

# En guise d'introduction aux sols

Dominique Arrouays

Looking  
at soils



Testing  
them



# Le sol : interface

**biosphère**

© A. Richer de Forges

**atmosphère**

© A. Richer de Forges

**SOL**

© InfoSol (INRA Orléans)

**lithosphère**

**hydrosphère**

# Le sol...

## Une ressource essentielle non renouvelable, des services multiples

### Production d'aliments et de biomasse



© A. Richer de Forges (CA 45)



© InfoSol (INRA Orléans)

### Les services rendus par le sol



### Habitat et patrimoine génétique



© InfoSol (INRA Orléans)



© J. Moulin (CA 36)

### Stockage, filtration et transformation



© A. Richer de Forges (CA 45)

### Source de matières premières



© J. Moulin (CA 36)

### Environnement physique et culturel pour l'homme



© C. Schwartz (ISAL)

# Le sol...

## Une ressource soumise à de fortes pressions



↘ Biodiversité



© A. Bispo (Ademe)

↗ Tassement



© A. Bispo (Ademe)

↗ Artificialisation



© L. Mignaux (Meddtl)

↗ Inondations et glissements de terrain



© A. RuelJan

↗ Salinisation



© A. RuelJan (Regards sur le sol)

↗ Contamination ponctuelle ou diffuse



© J. Sauter (ARAA)



© M. Eimberck (INRA Orléans)

↗ Érosion

↘ Teneurs en matière organique



© D. Arrouays (INRA Orléans)

# Le sol...

## Une ressource à fort impact

Chaîne alimentaire



© A. Richer de Forges



Le sol

Effet de serre



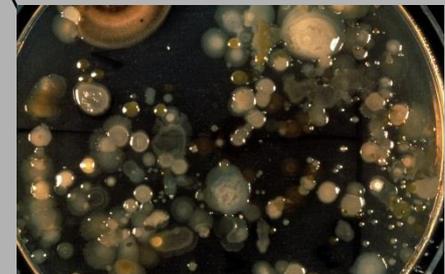
© Daoud Abnane

Zones habitées



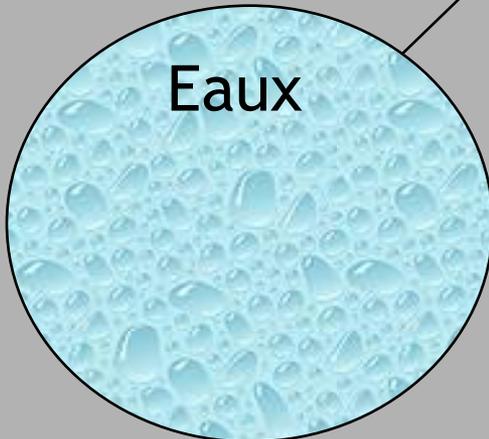
© Archives Dernières Nouvelles d'Alsace (DNA)

Pathogènes



© B. Digat (INRA)

Eaux



etc.

# Les sols ces inconnus...

Une ressource caractérisée par sa grande variabilité ...



© JC Lacassin (SCP)



© C. Walter



© C. Cam



© Sol Conseil - Extrait  
du guide des sols Plaine  
Centre Alsace



© JC Lacassin (SCP)



© C. Walter



© JM. Rivière

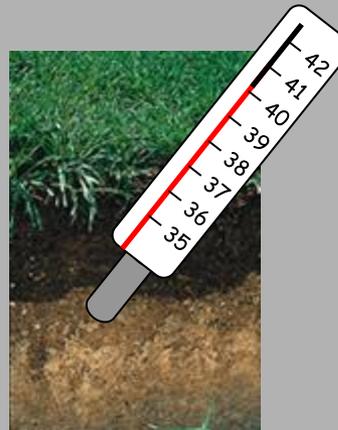


© C. Cam

qui rend nécessaire une  
connaissance **systematique**  
et **spatialisee** des sols

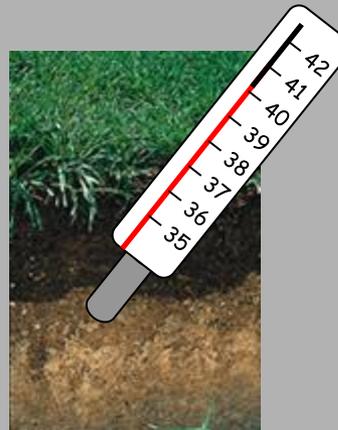


# Quel état des sols ?





# Artificialisation



# Artificialisation

Le plus souvent irréversible

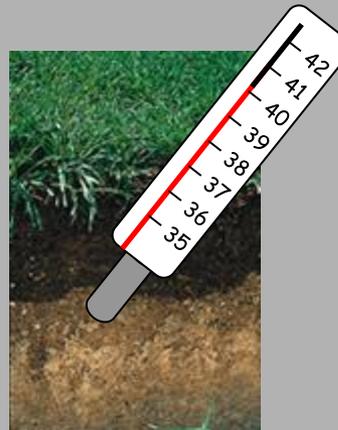
Accélération: (6 100 km<sup>2</sup>) en 7 ans de 2003 à 2009 au lieu de 10 ans de 1993 à 2002

