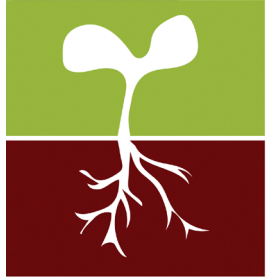


Sessions digitales



Rencontres Techniques de Terres Inovia

Fertilité des sols

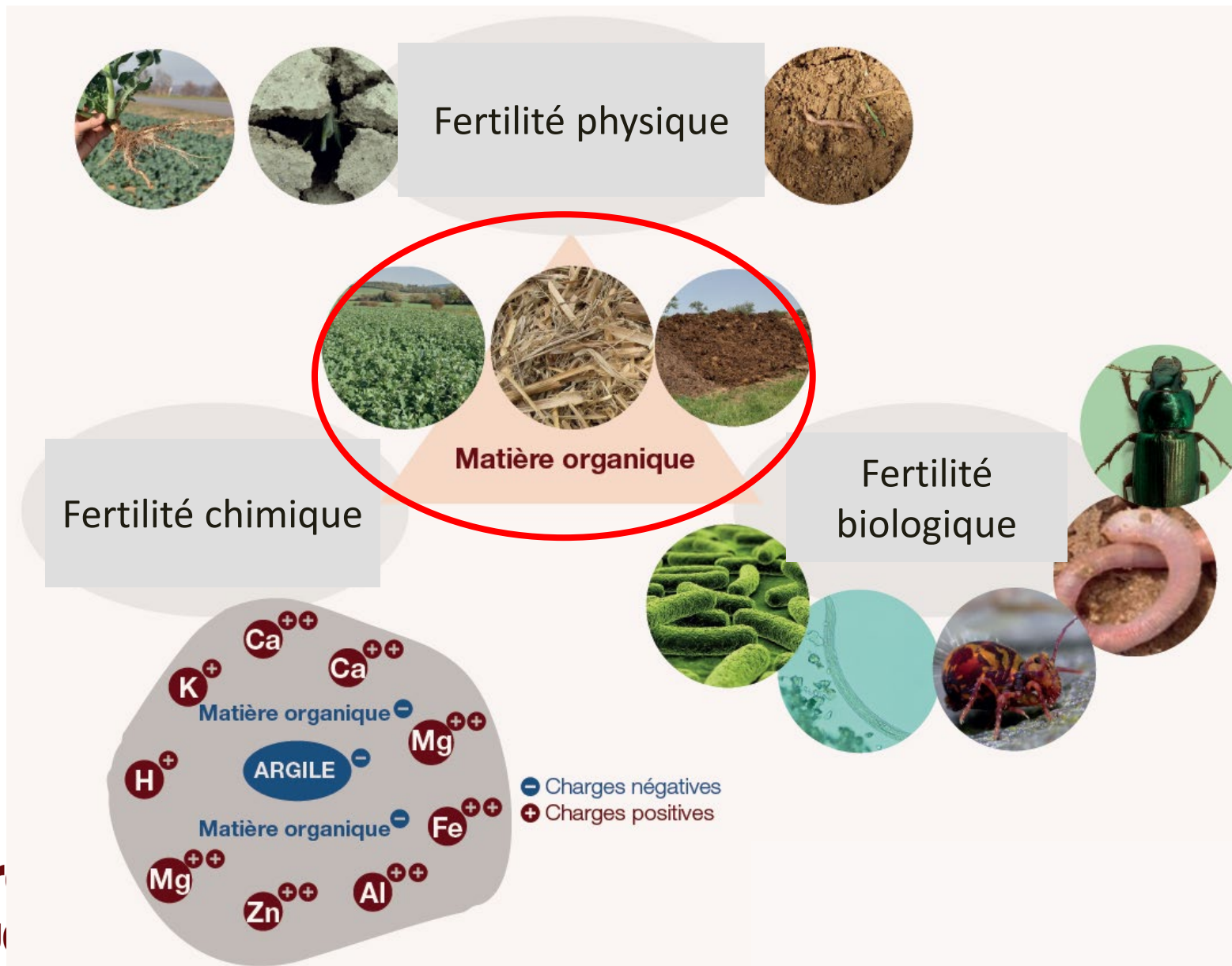
Comment la mesurer ?

Anne-Sophie Perrin

Terres Inovia

as.perrin@terresinovia.fr

Les 3 composantes de la fertilité...



Sessions digitales



**Rencontre
Technique**
de Terres Inovia

Indicateurs de fertilité physique des sols



Indicateurs de la qualité du sol :

- Texture
- Cailloux, éléments minéraux >2mm
- Profondeur des sols
- ...

Exemples d'indicateurs de fonctionnement

Test bêche



Indicateurs de fertilité physique des sols

Différentes méthodes opérationnelles pour le test bêche

VESS (Ball et al., 2017), la plus internationale:

Guide technique opérationnel en français (ajout d'une notation de la bioturbation par les vers de terre)

<http://www.agro-transfert-rt.org/wp-content/uploads/2018/08/Guide-m%C3%A9thode-beche-web.pdf>

Méthode Isara (Peigné et al., 2016)

Description de la structure dérivée du profil cultural

[Test Bêche - Guide d'utilisation](#)

Méthode Terres Inovia et simplification de la méthode Isara

Adaptation pour la prise de décision sur le travail du sol

préalable à l'implantation d'une culture

(Peigné, Cadoux et al., 2019 : <https://agronomie.asso.fr/aes-9-2-9>)

etc.



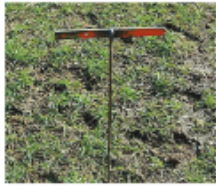















	B0 Pas de bioturbation	B1 Peu de bioturbation	B2 En cours de régénération	B3 Régénération très développée
Trais distinctifs de reconnaissance	Absence totale de traces de bioturbation.	Quelques traces de bioturbation, surtout des macropores.	Nombreuses traces, surtout localisées sur le pourtour de la motte. Présence de portion(s) tassée(s) non bioturbées de taille significative (3-5 cm).	Nombreuses traces, sur toute la surface de la motte. Éventuellement quelques petites portions tassées peu ou pas bioturbées isolées.
Illustrations				

Notation de la bioturbation à l'échelle des mottes (AgroTransfert RT)

Indicateurs de fertilité physique des sols

Différentes méthodes d'évaluation de la structure du sol avec des objectifs et des niveaux de technicité variables

Le test bêche ne permet pas de détecter un tassement en profondeur

	Méthodes de diagnostic simplifiées			Profil cultural
	Tige pénétrométrique	Méthode bêche	Mini-profil 3D	
				
Profondeur diagnostiquée	80 cm 	25 cm 	60 cm 	120 cm 
Période d'observation	Période restreinte, de décembre à début avril	Dès que l'humidité du sol permet d'enfoncer la bêche	Toute l'année, périodes privilégiées : automne et sortie d'hiver	Toute l'année, périodes privilégiées : automne et sortie d'hiver
Matériel nécessaire	Tige métallique	Bêche	Télescopique ou chargeur frontal	Pelle mécanique
				
Informations obtenues	Détection des problèmes de tassement en surface et en profondeur	Diagnostic de la structure sur les 25 premiers cm du sol	Diagnostic approfondi de la structure du sol en surface et en profondeur	Diagnostic approfondi de la structure du sol en surface et en profondeur
Facilité de mise en œuvre et d'interprétation	Très facile  <i>après une courte formation</i>	Prise en main rapide  <i>après une courte formation</i>	Demande un peu d'entraînement au début  <i>après une courte formation</i>	Nécessite une expertise approfondie  <i>après 1 formation poussée</i>
Rapidité de mise en œuvre	15 min / parcelle	30-45 min pour 6 prélèvements / parcelle	20 min pour 2 mini-profils / parcelle	2-3h / profil
Surface de la parcelle explorée	Toute la parcelle via des transects	Zone limitée dans la parcelle	Zone restreinte du fait du faible nombre de prélèvements possibles	Zone restreinte (3 m de large)
Légende : ■ Intérêts ■ Intérêts +/- ■ Limites				

Indicateurs de fertilité physique des sols



Indicateurs de la qualité du sol :

- Texture
- Cailloux, éléments minéraux >2mm
- Profondeur des sols
- ...

