



**International
Decade of Soils**
2015-2024

Les services écosystémiques

Jean Louis Morel

Laboratoire Sols et Environnement (LSE)

UMR 1120 UL-INRA

lse.univ-lorraine.fr

gisfi.fr



Plan du cours

1. Les enjeux
2. Les services écosystémiques
3. Les services écosystémiques rendus par les sols
4. Ingénierie pour le développement des services écosystémiques

1. Les enjeux

Quaternaire

Ère	Période/Système ^{N 1}	Époque/Série	Étage	Âge (en Ma) ^{N 2}
C É N O Z O Ï Q U E	Quaternaire ^{N 4}	Holocène		↗ 0,0117
		Pléistocène ^{N 4}	Tarantien	0,126
			Ionien	0,781
			Calabrien	↗ 1,806
			Gélasien	↗ 2,58
	Néogène	Pliocène	Plaisancien	↗ 3,600
			Zancléen	↗ 5,333
		Miocène	Messinien	↗ 7,246
			Tortonien	↗ 11,62
			Serravallien	↗ 13,82
			Langhien	15,97
			Burdigalien	20,44
			Aquitaniien	↗ 23,03
	Paléogène	Oligocène	Chattien	28,1
			Rupélien	33,9
		Éocène	Priabonien	38,0
			Bartonien	41,3
			Lutétien	↗ 47,8
			Yprésien	↗ 56,0
		Paléocène	Thanétien	↗ 59,2
			Sélandien	↗ 61,6
			Danien	↗ 66,0
			Maastrichtien	↗ 72,1 ± 0,2

- le statut du Quaternaire a changé en 2009; considéré auparavant comme une ère, il a été rétrogradé à celui de période.

- malgré son étymologie qui le rattache aux anciennes appellations des ères du Phanérozoïque, le terme a été conservé, pour des raisons de notoriété.

- Pléistocène**

- du grec « en grande partie récente »
- de -2,6 millions d'années à -12 000 ans

- Holocène**

- du grec « entièrement récente »
- depuis 12 000 ans

(source: Wikipédia)

<http://www.inqua.org> - INQUA : *International Union for Quaternary Research*
= the past 2.58 million years (the Quaternary geological period)

Anthropocène

- **Une nouvelle période géologique**
 - Syvitski & Kettner 2011; Zalasiewicz *et al.* 2011
 - terme proposé par P. Crutzen – prix Nobel - et E. Stoermer (2000)
 - « IGBP's Global Change » magazine.
 - origine dans les années 80
 - également Homogéocène, Anthrocène, Anthroposphère
- **L'Anthropocène a débuté avec la révolution industrielle en Europe (années 1800)**
 - nouveaux et puissants moyens pour manipuler l'environnement et les ressources
 - mais les changements les plus drastiques sont apparus à partir des années 50.
- **Reconnaissance de l'impact des civilisations sur la Terre**
 - « human footprint »
 - gamme de changements globaux
 - *the Great acceleration*



IGBP: *International Geosphere – Biosphere Program*

<http://www.igbp.net/download/18.1081640c135c7c04eb480001178/1376383107963/NL78-anthropocene.pdf>

THE GREAT ACCELERATION

SOCIO-ECONOMIC TRENDS



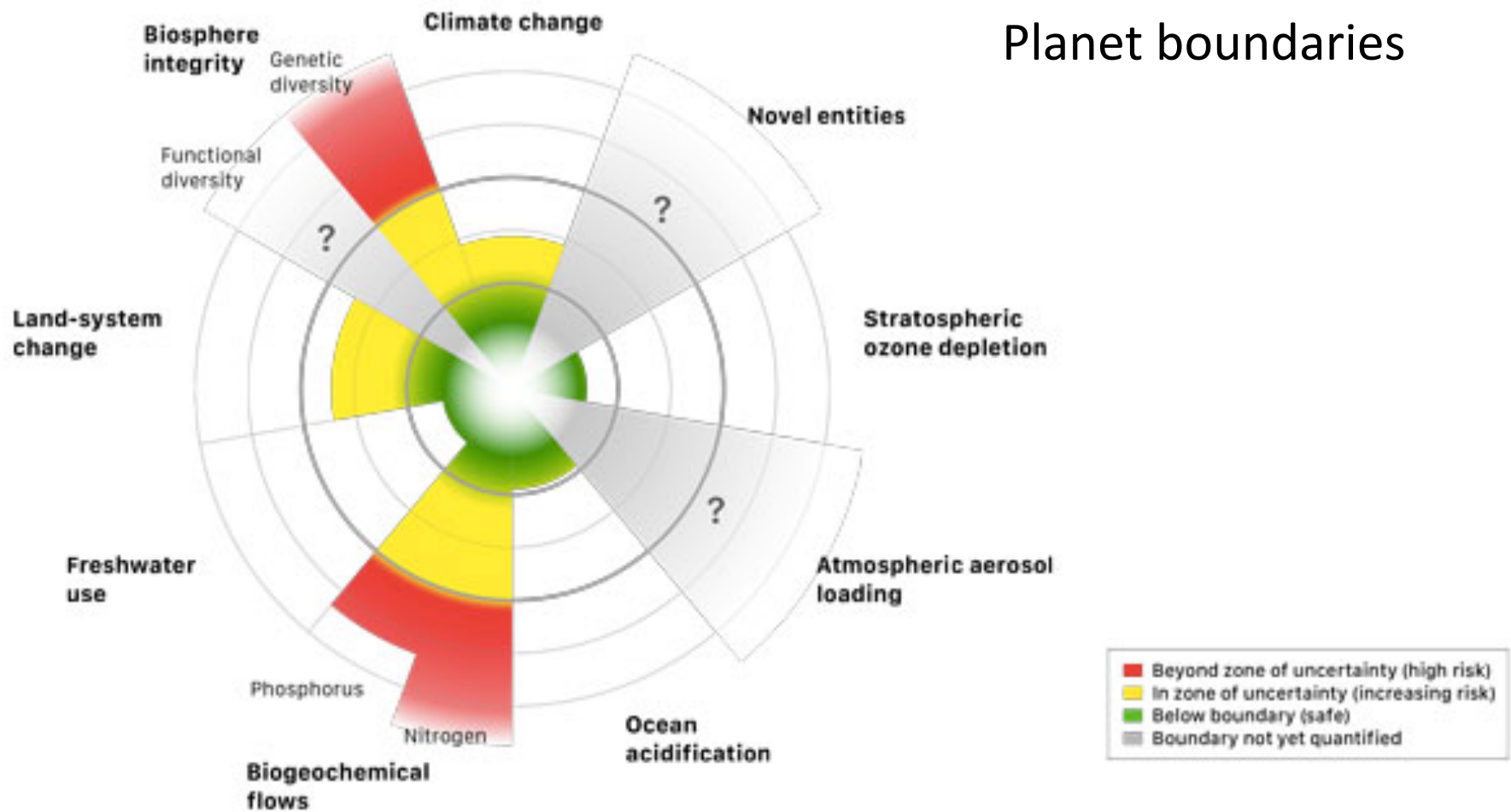
EARTH SYSTEM TRENDS



REFERENCE: Steffen, W., W. Broadgate, L. Deutsch, O. Gaffney and C. Ludwig (2015), The Trajectory of the Anthropocene: the Great Acceleration, Submitted to *The Anthropocene Review*.

MAP & DESIGN: Félix Pharand-Deschênes / Globaïa

Etat de la Planète (2015) – ses limites



Steffen et al., 16 Janvier 2015, Science

2. Les services écosystémiques

Les services écosystémiques – origine et concept

- 1970-2000 : émergence

- Émergence de l'économie écologique
- « *Ecosystem Services* » proposé par des biologistes
- Publication de « *The value of the world's ecosystem services and natural capital* », Costanza et al., 1997, Nature (économistes)
- http://www.esd.ornl.gov/benefits_conference/nature_paper.pdf

part of the total economic value of the planet. We have estimated the current economic value of 17 ecosystem services for 16 biomes, based on published studies and a few original calculations. For the entire biosphere, the value (most of which is outside the market) is estimated to be in the range of US\$16-54 trillion (10^{12}) per year, with an average of

- 2000-2005: Millenium Ecosystem Assessment (MEA)

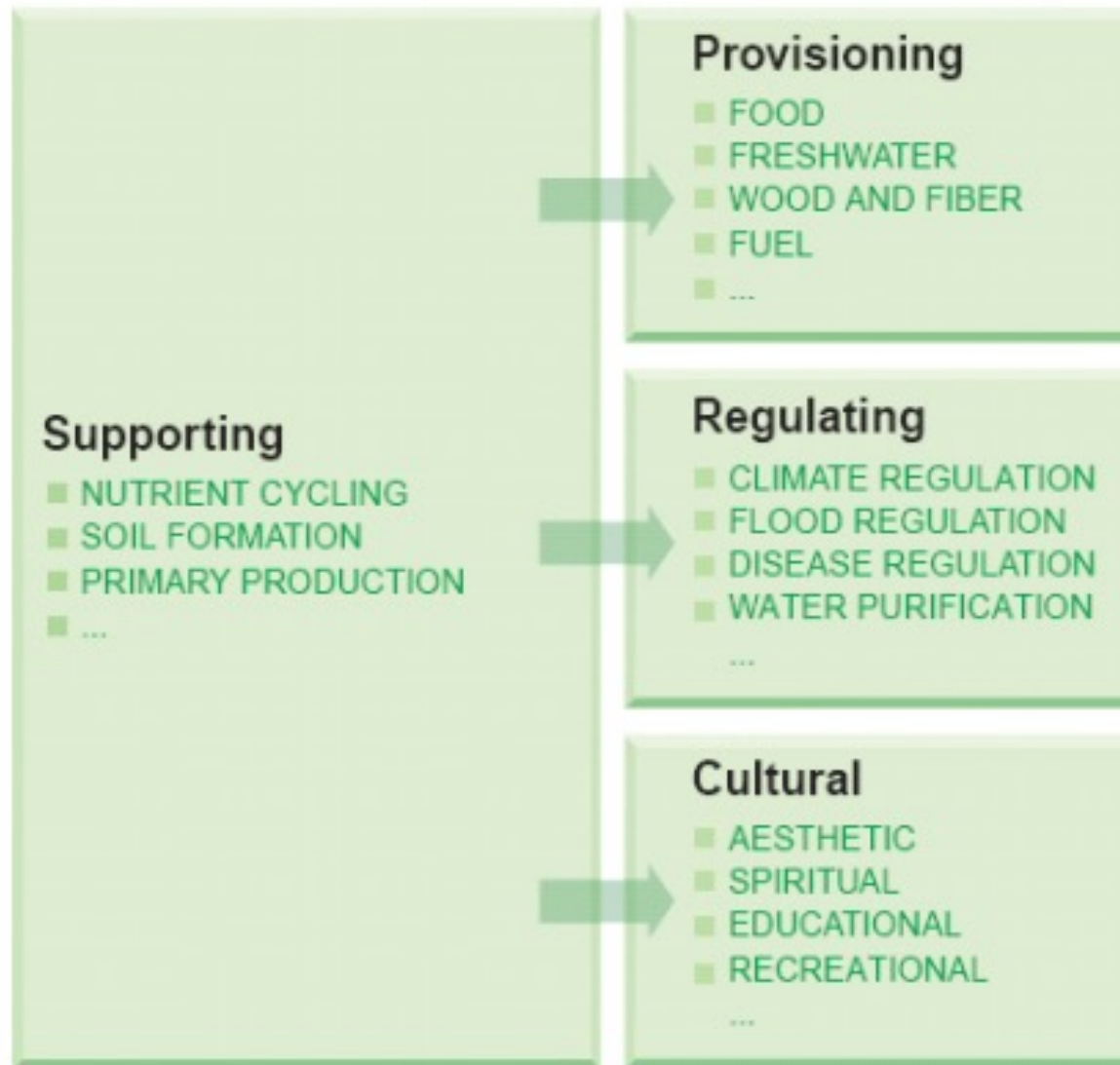
- Lancé par le Secrétaire Général des Nations Unis (Kofi Annan)
- 1 360 experts internationaux; 6 rapports
- <http://www.millenniumassessment.org/en/Index-2.html>

