



Caractériser, préserver, restaurer la qualité des sols : quels indicateurs ?

Isabelle Cousin, Maylis Desrousseaux

15 mai 2025

INRAE

- En guise d'introduction : les sols, l'artificialisation, les indicateurs...

➤ Les sols, multifonctionnels, ...mais dégradés



Evaluer la qualité/santé des sols

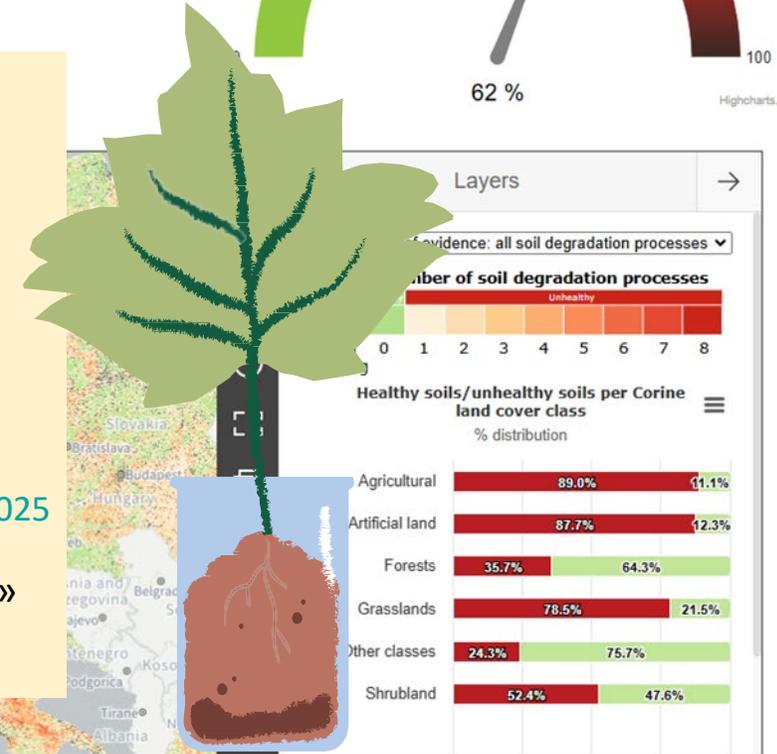
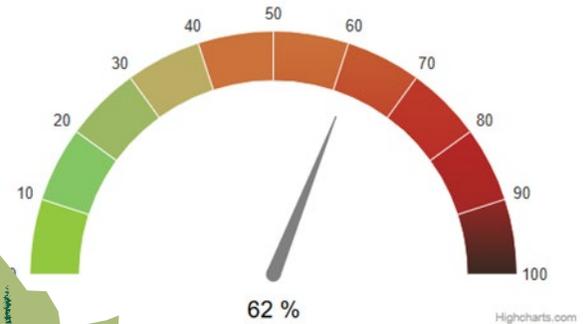
Des initiatives multiples d'évaluation de la santé des sols...

Qualité des sols abordée en silo dans les différents domaines juridiques
rural, urbanisme, environnement, forêt, énergie, etc.

Des initiatives législatives
propositions de lois Bonnefoy (2023), Ramos (2023)

Deux instruments intégrateurs

- UE proposition Directive cadre 2023 - « *Soil Monitoring and Resilience Law* »
- Loi Climat et résilience de 2021



<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/esdacviewer/euso-dashboard/>



INRAE

➤ Artificialiser, c'est dégrader

Loi Climat et Résilience -> Art. L. 101-2-1 du Code de l'urbanisme

« L'artificialisation est définie comme l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage. »

La loi Climat et résilience :

- ▶ marque une étape fondamentale dans « l'écologisation » du droit de l'urbanisme
 - ▶ comment qualifier « l'altération durable » ?
 - ▶ Comment préserver les sols de cette altération ?
- ▶ Souligne le besoin de doter les territoires d'un système guidant les arbitrages d'affectation et d'occupation du sol

➔ **Indicateurs**

FONCTION ECOLOGIQUE



INRAE

Groupe FORBS du Comifer – I. Cousin, M. Desrousseaux
15 mai 2025

➤ Le rôle des indicateurs dans la préservation de la qualité des milieux

La notion de qualité a évolué d'une approche purement anthropocentrée vers la prise en compte des critères écologiques de la qualité des milieux



Les indicateurs sont un mécanisme classique du **droit de l'environnement**

- ☛ Lui vaut son qualificatif de droit « **technique** »
- ☛ Sert au contrôle et à la prévention de la dégradation des milieux
- ☛ Traduit une **immixtion des connaissances scientifiques** dans un système juridique
- ☛ Evolue parallèlement : la maturation de concepts et de méthodes ne doit pas être un frein à l'évolution du cadre juridique

INDICATEUR

INRAE

➤ Éléments méthodologiques de l'étude



➤ Méthodes de l'étude

Les expert.e.s

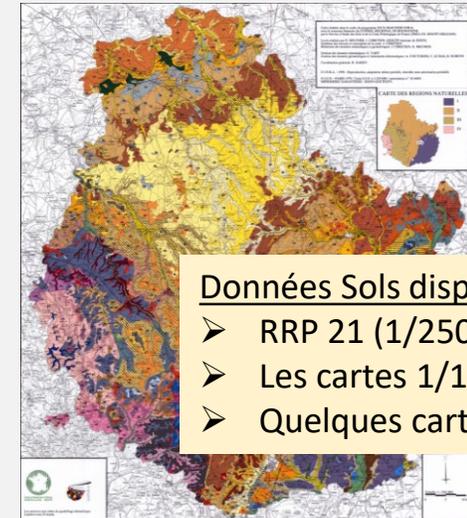
- 19 experts scientifiques
- 2 pilotes : droit et physique du sol
- **Sciences du sol** (physique, chimie, biologie, microbiologie, pédologie)
- **Ecologie**
- **Agronomie et sylviculture**
- **Anthropologie**
- **Sociologie**
- **Géographie**
- **Economie**
- **Droit**
- **Statistiques, géostatistiques, modélisation**

Le corpus de l'étude

- **1800** références citées
- ☛ dont **1 500 articles** revus par les pairs
- ☛ **260 revues de littérature**
- ☛ Place relativement importante de la **littérature grise** (ouvrages, rapports ...)
- ☛ Corpus majoritairement axé sur les **contextes agricoles**

La zone test

- **entité administrative** (pour application possible PP)
- qui possède une **large gamme de sols**
- et des **occupations variées**
- sur laquelle on dispose de **données sols à différentes échelles** (tests de différents niveaux de complexité)



Données Sols disponibles :

- RRP 21 (1/250 000)
- Les cartes 1/100 000 de Beaune et Dijon
- Quelques cartes locales très précises

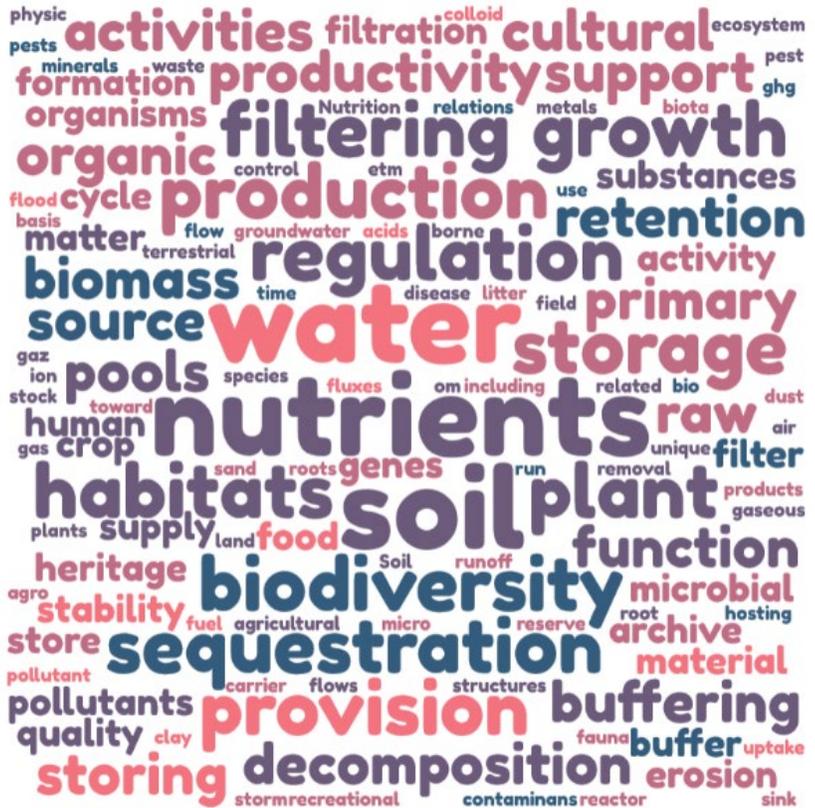
INRAE

➤ Définir les fonctions, la qualité, la santé...