Exemples d'indicateurs (fonctionnement du sol)

Test bêche etc.

Test de stabilité structurale (en surface ou dans le sol, mesure la résistance des agrégats à l'humectation)

- en laboratoire (sur mottes intactes : certains laboratoires)
- au champ : Slack test

Exemple :



Éprouvette
(ou bocal cornichon)

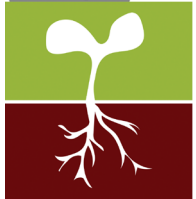


Kit Slake test -USDA



Kit ABSol©

Sessions digitales



**Rencontres
Techniques**
de Terres Inovia

Indicateurs de fertilité physique des sols



Exemples d'indicateurs (fonctionnement du sol)

Test bêche etc.

Test de stabilité structurale

Test d'infiltration

Mesure de la vitesse d'infiltration de l'eau

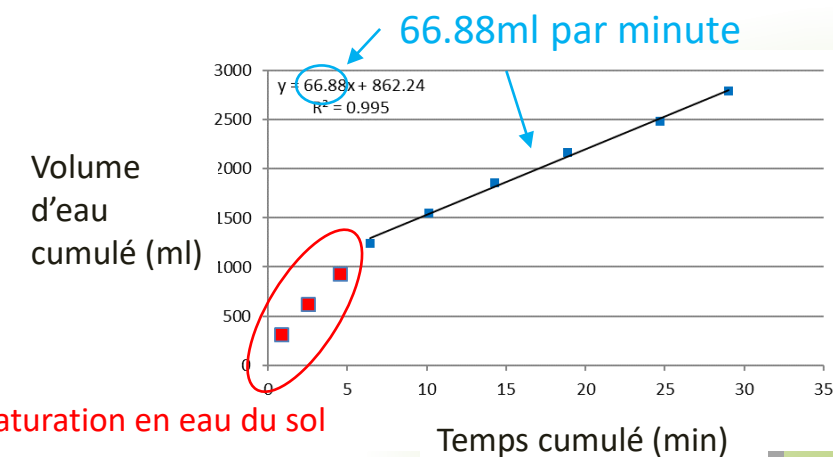


Méthode Beerkan (Lassabatère et al., 2006)

Indicateurs de la qualité du sol :

- Texture
- Cailloux, éléments minéraux >2mm
- Profondeur des sols

Variations significatives observables à l'échelle annuelle

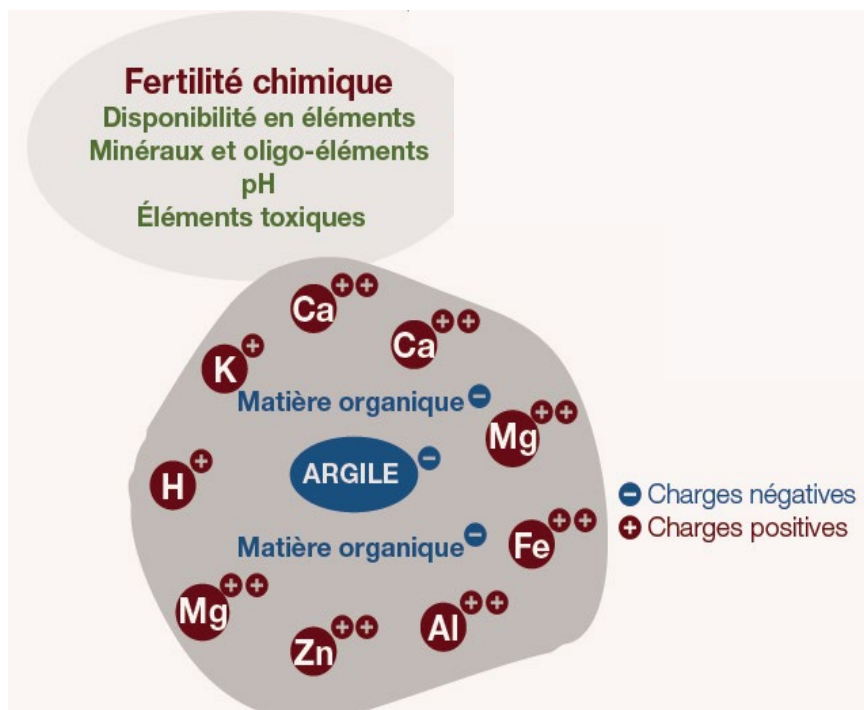


Sessions digitales



**Rencontres
Techniques**
de Terres Inovia

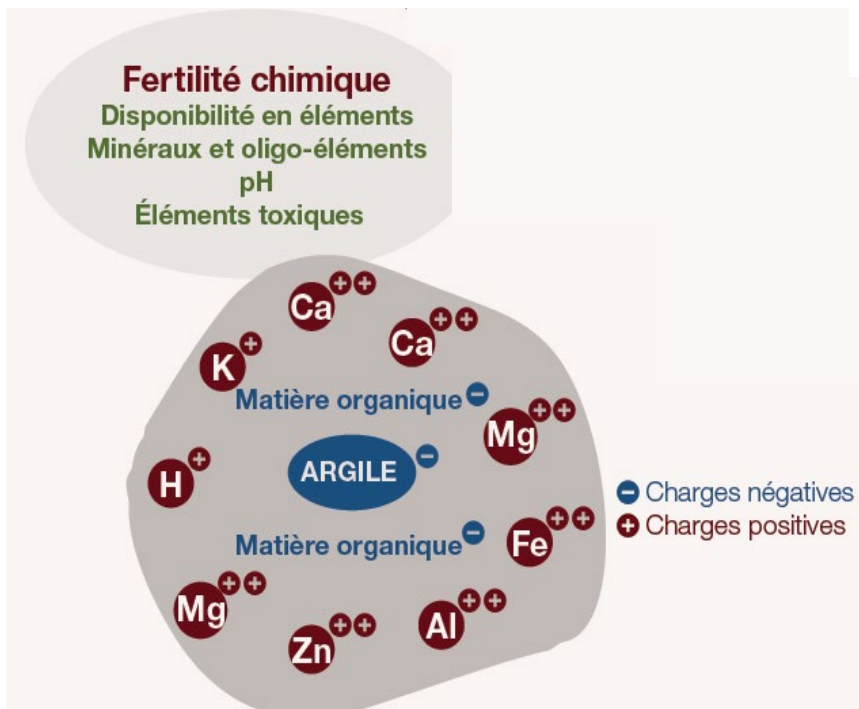
Indicateurs de fertilité chimique des sols