90% aux dépens des terres agricoles

En majorité aux dépens des plus productives



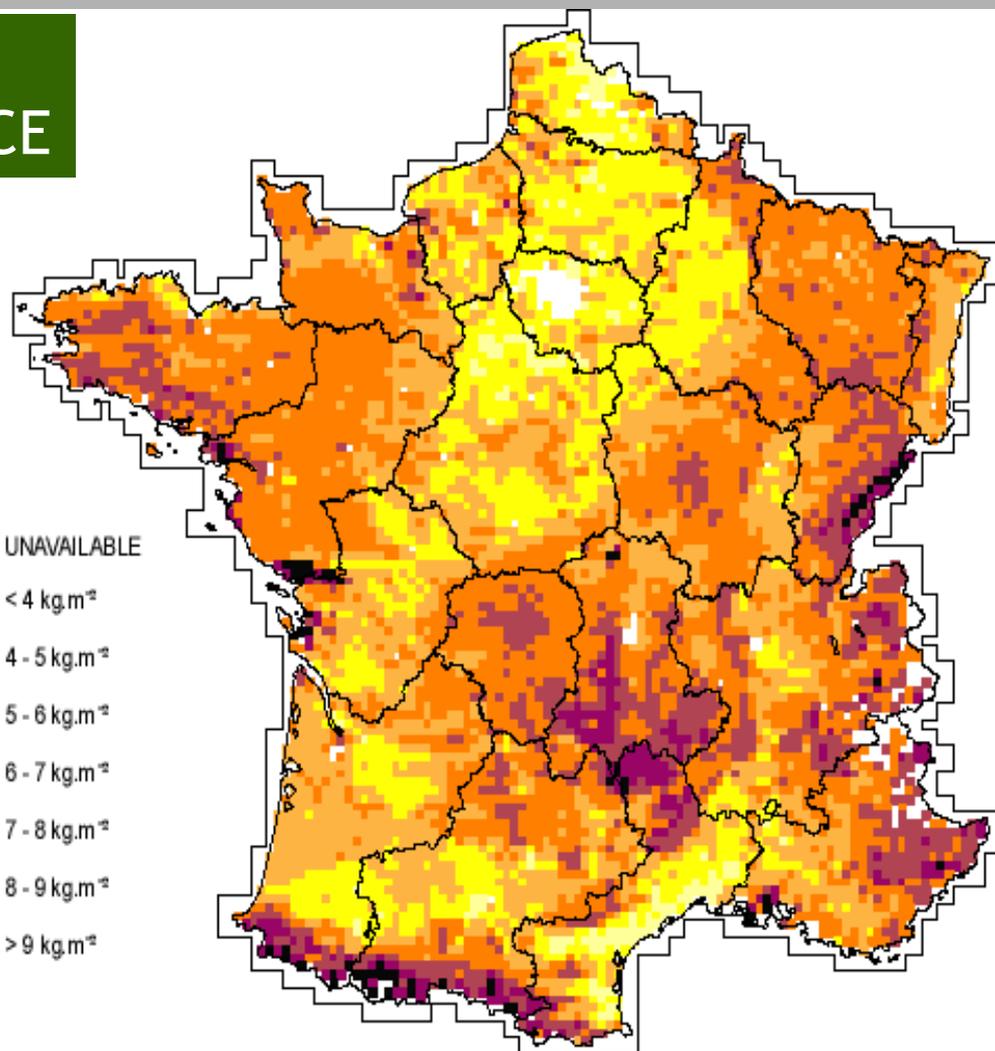
# Matière organique et stocks de C



# Des évaluations nationales

STOCKS DE C DANS LES  
SOLS (0-0.3 m) DE FRANCE

3,2  
Milliards  
de tonnes

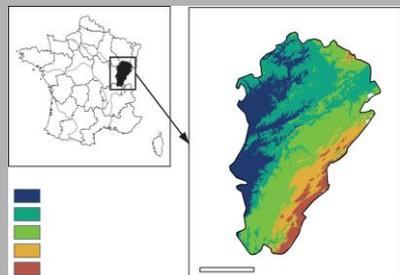


Arrouays et al., 2001 Soil Use and Management,  
Martin et al., 2010., Biogeosciences.

