



Caractériser la multifonctionnalité des sols

Antonio BISPO
ADEME



Les sols sous pression

- **Besoins en surface pour le *développement* :**
 - Alimentation/santé
 - Urbanisme
 - Énergie
 - Sécurité/santé (ex : régulation des flux d'eau...)
- **Besoins en surface pour la *protection de l'environnement* :**
 - Biodiversité
 - Lutte contre le changement climatique
 - Stockage de l'eau
- **Concurrence des besoins > comment *arbitrer l'affectation les sols* en fonction de leur qualités/propriétés ?**



De la notion de qualité des sols à la multifonctionnalité des sols

- Définitions multiples de la qualité des sols (soil quality - soil health) : **capacité d'un type de sol à fonctionner au sein d'un écosystème et d'un usage, permettant la production biologique, le maintien de la qualité de l'environnement et la préservation de la santé des plantes, des animaux et de l'Homme (Doran et Parkin, 1994)**
- Qualités/propriétés recherchées différentes pour chaque usage (=> qualité pour quoi faire)
- Les notions de **durabilité** et de **services/fonctions** s'ajoutent peu à peu aux définitions (ne pas compromettre les usages futurs)



Fonctions ou services ?

- Termes souvent utilisés l'un pour l'autre (ex : *pDPS parle de fonctions des sols alors que ce sont plutôt des services qui sont décrits*)
- Définition proposée dans le cadre de GESSOL (schéma conceptuel) : *les fonctions sont les processus naturels internes au sol, issus des interactions entre les composantes biotiques et abiotiques, qui génèrent des produits et des services satisfaisant les besoins des sociétés (adapté de de Groot et al. 2002)*



Article 1

Chapitre I Dispositions générales

Article premier Objet et champ d'application

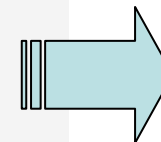
1. La présente directive définit un cadre pour la protection des sols et la préservation de leur capacité à remplir chacune des fonctions écologiques, économiques, sociales et culturelles suivantes:
 - a) production de biomasse, notamment pour l'agriculture et la foresterie;
 - b) stockage, filtrage et transformation d'éléments nutritifs, de substances et d'eau;
 - c) vivier de la biodiversité, notamment habitats, espèces et gènes;
 - d) environnement physique et culturel de l'homme et des activités humaines;
 - e) source de matières premières;
 - f) réservoir de carbone;
 - g) conservation du patrimoine géologique et architectural.



Les services portés par les sols – Liens avec les fonctions

P.M. Haygarth and K. Ritz / Land Use Policy 26S (2009) S187–S197

toprule	Ecosystem service	Soil function
Supporting		
1	Primary production	Support for terrestrial vegetation
2	Soil formation	Soil formation processes
3	Nutrient cycling	Storage, internal cycling and processing of nutrients
Provisioning		
4	Refugia	Providing habitat for resident and transient populations
5	Water storage	Retention of water in landscape
6	Platform	Supporting structures
7	Food supply	Provisioning plant growth
8	Biomaterials	Provisioning plant growth
9	Raw materials	Provisioning source materials
10	Biodiversity and genetic resources	Sources of unique biological materials and products
Regulating		
11	Water quality regulation	Filtration and buffering of water
12	Water supply regulation	Regulation of hydrological flows
13	Gas regulation	Regulation of atmospheric chemical composition,
14	Climate regulation	Regulation of global temperature, precipitation, and other biologically mediated climatic processes
15	Erosion control	Soil and colloid retention within an ecosystem
Cultural		
16	Recreation	Providing a platform for recreational activities
17	Cognitive	Opportunities for noncommercial activities
18	Heritage	Holds archaeological record of terrestrial occupancy and civilisations



Quelle démarche ?
Quels indicateurs ?



