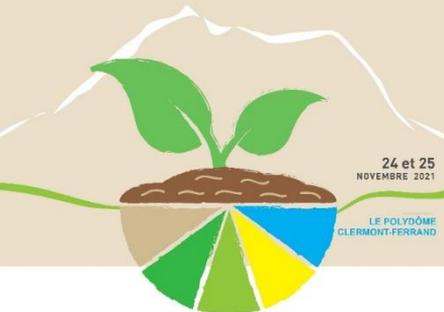


15^È RENCONTRES

DE LA FERTILISATION RAISONNÉE
ET DE L'ANALYSE



Le rendez-vous biennal des professionnels de la fertilisation raisonnée

comifer
Centre National de Recherche et de Développement
en Fertilisation Raisonnée

Gemas
Généraliste des Analyses de Sol

AGRO-ECO SOL, UN OUTIL DE DIAGNOSTIC DES FONCTIONS DU SOL BASE SUR DES BIOINDICATEURS ; STRUCTURE ET REGLES GENERALES D'INTERPRETATION



**Christine LE SOUDER¹, Matthieu VALE², Florent CHLEBOWSKI^{1,2}, Lionel RANJARD³, Pierre-Alain MARON³,
Samuel DEQUIEDT³, Mickaël HEDDE⁴, Nathalie CHEVIRON⁵, Jérôme CORTET⁶, Nicolas SABY⁷,
Cécile VILLENAVE⁸, Caroline DIZIEN⁹, Baptiste SOENEN¹⁰**

¹ARVALIS, 91720 Boigneville ; ²AUREA Agrosociences, 270 avenue de la pomme de pin, 45160 Ardon ; ³INRAE, UMR Agroécologie, 17 rue de Sully, 21065 Dijon Cedex ; ⁴INRAE, UMR Eco&Sols, 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex ; ⁵INRAE, UMR ECOSYS – Plateforme Biochem-Env, Route de Saint-Cyr, 78026 Versailles ; ⁶CEFE, Université Paul-Valéry Montpellier 3, Route de Mende, 34199 Montpellier cedex 5 ; ⁷INRAE, US InfoSol, 2163 avenue de la pomme de pin, 45160 Ardon ; ⁸ELISOL Environnement, ZA des Tourels, 10 avenue du midi, 30111 Congénies ; ⁹Agrosolutions, 17 rond-point de l'Europe, 51430 Bezannes ; ¹⁰ARVALIS, 241 Route de Chapulay, 69330 Pusignan

AGRO-ECO SOL : le projet

janvier 2018 → (décembre 2021) 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

ADEME



AGENCE DE LA
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

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



LE GRAND PLAN
D'INVESTISSEMENT

Contexte

- **Rôle central du sol dans l'Agroécologie** : écosystème à piloter de façon à ce qu'il fournisse durablement ses services (support de la production, régulation de la qualité de l'air, ...)
- Besoin de doter l'ensemble des acteurs **d'outils de routine** pour évaluer l'état du sol, et orienter les pratiques

Objectifs

- **Industrialiser des processus inédits d'analyse de terre** (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 selon l'effet du pédoclimat et des pratiques culturales, définition de niveaux souhaitables des fonctions renseignées par ces bioindicateurs, ainsi que des leviers d'action possibles pour atteindre ces niveaux)

Composantes de l'offre

Formation des
utilisateurs

Observation
terrain +
prélèvement

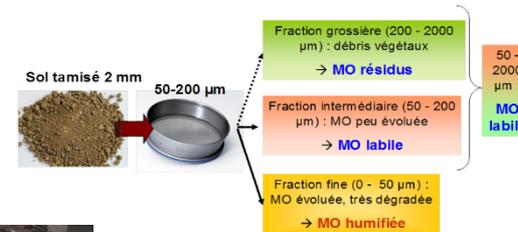
Analyses
labo

Diagnostic
et conseil

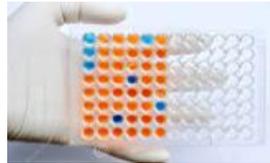
Restitution
client

AGRO-ECO SOL : Les bioindicateurs retenus

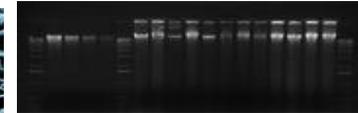
- ✓ Indicateurs liés aux cycles du carbone et de l'azote (minéralisation, fractions labiles)



