



Quelles pratiques de
fertilisation
pour accompagner la **diversité**
des systèmes de culture ?



Prise en compte des indicateurs biologiques du sol pour le raisonnement de la fertilisation

Matthieu Valé

Auréa AgroSciences

Co-animateur du groupe COMIFER Fertilité Organique et Biologique des Sols (FOrBS)



Comité Français d'Étude et de Développement
de la Fertilisation Raisonnée



- Indicateurs biologiques : où en est-on ?
- Indicateurs biologiques et conseil de fertilisation
- Indicateurs biologiques et gestion de la fertilisation



Indicateurs biologiques : où en est-on ?



Qu'est-ce qu'un indicateur ?

- 1. Méthodes** pour mesurer la biodiversité / l'activité biologique / le statut organique des sols, **sensibles**, **reproductibles**, (*normalisées*)
- 2. Indicateurs** = méthodes disposant de **référentiels** et **liens avec les fonctions du sol** permettant de poser un **diagnostic**
- 3. Outils de conseil** = agrégation d'indicateurs avec **mise en œuvre opérationnelle** pour maintenir, améliorer, orienter la biodiversité et l'activité biologique des sols



Indicateurs biologiques : où en est-on ?



Méthodes de mesure



Microbioterre

Des indicateurs microbiologiques dans l'analyse de terre de routine

« Présentation du projet Casdar Microbioterre »

Barbot Christophe¹, Bennegadi-Laurent Nadia², Bouthier Alain³, Cusset Elodie², Deschamps Thibaud⁴, Gendre Sophie³, Houot Sabine⁵, Leclerc Blaise⁶, Perrin Anne-Sophie⁷, Recous Sylvie⁸, Riah-Anglet Wassila², Roussel Pierre-Yves⁹, Trinsoutrot-Gattin Isabelle², Valé Matthieu¹⁰

¹Chambre d'agriculture d'Alsace, ²UNILASALLE, unité de recherche AGHYLE, ³ARVALIS, ⁴PUR Projet, ⁵INRAE UMR ECOSYS, ⁶ITAB, ⁷TERRES INOVIA, ⁸INRAE, URCA UMR FARE, ⁹Chambre d'agriculture de Bretagne, ¹⁰AUREA AgroSciences

Pilote



Partenaires financés



Partenaires non financés



Soutien



PORTEUR DU PROJET **auréa** AgroSciences

PARTENAIRES **INRAE** **ARVALIS**

CONTRIBUTEURS

Sociétés expertise conseil	Coopératives	Laboratoires privés	Laboratoires de recherche	Ecole d'ingénieurs

Montant total du projet : 5,4 M€ dont 2 M€ d'aide PIA



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





Indicateurs biologiques : où en est-on ?



Méthodes de mesure

Les différents compartiments du carbone et de l'azote du sol

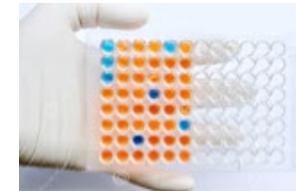
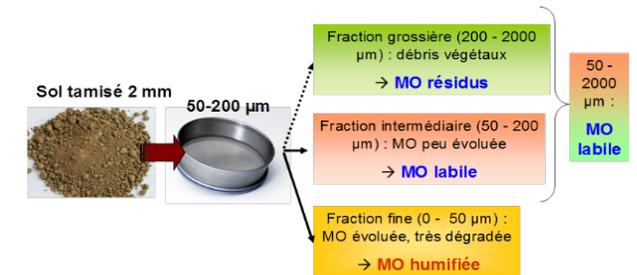
(carbone actif extrait au KMnO_4 , fractionnement granulométrique de la MO, azote minéralisable (APM, ABM, incubation), carbone minéralisable (incubation), carbone microbien)

L'activité des micro-organismes du sol

(activités enzymatiques **C** (beta-Glucosidase, beta-Galactosidase), **N** (Uréase, Arylamidase, Protéase), **P** (Phosphatases), **S** (Arylsulfatase))

L'abondance et la diversité des organismes du sol

- méthodes moléculaires : micro-organismes (bactéries, champignons),
- identification morphologique : microfaune (nématodes), mésofaune (collemboles et acariens), macrofaune (carabidae et vers de terre).