➤ Les fonctions du sol dans la littérature scientifique

Analyse de ~150 articles traitant des fonctions des sols



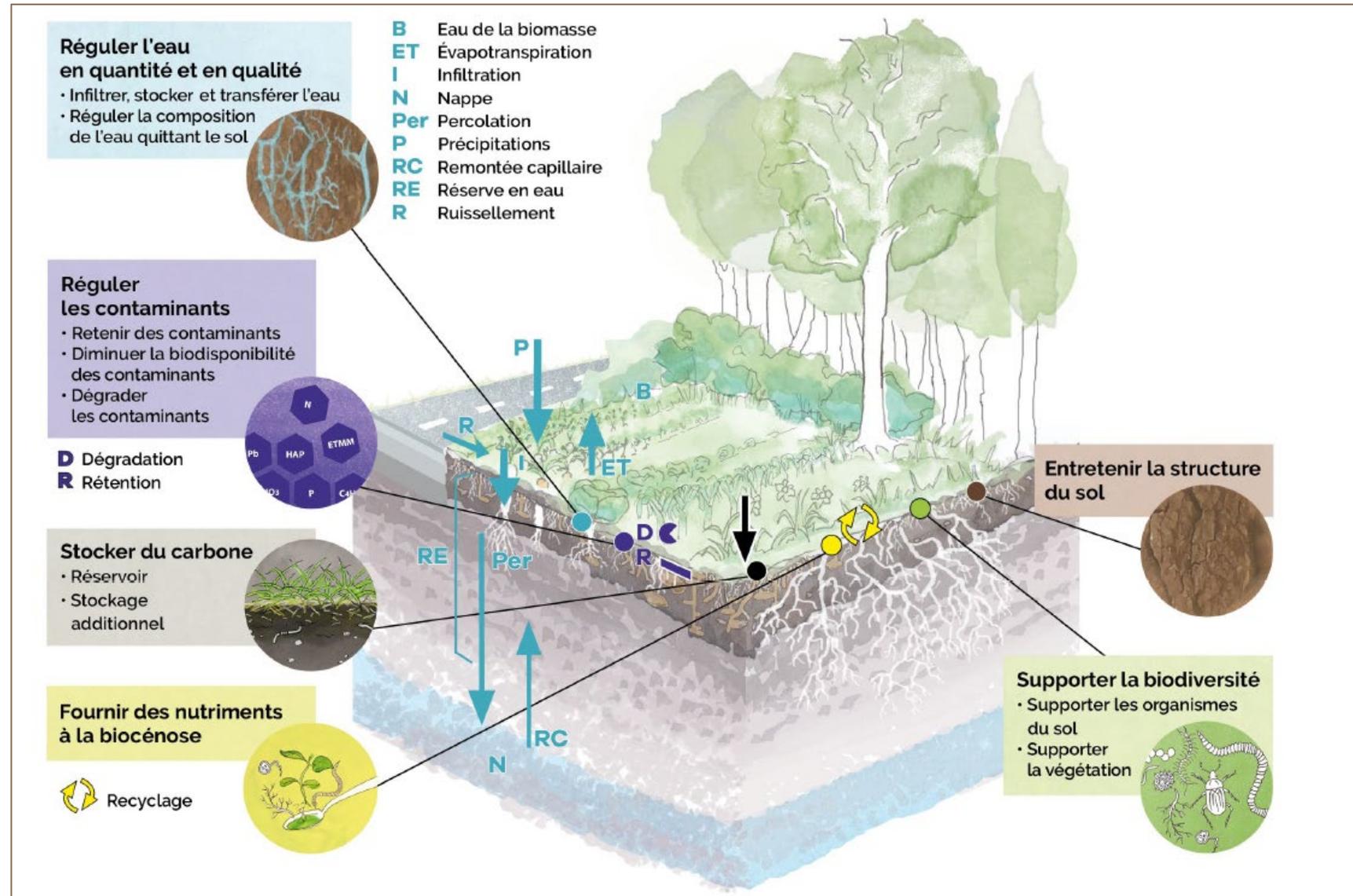
- ▶ des mots qui qualifient des **objets** (*nutrients, water, soil, carbon, etc.*)
- ▶ des mots qui qualifient des **actions** (ex. *cycling, regulation, storage, production, sequestration, etc.*)



Une **fonction écologique** est définie comme une **action** sur un **objet**



➤ Six fonctions (et 8 sous-fonctions) des sols



➤ Fonctions des sols, qualité et santé

Fonction écologique du sol

- ▶ « Ce que le sol *fait* »

Qualité du sol

- ▶ « Capacité des sols à *assurer des fonctions* »
- ▶ « Ce que le sol *est* »

Santé d'un sol

- ▶ Position par rapport à « *ce qui est bien* »

Valeurs **d'existence**
(selon les catégories)

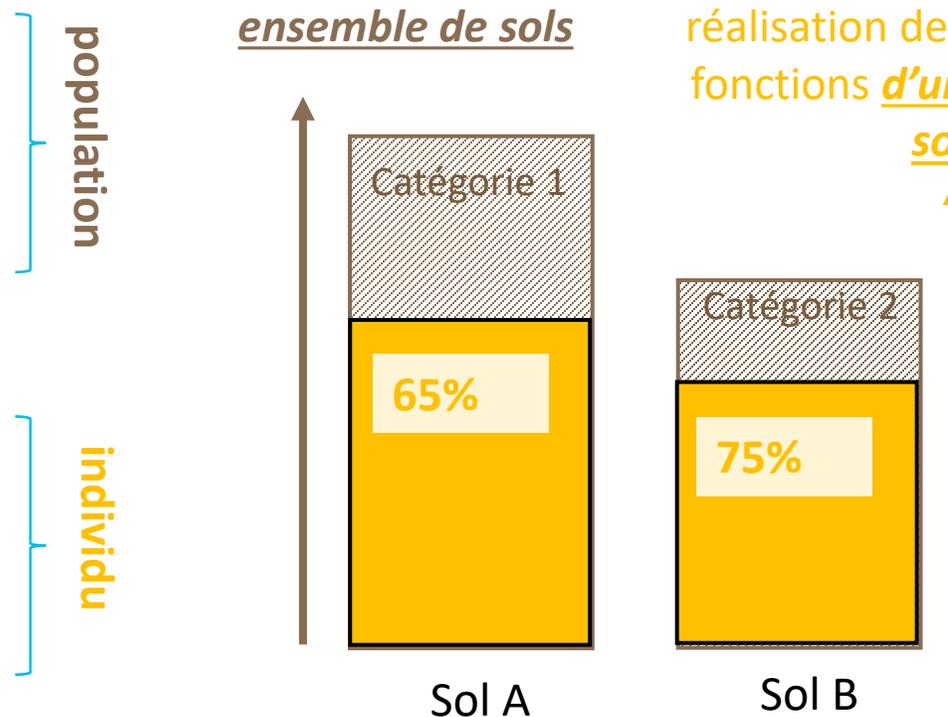


QUALITÉ
niveau **potentiel** de
réalisation des
fonctions **d'un**
ensemble de sols

SANTÉ
niveau **réel** de
réalisation des
fonctions **d'un**
sol



Valeurs **seuils**
valeurs **cible**



INRAE

➤ Identifier des indicateurs...



