



**Prise en compte de la biodiversité du sol
pour la fertilisation :**
Les indicateurs microbiologiques de la qualité des
sols et leur valorisation dans le conseil agronomique

Matthieu Valé

Responsable Recherche et Développement
du groupe SAS Laboratoire / AGRO-Systèmes

Analyses de végétaux

- Analyses foliaires
- Diagnostic foliaire
- Analyses de grains
- Analyses d'herbe...



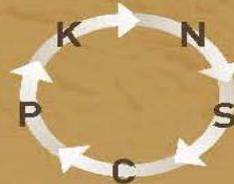
Analyses de produits organiques

- Effluents d'élevage
- Analyses de boues
- Analyses de composts
- Supports de culture...



Analyses de terre

- Analyses physiques
- Analyses chimiques
- Analyses biologiques
- Reliquats N, ETM...



Analyses d'eaux

- Solutions nutritives
- Eaux d'irrigation
- Eaux usées...



© Copyright AGRO-Systèmes / SAS Laboratoire - 10/2008 - Toute réimpression même partielle interdite

Fertilité des sols : aptitudes culturales

Quels indicateurs pour quelles attentes ?

Etat des lieux après 4 ans de travaux :
acquis méthodologiques et pertinence des indicateurs
choisis

Nouvelles pistes pour appréhender les aptitudes
culturales des sols

Comment évaluer la fertilité d'un sol ?

Observation terrain (profil)

Physique



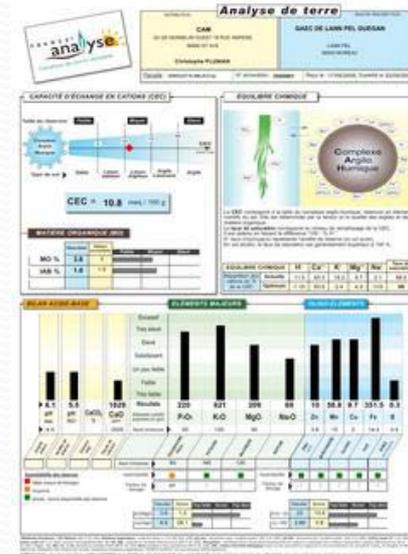
Chimique / nutritif

biologique

MO, C/N, ??



Besoin d'indicateurs pour appréhender les composantes de la qualité biologique d'un sol



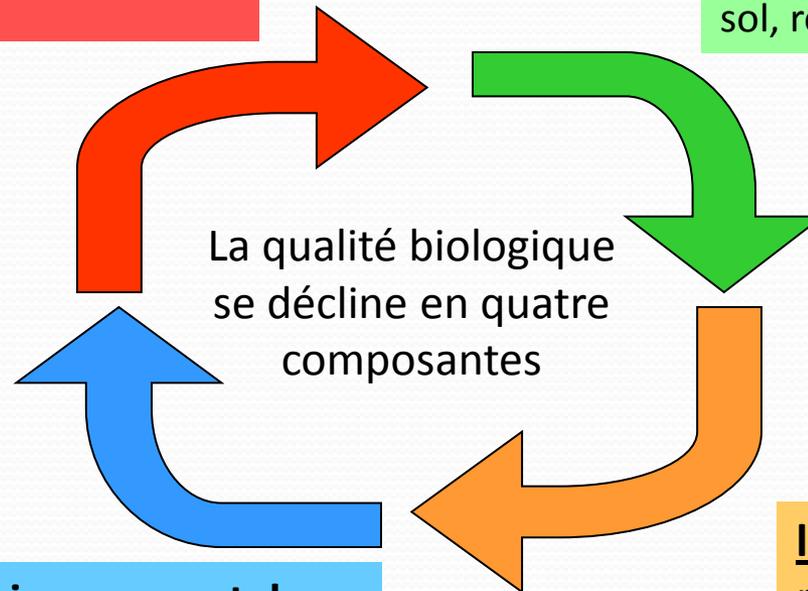
Analyse de terre
(pH, P K Mg)

la résilience

capacité du sol à revenir à son état initial après une perturbation

la productivité

ensemble des caractéristiques qui permettent la croissance des végétaux (disponibilité des éléments nutritifs, structure du sol, rétention de l'eau)

