

WEBINAIRE

PRID



3 / 4



MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

La Région
Auvergne-Rhône-Alpes



PRiD

Partenariat régional agricole
recherche innovation développement

Repenser nos systèmes

Quelles combinaisons de pratiques permettent d'améliorer la fertilité des sols?



PÔLES D'EXPÉRIMENTATIONS PARTENARIALES
POUR L'INNOVATION ET LE TRANSFERT
VERS LES AGRICULTEURS D'Auvergne-Rhône-Alpes



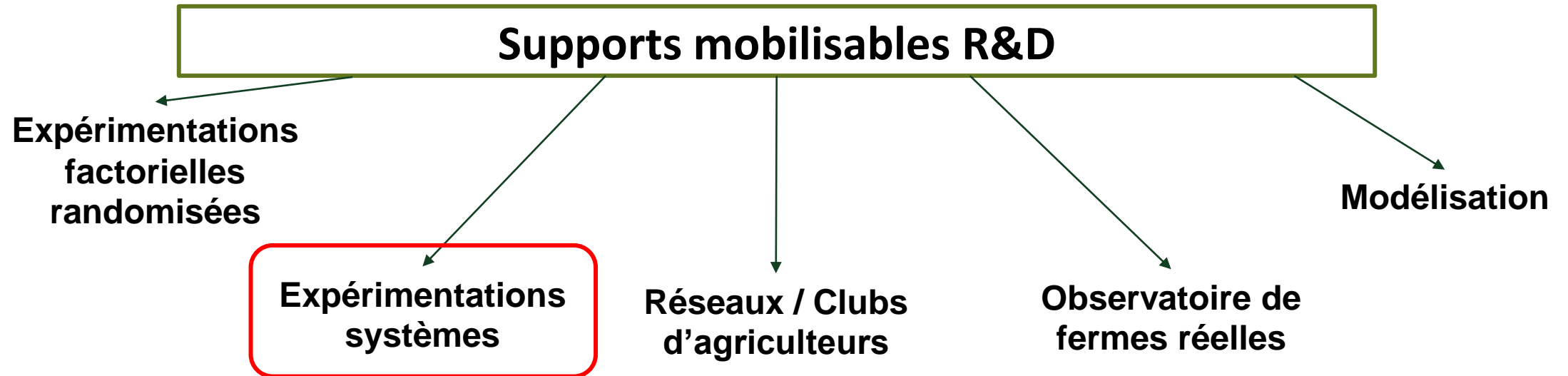
Programme du webinar

Introduction	
Qu'est ce qu'une expérimentation système ? Les dispositifs présentés	Thomas PACAUD (CRA AURA)
PARTIE 1 : La fertilité des sols: comment la définir et l'approcher par des mesures	
La fertilité des sols	Jean-François VIAN (ISARA)
Les indicateurs mobilisables	
Questions	
PARTIE 2 : Les systèmes de culture et les indicateurs mobilisés	
Description des systèmes de culture	Jean-François VIAN (ISARA)
Les indicateurs mesurés et présentés	
Questions	
PARTIE 3 : Les résultats, conclusion et discussion	
Les principaux résultats	Jean-François VIAN (ISARA)
Discussion et conclusion	
Questions	
PARTIE 4 : Témoignage conseiller et échanges	
	Yoann Ginestière (CA Puy-de-Dôme)
Le mot de la fin	Thomas PACAUD (CRA AURA)



Les différents supports R&D

De nombreux supports sont utilisables pour apporter des réponses à des problématiques qui concernent les systèmes de culture innovants



→ Chaque support a ses intérêts et ses limites

→ Choisir le support le plus adapté aux besoins



Définition du système de culture

Systeme de culture = « **ensemble cohérent de modalités techniques** mises en œuvre sur une ou plusieurs parcelles gérées de manière identique au fil des années »

*Meynard (2021) et Havard et al. (2017),
d'après Sébillotte (1988)*

Logique systémique entre les actes techniques

Systeme de culture = ensemble de règles de décision

Définition des expérimentations système

Systeme de culture construit **en vue d'atteindre des objectifs renouvelés**
orienté vers des enjeux émergents,
et évalué selon les priorités des agriculteurs, des filières, et de la société.

- ⇒ Le **processus d'innovation** consiste à
- **Construire de nouvelles combinaisons de techniques et de cultures existantes, autant qu'à**
 - **Introduire des techniques et cultures nouvelles**

Meynard (2012)

A quoi sert une expérimentation système ?

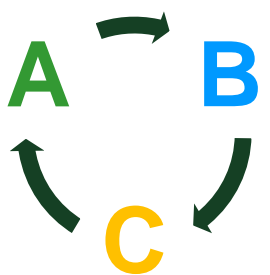
- ⇒ **Tester la faisabilité technique** d'un nouveau système de culture, ainsi que **la cohérence agronomique** des décisions prises, **établir les règles de décision pour le piloter**
- ⇒ Le **système est le facteur étudié**. Il n'y a parfois qu'un seul système expérimenté (= une seule modalité).
- ⇒ Le système expérimenté est conçu pour **répondre *a priori* à certains objectifs** de performance (techniques, agronomiques, économiques, environnementales, etc.).
- ⇒ **Analyser les capacités** du système à **atteindre les objectifs fixés**, et les améliorer itérativement
- ⇒ L'hypothèse de mise à l'essai est de **vérifier que le système expérimenté est faisable et atteint les objectifs escomptés**.
- ⇒ **Evaluer la contribution** du système **au développement durable** (performances environnementales, sociales et économiques)
- ⇒ **Améliorer les connaissances sur l'effet** d'un SdC sur l'agroécosystème

Les dispositifs

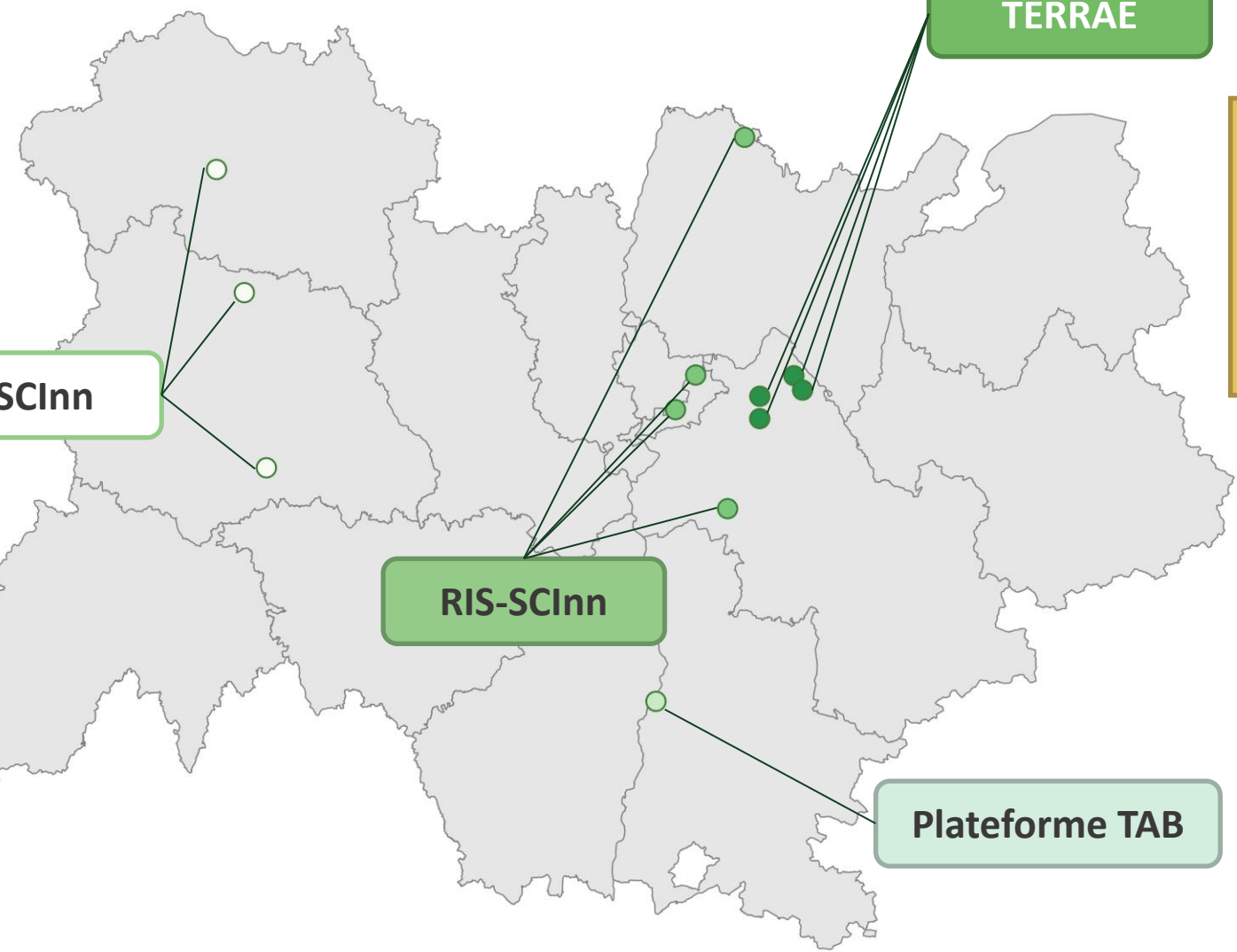


Exploitation innovante

Exploitation référence



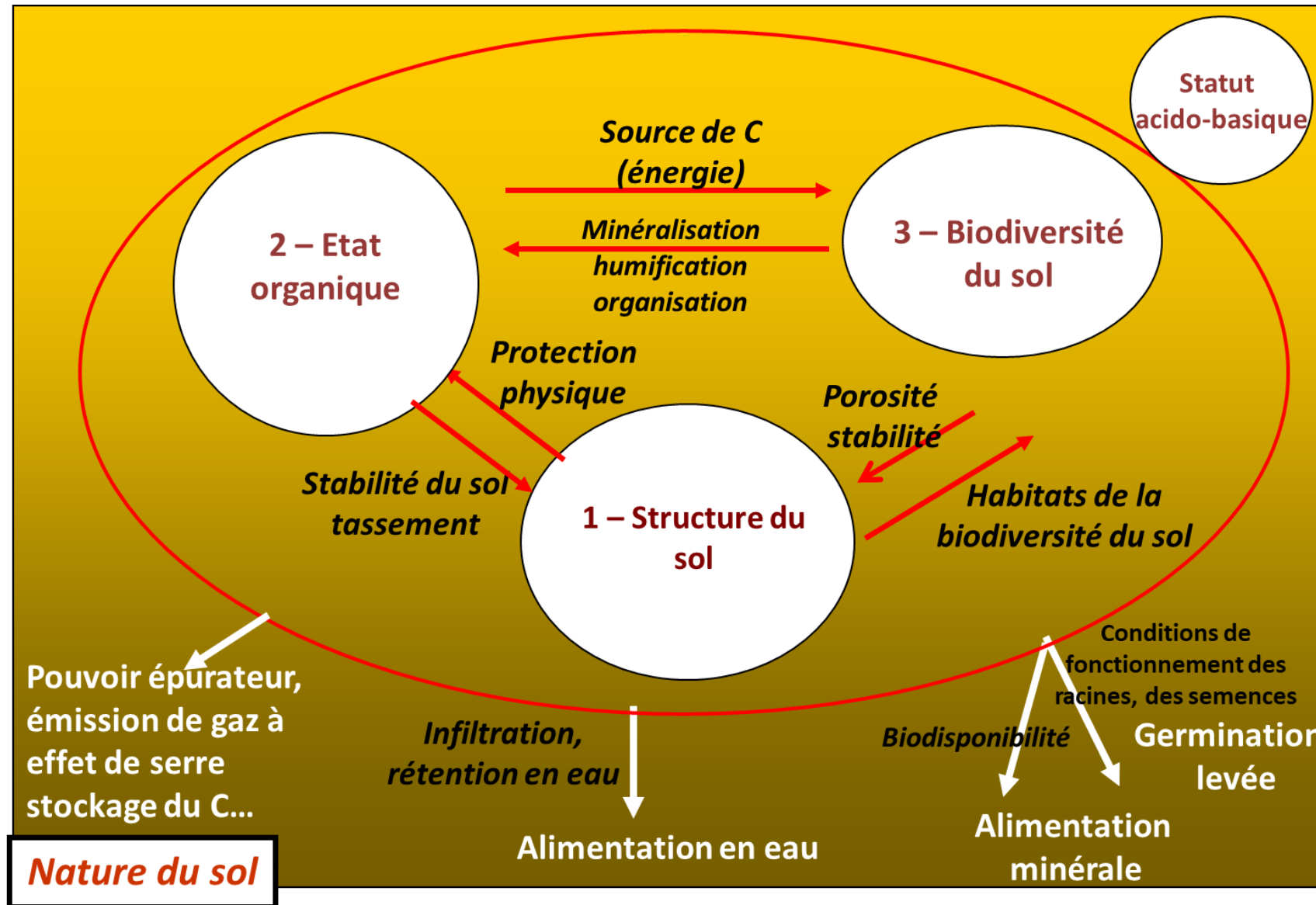
A	B	C
C	A	B
B	C	A



PARTIE 1 :

La fertilité des sols: comment la définir et l'approcher par des mesures?

Comment définir la fertilité des sols?



Peigné, Vian et Roger-Estrade, 2013

1 – La structure du sol: le gîte!

La structure est l'arrangement spatial des particules du sol qui permet:

- aux racines de pénétrer et se s'ancrer dans le sol
- l'infiltration de l'eau à travers les pores et les fissures
- la rétention de l'eau
- les échanges de gaz et d'eau avec le système racinaire
- la minéralisation des matières organiques et l'assimilation des nutriments par les racines
- le maintien de la biodiversité dans les sols et des activités biologiques

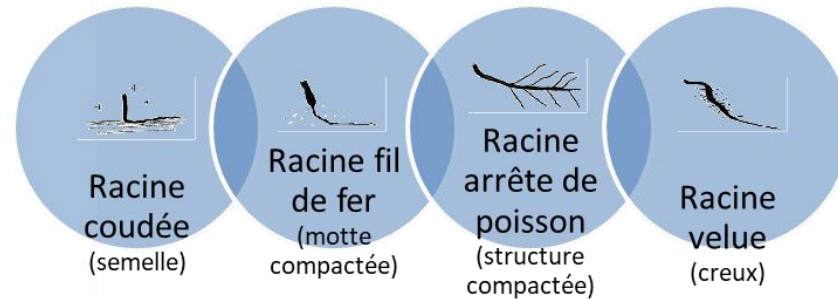
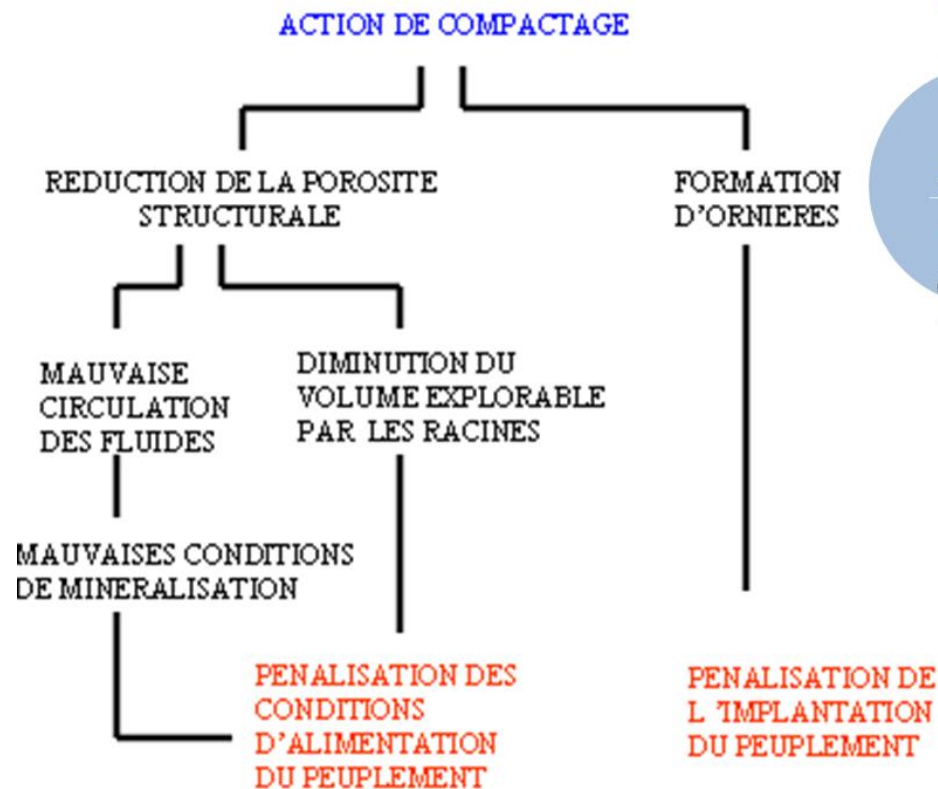


2

Une bonne structure uniforme permet de garantir une croissance des plantes tout en minimisant les problèmes environnementaux

1 – La structure du sol: le gîte!

