

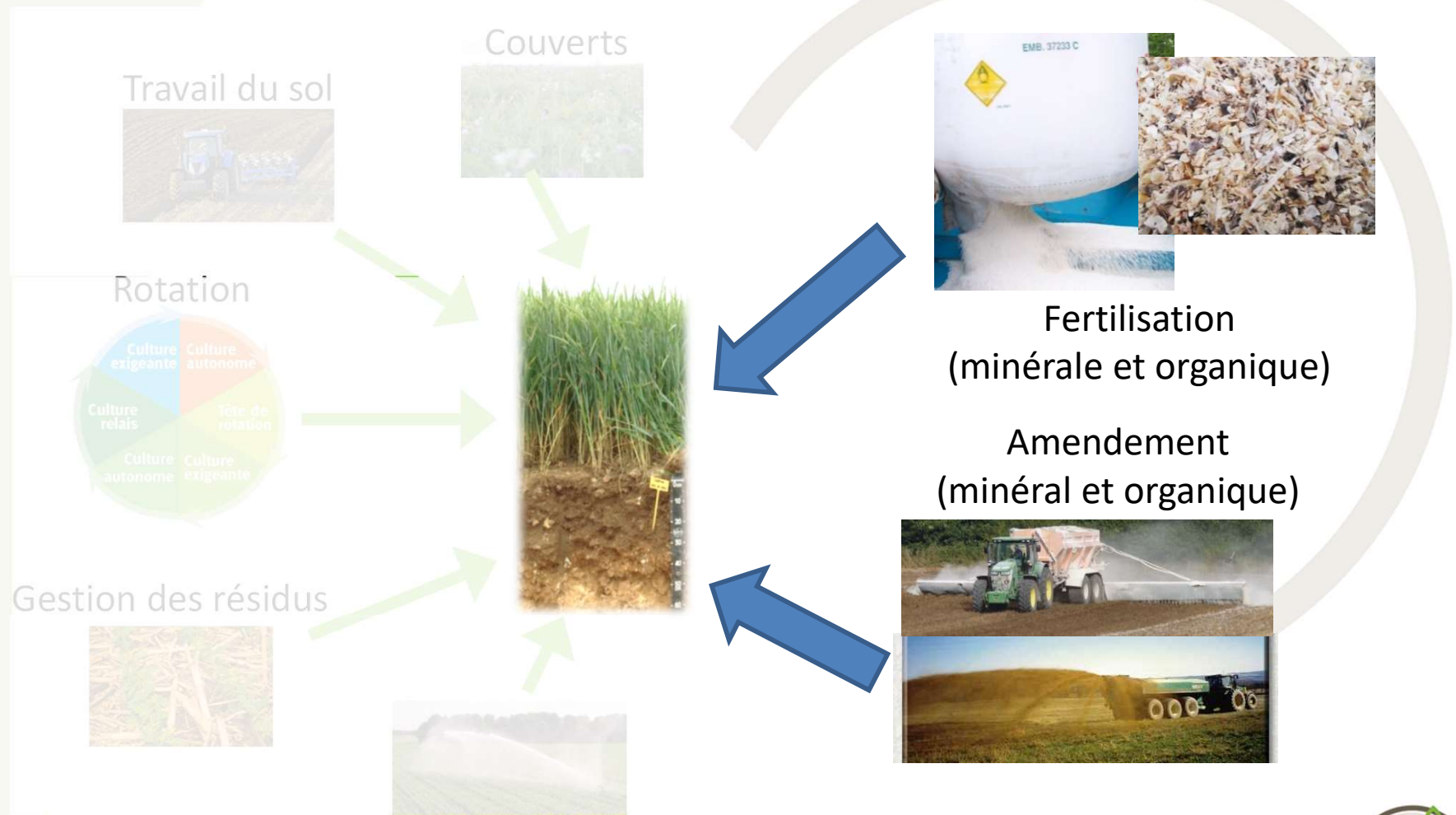
**DEVELOPPEMENT D'UNE FILIERE
TECHNIQUE ET ECONOMIQUE
SUR LE DIAGNOSTIC ET LE CONSEIL
POUR UNE GESTION AGRO-ECOLOGIQUE DES SOLS**



MATTHIEU VALÉ
RESP. SCIENTIFIQUE DU PÔLE AGRICULTURE AUREA

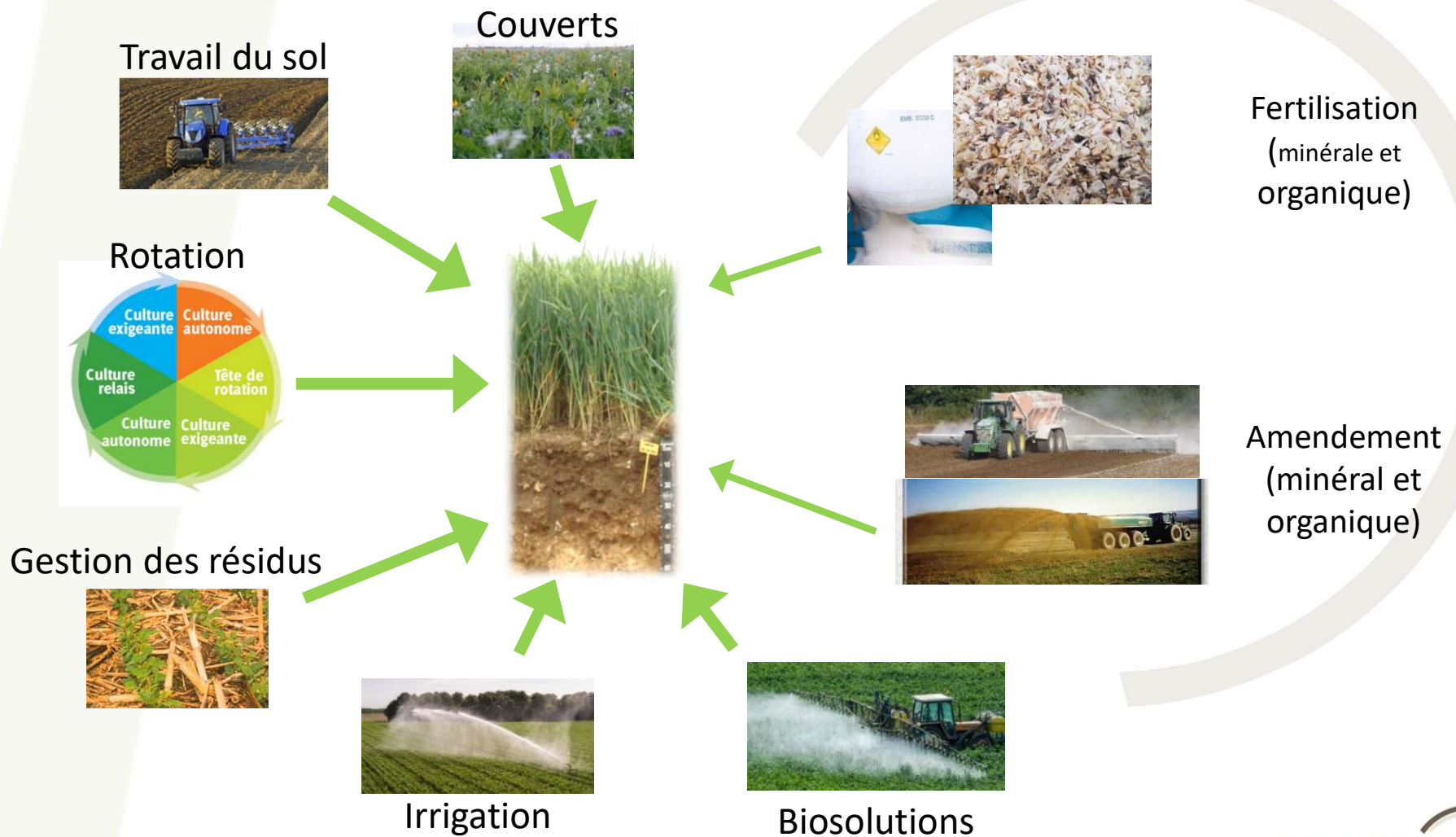
Agroécologie et évolution du conseil de gestion des sols