- ✓ Activités enzymatiques



- ✓ Abondance et diversité microbienne (ADN bactéries et champignons)



- ✓ Abondance et diversité de la faune du sol (vers de terre, carabidés, collemboles, nématodes)



AGRO-ECO SOL : Les bioindicateurs retenus

Type d'indicateur	Méthode	Nature des travaux dans le projet Agro-Eco Sol
Caractérisation de la matière organique : carbone et azote labiles/stables	Fractionnement granulométrique de la matière organique	Optimisation par Auréa AgroSciences
	<ul style="list-style-type: none"> • Carbone labile KMnO_4 • Azote Biologiquement Minéralisable 	Transfert de technologie par SEMSE
Abondance microbienne	Biomasse microbienne par fumigation-extraction	Optimisation par Auréa AgroSciences et SEMSE
	<ul style="list-style-type: none"> • ADN microbien total • Abondance relative des champignons (ADNr 18S) et des bactéries (ADNr 16S) (ratio F/B) 	Transfert de technologie par INRAE UMR Agroécologie et acquisition de références par INRAE UMR Agroécologie et Auréa AgroSciences (ratio F/B)
Activité microbienne	Activités enzymatiques (N, C, P, S)	Optimisation et acquisition de références par INRAE UMR ECOSYS-Plateforme Biochem-Env
Diversité des bactéries et champignons	Diversité taxonomique par séquençage ADN haut débit	Acquisition de références par INRAE UMR Agroécologie (champignons), prestation de séquençage réalisée par GenoScope
Abondance et diversité des vers de terre, carabidés et collemboles	Identification par analyse morphologique	Transfert de technologie par INRAE UMR Eco&Sols et Université Montpellier CEFE
	Diversité moléculaire de la faune du sol	Étude de faisabilité par INRAE UMR Eco&Sols et Université Montpellier CEFE
Abondance et diversité des nématodes	Identification par analyse morphologique	Prestataire analyse : ELISOL Environnement

Complément de la part des scientifiques :

transfert d'un référentiel descriptif

en attendant qu'Auréa puisse se constituer un référentiel suffisant

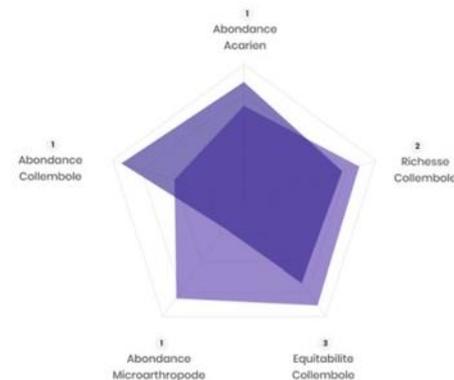
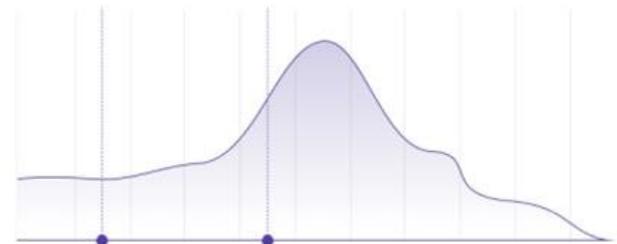
→ Cela permet de restituer un **positionnement relatif** des valeurs des parcelles, pour tous les indicateurs biologiques

Restitution aux clients :

- Valeur des indicateurs mesurés/indices calculés
- Positionnement de la (des) parcelle(s) dans une distribution
- Commentaire sur ce positionnement
- Lien vers une page web descriptive de l'indicateur 

Où se situent mes parcelles ?