Facteurs de tassements: climat, passages d'engins, lissages des outils, piétinement - pâturage

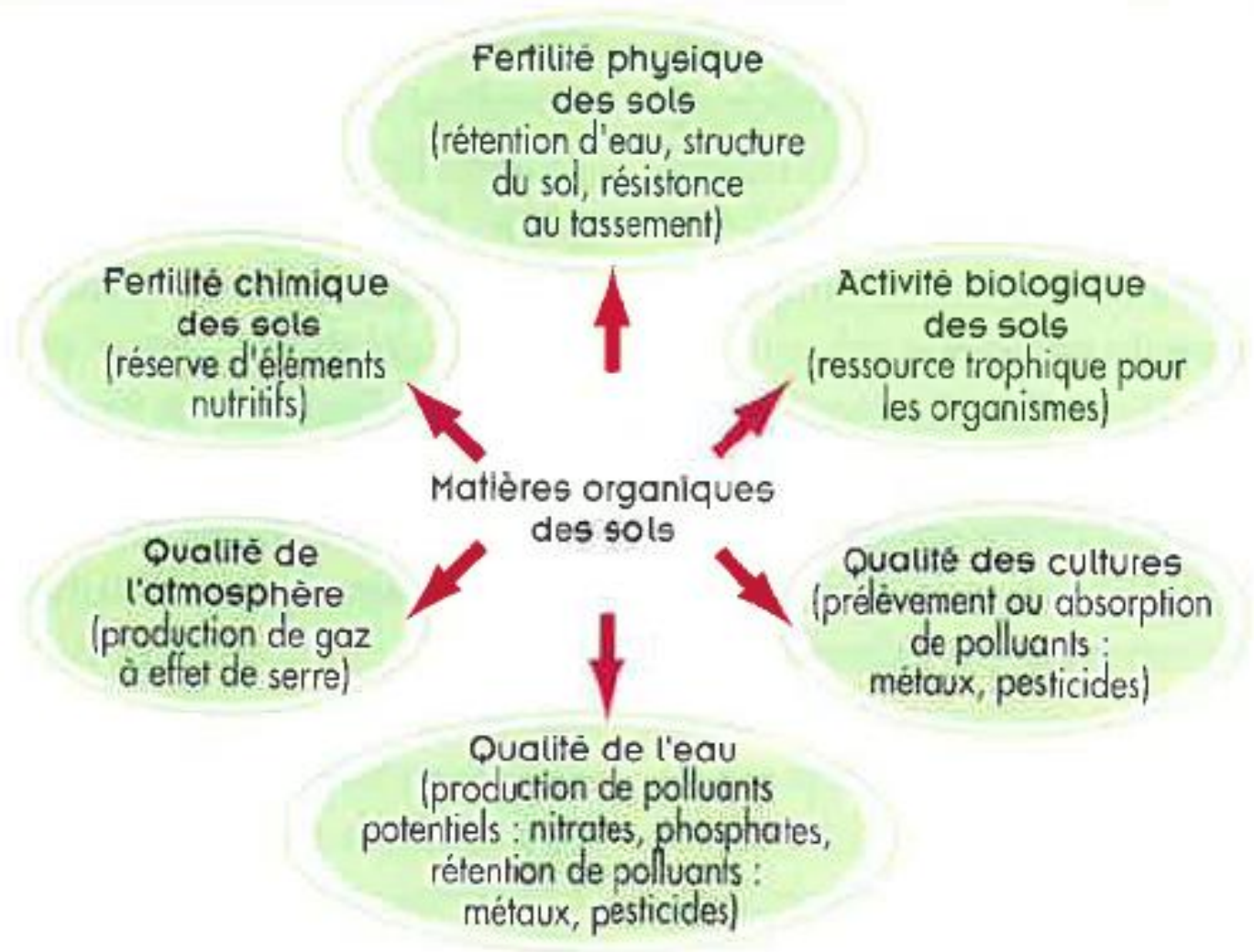


- Émissions de gaz à effet de serre
- Temps de ressuyage augmenté
- ...

2 – Les Matières Organiques de sols: le couvert!

Les grandes fonctions des matières organiques du sol

Chenu et Balabane, PA 2002, n°272





2 – Les Matières Organiques de sols: le couvert!

Diversité fonctionnelle
des MOS pour plusieurs
états de transformation
de la MO

Type de MO	Fonctions
Matière Organique Vivante	Brassage / Transformation des MO
Matière Organique Fraîche	Substrat énergétique et de croissance / fertilité chimique
Matière Organique Transitoire	Substrat énergétique / fertilité chimique / fertilité physique
Matière Humique	Fertilité physique

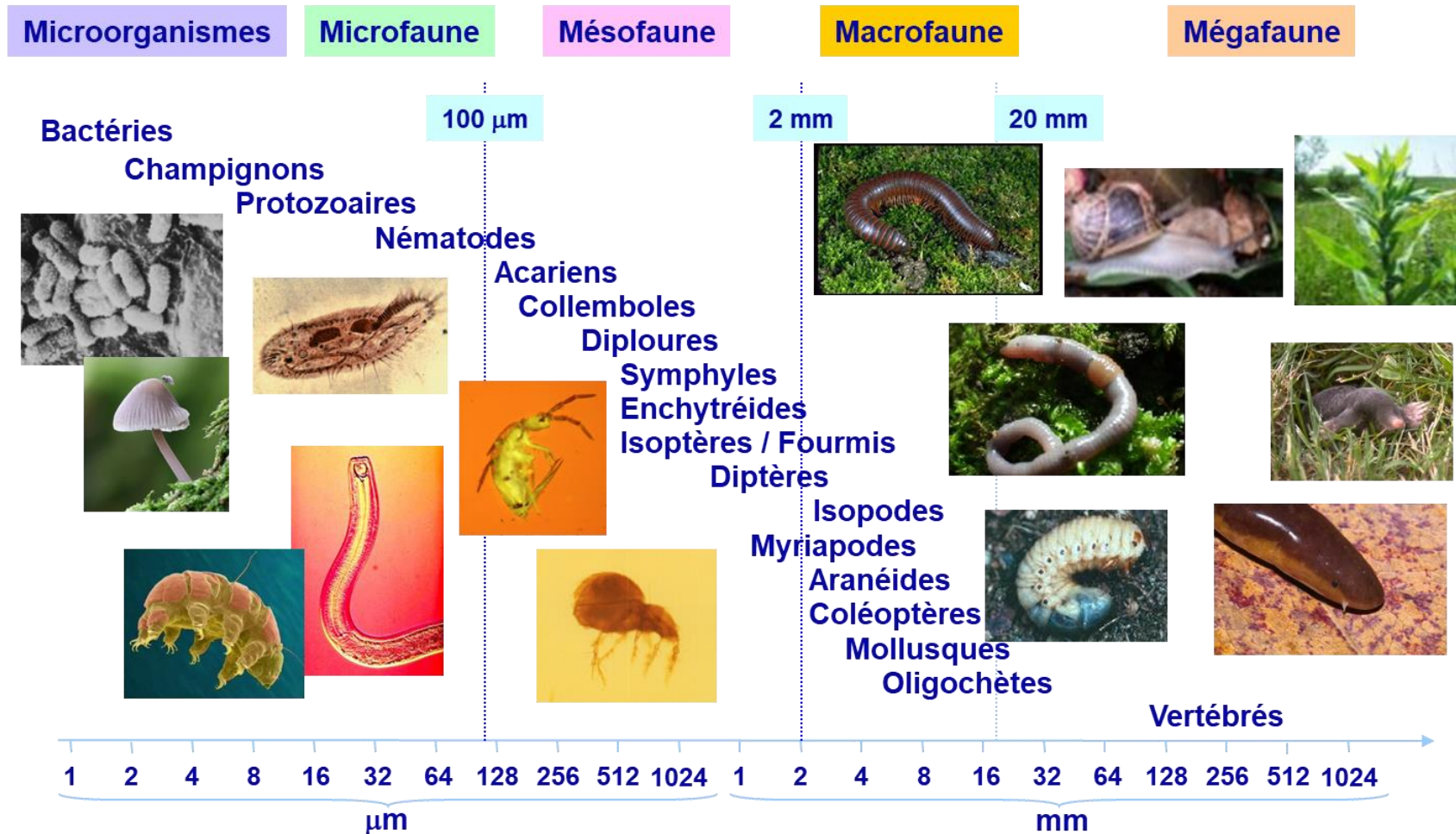
Fonctions	Conséquences
ENERGISANTE Fertilité Biologique	<u>Substrat Énergétique (C)</u> = carburant Régulateur des activités biologiques des sols
NUTRITIVE Fertilité Chimique	<u>Réserve d'éléments nutritifs</u> pour les organismes du sol (C et N, P, S etc..) et pour la plante Forte capacité d'échange (CEC humique)

Fonctions	Conséquences
COHESIVE Fertilité Physique	<u>Stabilisation et structuration</u> des sols, * Augmentation de l'aération, la pénétration des racines, l'infiltration de l'eau, la résistance au compactage, la réserve en eau * Diminution de : l'énergie requise pour le TS, la battance du sol, les accidents de levées, * Limitation des risques d'érosion et de perte de sol



3 – Biodiversité: Les habitants du sol!

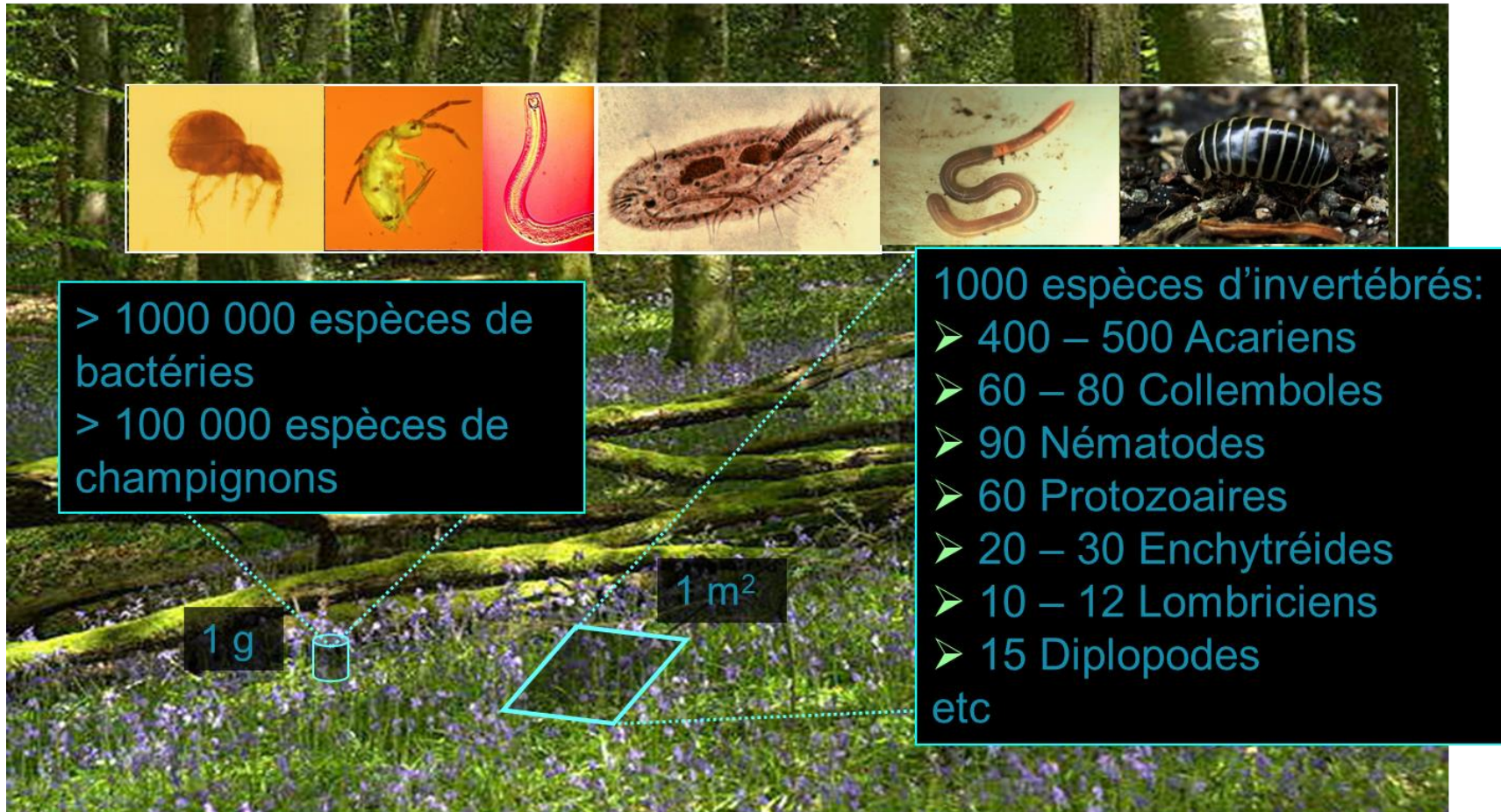
Classification selon la taille



Modifié d'après Swift et al. (1979)

3 – Biodiversité: Les habitants du sol!







Combien d'espèces ?





3 – Biodiversité: Les habitants du sol!

Combien d'individus ?

	1 g sol	1 hectare
 ❖ Bactéries	100 millions à 1 milliard	2500 kg C
 ❖ Champignons	1 à 3 mètres de mycélium	3500 kg C
 ❖ Protozoaires	Quelques millions	250 kg C
 ❖ Nématodes	1000 à 2000	1-5000 Kg C
 ❖ Arthropodes	Jusqu'à 100	
 ❖ Oligochètes	5	
		Total > 6-10 UGB



3 – Biodiversité: Les habitants du sol!