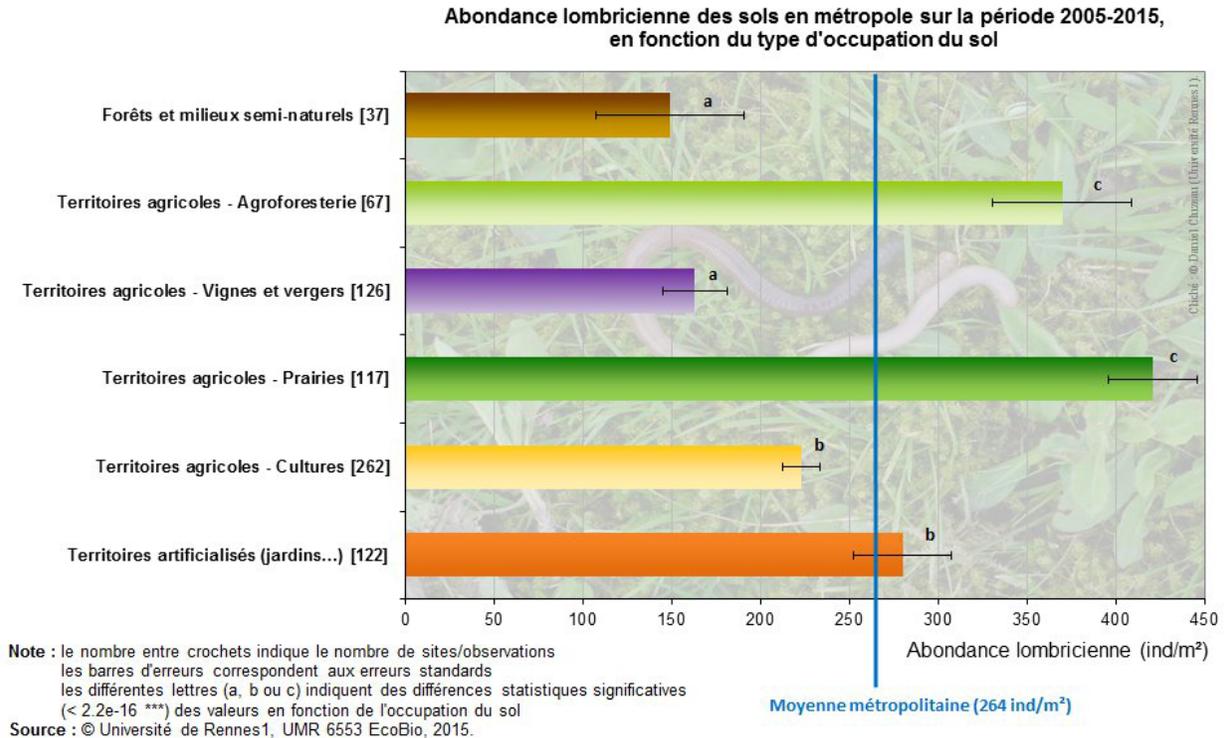
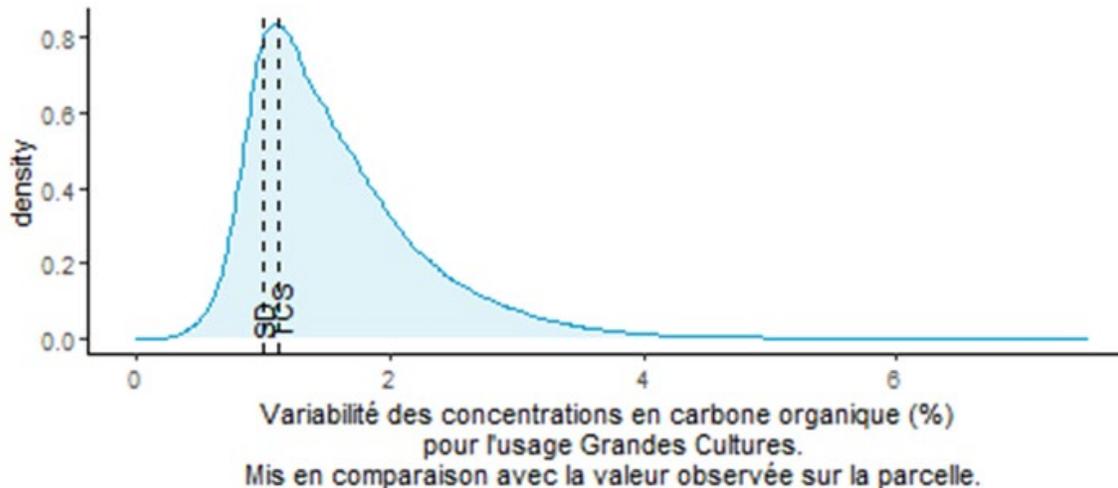
Indicateurs biologiques : où en est-on ?



Référentiels : de la gamme de variation à la valeur souhaitable

Distribution : valeur min – max, médiane

→ description, positionnement relatif



<https://naturefrance.fr/indicateurs/abondance-des-vers-de-terre>



Indicateurs biologiques : où en est-on ?

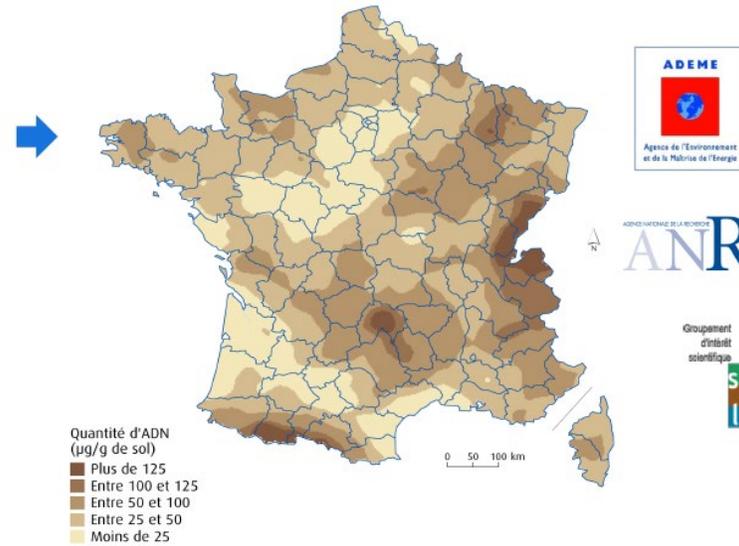


Référentiels : de la gamme de variation à la valeur souhaitable

Impact du pédoclimat

Biomasse Microbienne Moléculaire (BMM)

Carte de France de la biomasse moléculaire microbienne



<http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr/indicateurs/evolution-de-la-biomasse-microbienne-des-sols-en-metropole>

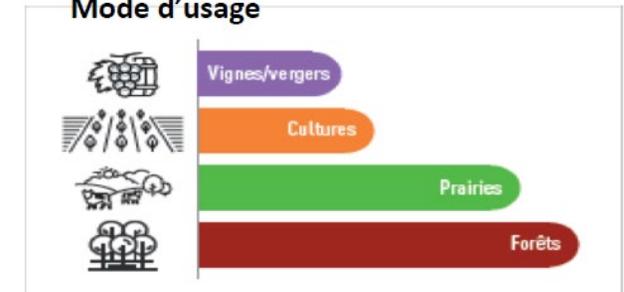
Type de sol

Carbonates de Calcium ⊖⊖	ratio C/N ⊖
Potassium ⊖	pH ++
Teneur en argile ++	Carbone organique +++