Outils et services disponibles centrés sur la production végétale (quantité et qualité)
→ Service écosystémique « fourniture des nutriments (N P K) aux plantes »



Agroécologie et évolution du conseil de gestion des sols

Inclure l'ensemble des pratiques agricoles dans le conseil



Le projet AGRO-ECO SOL

Juillet 2017 → octobre 2022



**PORTEUR
DU PROJET**



PARTENAIRES



PRESTATAIRES

**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-efficientes du programme des Investissements d'Avenir





- **Industrialiser des processus inédits d'analyse de sol** (bioindicateurs de la qualité des sols), visant à faciliter l'accès aux agriculteurs à un **conseil de gestion globale des sols agricoles**.
- **Construire un conseil opérationnel à partir de ces bioindicateurs** (référentiels d'interprétation (effet du pédoclimat et des pratiques culturales), définition de niveaux souhaitables des fonctions / services renseignés par ces bioindicateurs, ainsi que des leviers d'action possibles pour atteindre ces niveaux)

AGRO-ECO SOL : arborescence du projet



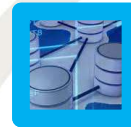
Lot 0 – Management du projet



Lot 1 – L'offre



Lot 2 – Gestion, flux et valorisation des données



US InfoSol



Lot 3 – Conseil



Lot 1 : Offre de bioindicateurs du sol



Evaluation du **niveau actuel de maturité** (en 2016) des indicateurs à dire d'expert selon l'échelle TRL (Technology Readiness Level)

- **Vert** : maturité compatible avec un usage industriel
- **Orange** : améliorations indispensables pour lever des facteurs limitants
- **Rouge** : verrou scientifique et / ou technologique empêche l'usage de l'indicateur dans l'offre de service

Maturité évaluée pour les différents maillons de la chaîne

	prélèvement	préparation	Mesure				interprétation
	mode de prélèvement	mode de préparation	Sensibilité, précision, reproductibilité	Productivité	délai d'analyse	Prix de revient	niveau de TRL Pertinence de l'indicateur pour le conseil agroécologique
Bioindicateurs	tarière	échantillon brut tamisé 5 mm	7	4	4	4	6

AGRO-ECO SOL → passer tous les maillons en vert

Lot 1 : Offre de bioindicateurs du sol



Optimisation des indicateurs déjà maîtrisés par Auréa

- Automatisation de la préparation des échantillons bruts
- Test de méthodes alternatives

Bioindicateurs	mode de prélèvement	mode de préparation	Sensibilité, précision, reproductibilité	Productivité	délai d'analyse	Prix de revient	niveau de TRL
							Pertinence de l'indicateur pour le conseil agroécologique
Biomasse microbienne	tarière	échantillon brut tamisé 5 mm	7	4	4	4	6
Fractionnement MO	tarière	échantillon séché 38°C / tamisé 2 mm	7	6	5	5	8
Potentiels minéralisation C et N	tarière	échantillon brut tamisé 5 mm	5	3	3	4	8

→ Elargissement de la gamme par sous traitance

Abondance et diversité des nématodes	tarière	échantillon brut	7	5	5	4	8
--------------------------------------	---------	------------------	---	---	---	---	---

Lot 1 : Offre de bioindicateurs du sol



Transfert de technologie de la Recherche vers AUREA et optimisation

Bioindicateurs	mode de prélèvement	mode de préparation	Sensibilité, précision, reproductibilité	Productivité	délai d'analyse	Prix de revient	niveau de TRL
							Pertinence de l'indicateur pour le conseil agroécologique
Abondance des bactéries et ratio bactérie / champignons	tarière	échantillon séché	7	5	5	5	6
diversité des bactéries	tarière	échantillon séché	7	2	2	2	6
Abondance et diversité de la faune du sol	spécifique (piégeage, bloc de terre, ...)	échantillon brut	7	3	3	3	7

Incitation / participation aux travaux de recherche

Activités enzymatiques	tarière	échantillon brut / échantillon séché	7	6	6	6	5
diversité des champignons	tarière	échantillon séché	5	2	2	2	5
Diversité moléculaire de la faune du sol	tarière	échantillon séché	5	2	2	2	3

Lot 1 : Offre de bioindicateurs du sol



Mode de prélèvement



Prélèvement tarière pour microbiologie moléculaire, enzymologie, nématodes, carbone et azote labiles, physico-chimie
Profondeur : 20 cm
Échantillon composite de 15 prélèvements



Faune du sol : 3 répétitions dans la zone de prélèvement

- Bloc de sol pour vers de terre
- Carottier pour collemboles
- Piège pour carabidés

Observation terrain
+ test bêche (méthode ISARA)