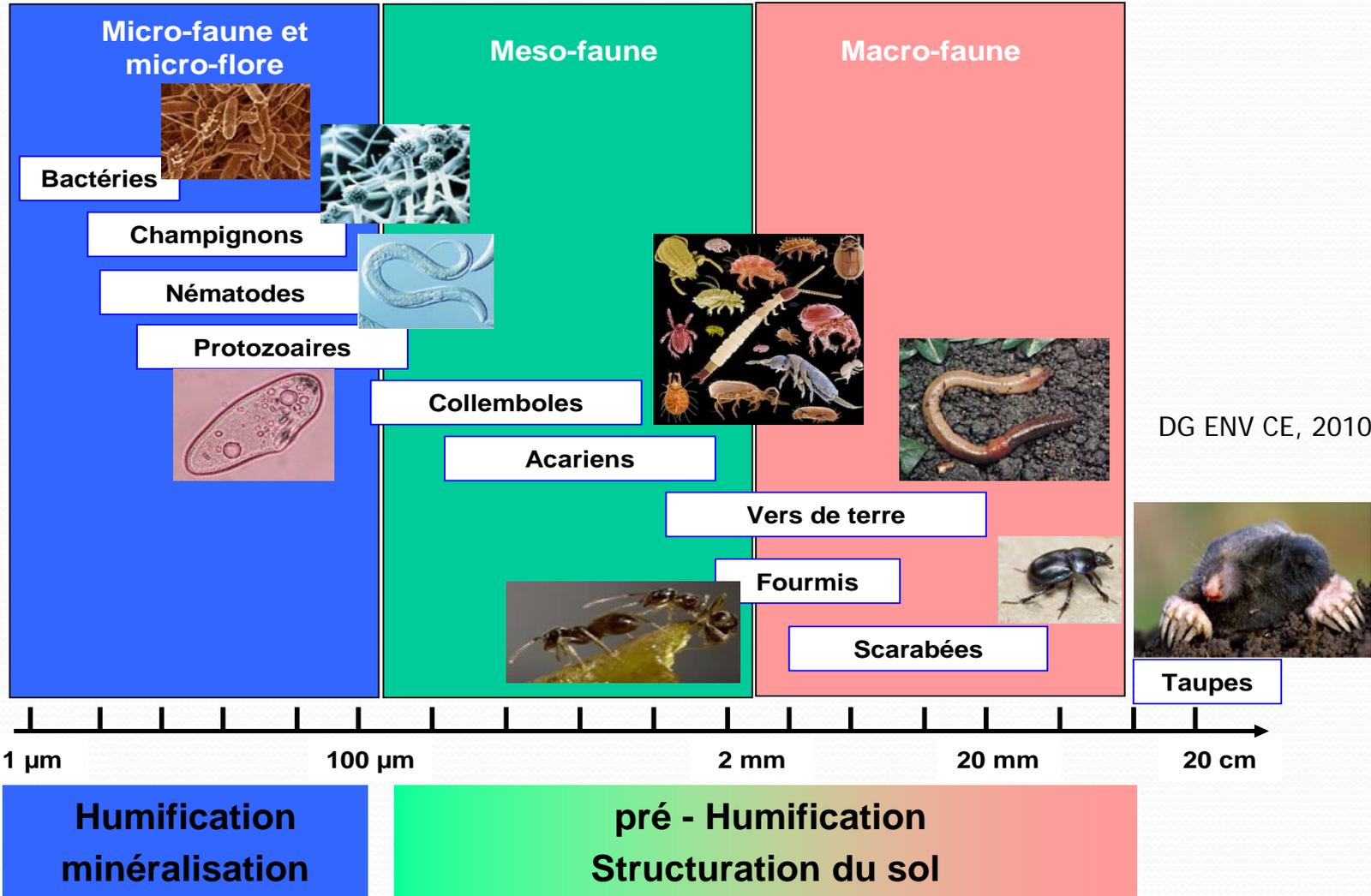


les externalités environnementales

impact sur l'environnement (eaux de surface et souterraines, atmosphère : sol = interface de ces deux milieux)

l'état sanitaire

résistance du sol à une maladie.



DG ENV CE, 2010

© Copyright AGRO-Systèmes / SAS Laboratoire - Toute réimpression même partielle interdite

Comment évaluer la qualité biologique des sols ?

	par g de sol	masse / ha
bactéries	10 ⁸ à 10 ⁹	1 à 2 t
champignons	50 à 100 m d'hyphes	0.5 à 1
protozoaires	1000	200 kg
nématodes	10 à 20	100 à 200 kg

Fraction
étudiable en
laboratoire

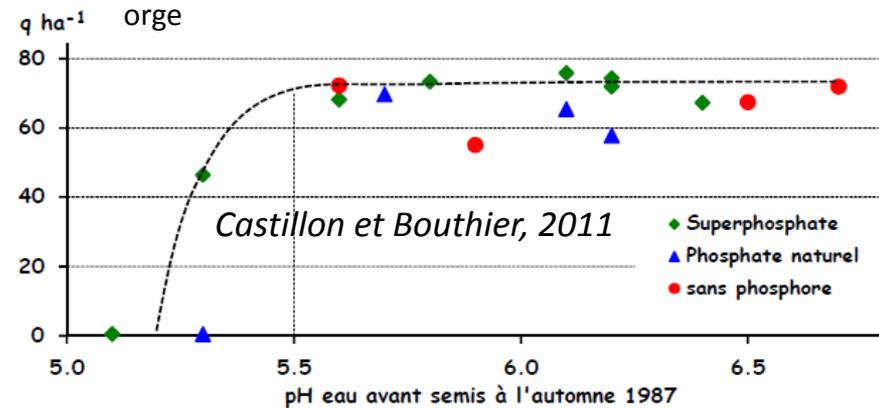
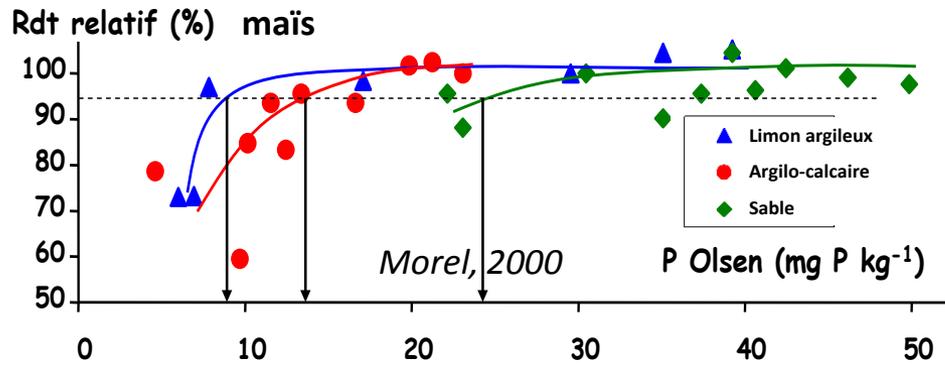