Comment se placent mes résultats dans le référentiel Grandes Cultures



● Echantillon#1
● Echantillon#2

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**

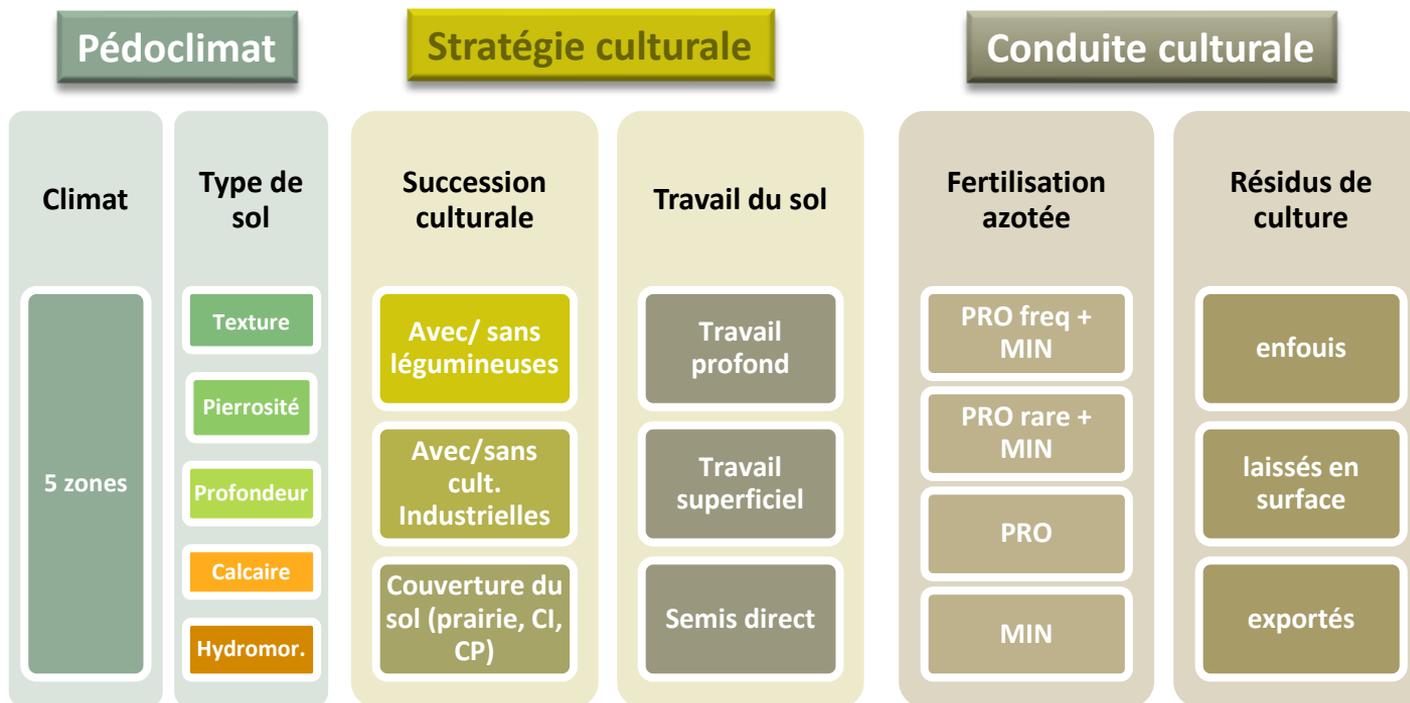
Niveau d'atteinte du processus pour chaque indicateur

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**

1- La typologie des systèmes de culture et du pédoclimat



Issu de la base
SOLS Arvalis

1- La typologie des systèmes de culture et du pédoclimat

12 critères

Climat
Texture
Pierrosité
Profondeur
Teneur en calcaire
Hydromorphie
Fertilisation N
Gestion des résidus
Couverture du sol
Légumineuses
Cultures industrielles
Profondeur travail sol

Pour le schéma d'interprétation, la typologie développée dans le périmètre Agro-Eco Sol permet, pour les quelques 25 processus identifiés, de définir notamment :