Lot 1 : Offre de bioindicateurs du sol



Période de prélèvement



- Température moyenne journalière comprise entre 8 et 25°C
- Humidité du sol proche de la capacité au champ (sol ressuyé mais pas trop sec)
- **Au moins 2 mois (3 dans l'idéal) depuis le dernier apport de carbone au sol (enfouissement des résidus de récolte, destruction des couverts, apport de PRO) ou amendement minéral basique**
- avant un travail du sol conséquent
- Pour les activités enzymatiques (surtout uréase), avoir au moins 4 semaines depuis le dernier apport d'azote (essais suivi temporel sur 2 années)

Acheminement / conservation des échantillons

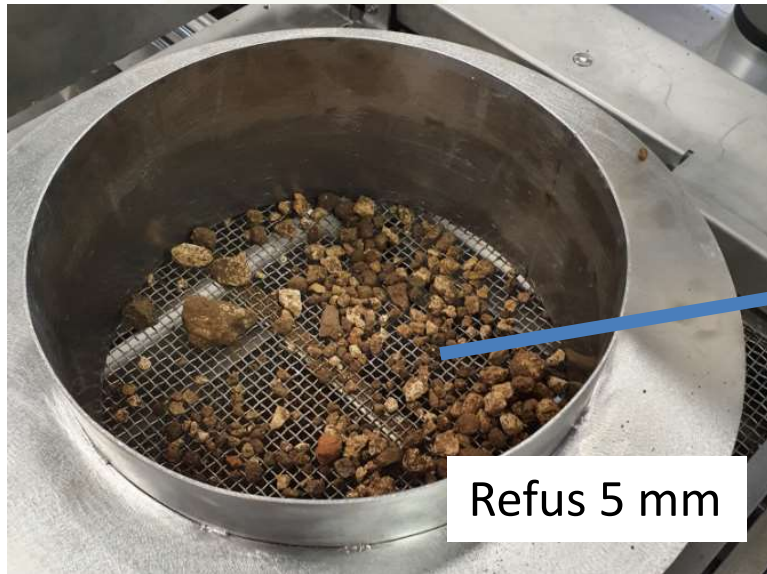
Contrainte forte pour les analyses faites sur les organismes vivants (collembolles, nématodes) → 7 jours max entre prélèvement et arrivée labo, et température entre 8 et 20°C (essais comparatifs)

Lot 1 : Offre de bioindicateurs du sol



Préparation des échantillons

aurea
AgroSciences



Automate de tamisage des terres brutes
(5 mm puis 2 mm)

→ Meilleure homogénéité, moins de
répétition et prise d'essai plus faible

Lot 1 : Offre de bioindicateurs du sol



Indicateurs liés aux cycles C et N



Indicateur	méthode	Nature des travaux dans le projet Agro-Eco Sol
Carbone labile / stable	fractionnement granulométrique	Optimisation / miniaturisation
Ressources microbiennes	Carbone extractible au KMnO4	Transfert de technologie (SEMSE)
Carbone vivant	Carbone Microbien (fumigation / extraction)	Optimisation (SEMSE)
Azote labile / stable	fractionnement granulométrique	Optimisation / miniaturisation
Azote biologiquement minéralisable	ABM, incubation anaérobie 7 jours 40°C	Transfert de technologie (SEMSE)

Plus d'infos sur ces indicateurs et leur pertinence :

https://comifer.asso.fr/images/rencontres/14emes_rencontres2019/Oraux/Vale/R19-PRESENTATION-VALE.pdf

https://comifer.asso.fr/images/rencontres/14emes_rencontres2019/Oraux/Vale/R19-ARTICLE-VALE.pdf



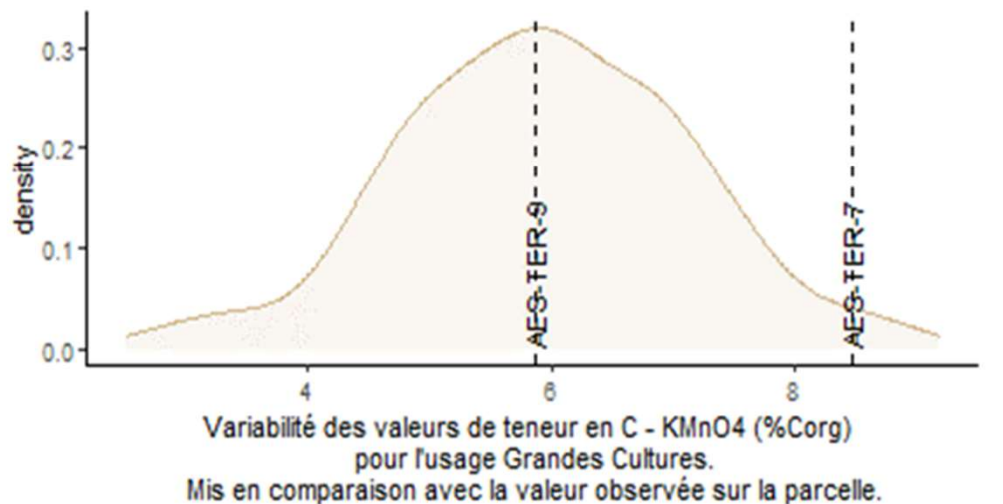
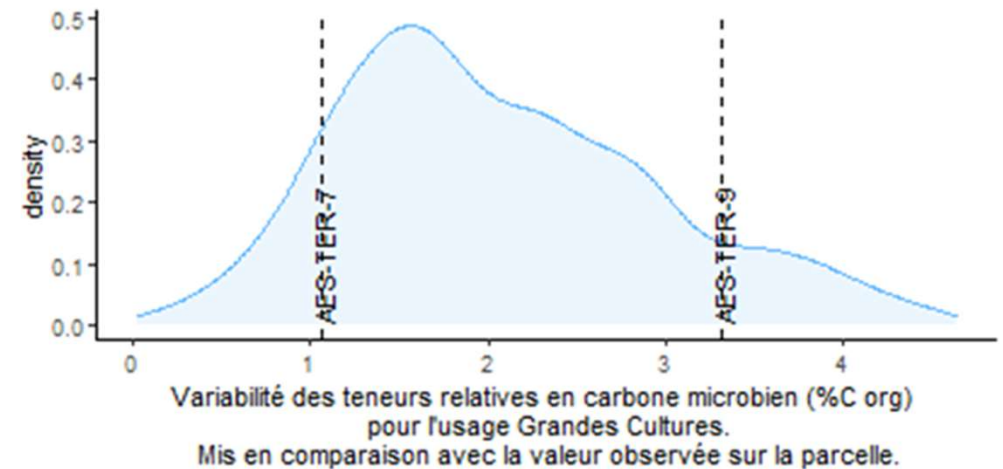
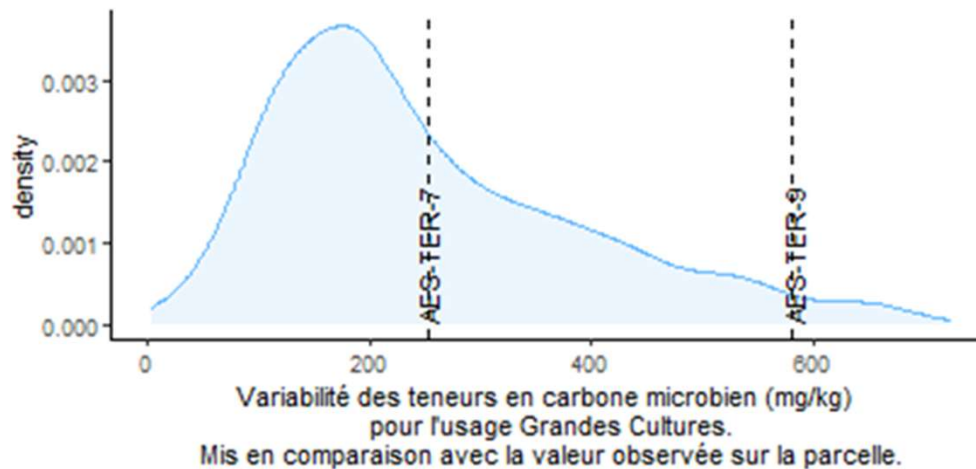
Lot 1 : Offre de bioindicateurs du sol