- Conclusions: état de la Planète

- Changement considérable des écosystèmes durant les 50 dernières années
- La dégradation des écosystèmes devrait encore s'accroître
- Besoins urgents de nouvelles politiques, institutions et pratiques

Les Services Ecosystémiques

“The benefits people obtain from ecosystems”

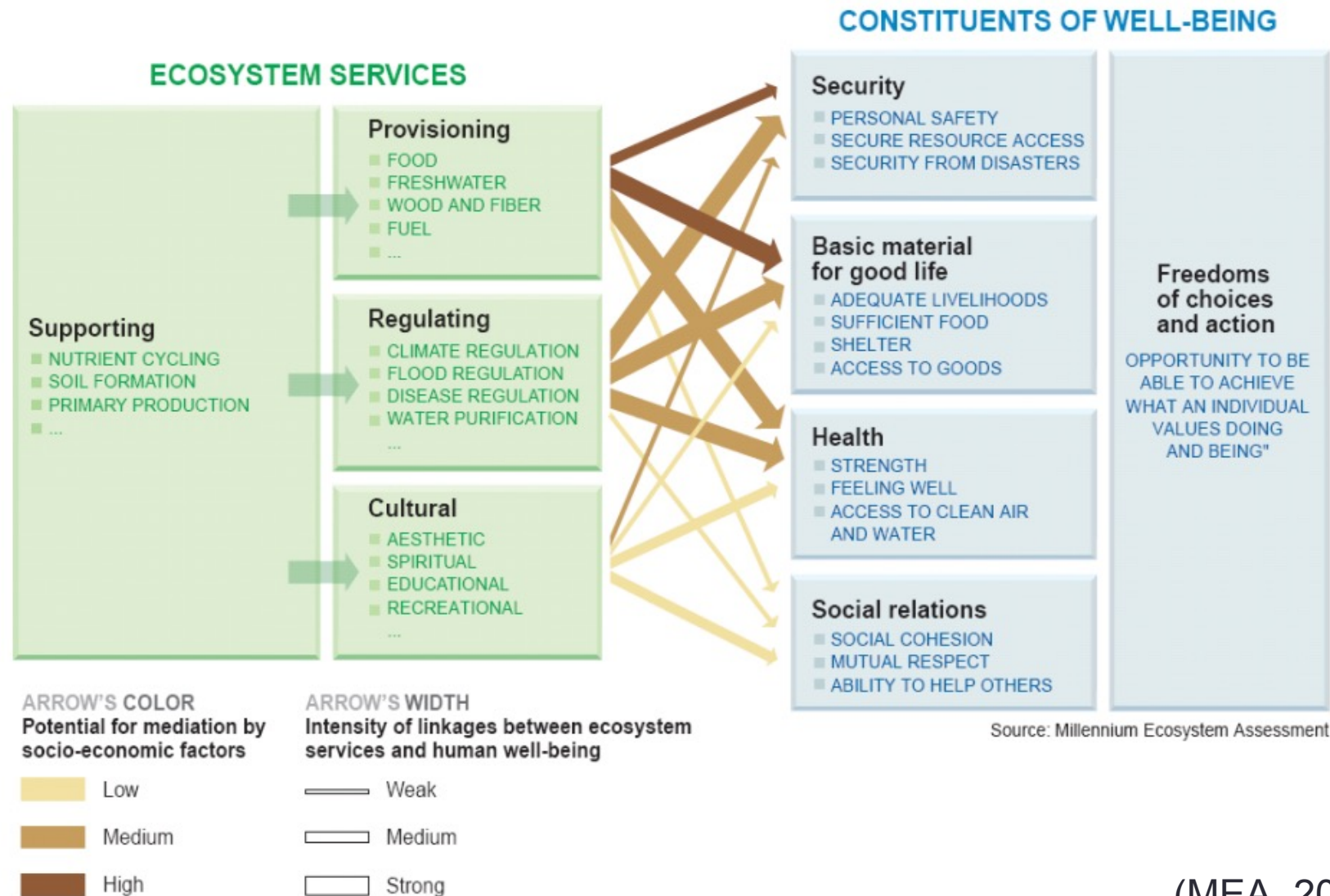


4 catégories

(MEA, 2005)

Les Services Ecosystémiques

“The benefits people obtain from ecosystems”



(MEA, 2005)

Classification internationale des services écosystémiques (CICES*)

Section	Division	Groupe
Approvisionnement	→ Nutrition	Biomasse
		Eau
	→ Matériaux	Biomasse, Fibre
		Eau
	→ Energie	Sources d'énergie liées à la biomasse
		Energie mécanique
Regulation et maintien	→ Remédiation des déchets, déchets toxiques et autres nuisances	Remédiation par biota
		Remédiation par écosystèmes
	→ Remédiation des flux	Flux de masses
		Flux de liquides
		Flux de gaz
		Maintien des cycles de vie, habitats et protection de la diversité génétique
	→ Maintien des conditions physiques, chimiques et biologiques	Contrôle des maladies et des nuisibles
		Gestion de l'eau
		Composition atmosphérique et régulation du climat
Culturel	→ Interactions physiques et intellectuelles avec les écosystèmes et les paysages	Interactions physiques et expérimentales
		Interactions intellectuelle et représentative (science, éducation, patrimoine)
	→ Interactions spirituelles, symboliques ou autres avec les écosystèmes et les paysages	Relations au sacré, au religieux, au symbole
		Autres bénéfices culturels (valeur d'existence)

<http://cices.eu>

Source : Haines-Young et Potschin, 2009

*Common International Classification of Ecosystem Services

Section	Division	Group	Class	Class type	Examples
<i>This column lists the three main categories of ecosystem services</i>	<i>This column divides section categories into main types of output or process.</i>	<i>The group level splits division categories by biological, physical or cultural type or process.</i>	<i>The group level splits division categories by biological, physical or cultural type or process.</i>	<i>Class types break the class categories into further individual entities and suggest ways of measuring the associated ecosystem service output.</i>	
Provisioning	Nutrition	Biomass	Cultivated crops	<i>Crops by amount, type</i>	Cereals (e.g. wheat, rye, barely), vegetables, fruits etc.
			Reared animals and their outputs	<i>Animals, products by amount, type</i>	Meat, dairy products (milk, cheese, yoghurt), honey etc.
			Wild plants, algae and their outputs	<i>Plants, algae by amount, type</i>	Wild berries, fruits, mushrooms, water cress, Salicornia (saltwort or samphire); seaweed (e.g. Palmaria palmata = dulse, dillisk) for food
			Wild animals and their outputs	<i>Animals by amount, type</i>	Game, freshwater fish (trout, eel etc.), marine fish (plaice, sea bass etc.) and shellfish (i.e. crustaceans, molluscs), as well as equinoderms or honey

<http://cices.eu>

**Common International Classification of Ecosystem Services*

etc.

Objectifs du MEA

- **Inverser les tendances** tout en assurant les demandes croissantes en services
- **Scénarios envisagés**
 - **changements drastiques dans les politiques, institutions, et pratiques**
 - nombreuses options existent pour préserver ou accroître des services écosystémiques spécifiques
 - qui réduisent les compromis négatifs ou procurent des synergies positives avec d'autres services
- **Le point essentiel : les actions humaines appauvrissent le capital naturel de la planète**
 - C'est inacceptable vis-à-vis des générations futures.
 - L'évaluation montre qu'avec des actions appropriées il est possible d'inverser la dégradation de nombreux services écosystémiques pendant les 50 années à venir.
 - Mais les changements de politiques et pratiques requis n'ont pas eu lieu.

Planète – Economie : les contradictions politiques



La Chine et les Etats-Unis ratifient l'accord de Paris sur le climat 13

Après Pékin, Washington a également annoncé, à l'occasion du G20, son approbation, une étape essentielle de l'après-COP21.



III G20 : « Le temps est venu d'accroître les dépenses publiques »

Le Mexicain Angel Gurría, secrétaire général de l'OCDE, plaide pour une augmentation des investissements afin de soutenir la croissance mondiale et juge que ce soutien est de la responsabilité des Etats.

<http://www.lemonde.fr>

4 septembre 2016

G20 : les vingt premières économies mondiales

Course de vitesse entre espoirs et catastrophes

Planète



La Chine et les Etats-Unis ratifient l'accord de Paris sur le climat

13

Après Pékin, Washington a également annoncé, à l'occasion du G20, son approbation, une étape essentielle de l'après-COP21.



L'inexorable déclin des éléphants d'Afrique

22



« Un bel et épouvantable été »

11



L'aviation civile en voie de réguler ses émissions carbone

6



Les défis d'Anne Hidalgo pour la rentrée



Aux Etats-Unis, un insecticide anti-Zika a tué des millions d'abeilles

6



Vandana Shiva : « L'idée que nous sommes maîtres de la nature n'est qu'une illusion »

LES BLOGS

ECO(LO)

Un chasseur tue un ours avec une lance, la vidéo choque le Canada

OCÉAN POUR LE CLIMAT

Première conférence franco-américaine sur le climat : FACT-O

OIL MAN

Liberté, Egalité, Responsabilité

PLACE TO B

Place to B : un lieu, 15 jours et 15 000 participants pour parler du monde de demain

ATMOSPHÈRE, ATMOSPHÈRE!