- un **niveau souhaitable** (issu d'un **niveau attendu** associé à une règle de décision)
- Et d'un **niveau d'exigence** (ou de priorisation)

Ces niveaux sont qualifiés par des notes de 1,00 à 3,00 (ex : 1,25 qualifié de faible)

Ces niveaux sont obtenus comme suit :

- En combinant des notes 0, 1, 2 ou 3 par modalité des critères et par processus à des coefficients de pondération entre critères et donc par processus

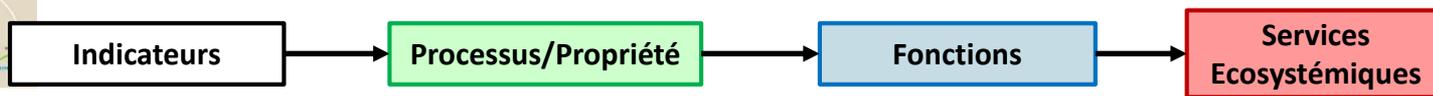
→ On est ainsi en capacité, par processus et pour chaque situation, de définir des niveaux dédiés

Ainsi, pour chaque parcelle, on dispose de :

- un **niveau souhaitable** : niveau objectif auquel on va confronter un niveau issu des mesures
- un **niveau de priorisation** des processus et fonctions entre eux/elles, permettant d'aider au diagnostic final et de hiérarchiser les leviers à déclencher

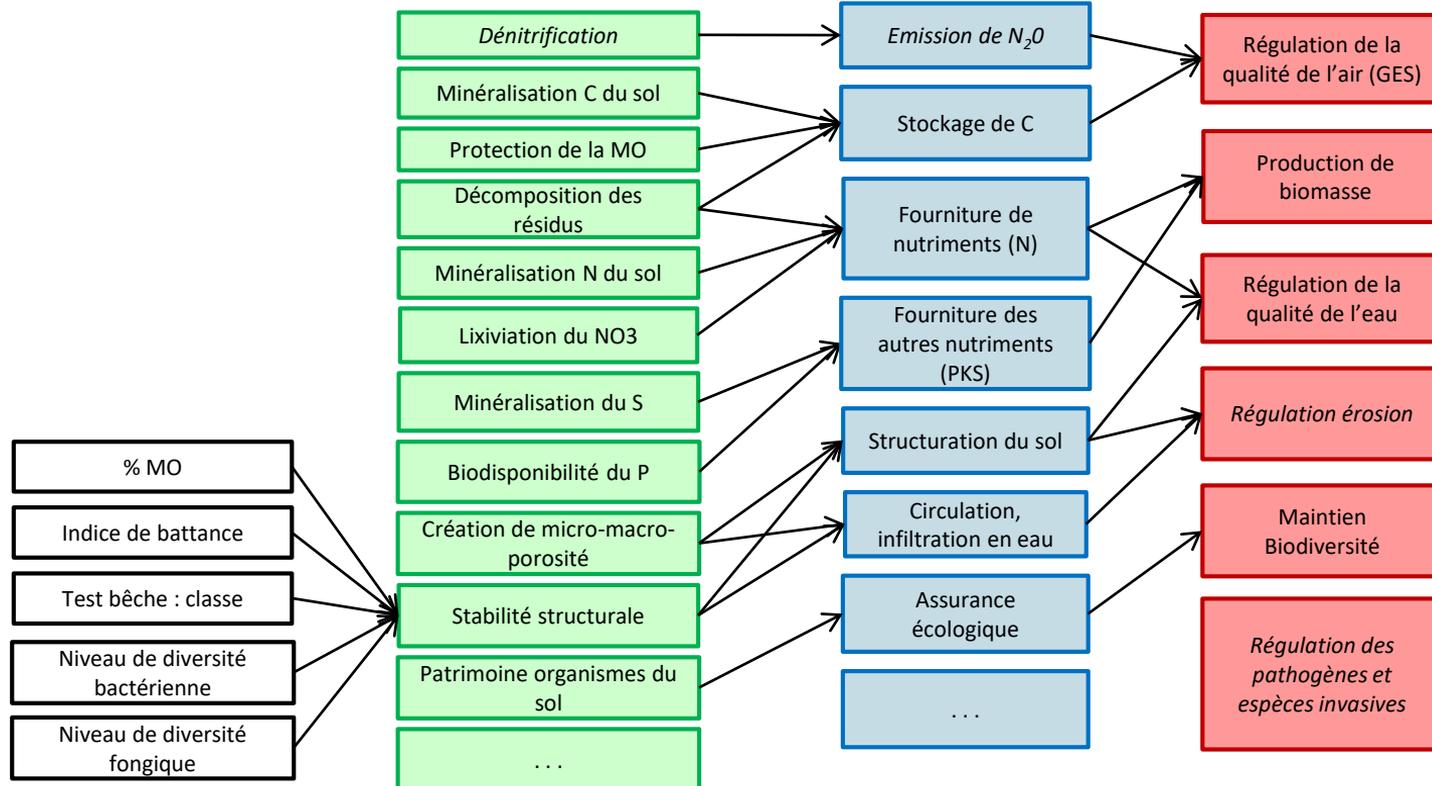
Pondération par :

