Complexité des écosystèmes sols :

moyens pragmatiques d'y faire face
entre savoirs scientifiques, savoir-faire des professionnels
et flou artistique…

Camille DUMAT & Eva SCHRECK

Institut d'Études des Systèmes Complexes de Toulouse

Ma carte mentale du sol…

Cycles biogéochimiques
Services écosystémiques
Agroécologie

Inter/transdisciplinarité
Réglementation
Normes

Terrains :
Jardins collectifs
Exploitations agricoles
(maraichage, vigne)
Sites industriels

Objectifs :
Recherche-Formation-
Développement.
Vulgarisation scientifique.

Gestion des risques
environnementaux
et sanitaires

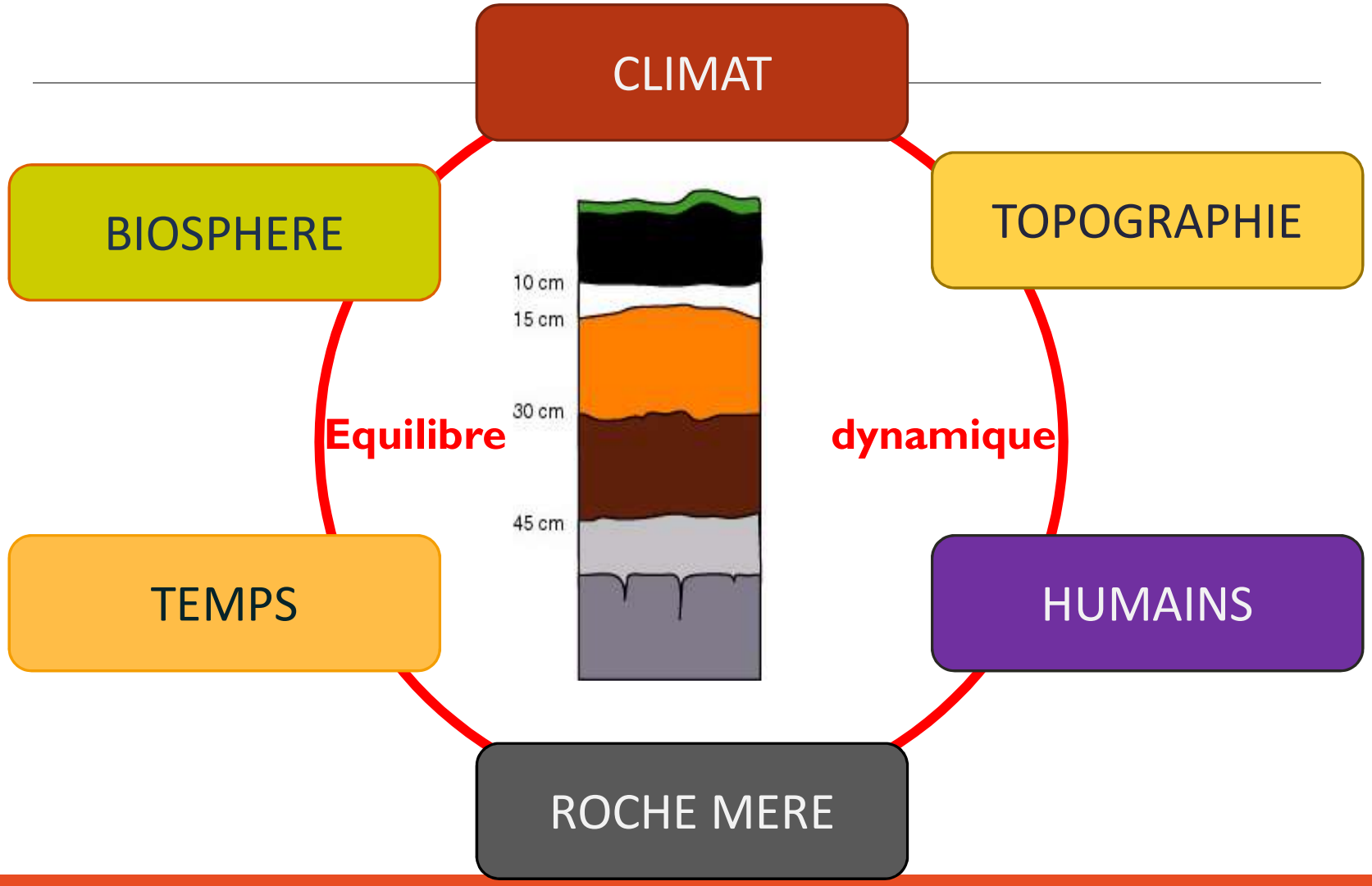
Collaborations :
Chercheurs (biogéochimie)
Agences (ARS, Ademe…)
Associations et élus…

Alimentation durable
Agricultures urbaines
Sciences & Société
Scénarios, pratiques…

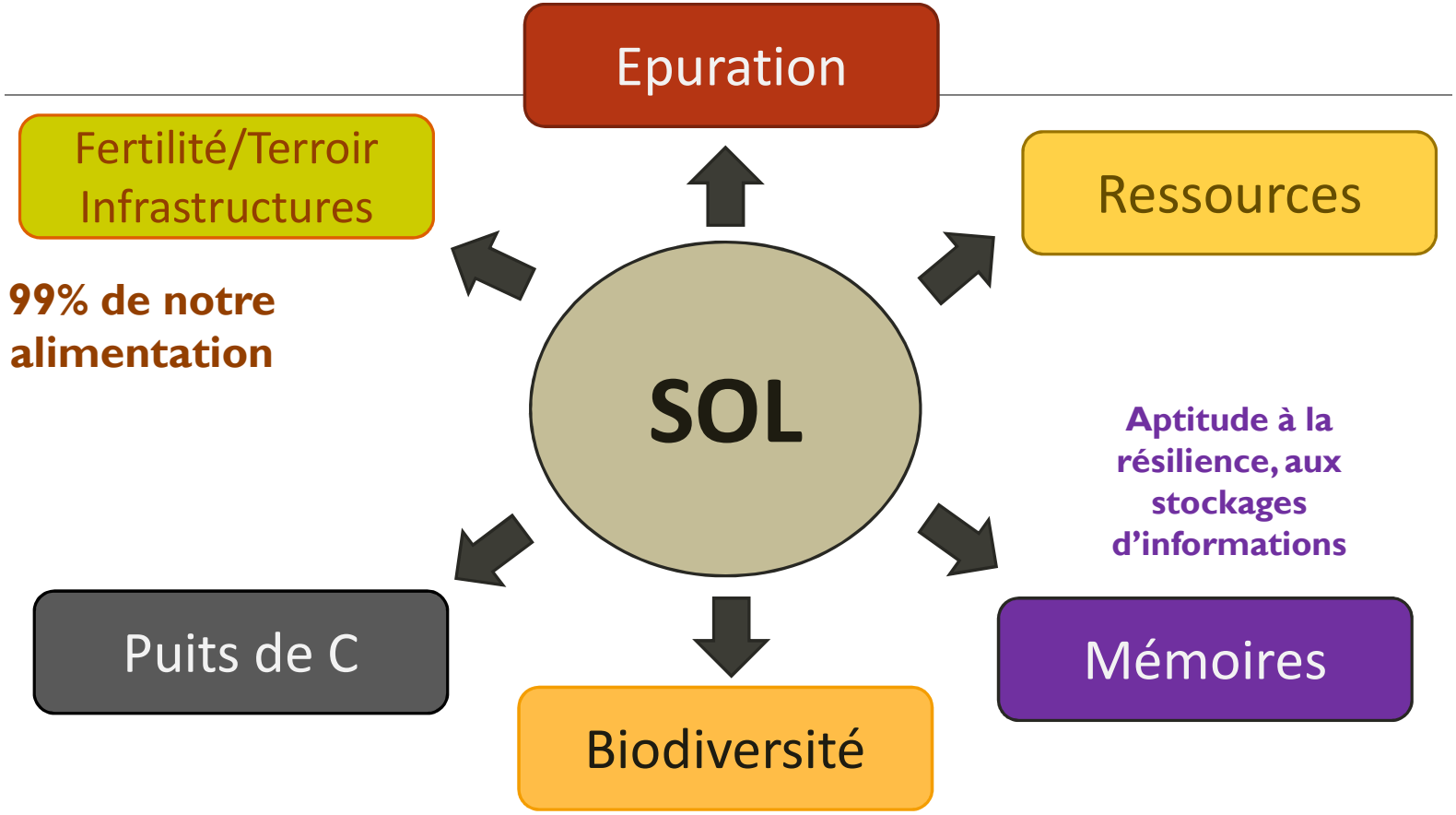
Le Sol ? milieu complexe !