INRAE

Agroécologie
Dijon
Unité de Recherche

Mode d'usage



→ explication, possibilité de définir une valeur attendue de l'indicateur

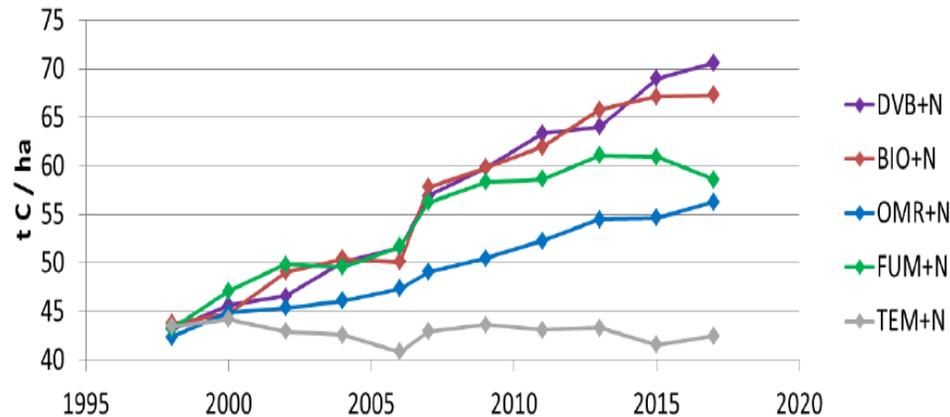


Indicateurs biologiques : où en est-on ?

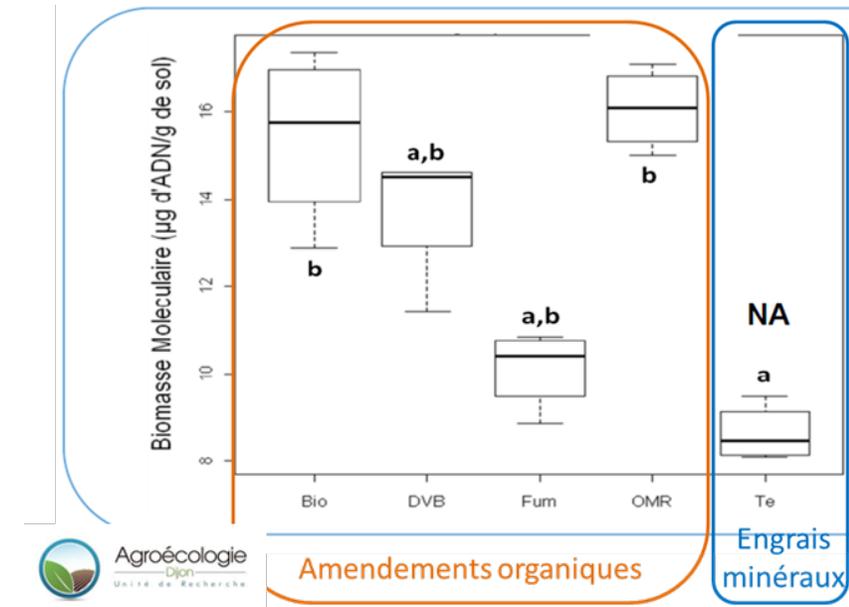


Référentiels : de la gamme de variation à la valeur souhaitable

Impact des pratiques culturales



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



→ Explication + choix de leviers

→ Impact des PRO très documenté, plus limité pour les autres pratiques



Indicateurs biologiques : où en est-on ?

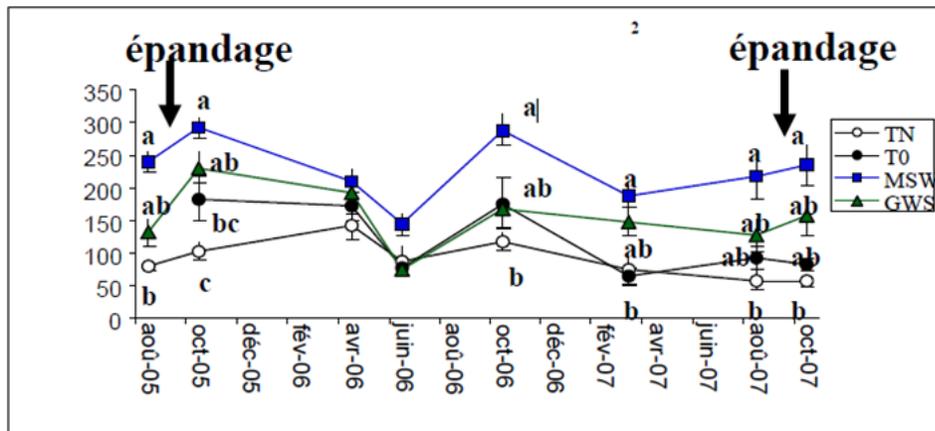


Référentiels : de la gamme de variation à la valeur souhaitable

Liens avec les fonctions du sol

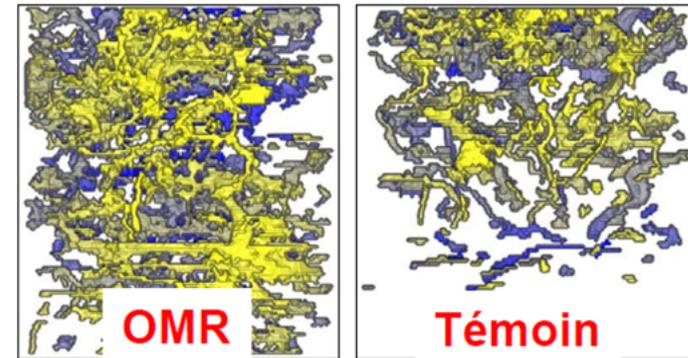


Augmentation de la densité de vers (nombre/m²)



OMR
DVB

Augmentation de la porosité



(Capowiez et al., 2009)

→ Interprétation possible (ex : le plus c'est le mieux)