	par kg de sol	masse / ha
acariens	100 à 2000	3 kg
collemboles	50 à 500	2 kg

Cela représente **1 à 3 %** de la matière organique totale

	par m ²	masse / ha
vers de terre	50 à 300	200 kg à 1 t

Éléments nutritifs ou pH directement liés au rendement



Biomasse microbienne : Pas de courbe de réponse du rendement

→ Relation avec d'autres facteurs impactant directement la production (stabilité structurale, fourniture en azote minéral, ...)

→ Construction de référentiel d'interprétation :

- Acquisition de données pour des couples type de sol x climat x système de culture
- Établissement d'une valeur moyenne et d'une plage de variation

Fertilité des sols : aptitudes culturales

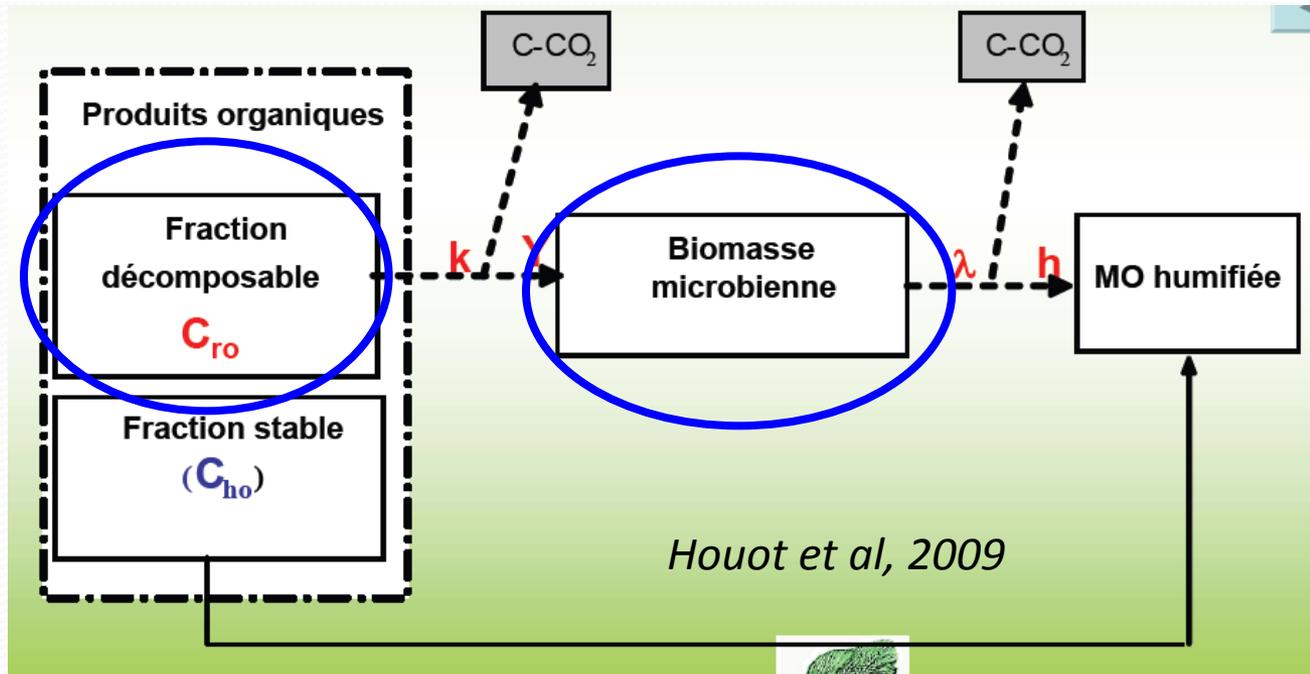
Quels indicateurs pour quelles attentes ?

Etat des lieux après 4 ans de travaux :
acquis méthodologiques et pertinence des indicateurs
choisis