Indicateurs en lien avec la production végétale

2 indicateurs physiques
Entretenir la structure du sol

2 indicateurs physiques
Réguler quantitativement l'eau

3 indicateurs chimiques
Fournir des nutriments à la biocénose

des indicateurs biologiques (à choisir)
Supporter la végétation

Indicateurs	Cadre d'évaluation de l'indicateur	Méthode normalisée d'évaluation	Niveau d'opérationnalité	Utilisé dans évaluations économiques	Supporter la végétation	Fournir des nutriments à la biocénose	Réguler quantitativement l'eau	Entretenir la structure du sol
Profondeur	↕		●	x				
Granulométrie – Texture		x	●	x				
Teneur en éléments grossiers			●					
Masse volumique apparente		x	●					■
Stabilité structurale			●					■
Conductivité électrique		x	●					
Conductivité hydraulique à saturation			●	x			■	
Réservoir en Eau Utilisable (RU) Maximum	↕		●	x			■	
pH (eau)		x	●	x				
Capacité d'échange cationique (CEC)			●	x				
Teneur en carbone organique		x	●					
Biomasse moléculaire microbienne		x	●					
Biomasse microbienne		x	●					
Teneur en N total		x	●	x		■		
Teneur en P disponible		x	●	x		■		
Teneur en K disponible		x	●			■		
Respiration basale du sol		x	●		*	■		
Potentiel de minéralisation de N et C			●		*			
Diversité des bactéries du sol			●		*			
Diversité des champignons du sol			●		*			
Ratio champignons/bactéries			●		*			
Abondance des endhytréides			●		*			
Abondance des lombriciens			●	x	*			
Div./groupes écologiques/fonctionnels des lombriciens			●		*			
Abondance des nématodes			●		*			
Diversité des nématodes			●		*			
Abondance des microarthropodes			●		*			
Diversité/groupes fonctionnels des microarthropodes			●		*			
Activités enzymatiques		x	●		*			



■
indicateur

*
Indicateur au choix

□
déterminant



INRAE

Groupe FORBS du Comifer – I. Cousin, M. Desrousseaux

15 mai 2025

➤ Indicateurs par type

Des **caractéristiques** du sol

- Physiques
- Chimiques
- Biologiques

		Supporter la biodiversité	Stocker du carbone	Réguler les contaminants	Fournir des nutriments à la biocénose	Réguler l'eau	Entretien la structure du sol
P	Profondeur						
P	Granulométrie – Texture						
P	Teneur en éléments grossiers						
C	Conductivité électrique						
C	pH (eau)						
C	Capacité d'échange cationique (CEC)						
C	Rapport ON						
C	Type et composition (dont ON) de l'humus forestier						
P	Rapport Corg/Arg						
P	Fractions du carbone						
P	Fraction de carbone oxydable						
C	Teneur en carbone organique						
C	Stock de carbone (sur 30 cm)						
C	Stock de carbone (sur 1 m)						
P	Masse volumique apparente						
P	Stabilité structurale						
P	Conductivité hydraulique à saturation						
P	Réservoir en Eau Utilisable (RU) Maximum						
C	Teneur en N total						
C	Teneur en P disponible						
C	Teneur en K disponible						
C	Teneurs totales en EIMM**						
C	Teneurs partielles (extraditales) en EIMM						
C	Teneurs en polluants organiques (HAP*)						
C	Teneurs en polluants organiques (PCB*, dioxines/furanes)						
C	Teneurs en polluants organiques (pesticides et métabolites)						
B	Ratio champignons / bactéries	*					
B	Abondance des lombriciens	*					
B	Diversité/groupes écologiques / fonctionnels des lombriciens	*					
B	Activités enzymatiques	*					
B	Biomasse moléculaire microbienne	*					
B	Biomasse microbienne	*					
B	Respiration basale du sol	*					
B	Potentiel de minéralisation de Net C	*					
B	Diversité des bactéries du sol	*					
B	Diversité des champignons du sol	*					
B	Abondance des enchytréides	*					
B	Abondance des nématodes	*					
B	Diversité des nématodes	*					
B	Abondance des microarthropodes	*					
B	Diversité/groupes fonctionnels des microarthropodes	*					

■ des indicateurs

■ des déterminants



➤ Focus sur les indicateurs biologiques / comparaison avec MicrobioTerre

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 non identifié		

Indicateurs du menu	Recyclage des nutriments					Transformation du carbone					Structure du sol				
	Fourniture N			Perte N		Transformation MO		Perte MO	Augmentation MO		Erosion Battance		Porosité		Stockage eau
	Ammonification	Nitrification	Fixation symbiotique	Réduction du NO3	Volatilisation	Fragmentation	Biodegradation	Minéralisation (CO2)	Stabilisation chimique	Stabilisation physique	Aggrégation (Macro)	Aggrégation (Micro)	Aération/Circulation eau-air	Infiltration en eau	Rétention en eau
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)	+	+						+				+			

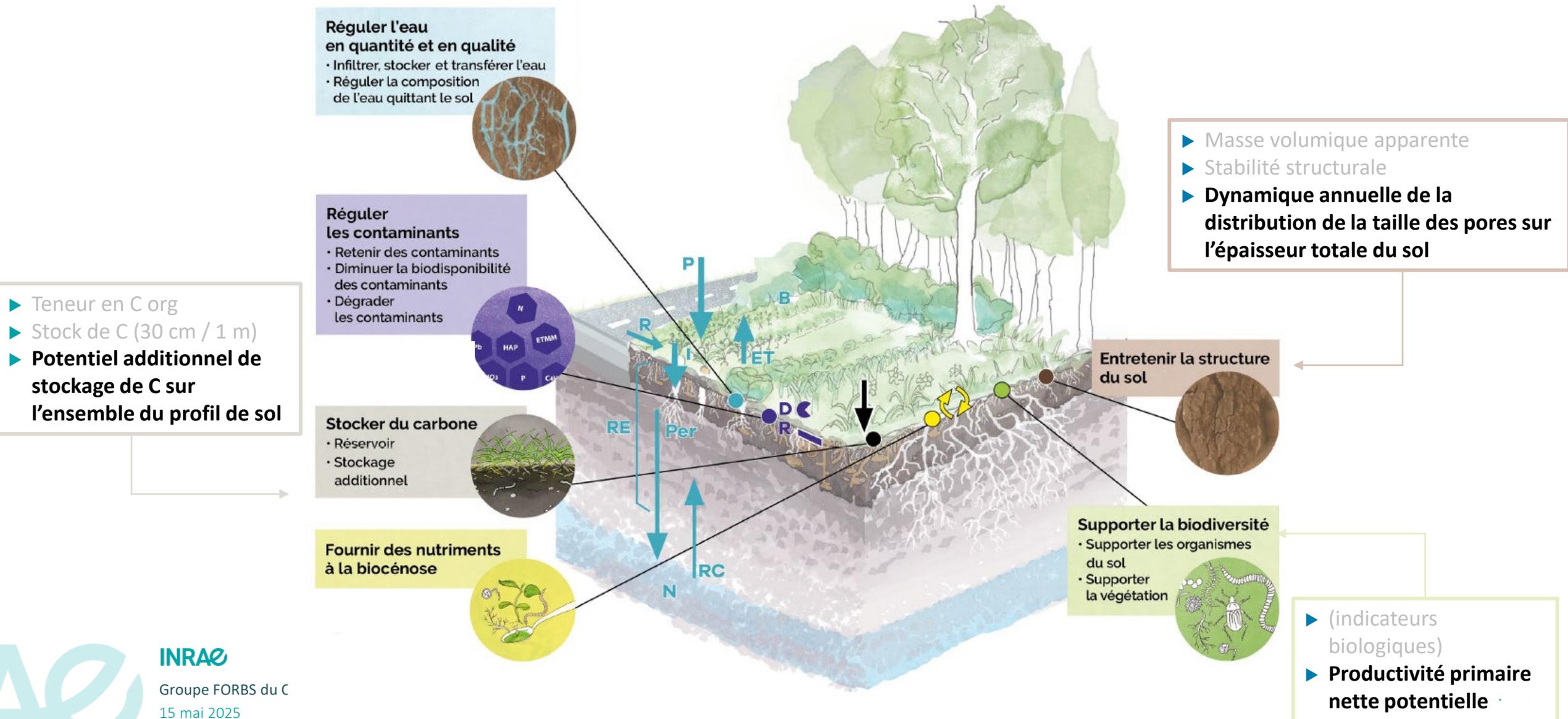
Matthieu Valé / Auréa AgroSciences

Comifer / JT 1^{er} février 2024

60

		Supporter la biodiversité	Stocker du carbone	Réguler les contaminants	Fournir des nutriments à la biodépose	Réguler l'eau	Entretien de la structure du sol
P	Profondeur						
P	Granulométrie – Texture						
P	Teneur en éléments grossiers						
C	Conductivité électrique						
C	pH (eau)						
C	Capacité d'échange cationique (CEC)						
C	Rapport C/N						
C	Type et composition (dont C/N) de l'humus forestier						
P	Rapport Corg/Arg						
P	Fractions du carbone						
P	Fraction de carbone oxydable						
C	Teneur en carbone organique						
C	Stock de carbone (sur 30 cm)						
C	Stock de carbone (sur 1 m)						
P	Masse volumique apparente						
P	Stabilité structurale						
P	Conductivité hydraulique à saturation						
P	Réservoir en Eau Utilisable (RU) Maximum						
C	Teneur en N total						
C	Teneur en P disponible						
C	Teneur en K disponible						
C	Teneurs totales en EIMM*						
C	Teneurs partielles (extractibles) en EIMM						
C	Teneurs en polluants organiques (HAP*)						
C	Teneurs en polluants organiques (PCB*, dioxines/furanes)						
C	Teneurs en polluants organiques (pesticides et métabolites)						
B	Ratio champignons / bactéries	*					
B	Abondance des lombriciens	*					
B	Diversité groupes écologiques / fonctionnels des lombriciens	*					
B	Activités enzymatiques	*					
B	Biomasse moléculaire microbienne	*					
B	Biomasse microbienne	*					
B	Respiration basale du sol	*					
B	Potentiel de minéralisation de Net C	*					
B	Diversité des bactéries du sol	*					
B	Diversité des champignons du sol	*					
B	Abondance des enchytréides	*					
B	Abondance des nématodes	*					
B	Diversité des nématodes	*					
B	Abondance des microarthropodes	*					
B	Diversité / groupes fonctionnels des microarthropodes	*					