Indicateurs liés aux cycles C et N

Consolidation de distribution par grand type d'usage (BDD Auréa 2008-2022)

Etude des paramètres physico-chimiques de la parcelle



Lot 1 : Offre de bioindicateurs du sol



Abondance et diversité des bactéries et champignons

Extraction de l'ADN microbien du sol
(sol séché tamisé 2 mm)



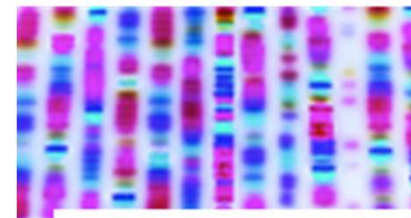
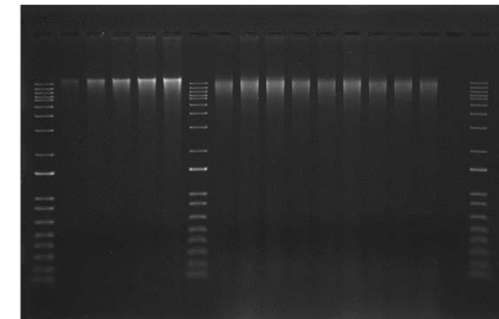
↓
ADN total (Biomasse Microbienne Moléculaire)

↓ *Purification / amplification*

Ratio F/B (proportion spécifique Champignons / bactéries)

↓ *Séquençage haut débit*

Diversité des bactéries et champignons
(richesse spécifique / nombre de taxons)



AGRO-ECO SOL

Lot 1 : Offre de bioindicateurs du sol

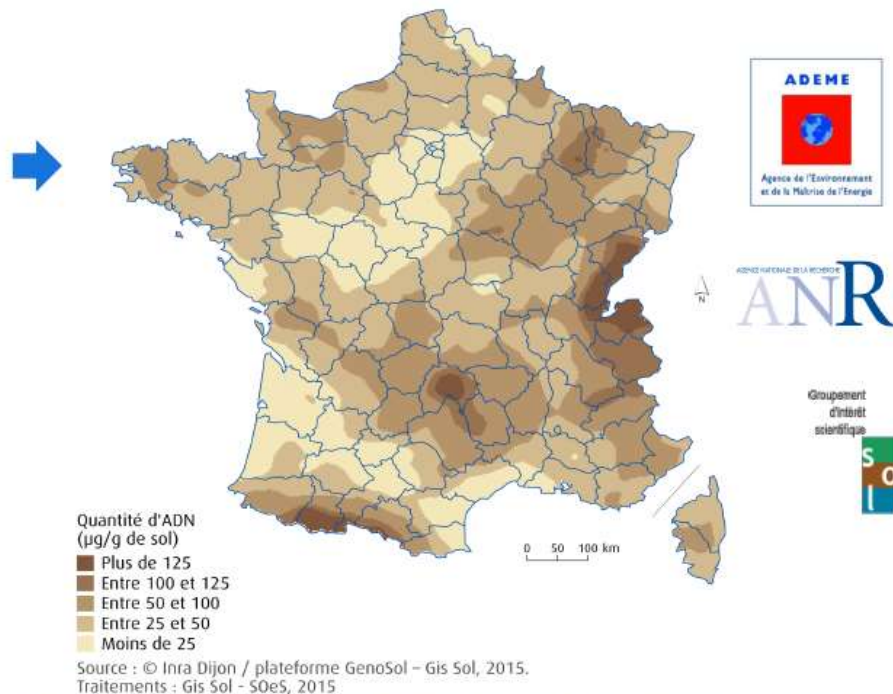


Abondance et diversité des bactéries et champignons

Comparaison des mesures à des bases de références issues de la recherche (Réseau de Mesure de la Qualité des Sols)

Biomasse Microbienne Moléculaire (BMM)

Carte de France de la biomasse moléculaire microbienne

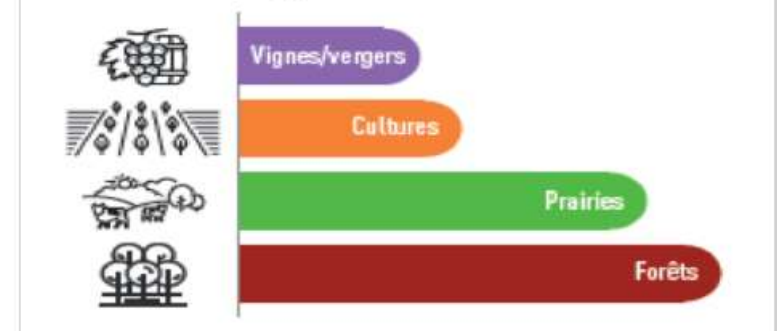


<http://indicateurs-biodiversite.naturefrance.fr/indicateurs/evolution-de-la-biomasse-microbienne-des-sols-en-metropole>