- **Ecosystème complexe**, à l'**interface** d'autres milieux (atmosphère, hydrosphère et lithosphère).
- Milieu **très hétérogène**.
- **Nombreuses interactions au sein du sol** entre les constituants du sol (MO, argiles, oxydes…), les nombreux organismes vivants, les substances nutritives (N, P, K, C…) et les polluants (pesticides, métaux, hydrocarbures…).

Les multiples facteurs de formation des sols



Les sols : porteurs de diverses fonctions indispensables à notre survie



→ Nécessité de mieux les connaître et les préserver !

Définition de la qualité d'un sol ?

2 notions: qualité agronomique et qualité environnementale

Aptitude d'un sol à remplir ses fonctions de production agricole ou écologique et sa résilience (capacité à se rétablir à la suite d'un stress).

Composantes biologiques (bioindicateurs, tels que vers de terre)

et sa **fertilité** en regard des cultures qui peuvent y pousser (rendement).

→Comparaison à un état idéal, qui varie selon la zone biogéographique, l'altitude et le contexte considérés.

→Evaluation des risques environnementaux

→On différencie les impacts de polluants biodégradables (pesticides, nitrates) de polluants non dégradables (ETM) + voies de dissémination et synergies.

On peut faire un parallèle entre la santé du sol et la santé humaine (Dumat, 2015 Réseau-Agriville).

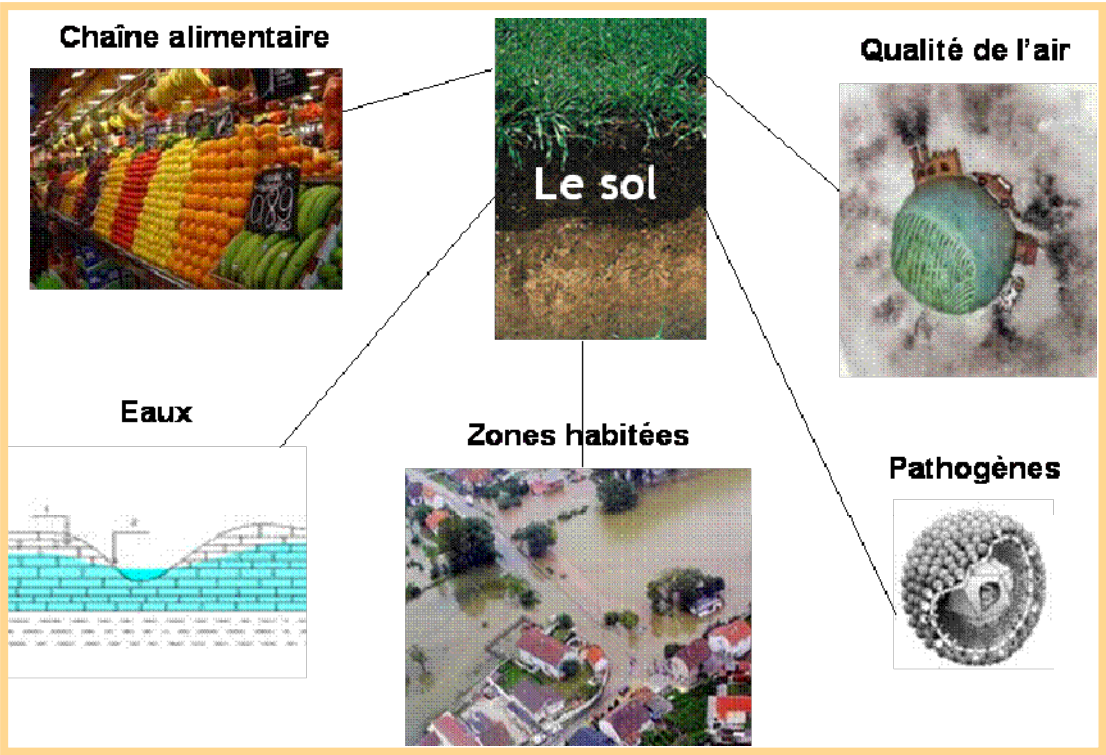
Lorsqu'il se sent malade, un humain consulte son médecin qui va:

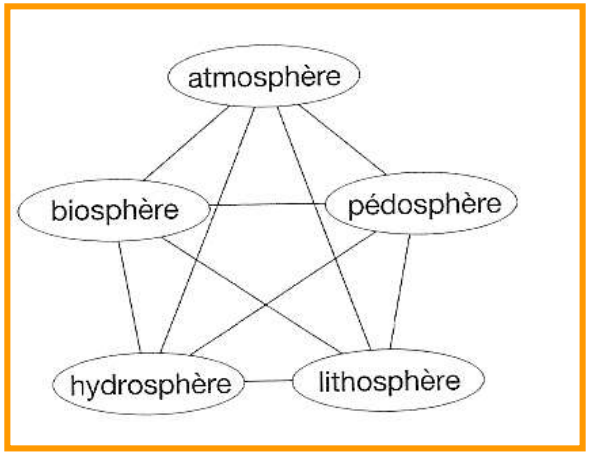
(i) l'interroger (symptômes, alimentation, sommeil?);

(ii) le peser, prendre sa tension, l'ausculter, etc. A partir de différentes mesures et d'une discussion, le médecin conseille un traitement.

Pour évaluer la qualité d'un sol, un conseiller agricole : (a) réalise des observations de terrain, (b) envoie des échantillons de terre fine au laboratoire pour la mesure de quelques paramètres simples (pH, texture, teneur en matières organiques….) et (c) questionne l'agriculteur sur ses pratiques (quels apports, quelle gestion des résidus de culture…). **Il classe le sol selon une typologie** (ex. acide, sableux, pauvre en P…) et compare les valeurs mesurées pour ce sol aux valeurs de références régionales (déterminées par des essais).