→ Données disponibles à capitaliser, nouvelles acquisitions nécessaires

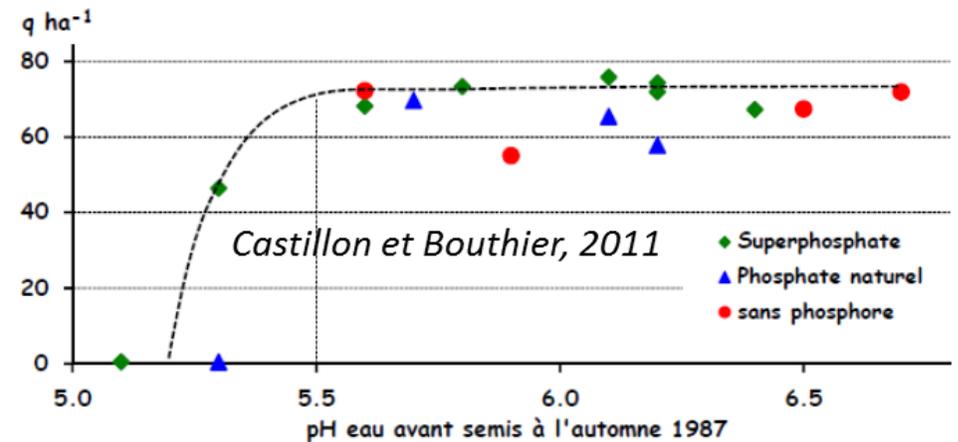
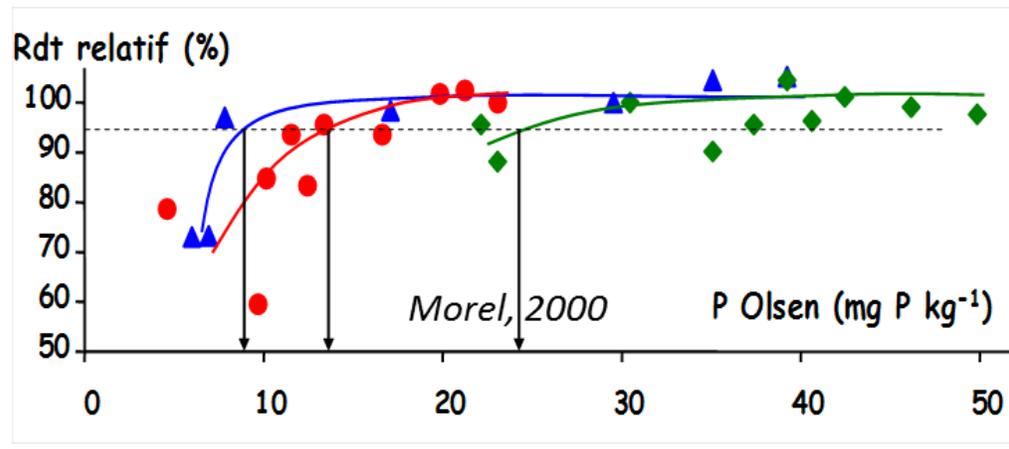


Indicateurs biologiques : où en est-on ?



Référentiels : de la gamme de variation à la valeur souhaitable

Définir un niveau souhaitable et un conseil opérationnel



→ Ce qui existe pour l'analyse de terre physico-chimique reste à construire pour les bioindicateurs

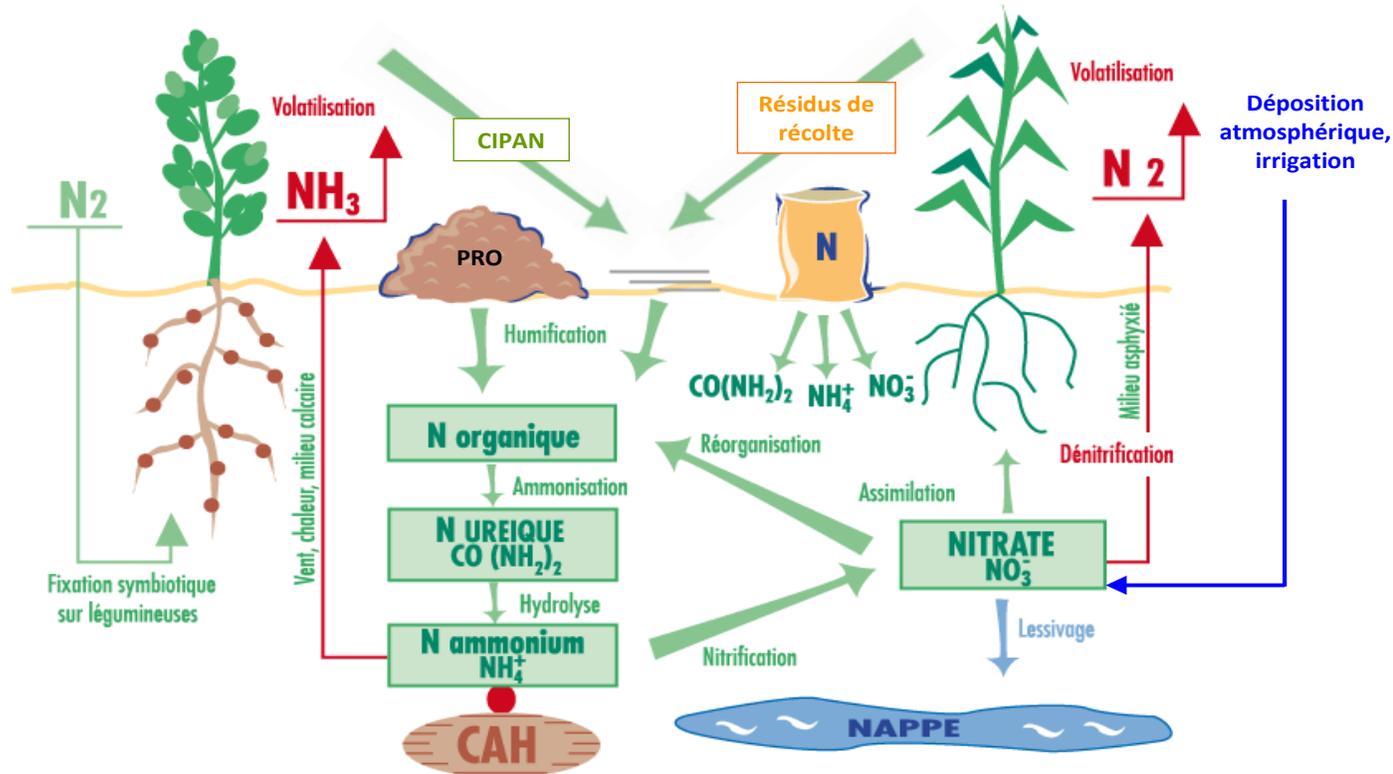


Indicateurs biologiques et conseil de fertilisation



Conseil de dose : cas de l'azote

Méthode du bilan : modélisation des différents flux (ou une partie) sur le cycle cultural