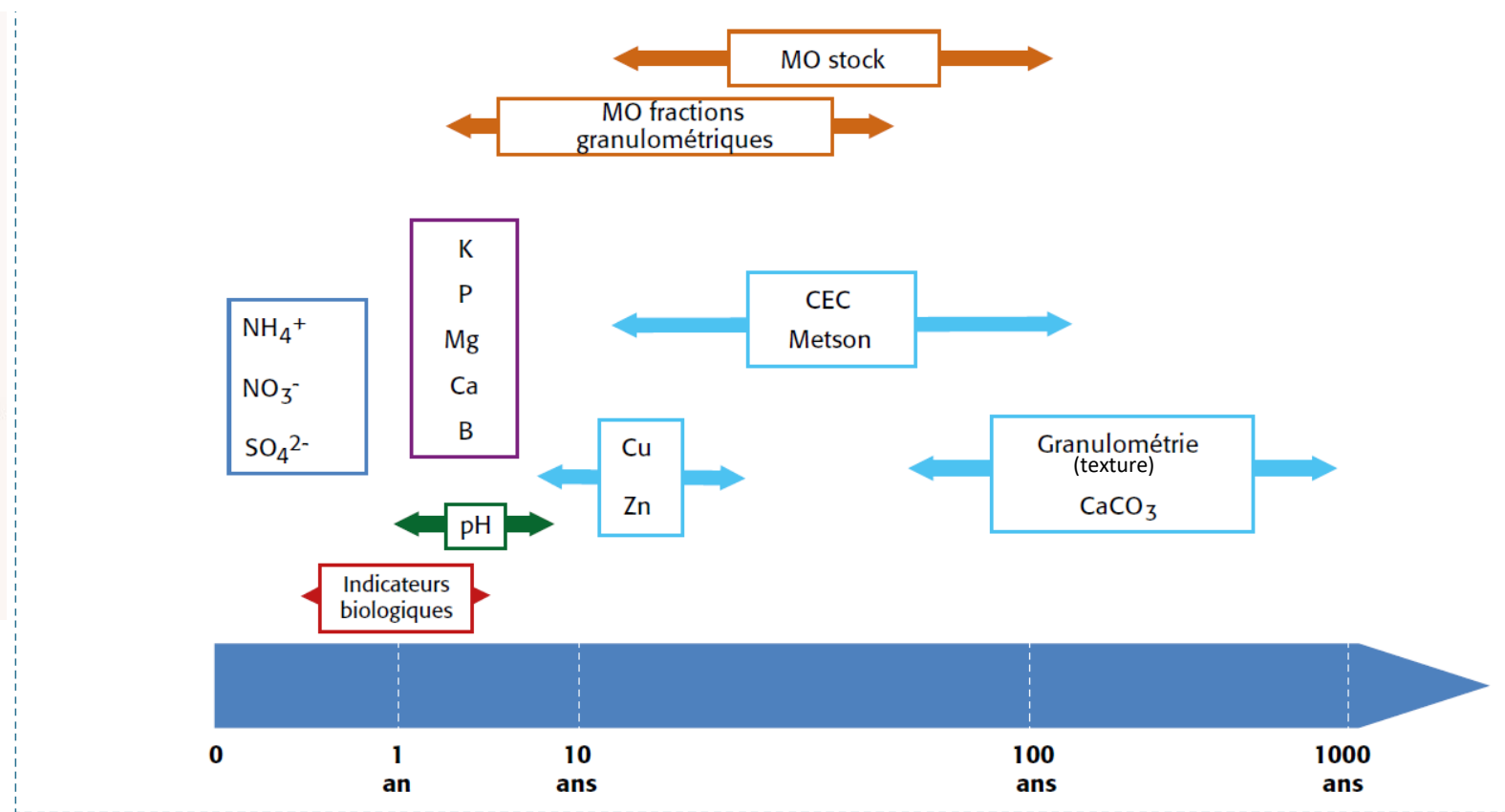
Mesures en laboratoire, normes (sur sol sec tamisé à 2mm):

- Capacité d'échange cationique (CEC)
- Disponibilité en éléments majeurs (Ca, Mg, K) et oligoéléments (bore, manganèse, zinc etc...)
- Teneurs en nitrate, ammonium (à un instant t)
- Teneur en phosphore assimilable
- Teneur en matière organique
- Fractions granulométriques de la matière organique (proportion des fractions rapidement minéralisables ou stables)
- ...
- Importance du pH

Indicateurs de fertilité chimique des sols



Durée nécessaire pour observer une variation significative



Source : L'analyse de terre pour les grandes cultures et les prairies temporaires - Guide d'interprétation (ARVALIS)

Indicateurs de fertilité biologique des sols

Deux grandes catégories

1) basés sur l'abondance, l'identification **d'organismes** du sol :
ex. vers de terre → stock

2) basés sur la **mesure d'activités biologiques** sans
nécessairement en connaître les acteurs (fonctionnement
organiques et biologiques) → flux



Indicateurs de fertilité biologique des sols

1) basés sur l'abondance et l'identification d'organismes du sol

Possible sur tous les organismes de la faune du sol

En pratique majoritairement sur →

& mesures « indirectes » des microorganismes (abondance)

C des parois cellulaires (biomasse microbienne fumigation)

ADN total, ADNr 16S (bactéries), ADNr 18S (champignons)

ergostérol (champignons)



Vers de terre



Photo INRA

Carabes



Nématodes



Collemboles



Nature Education, 2012

*Microorganismes :
champignons
& bactéries*

Indicateurs de fertilité biologique des sols

1) basés sur l'abondance et l'identification d'organismes du sol

- Nécessite une certaine **expertise**
Laboratoire de prestation existe pour la nématofaune,
à venir : carabes, collemboles, vers de terre (Projet AGRO-ECO SOL, Aurea/INRAE)
- Besoins d'affiner **les liens** entre les **organismes du sol** et
 - la fertilité/les fonctions du sol
 - les **pratiques agricoles**
Nématodes : bien avancé
Vers de terre, collemboles, carabes (AGRO-ECO SOL, projets européens)
- **Référentiels** existants et/ou en cours de développement
ex. ELIPSO (nématodes), DATASOL (REVA),
Observatoire Participatif des vers de terre (OPVT)
Atlas français des bactéries du sol (INRAE) ...



Vers de terre



Photo INRAE

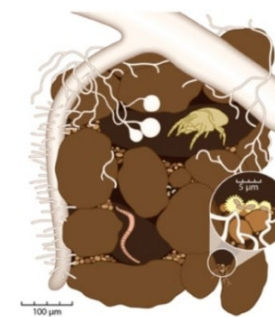
Carabes



Nématodes



Collemboles



Nature Education, 2012

Microorganismes :
champignons
& bactéries

Indicateurs de fertilité biologique des sols

1) basés sur l'abondance et l'identification d'organismes du sol





Vers de terre (sur sols humides, hors gel) :

→ Méthode rigoureuse demande du temps (tri manuel et moutarde; nombreuses répétitions)

Guides disponibles pour l'identification (anéciques, endogés et épigés)

→ Méthodes simplifiées : information obtenue limitée (si moutarde ou tri manuel sur peu de répétitions)

→ Bon compromis (temps, information obtenue) : évaluer les niveaux de bioturbation

	B0 Pas de bioturbation	B1 Peu de bioturbation	B2 En cours de régénération	B3 Régénération très développée
Trais distinctifs de reconnaissance	Absence totale de traces de bioturbation.	Quelques traces de bioturbation, surtout des macropores.	Nombreuses traces, surtout localisées sur le pourtour de la motte. Présence de portion(s) tassée(s) non bioturbées de taille significative (3-5 cm).	Nombreuses traces, sur toute la surface de la motte. Éventuellement quelques petites portions tassées peu ou pas bioturbées isolées.
Illustrations				

Ex. Notation de la bioturbation à l'échelle des mottes (AgroTransfert RT)

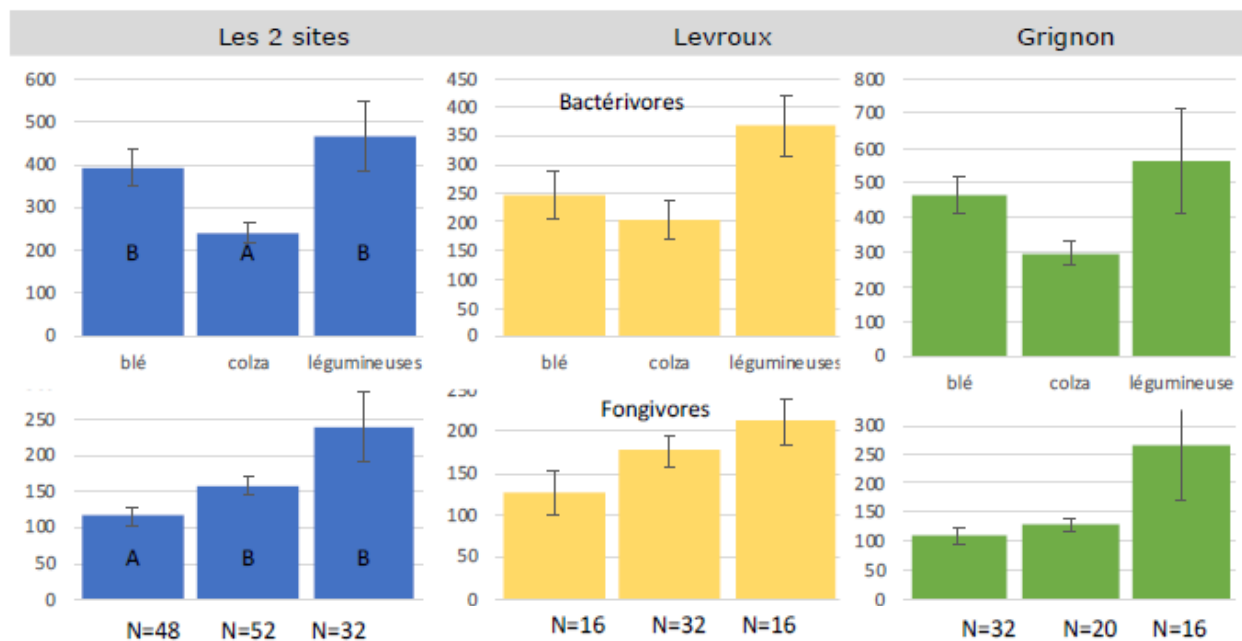
Indicateurs de fertilité biologique des sols

