



Résilience et services des sols :

contexte, pratiques et perspectives

Santé des sols : de quoi parle-t-on ?



30 novembre 2023

Xavier LEGRAIN



Résilience et services des sols :

contexte, pratiques et perspectives



COMMISSION
EUROPÉENNE

COM(2023)416

Proposition de

DIRECTIVE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL

relative à la surveillance et à la résilience des sols (directive sur la surveillance des sols)

Soil Monitoring Law : le phénix qui renaît de ses cendres

COM(2002)179 – Vers une **stratégie** thématique pour la **protection** des sols

COM(2006)231 – **Stratégie** thématique en faveur de la **protection** des sols

COM(2006)232 – Proposition de **Directive** définissant un cadre pour la **protection** des sols

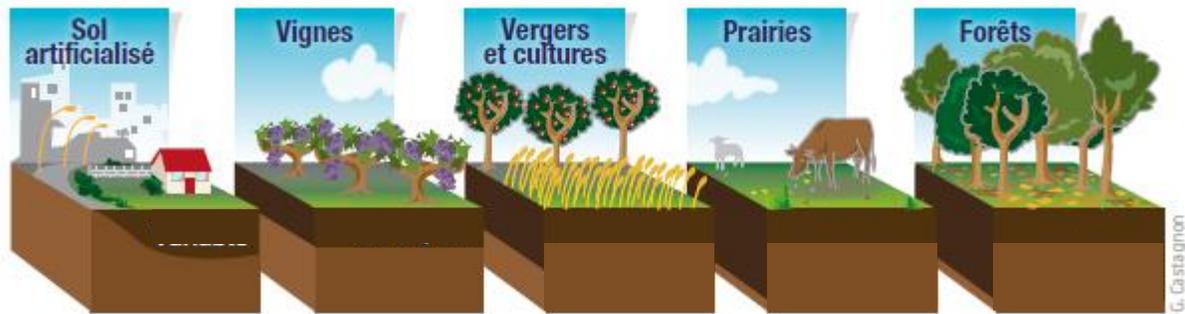
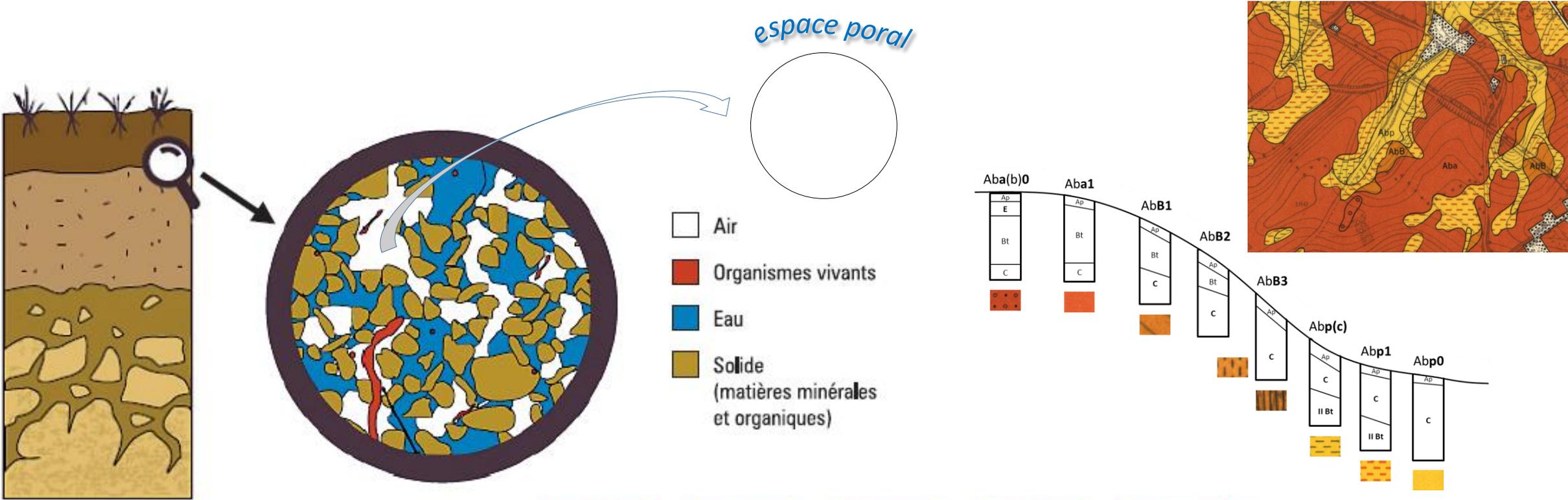
COM(2021)699 – **Stratégie** pour la **protection** des sols à l’horizon 2030

COM(2023)416 – Proposition de **Directive** relative à la **surveillance** et la **résilience** des sols

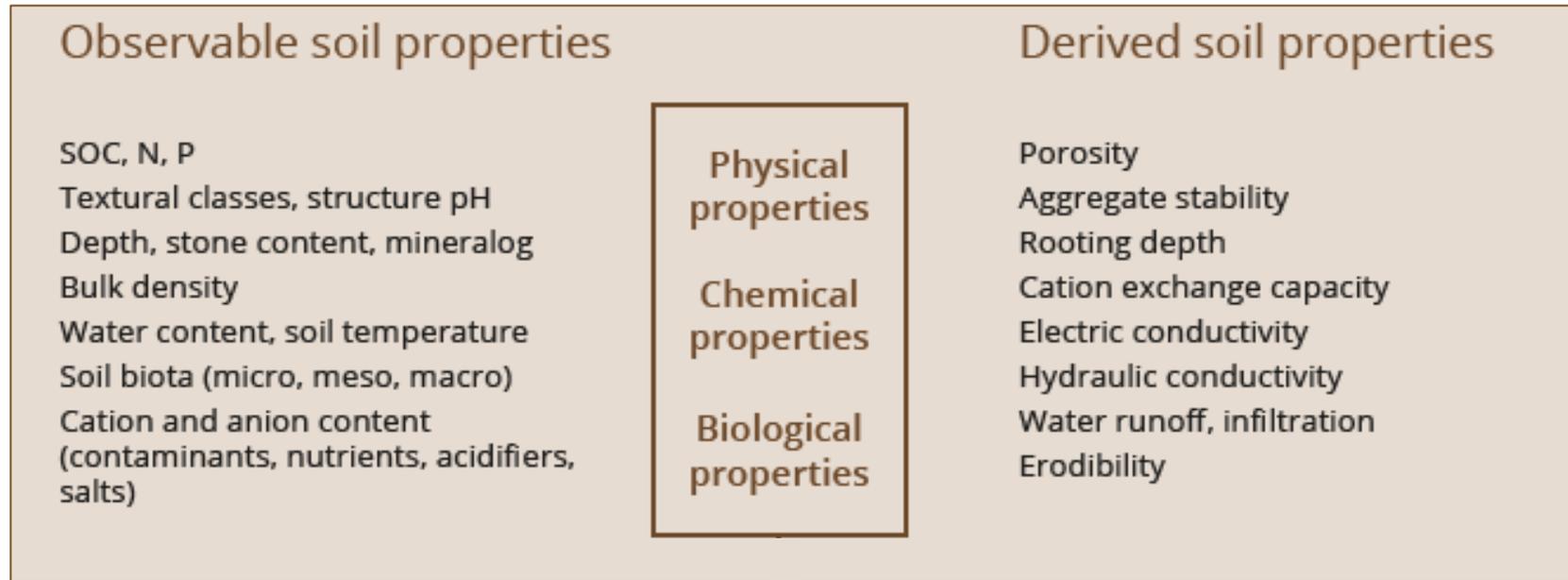
Sur 20 ans, une évolution des concepts et de leur utilisation

	2002	2006	2021	2023
Fertilité	11	-	4	3
Qualité	4	-	8	21
Santé	1	-	60	184
Fonctions	39	21	2	2
Services (écosys)	-	-	13	28
Menaces	40	8	-	4
Dégradation	53	39	42	44
Résilience	-	-	7	21
Protection	116	47	27	42
Surveillance	46	-	18	80
Indicateurs	7	-	5	21

Le sol : un milieu triphasique complexe et dynamique, en interaction avec le milieu