Paramètres utilisés :

- infos du système de culture
- climat
- paramètres physico-chimiques (ex modèle Clivot et al., 2017 pour le poste minéralisation des matières organiques du sol : azote total, argile, calcaire, pH eau, C/N)



Indicateurs biologiques et conseil de fertilisation



Conseil de dose : cas de l'azote

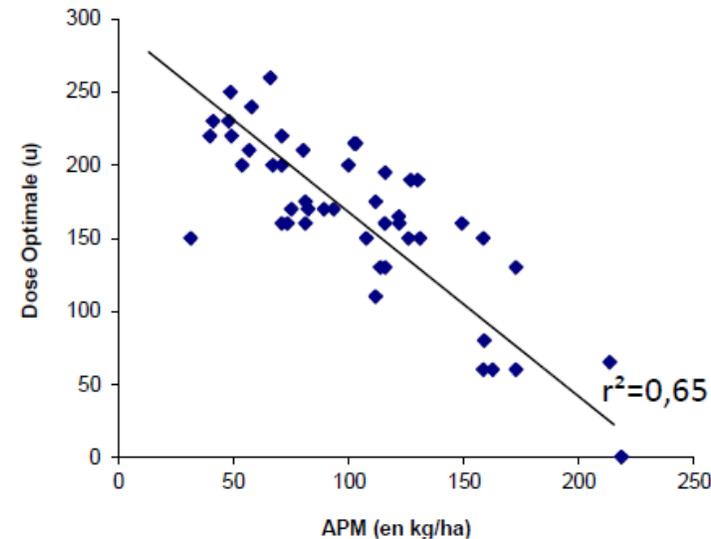
Utilisation opérationnelle d'un indicateur « biologique » : l'APM (Azote potentiellement minéralisable)

Double extraction chimique de l'azote ammoniacal (Gianello et Bremner, 1986)

**Corrélation entre l'APM mesurée
convertie en kg d'azote/ha et les doses
N optimales**

**47 dispositifs avec APM et dose
optimale sur les 215 disponibles,
précédent colza**

(Rocca et al, 2013)



→ Utilisation dans des outils
(SOL-AID, WIUZ, EPICLES)
Calcul de poste(s) dans l'équation
du bilan

Travaux en cours pour un référencement
plus large (méthode de mesure,
pertinence dans le conseil azoté)



Indicateurs biologiques et conseil de fertilisation



Conseil de dose : cas de l'azote

Microbioterre

Lien Indicateur / Fonction		
	Relation positive	Relation négative
Relation forte $r > 0,8$	+	-
Relation moyenne r entre 0,4 et 0,8	+	-
Relation faible $r < 0,4$	+	-
Avis d'experts	+	-
Lien <u>non identifié</u>		

Indicateurs du menu	Recyclage des nutriments				
	Fourniture N			Perte N	
	Ammonification	Nitrification	Fixation symbiotique	Réduction du NO3	Volatilisation
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)					
Protéase (nmol/min/g)	+	-			
LAP (nmol/min/g)					
ARYLN (nmol/min/g)	+				
ABM (mg/kg)	+				+
B-Glu (nmol/min/g)	+	+			

Connaissance du sens de variation de la relation indicateur / fonction (le plus le mieux, le moins le mieux, optimum)

Pas de lien chiffré / formalisé sous forme d'équation
 → Pas de valorisation directe dans le calcul de dose



Indicateurs biologiques et conseil de fertilisation

30 ans

Conseil de dose : cas de l'azote



1. Production de biomasse

Circulation et infiltration de l'eau
Production de biomasse

Niveau de réservoir utilisable (RU)
Production de biomasse

Régulation des bio-agresseurs
Production de biomasse / Maintien de la biodiversité du sol

Fourniture en Azote (N)
Production de biomasse, régulation de la qualité de l'eau

Nutriments (P, K, Mg, S)
Production de biomasse

Fourniture en oligo-éléments
Production de biomasse

Structuration du sol
Régulation de l'érosion, production de biomasse

Décomposition MOF
Décomposition MOF



Fourniture en N
Fourniture en N



Minimisation du risque Lixiviation
Minimisation du risque Lixiviation



Minéralisation de l'azote du sol
Minéralisation de l'azote du sol



Minimisation des Pertes de N2O
Minimisation des Pertes de N2O



Notation de processus et fonctions du sol basé sur des combinaisons d'indicateurs
→ Niveau de performance par rapport à un potentiel

Pas de lien chiffré / formalisé sous forme d'équation
→ Pas de valorisation directe dans le calcul de dose

Situation encore moins avancée pour les autres éléments nutritifs
(ex : pas de valorisation opérationnelle des activités enzymatiques pour P ou S)