Des trillions de subventions pour les énergies fossiles

Le Monde, 4 sept 2016

Environnement. Obama crée la plus grande réserve marine du monde

AMÉRIQUES › ÉTATS-UNIS › COURRIER INTERNATIONAL - PARIS

Publié le 03/09/2016 - 13:05

**Le pouvoir
et la responsabilité
des élus**



A quelques mois de la fin de son mandat, Barack Obama s'est rendu jeudi 1er septembre dans la plus grande réserve naturelle marine du monde, située à Hawaï. Le président américain entend bien conforter son image de défenseur de l'environnement.

Les disservices – e.g. écosystèmes urbains

- Ensemble des risques et nuisances liés aux écosystèmes pour un secteur donné
 - Zhang et al., 2007
- Enjeu majeur pour la gestion des écosystèmes urbains
 - **dommages causés aux infrastructures**
 - *excréments d'oiseaux sur les monuments, racines déformant la chaussée, animaux creusant des terriers ou des lieux de nidation*
 - **ombrage de la végétation**
 - *gênant, un camouflage pour des agresseurs éventuels*
 - **enjeux sanitaires**
 - *allergies au pollen*
 - *animaux (rats, pigeons, chats etc.) vecteurs de maladies.*
 - **autres nuisances,**
 - *feuilles mortes augmentant les distances de freinage des véhicules.*

Approche en France – EFESE

Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques

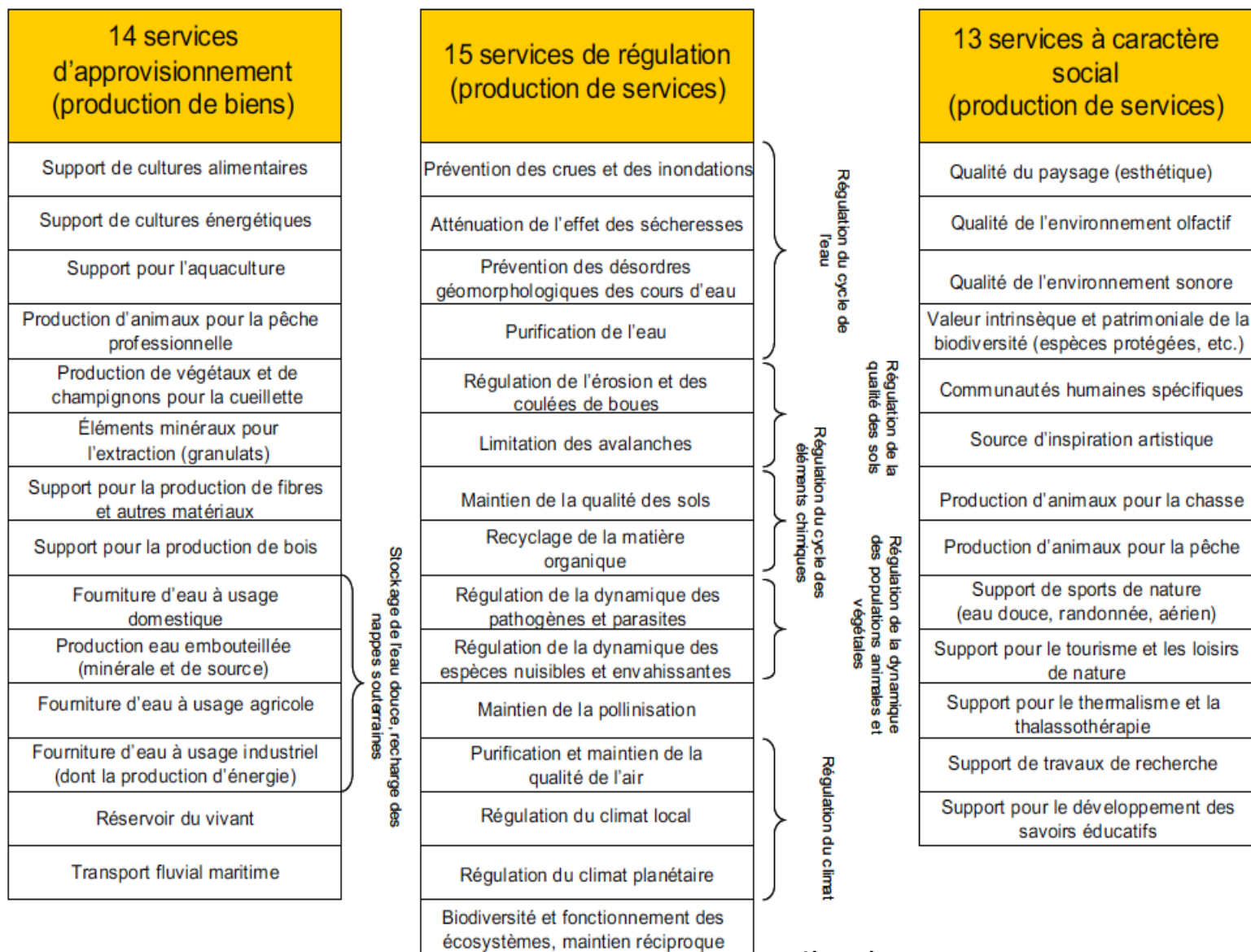
- **43 services écosystémiques retenus pour l'évaluation du territoire français**
 - **répartis entre trois registres :**
 - les services d'approvisionnement: production, par les écosystèmes, de biens consommés par l'être humain (existence de terres fertiles propices à l'activité agricole, fourniture d'eau potable ou pour d'autres usages, etc.) ;
 - les services de régulation: processus qui canalisent certains phénomènes naturels et ont un impact positif sur le bien-être humain (par exemple, la protection contre les catastrophes naturelles, l'atténuation des pollutions de l'eau et de l'air, etc.) ;
 - les services à caractère social: bénéfices immatériels que l'être humain tire de la nature en termes de santé, de liberté, d'identité, de connaissance, de plaisir esthétique et de loisirs (pêche de loisir, sports de nature, support de recherche, etc.).
- **La catégorie « services de support » définie par le MEA n'est pas prise en compte**
 - assimilables à des fonctions écosystémiques ou à des services de régulation.

<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Evaluation-francaise-des.html>

<http://www.fondationbiodiversite.fr/fr/interface-recherche-societe/societe-civile/decisions-publiques/france/efese.html>

http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/EFESE_bibliogr_CRDD_V3.pdf

Les 43 services écosystémiques adoptés en France



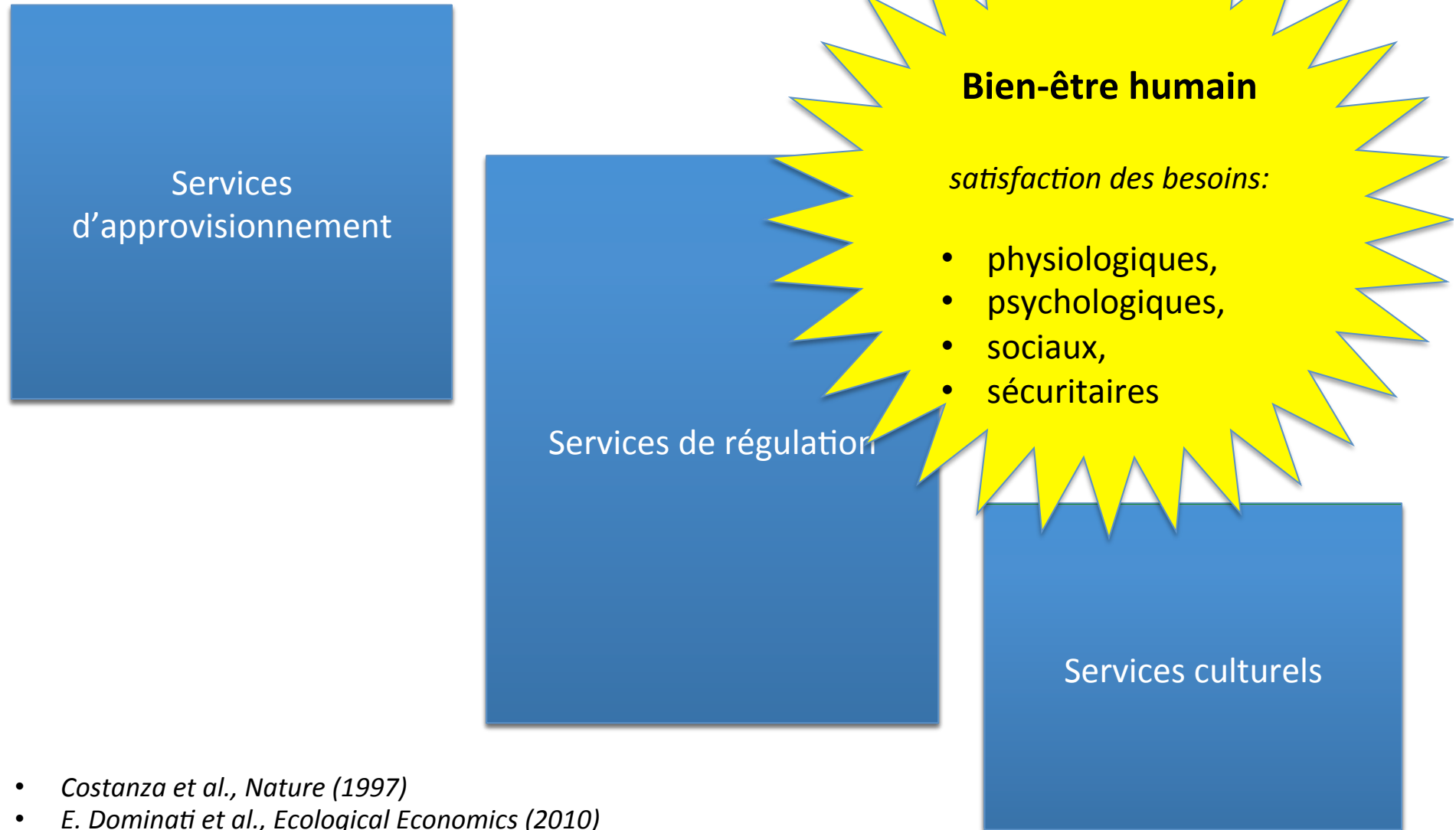
d'après CREDOC, Asconit, Biotope 2009

3. Les services écosystémiques fournis par les sols

d'après Claire Chenu & Jean Louis Morel, 2014
AgroParisTech - Université de Lorraine