Groupement  
d'intérêt  
scientifique

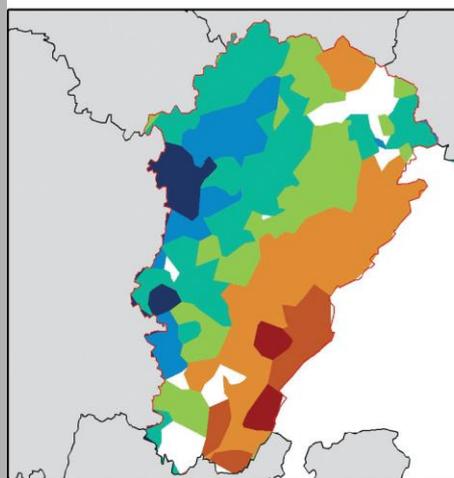


# Un exemple de diminution

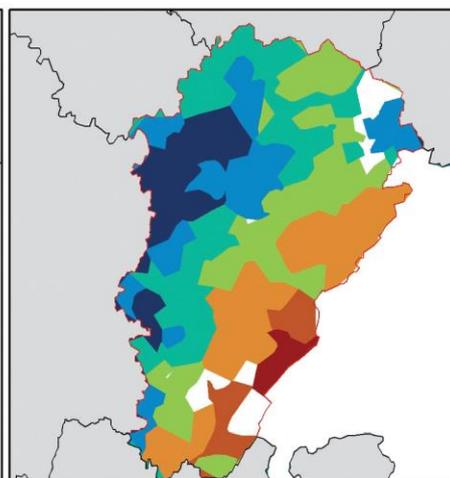


Altitude

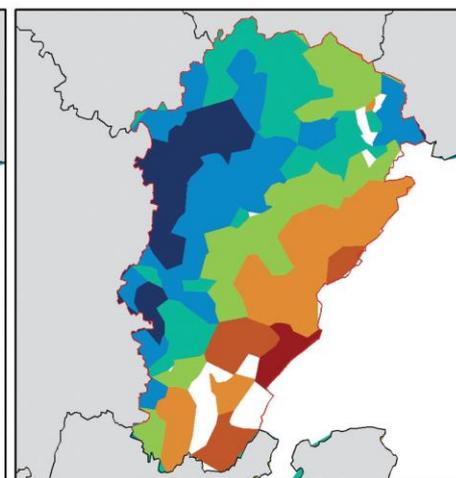
Teneur en carbone



1990-94



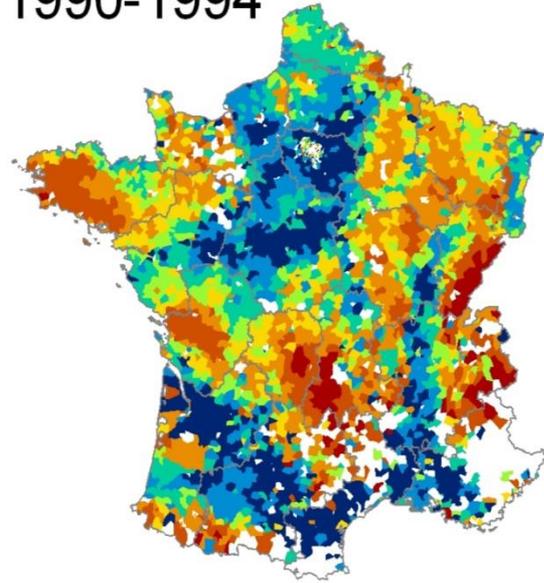
1995-99