➤ Des indicateurs « idéaux » pour caractériser des fonctions



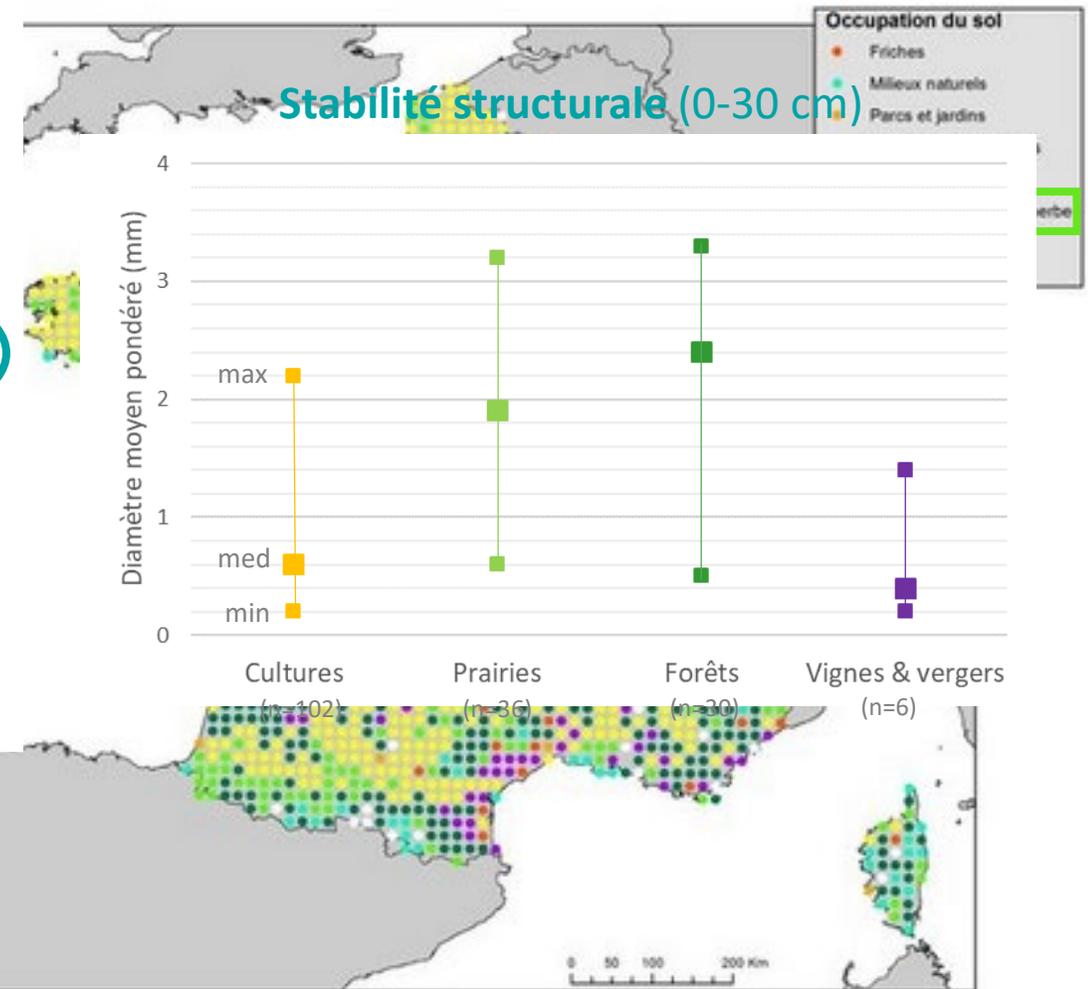
INRAE

- Valeurs de référence : des valeurs d'existence, des seuils et des cibles

➤ Des valeurs de référence pour les indicateurs : des valeurs d'existence pour évaluer la qualité

Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS)

Indicateur	Gamme de valeurs par occupation du sol					Références
	Successions culturales	Surfaces toujours en herbe	Surfaces boisées	Vergers et cultures pérennes arborescentes	Toutes occupations	
Profondeur	Très variable - contexte géopédoclimatique dépendant					
Taux d'érosion	non analysé dans cette étude					
Granulométrie - Texture	Très variable - contexte géopédoclimatique dépendant					
Masse volumique apparente (g/cm ³) couche 0-30 cm	Min : 0,79 Max : 1,96 Med : 1,36 Moy : 1,36	Min : 0,44 Max : 1,98 Med : 1,30 Moy : 1,29	Min : 0,48 Max : 2,05 Med : 1,24 Moy : 1,24	Min : 1,00 Max : 2,04 Med : 1,54 Moy : 1,54	Min : 0,37 Max : 2,05 Med : 1,32 Moy : 1,31	RMQS, 1 ^{re} campagne Saby et al. (2019, 2024)
Masse volumique apparente (g/cm ³) couche 30-50 cm	Min : 0,87 Max : 2,16 Med : 1,48 Moy : 1,48	Min : 0,20 Max : 2,26 Med : 1,44 Moy : 1,43	Min : 0,51 Max : 2,34 Med : 1,38 Moy : 1,39	Min : 1,06 Max : 2,10 Med : 1,53 Moy : 1,55	Min : 0,20 Max : 2,34 Med : 1,47 Moy : 1,46	
Teneur en éléments grossiers (%)	Très variable - contexte géopédoclimatique dépendant					
Stabilité structurale (MWD) (mm)	Min : 0,2 Max : 2,2 Med : 0,6 Moy : 0,7	Min : 0,6 Max : 3,2 Med : 1,9 Moy : 1,8	Min : 0,5 Max : 3,3 Med : 2,4 Moy : 2,2	Min : 0,5 Max : 1,4 Med : 0,4 Moy : 0,5		RMQS, 1 ^{re} campagne (174 sites) Rabot et al. (2014)
Conductivité électrique (σ) (dS/m)	(pas de données nationales disponibles)					
Conductivité hydraulique à saturation (Ks) (m/s) horizon de surface					Min : 4,09.10 ⁻⁷ Max : 1,08.10 ⁻⁴ Med : 3,57.10⁻⁵ Moy.géo : 2,47.10⁻⁵	Base de données SOLHYDRO (données acquises par INRAE / UR Sols, non publiées)



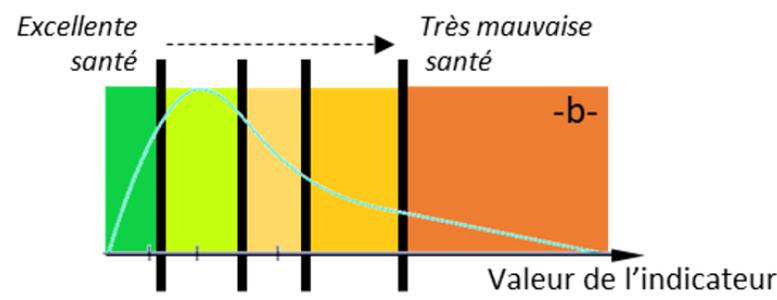
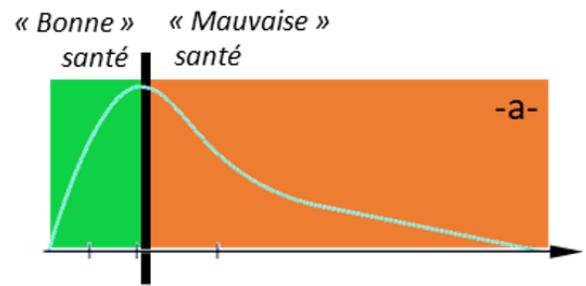
➤ Des valeurs de référence pour les indicateurs : des valeurs seuils pour évaluer la santé