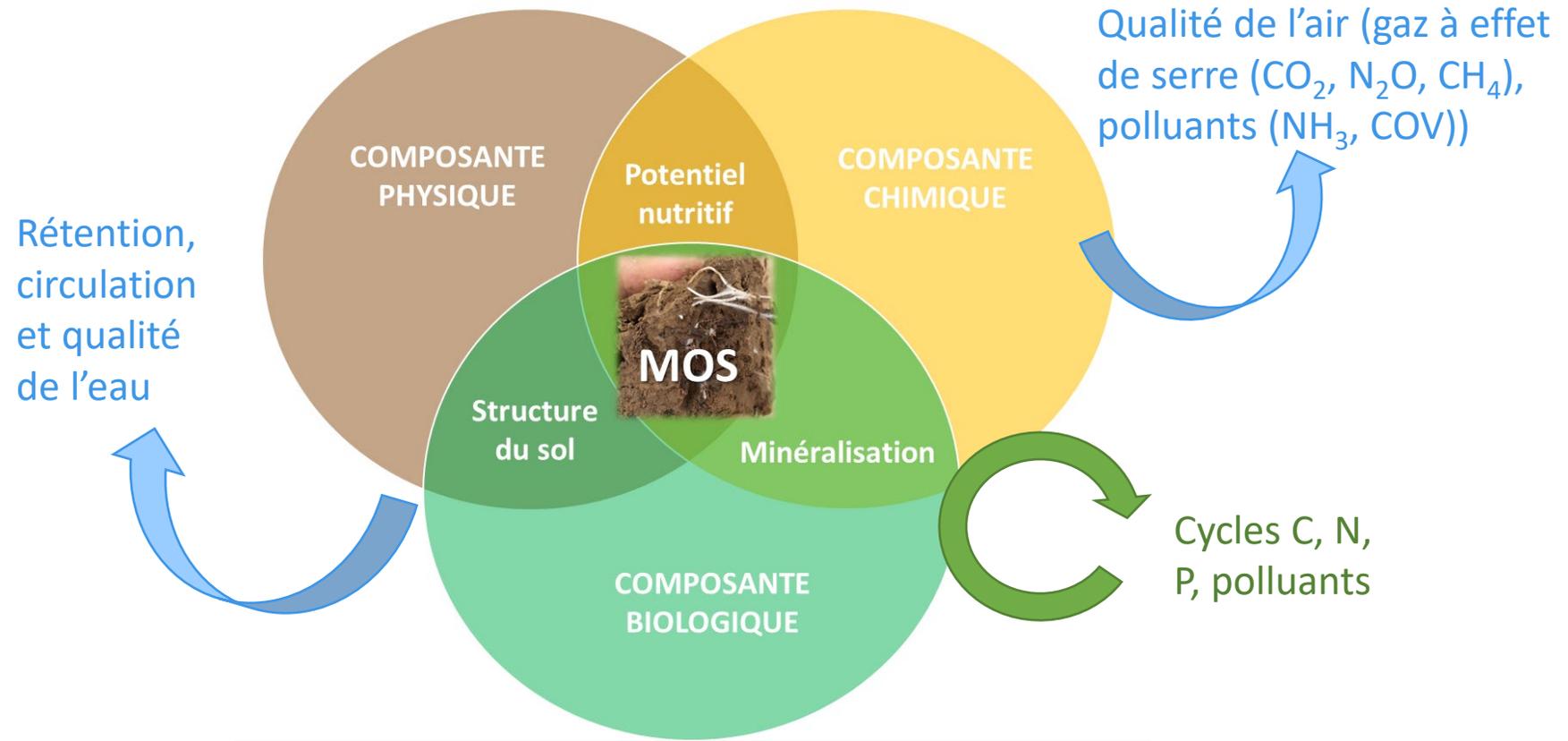


Indicateurs biologiques et gestion de la fertilisation



Fertilité organo-biologique

Les matières organiques ont un rôle central dans de nombreuses propriétés et fonctions écologiques assurées par les sols agricoles :



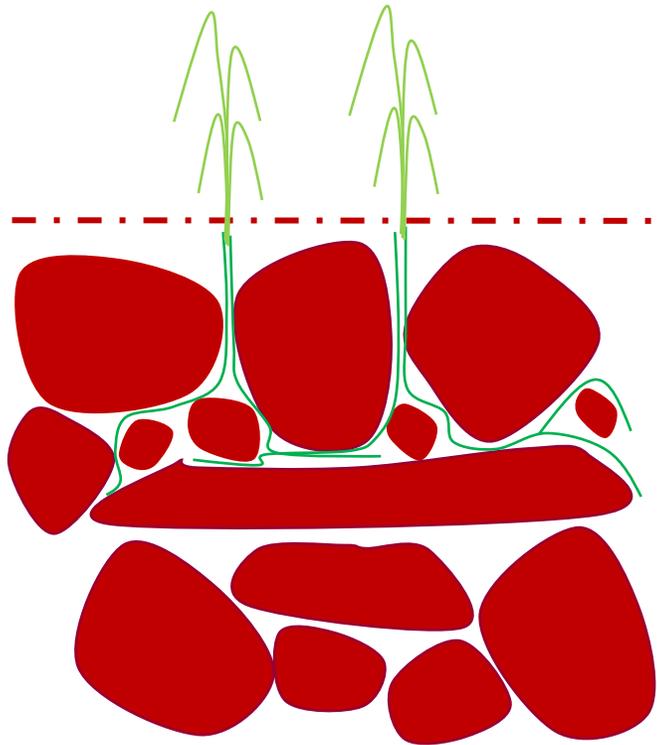


Indicateurs biologiques et gestion de la fertilisation

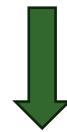


Fertilité organo-biologique

Ouverture plus large que le simple approvisionnement en nutriments : le végétal est-il dans de bonnes conditions pour valoriser cette fertilisation ?
Quelle est la durabilité de cette fertilité ?