- Bibliographie
- Modèles agro
- Expertise



2- L'arborescence entre indicateurs et services écosystémiques

(Extrait)



Issu de :

- EFESE 2017
 - Séminaire INRAE-ADEME juin 2019
- et adapté à Agro-Eco Sol

En italique : fonction ou S.E. peu renseigné

2- L'arborescence entre indicateurs et services écosystémiques

Elaboration du **niveau d'atteinte**, qui sera à rapprocher du niveau souhaitable :

- Note de 1,00 à 3,00 donnant le niveau du processus par l'indicateur seul
- Pondération entre les indicateurs participant à l'évaluation d'un processus
- Débouchant sur un niveau atteint du processus, note entre 1,00 et 3,00

Remplissage par :

- Bibliographie
- Modèles (CHN, AMG)
- Expertise

! Pour les indicateurs biologiques :

Ils ne sont pas tous valorisés dans ce schéma fonctionnel, du fait du faible nombre encore de travaux publiés où ils sont mis en relation avec un processus ou une fonction agronomique ou environnementale.

2- L'arborescence entre indicateurs et services écosystémiques

Apport de la méthode DAG (Directed Acyclic Graph) associée au réseau bayésien

Objectif :

- Formaliser notre expertise *via* l'élicitation d'experts sur quelques processus pour associer modèle agronomique et potentiel d'un processus avec le croisement de l'ensemble des bioindicateurs