Microorganismes



Ingénieurs chimiques

Cycle de N, P, S....
Cycle du C : décomposition, humification
Structure du sol
Croissance des plantes
Détoxification, bioremédiation
Symbiotiques ou libres



Prédateurs

Contrôle des populations d'invertébrés

Microfaune



Régulation (prédation) des microorganismes

Régulateurs biotiques

Organismes nuisibles



Bioagresseurs

Macrofaune (et racines)

Bioturbation,
Décomposition de la MO
Stimulation des microorganismes
Modification cycles de C et nutriments



Ingénieurs du sol

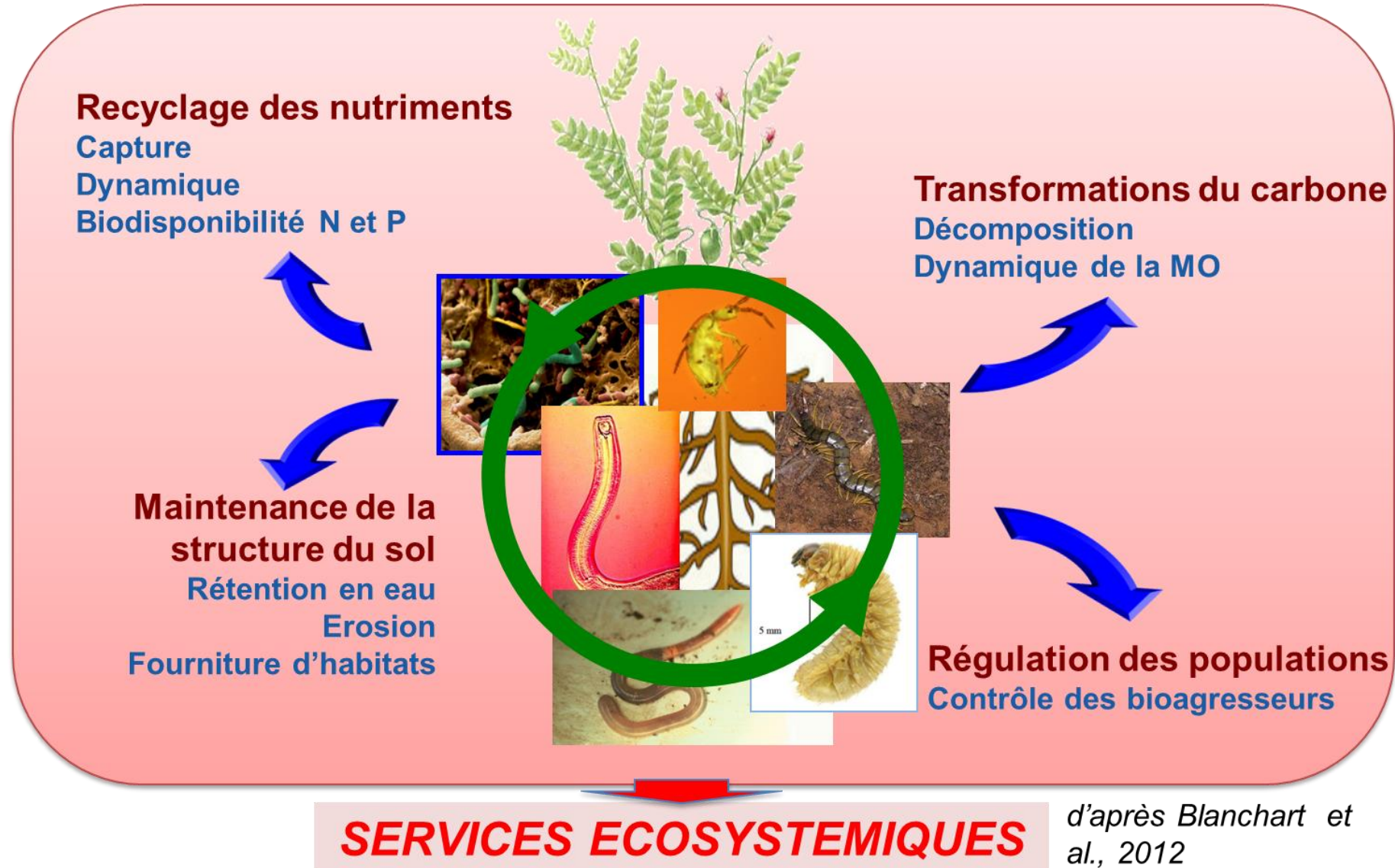
Méso- et macrofaune



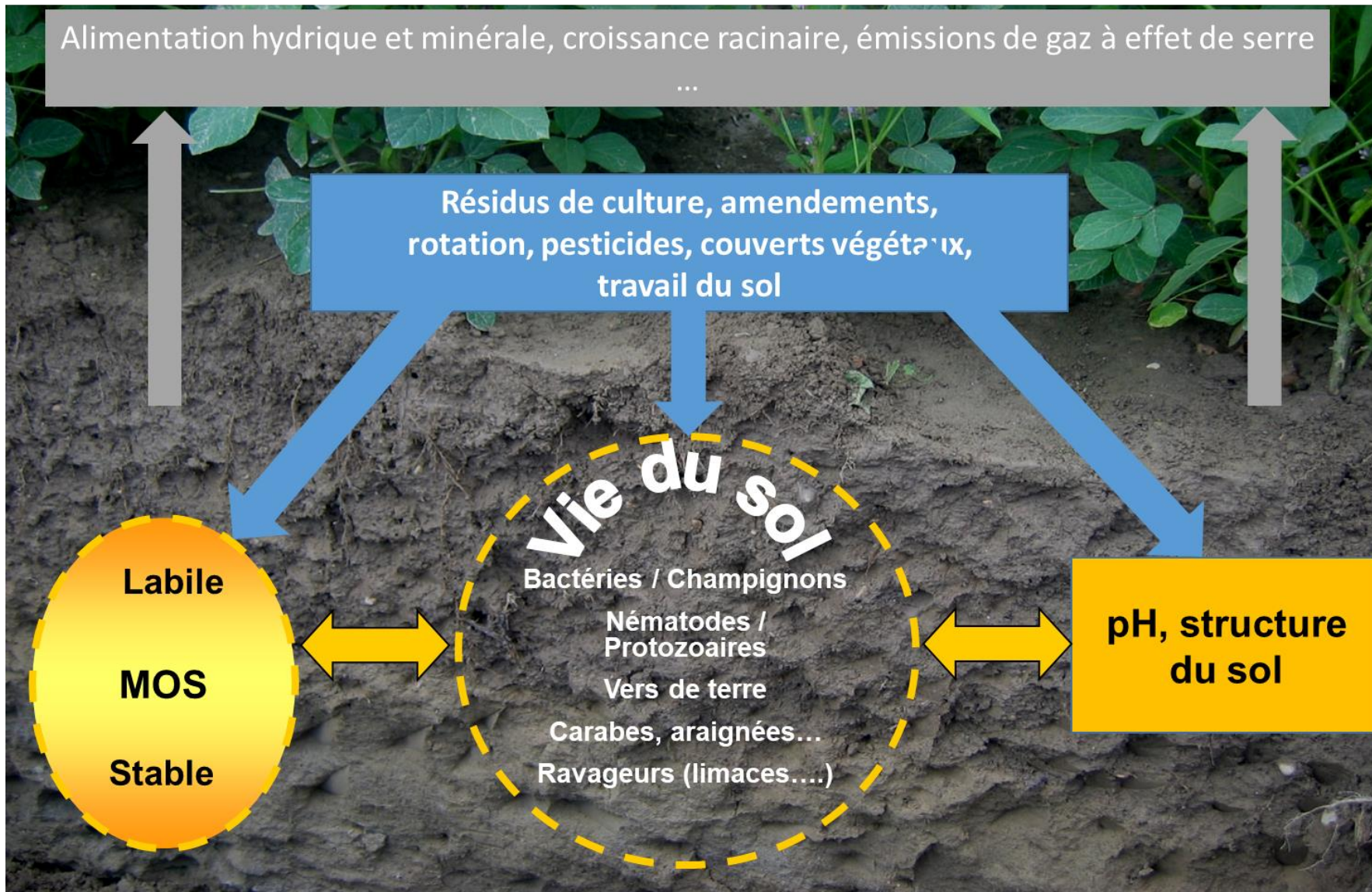
Ingénieurs de la litière

Décomposition MO

3 – Biodiversité: Les habitants du sol!



Pratiques agricoles et fertilité des sols



Comment « mesurer » la fertilité des sols?

Critères de choix des indicateurs

Un indicateur se définit comme une variable issue de l'analyse d'un ou plusieurs paramètres mesurés sur un échantillon de terre ou observés/ mesurés sur un sol en place:

- Variables de natures très diverses (données, calculs, observations, mesures) fournissant une information sur des variables plus difficiles d'accès ou des systèmes plus complexes
- Ils doivent permettre d'aider l'utilisateur dans son action (prise de décision, construction de programme d'action, modélisation, etc ...)



Comment « mesurer » la fertilité des sols?

Critères de choix des indicateurs

Vision des chercheurs

- intérêts **biologiques, écologiques, agronomiques**
- **robuste, sensible** et validé techniquement
- **référentiels** d'interprétation

Vision des agriculteurs

- répondent à des **attentes concrètes**
- **pas trop lourd** à mettre en œuvre
- **facilement interprétable**
- **pas trop cher**



- Evaluer les **pratiques**
- **Quantifier les services rendus** aux exploitants agricoles
- **Structures analytiques opérationnelles** dans le cadre du projet (terrain et labos)
- Potentialité d'une **filière économique** (labos privés, après le projet)



Comment « mesurer » la fertilité des sols? : quels indicateurs?

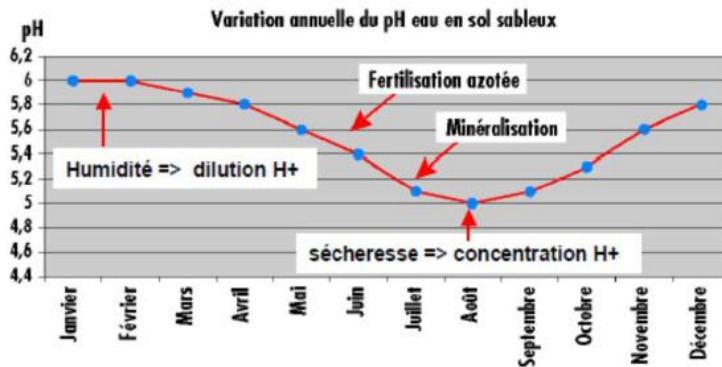
Le prélèvement de terre : conditionne la qualité de l'analyse

Les règles à respecter :

1. Zone homogène et représentative
2. Zone repérée (retour sur zone)
3. 15 carottages minimum
4. Profondeur contrôlée
5. Respect de la période d'analyse

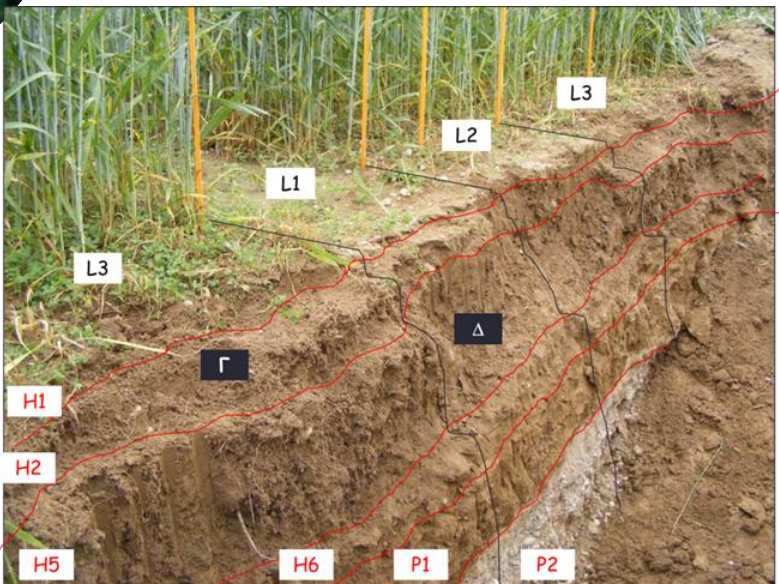


Techniques d'échantillonnage	plan type	Représentativité de l'échantillon	Homogénéité de l'échantillon	Suivi de la zone prélevée
Localisé		*	***	****
		Méthode recommandée pour les analyses PK (*)		
Diagonale (ou croix)		***	*	***
		Méthode recommandée pour les reliquats N (*)		
Aléatoire		***	*	*

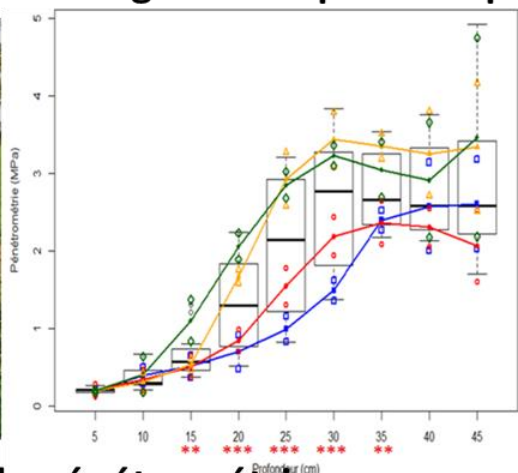


Situations	Profondeur
Terre labourée	Profondeur de labour
Terre non travaillée	20 cm (+/- 5 cm)
Prairies naturelles (*)	10 cm environ
Vigne-arbo	30 à 50 cm

Caractériser la structure du sol



Le profil cultural: le diagnostic le plus complet!