Type de sol

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

Mode d'usage



INRAE

Agroécologie
Dijon
Unité de Recherche

AGRO-ECO SOL

Lot 1 : Offre de bioindicateurs du sol

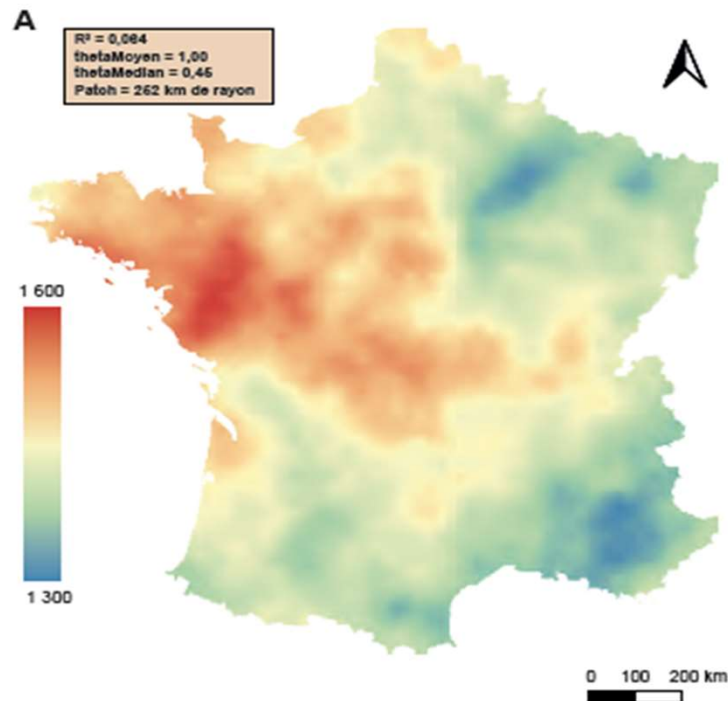


Abondance et diversité des bactéries et champignons



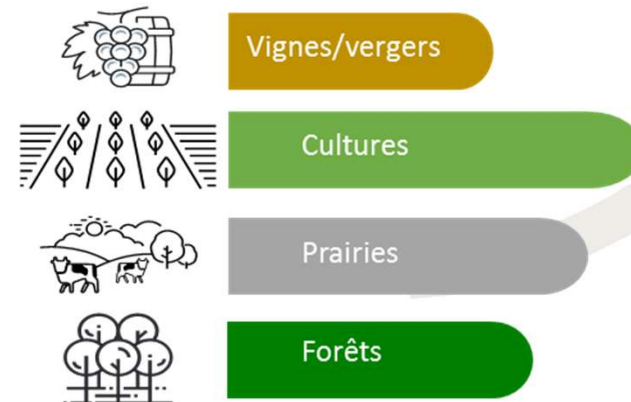
Nature des travaux dans le projet Agro-Eco Sol

- Transfert de technologie de l'INRAE Dijon vers Auréa
- Acquisition de références sur les sites du RMQS et développement de modèles prédictifs pour la diversité des champignons et l'équilibre champignons / bactéries



Diversité des champignons

Effet mode d'usage



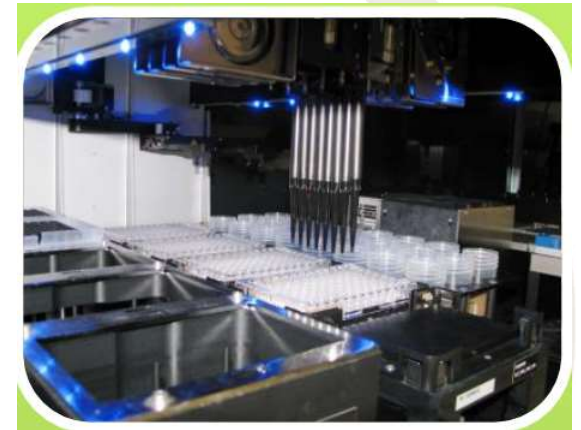
Lot 1 : Offre de bioindicateurs du sol



Activités enzymatiques

- **Cycle du Carbone** : **beta-Glucosidase**, *beta-Galactosidase*,
- **Cycle de l'Azote** : **Uréase**, **Arylamidase**,
- **Cycle du Phosphore** : **Phosphatase**, *phosphatase alcaline*, *PDE (phospho-diesterase)*
- **Cycle du Soufre** : **Arylsulfatase**

Mesure sur sol frais réalisée par la plateforme BioChemEnv de l'INRAE Versailles



Nature des travaux dans le projet Agro-Eco Sol

- Optimisation de la séquence de traitement des échantillons au laboratoire (sol frais ou sec réhumecté)
- Suivi dynamique de variation suite à l'apport d'engrais
- Construction d'un référentiel (agrégation des données disponibles antérieures + mesures sur les sites du RMQS) + modèles de prise en compte du pédoclimat