Exemple d'une démarche participative (Rutgers et al, 2011)

1. Impliquer les acteurs territoriaux dans la définition des services écosystémiques (SE)

➤ Présenter les services et les hiérarchiser

O* spatial scale 1 (local) name + aff.
O spatial scale 2 (regional, province, municipality)
O spatial scale 3 (national, Europe) land use →	
ECOSYSTEM SERVICES		
1. production functions (e.g. soil fertility)	a. nutrient retention and release	...
	b. soil structure, stable aggregates	...
	c. natural disease suppressiveness	...
2. resistance, resilience, adaptation	a. resistance and resilience to stress	...
	b. adaptation and flexibility towards land use	...
3. buffer and reactor function (environmental functions)	a. fragmentation, mineralization and storage organic matter	...
	b. natural attenuation, clean ground water	...
	c. water retention, release and transport	...
	d. climate functions (air, greenhouse gasses, temperature, water)	...
4. biodiversity and habitat function (includes ethical aspects: not an ecosystem service <i>sensu stricto</i>)		...
A. Extra ecosystem service (description)
B. Extra ecosystem service (description)

Stakeholder scale	Local	Regional	National	Weighted average	
Ecosystem service	Weights→	0.4	0.4	0.2	
1c. Natural disease suppressiveness	4.3 ± 0.8	3.5 ± 1.7	4.5 ± 0.7	4.0	
3c. Water retention, release, transport	3.7 ± 1.0	4.0 ± 0.8	4.0 ± 1.4	3.9	
1a. Nutrient retention and release	5.0 ± 0.0	3.0 ± 1.8	3.0 ± 0.0	3.8	
4. Biodiversity and habitat function	3.0 ± 1.4	3.0 ± 1.4	4.5 ± 0.7	3.3	
1b. Soil structure	4.7 ± 0.5	2.5 ± 1.0	1.5 ± 0.7	3.2	
3b. Natural attenuation	1.5 ± 0.5	4.3 ± 1.0	4.0 ± 1.4	3.1	
3a. Fragmentation and storage organic matter	3.0 ± 0.9	3.5 ± 0.6	1.0 ± 1.4	2.8	
2a. Resistance and resilience	3.2 ± 1.3	1.8 ± 1.0	3.0 ± 1.4	2.6	
2b. Adaptation and flexibility	1.3 ± 0.5	2.8 ± 1.7	4.0 ± 0.0	2.4	
3d. Climate functions	0.5 ± 0.5	2.0 ± 1.8	0.5 ± 0.7	1.1	



Exemple d'indicateurs

Propriétés	Indicateurs possibles
Physiques	Profondeur du sol, couleur, texture, structure, stabilité structurale, état de surface, masses volumiques, macroporosité, microporosité, perméabilité, humidité du sol, minéralogie, résistance à la compaction...
Chimiques	<u>Paramètres « agronomiques »</u> : pH, teneur en matière organique, fractionnement de la matière organique, quantité de calcaire actif, potentiel rédox, capacité d'échange cationique, teneur en éléments majeurs (N, P, K, Mg, Fe, Al) et en oligoéléments (Cu, Mg, Mn, Zn) <u>Paramètres « environnementaux »</u> : teneur en contaminants métalliques (Cd, Hg, Pb) et organiques (hydrocarbures, pesticides, polychlorobiphényles)...
Biologiques	<u>Microflore du sol</u> : dénombrements bactériens et fongiques, diversité basée sur des profils d'acides gras phospholipidiques (PLFA) ou des empreintes moléculaires, activités totales (respiration) ou spécifiques (nitrification), présence de mycorhizes, ergostérol... <u>Faune du sol</u> : diversité et abondance des lombriciens, des collemboles, des acariens, des nématodes, activité de la faune du sol (dégradation de la litière, nombre de galeries, présence de turricules)...



Des indicateurs utilisés depuis toujours (Ethnopedologie)