Usages – Services écosystèmiques - Interactions





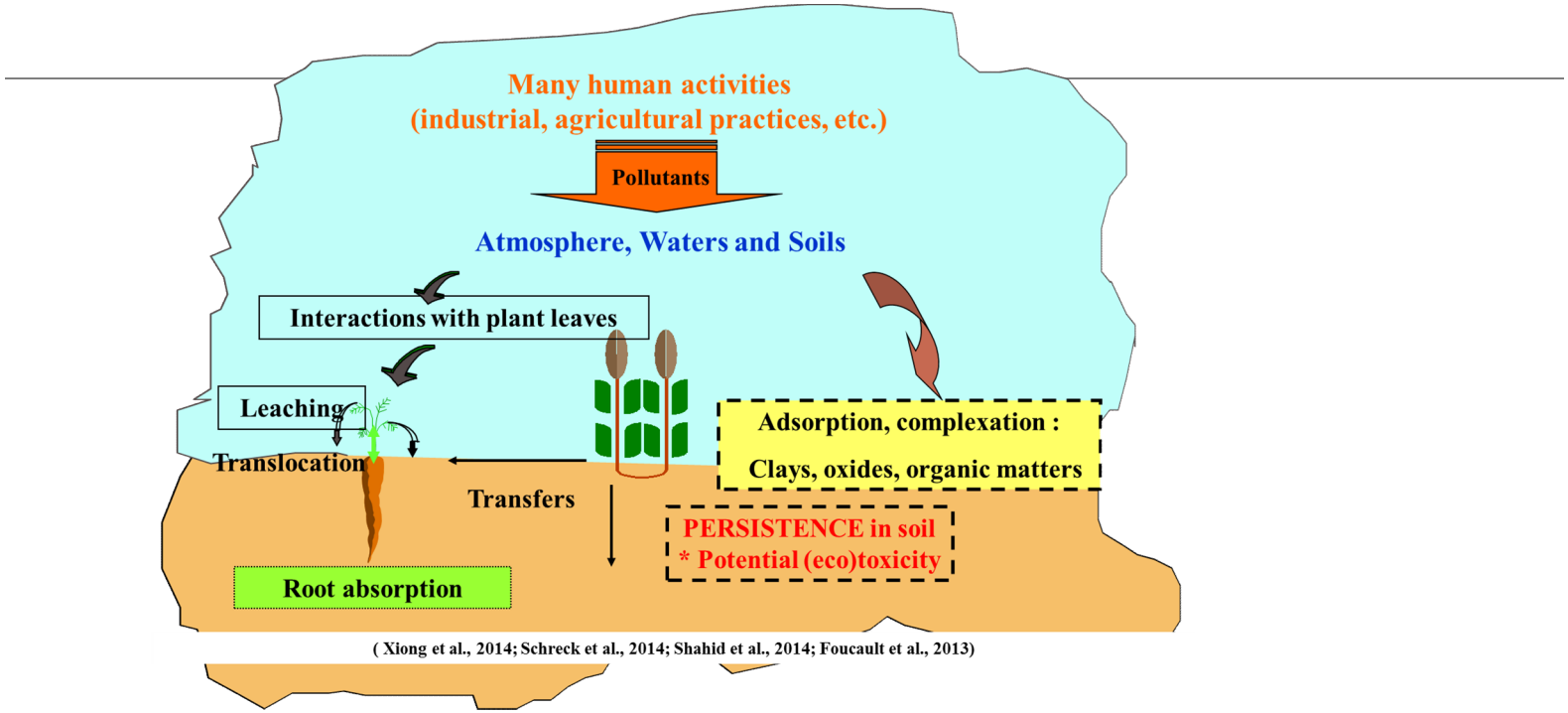
- Services écosystémiques : quels sont ceux à privilégier ?
- Interprétation Etat des médias (IEM) / Usage? - Politique ↔ Espace public

Arbitrage entre les diverses qualités des sols!

- Qualité agronomique et autres qualités … De quoi parlons-nous? Ecosystèmes complexes.
- Continuum / critères mesurés et observés.
- Comme pour la santé humaine, arbitrage coûts-bénéfices.

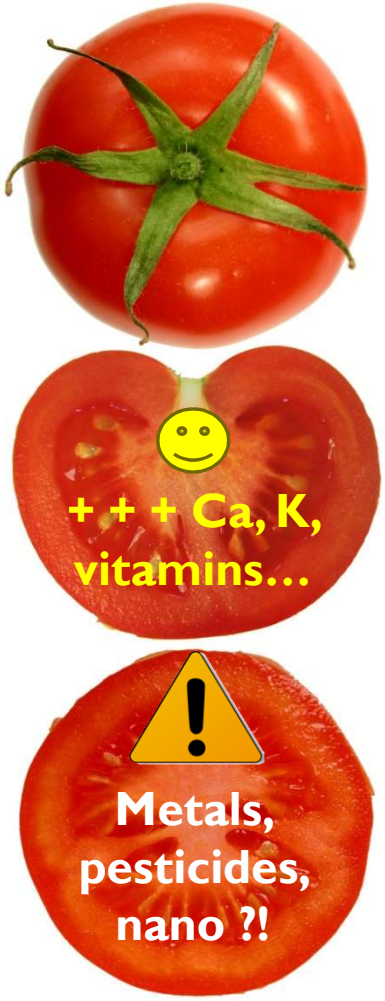
+ Mesures et observations
→ + savoir scientifique.
Mais, ↑ budget, t nécessaire !
REX - Réglementation - "MOOC"

L'artificialisation continue du sol réduit la superficie cultivée (490 000 hectares perdus, de 2006 à 2014 en France). En outre, la pollution de l'environnement est souvent observée → (écotoxicité).



Ecosystèmes complexes : sol-plante-atmosphère-nutriments et polluants ...
De nombreuses interactions!
Communiquer pédagogiquement et collectivement, développer des outils opérationnels, des procédures et des règlements opérationnels. Réseau-Agriville

Attentes des agriculteurs/consommateurs : des légumes de qualité !



- **Production de biomasse élevée.**
- **Productions savoureuses.**
- **Diverses apports nutritionnels.**
- **Et bien sûr, pas de polluants!**

-Ce qu'il faut chercher?
Histoire, bases de données

-Règlements?
Ex. denrées alimentaires Cd, Pb, Hg et pas As…AB sur sol pollué…
Coupler Agro-écologie et gestion des risques !!!

-Crématorium non ICPE…

MO des sols : complexes, réactives et multifacettes…

- **Complexes**: diverses origines; dynamiques car sujettes à de nombreuses réactions « biogéochimiques » dans le sols (minéralisation/humification; adsorption; complexation…) / les réactions dépendent du type de sol, du climat….

- **Réactives:** CAH (CEC), liaisons hydrophobes (résidus liés), nombreuses interactions avec les organismes vivants du sol (biodégradées, CAH, complexation…).

- **Multifacettes/Multifonctionnelles:** engrais, amendements, support de la fertilité biologique du sol, fixation des polluants…

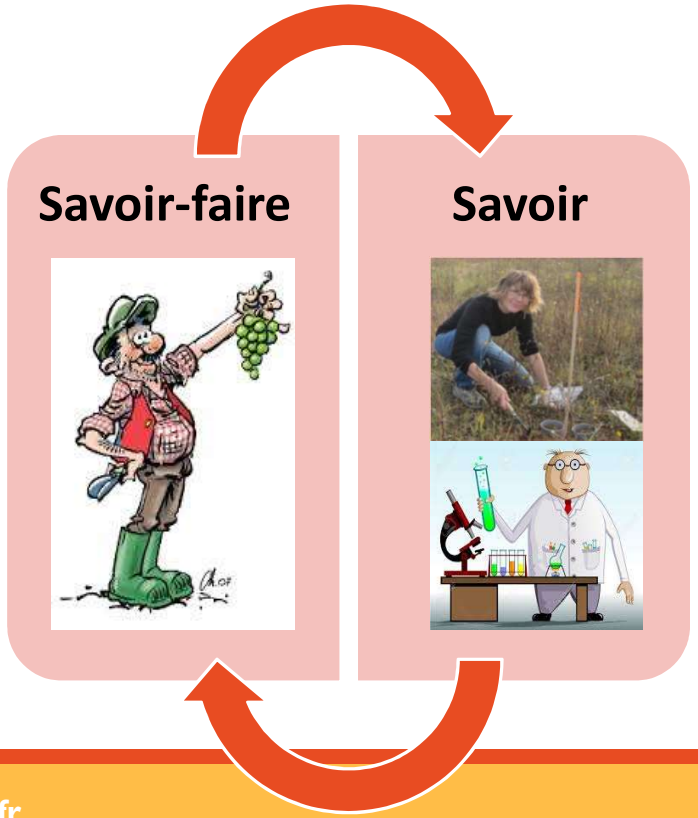
Projet de recherche
en cours au CERTOP
Sur les MO et valorisation.