Tests de pénétrométrie



Le test bêche: moins destructif, rapide mais plus superficiel !
Il en existe plusieurs...basés sur le même principe



Stabilité structurale (par ex. Slake test en photo)

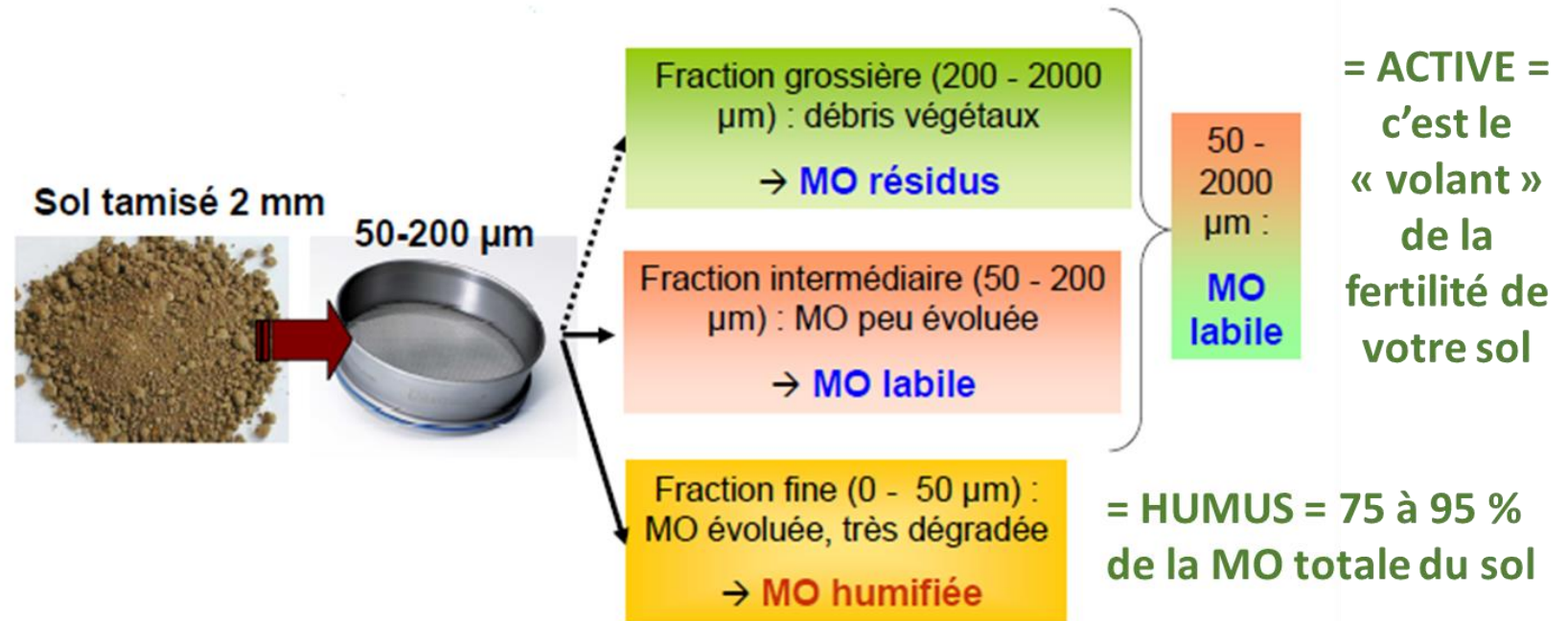


Densité apparente du sol = % de porosité



Caractériser le statut organique du sol

- MO totale du sol (mesure du Corg)
- Fractionnement granulométrique des MOS
- Rock-Eval®
- Permanganate
- ...



MOPg: 2000-200 µm



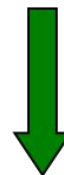
Turn-over = 2-3 ans

MOPf: 200-50 µm



Turn-over = 30 ans

MOH: <50 µm

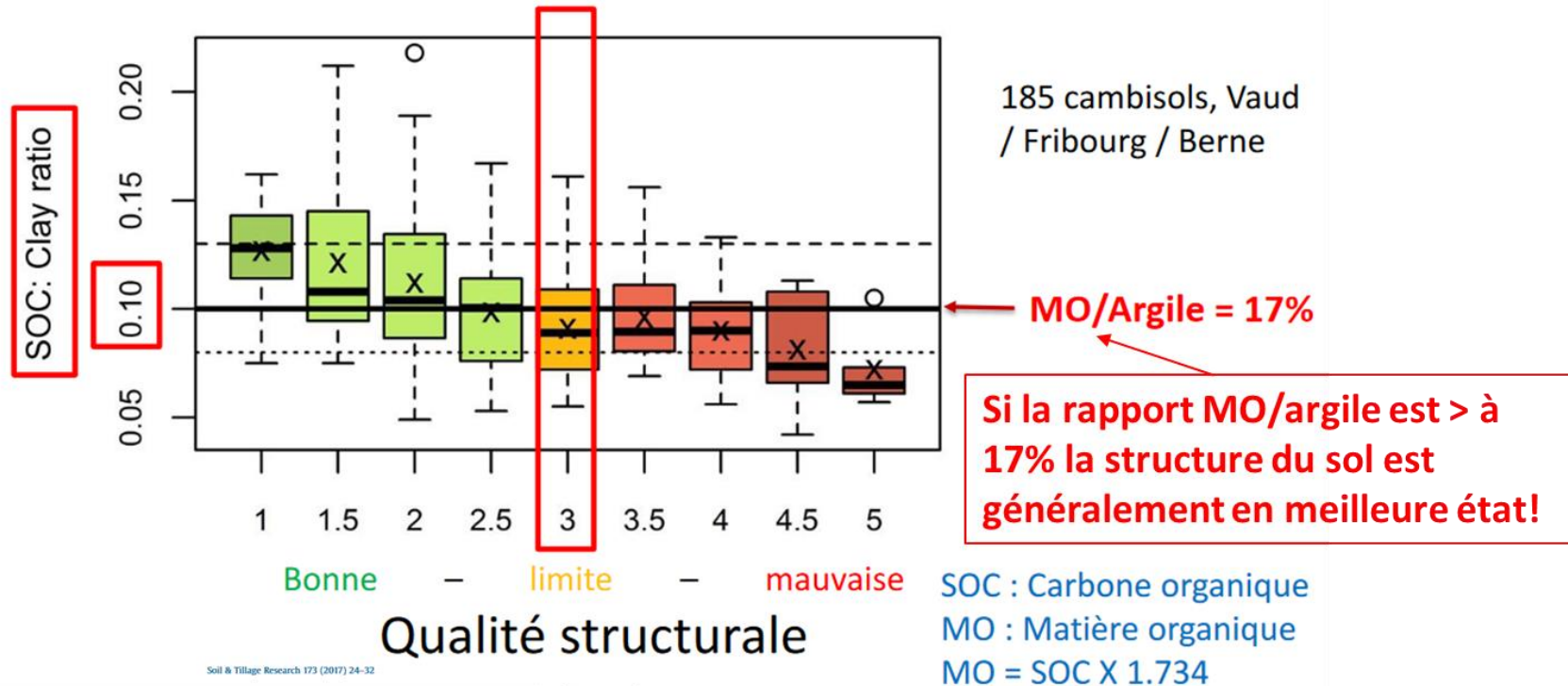


Turn-over > 100 ans



Caractériser le statut organique du sol

C'est quoi la « bonne teneur » en MO du sol? Une réponse Suisse, la teneur en MO est à relier à la teneur en argile



To what extent do physical measurements match with visual evaluation of soil structure?

Alice Johannes^{a,c,*}, Peter Weiskopf^b, Rainer Schulin^c, Pascal Boivin^a



Lien entre notation du test bêche VESS et ratio carbone organique/taux d'argile. (©P. Boivin)

Caractériser les habitants du sol

Mais quel(s) organisme(s) cibler?

On parle d'abondance, d'activités et/ou de diversité des organismes du sol?

On ne répond pas aux mêmes questions, on ne caractérise pas les mêmes « fonctions », pas les mêmes sensibilités, pas les mêmes biais (de mesure et d'interprétation)!





Caractériser les habitants du sol

Quels indicateurs et référentiels d'interprétation disponibles

- Macrofaune épigée – carabes, staphylins, araignées, ...: pièges barbers ou pit-fall trap – facile, pas cher et pédagogique....! Plus difficile pour l'action...
- Macrofaune totale: extraction d'un bloc de sol et tri + comptage : pas cher, mais plus long et parfois difficile de trier et d'interpréter (spécialiste!!!)
- Vers de terre: moutarde, test bêche – facile, pas cher, pédagogique! (OPVT – REVA – AgrInnov – **Référentiel OPVT**)
- Micro-Méso arthropodes: prélèvement faciles mais plus difficile au labo...
- Nématodes: labos spécialisés (Elisol – REVA – AgrInnov – **Référentiel OK**)
- Microorganismes: labos spécialisés (INRAE Dijon – REVA – AgrInnov – Celesta-Lab et autres labo en développement – **Référentiels OK**)
- Activités de minéralisations C et N: laboratoires, référentiels propres aux labos
- Activités in situ: slip, tea-bag, Levabag® (**référentiel Levabag® OK**)



QUESTIONS

PARTIE 2 :

Les systèmes de culture étudiés et les indicateurs mesurés



Les objectifs des systèmes de culture innovants

- Réduction des intrants (pesticides et engrais de synthèse)
- Amélioration de la fertilité des sols
- Maintien des performances économiques (a minima)

Des leviers agronomiques communs mis en œuvre

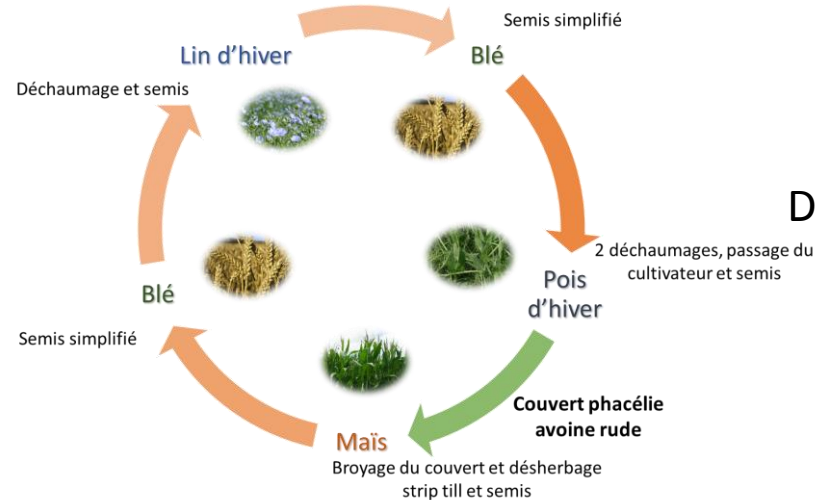
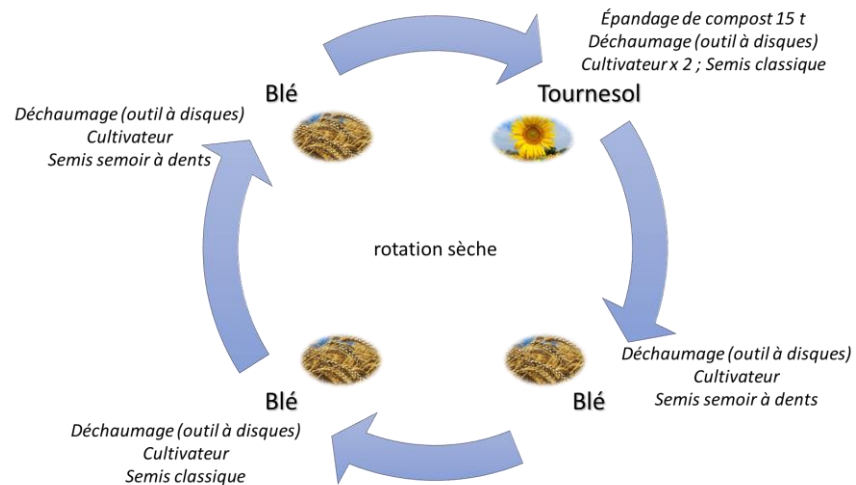
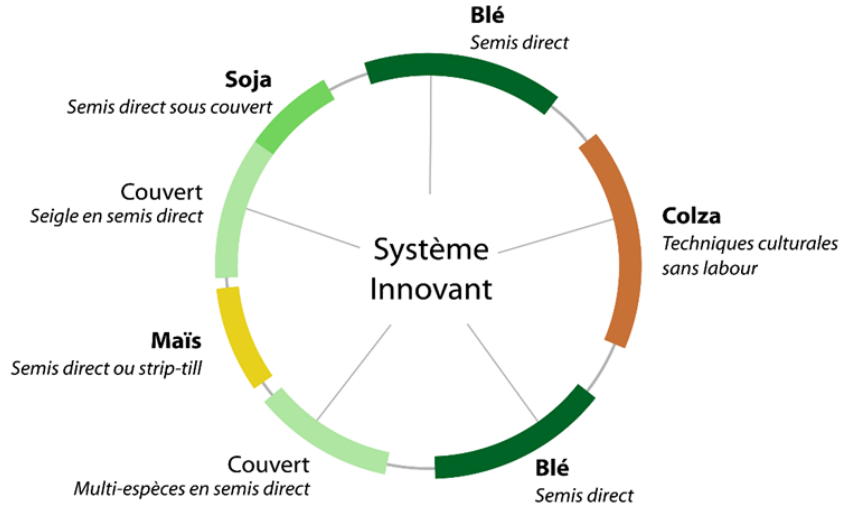
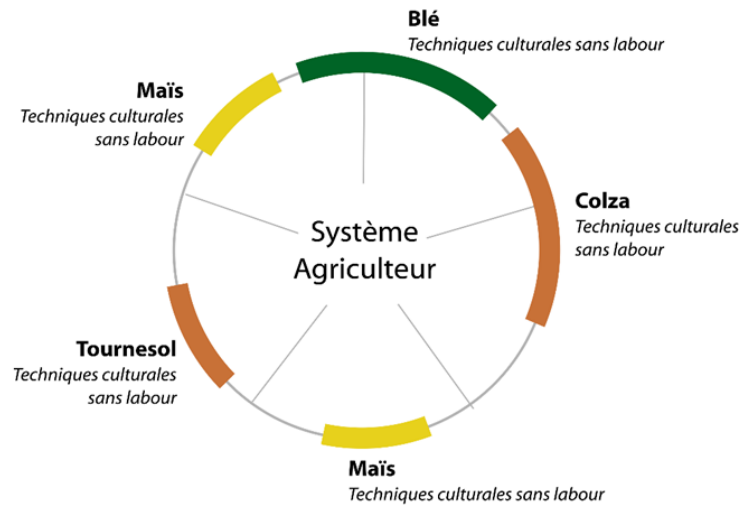
- Intensification et diversification des **couverts végétaux**
- **Diversification** de la rotation
- **Réduction du travail du sol** (labour → TCS / TCS → SD / ...)
- Des spécificités sur certains systèmes: **méthanisation**
→ **Mobilisation au moins d'un des leviers cités, certains systèmes mobilisent l'ensemble des leviers**



9 systèmes innovants comparés aux systèmes « agriculteurs »

Localisation	Mode de production	Type de production	Leviers mobilisés
Isère	Conventionnel	Céréaliier sol profond	TCS → ACS (couverts, diversification et SD)
Isère	Conventionnel	Céréaliier sol superficiel	TCS → ACS (couverts, diversification et SD)
Isère	Conventionnel	Production de semence	Couverts et associations plantes de services - semences + métha.
Isère	Conventionnel	ACS - Elevage	SCV et métha.
Rhône	AB	Céréaliier (sans élevage)	Labour → TCS + couverts
Rhône	AB	Céréaliier (sans élevage)	Diversification rotation et couverts
Limagne sud	Conventionnel	Céréaliier proche TCS, peu de couverts	Couverts ++, réduction travail du sol et diversification rotation
Limagne nord	Conventionnel	Céréaliier TCS	Labour → TCS et diversification rotation
Bocage Bourbonnais	Conventionnel	Céréaliier proche ACS	Prairie temporaire (luzerne), métha.