Des seuils basés sur la science ou la loi

Indicateur	Usage du seuil	Nombre de classes	Classes et seuils associés					Référence
Profondeur	(sans objet)	-	dépendant du contexte pédoclimatique					
Taux d'érosion (t/ha)	Risque d'érosion	2	à fixer par chaque état-membre (valeur usuelle: Taux d'érosion < 2 t)					SMRL, 2024
Granulométrie - Texture	(sans objet)	-	dépendant du contexte pédoclimatique					
Masse volumique apparente (MV) (horizon de surface) (g/cm ³)	Risque de tassement superficiel	à fixer	à fixer par chaque état membre					SMRL, 2024
Masse volumique apparente (MV) (horizon profond) (g/cm ³)	Risque de tassement profond	4	MV < 1,2 très aéré	1,2 < MV < 1,6 normal	1,6 < MV < 1,9 dense	MV > 1,9 imperméable		EEA, 2023
	Risque de tassement profond	5	sable, sable limoneux, limon moyen sableux MV < 1,8	limon argilo-sableux, limon moyen MV < 1,75	limon, limon moyen argileux MV < 1,65	argile sableuse, argile limoneuse (35-45% argile) MV < 1,58	argile MV < 1,47	SMRL, 2024
Teneur en éléments grossiers (EG) (%)	Risque de limitation de la croissance végétale	-	pas de seuil : risque dépendant de l'usage du sol et/ou du type de végétal					
Stabilité structurale (MWD) (mm)	Risque de structure non stable	5	MWD < 0,4 : très instable	0,4 < MWD < 0,8 : instable	0,8 < MWD < 1,3 : modérément instable	1,3 < MWD < 2 : stable	MWD > 2 : très stable	Le Bissonnais, 1996
Conductivité électrique (σ) (dS/m)	Risque de limitation de la croissance végétale Qualification du niveau de salinisation	-	-					Diebolder (ed.), 1954
Conductivité hydraulique à saturation (Ks) (m/s)	Risque de ruissellement et d'érosion	-	-					
	Réduction de la capacité du sol à retenir l'eau	-	-					
	Risque de tassement profond	-	-					
Air Capacity (Air) (%)	Risque de tassement profond	-	-					
	Réduction de la capacité du sol à retenir l'eau	-	-					
Réservoir en Eau Utilisable (RU) Maximum (mm/cm)	Risque de limitation de la croissance végétale	-	-					



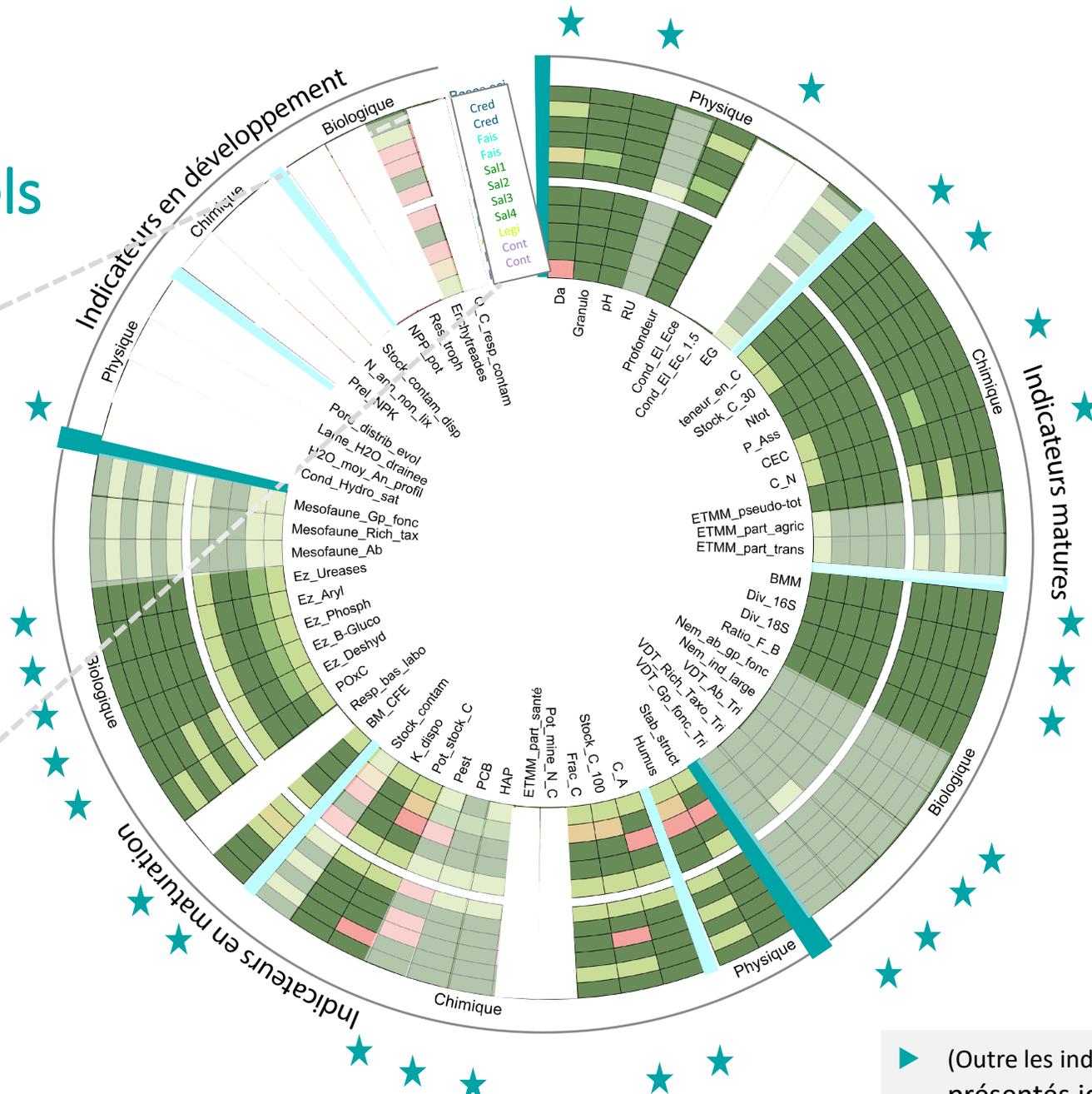
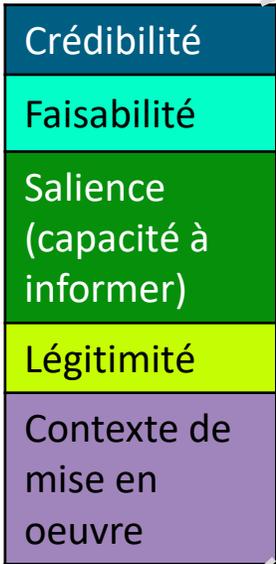
Des seuils basés sur des distributions de valeurs



☺ Des propositions commerciales à valider....

Des indicateurs opérationnels

Opérationnalité technique
Opérationnalité d'usage



★ Indicateurs proposés dans la Soil Monitoring and Resilience Law
-> 28

Indicateurs absents du réseau RMQS
-> 15 (dont 10 indicateurs idéaux)

Indicateurs mesurés sur certains points du réseau RMQS
-> 16

Indicateurs mesurés sur tout le réseau RMQS
-> 29

▶ (Outre les indicateurs idéaux), **seulement 5** des indicateurs présentés ici ne sont pas mesurés sur le RMQS