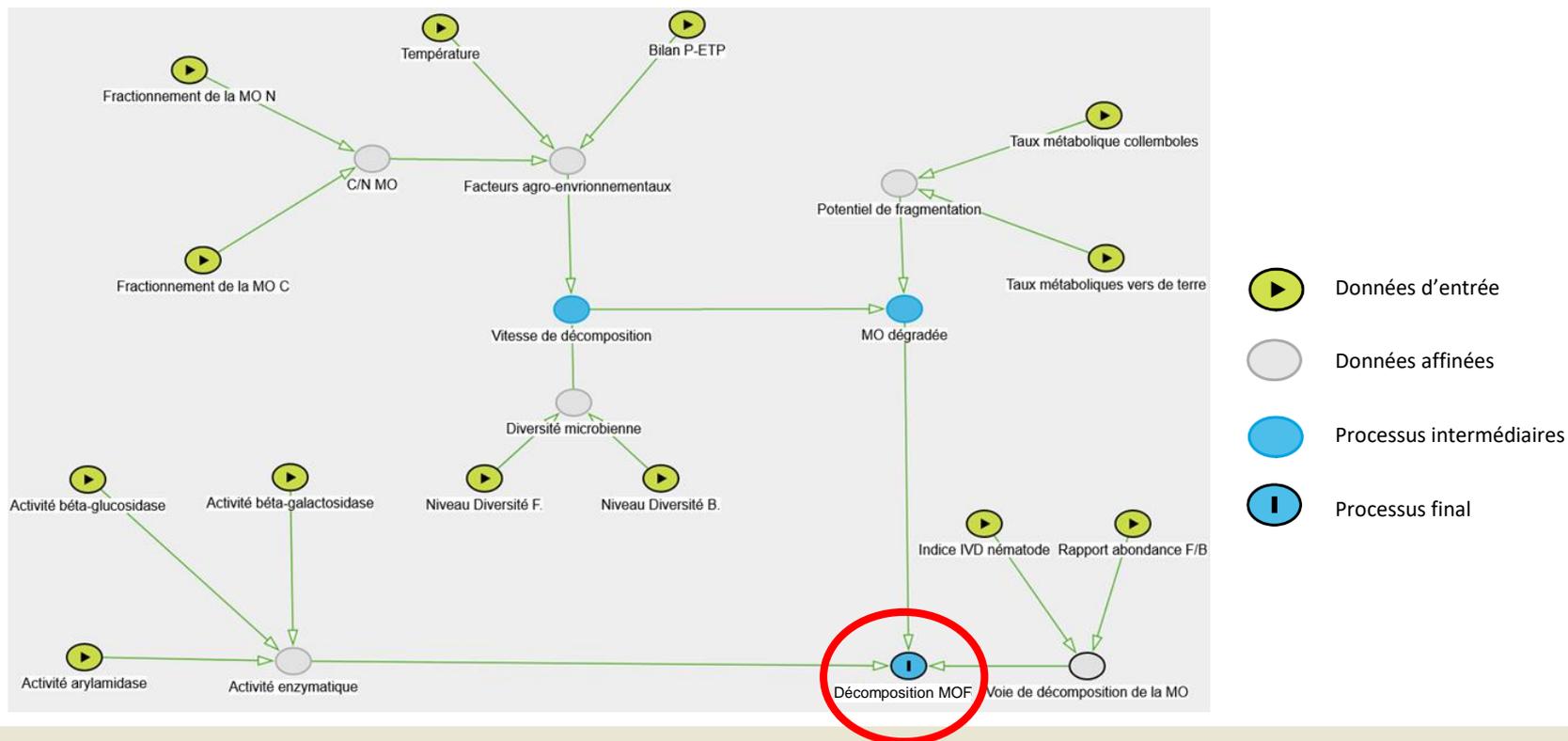
Principe :

- Construire une représentation graphique des liens de causalité entre les indicateurs et les processus liés au sol, afin de représenter l'ensemble des relations dans un réseau organisé, en y associant à la fois de l'expertise, des données, et des modèles
- Formaliser la distribution des variables et déboucher sur un modèle statistique