Nouvelles pistes pour appréhender les aptitudes
culturales des sols

La recherche / l'expérimentation

- paramétrage de modèles

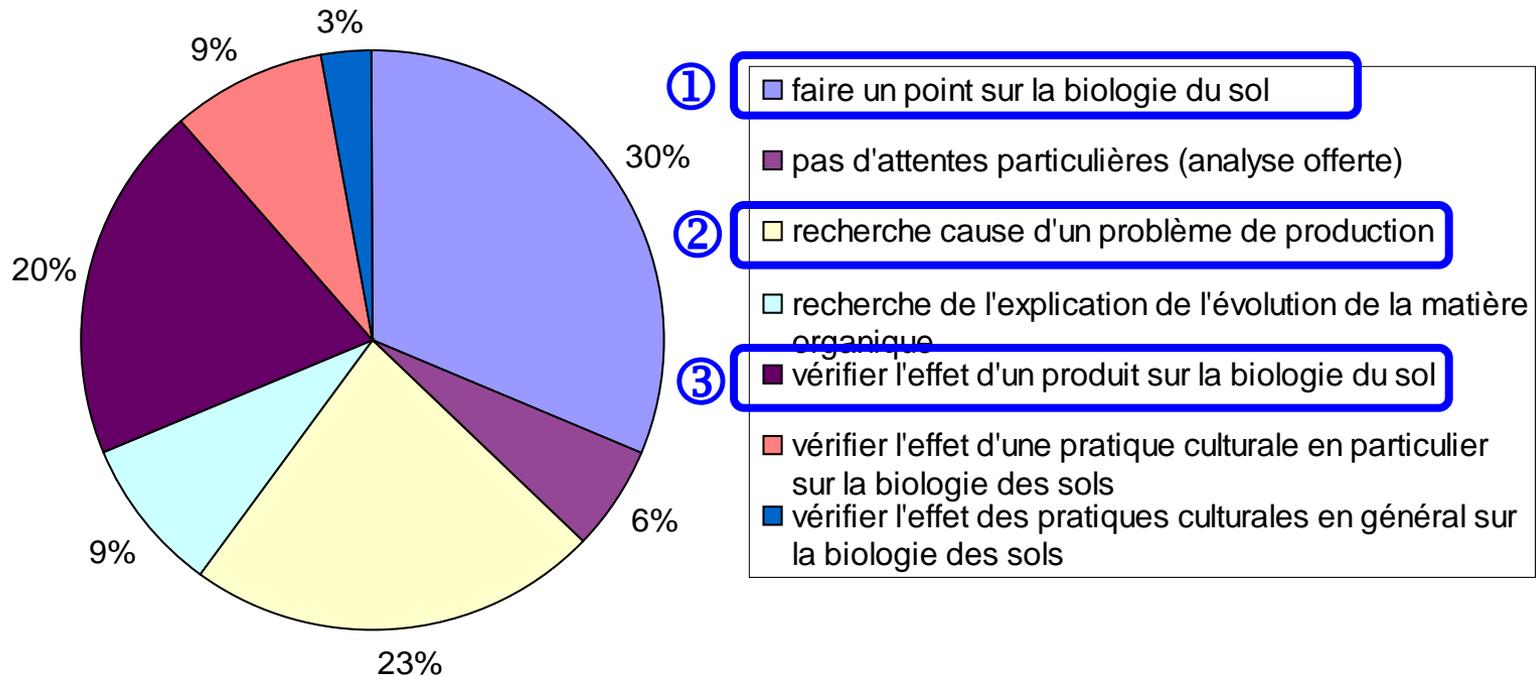


- Outils d'interprétation des essais (au champ ou en laboratoire)

© Copyright AGRO-Systèmes / SAS Laboratoire 10/2009. Toute réimpression même partielle interdite

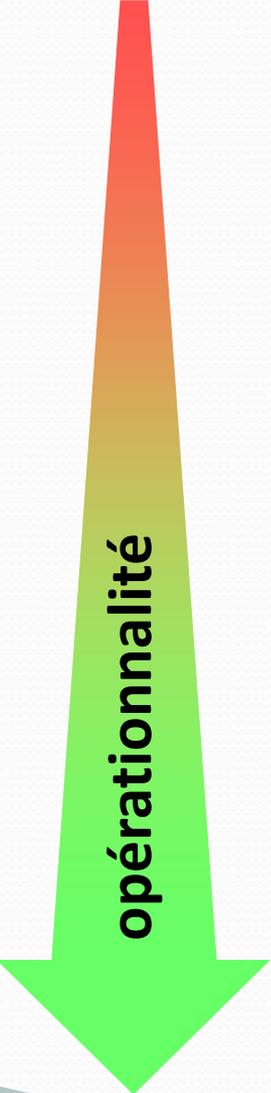
Les agriculteurs

Sondage réalisé auprès d'une centaine d'agriculteurs ayant réalisés des analyses biologiques



La distribution / les fournisseurs

- répondre aux attentes des agriculteurs
- Outils pour le positionnement de leurs produits



opérationnalité

Indicateurs d'expérimentation / recherche

Sensibilité au facteur étudié pour compréhension des phénomènes

→ **Construction du référentiel**

Indicateurs d'évaluation / de suivi

Besoin de critères objectifs pour évaluer la pertinence d'un changement de système de culture (agriculture de conservation, semis direct, TCSL,)

→ **A posteriori et en comparatif**

Indicateurs de communication

Facilité de compréhension auprès des agriculteurs et du grand public, ne débouche pas forcément sur un conseil mais doit être démonstratif

→ **Besoin au minimum de comparatif**

Indicateurs de diagnostic

État des lieux d'une situation, détection problème (ou pas) et proposition de solution pour y remédier

→ **A priori et besoin de référentiel d'interprétation**

Quels indicateurs pour quelles attentes ?