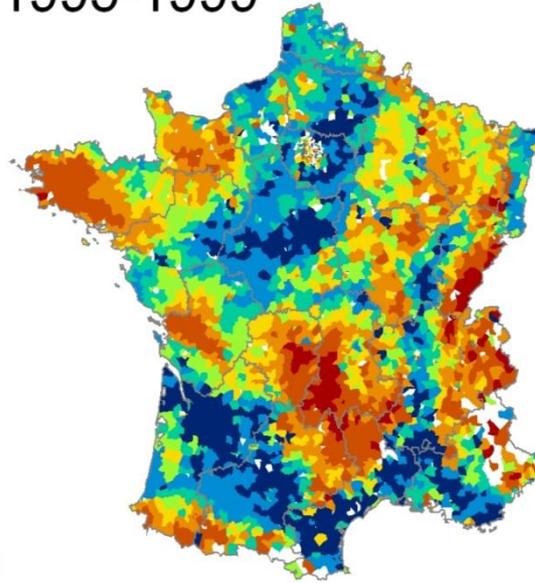
2000-04

# Quelles tendances?

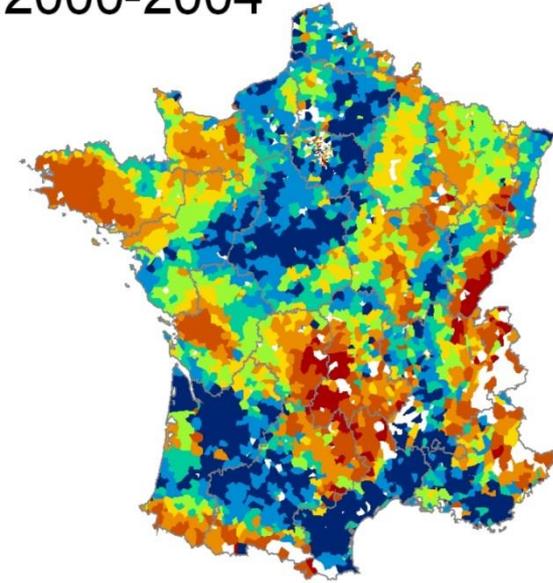
1990-1994



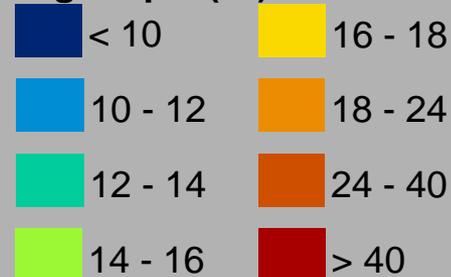
1995-1999



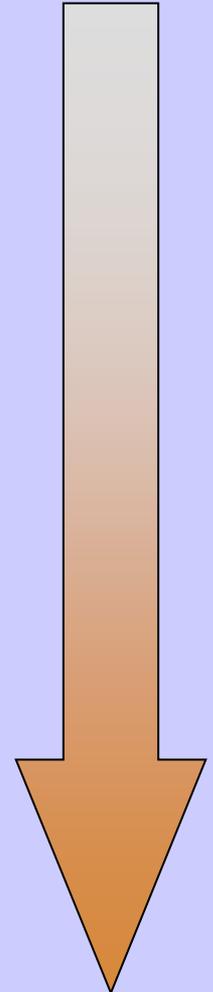
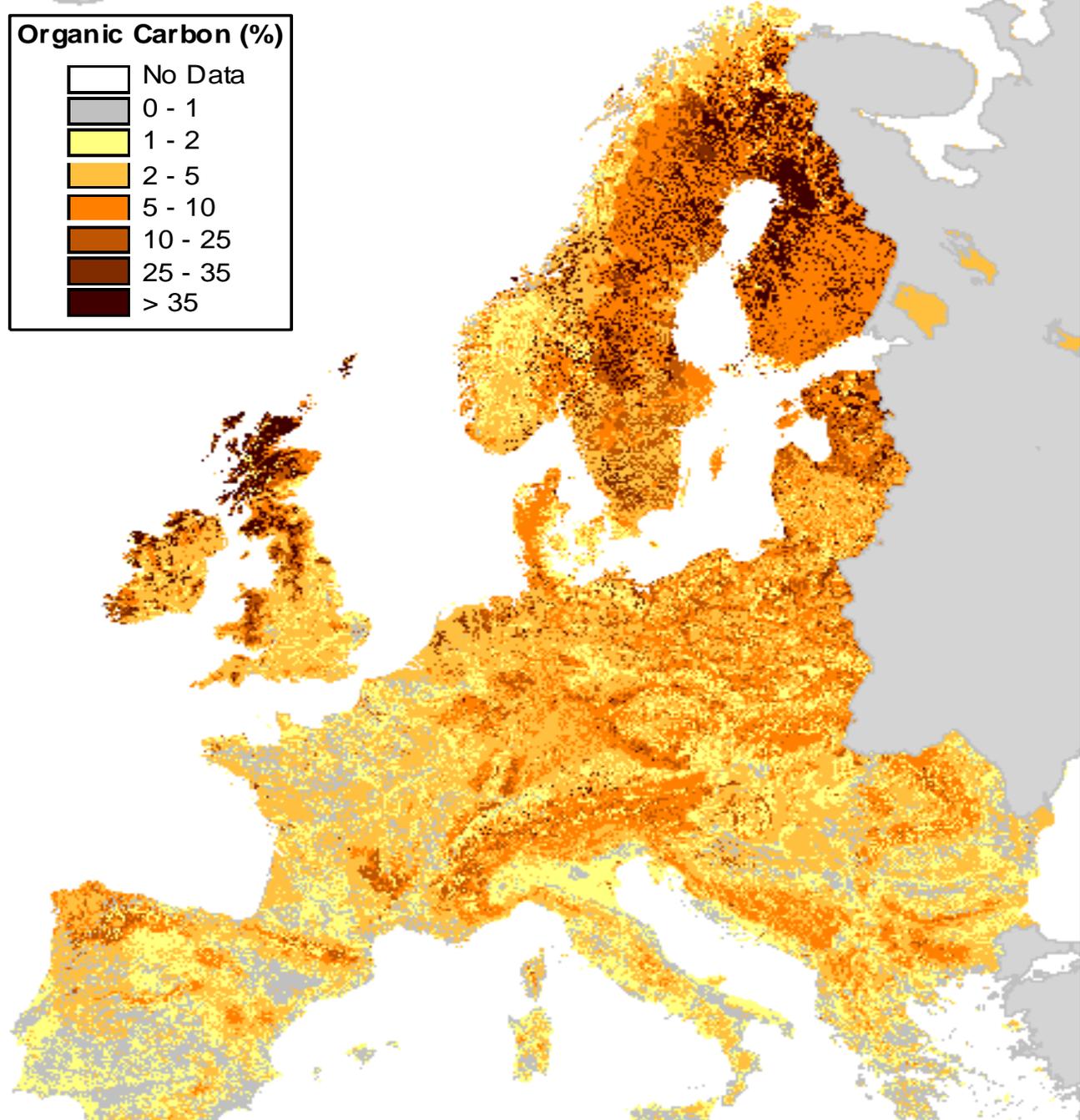
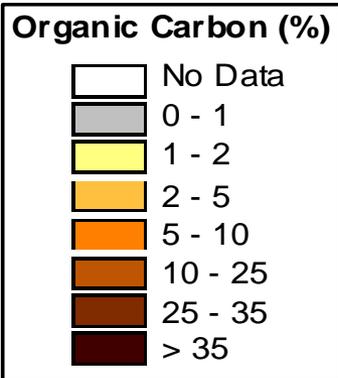
2000-2004



