indicateurs montrant une différence significative par site



Hétérogénéité spatiale à prendre en compte dans le traitement des données

En complément du carbone organique et de l'azote total, la biomasse microbienne, le fractionnement granulométrique de la MO et le carbone KMnO_4 semble les indicateurs les plus pertinents sur le jeu de données étudié.

Grâce à son potentiel de productivité élevé, le carbone KMnO_4 semble prometteur.



Proxy de la méthode Rock-EVAL ?