Décomposition, réorganisation, stabilisation (humification)



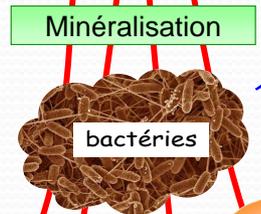
Fractionnement MO

Biomasse microbienne

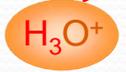
Activité enzymatique (FDA hydrolase)

Aptitudes métaboliques

Minéralisation carbone



Minéralisation azote



nitrification



© Copyright AGRO-Systèmes / SAS Laboratoire - 10/2008 - Toute réimpression même partielle interdite

Fertilité des sols : aptitudes culturales

Quels indicateurs pour quelles attentes ?

**Etat des lieux après 4 ans de travaux :
acquis méthodologiques et pertinence des indicateurs
choisis**

Nouvelles pistes pour appréhender les aptitudes
culturales des sols

Apport de produits résiduaux organiques (PRO)

→ La Jaillière (44), Le Rheu (35), Jeu les Bois (36)
10 ans d'apports différenciés de PRO issus d'élevages

Mise en place de CIPAN

→ Thibie (51, essai AREP), Kerlavic (29, essai CA29/CRAB – ARVALIS), Boigneville (91)
Implantation de moutarde, ray-grass ou radis pendant 13 à 17 ans

Travail du sol

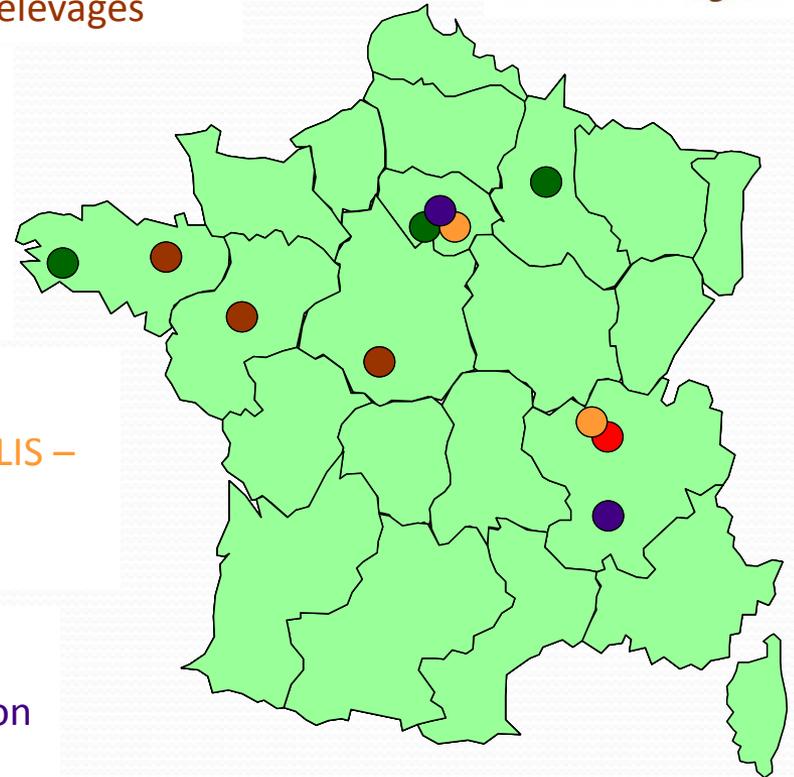
→ Boigneville (91) – 40 ans, St Exupéry (69, essai ARVALIS – CREAS) – 8 ans
Comparaison labour / travail superficiel / semis direct

Agriculture biologique

→ Etoile sur Rhône (26), La Motte (95) : comparaison de rotations culturales

Niveaux d'intensification

→ St Exupéry (69, essai ARVALIS – CREAS) : différents niveaux de fertilisation et de protection phytosanitaire depuis 2003



© Copyright AGRO-Systèmes / SAS Laboratoire 10/2008. Toute réimpression même partielle interdite

- Critères de choix :
- mesurable en laboratoire de routine (normalisés)
 - reconnus / utilisés en recherche

→ Indicateurs microbiologiques

Micro-organismes : rôle majeur dans les cycles MO et N, plus ou moins reliés aux fonctions de productivité d'un sol

Abondance / caractérisation MO	<p>Biomasse microbienne</p> <p>Fractionnement MO</p> <p>Métabolites microbiens</p>
Activité microbienne	<p>Potentiels de minéralisation</p> <p>Activités enzymatiques</p>
Diversité fonctionnelle	<p>Aptitudes métaboliques</p>