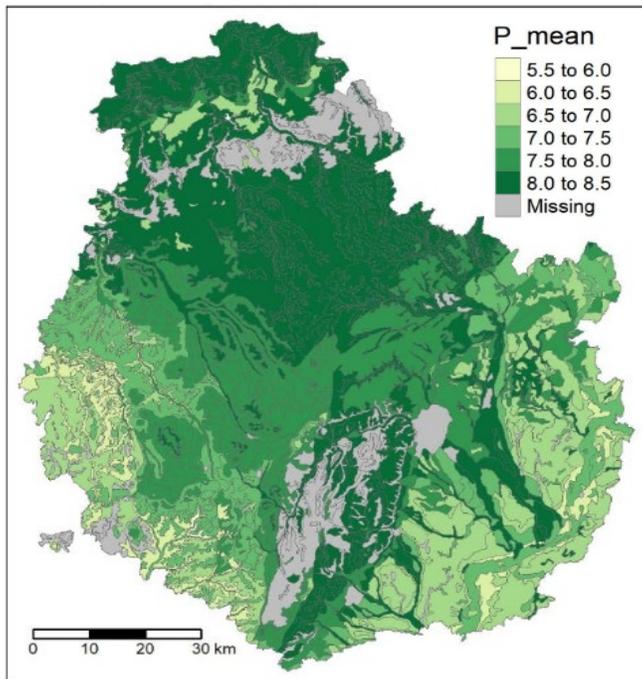
➤ Des exemples sur la Côte d'Or



Fournir éléments biocénose

Valeurs d'existence

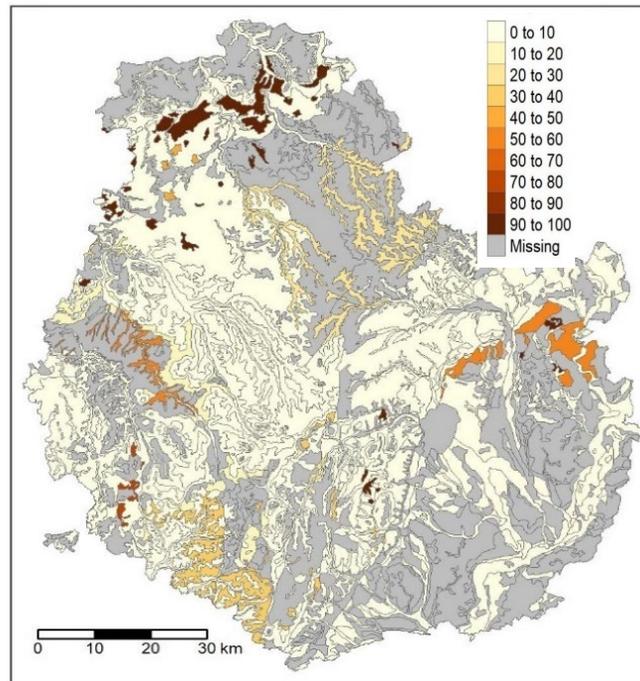
Teneur en Phosphore (mg/kg)



Entretien structure

Valeurs seuils

Dégradation par le tassement des sols profonds (indicateur = masse volumique)



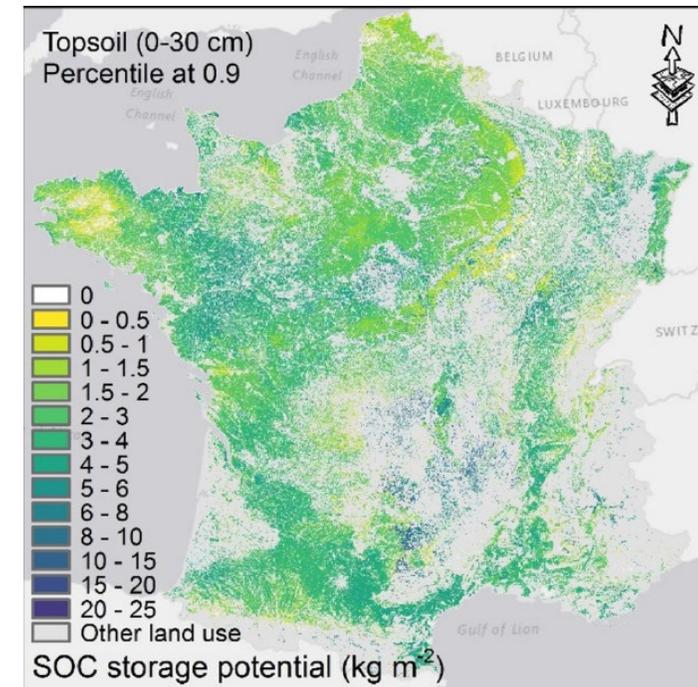
Proportion, par Unité cartographique, des Unités Typologique dont les valeurs de masse volumique dépassent les valeurs seuils (SMLR)



Stockage carbone

Valeurs cibles

Potentiel de stockage du carbone organique (kg/m²)



- ➔ Indicateurs permettant le diagnostic de qualité et / ou de santé des sols
- ➔ Indicateurs mobilisables dans les stratégies d'aménagement du territoire, de restauration

INRAE

➤ Focus sur 2 indicateurs



➤ Un exemple : la stabilité structurale

Description du paramètre

La stabilité structurale d'un sol fait référence à la *capacité d'un sol à résister à des agents de dégradation, principalement mécaniques et hydriques* (Jensen et al., 2019).

Méthode de mesure

La stabilité structurale du sol dépend d'une série de paramètres et peut être évaluée de plusieurs manières (Gobat et al., 2010 ; Rabot et al., 2018). Au laboratoire, la stabilité structurale du sol peut être déterminée en regardant la distribution de la taille des agrégats et leur stabilité face à différents traitements comme une immersion dans l'eau, une désagrégation mécanique par agitation... (Le Bissonais, 1996 ; Rabot et al., 2018).

- Méthode Le Bissonais (1996) - norme ISO (ISO 10930: 2012 « Qualité du sol -- Mesure de la stabilité d'agrégats de sols soumis à l'action de l'eau »).
- Slake Test
- Application sur téléphone portable

Consensus d'utilisation en tant qu'indicateur

La stabilité structurale est un indicateur qui fait partie des indicateurs physiques les plus mesurés (Bünemann et al., 2018 ; Rabot et al., 2018).

Valeurs de référence

Tableau 10-45. Valeurs de référence de la stabilité structurale des sols (MWD) (Le Bissonais, 1996)

MWD	Stabilité	Risque de Battance	Ruissellement et érosion diffuse
< 0,4 mm	Très instable	Systématique	Risque élevé et permanent dans toutes les conditions topographiques
0,4-0,8 mm	Instable	Très fréquent	Risque fréquent dans toutes les situations
0,8-1,3 mm	Moyennement stable	Fréquent	Risque variable en fonction des paramètres climatiques et topographiques
1,3-2,0 mm	Stable	Occasionel	Risque limité
> 2,0 mm	Très stable	Très rare	Risque très faible

➤ Un autre exemple

Jetons un œil sur le rapport ...



INRAE

➤ Utiliser la qualité des sols dans la gouvernance



➤ Des raisonnements centrés sur le foncier plus que sur les sols

Le contrôle juridictionnel des PLU manque d'un référentiel, laissant les juges arbitres du potentiel agronomique

Analyse du contentieux : libre interprétation de la « valeur agronomique » selon les arguments et rapports d'expertises des parties → appréciation au **cas par cas** + qualité rarement déterminante dans le zonage 'agricole' vs. 'à urbaniser'.

Disparités territoriales << manque de critères objectifs, de cohérence nationale. Introduction d'un **volet qualité des sols** dans les **SCoT** pour appuyer les PLU(i) ?



➤ Les indicateurs scientifiques ont une existence socio-politique

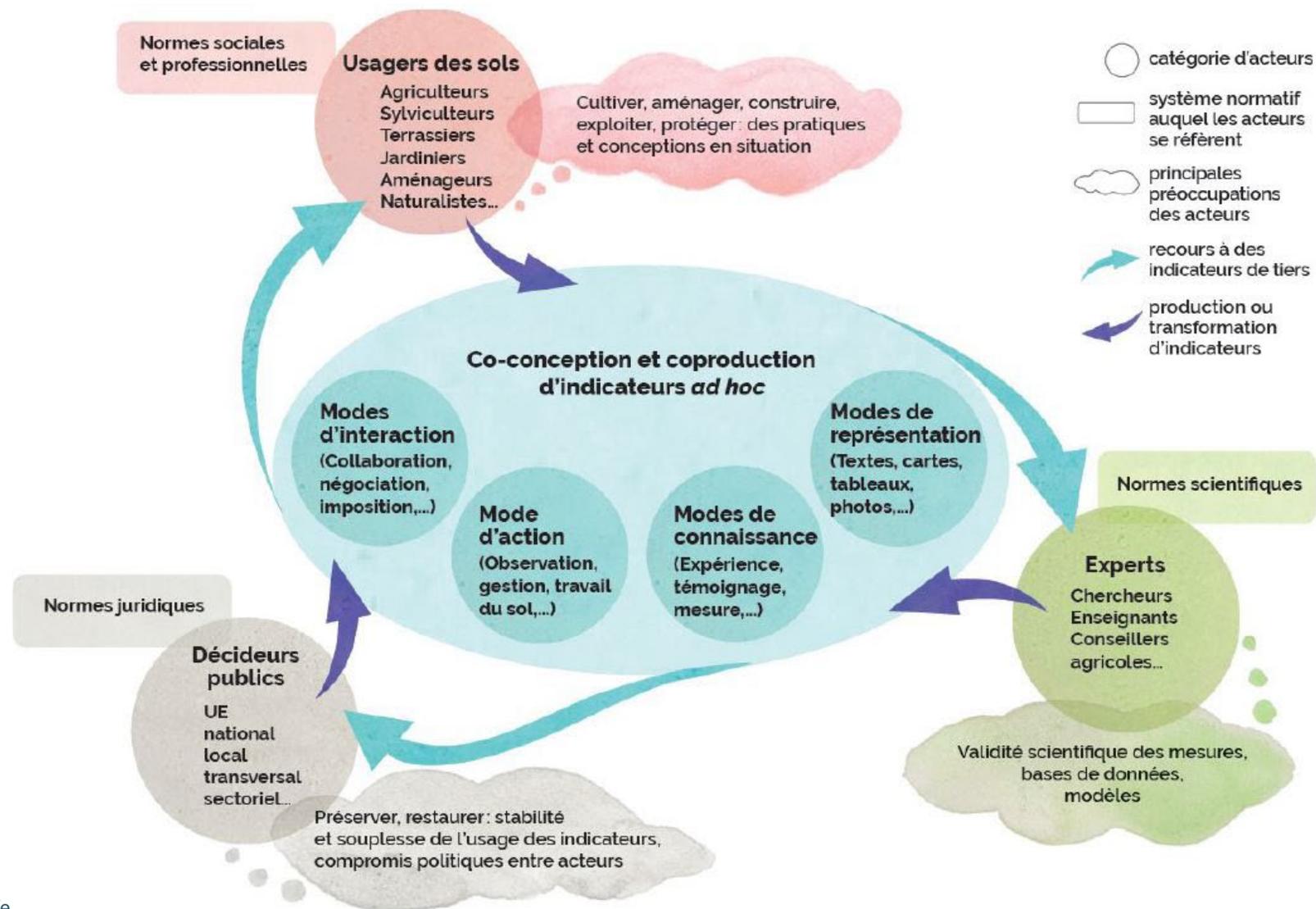
Un indicateur qui « réussit » - est mobilisé - n'est pas nécessairement scientifiquement optimal : **dépendance au sentier.**