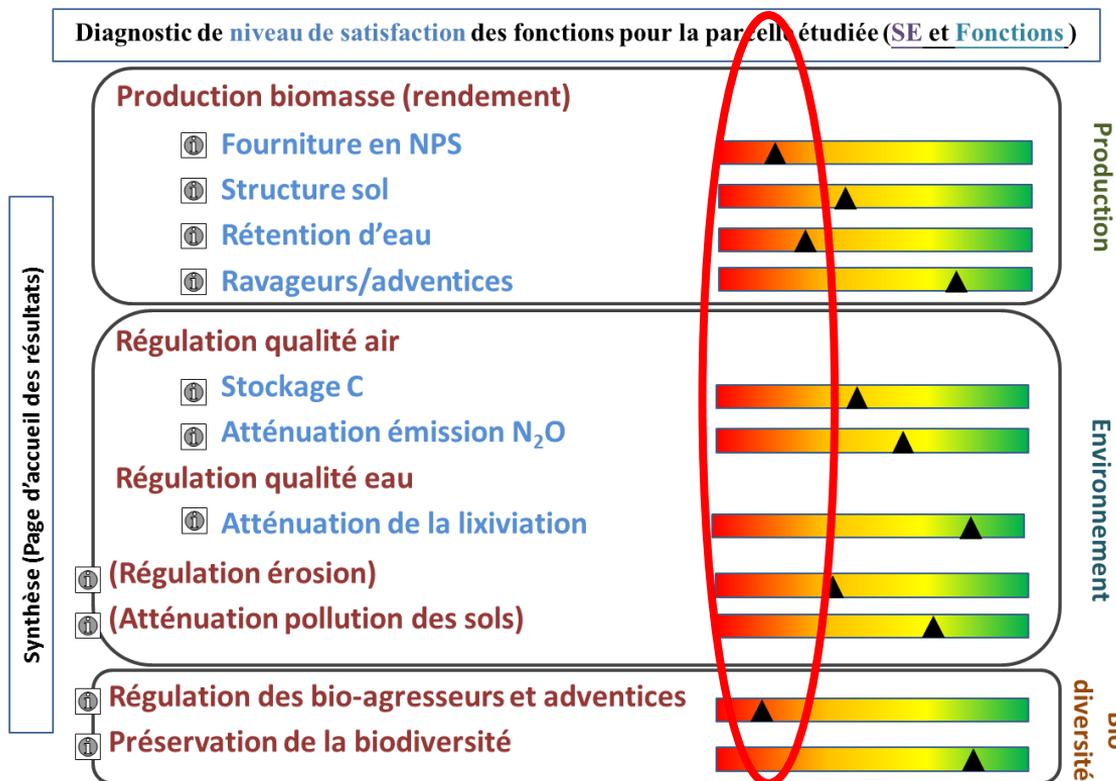
Moyen :

- Faire interagir ensemble autour d'une table les différents experts concernés

Illustration d'un DAG – Cas de la **décomposition des MOF (Matières organiques fraîches)**



3- Le diagnostic de satisfaction des processus puis des fonctions



Déclenchement de leviers

4- Le conseil et déclenchement de leviers

- Proposition de plusieurs leviers
- Test de compatibilité avec les pratiques
- Qualification des leviers

Levier(s)	Temps d'action	Coût	Technicité	Processus concernés
Augmenter la fréquence d'un couvert	 2.5	€€ 2	 3	Dynamique du C
Apport de PRO	 2.5	€€ 2	 3	Dynamique du C
Restitution des résidus de culture	 2.5	€ 1	 2	Dynamique du C
Insertion d'une prairie dans la rotation	 2	€€ 2	 2	Dynamique du C
Levier(s)	Temps d'action	Coût	Technicité	Processus concernés
Enfouissement des résidus	 1	€ 1	 1	Décomposition des MOF
Insertion d'une légumineuse (faim en N)	 2	€€ 2	 2	Décomposition des MOF
Apport de PRO à C/N limité	 2.5	€€ 2	 3	Décomposition des MOF

(exemple fictif)

Intérêts de la structuration du schéma d'interprétation :

- ✓ Structure souple qui va permettre d'intégrer des nouvelles avancées : de nouveaux indicateurs, de nouveaux acquis sur les liens entre des indicateurs et des processus
- ✓ Nouvelle conception de la restitution au client et plus globalement du service :
 - dossier informatisé par client, navigation dans toutes les étapes du diagnostic
 - réalisation de simulations, saisie de ses propres choix/objectifs
- ✓ Déceler des zones « d'ombre » orientant des efforts de référencement
 - Aboutissement d'une version V0 en cours (codage du moteur et interfaces)
 - Test de l'ensemble de la chaîne et validation :
 - campagne de mesure et de test chez des clients au printemps 2021
 - à renouveler en 2022



→ Lancement automne 2022



Merci de votre attention



**PORTEUR
DU PROJET**



PARTENAIRES



PRESTATAIRES

**Sociétés
expertise conseil**



Coopératives



**Laboratoires
privés**



**Laboratoires de
recherche**



**Ecole
d'ingénieurs**



ADEME



**AGENCE DE LA
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

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



**LE GRAND PLAN
D'INVESTISSEMENT**