Analyses réalisées par SEMSE et SAS Laboratoire, financées par ARVALIS

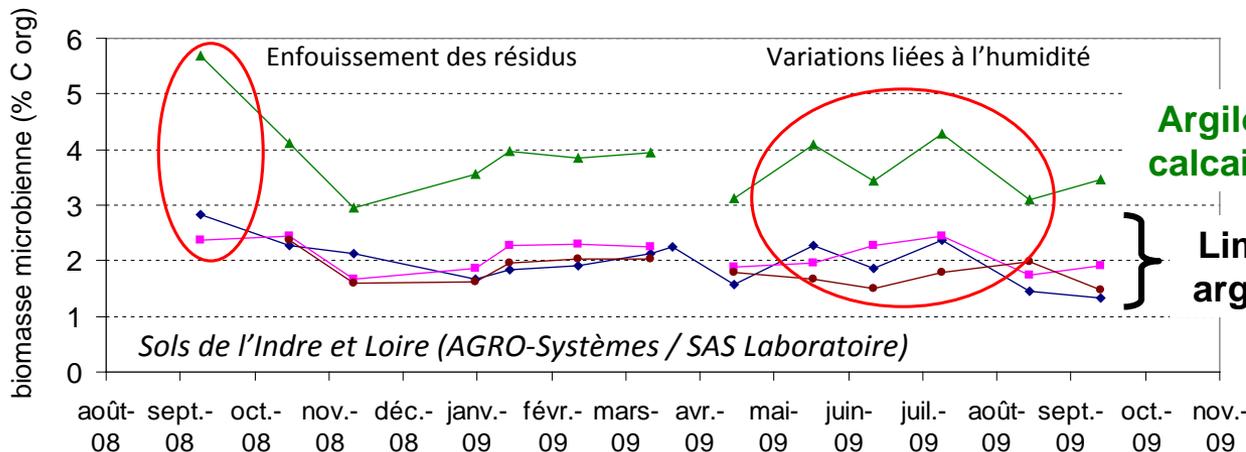


Mesure normalisée (NF ISO 14240-2, méthode par fumigation – extraction)

Quantification de carbone microbien, donc d'une fraction vivante de la MO (MOV)

→ Indicateur d'abondance, pas d'activité

C microbien 0.5 à 4 %
du C total
du sol



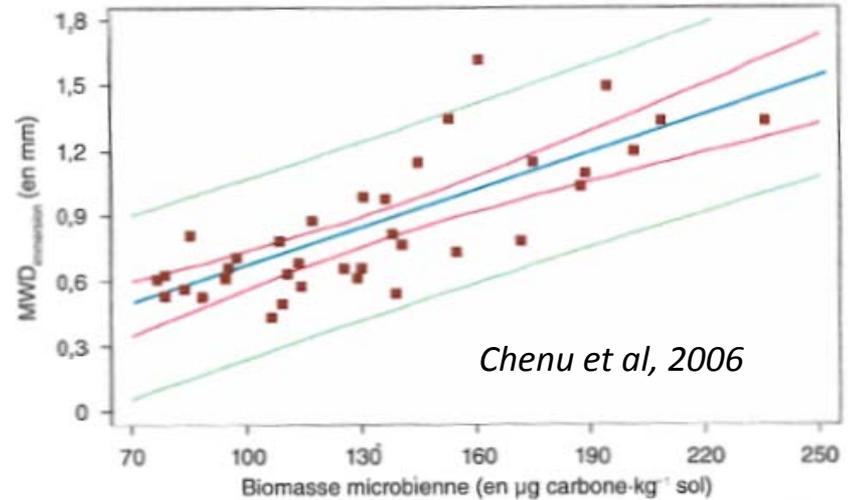
Variabilité en fonction :

- du type de sol
- du climat
- De l'apport récent de MO

Méthode de prélèvement identique à l'analyse classique, mais restriction de période pour les indicateurs d'abondance et d'activité + acheminement rapide au laboratoire

Biomasse microbienne bien corrélée à la stabilité structurale

→ polysaccharides microbiens augmentent la cohésion entre les constituants du sol



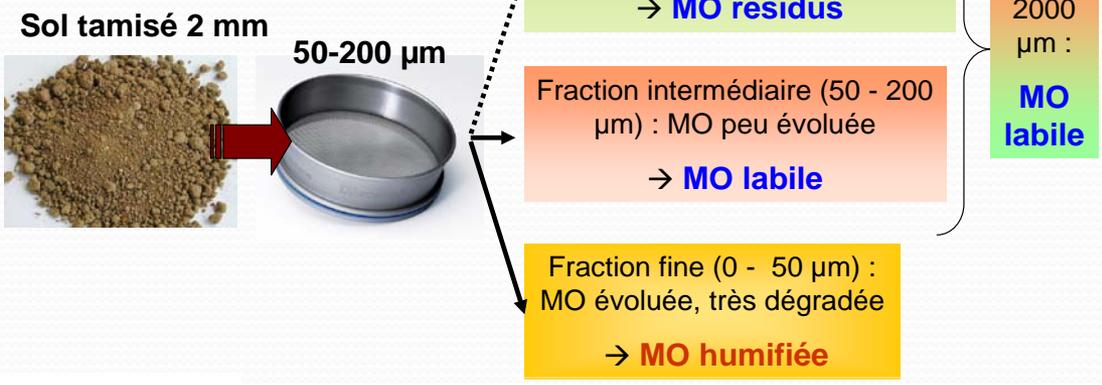
Indicateur d'expérimentation / recherche	Indicateur d'évaluation / de suivi	Indicateur de communication	Indicateur de diagnostic
OK	OK indicateur précoce de la réponse des micro-organismes du sol à un changement de pratique culturale (travail du sol, fertilisation, ...)	OK en comparatif	Référentiel type de sol x climat x système de culture à bâtir



© Copyright AGRO-Systèmes / SAS Laboratoire - 10/2009 - Toute réimpression sans autorisation est formellement interdite



Mesure normalisée (NF X31-516, Fractionnement granulométrique des matières organiques particulaires du sol dans l'eau)