Des propriétés en lien avec les composants du sol

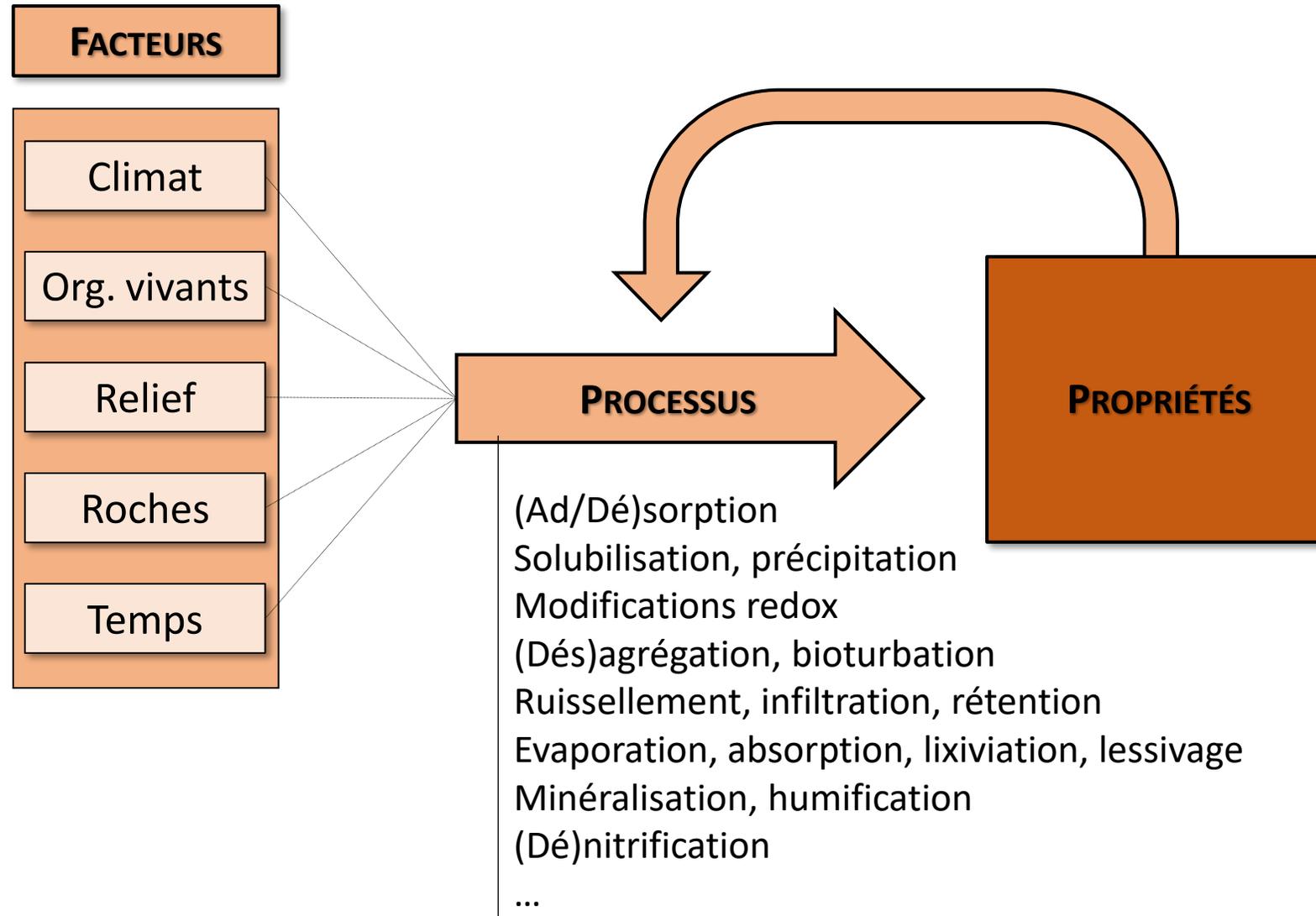


EEA, 2023

Intrinsèques et stables

Dynamiques, modifiées par les pratiques

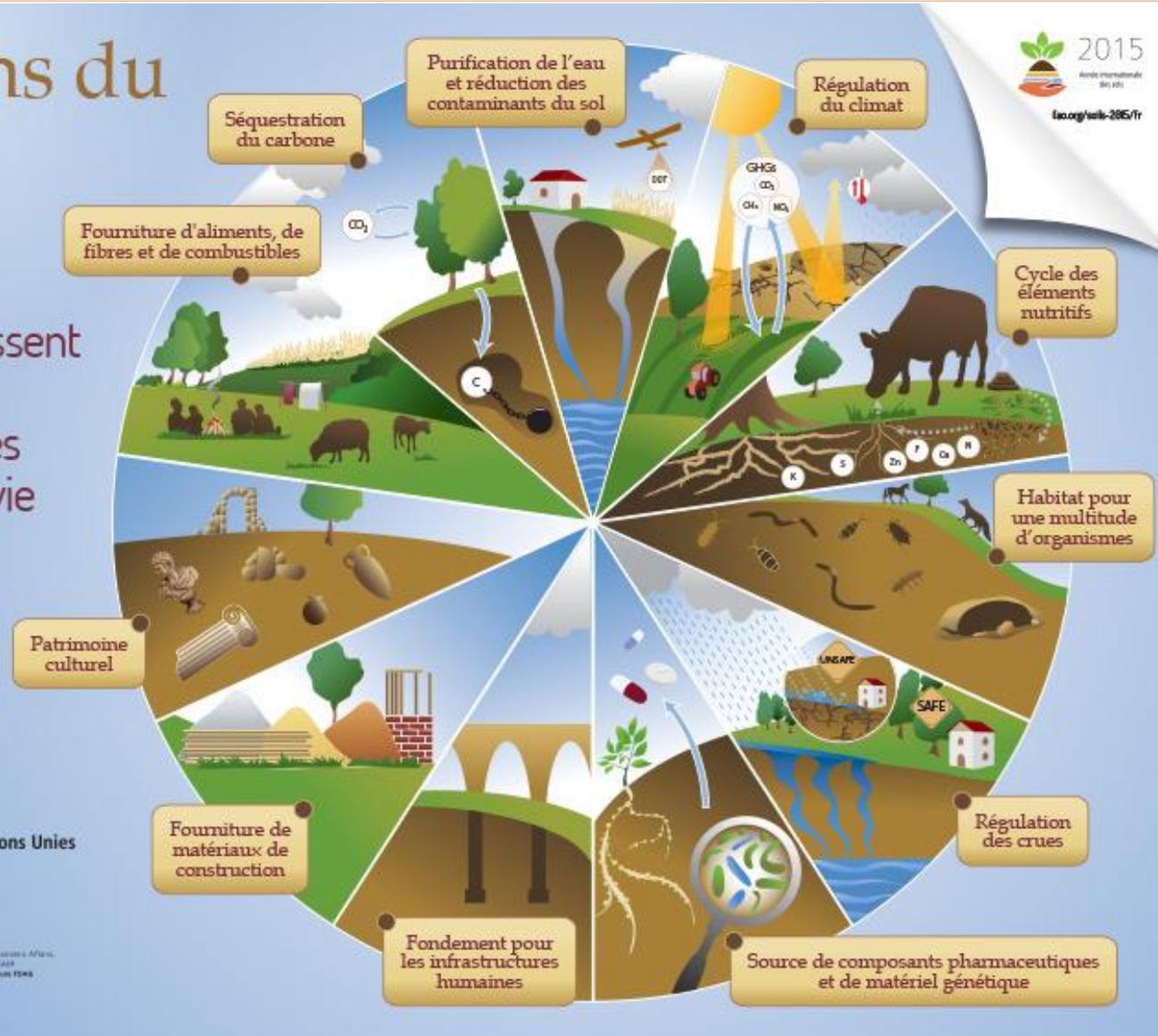
Des processus dont la nature et l'ampleur sont influencés par les propriétés



Des fonctions qui fournissent des services écosystémiques

fonctions du Sol

Les sols fournissent des services écosystémiques essentiels à la vie sur terre

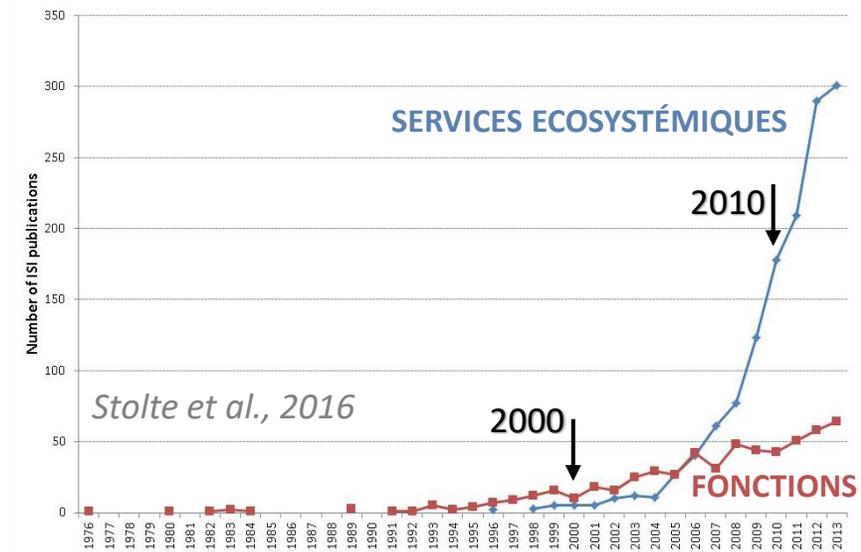


Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

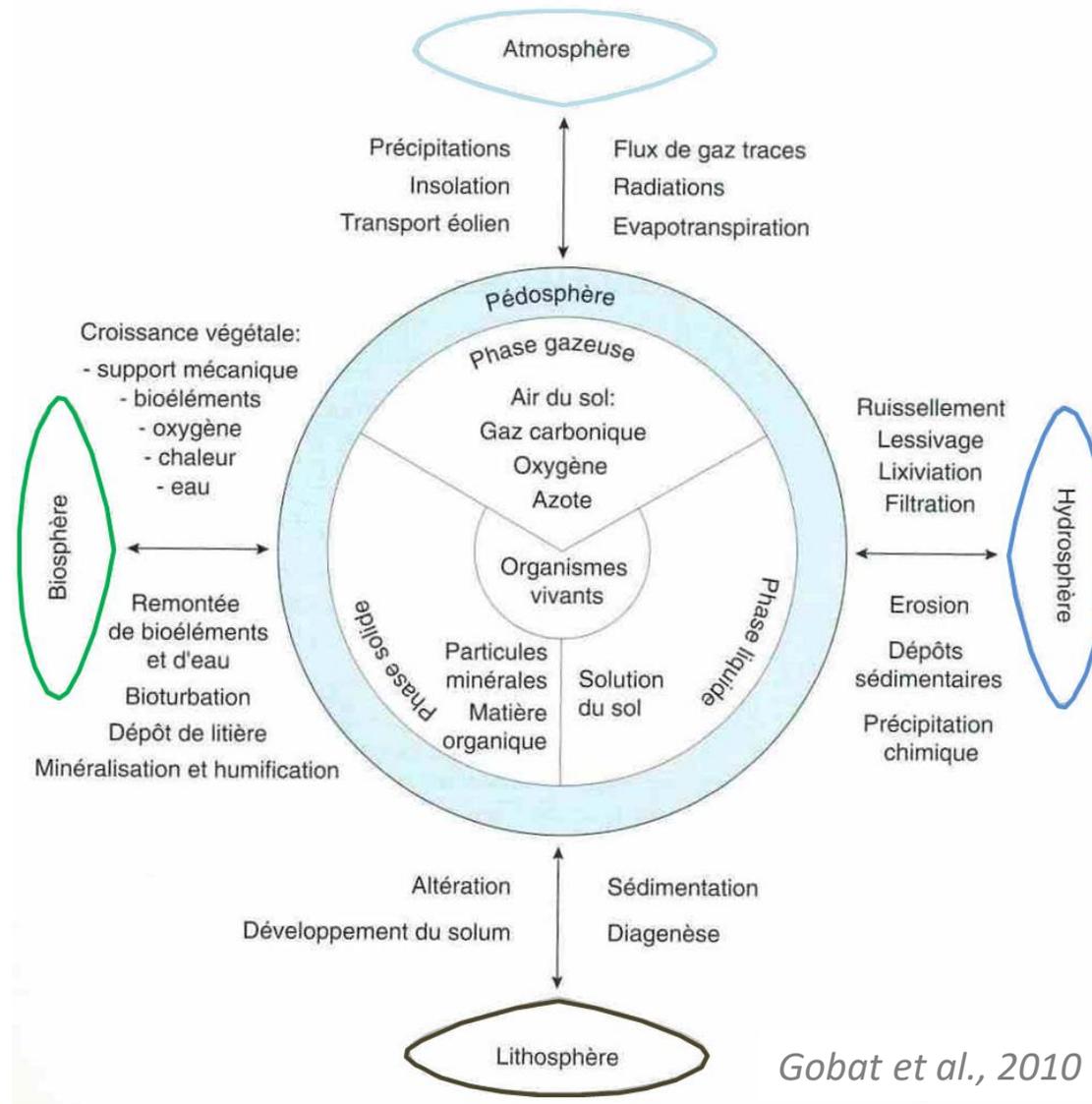
avec le soutien de
 Schweizer Eidgenossenschaft
 Confédération suisse
 Confederaziun Svizra
 Confederaziun Svizra
 Confederaziun Svizra
 Confederaziun Svizra

Des fonctions / SE :