Exemples sur 2 sites d'essais



Systeme céréalier (38) sol superficiel:

Diversification rotation, passage en SD et insertion de couverts végétaux

Systeme céréalier (63):

Diversification rotation, passage en TCS et insertion de couverts végétaux

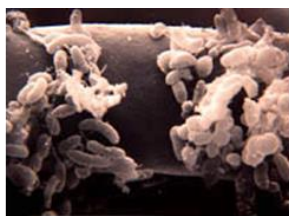
Description des systèmes de culture

Calcul d'indices pour chaque pratique qui a une influence forte sur le fonctionnement du sol selon la littérature:

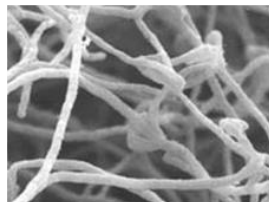
- ❑ Intensité du travail du sol: **Soil Tillage Intensity Rating (STIR - USDA)**
 - ✓ Vitesse d'avancement / Type de travail du sol (animé, retournement, dents, disques...) / Profondeur de travail / Surface travaillée
- ❑ Restitution annuelle moyenne de MO: résidus, PRO, couverts...
- ❑ Couverture du sol moyenne annuelle (mois/an)
- ❑ Diversité des familles cultivées (issu de MASC – INRAE)
- ❑ IFT (moyenne/ha/an)



Qu'avons-nous retenus pour les essais systèmes et pourquoi?



Bactéries



Champignons



Nématodes



Lombriciens



Test bêche et profils culturaux

Microorganismes du sol

Faune du sol



➔ Organismes importants à différents niveaux de la chaîne trophique du sol

➔ Organismes impliqués dans des services écosystémiques

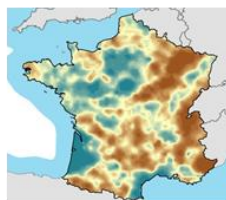
➔ Sensibles aux perturbations de l'environnement

➔ Validés par des programmes de recherche sur de nombreuses situations environnementales (agricoles)



Formation Casdar AgrInnov 2012-2015

Ecomic-RMQS (ANR)



RMQS Biodiv



Bioindicateurs I et II



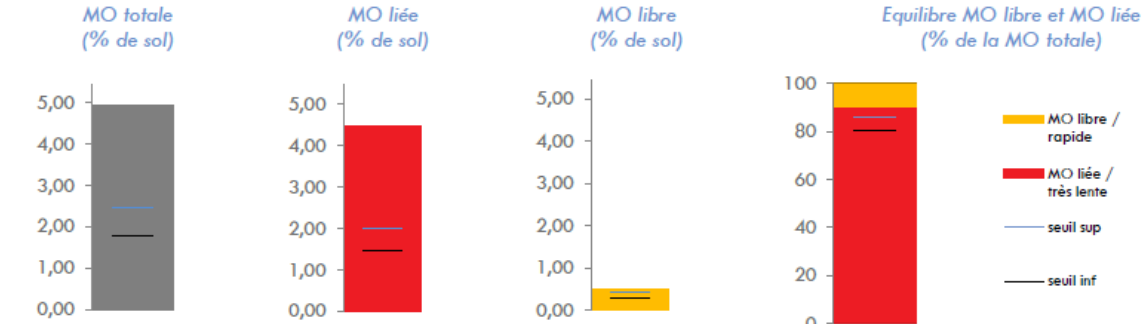
Approcher la fertilité des sols par des mesures ou observations

Comment ces indicateurs sont mesurés?

Statut organique du sol, abondance et activités des microorganismes

Celesta-Lab – Référentiel interne

CARACTÉRISATION DES MATIÈRES ORGANIQUES DU SOL



Etat d'humification des différentes fractions de MO



	teneur en % de sol	teneur en % de MO	azote (g/kg)	C/N
MO totale	5,0		2,74	10,5
MO liée	4,5	90	2,54	10,2
MO libre	0,5	10	0,20	14,2

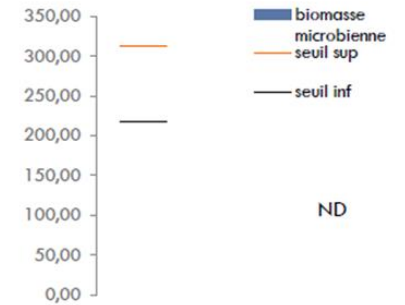
COMPARTIMENT VIVANT: BIOMASSE MICROBIENNE

Numéro Labo 1912-044

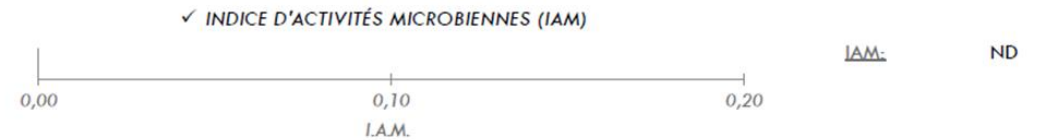
Carbone g/kg terre	Biomasse Microbienne (BM)	
	mgC/kg terre	en % C
28,8	ND	ND
très fort		

Éléments minéraux stockés dans la BM (calculés en kg/ha)				
N	P	K	Ca	Mg
ND	ND	ND	ND	ND

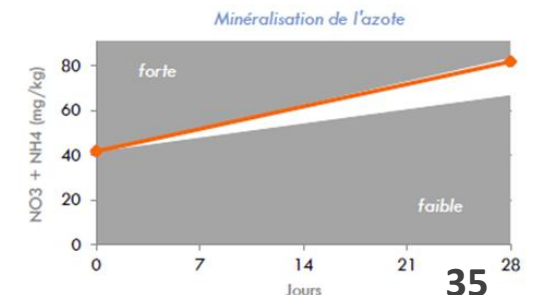
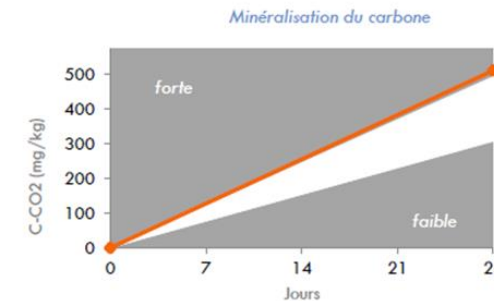
Biomasse Microbienne (mg C / kg de terre sèche)



COMPARTIMENT VIVANT: ACTIVITES MICROBIENNES

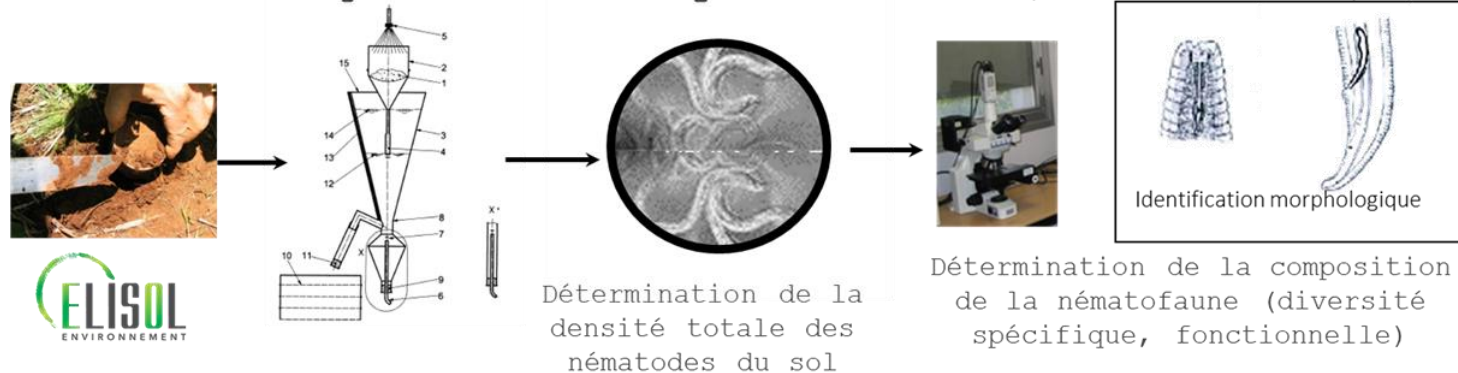


✓ ACTIVITÉS MICROBIOLOGIQUES MINÉRALISATRICES DE C et N : dégradabilité de la MO



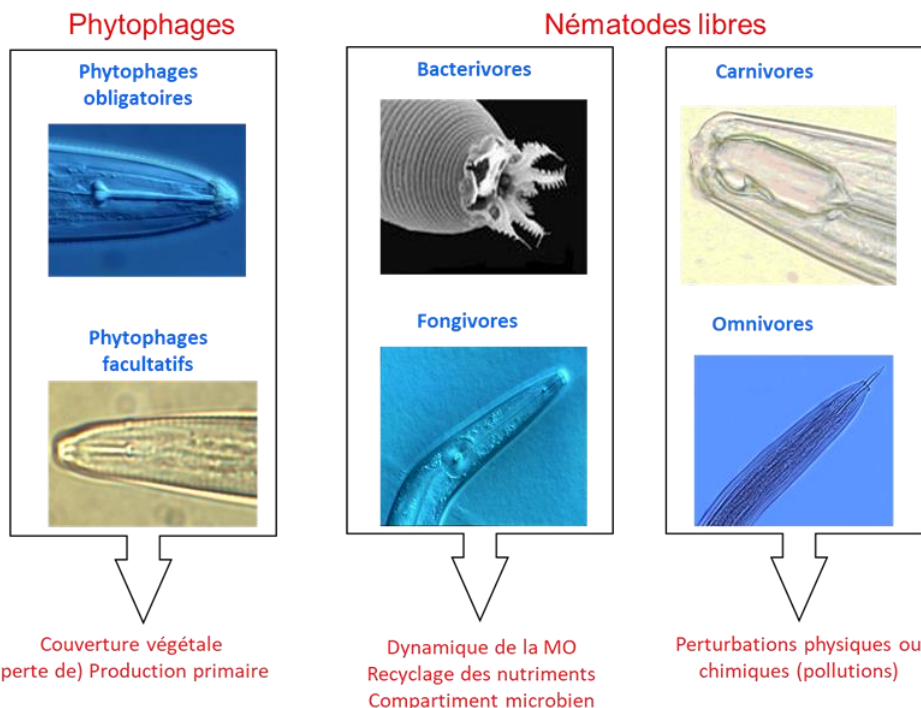
Comment ces indicateurs sont mesurés?

Les nématodes: procédure d'analyse normalisée (NF ISO 23611-4)



La nématofaune
Elisol
Environnement

Référentiel
interne



- Deux indices d'abondance
- Trois indices basés sur la composition de la nématofaune
- Un indice de diversité taxonomique de la nématofaune





Comment ces indicateurs sont mesurés?

La nématofaune

Elisol

Environnement

—

Référentiel interne

- Deux abondances de nématodes (ind kg⁻¹ sol)

Abondances des nématodes libres du sol: Indicateur activité biologique



Abondance des nématodes phytophage: activité liée à la rhizosphère



- Trois indices basés sur la composition de la nématofaune

Indices nématofauniques: types de fonctionnement biologique du sol

EI: Indice d'enrichissement



SI: Indice de Structure



Indice de voie de décomposition IVD



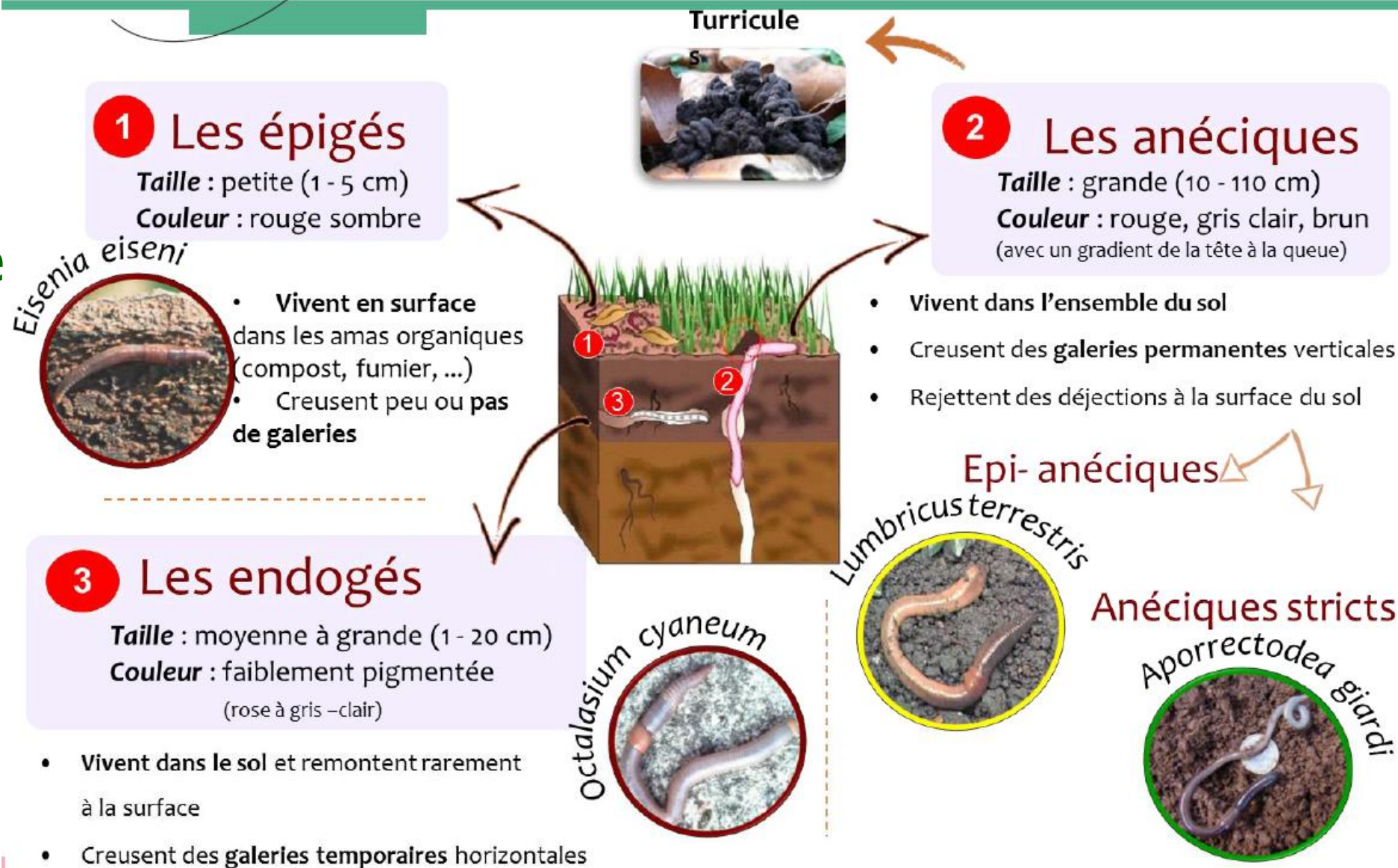
- Un indice de diversité taxonomique de la nématofaune

Diversité taxonomique



Comment ces indicateurs sont mesurés?

Les vers de terre



Comment ces indicateurs sont mesurés?