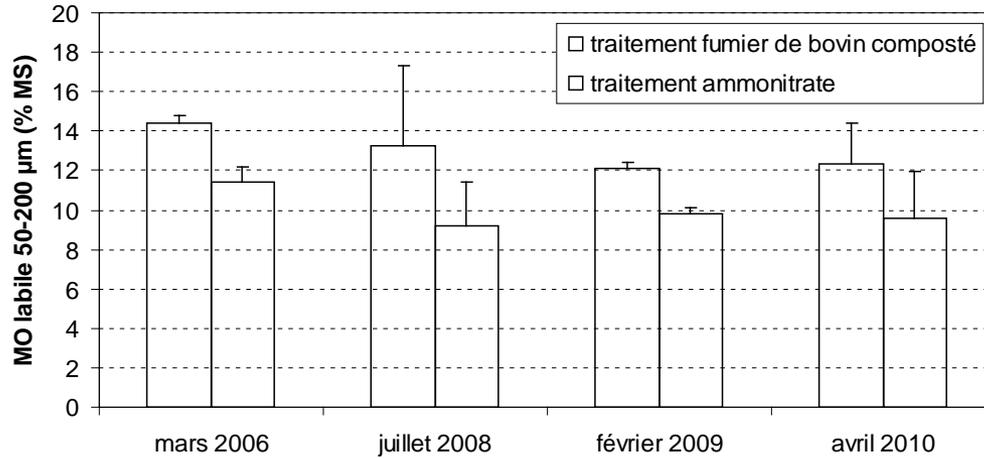
MO jeune (labile)

MO évoluée (humifiée)

Caractérisation fine de la MO

- Proportion de fraction labile / humifiée
- C/N de la fraction labile : indicateur de son état d'évolution

Essai PRO de la Jaillière arrêté en 2006



- ✓ Persistance de l'effet discriminant dans le temps
- ✓ Fractionnement MO moins sensible à la date de prélèvement

Indicateur d'expérimentation / recherche	Indicateur d'évaluation / de suivi	Indicateur de communication	Indicateur de diagnostic
OK (fraction labile de la MO du modèle AMG ?)	OK (effet PRO, effet CIPAN, ...)	Pas forcément le plus démonstratif	OK (Positionnement des produits organiques) Référentiel à consolider

Incubation de sol en conditions contrôlées (méthode dérivée de la XP U44-163)
température 28°C et humidité du sol (HCC) constantes

Minéralisation C organique

mesure du dégagement de CO₂



28 jours en incubation à 28°C
sont équivalents à 5 à 8 mois
au champ
(à 10 - 13°C de moyenne)

→ Indicateur d'activité microbienne

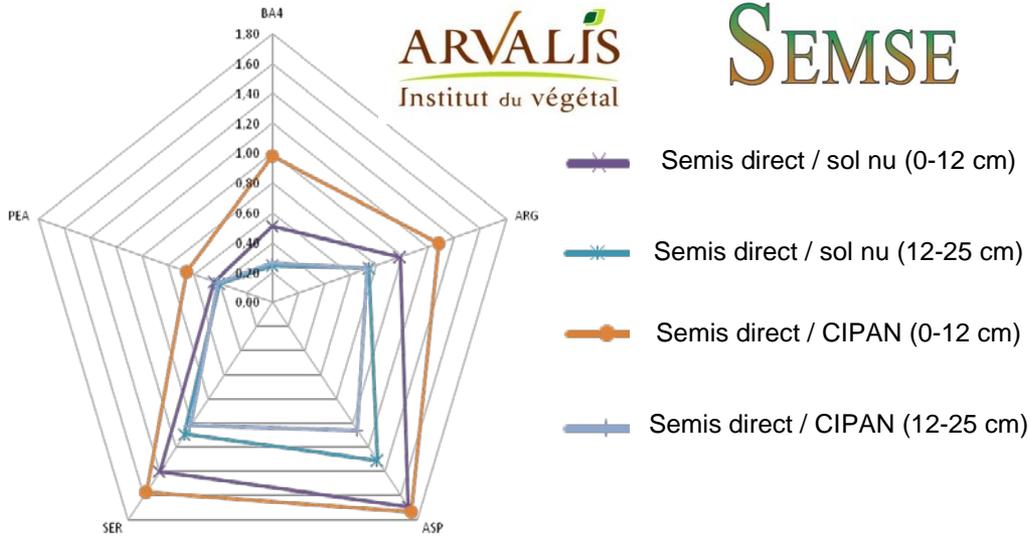
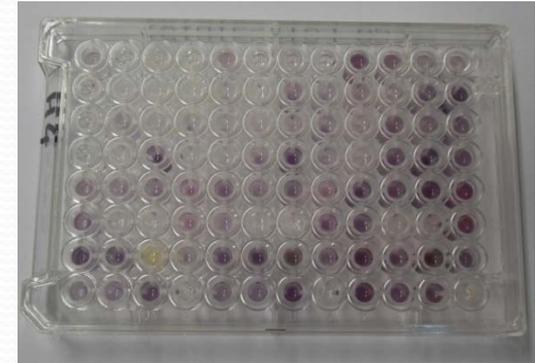
Minéralisation N organique

mesure de la variation de stock d'azote minéral



Indicateur d'expérimentation / recherche	Indicateur d'évaluation / de suivi	Indicateur de communication	Indicateur de diagnostic
OK	OK (effet PRO, CIPAN, travail du sol)	Pas forcément le plus démonstratif	OK (bilan humique, fourniture azote) Référentiel à consolider

mesure de la dégradation de divers substrats par les micro-organismes du sol. C'est une caractérisation phénotypique des communautés microbiennes du sol



Indicateur le plus pertinent pour discriminer l'effet CIPAN

Aptitudes métaboliques (substrats azotés) dans le site de Boigneville

Indicateur d'expérimentation / recherche	Indicateur d'évaluation / de suivi	Indicateur de communication	Indicateur de diagnostic
OK (méthode à affiner)	/	OK (mon sol est-il vivant ?)	Référentiel à construire

Fertilité des sols : aptitudes culturales

Quels indicateurs pour quelles attentes ?