N. Barrera-Bassols, J.A. Zinck / Geoderma 111 (2003) 171–195

179

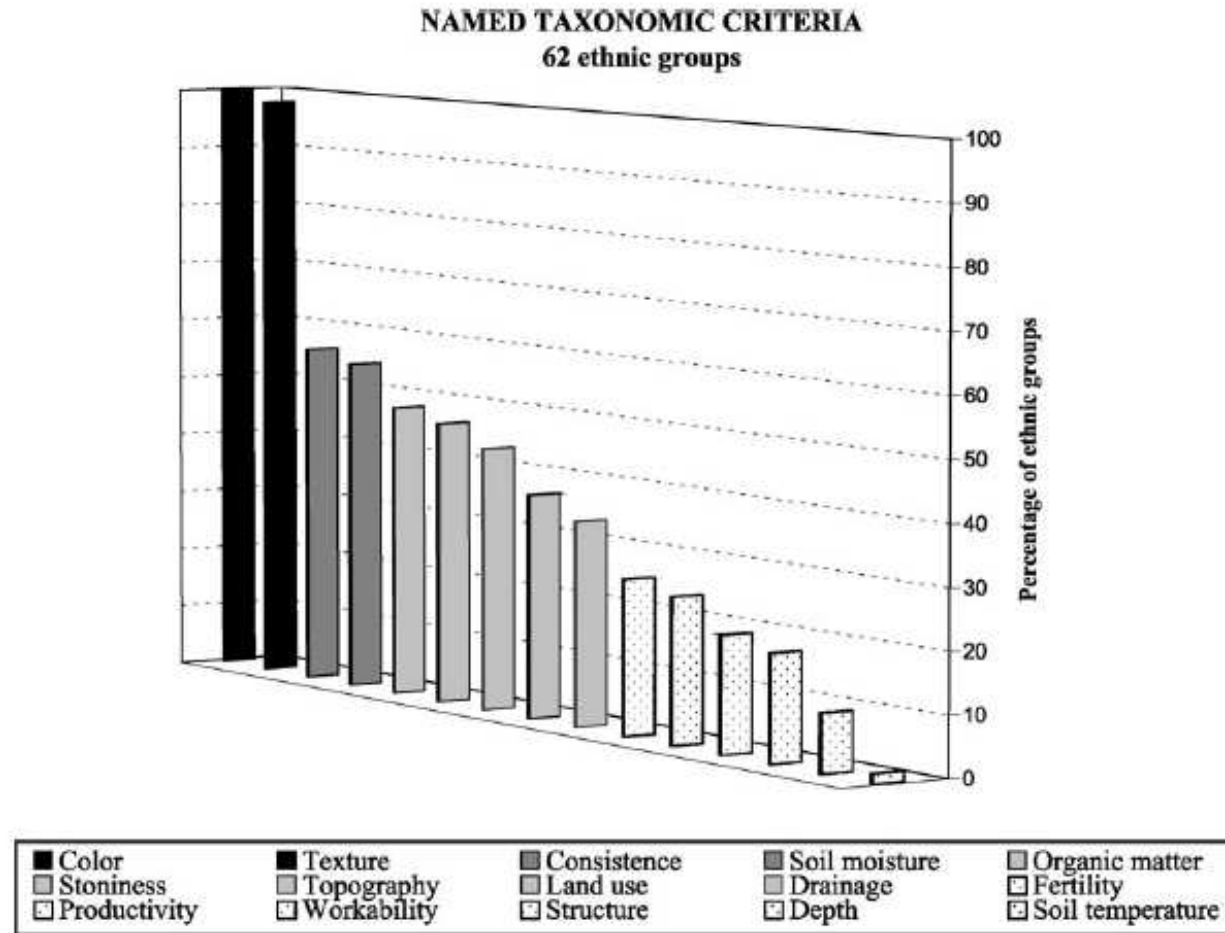


Fig. 3. Characteristics and qualities used by local peoples to classify soils.



Exemple d'une démarche participative (Rutgers et al, 2011)

Rutgers M, et al, A method to assess ecosystem services developed from soil attributes with stakeholders and data of four arable farms, *Sci Total Environ* (2011), doi:10.1016/j.scitotenv.2011.04.041