Des synergies à créer: échanger, se comprendre, collaborer….

Le chercheur caractérise finement les MO (Py-GS-MS, fractionnement…), étudie leurs réactivité (adsorption, complexation…).

L'agriculteur souhaite favoriser les services écosystémiques du sol de façon opérationnelle.

Enjeux de l'articulation Savoir-faire & Savoir !



camille.dumat@ensat.fr

Grand nombre de MO fraîches différentes :

fumiers, composts, bois de taille…

bandes enherbées, plantes engrais verts variées

Le bois de taille doit être broyé avant d'être incorporé au sol.

Un compost préparé.

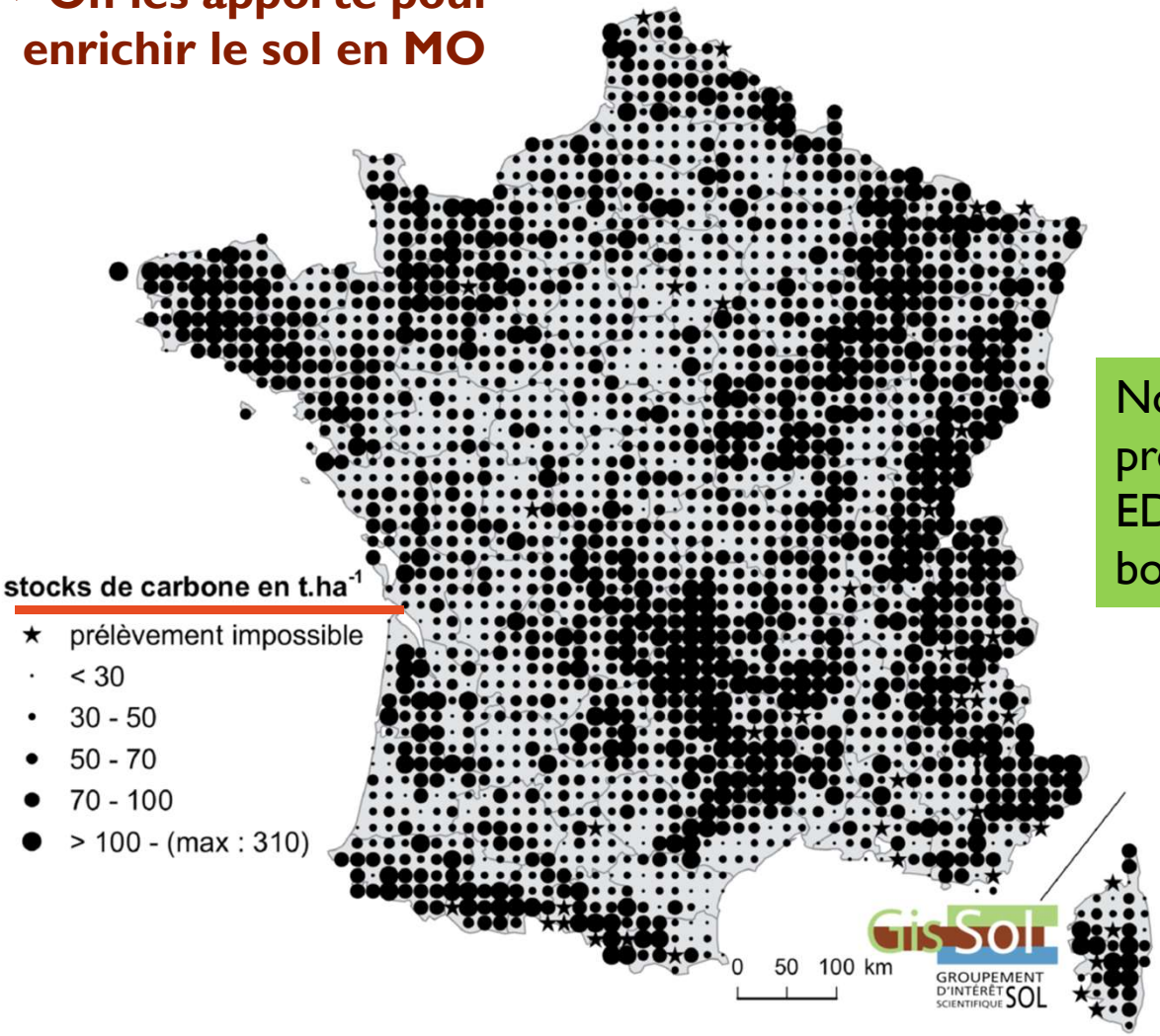
Semis de moutarde (albus mat.)

Diplotaxis : un engrais vert spontané couramment rencontré. Son impact paysager est à noter.

Avant plantation, il est intéressant de cultiver un engrais vert en plus de l'apport de compost (ici mélange tournesol – sarrasin)

Le stock de carbone organique dans les 30 premiers centimètres des sols de France métropolitaine

- **On les apporte pour enrichir le sol en MO**



Source : Gis Sol, RMQS, 2010 ; IGN, Geofla®, 2006.

Nombreuses publications sur projets de recherche Véolia, EDF, etc. → valorisation des boues de STEP

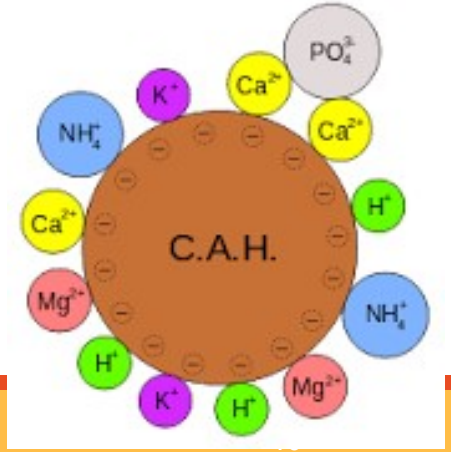
Rôles variés des MOS selon leur nature…

L'action sur le sol dépend du type de MO fraiche apportée, cependant ce lien entre nature et réactivité n'est pas si simple… Des phénomènes d'interaction…

Un vocabulaire très varié et qui peut parfois entrainer des confusions…

Fertilité chimique/biologique/physique des MOS ou rôles d'engrais/support de l'activité bio/amendement. Influence paradoxale des MOS / polluants (accumulation).

Comment prendre en compte la dynamique des MO, comment les caractériser de façon opérationnelle…



	Action	Bénéfice
Rôle physique = cohésion	Structure, porosité	- pénétration de l'eau - stockage de l'eau - limitation de l'hydromorphie - limitation du ruissellement - limitation de l'érosion - limitation du tassement /compactage - réchauffement
	Rétention en eau	- meilleure alimentation hydrique
Rôle biologique = énergisant	Stimulation de l'activité biologique (vers de terre, biomasse microbienne)	- dégradation, minéralisation, réorganisation, humification - aération - croissance des racines
Rôle chimique = nutritif	Dégradation, minéralisation	- fournitures d'éléments minéraux (N, P, K, oligo-éléments…)
	CEC	- stockage et disponibilité des éléments minéraux
	Complexation ETM	- limitation des toxicités (Cu par exemple)
	Rétention des micropolluants organiques et des pesticides	- qualité de l'eau

Rôles des matières organiques

Caractéristiques de quelques sources d'humus

(K1 : coefficient d'humification, approche simplifiée....)