Lot 1 : Offre de bioindicateurs du sol

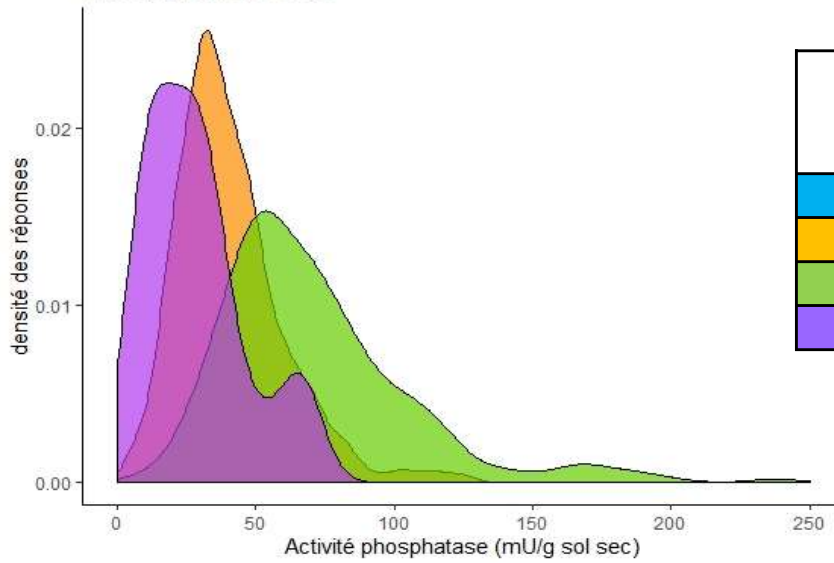


Activités enzymatiques

INRAE

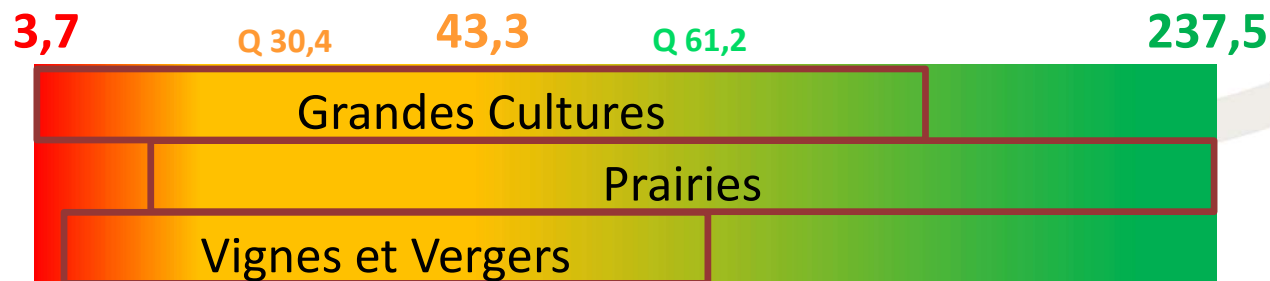
BiochemENV

Répartition de l'activité phosphatase en fonction de l'occupation des sols



	PHOS (mU/g sol sec)				
	MIN	1ER QUART	MED	3eme QUART	MAX
BDD GLOBALE	3,7	30,4	43,3	61,2	237,5
GDES CULTURES	3,7	28,2	37,2	50,2	126,2
PRAIRIES	8,7	49,3	64,8	86,5	237,5
VIGNES/VERGERS	5,6	13,9	26,3	36,1	69,1

Gamme de réponse de l'activité phosphatase (mU/g sol sec)



Lot 1 : Offre de bioindicateurs du sol



Abondance et diversité de la faune du sol

Prélèvement spécifique et identification visuelle

- Densité d'individus (nombre)
- Biomasse d'individus (masse)
- Diversité spécifique
- Diversité de catégories éco-morphologiques / groupes fonctionnels
 - Collemboles : Epiédaphiques, Hémiedaphiques, Euédaphiques
 - Vers de terre : épigés, anéciques, endogés
 - Carabidés : zoophages, phytophages, omnivores
 - Nématodes : bactérivores, fongivores, prédateurs, phytophages facultatifs, phytoparasites



Lot 1 : Offre de bioindicateurs du sol



Abondance et diversité de la faune du sol

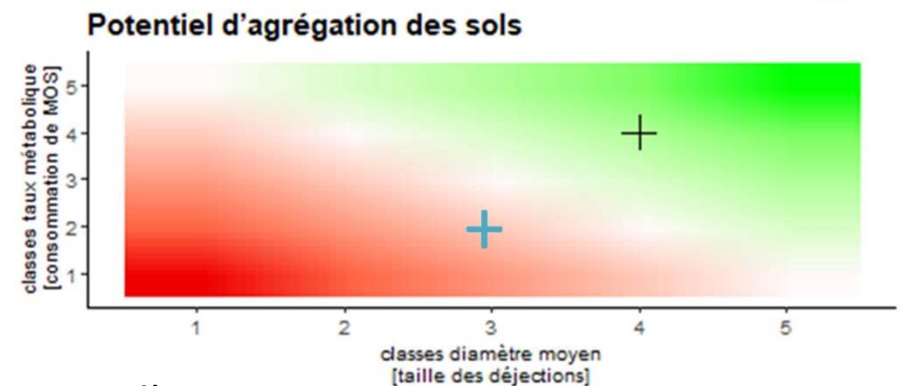
INRAE

ECO & SOLS

CENTRE D'ÉCOLOGIE
FONCTIONNELLE
& ÉVOLUTIVE

Nature des travaux dans le projet Agro-Eco Sol

- Transfert de technologie de l'INRAE Eco&Sols et CEFE (Université Montpellier) vers Auréa (collemboles, carabidés et vers de terre)
- Construction de référentiels (agrégation de données disponibles par grand type d'usage)
 - Vers de terre : BDD M. Bouché + M. Hedde
 - Collemboles : BDD J. Cortet illustrée dans Joimel et al. (2017)
 - Carabidés : BDD SOERE ACBB, Arena et Arvalis
 - Nématodes : prestation ELISOL
- Proposition d'indices (diversité, potentiels fonctionnels)
- Test de méthodes moléculaires (ADN environnemental)
 - Poursuite des travaux post-projet



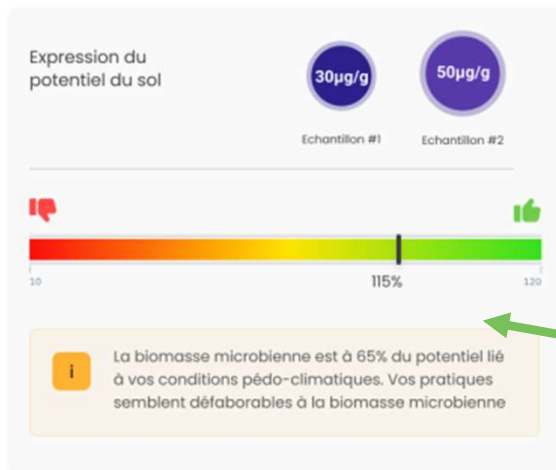
Lot 3 : Elaboration - évaluation du conseil



Positionnement relatif

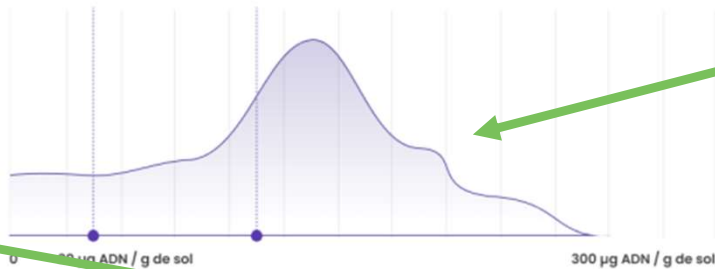
Visualisation des résultats de chaque indicateur et premier niveau d'interprétation

Abondance de la biomasse microbienne

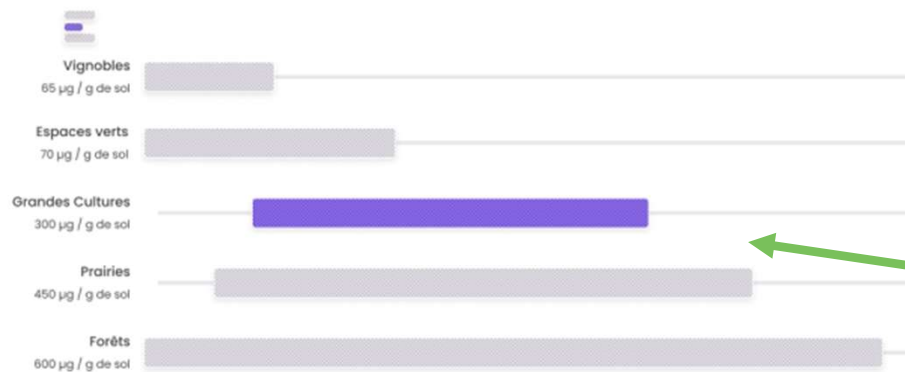


Où se situent mes parcelles ?