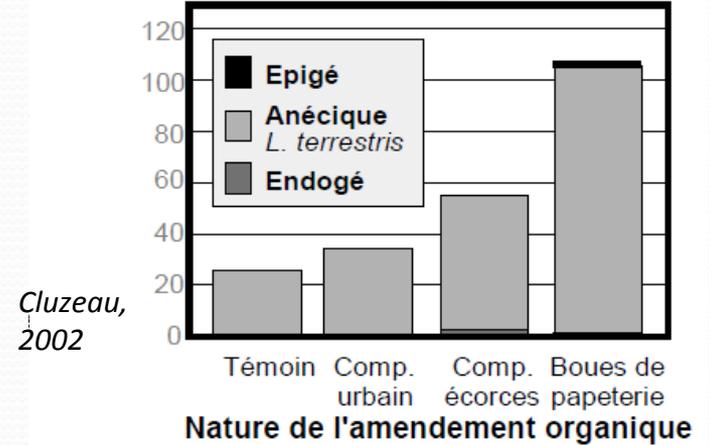
Etat des lieux après 4 ans de travaux :
acquis méthodologiques et pertinence des indicateurs
choisis

**Nouvelles pistes pour appréhender les aptitudes
culturales des sols**

Dénombrement de vers de terre (NF ISO 23611-1) + profil de sol



Biomasse lombricienne (g/m² - ppf)



* <http://ecobiosoil.univ-rennes1.fr/page.php?21>

Indicateur d'expérimentation / recherche	Indicateur d'évaluation / de suivi	Indicateur de communication	Indicateur de diagnostic
OK	OK (méthode normalisée)	OK	Référentiel à construire (*)

© Copyright AGRO-Systèmes / SAS Laboratoire - 10/2008 - Toute réimpression même partielle interdite

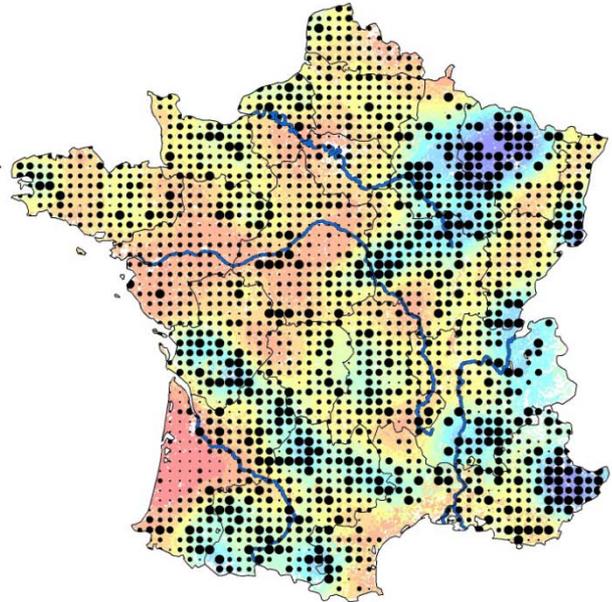
ADN microbien (et indicateurs génomiques)

Quantité d'ADN en µg/g de sol

- < 4
- 4 - 9
- 9 - 12
- > 12

valeurs interpolées

- < 3.9
- 3.9 - 5.6
- 5.6 - 6.6
- 6.6 - 7.6
- 7.6 - 8.7
- 8.6 - 9.8
- 9.8 - 11
- 11 - 12.8
- 12.8 - 15.1
- > 15.1



Carte issue du réseau de mesure de la qualité des sols (ECOMIC-RMQS, INRA Dijon)

Interprétation des données ?

Diversité génétique = diversité fonctionnelle ?

Indicateur d'expérimentation / recherche	Indicateur d'évaluation / de suivi	Indicateur de communication	Indicateur de diagnostic
Travaux en cours	/	?	/

© Copyright AGRO-Systèmes / SAS Laboratoire 10/2010 - Toute réimpression même partielle interdite

Bioindicateurs de la qualité des sols : les nouveaux outils pour raisonner la fertilisation ?

- ✓ les aptitudes culturales sol doivent s'apprécier dans leurs ensembles : ne pas oublier l'analyse « classique » et l'observation terrain
- ✓ Il n'existe pas d'indicateur « miracle » qui permet de tout expliquer **MAIS nous disposons d'indicateurs pertinents pour appréhender la composante biologique des sols**
- ✓ Le choix de l'indicateur adapté à son questionnement est primordial
- ✓ Tous les indicateurs testés ne deviendront pas des indicateurs de diagnostics. Ils ne sont pas pour autant dénués d'intérêts → ils peuvent être valorisés comme outils de dialogue sur le choix des pratiques culturales