Indicateurs proxy

Ranking	Parameter	Total score	Services									
			1. Production			Resistance, adaptation		3. Environment (buffer en reactor)				
			a. Nutrient retention and release	b. Soil structure, stable aggregates, profile opening	c. Natural disease suppressiveness	a. Resistance and resilience	b. Adaptation, flexibility, land use change options	a. Fragmentation and mineralization, SOM	b. Natural attenuation, clean groundwater	c. Water retention, release and transport	d. Climate functions (air, greenhouse gasses, filtering, temperature)	4. Biodiversity and habitat function
1	Rotation	118	13	13	19	10	10	10	11	16	3	13
2	Soil organic matter (% dw)	115	17	12	13	10	10	10	10	19	4	10
3	Abundance earthworms (number per m ²)	95	14	14	9	7	8	12	7	14	3	7
10	Biomass bacteria (mg C per g dw)	86	12	10	10	6	7	11	11	9	4	7
12	pH (KCl)	85	14	10	11	6	6	10	9	5	4	11
13	Diversity earthworms (number of taxa)	85	9	10	9	8	9	7	7	9	3	14
19	Diversity nematodes (number of taxa)	83	11	6	12	9	9	7	7	4	2	16
21	Physiological diversity bacteria (Biolog CLPP: Hill's slope)	83	9	5	10	9	9	10	8	6	4	13
24	Potential C-mineralisation	74	15	7	7	5	7	11	7	8	2	4
26	Diversity micro-arthropods (number of taxa)	72	6	4	12	8	9	5	5	5	2	16
32	Potential N-mineralisation	68	17	5	5	4	7	10	6	8	2	4
40	Water soluble P (Pw) and extractable P (PAE)	64	13	6	4	6	6	7	8	5	2	6
47	Nematode plant-parasites (number per 100 g soil)	51	5	3	15	4	3	4	3	5	2	7
50	Metal concentrations (mg per g dw)	47	4	4	6	6	5	4	8	4	2	5



Exemple d'une démarche participative (Rutgers et al, 2011)

- 1. Impliquer les acteurs territoriaux dans la définition des services écosystémiques (SE)**
 - Présenter les services et les hiérarchiser
- 2. Sélection par des experts « sol » des indicateurs « proxy » pertinents pour renseigner les SE retenus**
 - Batterie d'indicateurs à mesurer
 - Campagne d'analyse
 - Comparaison à des références
- 3. Calcul et spatialisation des SE sur les territoires, estimation de leur évolution en fonction des options de gestion, besoins de surveillance**

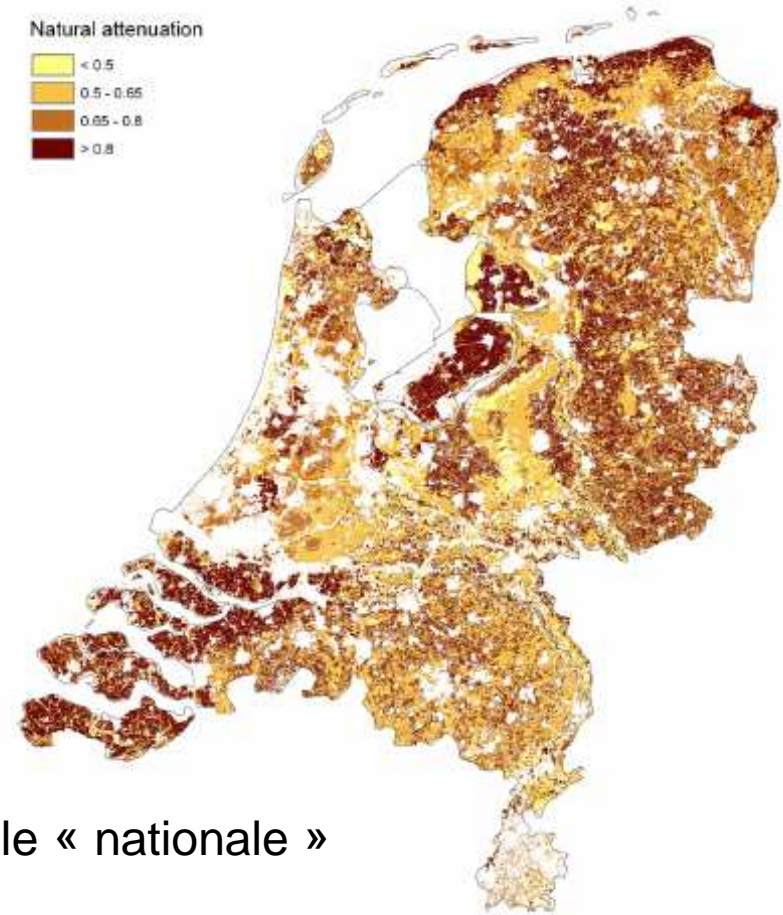
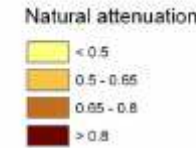