1) basés sur l'abondance et l'identification d'organismes du sol

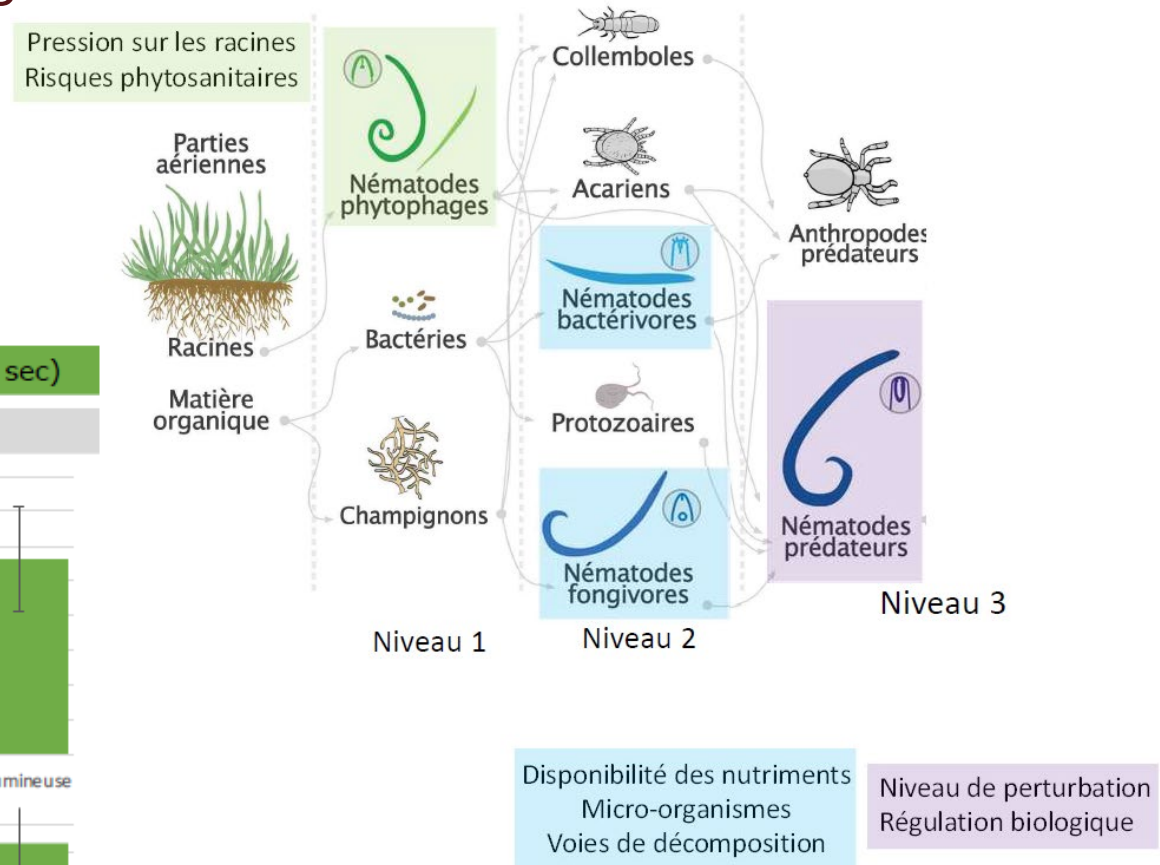
Nématofaune du sol :

- indicateur robuste, son coût peut être un frein
- nécessite un prélèvement de terre classique (sol frais à envoyer rapidement au laboratoire)
- indicateurs fonctionnels

Abondance des différents groupes trophiques de nématodes (individus / 100g sol sec)



Essais Terres Inovia (2015-2019)

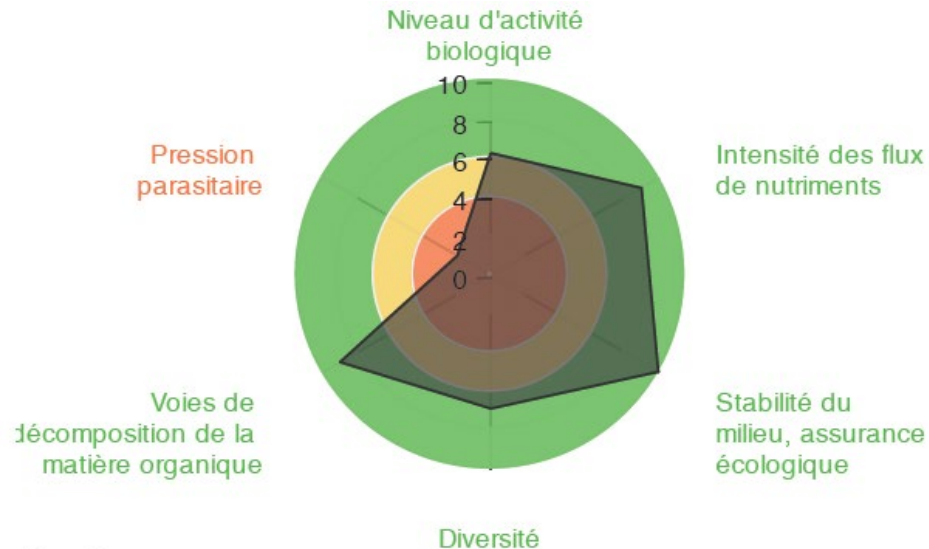


Indicateurs de fertilité biologique des sols

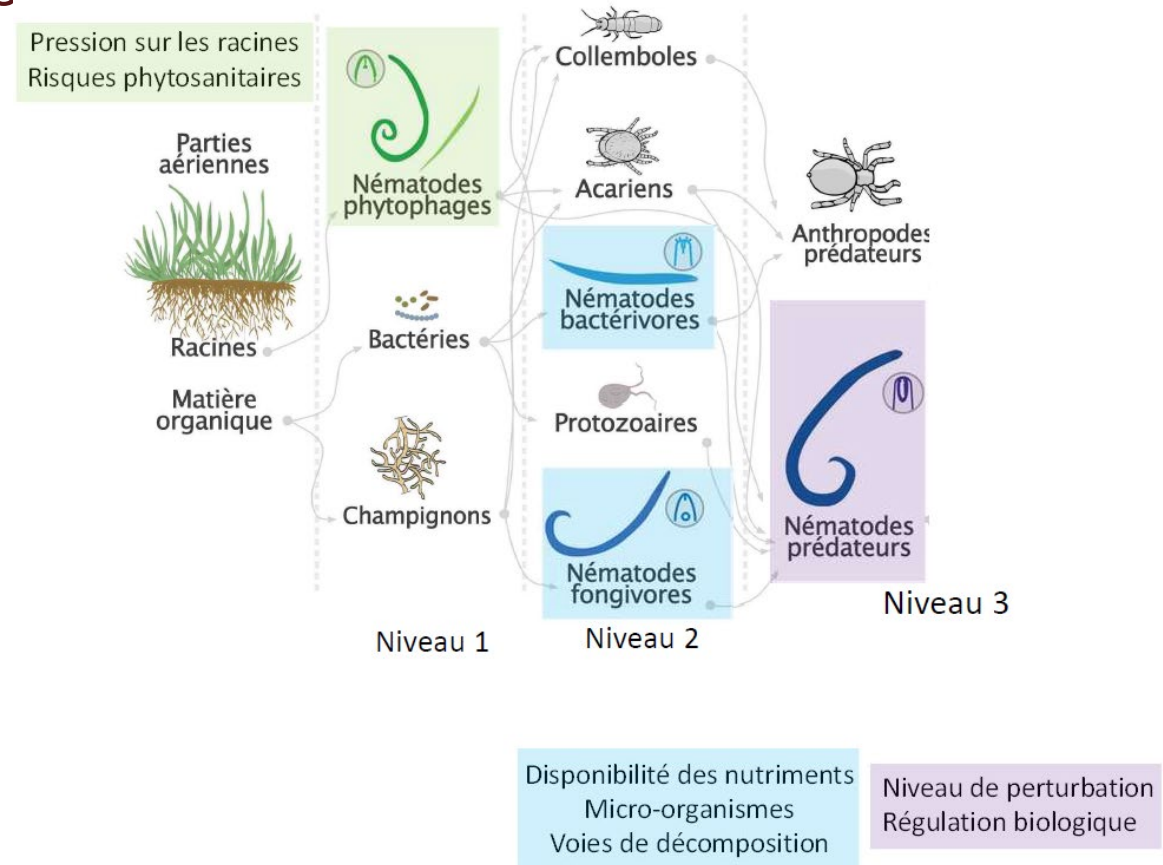
1) basés sur l'abondance et l'identification d'organismes du sol