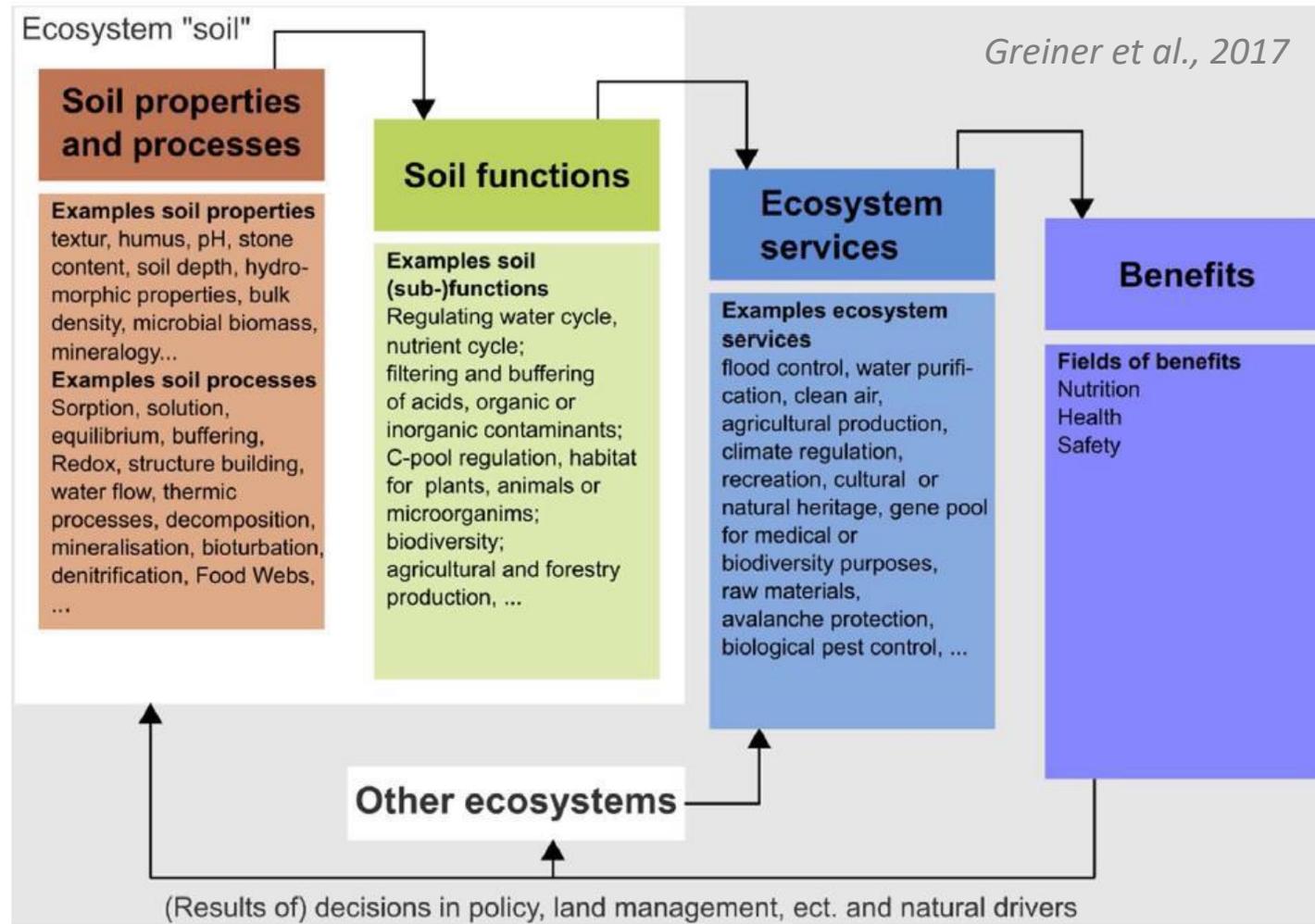
- ✓ écologiques
- ✓ technologiques
- ✓ socio-économiques
- ✓ culturelles



La pédosphère, interface au cœur des écosystèmes



Les besoins humains sont en partie conditionnés par le fonctionnement du sol



Les menaces sur les sols au cœur de la première stratégie européenne

- ✓ Baisse des teneurs en matières organiques
- ✓ Tassement
- ✓ Erosion (hydrique, éolienne...)
- ✓ Baisse de la biodiversité
- ✓ Artificialisation, dont imperméabilisation
- ✓ Pollutions
- ✓ Salinisation
- ✓ Glissements de terrain et inondations

+ acidification, appauvrissement en nutriments



COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

Bruxelles, le 22.9.2006
COM(2006)231 final

COMMUNICATION DE LA COMMISSION AU CONSEIL, AU PARLEMENT
EUROPÉEN, AU COMITÉ ÉCONOMIQUE ET SOCIAL EUROPÉEN ET AU
COMITÉ DES RÉGIONS

Stratégie thématique en faveur de la protection des sols

[SEC(2006)620]
[SEC(2006)1165]



Des menaces interdépendantes

Soil threat	Water erosion	Wind erosion	SOM decline peat soils	SOM decline mineral soils	Compaction	Sealing	Contamination	Salinization	Desertification	Flooding and landslides	Biodiversity decline
Water erosion			●	●			●		●	●	●
Wind erosion			●	●			●	●	●		●
SOM decline peat soils	●	●								●	●
SOM decline mineral soils	●	●			●				●		●
Compaction	●									●	●
Sealing	●				●		●			●	●
Contamination	●	●									●
Salinization	●	●	●	●			●		●		●
Desertification		●		●				●			●
Flooding and landslides	●			●	●		●	●			●
Biodiversity decline											

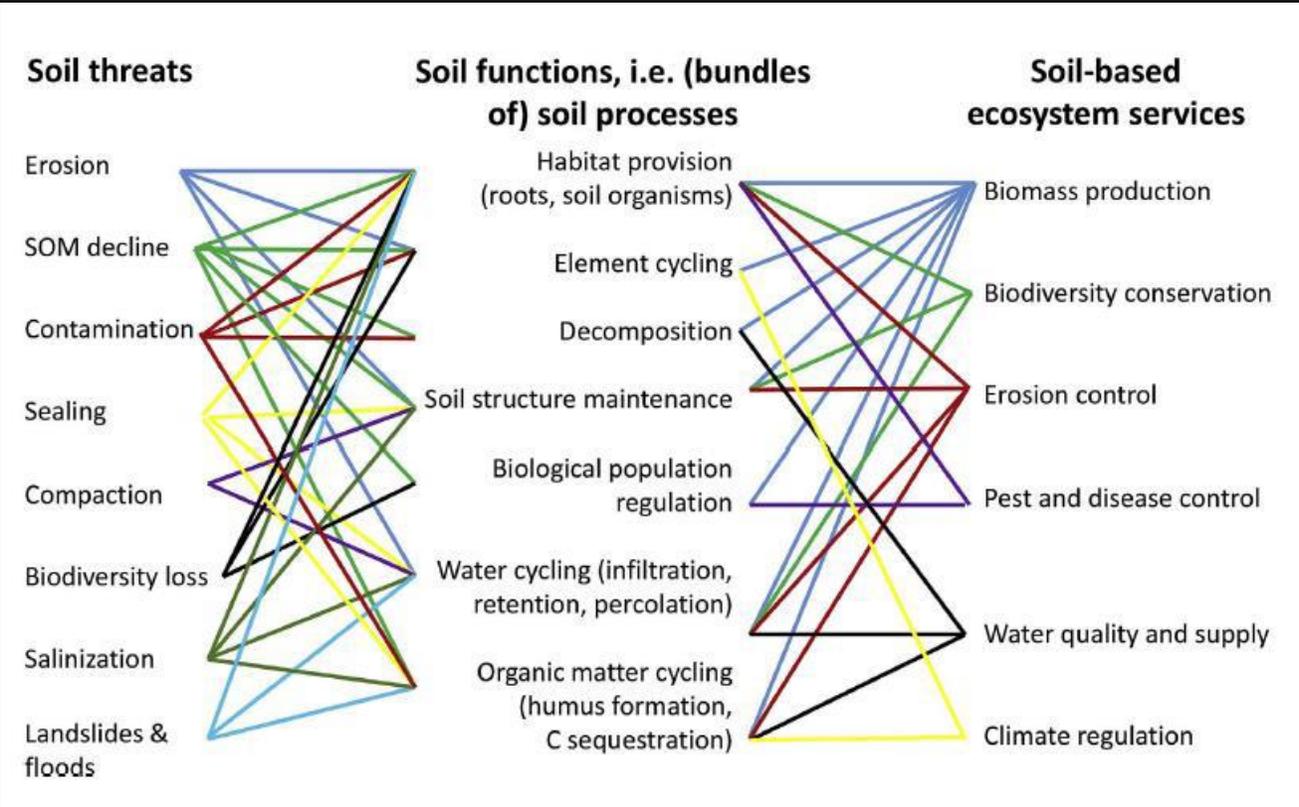
Stolte et al., 2016

Les menaces sur les sols impactent leur fonctionnement

	Biomass production	Storing/filtering/transf orming	Gene pool (biodiversity)	Physical basis	Raw materials	Cultural heritage
Water erosion	●		●	●	●	●
Wind erosion	●	●				
SOM decline peat	● / ●	●	●		●	●
SOM decline mineral	●	●	●			
Compaction	●	●	●			
Sealing	●	●	●	●	●	● / ●
Contamination	●	●	●			
Salinization	●	●	●	●		●
Desertification	●	●	●	●	●	●
Landslides and flooding	● / ●	●	●	●	●	●
Biodiversity decline	●	●	●	●	●	●

Stolte et al., 2016

Les menaces sur les sols impactent les services écosystémiques qui en dépendent



Bünemann et al., 2018

Les menaces sur les sols conduisent à leur dégradation

Dégradation du sol

Transformation (physique, chimique et/ou biologique) du sol qui implique la détérioration plus ou moins réversible d'une ou de plusieurs de ses fonctions.

Dégradation des terres

Processus qui réduit ou détruit la capacité des terres pour la production agricole, végétale et animale, et pour la production forestière.

Conception plus englobante (sol + autres éléments des paysages), mais focalisée sur la fonction de production.

Distingue l'érosion de la dégradation sensu stricto (sans déplacement).

Brabant, 2008

La vulnérabilité d'un sol dépend de sa sensibilité et de sa résilience

Sensibilité du sol (à la dégradation)

Degré de résistance à l'effet défavorable ou favorable d'une activité humaine sur ses fonctions essentielles.

Résilience d'un sol

Période de temps nécessaire pour qu'un sol retrouve ses fonctions principales originelles, quand cesse l'activité humaine qui a conduit à sa dégradation.