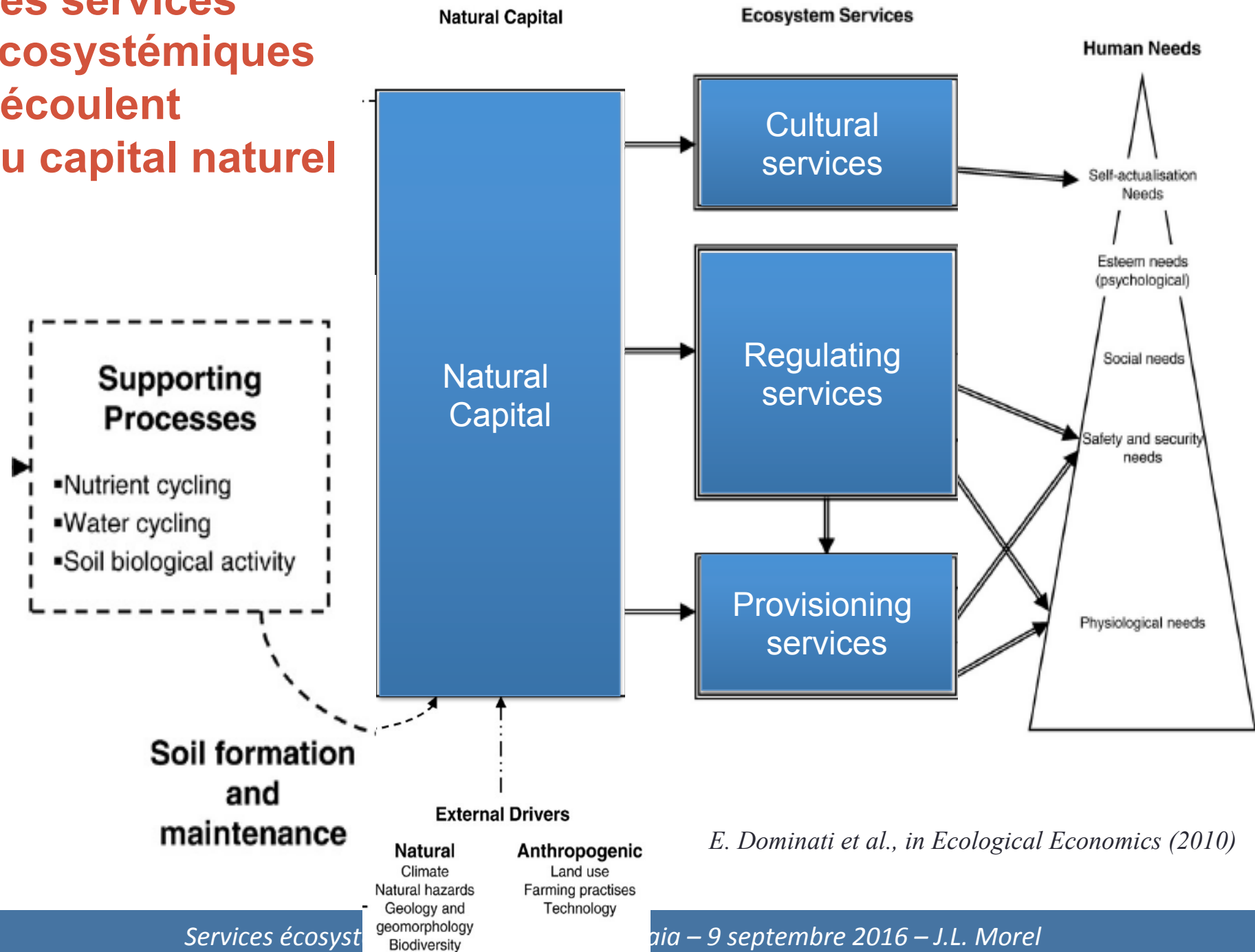
Des fonctions aux services

les services écosystémiques rendus par les sols



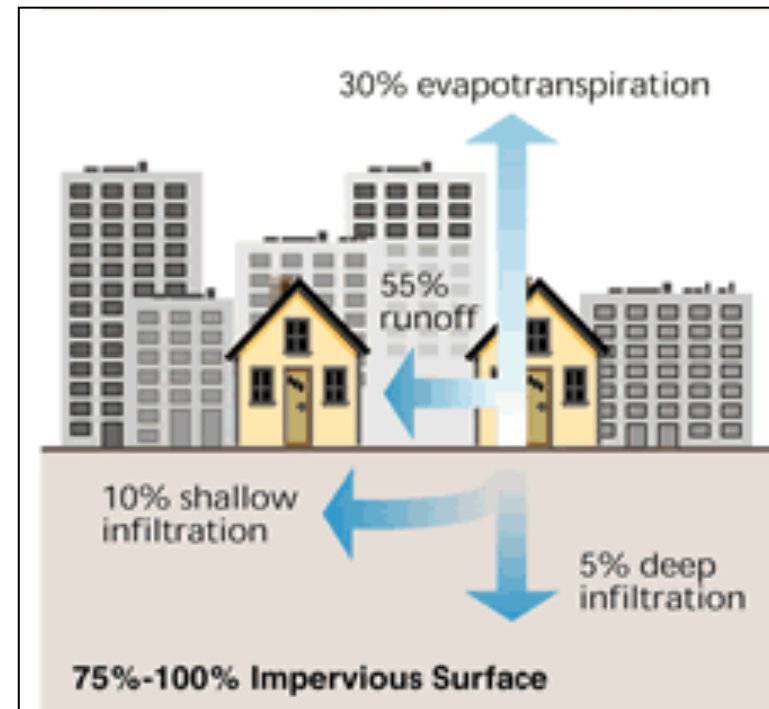
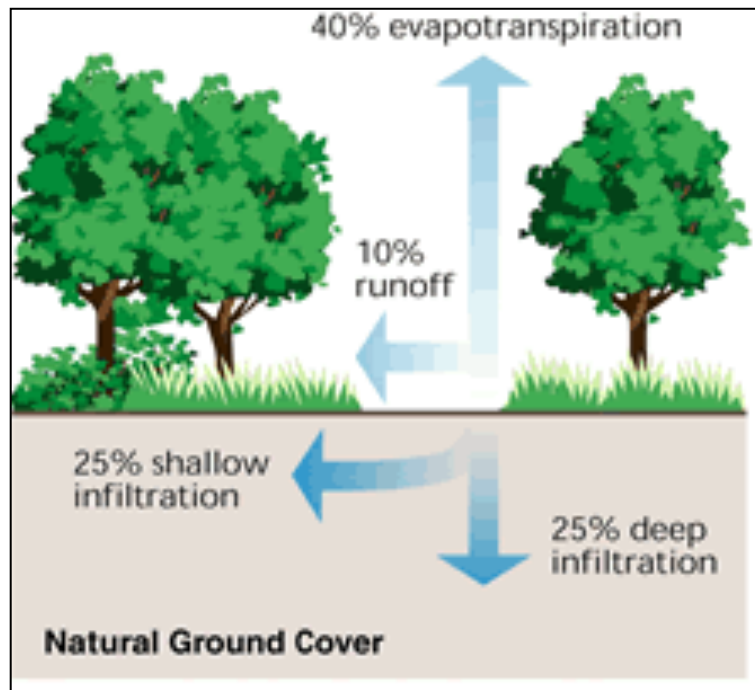
- Costanza et al., *Nature* (1997)
- E. Dominati et al., *Ecological Economics* (2010)

Les services écosystémiques découlent du capital naturel



E. Dominati et al., in Ecological Economics (2010)

Conséquences du scellement (imperméabilisation) des sols sur l'infiltration de l'eau