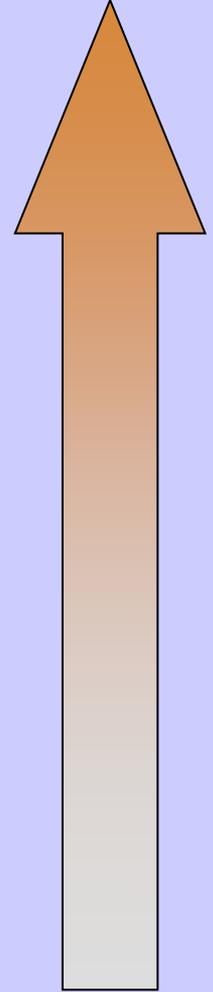
**Médiane cantonale en C  
organique (‰)**



(Source : BDAT, 2006)



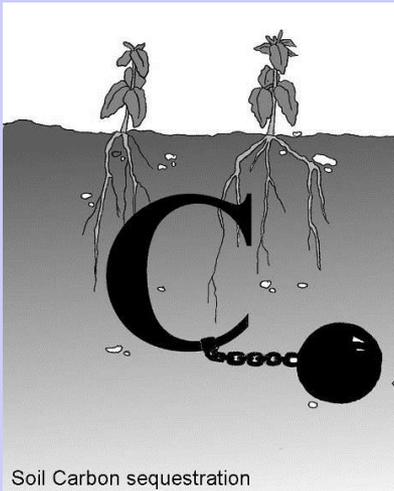
°C



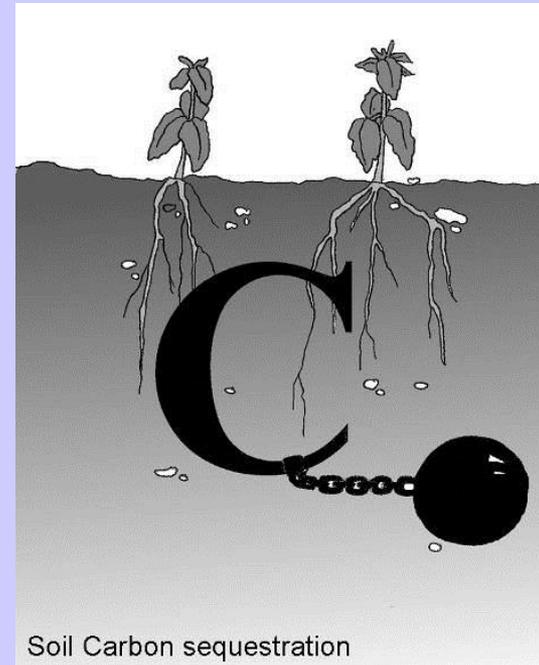
C

Pourquoi se poser la question du changement climatique

# Les sols forestiers pour séquestrer le carbone?



**Terres arables = 45 T/ha**



**Forêts = 70 T/ha**



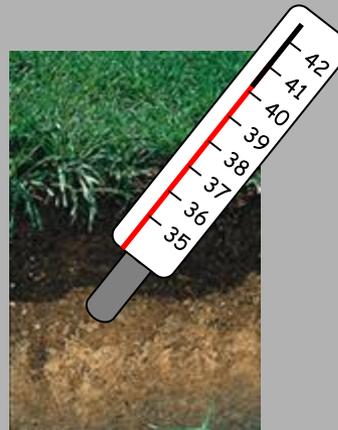
# Matière organique : les autres enjeux

Structuration et stabilité de la structure  
Protection contre la battance et l'érosion  
Réservoir d'éléments minéraux  
Rétention en eau  
Diminution de la compacité  
Maintien de la biodiversité  
.../...

Gagnant-gagnant !