Vulnérabilité d'un sol

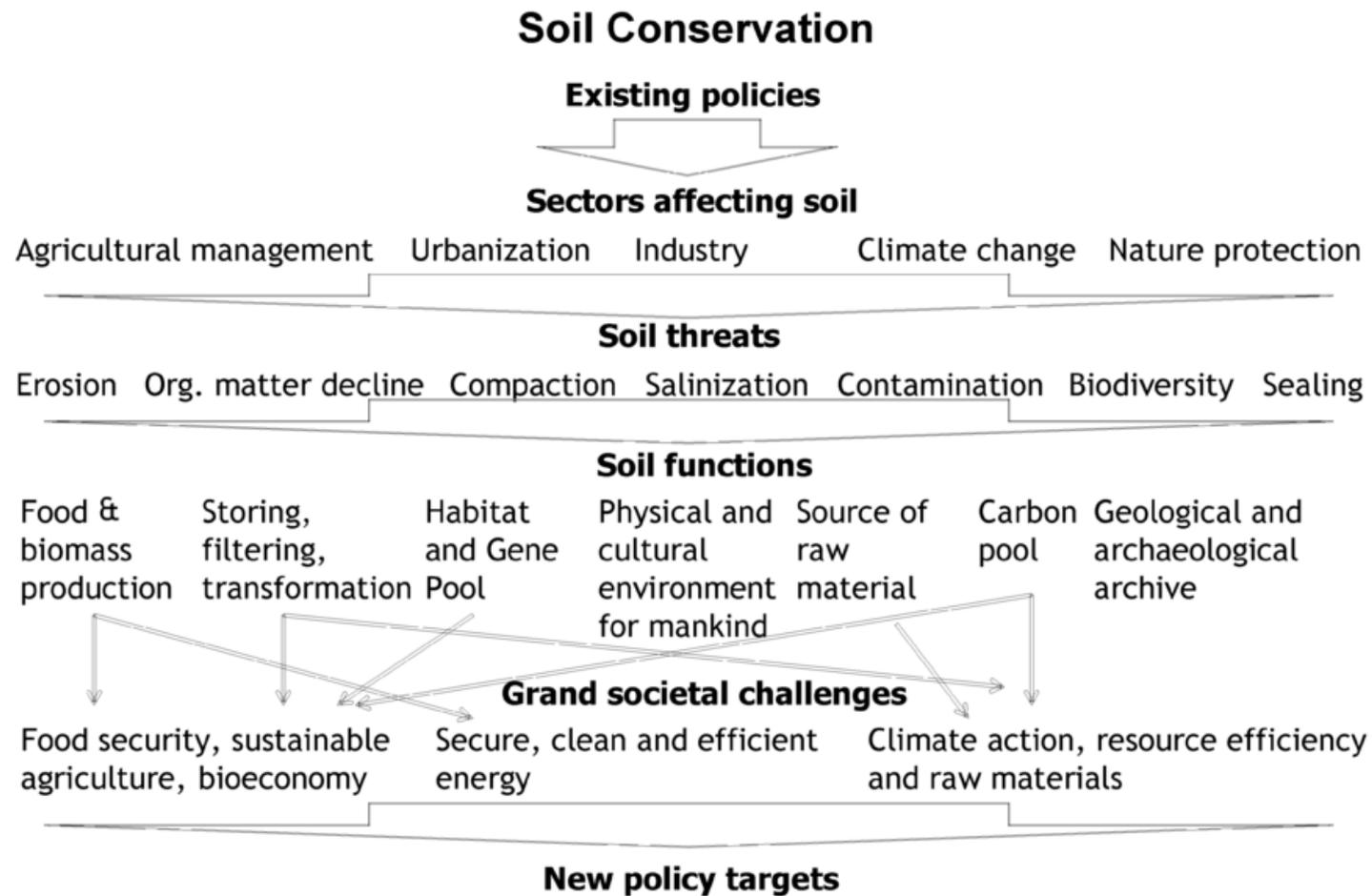
Combinaison des deux propriétés « sensibilité » et « résilience ».

Les sols les plus vulnérables sont les sols les plus sensibles et les plus difficiles à restaurer.

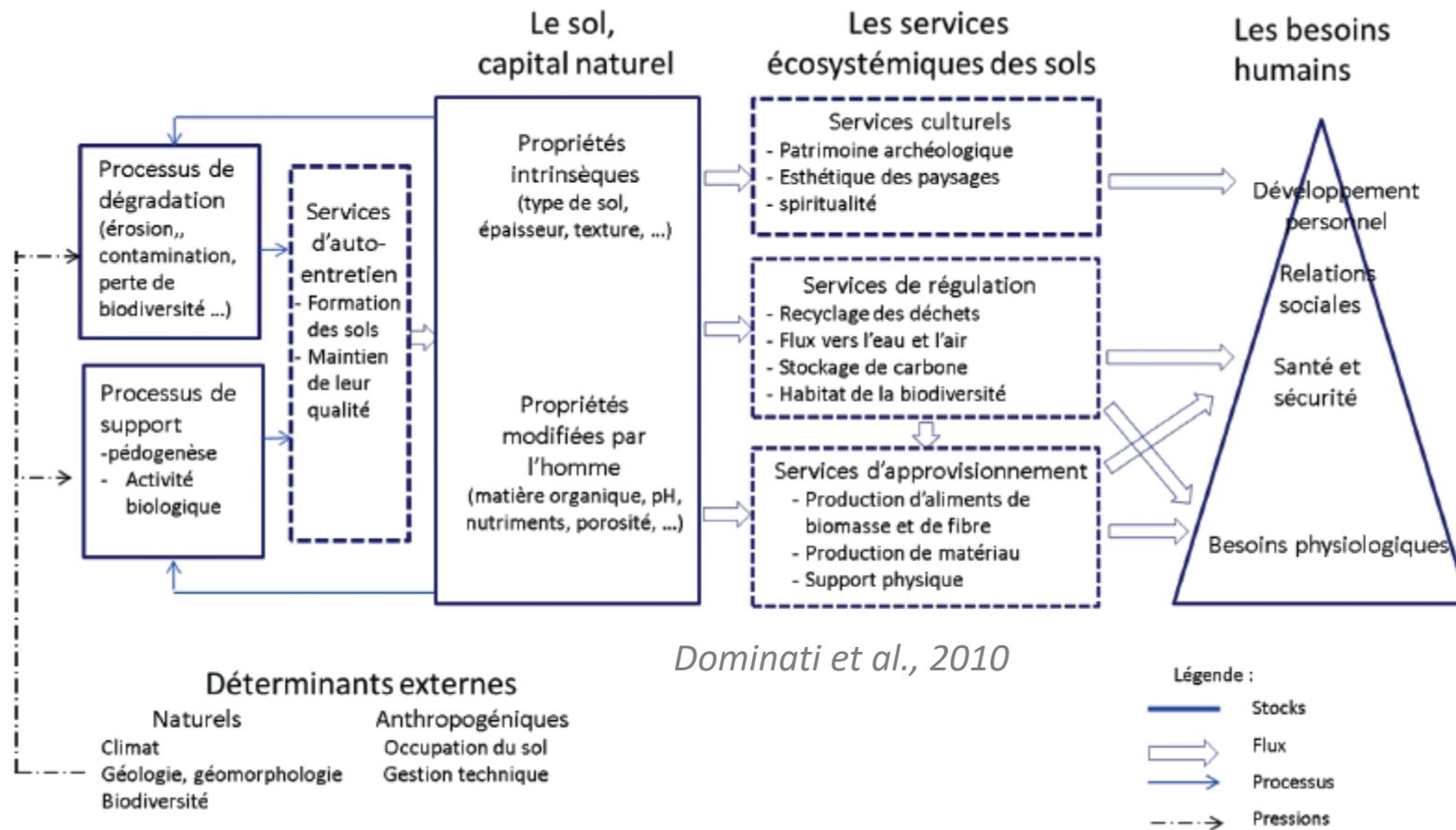
Brabant, 2008

L'approche DPSIR comme cadre conceptuel

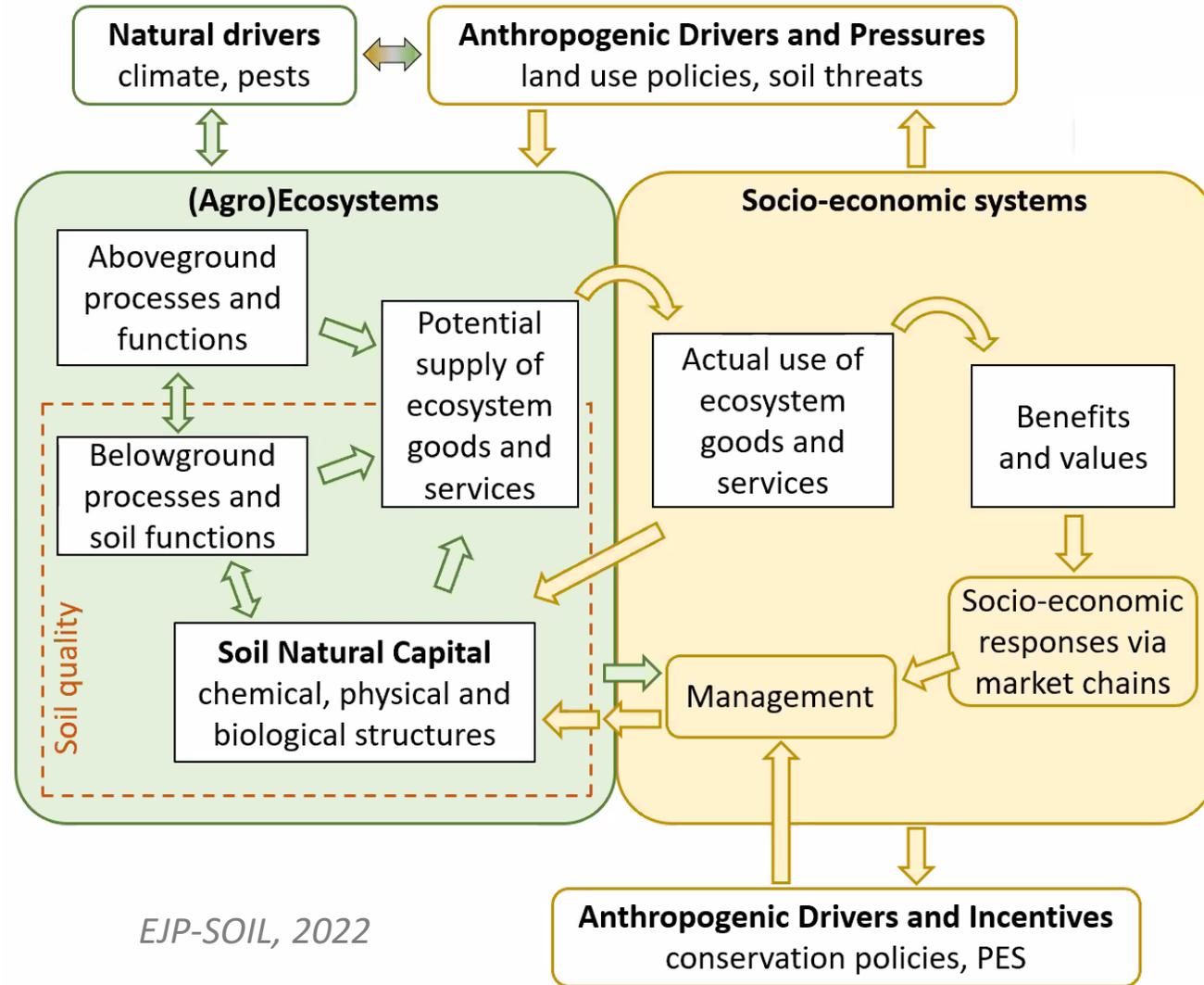
OCDE, 1993
AEE, 1998



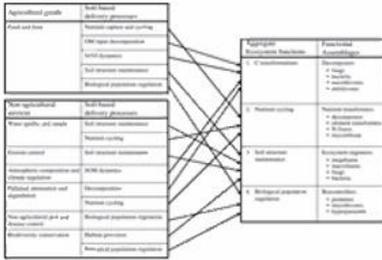
Le sol, capital naturel générant des SE en réponse à des besoins humains