Comment se placent mes résultats dans le référentiel Grandes Cultures



Commentaire : positionnement de la valeur d'interprétation.
Exemple: la biomasse mesurée est faible mais pas surprenante compte-tenu du type de sol (sol acide)



Impact sur les fonctions du sol
Impacte la structure du sol



Courbe de distribution selon l'usage

Modèle prédictif selon le pédoclimat

Plage de variation selon les différents types d'usage

Lot 3 : Elaboration - évaluation du conseil



ARVALIS
Institut du végétal

Diagnostic fonctionnel et conseil

Agriculteur

Objectifs exprimés/Questions

Menu : Choix des
Observations/Analyses/Indicateurs

Fiche de renseignements
(SdC, pratiques, variables descriptives)

Observations au champ

Observations
(type de sol,...)

Mesures
(Test bêche,...)

Echantillons de terre

Résultats
bioindicateurs

Résultats
autres indicateurs

Fonctions/processus renseignés

Positionnement de la parcelle dans la typologie

Niveau souhaitable des processus

Diagnostic fonctionnel et Conseil

Niveau d'atteinte du processus pour chaque indicateur

Association de toutes ces valeurs pour établir
un **niveau d'atteinte** de synthèse de chaque processus

Diagnostic de satisfaction du/des processus/fonction

Conseil : → suffisant : oui / non
Sinon : → **leviers déclenchés**

Plus d'infos sur la logique d'interprétation et conseil :

https://comifer.asso.fr/images/rencontres/15e_rencontres_2021/Oral/PPT/R21-PRESENTATION-LESOUDER.pdf

https://comifer.asso.fr/images/rencontres/15e_rencontres_2021/Oral/ARTICLES/R21-ARTICLE-LESOUDER_AGRO_ECO_SOL.pdf

<https://youtu.be/Neyz4upH36w>



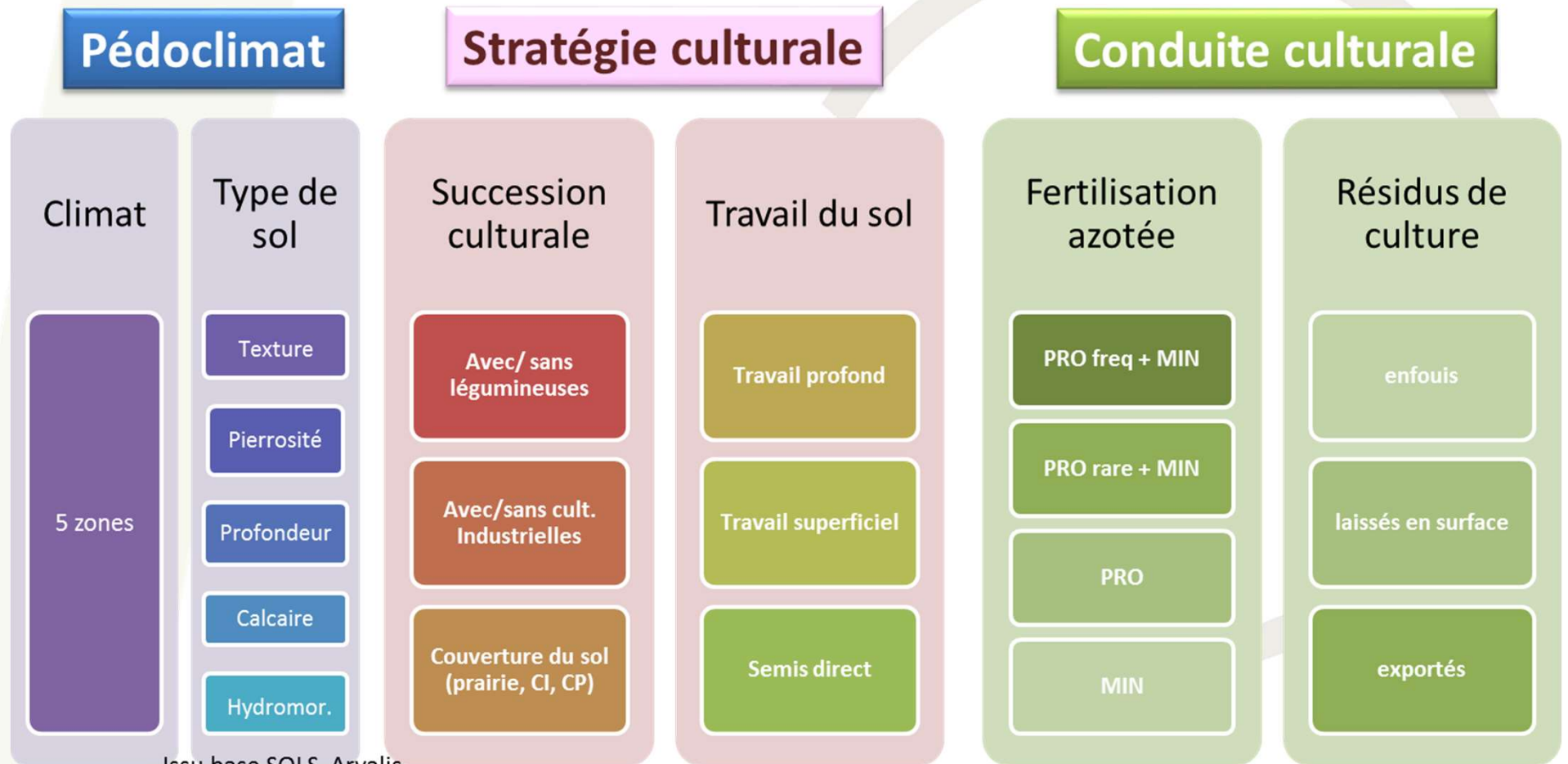
Lot 3 : Elaboration - évaluation du conseil