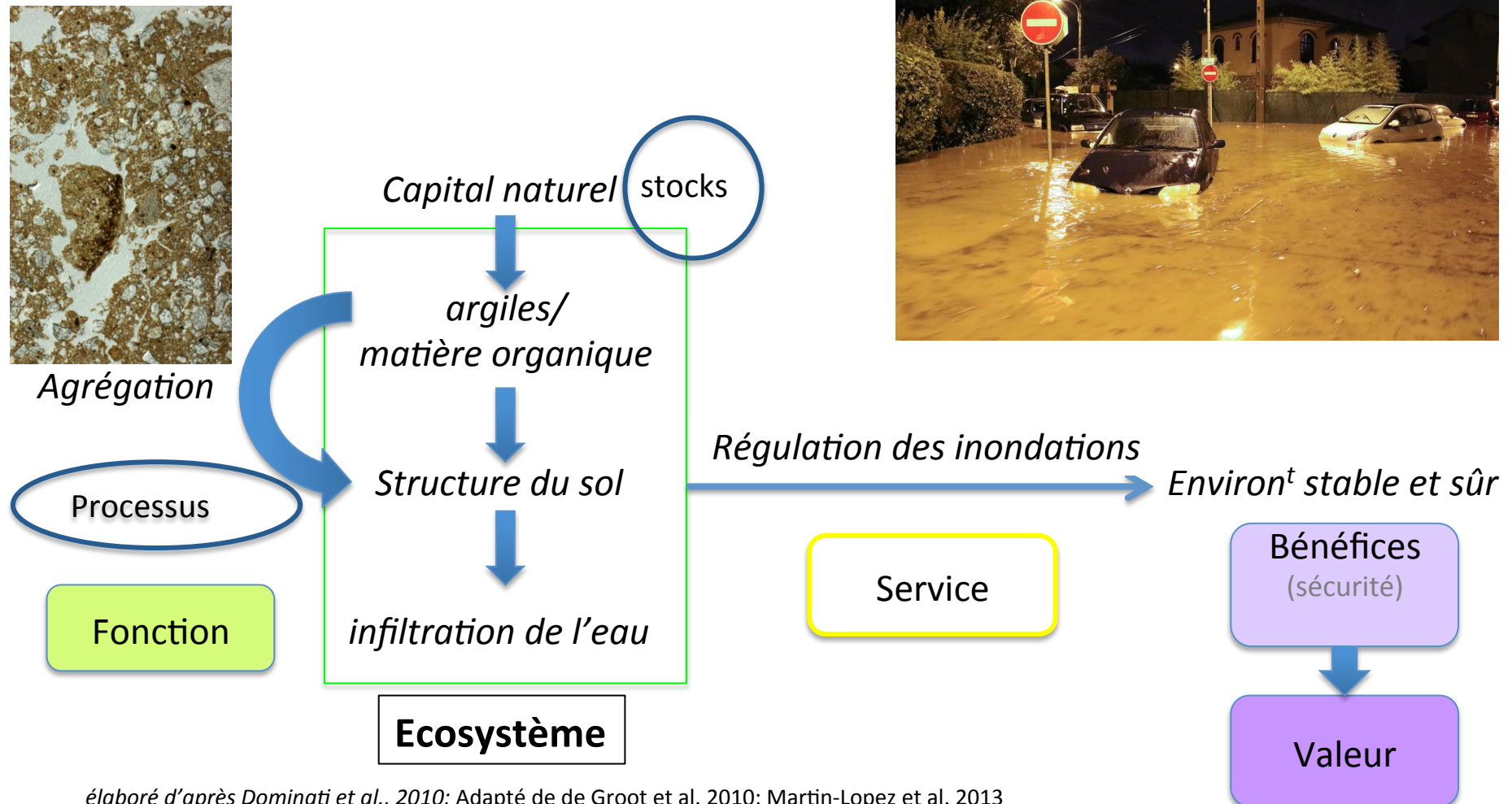
Fonction: infiltration

Service: régulation des inondations

copyright © 2007. Arizona Board of Regents

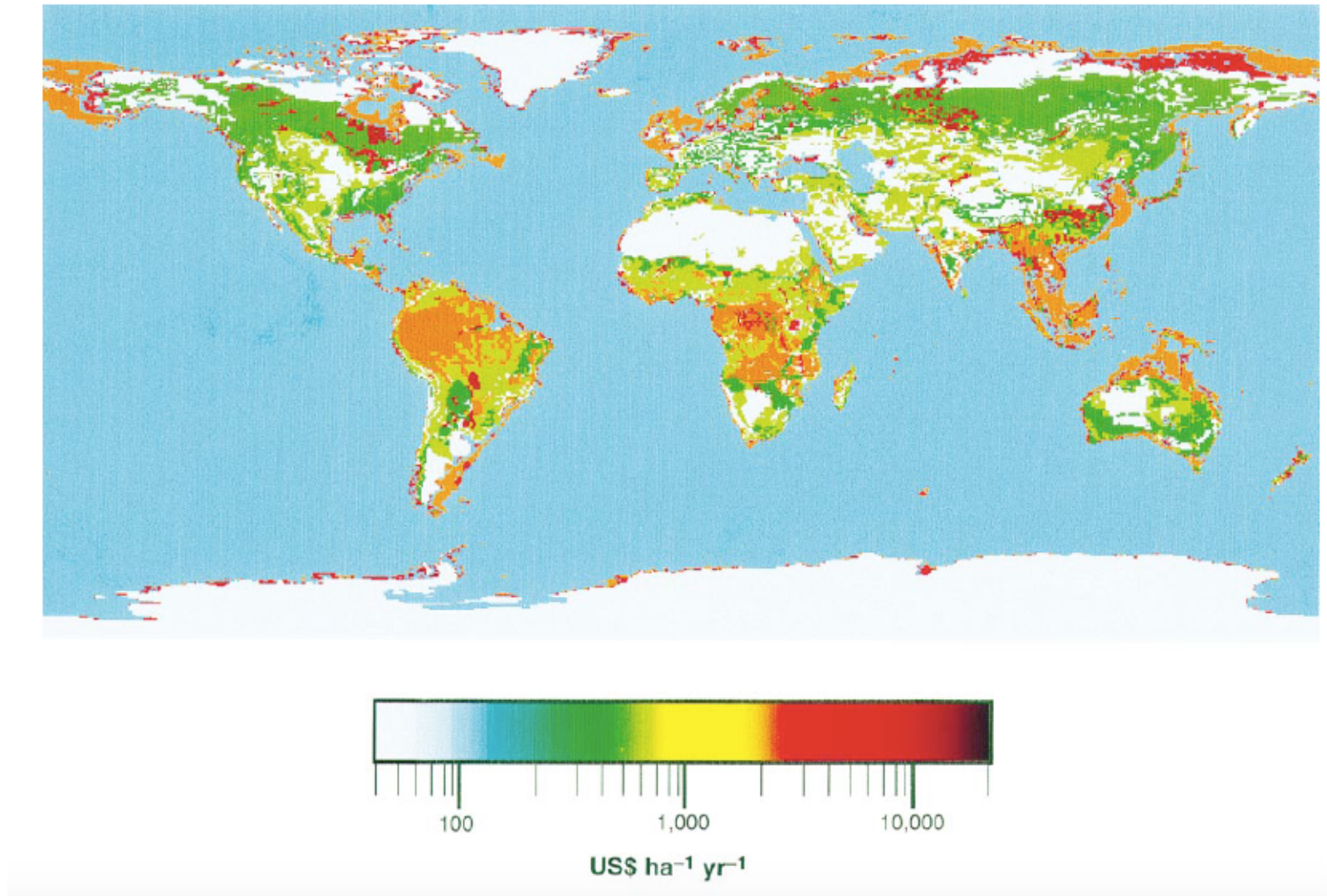
Stocks, processus, fonction et services écosystémiques fournis par les sols

ex: risque d'inondation



élaboré d'après Dominati et al., 2010; Adapté de de Groot et al. 2010; Martin-Lopez et al. 2013

Valeur (\$, €, £...) des écosystèmes à l'échelle globale (Costanza et al., 1997)



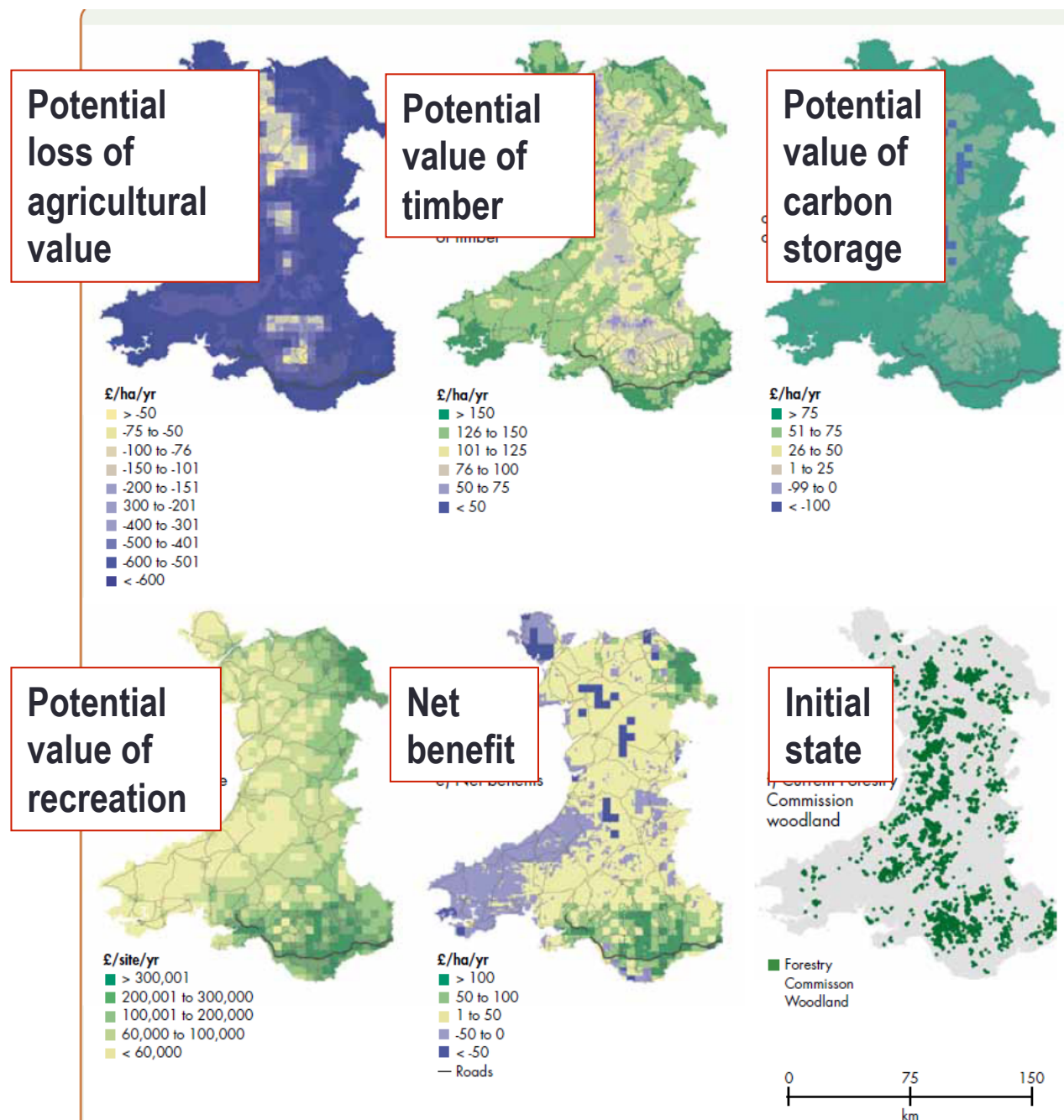


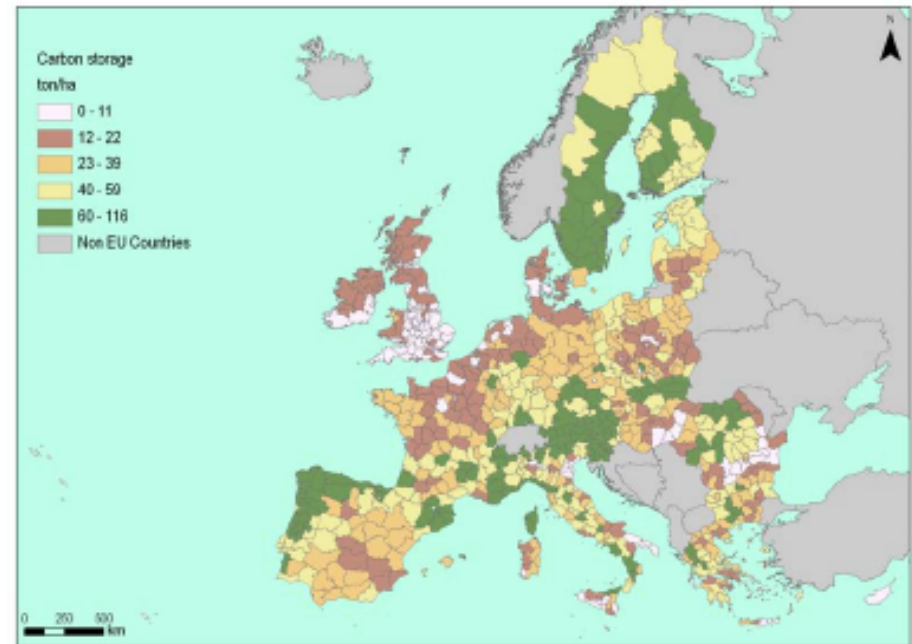
Figure 19. Economic values that would arise from a change of land use from farming to multi-purpose woodland in Wales (£ per year).

*Unlike other values which are on a per hectare basis, recreation is valued using one site per 5 km grid; this captures the fact that once a woodland site is established the per hectare recreational value of establishing a second site is not constant but diminishes significantly and to err on the side of caution we take that marginal value as being zero.
Source: adapted from Bateman *et al.* (2002, 2003) and Bateman (2009) and reproduced with permission from Elsevier c (2009).