Les vers de terre:
prélèvements à la
bêche

Les paramètres étudiés :

- Abondance lombricienne (« le plus, le mieux ») 😊
- Biomasse lombricienne (« le plus, le mieux »)
- Abondance des groupes fonctionnels
- Richesse en espèce (« le plus, le mieux »)





QUESTIONS

PARTIE 3 :

Les résultats

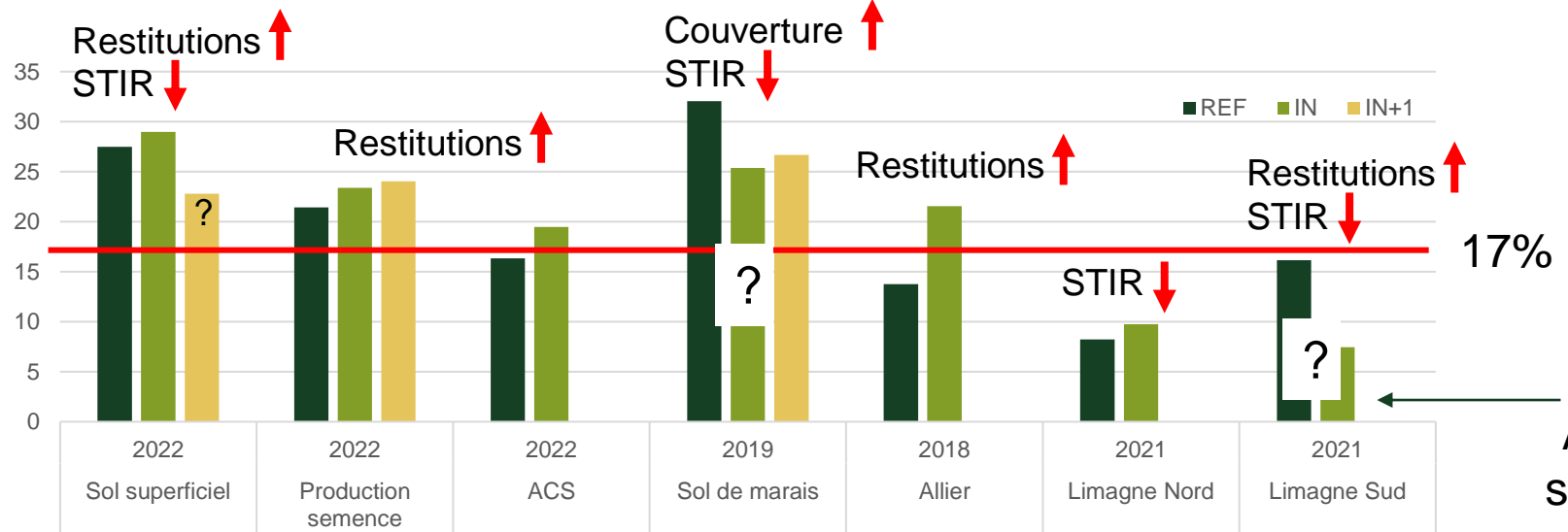


Caractérisation des systèmes de culture

Système		STIR	Restitution MO (tMS/ha/an)	IFT	Couverture du sol	Diversité cultivée	Synthèse des leviers mobilisés par système
Sol superficiel	IN	-91%	-1,2	-1,8	24%	0,8	STIR -- ; Couverture du sol ++ ; IFT --
	IN+1	-83%	0,6	-0,3	20%	0,8	STIR -- ; Couverture du sol +
Production de semence	IN	-2%	4,5	0	4%	0	Restitutions MO ++
	IN+1	-20%	0,2	0,5	0%	0	STIR -
ACS	IN	0%	4,3	0	1%	0	Restitution MO ++
Sol de marais	IN	-56%	2,1	0,2	30%	0,9	STIR -- ; Couverture du sol ++ ; Restitutions MO ++
	IN+1	-64%	0,1	1,3	28%	0,9	STIR -- ; Couverture du sol ++ ; IFT +
Allier	IN	6%	5,8	-0,4	10%	0,8	Restitution MO ++ ; Couverture du sol +
Limagne Nord	IN	-35%	0,0	-2,5	0%	0,5	IFT -- ; STIR -
Limagne Sud	IN	-73%	6,7	0,0	9%	0,8	STIR -- ; Restitutions MO ++

- Leviers essentiellement étudiés:
 - réduction du travail du sol
 - Augmentation des restitutions de MO
 - Augmentation de la couverture des sols
- Leviers combinés à des degrés différents et dans des contextes pédoclimatiques différents

Stockage de la matière organique: ratio MO/argile

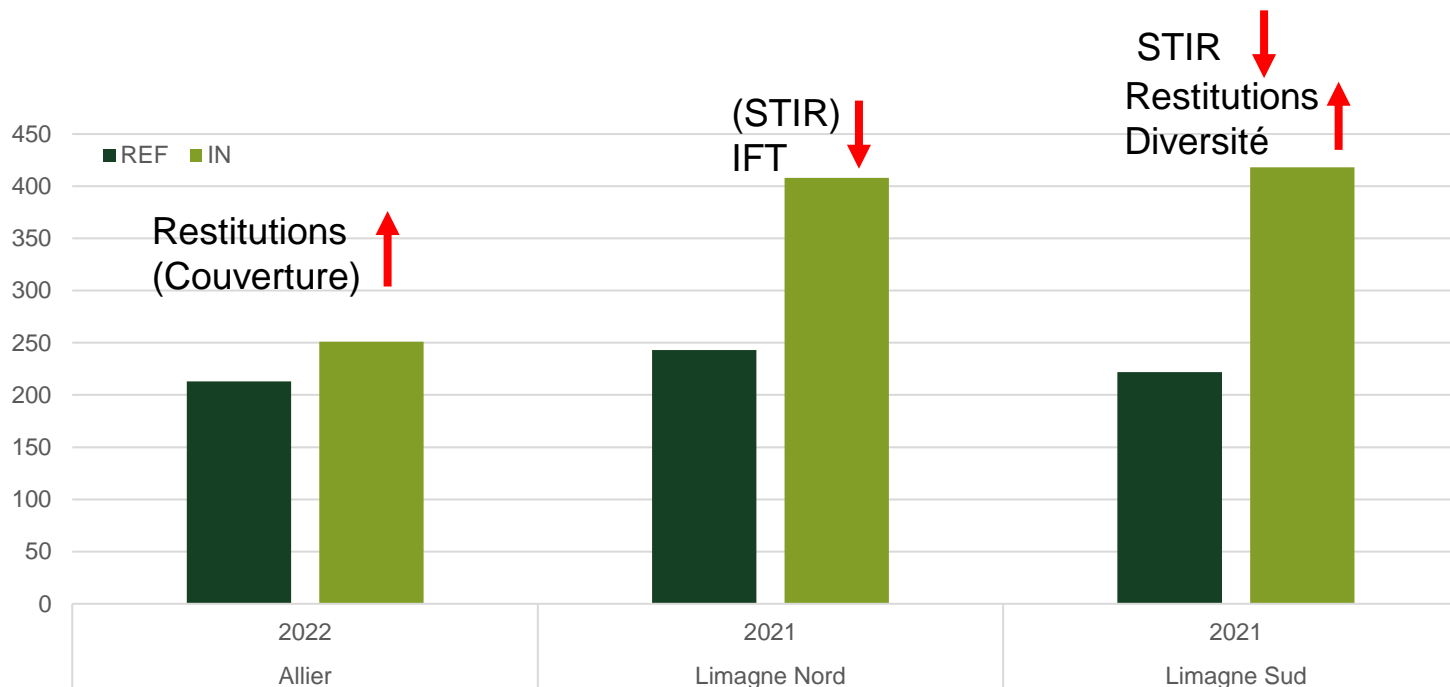


STIR (/an)	108	10	18	120	117	95	14	14	75	33	27	65	69	80	52	92	25
MO (tMS/ha/an)	8	7	9	16	20	16	9	13	6	8	6	1	7	0	0	0	7
Couverture du sol (mois/an)	9,1	11,3	10,9	10,6	11	10,5	11,7	11,8	7,7	10	9,8	9,4	10,3	8,7	8,7	9,2	10,0
Diversité cultivée	1,5	2,3	2,3	1,0	1,0	1,0	2,3	2,3	1,8	2,7	2,7	1,5	2,3	1,0	1,5	1,5	2,3
IFT (ha/an)	4,2	2,4	3,9	3,9	3,9	4,4	4,7	4,7	1,3	1,5	2,6	4,9	4,5	5,1	2,7	2,8	2,9

Texture très différente!!!
Argile 13 vs 47%,
soit 12 vs 20 gC/kg
...

- Des systèmes globalement « bons » si on se réfère au seuil de 17% (Johannes et al., 2017), sauf en Limagne...
- Dans des contextes pédoclimatiques différents les leviers pour augmenter le ratio MO/argile semblent être: les **quantités de MO restituées au sol** et la diminution de **l'intensité du travail du sol (STIR)**
- Mais ne fonctionne pas partout, sur tous les sites...notamment Limagne sud et sol de marais
 - Hétérogénéité spatiale des sites? Biais d'échantillonnages? Historique des parcelles? **Textures particulières (sol marais)?**
 - Autres facteurs: augmentation des activités biologiques et « déstockage »?
 - ...

Biomasse microbienne (mgC/kg de sol)



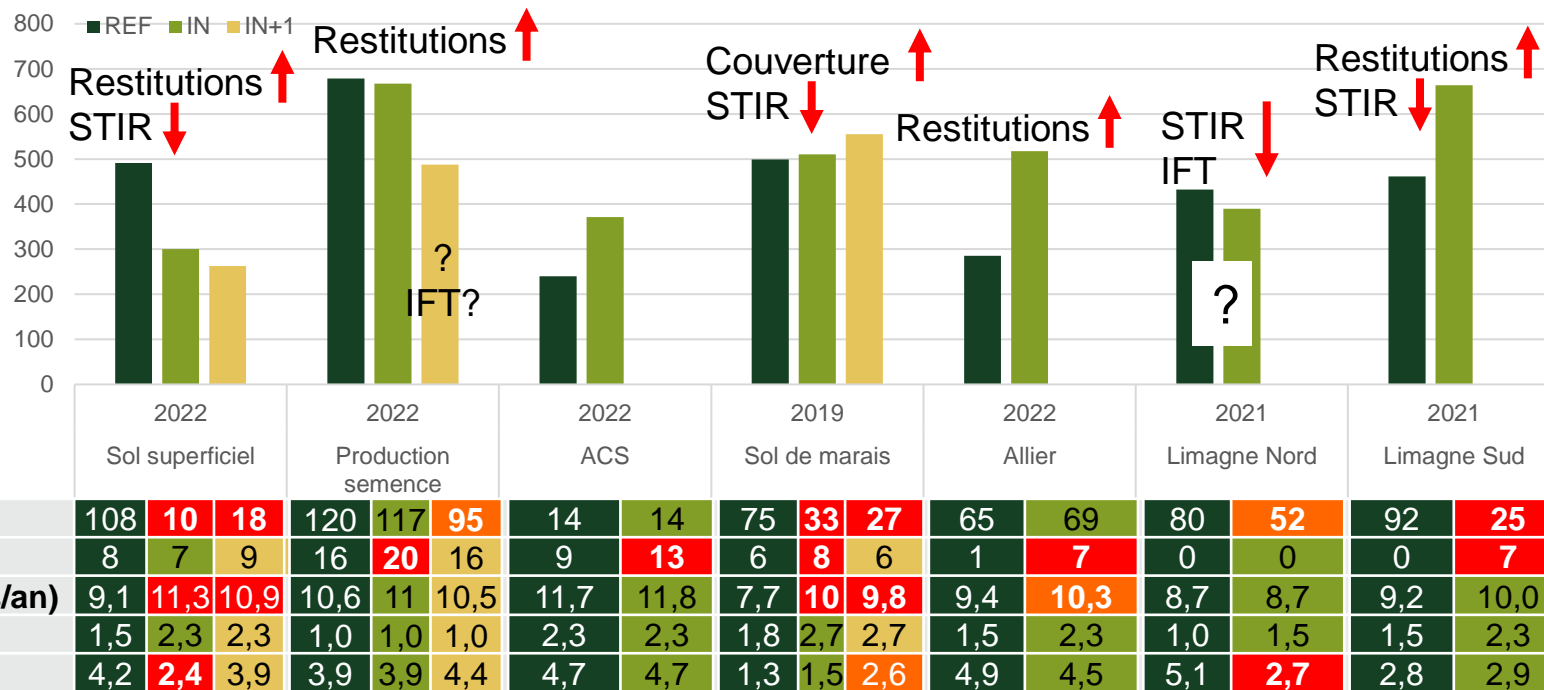
STIR (/an)	65	69	80	52	92	25
MO (tMS/ha/an)	1	7	0	0	0	7
Couverture du sol (mois/an)	9,4	10,3	8,7	8,7	9,2	10,0
Diversité cultivée	1,5	2,3	1,0	1,5	1,5	2,3
IFT (ha/an)	4,9	4,5	5,1	2,7	2,8	2,9

Des leviers différents pour augmenter la biomasse microbienne

- Augmenter les restitutions organiques
- La diversité des cultures
- La réduction des pesticides (?)
- L'intensité du travail du sol

Attention, Limagne Sud... texture différente = potentiel « d'hébergement » des microorganismes très différent et bien supérieure en Innovant car %argile >> à la référence !!!

Potentiel de minéralisation du C (mgC/kg de sol)



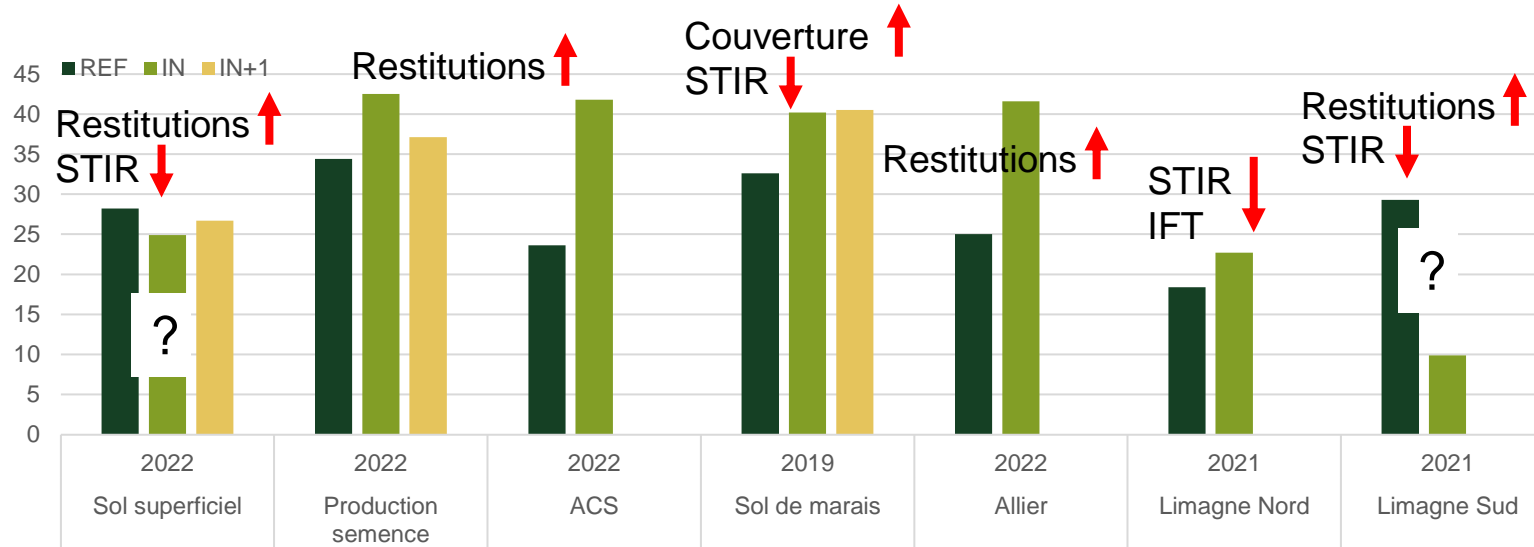
STIR (/an)	108	10	18	120	117	95	14	14	75	33	27	65	69	80	52	92	25
MO (tMS/ha/an)	8	7	9	16	20	16	9	13	6	8	6	1	7	0	0	0	7
Couverture du sol (mois/an)	9,1	11,3	10,9	10,6	11	10,5	11,7	11,8	7,7	10	9,8	9,4	10,3	8,7	8,7	9,2	10,0
Diversité cultivée	1,5	2,3	2,3	1,0	1,0	1,0	2,3	2,3	1,8	2,7	2,7	1,5	2,3	1,0	1,5	1,5	2,3
IFT (ha/an)	4,2	2,4	3,9	3,9	3,9	4,4	4,7	4,7	1,3	1,5	2,6	4,9	4,5	5,1	2,7	2,8	2,9

Le potentiel de minéralisation augmente, quelles que soient les conditions pédoclimatiques si

- Augmentation des restitutions organiques
- Diminution de l'intensité du travail du sol
- Réduction des pesticides (?)