Nature	K1	M.O.S. (%)	Apport d'humus par tonne de produit frais	C/N
Fumier bien décomposé	0,50	20	100 kg	12-15
Fumier moyennement décomposé	0,40	22	88 kg	15-20
Fumier non décomposé	0,25	20	40 kg	15-20
Fumier pailleux non décomposé	0,25	25	60 kg	25-30
Paille sèche	0,15	85	175 kg	50-80
Marc de raisin composté	0,3	35	105 kg	30-40

(Teneur en matière organique, exprimée en % de matière sèche par rapport au poids brut).

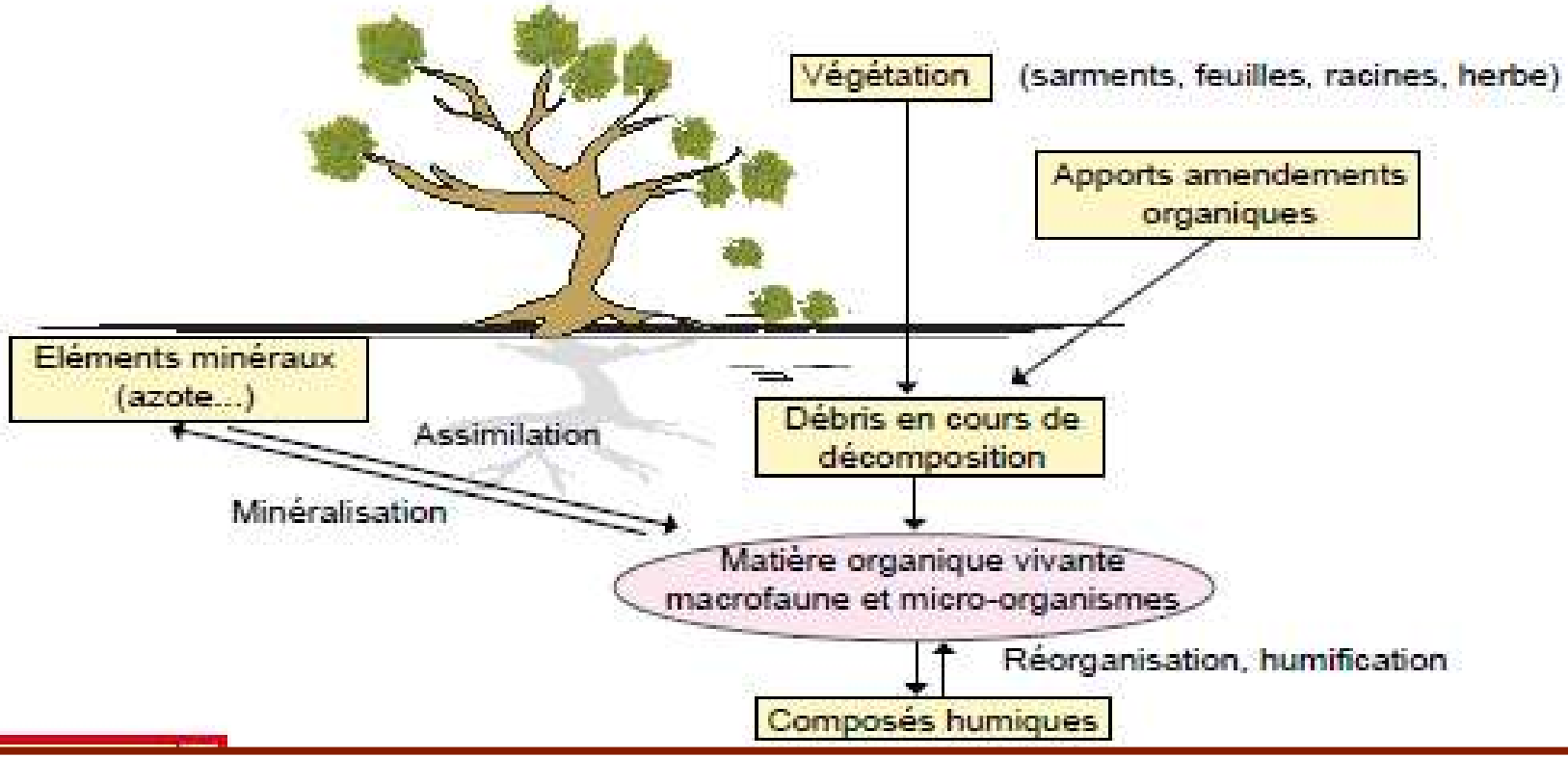
Une approche plus DYNAMIQUE :

- **Indice ISMO** permettant de caractériser la stabilité de la matière organique a remplacé l'ISB/CBM, qui s'avérait obsolète, au regard de la multiplicité des produits organiques mis sur le marché.
- Norme expérimentale XP U 44-162 **«Caractérisation de la matière organique par fractionnement biochimique et estimation de sa stabilité biologique »** *(ISMO).*
- **LES FRACTIONS :** Soluble à l'eau bouillante (EAU) / Soluble à l'eau bouillante + réactif NDF (SOL) / Equivalente hémicellulose (HEM) / Equivalente cellulose (CEW)/ Equivalente lignine + cutine (LIC) / C minéralisé en 3 jours d'incubations (Ct3).

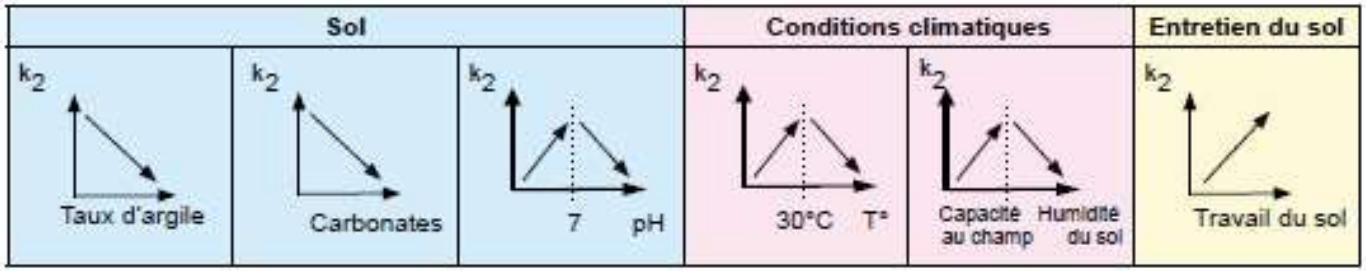
Mais plus complexe……

Evolution simplifiée des matières organiques

▸ **Nombreux modèles…Ex. « Cd/engrais phosphatés » ANSES**



Evolution du coefficient de minéralisation en fonction des différents paramètres du milieu