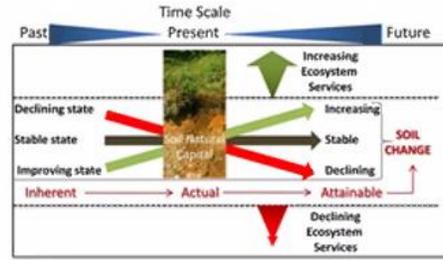
Le sol, une composante essentielle des agroécosystèmes gérés par l'homme



Des approches témoignant de relations complexes, non-linéaires et dynamiques



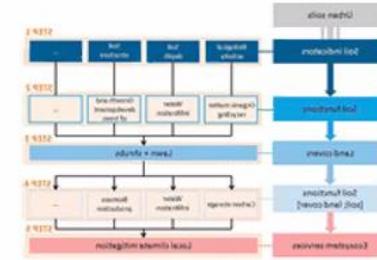
Kibblewhite et al. 2008



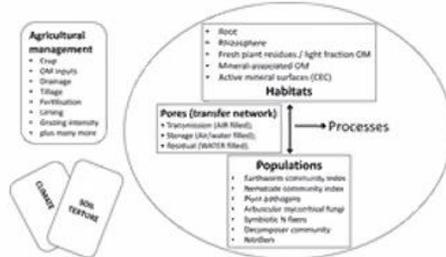
Robinson et al. 2012



Salomé et al. 2016



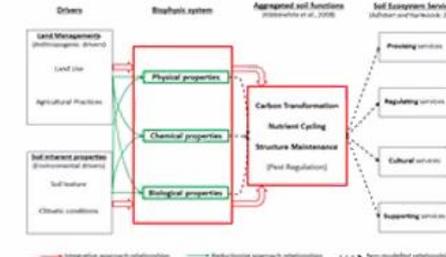
Blanchart et al. 2018



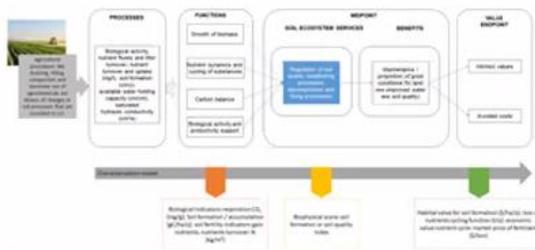
Stockdale et al 2018



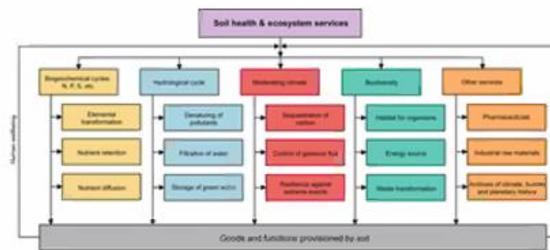
Wander et al. 2019



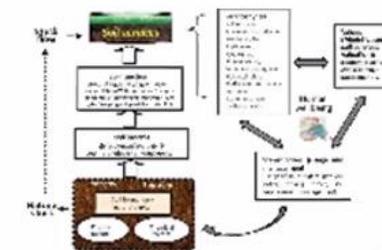
Thoumazeau et al. 2019



Pavan and Ometto 2018



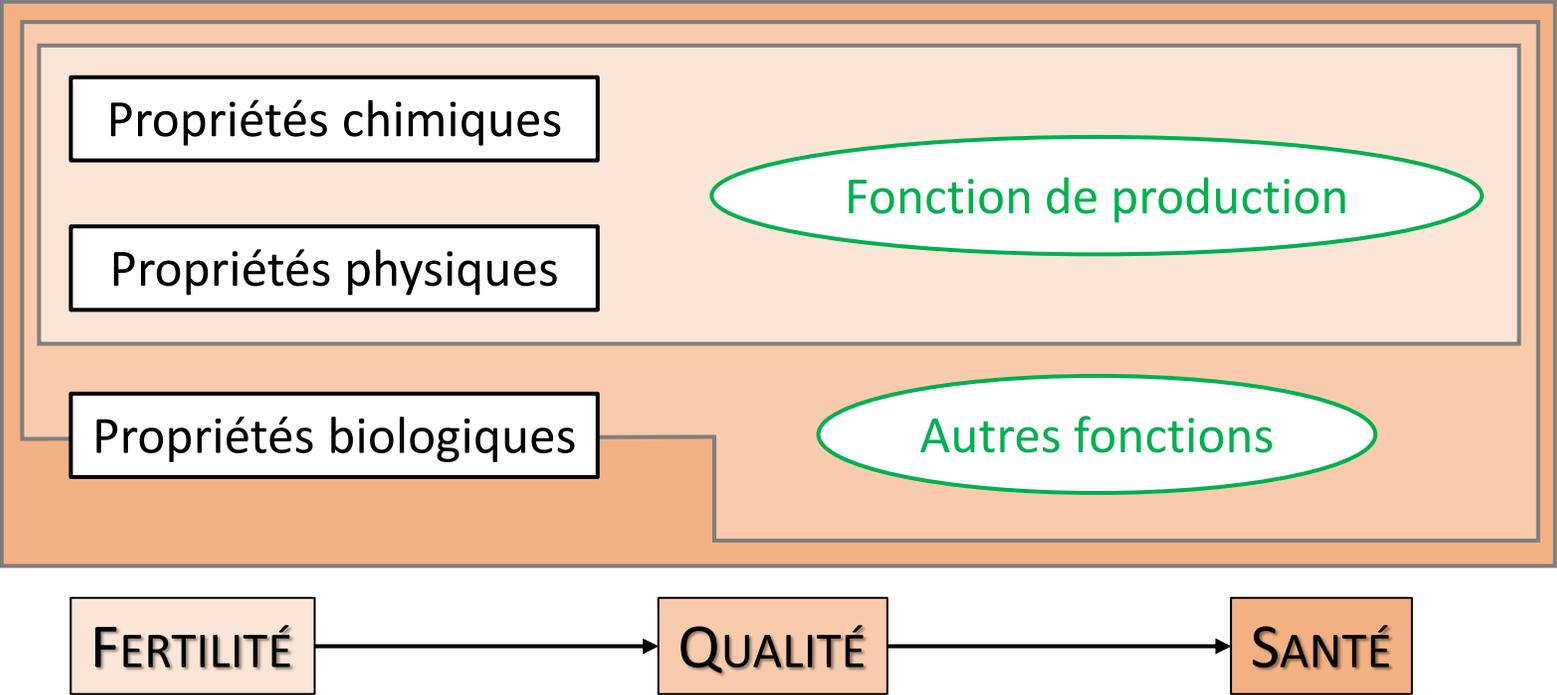
Lal 2016



Su et al. 2018

EJP-SOIL, 2022

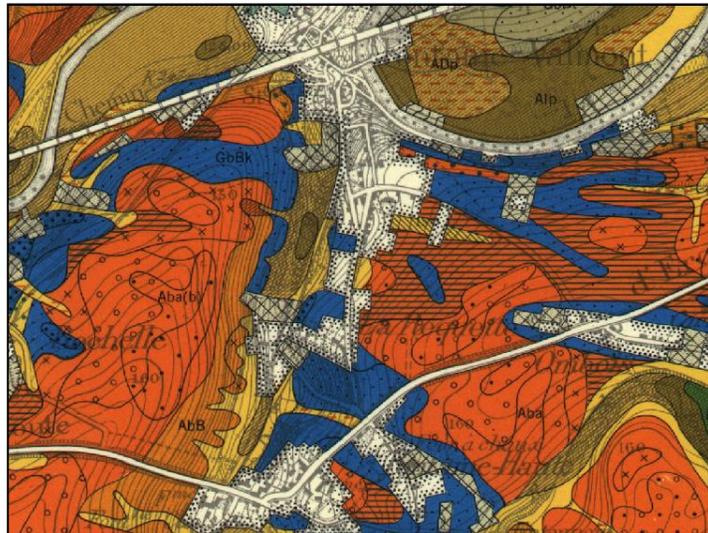
De la fertilité à la santé du sol : des concepts de plus en plus englobants



La fertilité d'un sol, un concept très ancien à connotation agricole

Niveau effectif de production OU aptitude à produire (sous conditions, rarement explicitées) ?

Ambiguïté de la notion de fertilité : rôle de l'homme dans l'expression effective de la fertilité ?



CARTE DES SOLS DE LA BELGIQUE : CLASSES D'APTITUDE

Séries	Phases	Froment Orge	Seigle Avoine Epautre	Betteraves	Luzerne	Prairies
GbBK	GbBK2	1—2	1—2	1	1	1
	GbBK4	3	2—3	4	1—2	2—3
Gbax	Gbax2	2	2	3	2—3	2
	Gbax4	4	3	4	3	3
Gdax	Gdax2	4	4	4	4	2

La qualité d'un sol, garante de sa multifonctionnalité

Qualité d'un sol

Capacité à fonctionner, dans le cadre des limites de son (agro)écosystème, en maintenant durablement la productivité biologique et la qualité de l'environnement (eau, air...), et en favorisant la santé des organismes vivants (végétaux et animaux). *Doran, 2002 ; SSSA*

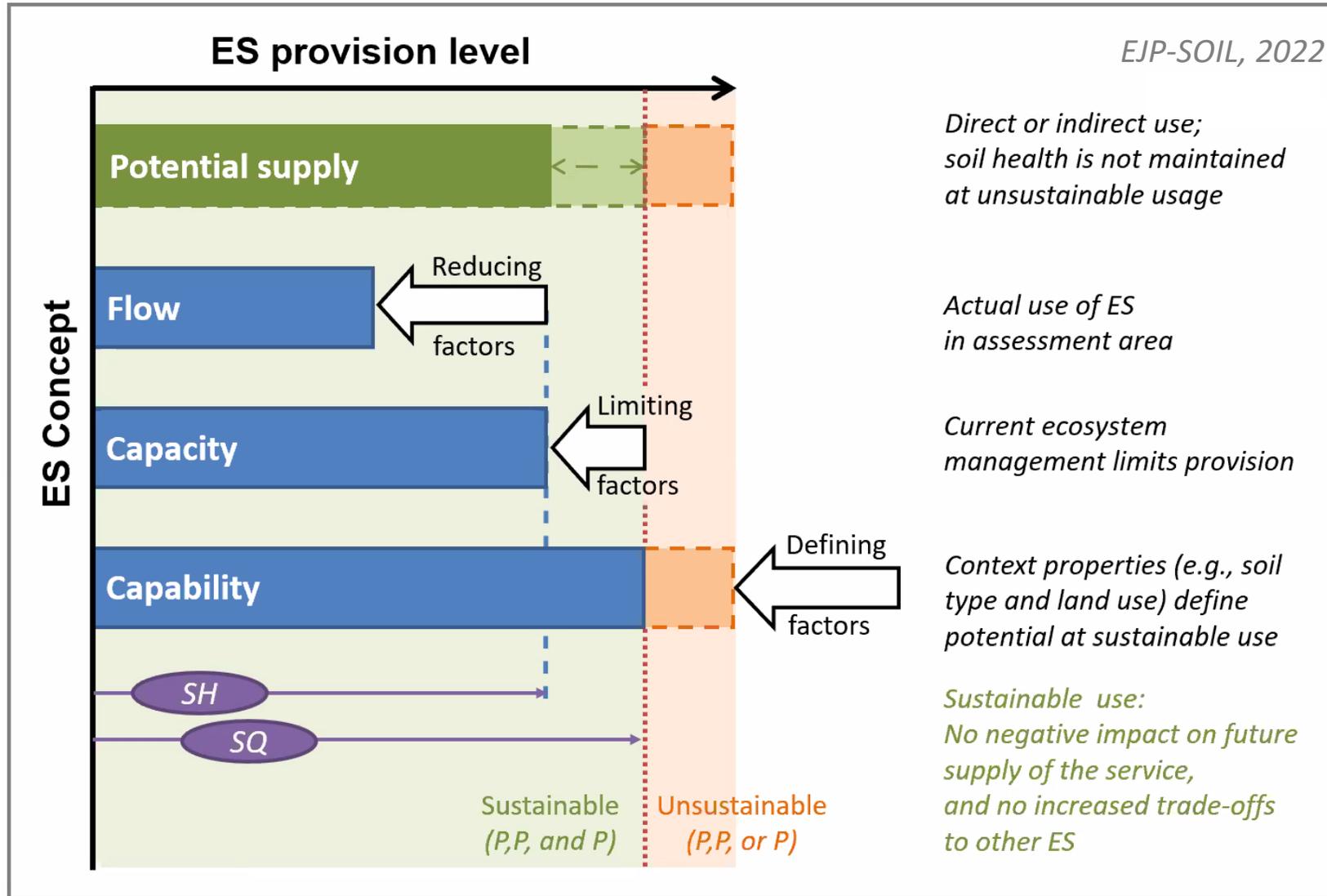
→ Capacité du sol à fournir des SE, à travers son aptitude à accomplir l'ensemble des fonctions écologiques.