Mais, certaines situations ne « répondent pas »! Structure du sol? Effet précédent?

Potentiel de minéralisation de l’N (mgN/kg de sol)

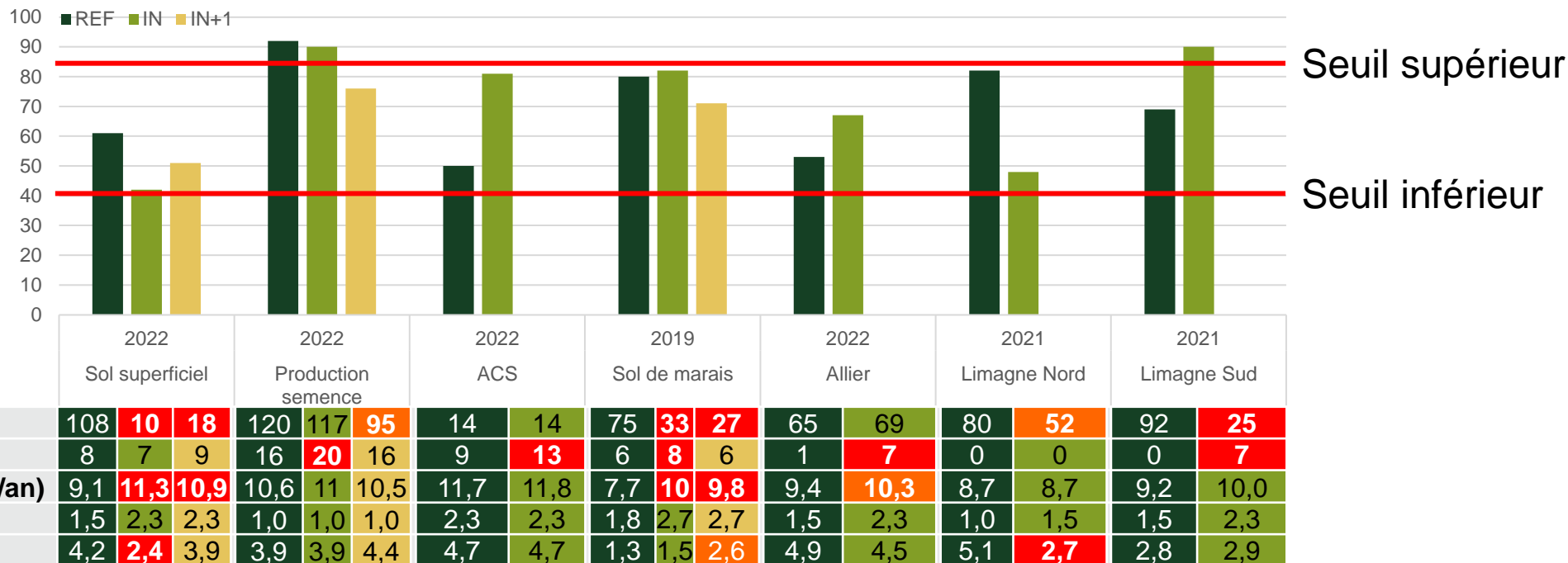


STIR (/an)	108	10	18	120	117	95	14	14	75	33	27	65	69	80	52	92	25
MO (tMS/ha/an)	8	7	9	16	20	16	9	13	6	8	6	1	7	0	0	0	7
Couverture du sol (mois/an)	9,1	11,3	10,9	10,6	11	10,5	11,7	11,8	7,7	10	9,8	9,4	10,3	8,7	8,7	9,2	10,0
Diversité cultivée	1,5	2,3	2,3	1,0	1,0	1,0	2,3	2,3	1,8	2,7	2,7	1,5	2,3	1,0	1,5	1,5	2,3
IFT (ha/an)	4,2	2,4	3,9	3,9	3,9	4,4	4,7	4,7	1,3	1,5	2,6	4,9	4,5	5,1	2,7	2,8	2,9

Mêmes conclusions que pour le potentiel de minéralisation du C mais pas les mêmes sites qui ne répondent pas dans le sens « attendu »... !



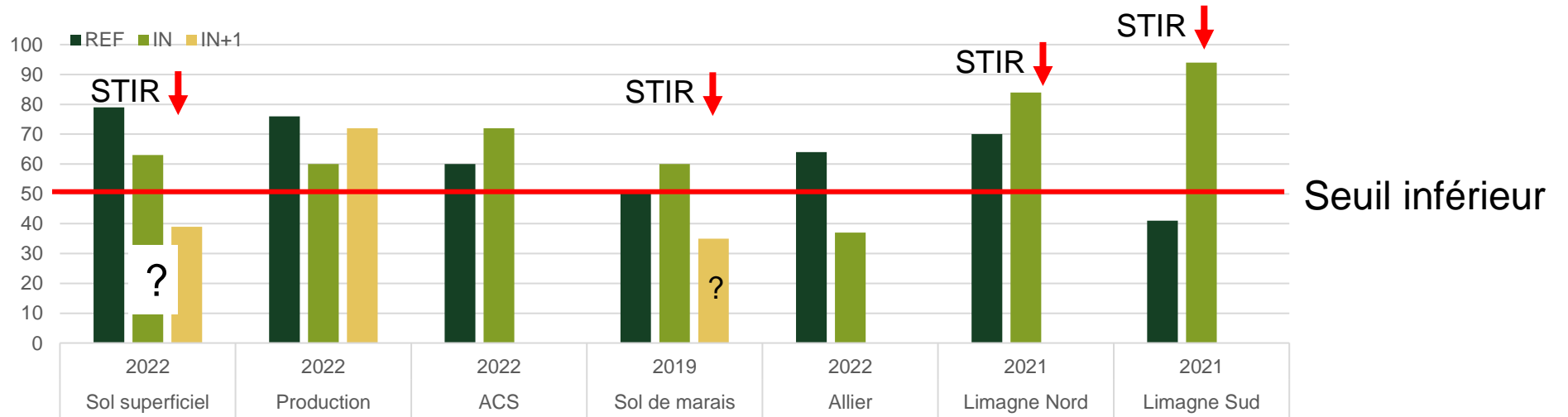
Nématodes: Indice d'enrichissement EI



- Un effet de la quantité moyenne annuelle de restitution de MO
- Effet difficile à cerner de l'intensification du travail du sol sur cet indice...
- Effet de la présence plus importante de légumineuses dans les systèmes innovants?
- Attention aux pratiques de fertilisation juste avant les prélèvements: EI augmente...!



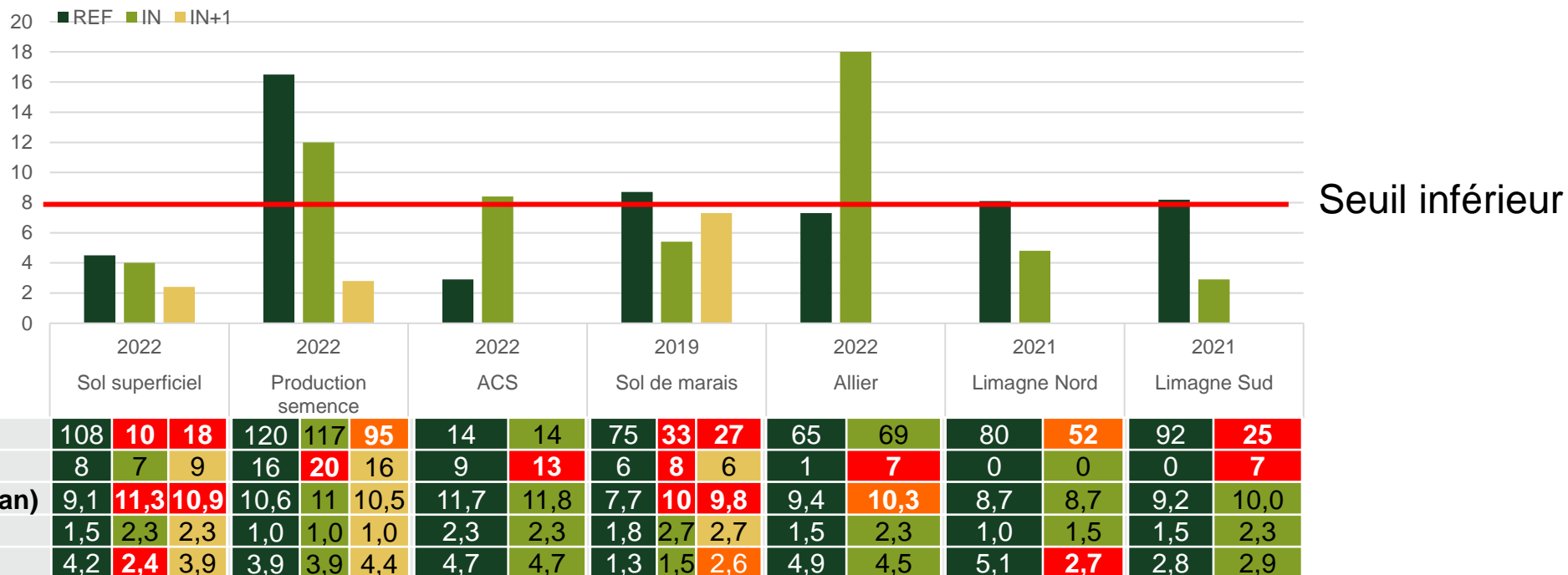
Nématodes: Indice de structure SI



STIR (/an)	108	10	18	120	117	95	14	14	75	33	27	65	69	80	52	92	25
MO (tMS/ha/an)	8	7	9	16	20	16	9	13	6	8	6	1	7	0	0	0	7
Couverture du sol (mois/an)	9,1	11,3	10,9	10,6	11	10,5	11,7	11,8	7,7	10	9,8	9,4	10,3	8,7	8,7	9,2	10,0
Diversité cultivée	1,5	2,3	2,3	1,0	1,0	1,0	2,3	2,3	1,8	2,7	2,7	1,5	2,3	1,0	1,5	1,5	2,3
IFT (ha/an)	4,2	2,4	3,9	3,9	3,9	4,4	4,7	4,7	1,3	1,5	2,6	4,9	4,5	5,1	2,7	2,8	2,9

- La réduction du travail du sol augmente la complexité du réseau trophique des nématodes... mais ne fonctionne pas sur tous les sites !
- Quels autres facteurs?
 - IFT ou plutôt types de produits utilisés?
 - Effet précédent ou occupation du sol lors de l'échantillonnage?

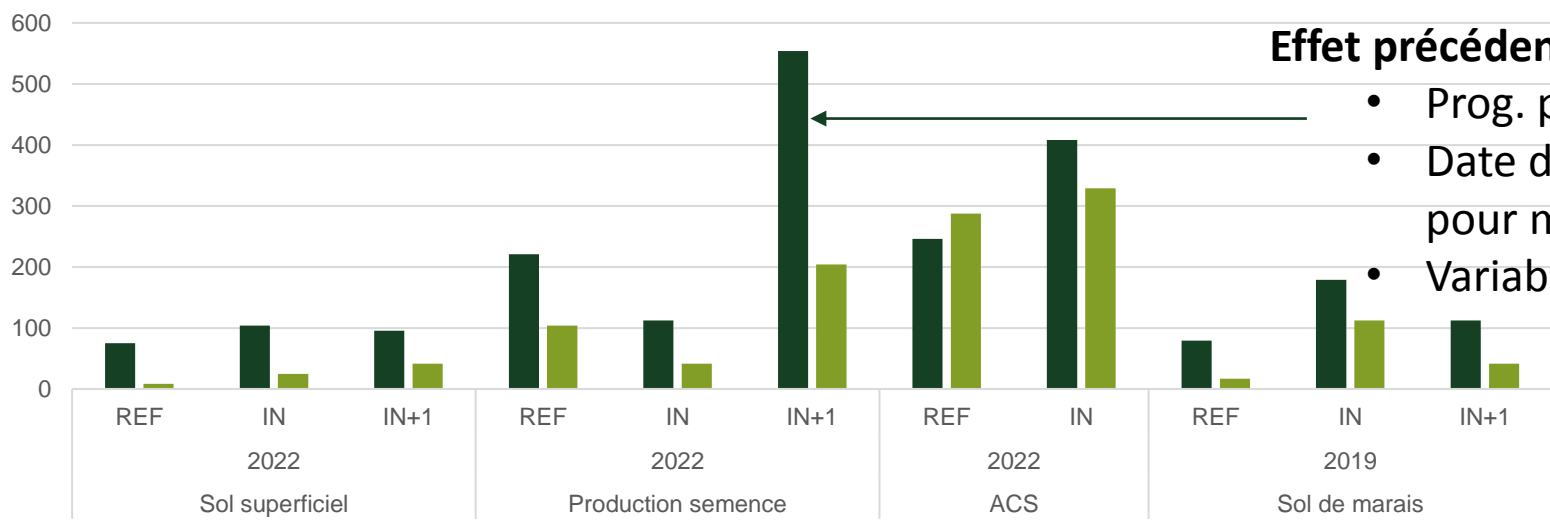
Nématodes: abondance de nématodes libres (nb/g de sol)



- Résultats opposés aux indicateurs microbiens sur les sites « Limagne », plutôt concordants sur les autres sites (même sens que activités microbiennes)
- Intensification du travail du sol et restitution moyenne de MO pas suffisants pour expliquer ces variations... (IFT, types de produits utilisés? Effet précédent ou occupation du sol lors de l'échantillonnage?, ...)



Vers de terre: densité des endogés et anéciques (nb/m²)



Effet précédent différent (blé vs maïs)?

- Prog. phyto?
- Date dernier travail du sol (12 mois pour maïs vs 18 pour blé?)
- Variabilité spatiale ou autre?