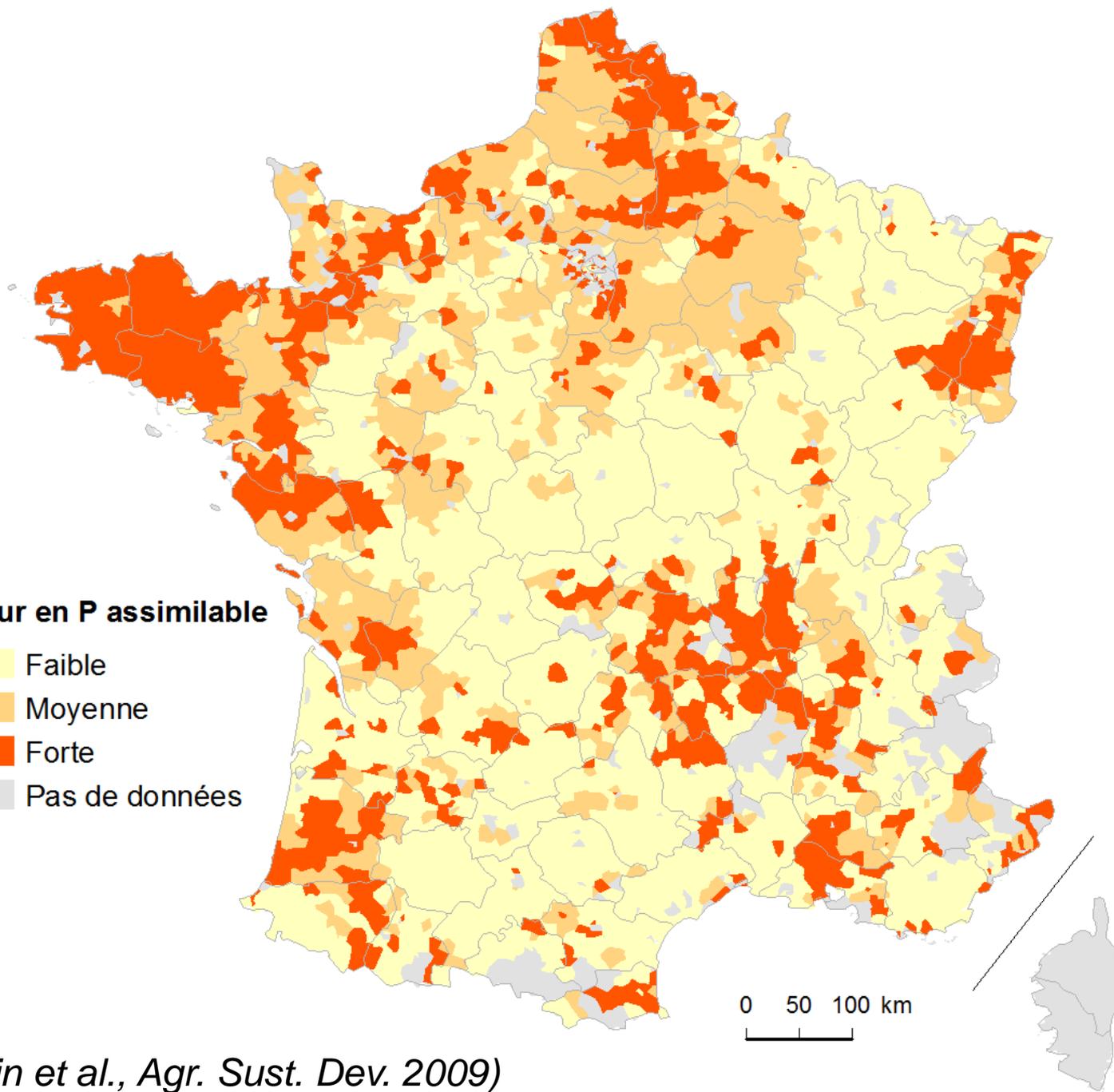


# Phosphore: trop ou pas assez ?



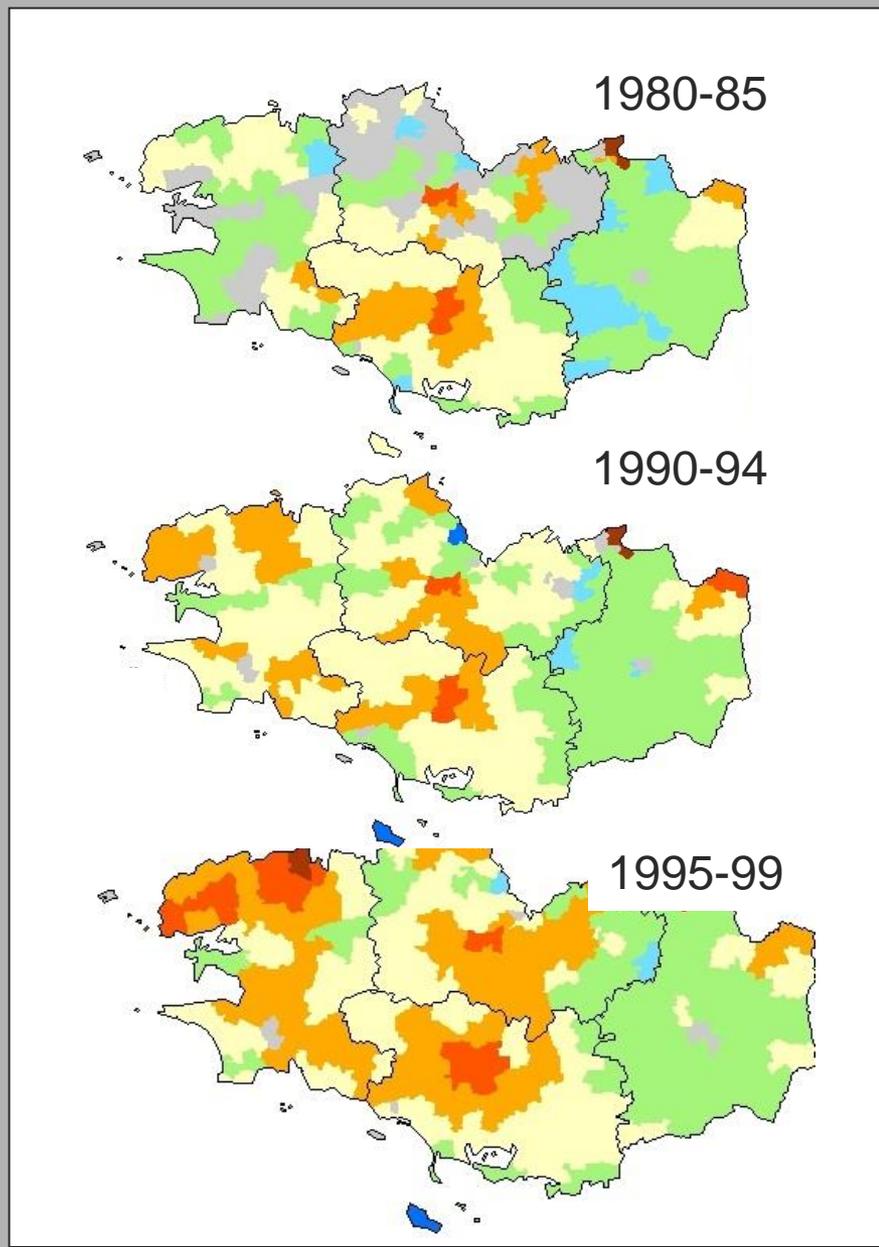
**Teneur en P assimilable**

-  Faible
-  Moyenne
-  Forte
-  Pas de données



*(Follain et al., Agr. Sust. Dev. 2009)*

# Evolution du phosphore en Bretagne



Médiane P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mg/kg



Base de données  
d'analyses de  
terre



(Lemerrier *et al.*, 2006; 2008)