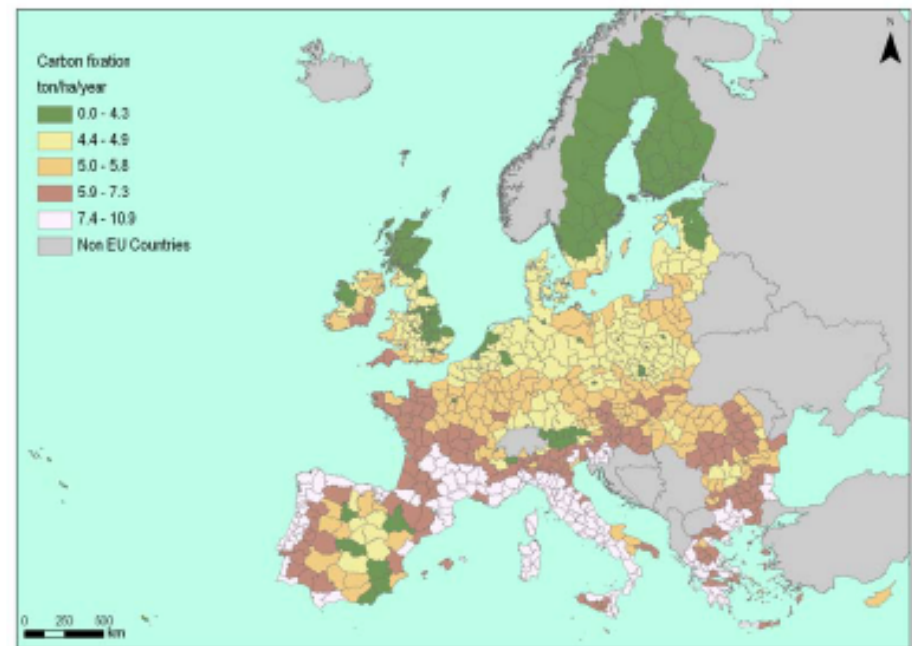
Services de régulation du climat

(sources : CDIAC et VITO)

Stocks de C



Flux annuels de C



Comment évaluer les services fournis par les sols ?

- **Selon le service**

- Prélèvement de nourriture (aptitude culturelle des sols)
- Services de régulation
- Services culturels, paysagers...

- **Selon le type d'évaluation**

- Biotechnique (environnementale, écologique)
- Économique
- Juridique
- Sociologique
- Culturelle

Approche déterministe

Approche participative

Evaluation des services écosystémiques rendus par les sols

ex: émissions de gaz à effet de serre



Stockage de C
 Δ tonnes C ha⁻¹ an⁻¹

-

Emission N₂O
 Δ kg N-N₂O ha⁻¹ an⁻¹

-

Emission CH₄
 Δ kg C-CH₄ ha⁻¹ an⁻¹



Atténuation des émissions
 Δ tonnes CO_{2eq} ha⁻¹ an⁻¹

- ⇒ 3 fonctions, 1 variable intégrative
- ⇒ Unité commune
- ⇒ Additivité

C. Chenu, Journée BASC services écosystémiques, 2013

Services écosystémiques – 2^{ème} année Ensaia – 9 septembre 2016 – J.L. Morel

Ex.3 Atténuation de contaminants

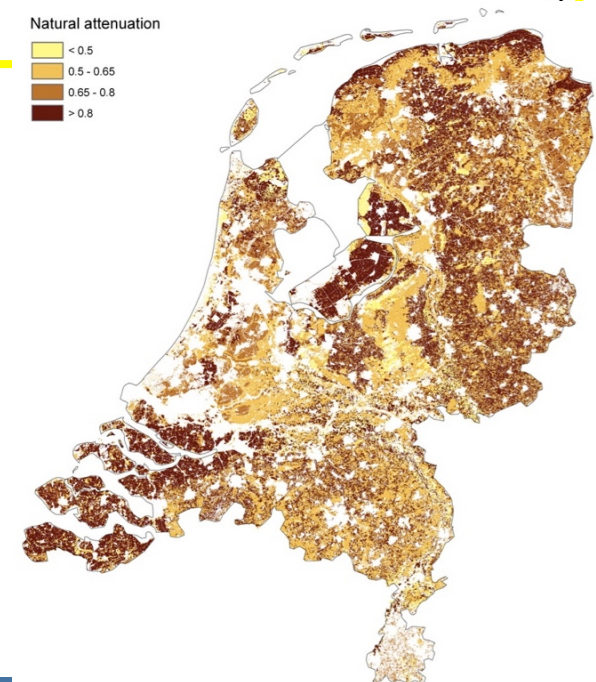
Rutgers et al. 2012, van Vijnen et al. 2012

- 5 experts → 6 indicateurs functional microbial activity, potential C mineralisation; potential N mineralisation + SOM content, pH, P content
- Définition d'un indice comparant les indicateurs à une référence

$$\text{NAC} = 10 \left(\frac{\left| \log \left(\frac{\text{FMA}}{\text{FMA}_{\text{ref}}} \right) \right| + \left| \log \left(\frac{\text{pH}}{\text{pH}_{\text{ref}}} \right) \right| + \left| \log \left(\frac{\text{SOM}}{\text{SOM}_{\text{ref}}} \right) \right| + \left| \log \left(\frac{\text{PAL}}{\text{PAL}_{\text{ref}}} \right) \right| + \left| \log \left(\frac{\text{PotC}}{\text{PotC}_{\text{ref}}} \right) \right| + \left| \log \left(\frac{\text{PotN}}{\text{PotN}_{\text{ref}}} \right) \right|}{6} \right)$$

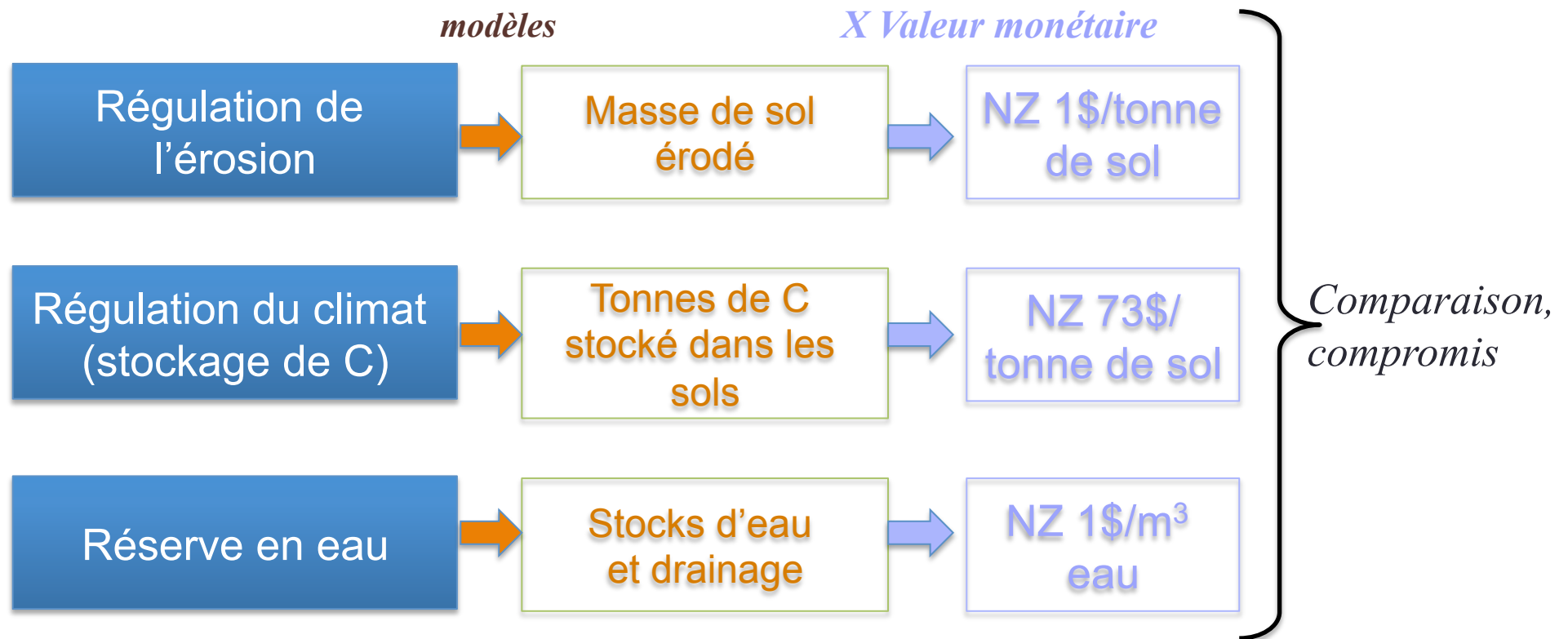
- Choix des parcelles de référence
- Mesures, spatialisation

- ⇒ **Méthode participative**
- ⇒ **Comparaison à une référence**
- ⇒ **Additivité et poids = des indicateurs**