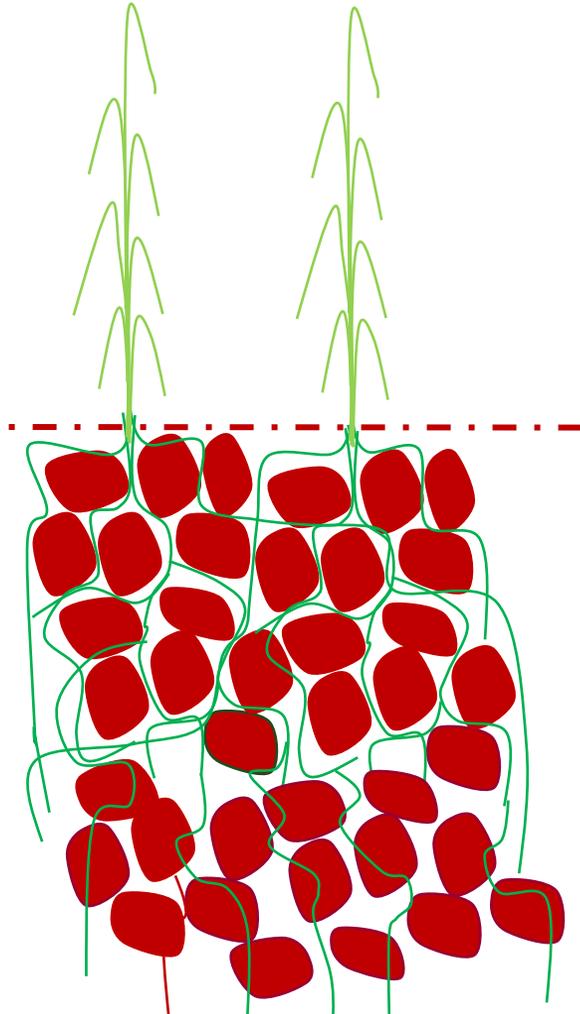


porosité, structure, enracinement
Cycles C, N, P, S



Observation racinaire, Profil cultural, test bêche

Indicateurs biologiques ...





Indicateurs biologiques et gestion de la fertilisation



Fertilité organo-biologique

Microbioterre

Lien Indicateur / Fonction		
	Relation positive	Relation négative
Relation forte $r > 0,8$	+	-
Relation moyenne r entre 0,4 et 0,8	+	-
Relation faible $r < 0,4$	+	-
Avis d'experts	+	-
Lien <u>non identifié</u>		

Indicateurs du menu	Recyclage des nutriments				
	Fourniture N			Perte N	
	Ammonification	Nitrification	Fixation symbiotique	Réduction du NO ₃	Volatilisation
C org (%)	+	+		+	
C 0-50 µm (%)					
C 50-200 µm (%)					
C 200-2000 µm (%)					
C 50-2000 µm (%)					
C KMnO ₄ (mg/kg)				+	
N total (%)	+	+	-		
N 0-50 µm (%)					
N 50-200 µm (%)	+	+			
N 50-2000 µm (%)					
C microbien (mg/kg)	+			+	
18S (copies/g)					
Protéase (nmol/min/g)	+	-			
LAP (nmol/min/g)					
ARYLN (nmol/min/g)	+				
ABM (mg/kg)	+				+
B-Glu (nmol/min/g)	+	+			



Indicateurs biologiques et gestion de la fertilisation



Fertilité organo-biologique

Microbioterre

Pratiques culturales impactant chaque indicateur

Leviers agronomiques possibles

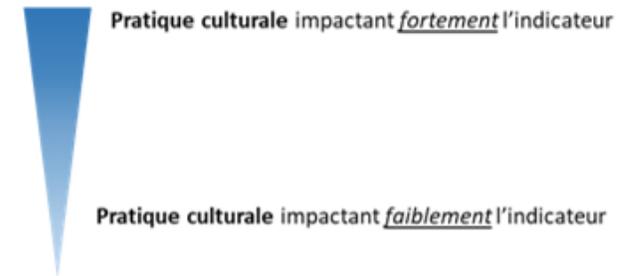
Valeurs relatives moyennes
Modalité pratique vs. Modalité référence

Indicateurs du menu Microbioterre		PRO	Couverts intermédiaires	Travail du sol	Rotations	Systèmes	
Indicateurs physico-chimiques	Carbone	C org (%)	+16.2%	+6.1%	+1.5%	+1.6%	+4.4%
		C 0-50 (%)	-3.5%	-2.7%	-1.8%	+0.6%	-1%
		C 50-200 (%)	+35.4%	+41.9%	+29.5%	-4.9%	+9.9%
		C 200-2000 (%)	+15.7%	+27.1%	+9.9%	-3%	+13.3%
		C 50-2000 (%)	+27.4%	+37.3%	+22.3%	-4%	+9.6%
		C oxydé (mg/kg)	+32.1%	+1.9%	6%	+12.6%	+6.7%
Indicateurs physico-chimiques	Azote	N total (%)	+18.5%	+5.3%	+3.7%	+13.2%	+4.6%
		N 0-50 (%)	-2.6%	-0.3%	-0.4%	+0.9%	-1%
		N 50-200 (%)	+40.4%	+9.8%	+5.9%	-8.4%	+9.5%
		N 50-2000 (%)	+34.2%	+6.4%	+5.3%	-12.3%	+12.8%
Indicateurs microbiologiques	Abondances	Biomasse microbienne (mg/kg)	+38.1%	+6.5%	+6.8%	+22.9%	20%
		18S (copies/g)	+82.4%	+28.8%	+41.7%	+65.1%	4%
	Activités	Activité protéase (nmol/min/g)	+25.9%	+11.4%	-9%	+7.3%	+15.4%
		LAP (nmol/min/g)	+22.3%	+9.4%	+1.3%	+18%	+11.8%
		Arylamidase (nmol/min/g)	+36.1%	+16.6%	+10.3%	+29.7%	+20.5%
		ABM (mg/kg)	36%	+11.6%	-1.4%	+8.2%	+0.6%
	Glucosidase (nmol/min/g)	+10.5%	-6.3%	-20%	+24.2%	+13.8%	

Exemple 2 : Indicateur **biomasse microbienne**

→ Pratique de la + à la- impactante :