L'indicateur, un **objet-frontière**, facteur de réussite : transversalité entre mondes sociaux (communication), avec des sens potentiellement différenciés → structure stable permettant des reformulations selon l'évolution des objectifs.

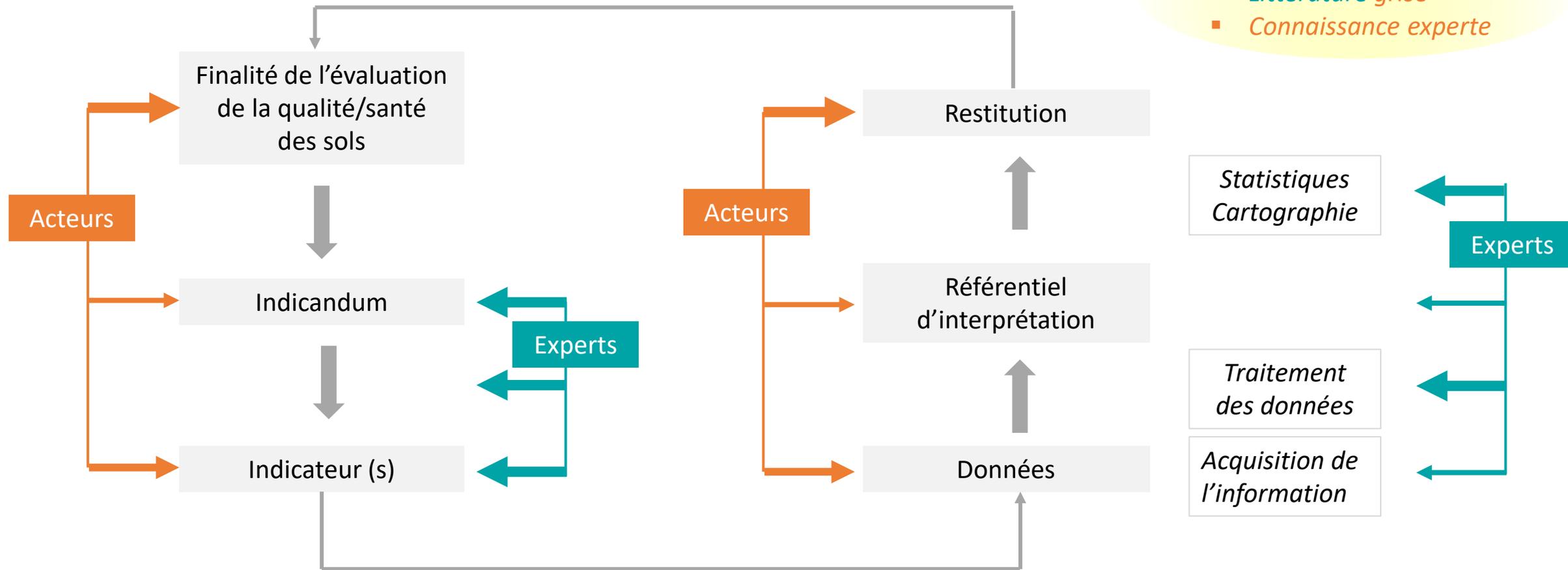
RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)

$$\begin{aligned} & \text{Érosion} \\ & = \\ & \text{Erosivité des précipitations} \\ & \quad \times \\ & \text{Erodabilité du sol} \\ & \quad \times \\ & \text{Longueur et inclinaison de la pente} \\ & \quad \times \\ & \text{Couverture végétale} \\ & \quad \times \\ & \text{Pratiques de gestion des sols} \end{aligned}$$

➤ Un défi : s'accorder entre parties prenantes sur ce que les sols sont, font, valent et devraient être

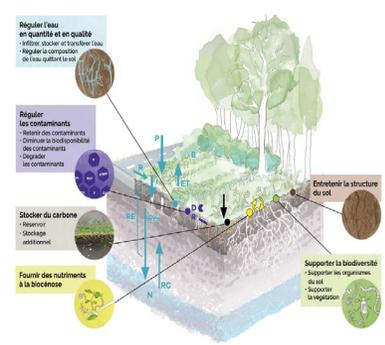
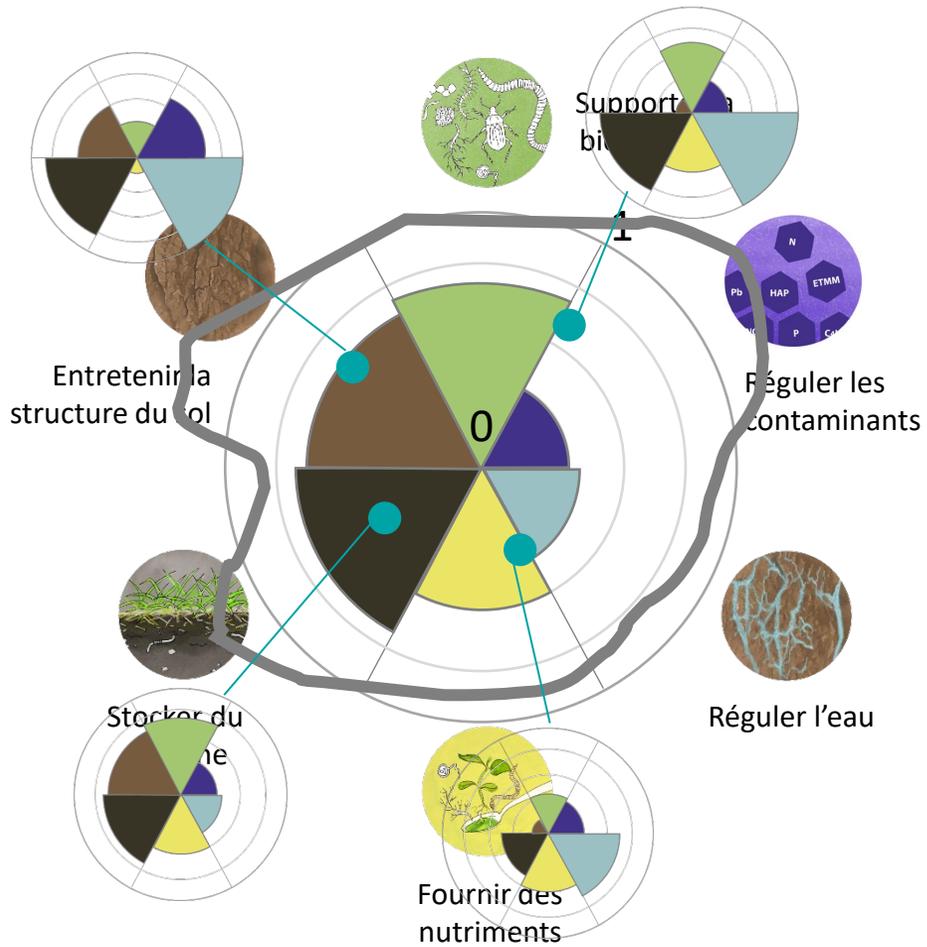