Santé du sol, ou santé des organismes vivant dans le sol ?

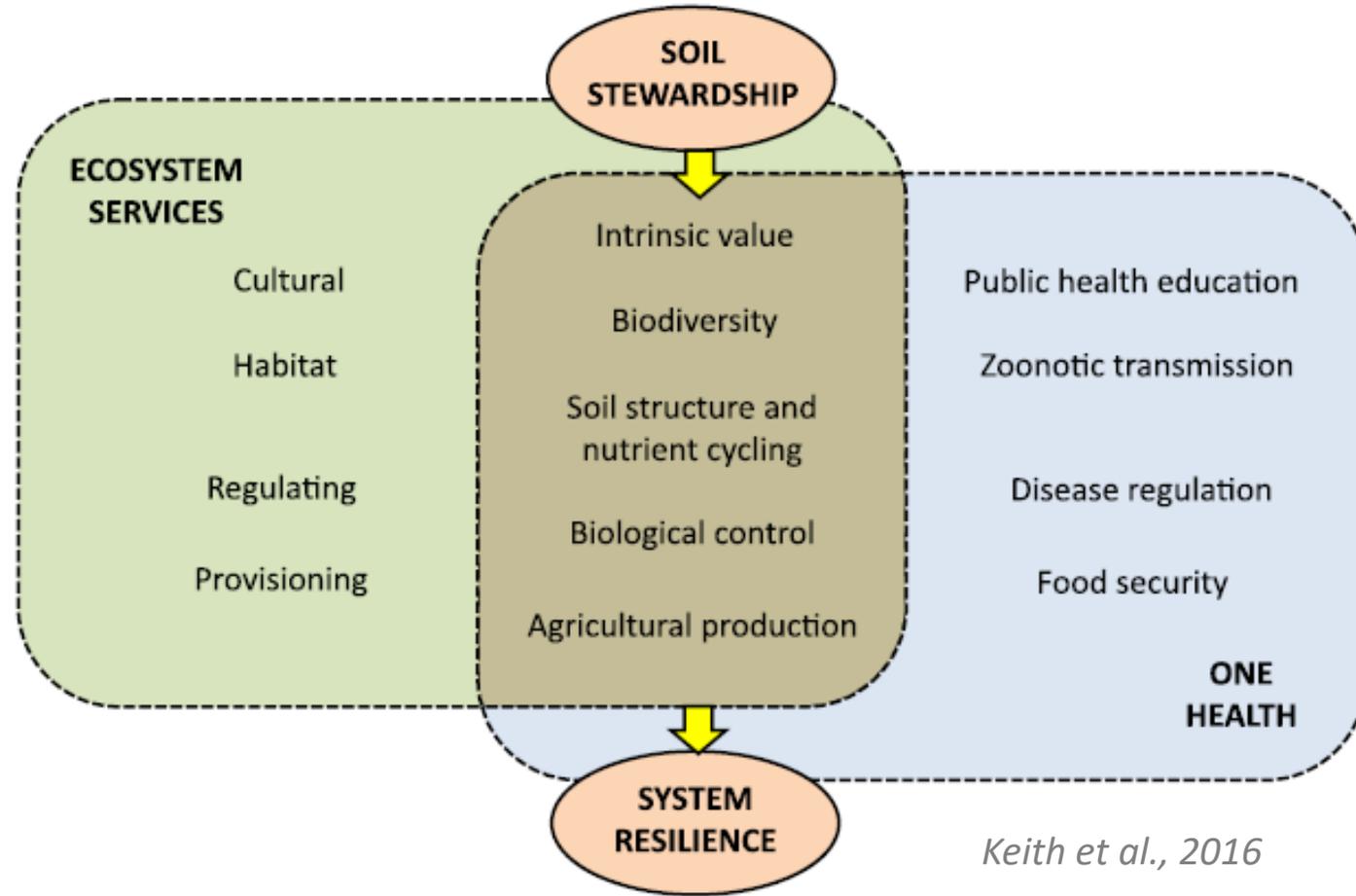
Santé du sol

Capacité du sol à fonctionner comme un système vivant. Les sols en bonne santé maintiennent en leur sein une diversité d'organismes qui contribuent à combattre les maladies des plantes, les insectes et les adventices, s'associent de façon bénéfique et symbiotique aux racines, recyclent les nutriments végétaux essentiels, améliorent la structure du sol et, partant, la rétention des eaux et des nutriments, le tout contribuant à améliorer la production végétale. *FAO, 2008*

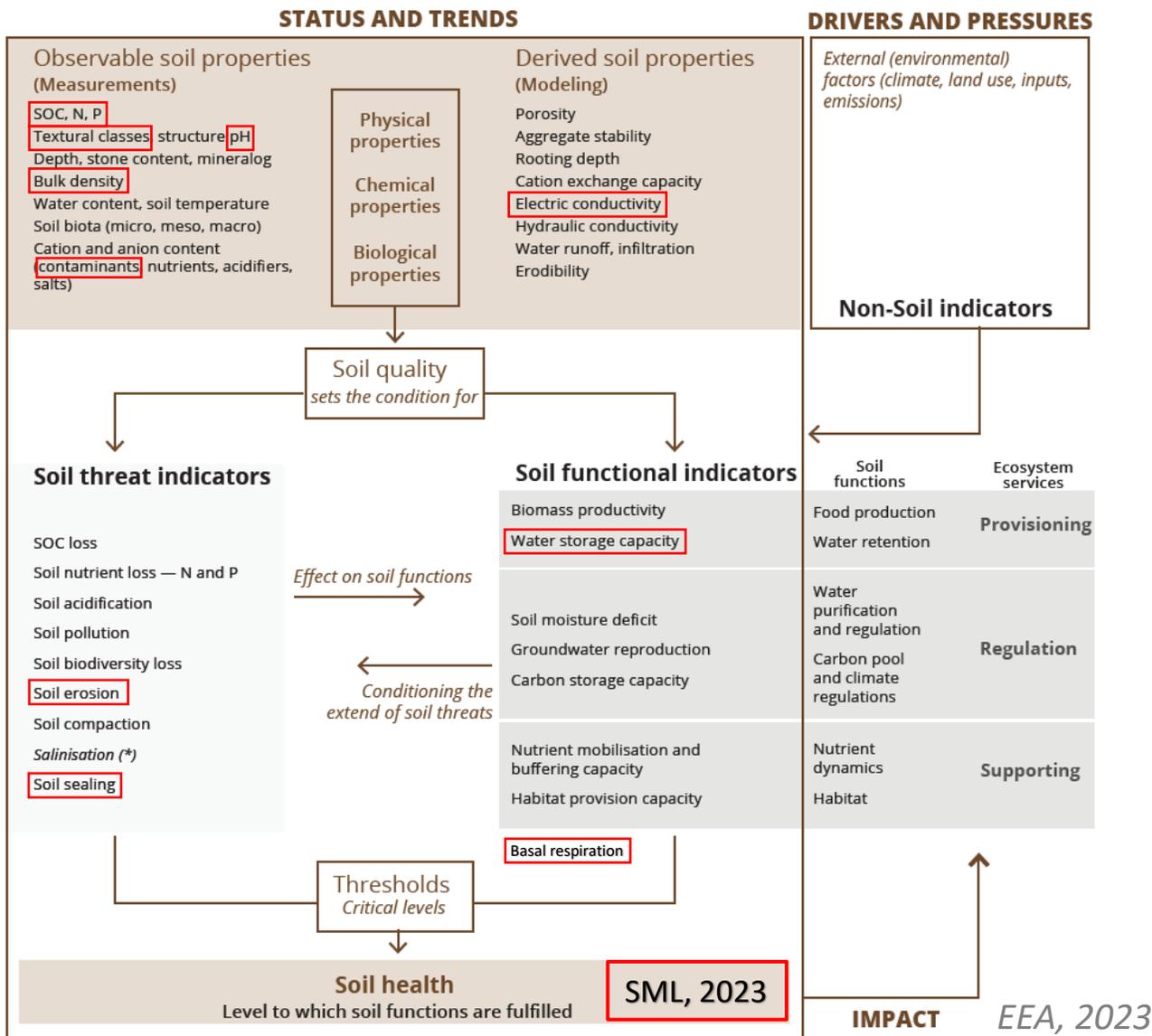
Qualité *versus* santé du sol : des concepts aux limites floues



La « santé du sol », en vogue et en phase avec le concept « One Health »



La surveillance des sols nécessite le développement d'indicateurs



Quelques enjeux :

- ✓ Indicateurs pertinents :
 - Lien avec fonctions, SE et menaces ?
 - Fiable, facile à mesurer, peu coûteux, sensible aux différences de pratiques, facile à interpréter
- ✓ Stratification par usage/fonction-SE
- ✓ Modalités d'agrégation
- ✓ Référentiel (seuils critiques)