PRO > Rotations > Systèmes > Travail sol > Couverts



Par indicateur du menu

→ Pratiques de la + à la - impactante

Proposition de leviers agronomiques en fonction du contexte agronomique

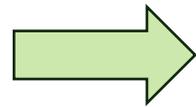


Indicateurs biologiques et gestion de la fertilisation

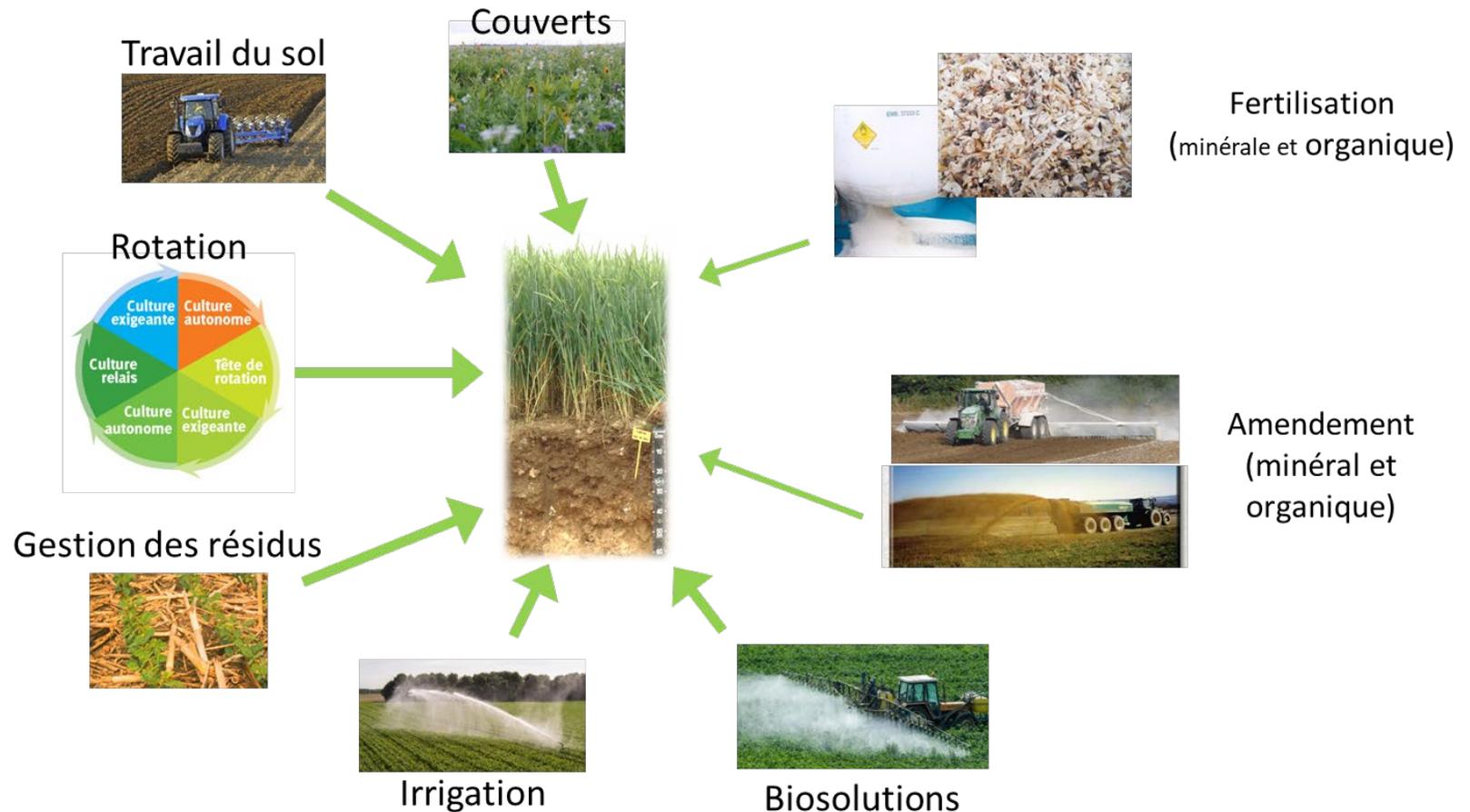


Fertilité organo-biologique

Les indicateurs biologiques, combinés aux caractéristiques physico-chimiques et aux observations terrains permettent de proposer un diagnostic du potentiel fonctionnel du sol



Inclure l'ensemble des pratiques agricoles dans le conseil





Indicateurs biologiques et gestion de la fertilisation



Fertilité organo-biologique



Proposition de hiérarchisation / priorisation des leviers agronomiques à partir du diagnostic fonctionnel

Apports organiques et minéraux : choix du type, de la date d'apport

- Apports organiques
- Gestion des résidus de culture
- Gestion des couverts
- Succession de culture
- Travail du sol
- Paysage
- Aménagements hydriques
- Apports minéraux

Filtrer par € Coût ▼ 🕒 Temps ▼ 🔧 Technicité ▼ 🔄

Les enseignements

- 1 Augmenter la quantité de PRO apport**
- 2 Choisir un type de PRO riche en azote**
Pour favoriser la décomposition des matières organiques fraîches, il faut privilégier des PRO à C/N faibles (< 10)
€ Coût MOYEN 🕒 Temps FAIBLE 🔧 Technicité FAIBLE
- 3 Ajuster la date d'apport du PRO**



Des travaux à poursuivre



L'utilisation des indicateurs biologiques pour raisonner le calcul de dose de fertilisants nécessite des relations chiffrées avec les fonctions prédites

- Poursuite des travaux sur les liens indicateurs / fonctions
- Tenir compte de l'effet intégrateur des indicateurs biologiques (ex fournitures azotées : pas uniquement minéralisation des MOS, mais également des PRO, couverts, retournement prairie, ...)
- Prendre en compte l'aspect dynamique (modélisation)

La principale plus-value des indicateurs biologiques n'est peut-être pas directement dans le calcul de dose, mais sur l'intégration de la fertilisation dans l'itinéraire cultural ? Par la prise en compte des autres pratiques, les indicateurs biologiques permettraient une meilleure efficacité de la fertilisation ?



Quelles pratiques de
fertilisation
pour accompagner la **diversité**
des systèmes de culture ?

Merci !