Nématofaune du sol :

- indicateur robuste, son coût peut être un frein
- nécessite un prélèvement de terre classique (sol frais à envoyer rapidement au laboratoire)
- indicateurs fonctionnels



Légende:
 Zone rouge: le seuil critique est atteint (risque de dysfonctionnement)
 Zone verte: le fonctionnement est correct
 Ligne noire: les valeurs prises par votre échantillon
 Zone grise: le profil de votre échantillon



Source: ELISOL environnement

Indicateurs de fertilité biologique des sols

2) basés sur les activités biologiques

- Evaluation au champ

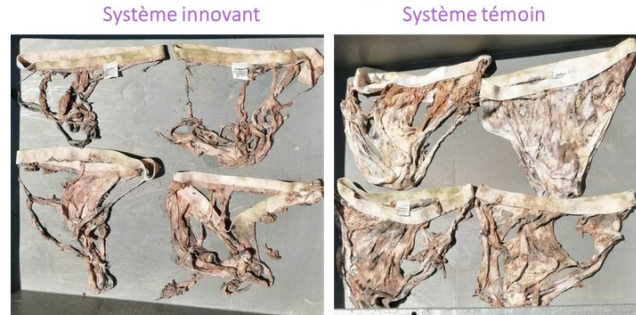


photo : CA Tarn

Quelques exemples :

- Activités vers de terre (niveau de bioturbation)

- « Test du slip », sachets de thé ...

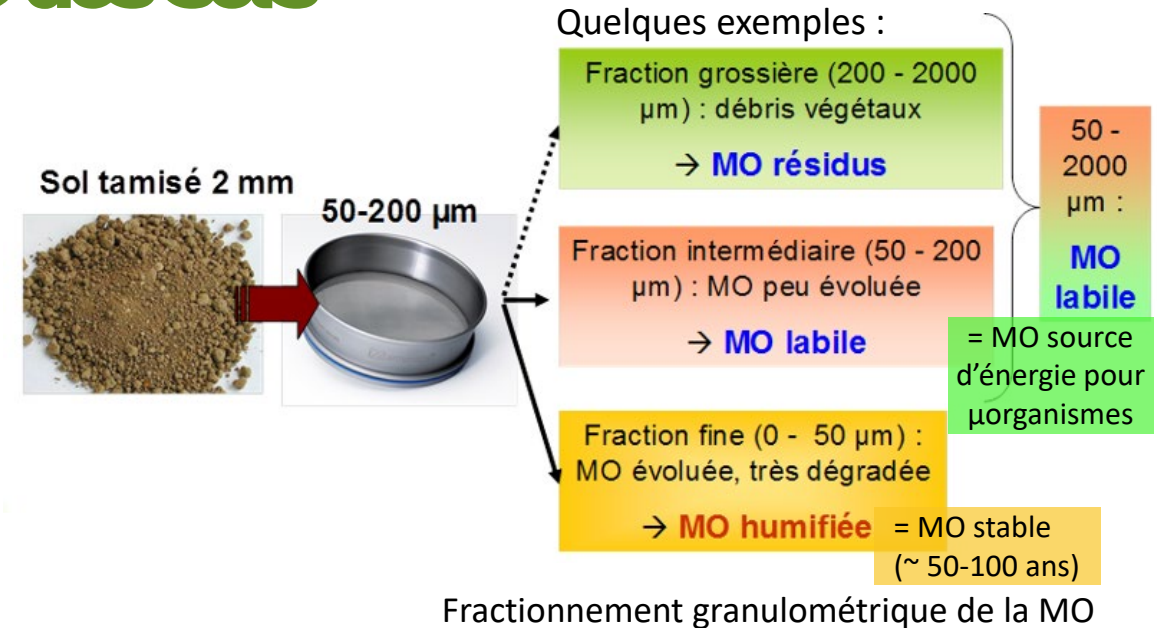


Ex. Test sur les plateformes Syppre Lauragais (source Arvalis)

- Mesures en laboratoire

- Certaines effectuées en routine depuis 10-20 ans (fractionnement MO, potentiel minéralisation C & N)

- Avancées récentes sur les indicateurs microbiologiques :
→ Référentiel et outil de diagnostic **Microbioterre**



Teneur en carbone labile oxydable par le KMnO_4 POxC (labo de routine et au champ)

Source : Auréa Agrosociences

Microbioterre

Des indicateurs microbiologiques dans l'analyse de terre de routine :

Projet Casdar Microbioterre (2017-2021)