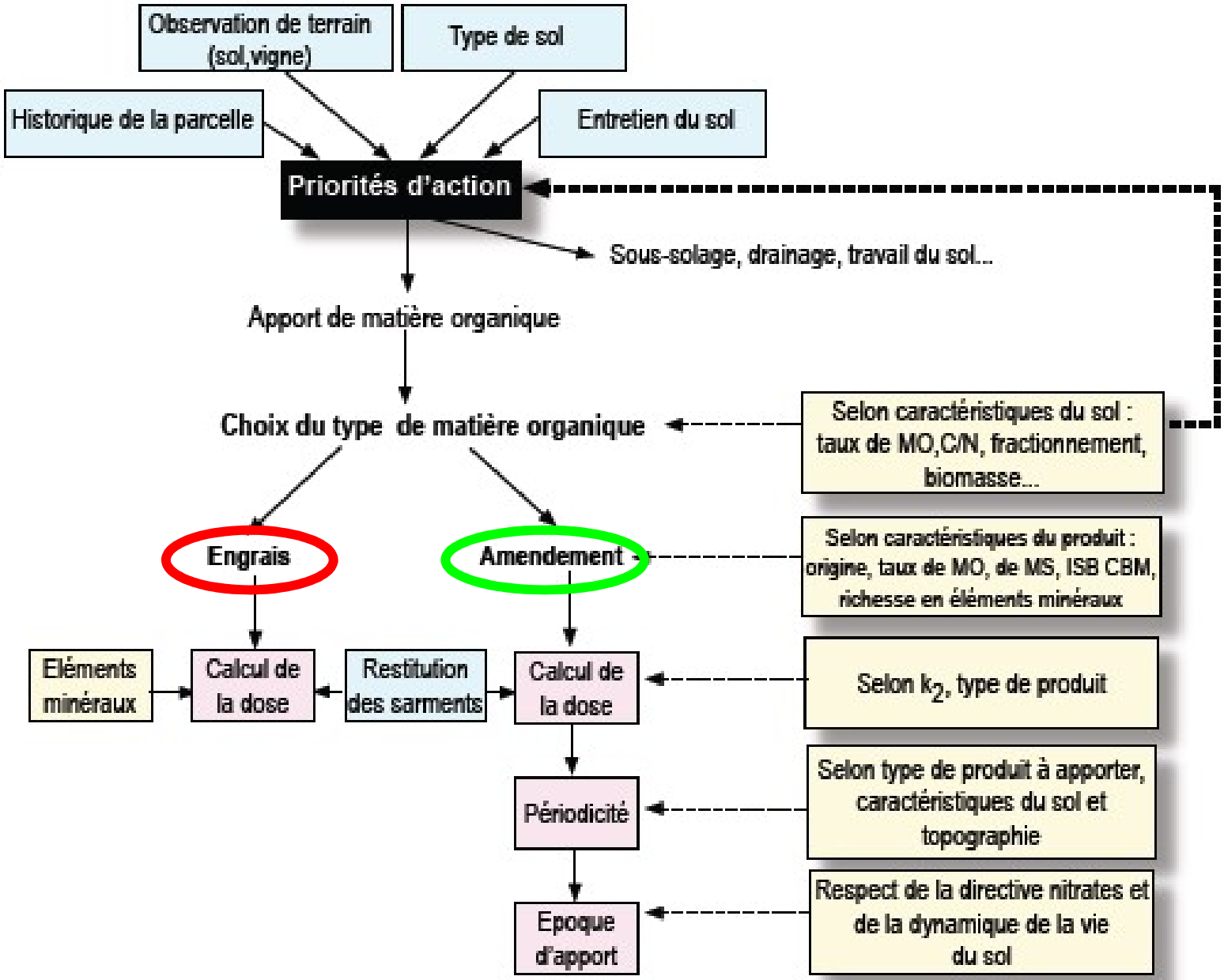
Choix: nature de MO, qualité, quantité, quand et comment apporter au sol…

Choix selon **l'objectif prioritaire de l'agriculteur** : lutte contre l'érosion, apports d'éléments nutritifs pour la vigne….

Des **incertitudes** à gérer car finalement peu de données récentes, très fiables sont disponibles…

Des thèses, **des méthodes analytiques sophistiquées pour analyser les MO et étudier leur réactivité**…mais couteuses (temps et prix)….donc en routine les agriculteurs ne vont utiliser qu'une petite fraction de ces travaux de recherche…Les méthodes les plus fonctionnelles!

Principe de raisonnement de la gestion des matières organiques du sol



-Une tentative de synthèse d'informations (vocabulaire/mécanismes)-

(Dumat, 2016)

V-minéral. faible.
ISMO élevé.
MO liée.

STABILITE

Type de MOS	**Rôles**	
▸ *MOS très stables* Black carbon Biochars Substances humiques	Amendements (Indice de battance ↓) Adsorbants Catalyseurs	- **Faible accessibilité des MOS** : protection par les argiles; faible travail du sol… - **Conditions BioPhysicoChimiques défavorables à l'activité des microorganismes du sol :** pH très acide ou basique, sol saturé en eau (conditions redox, manque d'O_2) ou trop sec, T extrêmes, pollutions (écotoxicité), sol pauvre en MOS…

Ces informations sur les MO sont trop souvent « statiques ».

→ Mesurer l'activité des µorganismes, permet d'estimer la dynamique des MO qui est fonction du pH, texture, climat…

La réactivité biologique du sol

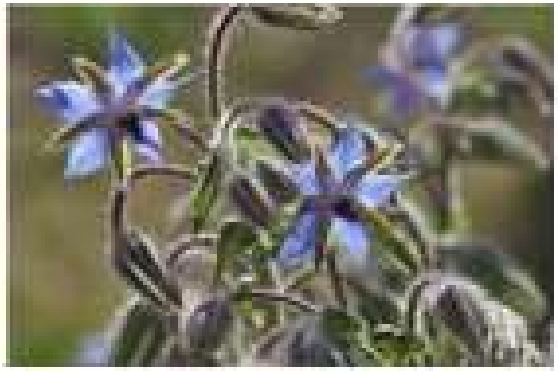
Le bilan humique est complémentaire…

V-minéral. élevée.
ISMO faible.
MO libre.

▸ *MOS rapidement dégradée* « LWOC »	Engrais Éliciteurs	**-Forte accessibilité des MOS :** texture grossière du sol; travail intense du sol… **-Travail favorisé des µorganismes :** pH ≈ 7, sol aéré, humide, réchauffé, non pollué, riche en MOS…

Plantes engrais verts , couverts végétaux :

Autre stratégie → Accompagnement aux changements de pratiques !



Bourrache (mellifères, repousse les mollusques, étouffe les mauvaises herbes).

Trèfle blanc (Légumineuse, étouffe les mauvaises herbes)

Moutarde blanche (Crucifère qui étouffe les mauvaises herbes et enrichi le sol)

PHACELIE (étouffe les mauvaises herbes, lutte contre les nématodes).

TANAISIE (nettoie et assainit le sol)

SAINFOIN (légumineuse, et attire les abeilles

Nos amis les vers de terre ?