Evaluation monétaire : base pour le compromis entre services

- Nouvelle Zélande: nouvelle forêt de pins, services attendus



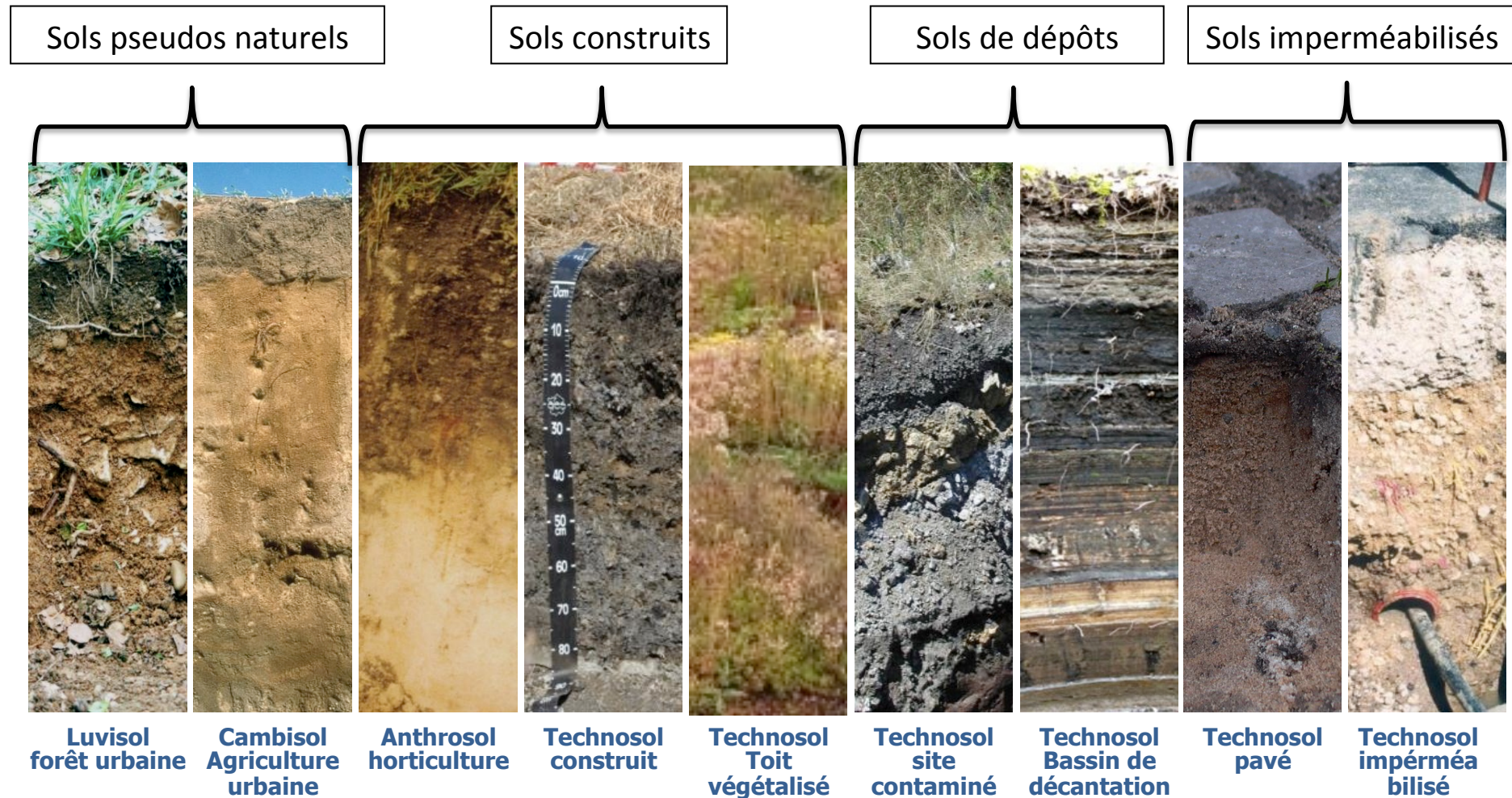
Dymond et al. 2012, Journal Env Managt

C. Chenu, Journée BASC services écosystémiques, 2013

4. Ingénierie pour le développement des services écosystémiques

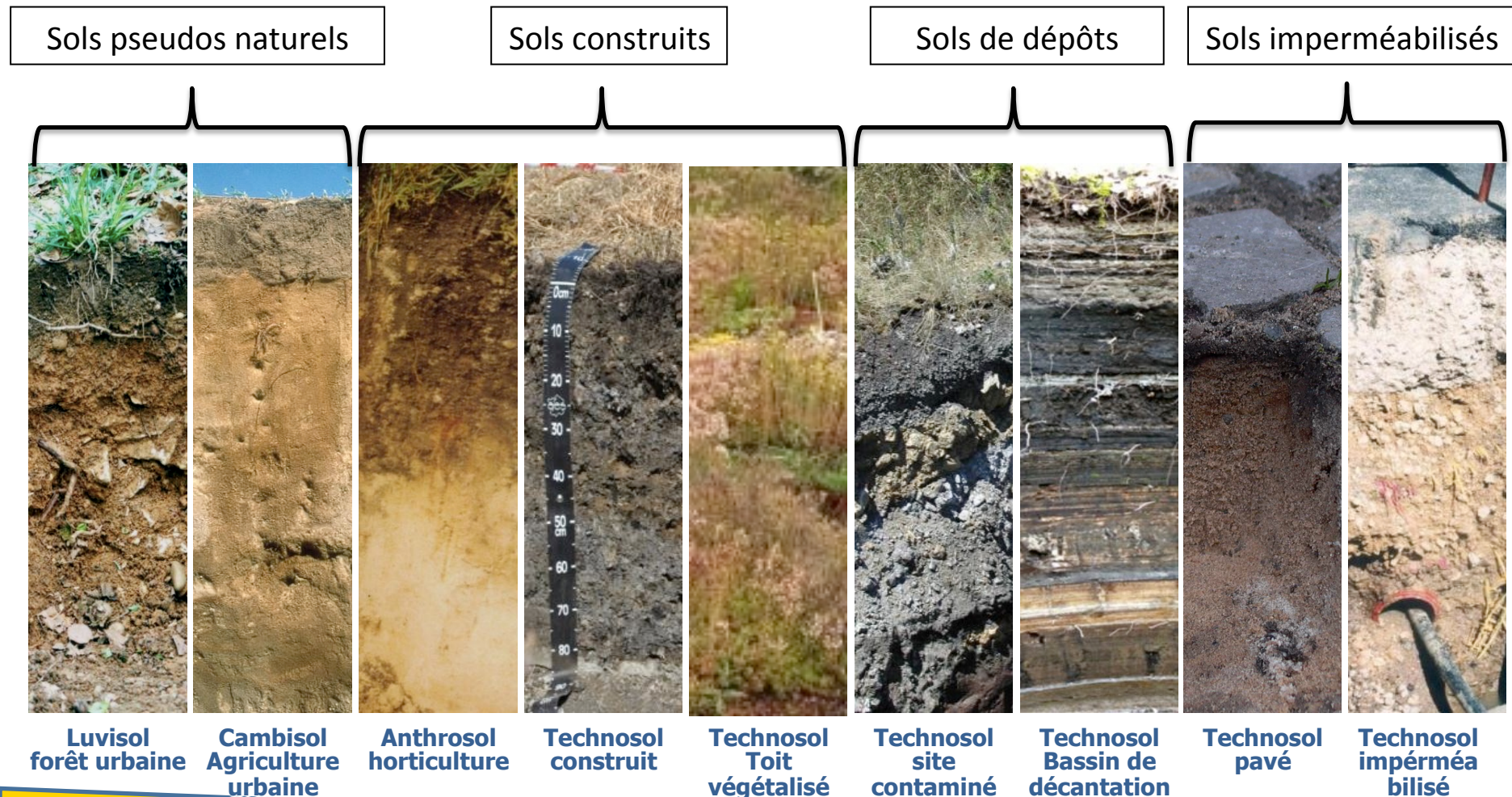
le cas des sols urbains et industriels

« SUITMAs » : Sols des zones urbaines, industrielles, de transport, minières et militaires



Influence humaine croissante

« SUITMAs » : Sols des zones urbaines, industrielles, de transport, minières et militaires

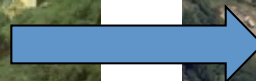
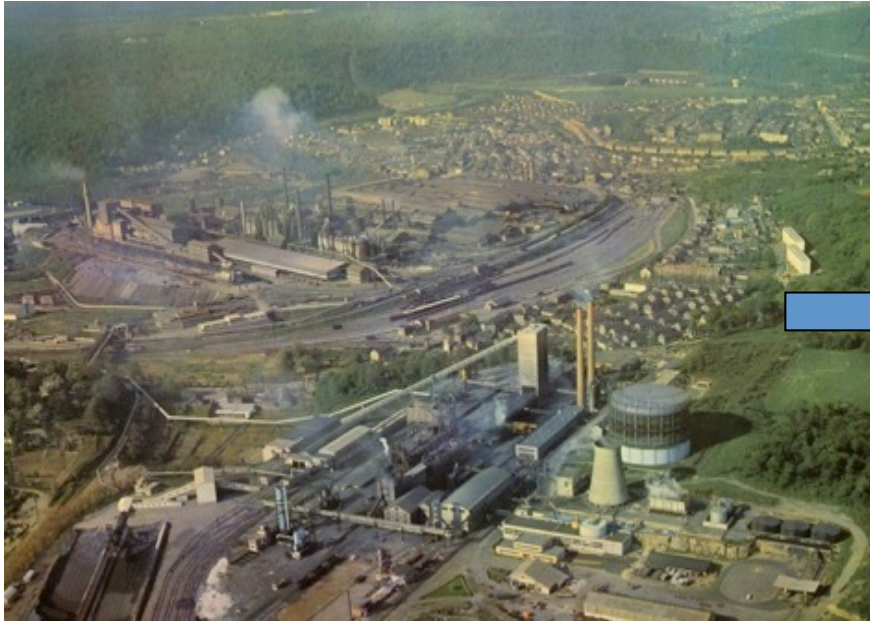


Services écosystémiques potentiels décroissants

Classification des services écosystémiques fournis par des sols urbains

Services écosystémiques		Sols urbains, sols contaminés			
Morel, Chenu, Lorenz. J. Soils and Sediments, 2015		Pseudo-naturels	Construits végétalisés	Sols de décharge	Imperméabilisés
Approvisionnement	Production alimentaire	++	++	o	o
	Production non alimentaire (bois, fibre, énergie)	+++	++	++	o
	Réservoir de minéraux	+	+	+++	o
	Fourniture d'eau	o	+	o	+++
	Support physique	+	0	+	+++
Régulation	Régulation des flux hydriques	+++	+++	++	+
	Prévention de l'érosion	++	+	++	o
	Atténuation de la pollution (eau)	++	+++	++	o
	Recyclage des déchets	+	+++	+++	o
	Régulation du climat global (GES, C)	+++	++	++	+
	Régulation du climat local	+++	++	+	o
	Purification de l'air	+++	++	+	o
	Réduction du bruit	++	+++	++	+
Culturels	Récréation (parcs, jardinage, tourisme)	+++	++	o	o
	Patrimoine archéologique	+	+	+++	++
	Paysage	++	+++	+	+
	Education	+++	+++	++	+
Fonctionnt écosystème	Réservoir de biodiversité	+++	+++	++	o
	Support de végétation	+++	+++	++	o

Exemple : recyclage des friches industrielles pour développer les services écosystémiques



• de délaissé (handicap) à ressource



- contrôle de la pollution du sol
- restauration des fonctions des sols
- production de biomasse à usage industriel

Services écosystémiques rendus par les friches industrielles délaissées



Services d'approvisionnement	Biomasse alimentaire
	Biomasse non alimentaire
	Réservoir de minéraux
	Eau douce
Services de régulation	Qualité de l'eau
	Inondations
	Atténuation de la pollution
	Climat global
	Climat local
	Biodiversité
	Espèces invasives
	Qualité de l'air
	Bruit
Services culturels	Loisirs/Tourisme
	Archives archéologiques
	Paysage
	Education