Calcul et spatialisation de SE

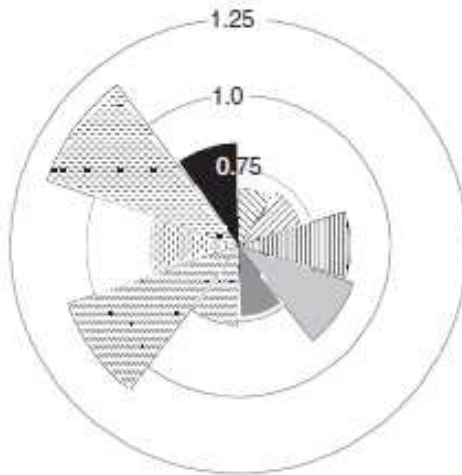
$$NAC = 10 - \left(\frac{\log\left(\frac{FMA}{FMA_{ref}}\right) + \left| \log\left(\frac{pH}{pH_{ref}}\right) \right| + \log\left(\frac{SOM}{SOM_{ref}}\right) + \log\left(\frac{PAL}{PAL_{ref}}\right) + \log\left(\frac{PotC}{PotC_{ref}}\right) + \log\left(\frac{PotN}{PotN_{ref}}\right)}{6} \right)$$

and in few grid cells:

$$NAC = 10 - \left(\frac{\log\left(\frac{pH}{pH_{ref}}\right) + \left| \log\left(\frac{PAL}{PAL_{ref}}\right) \right| + \log\left(\frac{PotC}{PotC_{ref}}\right) + \log\left(\frac{PotN}{PotN_{ref}}\right) - \log\left(\frac{FMA}{FMA_{ref}}\right) - \left| \log\left(\frac{SOM}{SOM_{ref}}\right) \right|}{6} \right)$$



Échelle « exploitation »