# Phosphore: trop ou pas assez ?

Beaucoup de sols ont des teneurs en P relativement faibles

Les fortes teneurs sont principalement situées

- En zones d'élevage et d'excédents structurels

  - => Et les teneurs continuent d'augmenter

- En zones d'anciens épandages d'origine minière

  - => Et les teneurs se stabilisent ou baissent

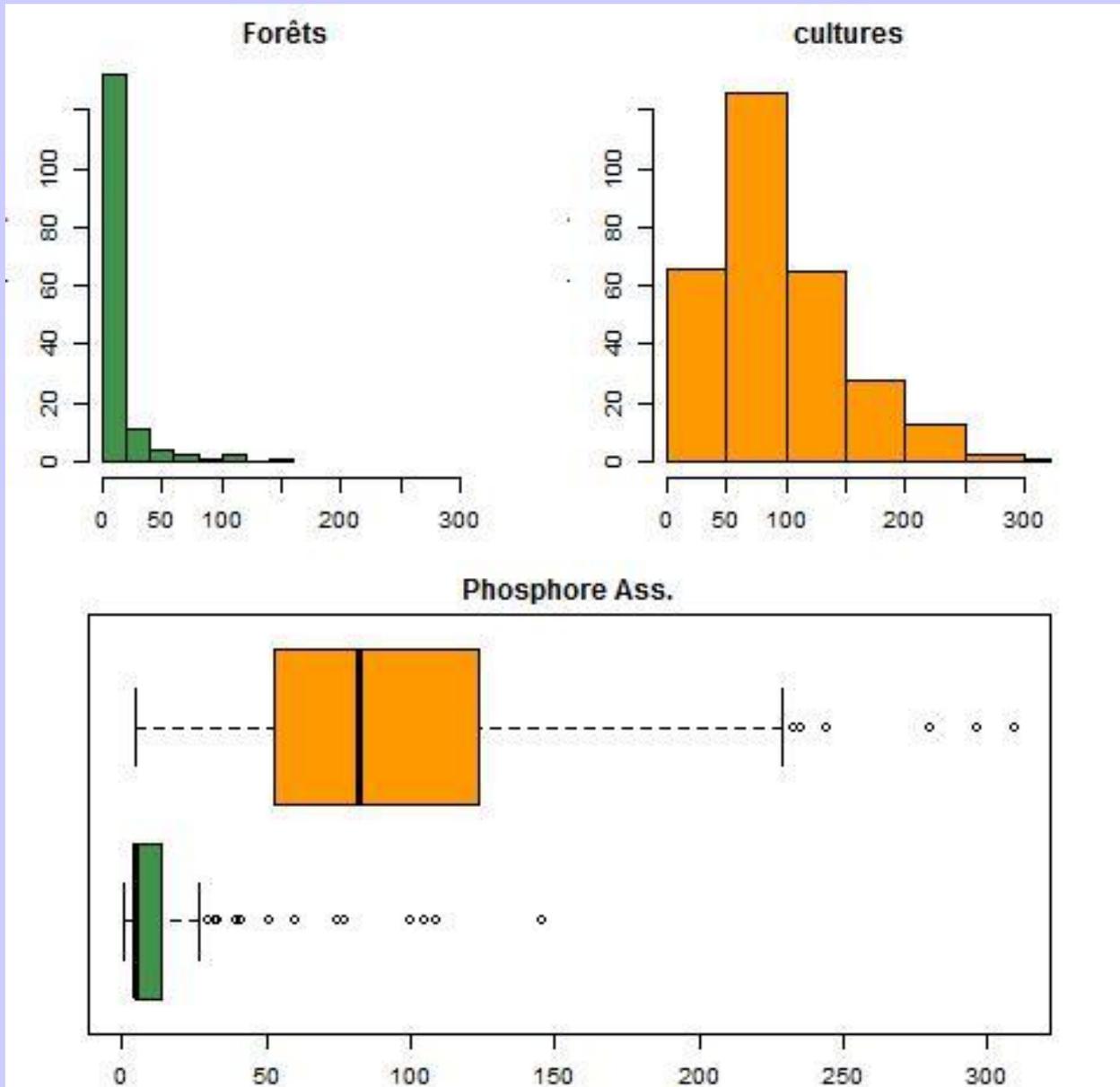
Les apports moyens de P minéral sont en constante diminution

Quel niveau P des sols de France à long terme ?