➤ Co-construire conjointement un système d'indication, entre acteurs et experts scientifiques



➤ Evaluer la multifonctionnalité

Réaliser des profils fonctionnels

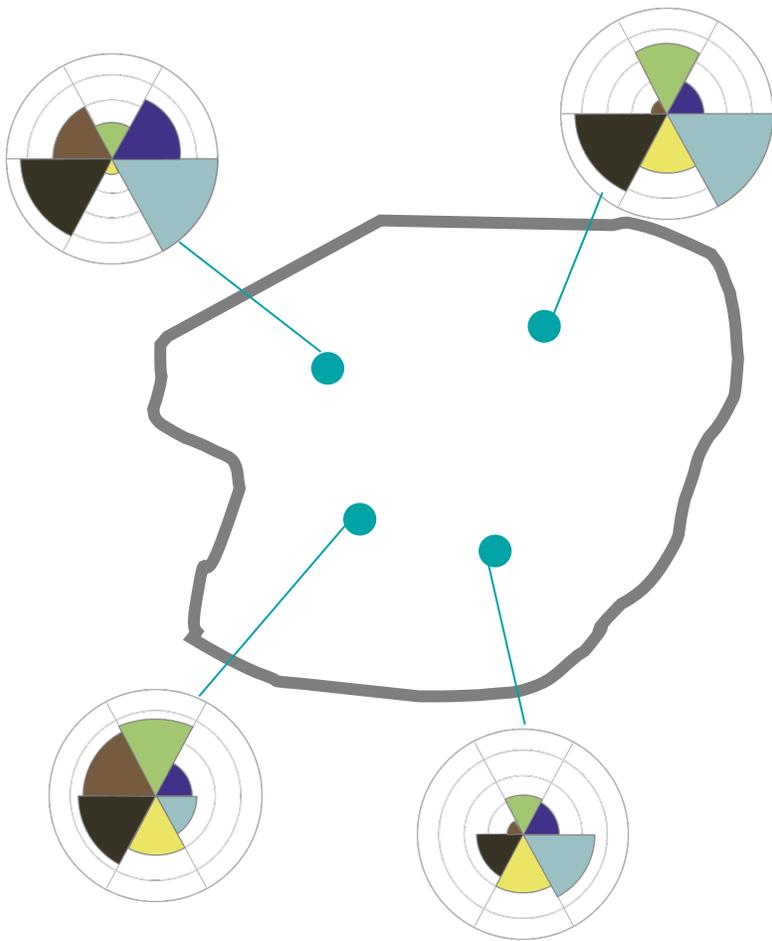


INRAE

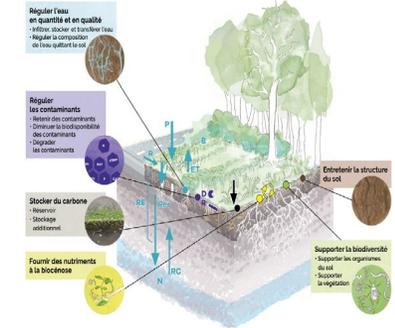
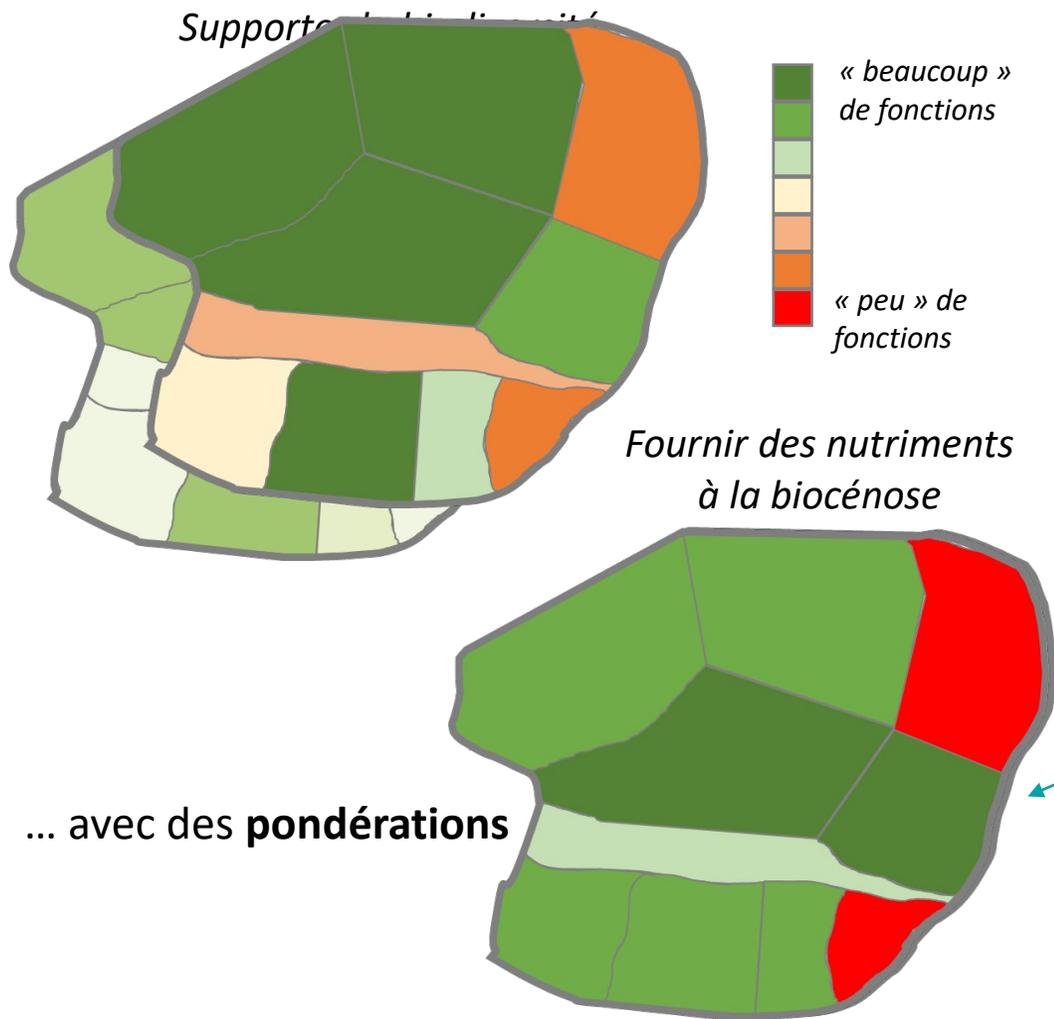
Groupe FORBS du Comifer – I. Cousin, M. Desrousseaux
15 mai 2025

➤ Evaluer la multifonctionnalité

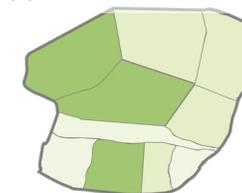
Réaliser des **profils fonctionnels**



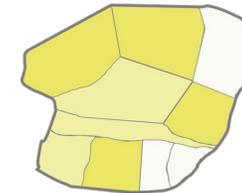
Cumuler des fonctions...



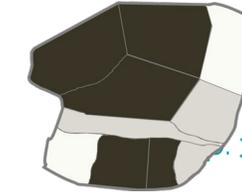
Supporter la biodiversité



Fournir des nutriments



Stocker du Carbone



INRAE

➤ Pour conclure...



➤ Messages à emporter

- ▶ Questionner le bien-fondé d'une **approche sectorielle** : le sol, pour le sol ?
- ▶ Améliorer le **droit à l'information** en matière **d'environnement**
- ▶ Evaluer la qualité/santé des sols : une approche par les **fonctions écologiques**, quel que soit l'usage des sols
- ▶ Développer un **système d'indication** pour évaluer la qualité des sols :
 - ▶ **Finalité** <-> collectivisation des enjeux
 - ▶ **indicandum** -> indicateur(s), évaluation
- ▶ Proposer une **liste ad hoc d'indicateurs**; valeurs d'existence, valeurs seuils, valeurs cibles
- ▶ Des indicateurs de fonctions des sols pour qualifier la **renaturation** ou la **restauration** des sols

➤ Pour en savoir plus sur cette étude



Rapport 780 pages
Contexte et cadrage
Sources bibliographiques
Synthèses thématiques Définir la qualité des sols Mesurer la qualité des sols Prendre en compte la qualité des sols
Conclusions générales

<https://hal.inrae.fr/hal-04934694>

<https://indicateurs-qualite-sols.colloque.inrae.fr/>

Synthèse 120 pages

Résumé 12 pages

<https://hal.inrae.fr/hal-04798285>

<https://hal.inrae.fr/hal-04828558>



Merci pour votre attention !