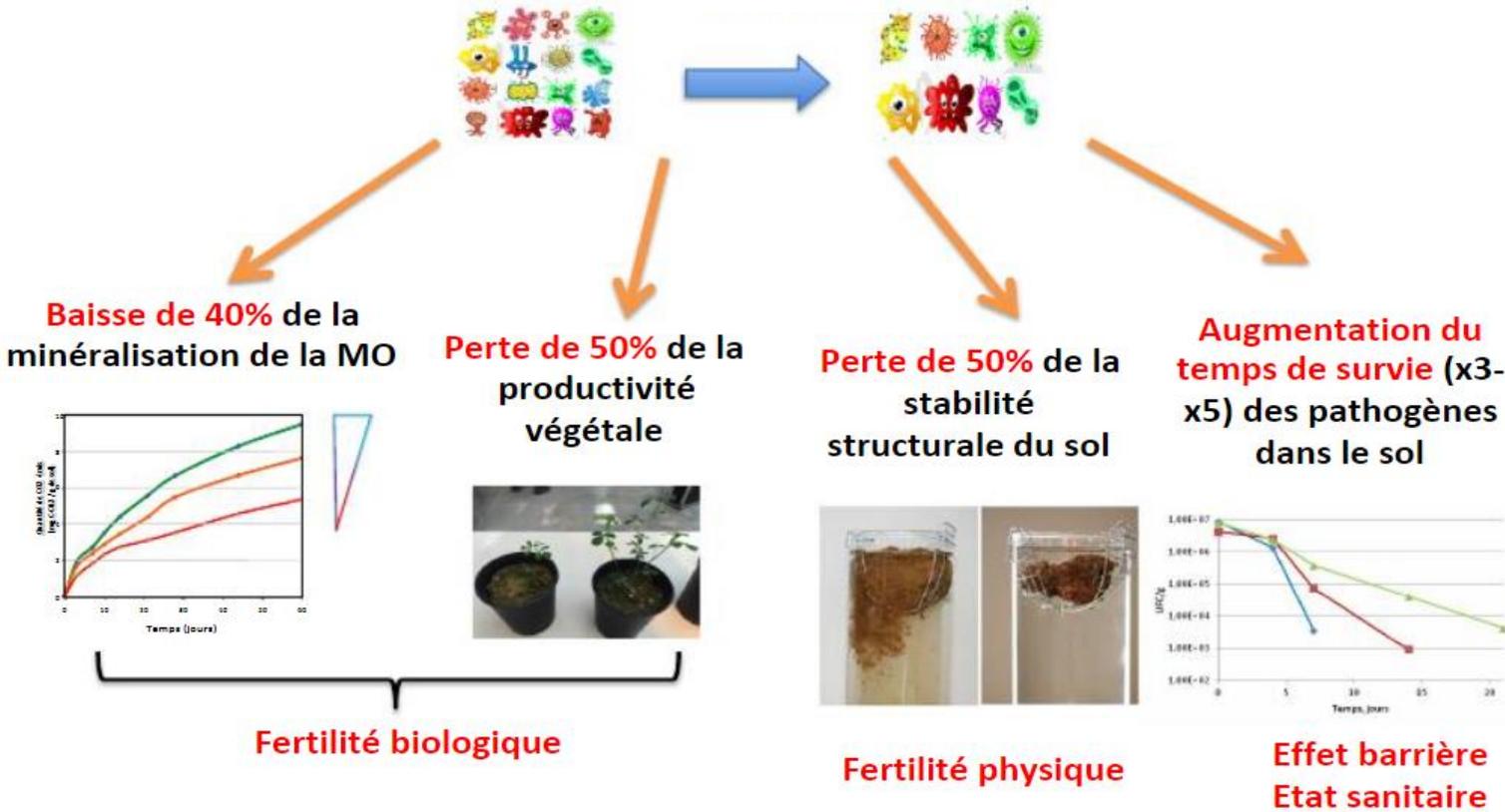
Indicateurs de la fertilité et de l'innocuité des sols agricoles en Wallonie

Statut acido-basique	Statut organique	Statut nutritif	Statut physique	Statut environnemental	Statut biologique
<p>pH KCl</p> <p>pH H₂O</p> <p>Besoin en chaux</p>	<p>C organique total</p> <p>N total</p> <p>Rapport C/N</p>	<p>Cations disponibles : Ca, Mg et K</p> <p>Phosphore disponible</p> <p>Oligoéléments : Mn, Cu, Zn, B...</p> <p>CEC</p>	<p>Granulométrie</p> <p>Indice de battance</p>	<p>Métaux lourds : Cd, Cu, Ni, Pb, Zn...</p>	

Intérêt d'intégrer des indicateurs biologiques

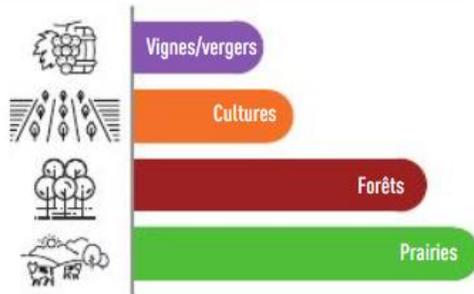
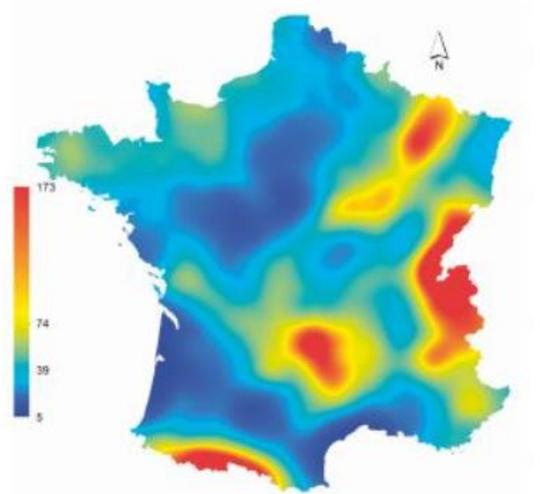
Baisse de 30% de la diversité microbienne d'un sol

(Réseau français RMQS, 2240 points)

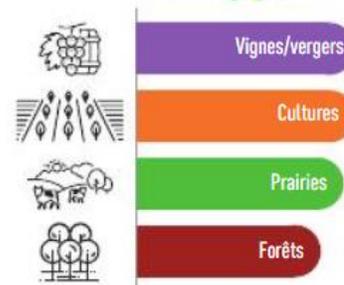
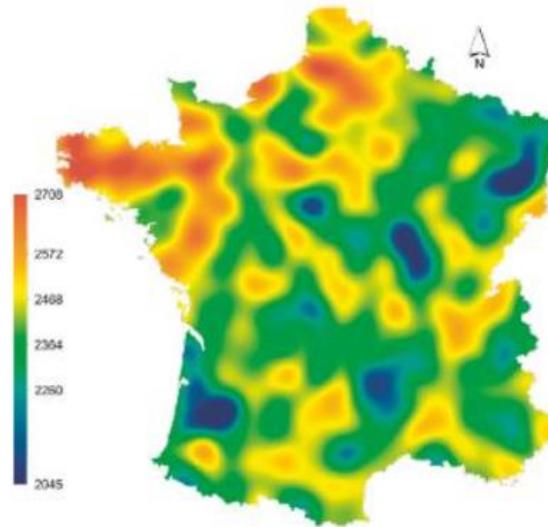


Des indicateurs complémentaires

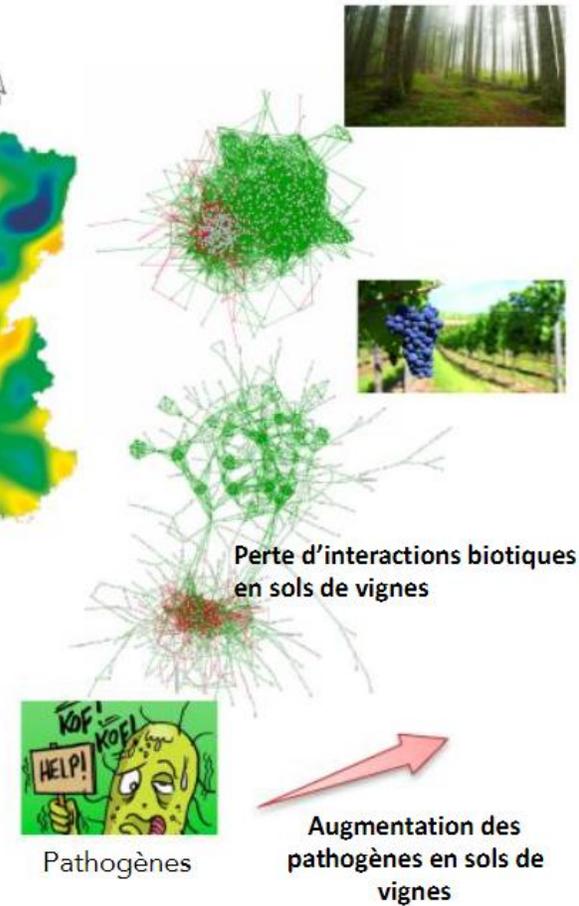
Biomasse moléculaire microbienne



Diversité Microbienne



Interactions biotiques



Carbiosol (2013-2019)

Guide sur les indicateurs biologiques et le carbone organique des sols agricoles en Wallonie

La qualité biologique et le carbone organique des sols agricoles en Wallonie

SPW

AGRICULTURE, RESSOURCES NATURELLES
ET ENVIRONNEMENT

Direction de la Protection des Sols
Université de Liège
Université Catholique de Louvain

Quentin Vincent¹, Caroline Chartin², Inken Krüger²,
Bas van Wesemael², Monique Carnol¹

¹Laboratoire d'écologie végétale et microbienne, InBioS,
Université de Liège, Bât. B22, Chemin de la vallée 4, 4000 Liège

²Georges Lemaître Centre for Earth and Climate Research, Earth
and Life Institute, Université Catholique de Louvain, 1348
Louvain-la-Neuve