Pilote



Partenaires financés



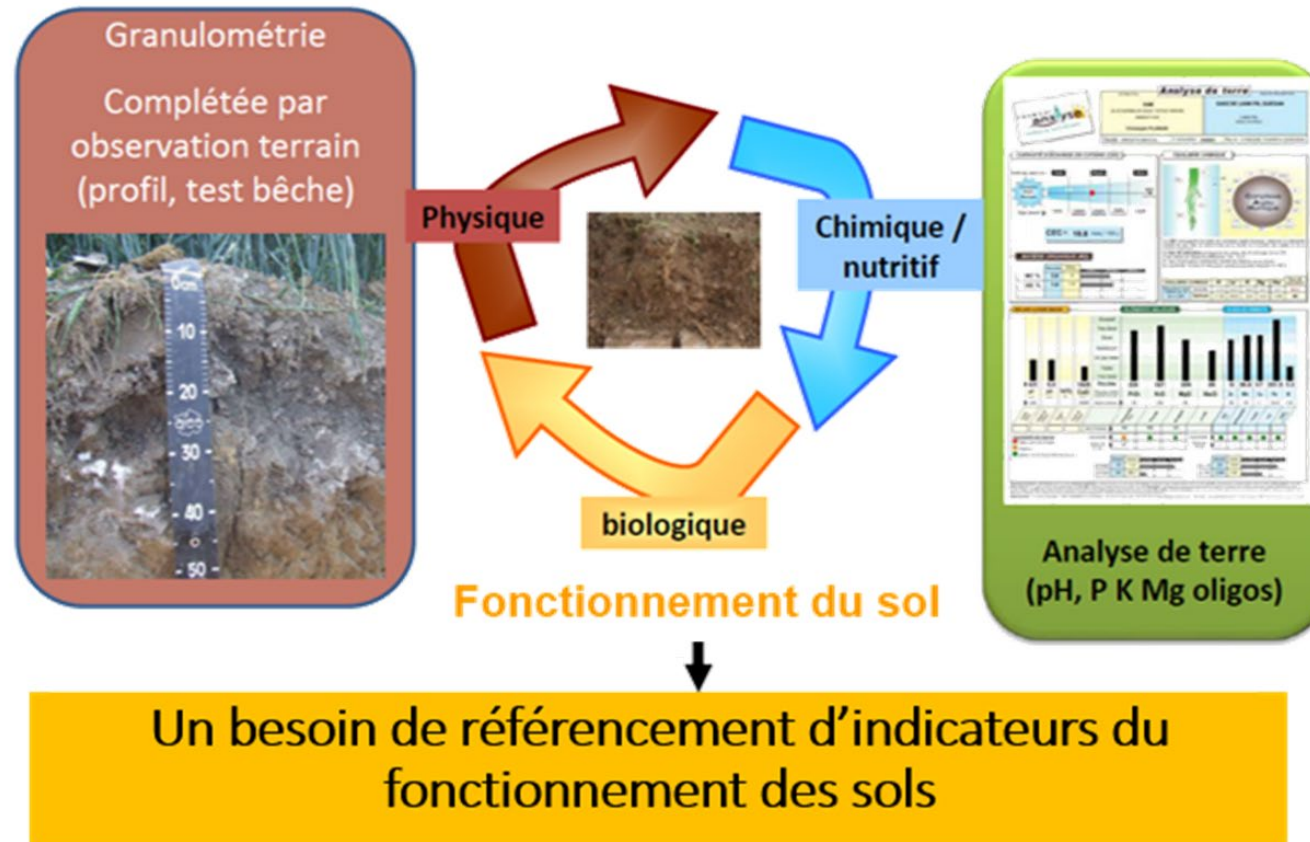
Partenaires non financés



Soutien



Analyses de sols en laboratoires de routine



Indicateurs physico-chimiques & biologiques mesurés

Indicateurs physico-chimiques

Observations terrain : Test bêche

- Niveau de compaction
- Taux de couverture du sol
- Taux de cailloux

Autres Paramètres

- Texture
- CEC
- pH,...

Fractionnement granulométrique MO



Fraction stables et Labiles MO

- C & N Tot, C org, C inorg
- C labile KMnO4

RELANCE
AGRONOMIQUE

Abondances microbiennes

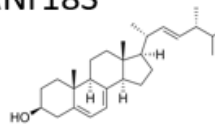
Abondance des microorganismes totaux

- Biomasse microbienne (MBC) 
- ADN total 

Abondance des bactéries

- Gènes codant ARNr16S




Abondance des champignons

- Gènes codant ARNr18S
- Ergostérol libre 
- Ergostérol total





Activités microbiennes

Activités enzymatiques in situ

- FDA  
- β- Glucosidase 

- Leucine aminopéptidase

- Protéase

- Arylamidase  

Minéralisation C & N

- Minéralisation C&N en 28 jours
- Azote potentiellement minéralisable
- Azote biologiquement minéralisable

Sessions digitales



**Rencontres
Techniques**
de Terres Inovia

Laboratoires ayant effectués les analyses :



Webinaire Fertilité des sols – 27 octobre 2022



Evaluation de l'aptitude des indicateurs...

Liens Indicateurs – 3 fonctions du sol (*16 sous-fonctions*)

Revue bibliographique
80 articles scientifiques

→ ...à renseigner les niveaux de fonctions
et processus (ss fonctions)

Aptitude des indicateurs à renseigner les niveaux de fonctions

Indicateurs du menu	Recyclage des nutriments					Transformation du carbone					Structure du sol				
	Fourniture N			Perte N		Transformation MO		Perte MO	Augmentation MO		Erosion Battance		Porosité		Stockage eau
	Ammonification	Nitrification	Fixation symbiotique	Réduction du NO3	Volatilisation	Fragmentation	Biodégradation	Minéralisation (CO2)	Stabilisation chimique	Stabilisation physique	Agrégation (Macro)	Agrégation (Micro)	Aération/Circulation eau - air	Infiltration en eau	Rétention en eau
C org (%)	+	+		+				+	+	+	+	+	+	+	+
C 0-50 µm (%)									+						
C 50-200 µm (%)								+			+				
C 200-2000 µm (%)						+		+							
C 50-2000 µm (%)								+							
C KMnO4 (mg/kg)				+				+			+		+	+	+
N total (%)	+	+	-												
N 0-50 µm (%)															
N 50-200 µm (%)	+	+													
N 50-2000 µm (%)															
C microbien (mg/kg)								+			+				
18S (copies/g)											+				
LAP (nmol/min/g)	+	+													
ARYLN (nmol/min/g)	+														
Protéase (nmol/min/g)	+	-						+			+				
ABM (mg/kg)	+				+						+				
B-Glu (nmol/min/g)	+	+						+				+			

Fractionnement granulométrique MO

Fractionnement granulométrique MO

→ Une avancée majeure mais de nombreuses relations restent à étudier

Source : Guide d'interprétation MICROBIOTERRE 2022

Sessions digitales

Légende + relation positive entre l'indicateur et la fonction
- relation négative entre l'indicateur et la fonction

Sites expérimentaux échantillonnés

**Essais agronomiques
Campagne 2017 - 2018**






- 18 sites (20 essais)
- 61 modalités agronomiques
- Profondeur de prélèvement

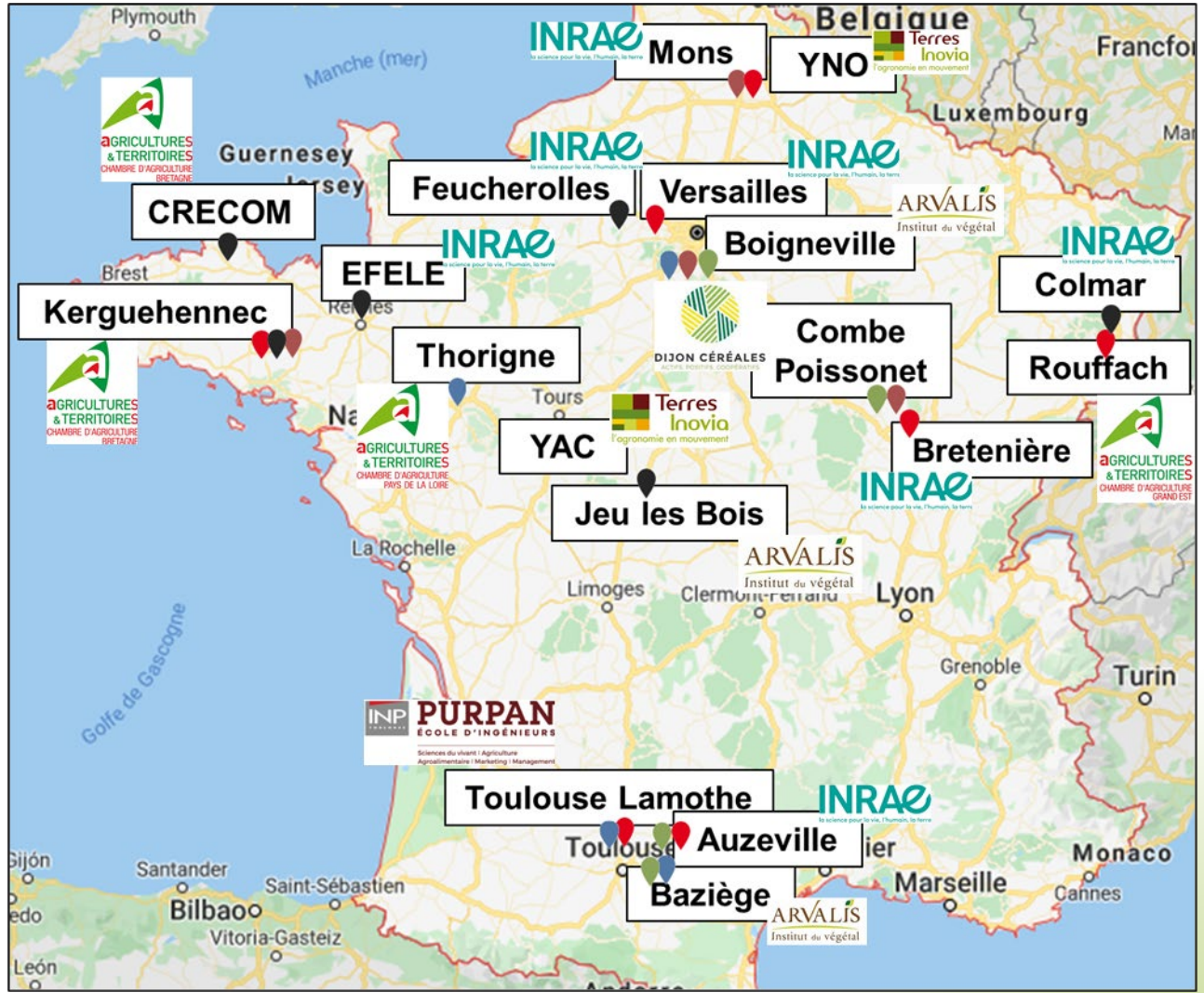
0 – 20 cm

Essais avec 2 ou 3 blocs de répétition

Pratiques culturales :
Mises en place depuis minimum 5 ans

5 pratiques culturales :

- Durée de la rotation**  Rotation longue vs. Rotation courte (ref.)
- Travail du sol**  Travail superficiel ou SD vs. Labour (ref.)
- Couverts Intermédiaires**  Avec vs. sans couverts (ref.)
- Produits résiduaire organiques**  Avec vs. sans apport PRO (ref.)
- Systèmes de culture**  Syst. Innovant ou bio. vs. Syst. conventionnel (ref.)