Petite taille (1-3 cm)
Surface
Vers de compost

Épigés

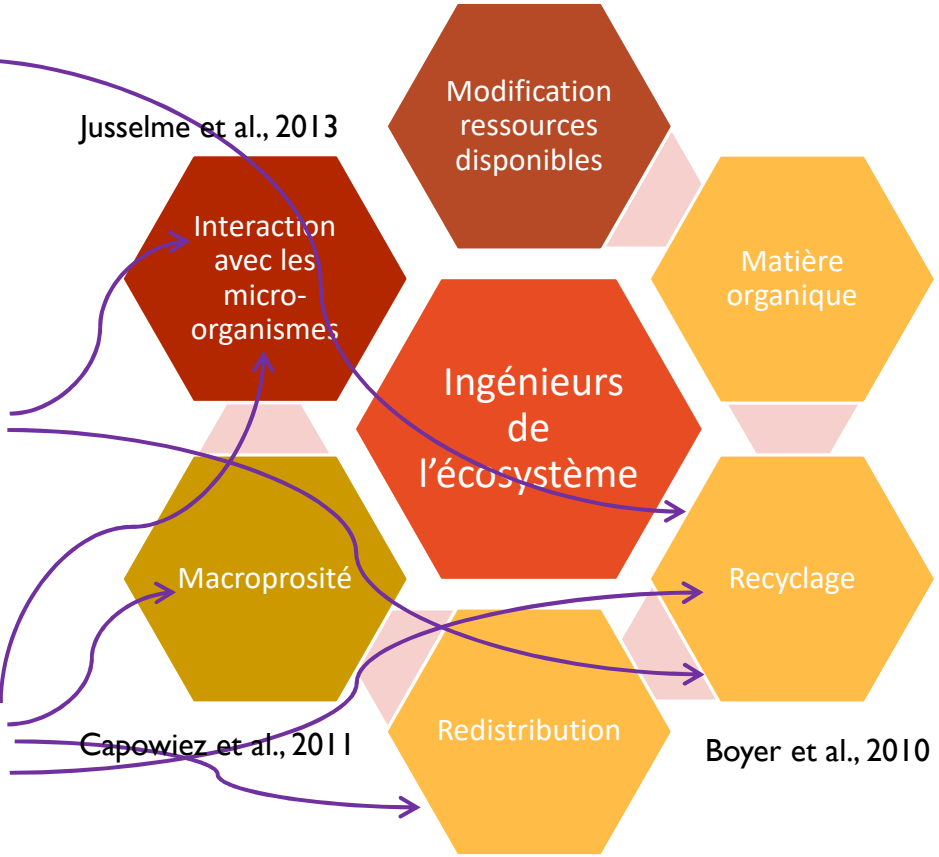
Taille moyenne (1-20 cm)
Dans le sol

Endogés

Grande taille (10-110 cm)
Surface et sol

Anéciques

Cycles biogéochimiques



Jusselme et al., 2013

Capowiez et al., 2011

Boyer et al., 2010

Impact des ETM sur les vers de terre

Mésocosmes

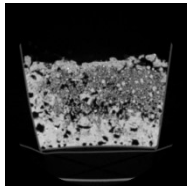
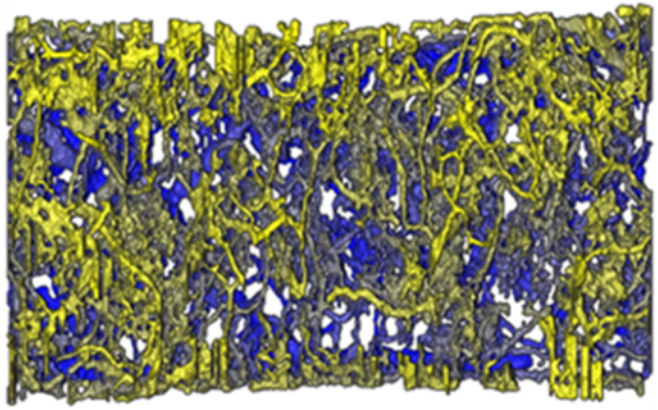
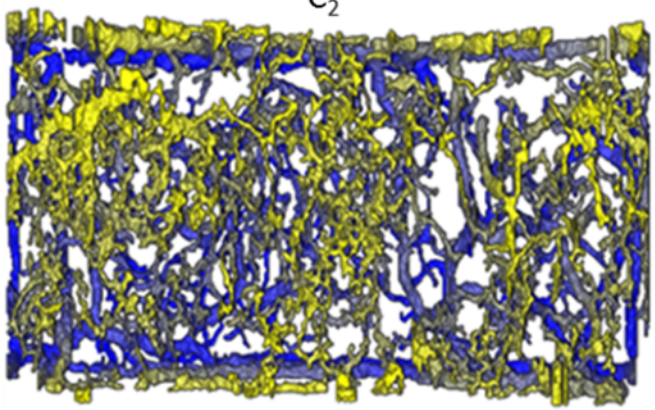