Gammes de valeurs en Wallonie

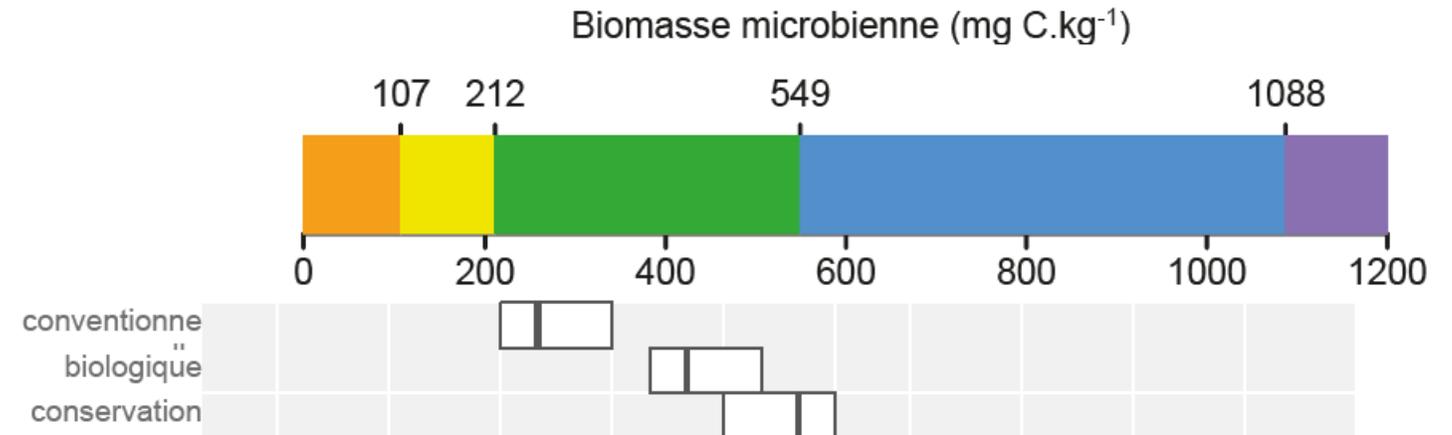


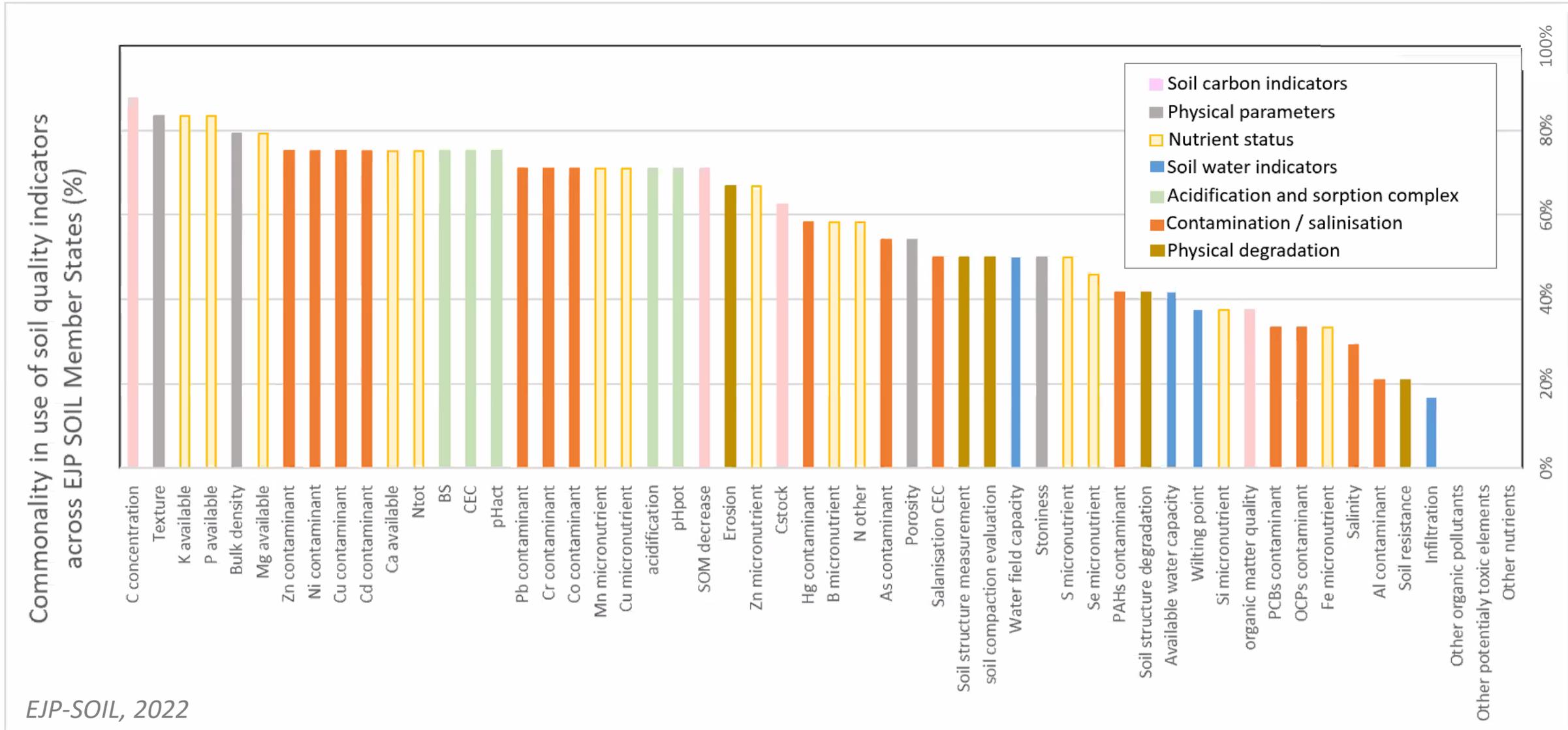
Figure 11 : Gammes de valeurs calculées de la biomasse microbienne (mg C.kg⁻¹) dans les sols en culture en Wallonie. Les barres en couleur montrent les limites des gammes de valeurs 'très faibles' (gauche, orange), 'faibles' (gauche, jaune), 'moyennes' (centre, vert), 'élevées' (droite, bleu) et 'très élevées' (droite, violet). Les boîtes de Tukey (en dessous de la gamme) représentent le 1^{er} quartile, la médiane et le 3^{ème} quartile des valeurs de l'indicateur mesurées en 2016 selon les pratiques agricoles - conventionnelle, biologique et conservation.

Les propriétés les plus fréquemment utilisées afin d'évaluer les fonctions et SE

Physique	Chimique	Biologique
Compacité	pH	Biomasse moléculaire microbienne
Texture	Teneur en ETM totaux	Abondance/diversité/structure vers de terre
Structure	Teneur en éléments assimilable	Abondance/diversité/structure nématodes
Epaisseur de sol	Ratio C/N	Diversité microbienne
Infiltration de l'eau	Teneur en CTO totaux	SET escargots
Réserve utile en eau	Teneur en oligo-éléments	Indice oméga-3
Stabilité des agrégats	Capacité d'échange cationique	Densité racinaire
Hydromorphie	Teneur en matière organique	Activités enzymatiques
Porosité	Stockage de C organique	Biomasse microbienne
Etat d'humidité	Teneurs en C organique et en N total	Respiration basale

Calvaruso et al., 2021

Des indicateurs de la qualité des sols communément utilisés dans l'UE



Un référentiel à définir

	Erosion by Water (t/h/yr)	Landslides Susceptibility^a	Wind Erosion Susceptibility^b	Organic Carbon (%) in mineral soils	C emissions from peat soil (ton C per country)	Susceptibility to Compaction^c
Low	1 - 2	Very low-Low	Very low-Low	>3	1 - 500000	Low
Moderate	3 - 10	Moderate	Moderate	>1 - <=3	500001 - 5000000	Medium
High	>10	High-Very high	High	>0 - <=1	>5000000	High-Very high
Comments	Excluding Norway, Sweden, Turkey, Iceland, Switzerland, Montenegro, Macedonia and Croatia	Excluding Turkey, Iceland, Switzerland, Croatia, Makedonia and Montenegro	Excluding Turkey and Iceland	Excluding Turkey and Iceland	All countries included	All countries included
	Salinization (% of area)^d	Degree of Soil sealing (%)	Sensitivity to Desertification^e	Flood damage potential (Purchasing Power Parities, PPPs)	Identified number of contaminated sites	Biodiversity functions (risk)
Low	Potentially salt affected area	>0 - 29	Very low-Low	>0 - <1 000 000	1-1000	0.200 - 0.249
Moderate	Sodic <50 % and Saline <50%	30 - 79	Low to moderate	1 000 000 - 10 000 000	1001-10000	0.250 - 0.3
High	Sodic >50 % and Saline >50%	80 - 100	High to very high	>10 000 000	> 10000	> 0.3
Comments	Excluding Turkey	All countries included	Only Spain, Portugal, south of France, Italy and Greece	Excluding Norway, Turkey, Iceland, Switzerland and Montenegro	Excluding Turkey, Bulgaria and Portugal	Excluding Norway, Iceland, Turkey, Balkan

Stolte et al., 2016

La surveillance des sols nécessite la mise en place d'un monitoring

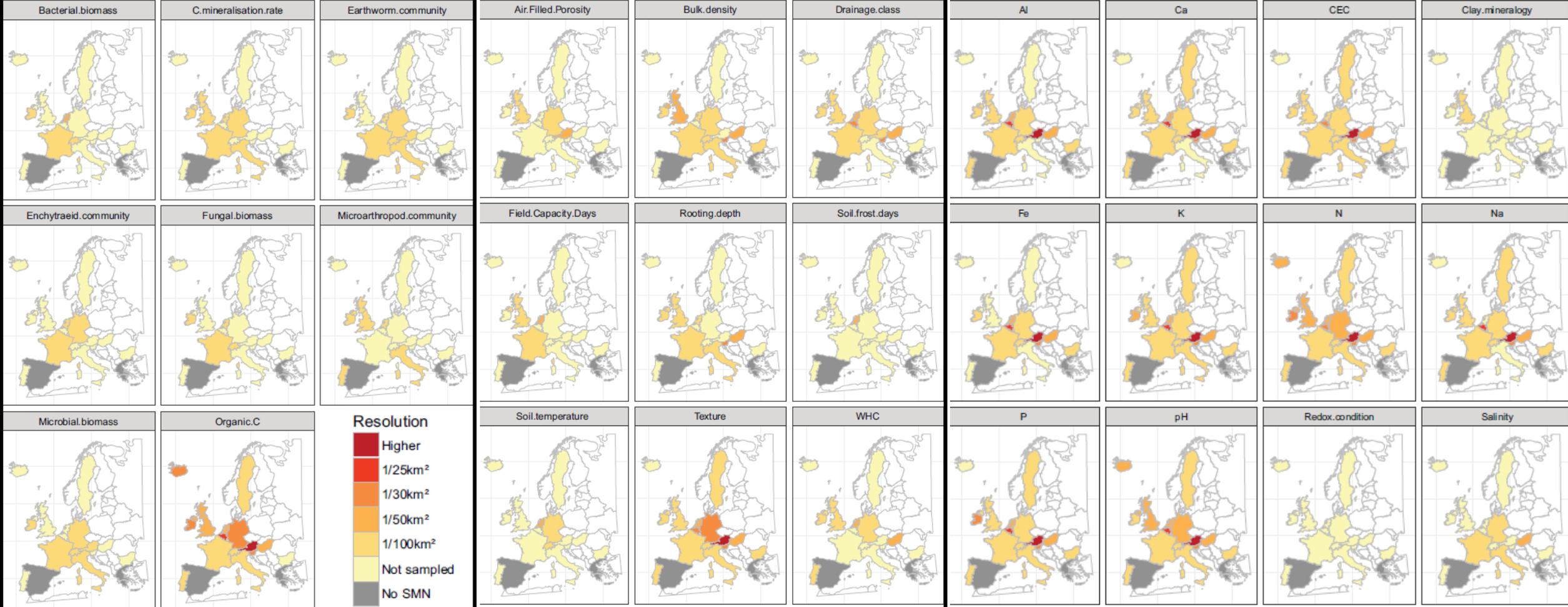
INDICATEURS

van Leeuwen et al., 2017

biologiques

physiques

chimiques



La surveillance des sols nécessite la mise en place d'un monitoring

Situation actuelle en UE :

- ✓ En fonction des EM : peu développé, arrêté ou inexistant
- ✓ Indicateurs essentiellement chimiques
- ✓ Spécifique à un secteur (agriculture > forêt > autre)
- ✓ Méthodologie très variable

Enjeux :

- ✓ Intégration d'indicateurs biologiques et physiques
- ✓ Harmonisation (design, densité, profondeur, échantillonnage, fréquence, indicateurs, analyses)
- ✓ Complémentarité (EM/UE)
- ✓ Coûts



MERCI DE VOTRE ÉCOUTE !