Techniques de Terres Inovia

Evaluation de l'aptitude des indicateurs...

Liens Indicateurs – 3 fonctions du sol (*16 sous-fonctions*)

Revue bibliographique
80 articles scientifiques

→ ...à renseigner les niveaux de fonctions

Liens Indicateurs – Pratiques culturelles

Articles bibliographiques
147 articles

Analyses menées dans le projet
20 essais agronomiques de longue durée

→ ...à renseigner les liens aux pratiques

+ Critères d'évaluation des indicateurs:

- redondance de l'information
- faisabilité technique pour un laboratoire de routine
- coût

Aptitude des indicateurs à discriminer les pratiques

Tableau 5 : effet des leviers agronomiques sur les indicateurs (comparaison levier/témoin)

Indicateurs du Menu Microbioterre		PRO	Couverts intermédiaires	Réduction travail du sol	Rotation	Systèmes de culture		
Indicateurs physico-chimiques	Carbone	C org (%)	16%	6%	2%	2%	4%	
		Fract	C 0-50 (%)	-4%	-3%	-2%	1%	-1%
			C 50-200 (%)	35%	42%	3%	-5%	10%
		MO	C 200-2000 (%)	16%	27%	10%	-3%	13%
			C 50-2000 (%)	27%	37%	22%	-4%	10%
		C labile oxydé (mg/kg)	32%	2%	6%	13%	7%	
	Azote	N total (%)	19%	5%	4%	13%	5%	
		Fract	N 0-50 (%)	-3%	0%	0%	1%	-1%
			MO	N 50-200 (%)	40%	10%	6%	-8%
		N 50-2000 (%)		34%	6%	5%	-12%	13%
Indicateurs microbiologiques	Abondance	Biomasse microbienne (mg/kg)	38%	7%	7%	23%	20%	
		18S (copies/g)	82%	29%	42%	65%	4%	
	Activités	ABM (mg/kg)	36%	12%	-1%	8%	1%	
		Protéase (nmol/min/g)	26%	11%	-9%	7%	15%	
		Leucine amino-peptidase (nmol/min/g)	22%	9%	1%	18%	12%	
		Arylamidase (nmol/min/g)	36%	17%	10%	30%	21%	
		Glucosidase (nmol/min/g)	11%	-6%	-20%	24%	14%	

12 indicateurs retenus



- Pratique culturale impactant *positivement* l'indicateur
- Pratique culturale *influençant peu* l'indicateur
- Pratique culturale impactant *négativement* l'indicateur

Source : Guide Microbioterre

Guide d'interprétation disponible en ligne

Guide d'interprétation à l'analyse des bioindicateurs du sol
3.6. Indicateur de microbiologie : Protéase

Microbioterre

Définition	La protéase est une enzyme permettant aux microorganismes du sol de se fournir en carbone. L'activité de la protéase est impliquée dans le cycle de l'azote en participant à la décomposition et minéralisation des molécules organiques azotées, tels que les protéines et les peptides, en acides aminés.																																																								
Unité	nanomole par minute et par gramme de sol sec																																																								
Mesure	La méthode de mesure est basée sur un dosage en colorimétrie suivant le protocole de Ladd & Butler, (1972).																																																								
Relation avec les fonctions du sol	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Recyclage des nutriments</th> <th colspan="4">Transformation du carbone</th> <th colspan="4">Structure du sol</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Fourniture N</th> <th colspan="2">Perte N</th> <th colspan="2">Transformation MO</th> <th colspan="2">Perte MO</th> <th colspan="2">Erosion Battance</th> <th colspan="2">Porosité</th> <th colspan="2">Stockage eau</th> </tr> <tr> <th>Ammonification</th> <th>Nitrification</th> <th>Fixation symbiotique</th> <th>Réduction du NDS</th> <th>Volatilisation</th> <th>Fragmentation</th> <th>Bio-dégradation</th> <th>Minéralisation (CO₂)</th> <th>Stabilisation chimique</th> <th>Stabilisation physique</th> <th>Aggrégation (Macro)</th> <th>Aggrégation (Micro)</th> <th>Adhésion/Croûton</th> <th>Infiltration en eau</th> <th>Rétention en eau</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>+</td> <td>-</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>+</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>+</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Recyclage des nutriments				Transformation du carbone				Structure du sol				Fourniture N		Perte N		Transformation MO		Perte MO		Erosion Battance		Porosité		Stockage eau		Ammonification	Nitrification	Fixation symbiotique	Réduction du NDS	Volatilisation	Fragmentation	Bio-dégradation	Minéralisation (CO ₂)	Stabilisation chimique	Stabilisation physique	Aggrégation (Macro)	Aggrégation (Micro)	Adhésion/Croûton	Infiltration en eau	Rétention en eau	+	-						+				+			
Recyclage des nutriments				Transformation du carbone				Structure du sol																																																	
Fourniture N		Perte N		Transformation MO		Perte MO		Erosion Battance		Porosité		Stockage eau																																													
Ammonification	Nitrification	Fixation symbiotique	Réduction du NDS	Volatilisation	Fragmentation	Bio-dégradation	Minéralisation (CO ₂)	Stabilisation chimique	Stabilisation physique	Aggrégation (Macro)	Aggrégation (Micro)	Adhésion/Croûton	Infiltration en eau	Rétention en eau																																											
+	-						+				+																																														
Gamme de variation	<ul style="list-style-type: none"> Références Microbioterre : les valeurs s'étendent de 2,3 à 17,3 nmol/min/g sol, avec une moyenne à 6,6 nmol/min/g sol. La texture du sol a un impact sur les valeurs observées : plus la teneur en argile (texture fine) est élevée et plus l'indicateur est faible. Valeurs de références selon la texture : <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Min</th> <th>Faible</th> <th>Moy</th> <th>Elevée</th> <th>Max</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Toutes textures (n = 183)</td> <td>2.3</td> <td>4.6</td> <td>6.6</td> <td>8.6</td> <td>17.3</td> </tr> <tr> <td>Très fine (n = 21)</td> <td>3.9</td> <td>4.5</td> <td>5.0</td> <td>5.4</td> <td>6.2</td> </tr> <tr> <td>Fine (n = 15)</td> <td>2.3</td> <td>4.1</td> <td>4.8</td> <td>5.7</td> <td>7.0</td> </tr> <tr> <td>Moyenne fine (n = 57)</td> <td>2.5</td> <td>5.1</td> <td>6.1</td> <td>7.2</td> <td>8.7</td> </tr> <tr> <td>Moyenne grossière (n = 90)</td> <td>2.4</td> <td>5.4</td> <td>7.6</td> <td>9.6</td> <td>17.3</td> </tr> </tbody> </table> Autres référentiels français : pas de référence. <p>En nmol/min/g () : nombre de données du référentiel</p>		Min	Faible	Moy	Elevée	Max	Toutes textures (n = 183)	2.3	4.6	6.6	8.6	17.3	Très fine (n = 21)	3.9	4.5	5.0	5.4	6.2	Fine (n = 15)	2.3	4.1	4.8	5.7	7.0	Moyenne fine (n = 57)	2.5	5.1	6.1	7.2	8.7	Moyenne grossière (n = 90)	2.4	5.4	7.6	9.6	17.3																				
	Min	Faible	Moy	Elevée	Max																																																				
Toutes textures (n = 183)	2.3	4.6	6.6	8.6	17.3																																																				
Très fine (n = 21)	3.9	4.5	5.0	5.4	6.2																																																				
Fine (n = 15)	2.3	4.1	4.8	5.7	7.0																																																				
Moyenne fine (n = 57)	2.5	5.1	6.1	7.2	8.7																																																				
Moyenne grossière (n = 90)	2.4	5.4	7.6	9.6	17.3																																																				
Pratiques culturales	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PRO</th> <th>Couverts Intermédiaires</th> <th>Travail du sol</th> <th>Rotations</th> <th>Systèmes</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> <td>■</td> </tr> </tbody> </table>	PRO	Couverts Intermédiaires	Travail du sol	Rotations	Systèmes	■	■	■	■	■																																														
PRO	Couverts Intermédiaires	Travail du sol	Rotations	Systèmes																																																					
■	■	■	■	■																																																					
Interprétation	Une valeur élevée va se traduire par une fourniture en azote, une minéralisation de la MO et une stabilité structurale potentiellement élevées.																																																								