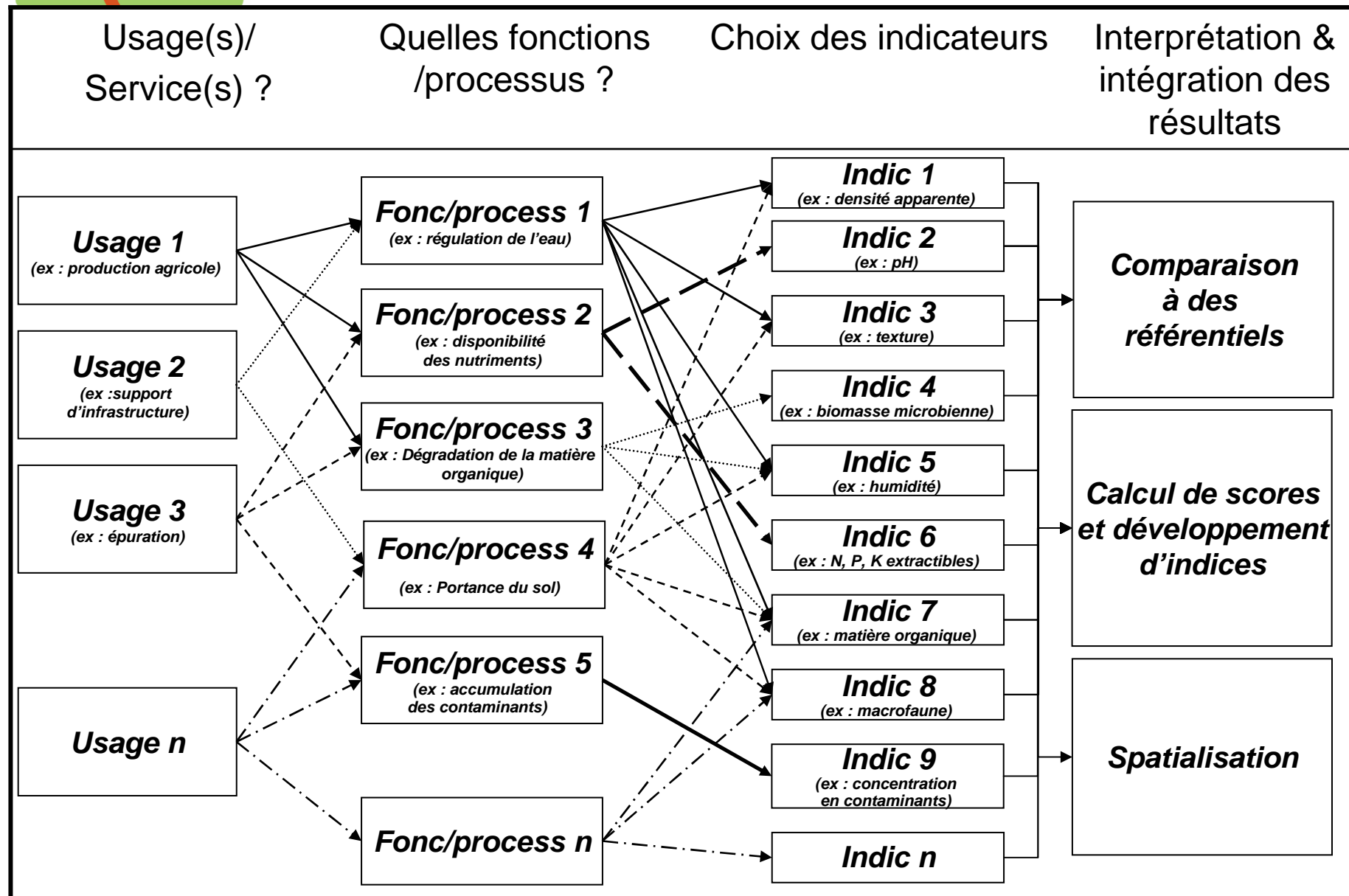


- 1a. nutrient functions
- 1b. soil structure
- 1c. disease suppressiveness
- 2a. resistance and resilience
- 2b. flexibility and adaptation
- 3a. organic matter functions
- 3b. natural attenuation
- 3c. water functions
- 3d. climate functions
- 4. habitat

Échelle « nationale »

Fig. 3. Ecosystem service "natural attenuation of pollutants", based on six soil properties.

van Wijnen HJ, et al, How to calculate the spatial distribution of ecosystem services — Natural attenuation as example from The Netherlands, Sci Total Environ (2011), doi:10.1016/j.scitotenv.2011.05.058





Exemple du projet U-Qualisol

Keller et al., 2011. Conférence de Liverpool. Soil quality assessment for urban planning: linking soil science, geographical analysis and law: the Uqualisol-ZU project

Pixel or polygone

Site 1		Forêt	
Indicateur	Classe de qualité	Adéquation avec l'usage	Fonction satisfaite
Fonction 1			
Paramètre 1			
Paramètre 2			
Fonction 2			
Paramètre 1			
Paramètre 2			
Fonction 3			
Paramètre 1			
Paramètre 2			
Paramètre 3			
Paramètre 4			
Paramètre 5			
Fonction 4			
Paramètre 1			
Paramètre 2			
Fonction 5			
Paramètre 1			
Paramètre 2			
Paramètre 3			
Paramètre 4			
Paramètre 5			
Total fonctions satisfaites			

Land use: 9 (11) classes

Level 1:

- Forest and semi-natural areas
- Agricultural areas
- (Wetlands)
- Urban areas/artificial surfaces

5 (6) Functions :

- Water flow and retention
- Retention and cycling of nutrients
- Physical stability and support
- Maintenance of biodiversity and habitat
- Buffering and filtering of potentially toxic materials
- (Natural soil heritage)



Conclusion

- **Beaucoup de travaux sur la définition de la qualité des sols avec une **vision fertilité et/ou contamination des sols** (ex: définition d'indices, de Minimum Data Set...)**
- **Assez **peu de travaux** sur les autres services portés par les sols et donc peu de regards sur les fonctions à exprimer (et les indicateurs liés)**
- **Travaux à réaliser :**
 - sur le vocabulaire
 - sur les liens entre les services, les fonctions et les indicateurs à utiliser
 - sur la spatialisation et l'interprétation des valeurs
- **Attente vis-à-vis de projets Gessol tels que U-Qualisol ou Quesactes**