Ingénierie pédologique

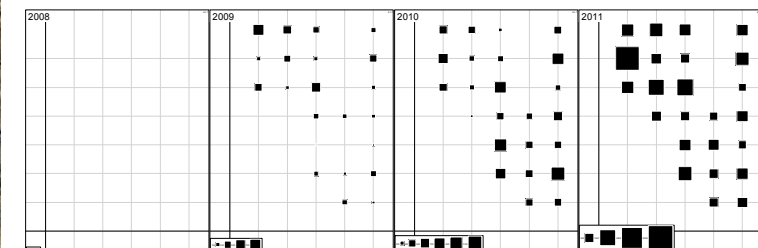
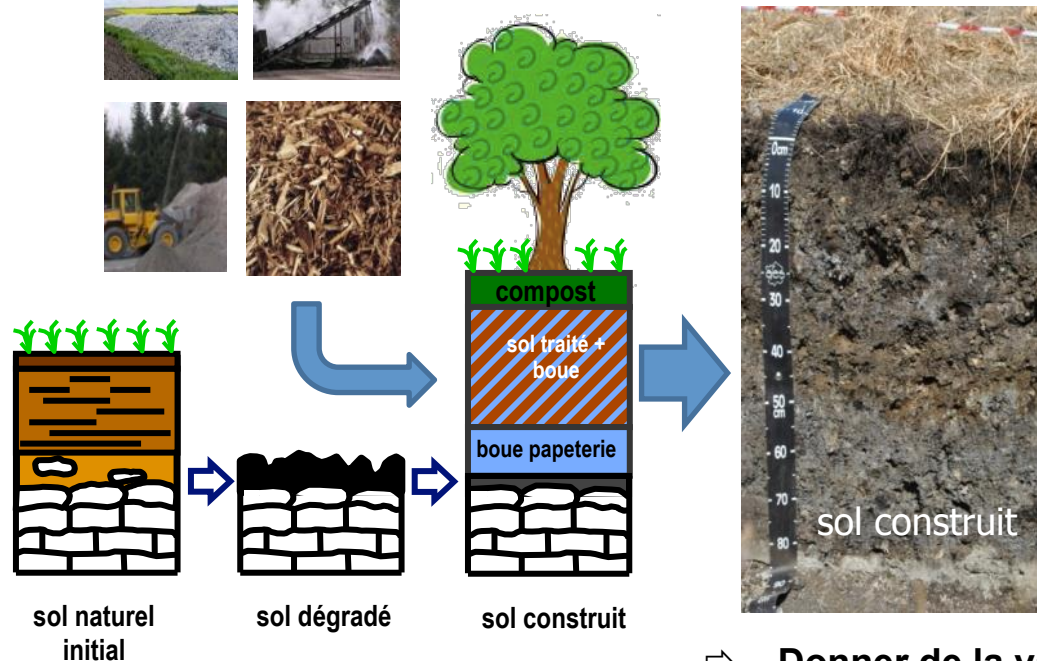
- ⇒ **Sols multifonctionnels pour assurer, dans la durée, une large gamme de services écosystémiques**
- ⇒ **Sols analogues aux sols naturels**
 - ⇒ **approvisionnement** (biomasse), **régulation** (eau, climat, biodiversité, stockage de C, valorisation des sous-produits urbains, protection du capital sol)



Friche industrielle



Après restauration de l'écosystème



Evolution de la faune du sol (vers, coléoptères)

- ⇒ **Donner de la valeur socio-économique aux sites dégradés**
(friches industrielles, décharges, bordures routières...)

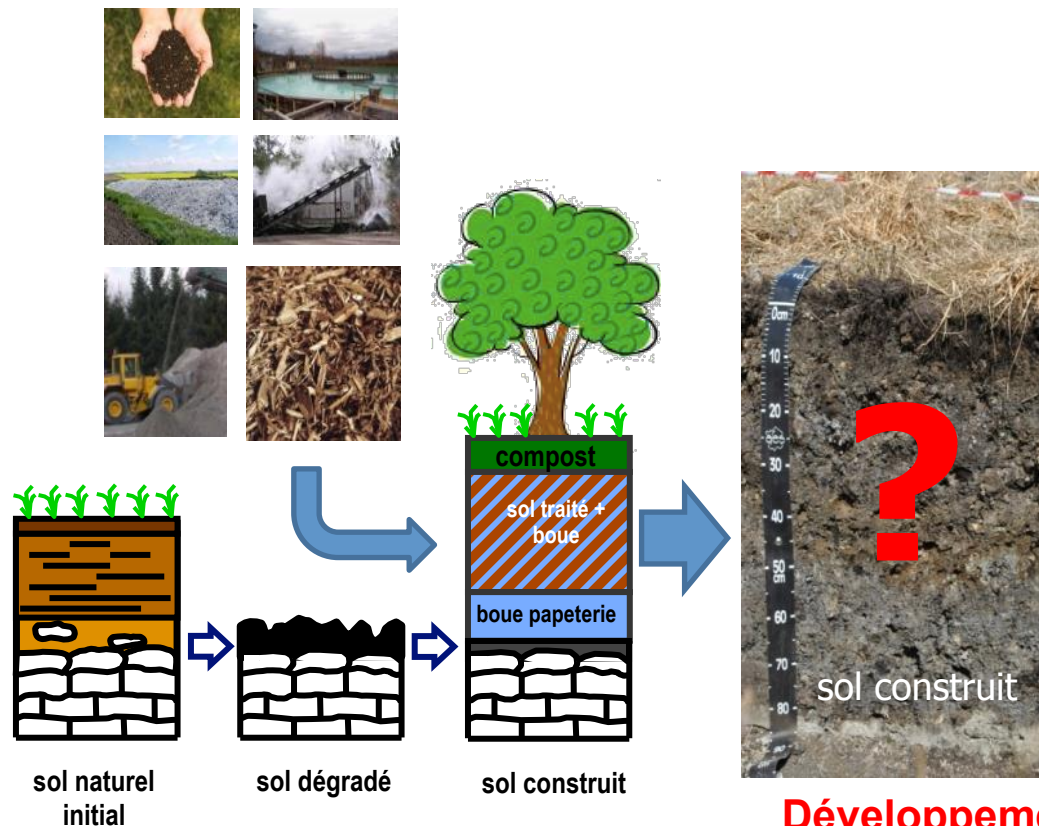
(Sere, 2007; Sere *et al.*, 2007, J. Soils Sed.)

Ingénierie pédologique

- ⇒ **Sols multifonctionnels pour assurer, dans la durée, une large gamme de services écosystémiques**
- ⇒ **Sols analogues aux sols naturels**
 - ⇒ **approvisionnement** (biomasse), **régulation** (eau, climat, biodiversité, stockage de C, valorisation des sous-produits urbains, protection du capital sol)



Friche industrielle



Développement des services d'approvisionnement
(biomasse, biodiversité, stockage C, gestion des déchets)

(Sere, 2007; Sere et al., 2007, J. Soils Sed.)

Service d'approvisionnement : cultures à vocation énergétique sur un sol de dépôts (des décennies d'épandage d'eaux usées, Pierrelaye Bessancourt)



Photo Isabelle Lamy

Miscanthus sur Pierrelaye/mai 08

Services d'approvisionnement: biomasse fibre/énergie & biomasse métaux (agromine)

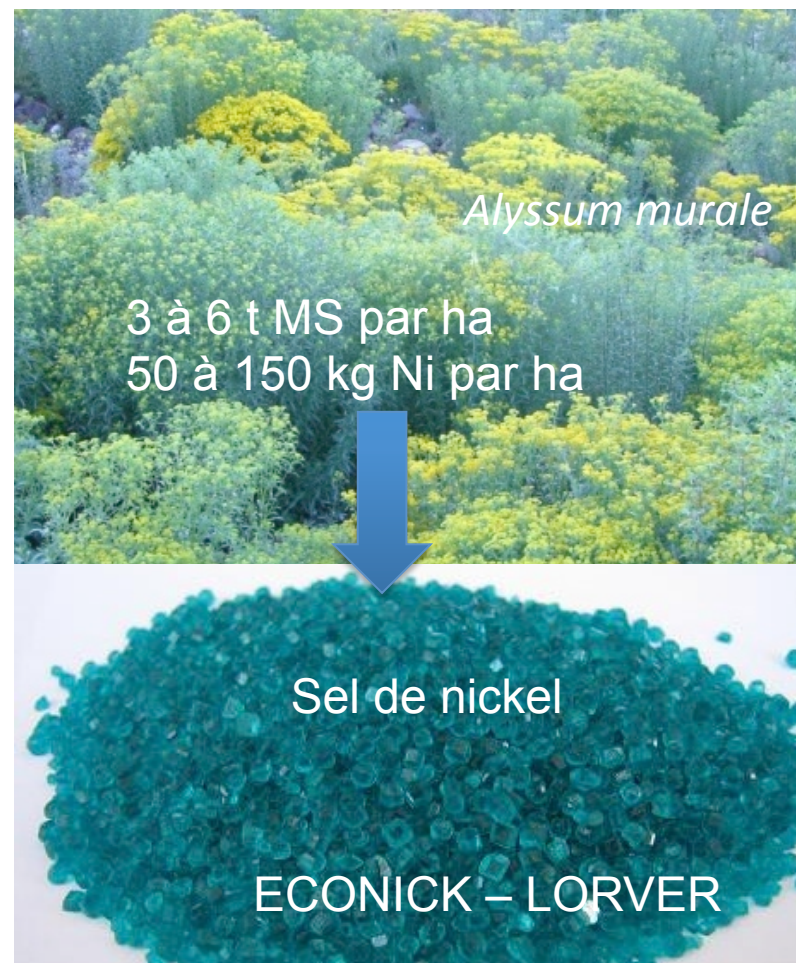
Biomasse à usage énergétique ou de fibre



<http://www.lorver.org/accueil/index.html>

<http://www.nancy.inra.fr/Toutes-les-actualites/Des-plantes-pour-l-extraction-des-metaux>

Agromine des métaux d'intérêt : le nickel



<http://www.agromine.org>

Services écosytémiques rendus par les friches industrielles



**après
restauration
écologique (pédologique)**

Services d'approvisionnement	Biomasse alimentaire
	Biomasse non alimentaire
	Réservoir de minéraux
	Eau douce
Services de régulation	Qualité de l'eau
	inondations
	Atténuation de la pollution
	Climat global
	Climat local
	Biodiversité
	Espèces invasives
	Qualité de l'air
	Bruit
Services culturels	Loisirs/Tourisme
	Archives archéologiques
	Paysage
	Education

Conclusion

- « Services écosystémiques » :
 - une nouvelle donne pour la gestion environnementale
- Aspects positifs:
 - Cohérence avec la gestion durable des écosystèmes
 - Démarche intégrative et pragmatique
 - Adhésion facile, bon outil de communication
- Limites
 - Anthropocentré, mal défini, mal évalué
 - Un vocabulaire encore flou (service/ fonctions, quels services), avec des mots (concepts) polysémiques
 - Des services très vastes et inégalement renseignés (héritage, support infrastructures..)
 - Evaluation, cartographie, compromis entre services
 - Vision utilitariste => Risques d'une gestion à court terme
- Importance de l'ingénierie du sol
 - Les choix de gestion devraient être orientés vers le développement des services écosystémiques
 - développement de technologies appropriées