23

Guide d'interprétation à l'analyse des bioindicateurs
MICROBIOTERRE 2022
<https://urlz.fr/jAIA>

À destination des conseillers agricoles, agriculteurs et laboratoires

A voir également : Tscheiller et Perrin, Perspectives Agricoles 2022

Séminaire de restitution :

https://www.terresinovia.fr/documents/20126/726505/PPT_S%C3%A9minaire.pdf/6c5d3ad3-cf8f-d60b-ca52-38363db5113d?t=1664546362979



Perspectives du projet Microbioterre

❖ Besoin de déterminer les **valeurs souhaitables** pour chaque indicateur

❖ **Référentiels à consolider :**

Sols à textures sableuses ; sols calcaires et $\text{pH} < 6$; augmenter le nombre de références par pratiques agricoles ; établir des référentiels régionaux et par grandes classes de texture

Mesures au champ

Un outil combinant les indicateurs pour évaluer le niveau de fonctionnement des sols

Le set d'indicateurs Biofunctool

Set d'indicateurs Biofunctool

9 indicateurs de
3 fonctions du sol

Mesure in situ → score
de fonctionnement des sols

Critères :

- Au champ
- Low tech, facile
- Rapide
- Coût raisonnable

Maintien
de la
structure

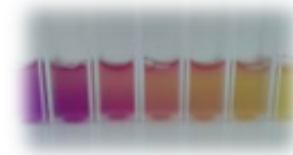
BIOFUNCTOOL

Transformation
du carbone

Cycle des
nutriments

• SituResp

Respiration basale du sol –
émission de CO₂ du sol par
l'activité microbienne



• FOXC

Pool labile de
carbone organique
du sol



• Lamina Baits

Activité de la mésofaune
et de la petite macrofaune



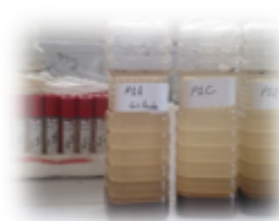
• Membranes échangeuses d'ions

Dynamique des nutriments
disponibles dans le sol



• Extraction de l'azote minéral

Quantification des nutriments
disponibles dans le sol



• AggSurf • AggSol

Stabilité des agrégats à
l'immersion dans l'eau



• Beerkan

Infiltration de l'eau dans
le sol



• VESS

Structure et compaction
d'un bloc de sol

Set d'indicateurs Biofunctool

Transformation du carbone	Cycle des nutriments	Maintien de la structure
<p>POXC (Weil et al., 2003)</p> <p>SituResp[®] (Thoumazeau et al., 2017)</p> <p>Bait Lamina (von Törne, 1990)</p>	<p>Extraction du N du sol</p> <p>Membrane échangeuse d'ions (Qian et Schoenau, 2002)</p>	<p>Beerkan (d'après Lassabatère et al., 2006)</p> <p>Stabilité des agrégats de surface (0-2cm) (Herrick et al., 2001)</p> <p>Stabilité des agrégats (2-10cm) (Herrick et al., 2001)</p> <p>VESS (Guimaraes et al., 2011)</p>

Des indicateurs mesurables au champ, validés scientifiquement

Méthodologie de traitements statistiques des données transparente (publiée)

Application numérique en cours de développement (modes opératoires, traitement simplifié des résultats, etc.)

Sessions digitales

Evaluation du set d'indicateurs Biofunctool

Validé en conditions tropicales

Set évalué par Terres Inovia sur 30 parcelles agricoles et 2 essais expérimentaux : sensibilité avérée des indicateurs

Exemple de
Résultat :

Comparaison de 2 parcelles voisines dans l'Aude

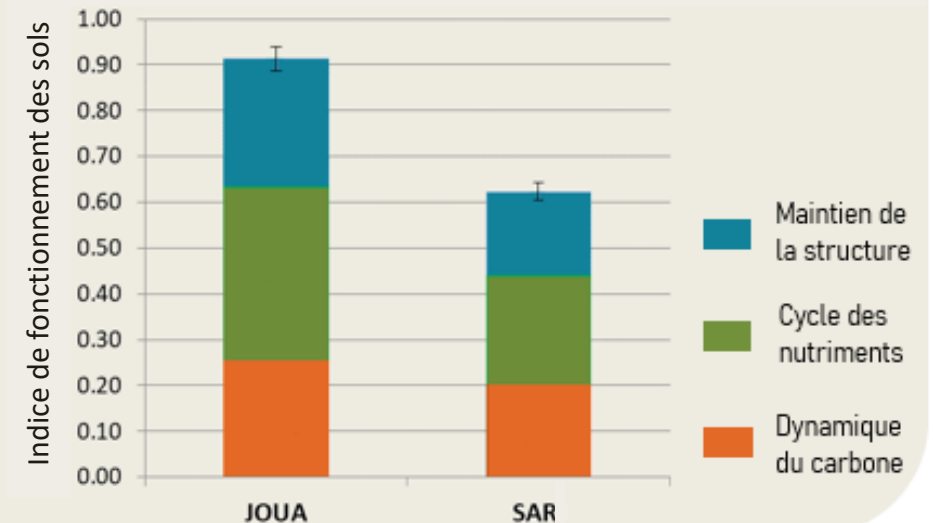


SAR : conventionnel avec labour automne, sol nu durant l'interculture



JOUA : 20 ans de travail du sol superficiel avec couverture estivale

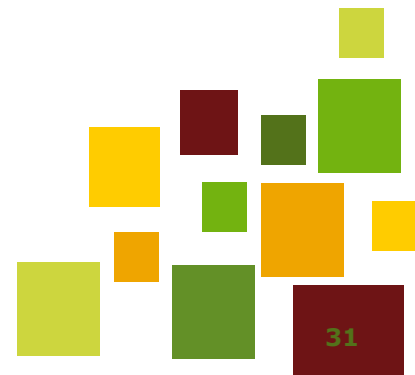
Résultat développé sous forme d'un indice de fonctionnement des sols qui synthétise la contribution de chaque fonction à l'indice



D'après Rakotondrazafy et al. (2021)

Evaluation du set d'indicateurs Biofunctool

- Utilisable pour comparer des pratiques dans un même contexte pédoclimatique
- En phase d'amélioration pour une utilisation 100% au champ
- Besoin d'améliorer la facilité de mise en œuvre de certains indicateurs
- Résultats difficiles à traiter (analyses statistiques) : application numérique en dévelpmt



Conclusion

- Des indicateurs en laboratoire et au champ sont disponibles pour évaluer la **fertilité physique, chimique et biologique** des sols
 - Aide au choix en ligne Picasol <https://nouvelle-aquitaine.chambres-agriculture.fr/innovation/fertilite-des-sols/picasol/>
 - Guide des méthodes d'observation Outillage <https://www.terresinovia.fr/web/institutionnel/-/outillage-1>
 - Guide d'interprétation Microbioterre
- Des **outils** sont disponibles mais à **consolider** pour évaluer le **fonctionnement des sols** et à compléter pour guider les changements de pratiques
(développé dans les prochaines présentations)
- Il est essentiel de se poser la question de la pertinence des indicateurs par rapport aux objectifs d'amélioration du fonctionnement du sol.
- Utiliser des combinaisons d'indicateurs.