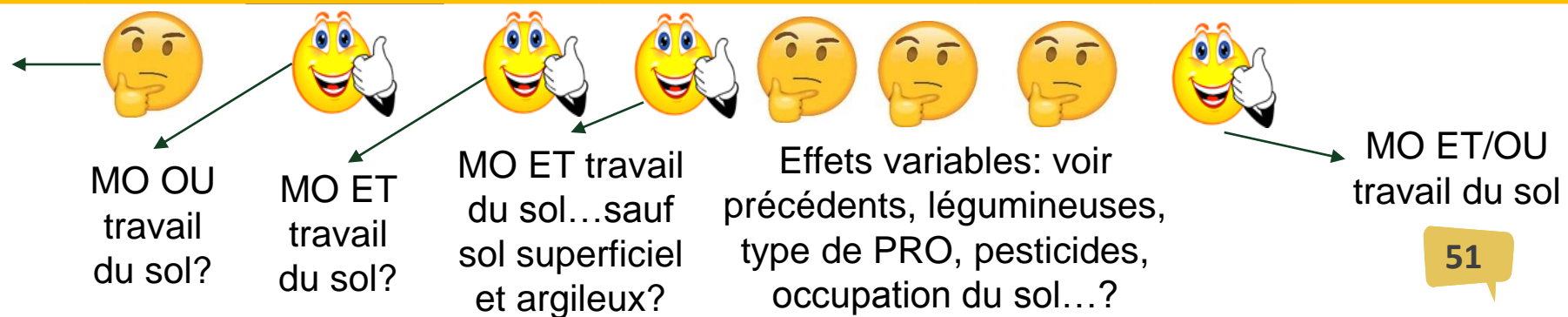
	Densité endogés (nb/m ²)			Densité anéciques (nb/m ²)								
STIR (/an)	108	10	18	120	117	95	14	14	75	33	27	
MO (tMS/ha/an)	8	7	9	16	20	16	9	13	6	8	6	
Couverture du sol (mois/an)	9,1	11,3	10,9	10,6	11	10,5	11,7	11,8	7,7	10	9,8	
Diversité cultivée	1,5	2,3	2,3	1,0	1,0	1,0	2,3	2,3	1,8	2,7	2,7	
IFT (ha/an)	4,2	2,4	3,9	3,9	3,9	4,4	4,7	4,7	1,3	1,5	2,6	

- La réduction du travail du sol augmente la densité des vers de terre et notamment les « anéciques » (voir sites sol superficiel et sol de marais)
- L'augmentation des restitutions de MO augmente la densité des vers de terre (site ACS)
- Production de semence: abondances hautes en labour mais fortes restitutions de MO !
- Sur bande IN+1...

Synthèse des résultats

Systèmes	Leviers mobilisés par rapport au systèmes REF	MO/Argile	Biomasse microbienne	Activités microb. C	Activités microb. N	EI	SI	Nématodes libres	Vers de terre	
Sol de marais	STIR -- ; Couverture du sol ++ ; Restitutions ++	-		=	++	=	+	--	++	Stabilité du milieu >>
Sol superficiel	STIR -- ; Couverture du sol ++ ; IFT --	+		---	-	--	--	=	+	Diminution « fertilité »!
Sol de marais	STIR -- ; Couverture du sol ++ ; IFT +	-		+	++	-	--	-	+	Microorganismes -><- nématodes ??
Limagne Sud	STIR -- ; Restitutions MO ++	--	+++	++	--	++	+++	---		Fertilité >> (N et libres?)
Sol superficiel	STIR -- ; Couverture du sol +	-		---	-	-	---	--	+	Diminution « fertilité »!
Prod. semence	Restitutions MO ++	+		=	++	=	-	-	-	Diminution « fertilité »?
Allier	Restitution MO ++ ; Couverture du sol +	++	+	+++	++	+	---	+++		Fertilité >>
ACS	Restitution MO ++	+		++	+++	++	+	++	+	Fertilité >>
Limagne Nord	IFT -- ; STIR -	=	+++	++	---	--	++	--		??
Prod. semence	STIR -	+		--	+	-	---	---	++	Diminution « fertilité »?

Effet des leviers très variables selon le contexte pédoclimatique: sols argileux et carbonatés?





Conclusion – Discussion



Synthèse des résultats

- Les principaux leviers mobilisés et différenciant entre REF et IN sont le **travail du sol** et la quantité de **restitution annuelle de MO**
- Globalement, la mobilisation de l'un et/ou l'autre de ces leviers conduit à une augmentation des indicateurs mesurés sauf sur sol superficiel séchant (sableux, caillouteux) et production de semence:
 - ❑ Effet pédoclimatique?
 - ❑ Effet précédent?
 - ❑ Variabilité spatiale des parcelles?
 - ❑ Attention pour production de semence: REF à des indicateurs très élevés à l'origine → labour annuel mais très fortes restitutions annuelles de MO (> 15 tMS/ha/an)



Synthèse des résultats

- Effet de la durée de la couverture du sol joue aussi sur les entrées de MO (donc aspect positif en plus d'autres effets – érosion, adventices, maintien de la structure...)
- Effet moins clair:
 - ❑ De la diversité cultivée sur les indicateurs mesurés mais ne pas oublier les autres avantages de la diversification (maladies, ravageurs entre autres)
 - ❑ Des pesticides mais attention aux effets cachés (voir Pelosi et al., 2021)!
- Un système de culture croise toutes ces pratiques: il y a des effets synergiques, de compensation, contradictoires entre pratiques sur un organismes du sol
 - ❑ Résultats beaucoup moins clairs qu'une expérimentation analytique (ex labour vs non labour) mais plus proches de la réalité !
 - ❑ On voit aussi des réponses différentes selon le pédoclimat (ex. du sol superficiel ou des sols à textures un peu particulières: argileux, carbonatés)



Choix des indicateurs et précautions d'usage

- Pourquoi mobiliser des indicateurs? Conseil, diagnostic, références, animation?
 - ❑ Temps, moyens et finalités orientent souvent le choix des indicateurs à suivre: ne mesurez pas pour mesurer!
 - ❑ Acquisition de références: travail le plus souvent porté par des instituts techniques, de recherche. Demande beaucoup de rigueur dans l'obtention des données, caractérisation des sites etc.
 - ❑ Diagnostic: intéressant de croiser les indicateurs pour avoir une vision globale des différentes fonctions du sol. Permet ensuite de réfléchir à des leviers mobilisables
 - ❑ Conseil: découle souvent du diagnostic
 - ✓ S'appuyer sur des indicateurs robustes et « parlant »!
 - ✓ Attention à ne pas multiplier les indicateurs (temps, coûts) et contradictions entre indicateurs (sensibilités différentes, révèlent des fonctions différentes, amène souvent de la confusion)
 - ✓ Rester simple! Le meilleur moyen de ne pas agir est de multiplier les indicateurs 😊



Choix des indicateurs et précautions d'usage

- Bien cibler la ou les zones à échantillonner: très forte variabilité spatiale
- Minimisez au maximum tous les facteurs confondants quand vous souhaitez comparer des situations différentes ou suivre dans le temps la fertilité:
 - ❑ Zone d'échantillonnage (attention à la variabilité spatiale !). Préférez des placettes fixes notamment pour les bioindicateurs encore plus variables si suivi pluriannuel
 - ❑ Période d'échantillonnage
 - ❑ Occupation du sol au moment de l'échantillonnage (type de culture en place)
 - ❑ Attention à l'ITK de l'année en cours et des « dernières » pratiques avant l'échantillonnage



Choix des indicateurs et précautions d'usage

- Restez prudents dans vos conclusions notamment vis-à-vis des bioindicateurs
 - ❑ Effet précédent qui peut être très fort (légumineuses, brassicacées...)
 - ❑ Itinéraire technique de l'année précédente ou avant échantillonnage
 - ❑ Effet climat qui peut être très fort, notamment sur activités biologiques mesurées *in situ* ou sur les vers de terre!
 - ❑ On a tendance à tirer des conclusions alors que l'on beaucoup trop d'effets confondants !
- **Restez simples**: caractériser la structure du sol (souvent oubliée!), la quantité et le type de MO, maîtrise des équilibres en bases (pH, CEC, saturation...), le reste suivra (selon moi... 😊)!
- Réduire l'**intensité du travail du sol**, **couvrir son sol**, **apporter des MO** (couverts, PRO), restent LES leviers à mobiliser pour la fertilité des sols. On peut les combiner ou pas !



Approcher la fertilité des sols par des mesures ou observations


Ce que nous n'avons pas retenu

Au démarrage non dispo et encore calé...





Ecological Indicators 97 (2019) 100–110

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

 **Ecological Indicators**

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind



Original Articles

Biofunctool[®]: a new framework to assess the impact of land management on soil quality. Part A: concept and validation of the set of indicators

Alexis Thoumazeau^{a,b,c,d,*}, Cécile Bessou^a, Marie-Sophie Renevier^{b,d,e}, Jean Trap^b, Raphaël Marichal^a, Louis Mareschal^b, Thibaud Decaëns^f, Nicolas Bottinelli^{g,h}, Benoît Jaillard^b, Tiphaine Chevallier^b, Nopmanee Suvannang^d, Kannika Sajjaphanⁱ, Philippe Thaler^{b,c}, Frédéric Gay^{b,c}, Alain Brauman^{b,d}



<https://www.cirad.fr/enseignement-formation/formation-professionnelle/biofunctool-r>



Approcher la fertilité des sols par des mesures ou observations

Ce que nous n'avons pas retenu

Non quantitatif, pas de référentiel

<https://www.ademe.fr/plante-slip>

Ecological Indicators 106 (2019) 105466



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Ecological Indicators

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ecolind



Towards a simple global-standard bioassay for a key ecosystem process: organic-matter decomposition using cotton strips

F. Colas^a, G. Woodward^b, F.J. Burdon^{c,d}, F. Guérolde^e, E. Chauvet^f, J. Cornut^e, A. Cébron^e, H. Clivot^g, M. Danger^e, M.C. Danner^b, C. Pagnout^e, S.D. Tiegs^{h,*}



Methods in Ecology and Evolution



Methods in Ecology and Evolution 2013, 4, 1070–1075

doi: 10.1111/2041-210X.12097

Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems

Joost A. Keuskamp^{1*†}, Bas J. J. Dingemans^{1†}, Taru Lehtinen^{2,3}, Judith M. Sarneel^{4,5} and Mariet M. Hefting¹





Ce que nous n'avons pas retenu

Trop de facteurs de variations, trop compliqué, souvent incompréhensible...

Plant Soil (2013) 362:389–417
DOI 10.1007/s11104-012-1429-7

REVIEW ARTICLE

**Redox potential (Eh) and pH as drivers
of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary
overview pointing to integrative opportunities for agronomy**

Olivier Husson





QUESTIONS



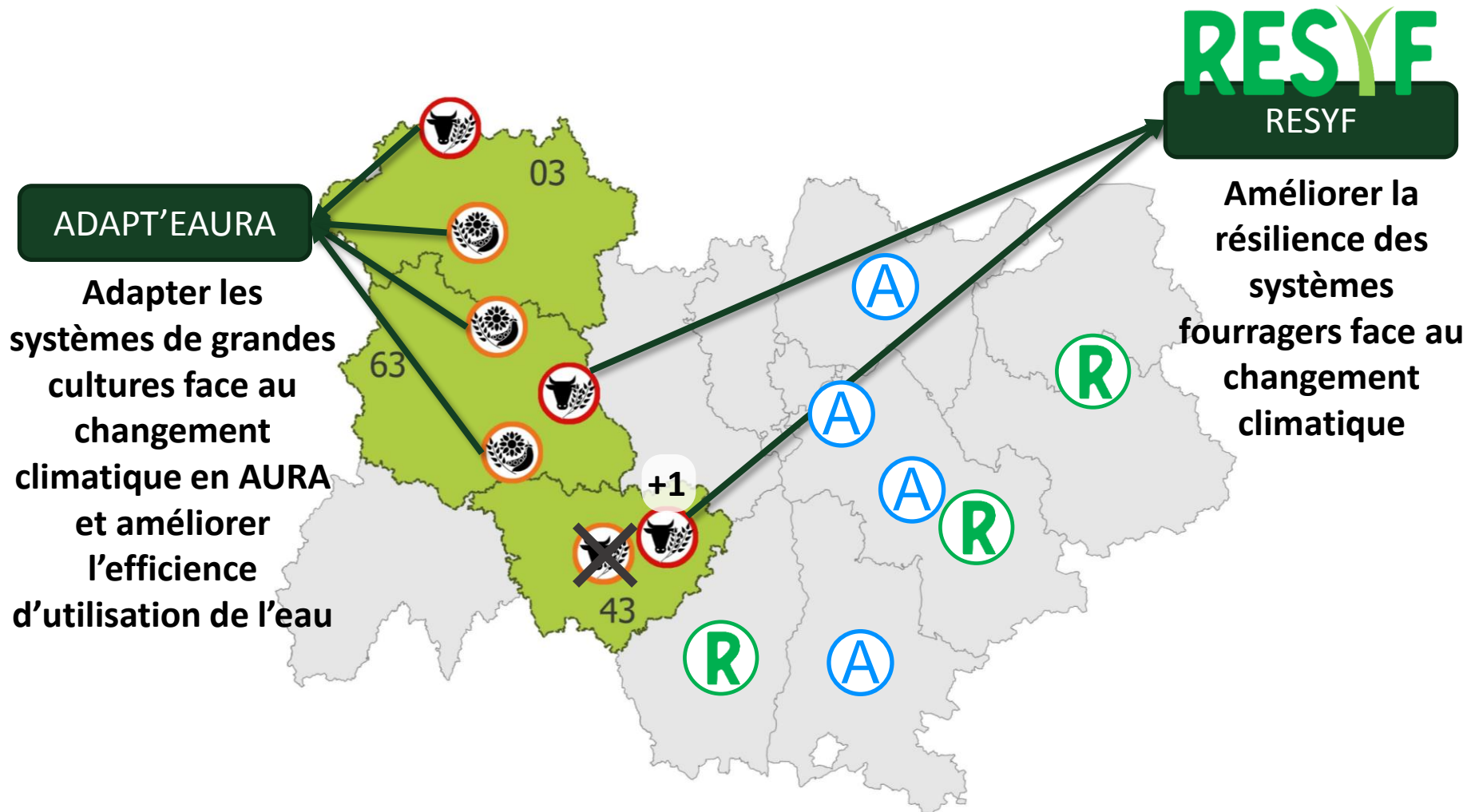
TEMOIGNAGES – Laetitia et Yoann



Le mot de la fin



De nouveaux projets d'expé' système





La suite...

De nombreuses données à valoriser

Des projets similaires en Aura

⇒ 4 rendez-vous webinaires en novembre

Mercredi 2
novembre

Quelles clés de
réussite pour des
expérimentations
de systèmes de
culture innovants
?

Mardi 8
novembre

Quelles
performances
économiques,
agronomiques et
environnemental
es des systèmes
innovants ?

Mardi 15
novembre

Quelles
combinaisons de
pratiques
permettent
d'améliorer la
fertilité des sols ?

Vendredi 25
novembre

Innover en
grandes cultures :
les apports de
l'approche
système

Toutes les informations sur <https://aura.chambres-agriculture.fr/>

Contacts : Thomas PACAUD et Léa MARIAT (Chambre Régionale d'Agriculture AuRA)

WEBINAIRE

PRiD



3 / 4



MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



PRiD

Partenariat régional agricole
recherche innovation développement

Merci pour votre attention

Principaux financeurs des projets :



PÔLES D'EXPÉRIMENTATIONS PARTENARIALES
POUR L'INNOVATION ET LE TRANSFERT
VERS LES AGRICULTEURS D'Auvergne-Rhône-Alpes

Avec
la contribution
financière du compte
d'affectation spéciale
développement
agricole et rural
CASDAR



MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA SOUVERAINETÉ
ALIMENTAIRE

*Liberté
Égalité
Fraternité*