Image J

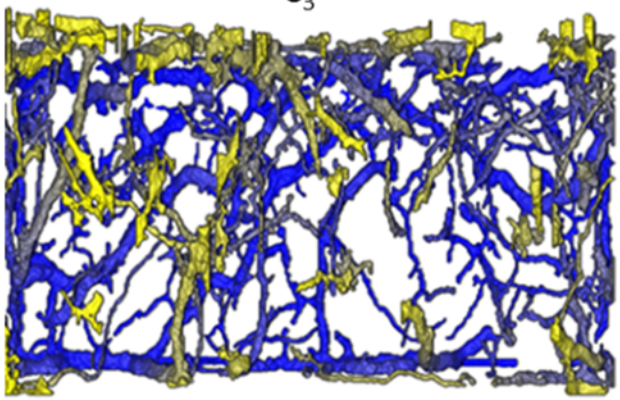
Control



C_2

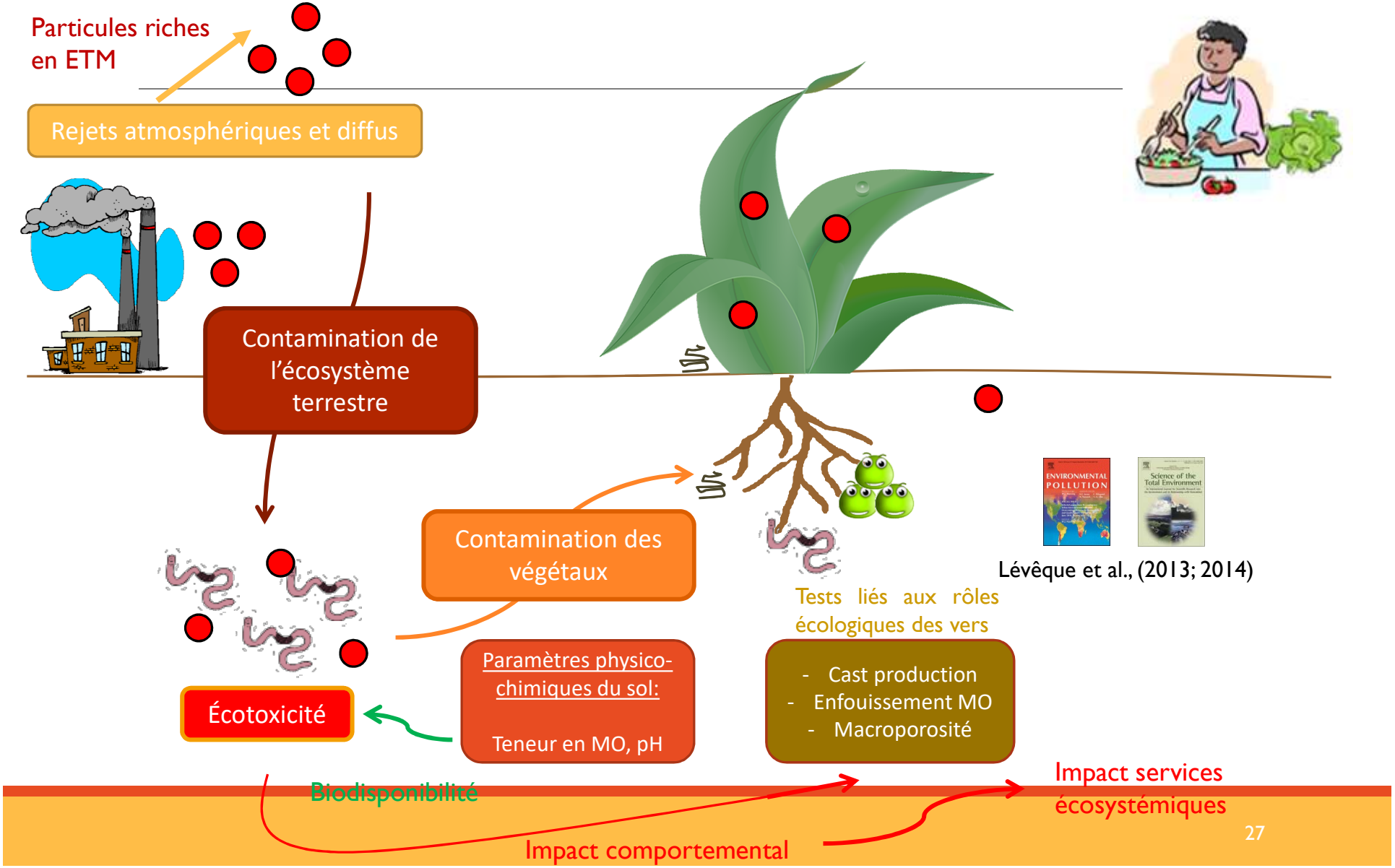


C_3



- Impact sur l'activité de bioturbation et de création de macroporosité

Impact des ETM sur les vers de terre



Lévêque et al., (2013; 2014)

Interactions connaissances & savoir-faire; Transdisciplinarité.

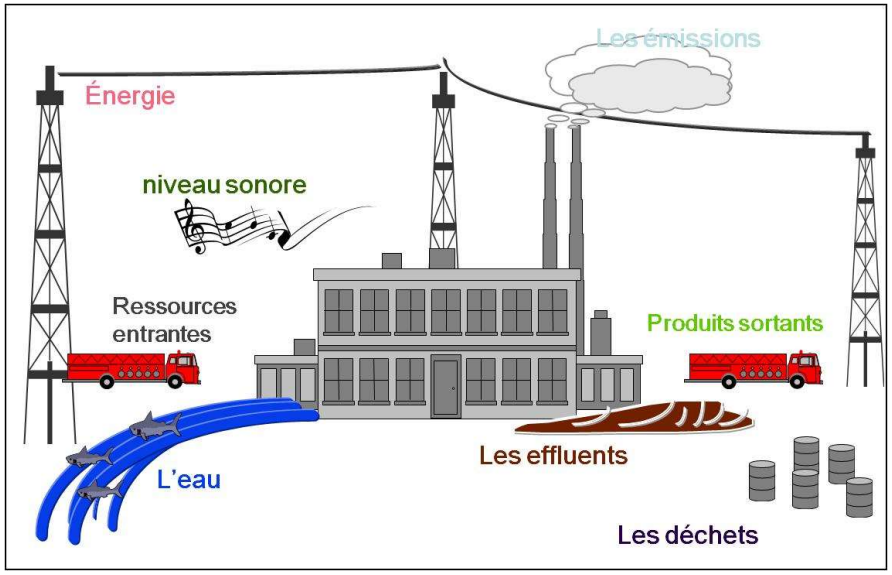
- "Avec des si, on met Paris en bouteille!" ...?
- Complexité ↔ Simplexité

- Approche par compétence!

- Interactions respectueuses → synergies [chercheur et agriculteur]

Régulation intégrée?
Expertise scientifique collective

- ICPE / protection des sols.
- Mais en réalité: il y a aussi du lobbying, des lacunes dans les connaissances ...
- Les moyens d'amélioration continue et les critères pour vérifier les progrès.



Qui utilise, exploite, peut entretenir les sols ?

Les agriculteurs - Les industriels - Les jardiniers – **NOUS !**

Entretenir et Restaurer la qualité des sols.

Accroitre nos connaissances collectives.

- Agroécologie.
- Gestion multicritère.

Réglementation (ICPE, loi cadre?)

Pratiques durables :
- Engrais verts,
- Phytoremédiation.

Conclusions et Perspectives :

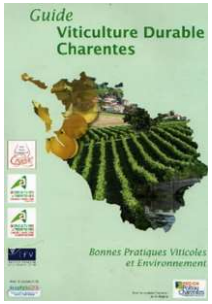
Une amélioration continue pour favoriser des pratiques durables…

Ex. VITICULTEUR

- Des plantes engrais verts : améliorer les paramétres biogéochimiques du sol.
- Suivi des vers de terre…
- Des apports de MO fraiches de qualité raisonnés à partir des analyses.
- Sensibilisation à l'(éco)toxicité de certaines substances; Persistance, Phytodisponibilité…

CHERCHEUR

- Sciences et société !
- Développer des tests simples et opérationnels.
- Revoir les tests de terrain pour affiner les valeurs de référence.
- Un vocabulaire, des schémas réactualisés….



Heterogeneous, dynamic, complex ecosystems

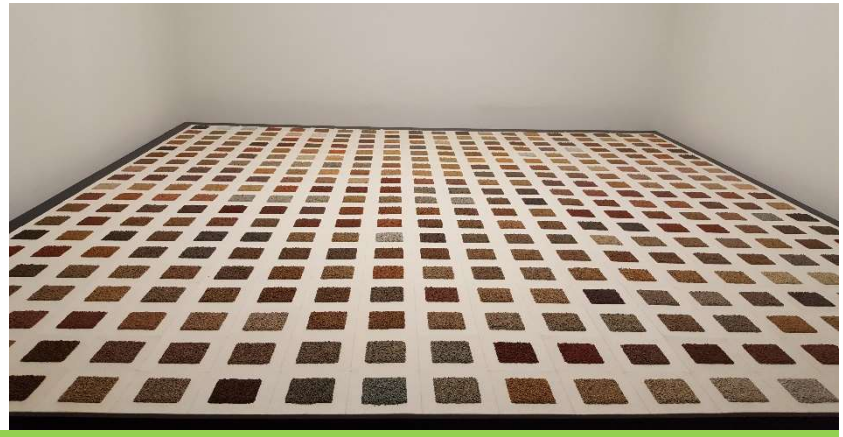
Crucial functions:
water quality,
biogeochemical cycles...

Deciding on future soil uses according to characteristics. Limiting degradation and increasing fertility!

Je ne suis pas qu'un matériau inerte
avec une structure fractale !
Je suis avant tout un écosystème
complexe et vivant…..

Avec une gestion durable
(agro-écologique et sans pollution)
je donne le meilleur de moi-même !
Ex. jardins de la Roche/Yon…

Exposition au Grand Palais 2017



(Koichi Kurita, 1962)

(Dumat, 2017)

Pour aller plus loin

Des sols pour la sécurité alimentaire et le climat. Initiative « 4 pour 1000» propose d'améliorer la teneur en matières organiques et d'encourager la séquestration de carbone dans les sols, à travers la mise en œuvre de pratiques agricoles et forestières. http://www.inra.fr/Grand-public/Rechauffement-climatique/Tous-les-magazines/Quatre-pour-1000.-Stockage-du-carbone-dans-le-sol

Sols fertiles, vies secrètes. Exposition 2014 des jardiniers du Sénat. http://www.senat.fr/evenement/expo_automne/2014.html

La fertilité des sols : L'importance de la matière organique. Chambre d'Agriculture du Bas-Rhin. 2011.

Retrouvez des ressources complémentaires en libre accès sur notre « Réseau-Agriville »

MERCI pour votre attention !