Diagnostic fonctionnel et conseil



Classification de la parcelle selon une typologie des systèmes de culture



Issu base SOLS Arvalis

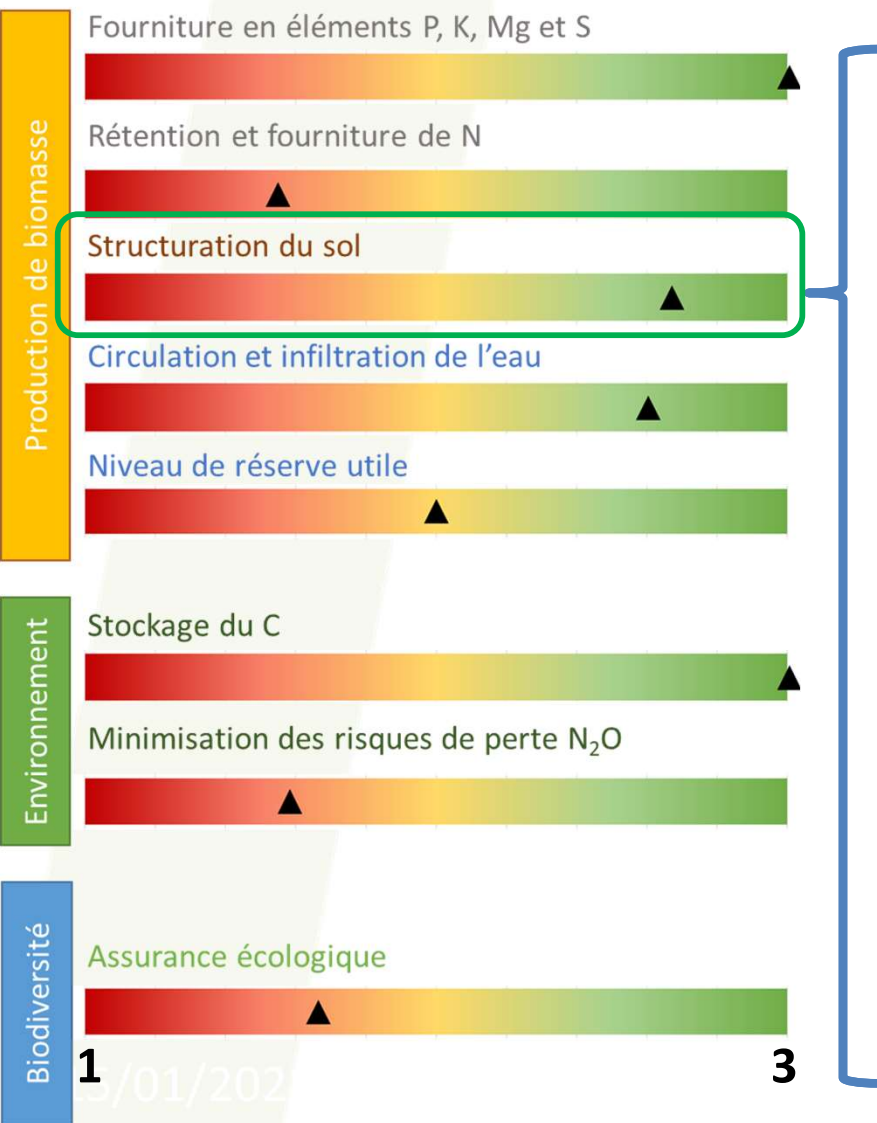


Lot 3 : Elaboration - évaluation du conseil



Diagnostic fonctionnel et conseil

ARVALIS
Institut du végétal

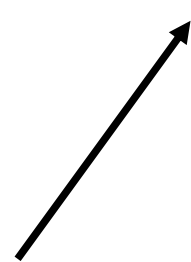


Niveau de fonction obtenu par combinaison des processus impliqués

Processus/propriétés concernés	Niveaux des processus
Stabilité structurale (propriété)	3.00
Porosité	2.50
Agrégation	2.50

Niveau attendu 1-3
(typologie)

Niveau atteint 1-3
(agrégation d'indicateurs)



Taux de MO	2,5
Test bêche	2,5
Indice de battance	3,0
Diversité microbienne	3,0

Lot 3 : Elaboration - évaluation du conseil



Diagnostic fonctionnel et conseil

ARVALIS
Institut du végétal

Indication d'un niveau de performance des fonctions, selon leur note issue du diagnostic (1-3) :
Préoccupant (< 1.66), Vigilance (1.66 ; 2.33), Performance (> 2.33)

→ Proposition de leviers qualifiés (temps d'action, coût de mise en œuvre, technicité) à mettre en œuvre et/ou à conserver

Groupe de levier	Types de levier
Apports organiques	Quantité / Date / Type / ajustement par plan de fumure
Apports minéraux	Plan de fumure / Correction du pH
Gestion de l'eau	Drainage / Irrigation (vigilance en sol battant)
Gestion des couverts	Fréquence / Type
Paysage	Gestion des corridors écologiques (haies, bandes enherbées,...)
Gestions des résidus de culture	Fréquence restitution / Broyage
Stockage carbone	Pratiques de référence pour la rotation considérée
Succession de culture	Culture à risque / Date de récolte / Culture pérenne / Diversification
Travail du sol	Fréquence / Intensité / Type / Profondeur

Lot 3 : Elaboration - évaluation du conseil



Formation – documentation technique



Objectifs :

- Mise à jour des connaissances agronomiques
- Présentation de l'outil AES
- Bien utiliser l'outil AES

Types de supports :
ppt, texte, MOOC, hotline, web formation / webinaire / classe virtuelle, publication



Structure modulaire : en miroir de l'offre commerciale, avec socle commun, modules cumulables ou consultables indépendamment

Formation dans le cadre d'une certification / labellisation





2018

2019

2020

2021

2022

2023

DEVELOPPEMENT

TESTS

COMMERCIALISATION

		automne 22	hiver 22/23	printemps 23	été 23	automne 23	hiver 23/24	printemps 24
Indicateurs	mise en production de nouvelles analyses							
	plein capacité analytique							
interprétation conseil	validation des moteurs d'interprétation					évolution / mise à jour		
	interface résultats offre AES							
	documentation technique							
Mise en marché	prélèvement / logistique							
	Politique commerciale							
	lancement offre AES			09/03/2023				
	indicateurs à la carte							
	Plein déploiement de l'offre AES							