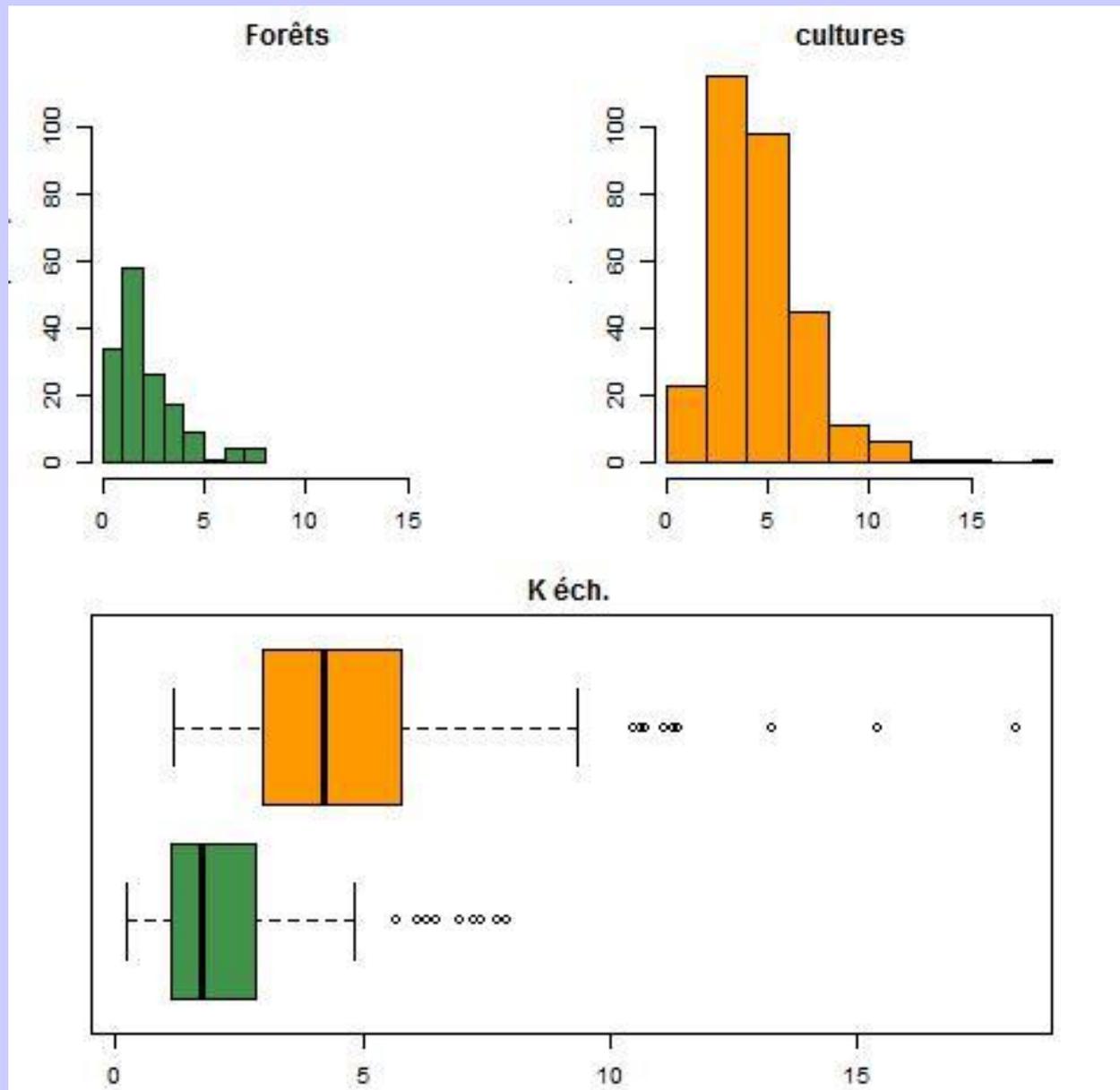
Mieux gérer les situations d'excès/déficit ?

Mieux recycler P ?

# Phosphore: Forêt vs agricole

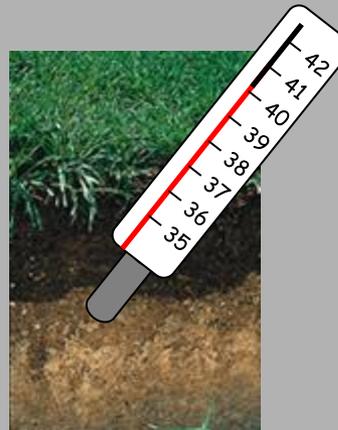


# Et les autres nutriments majeurs ?



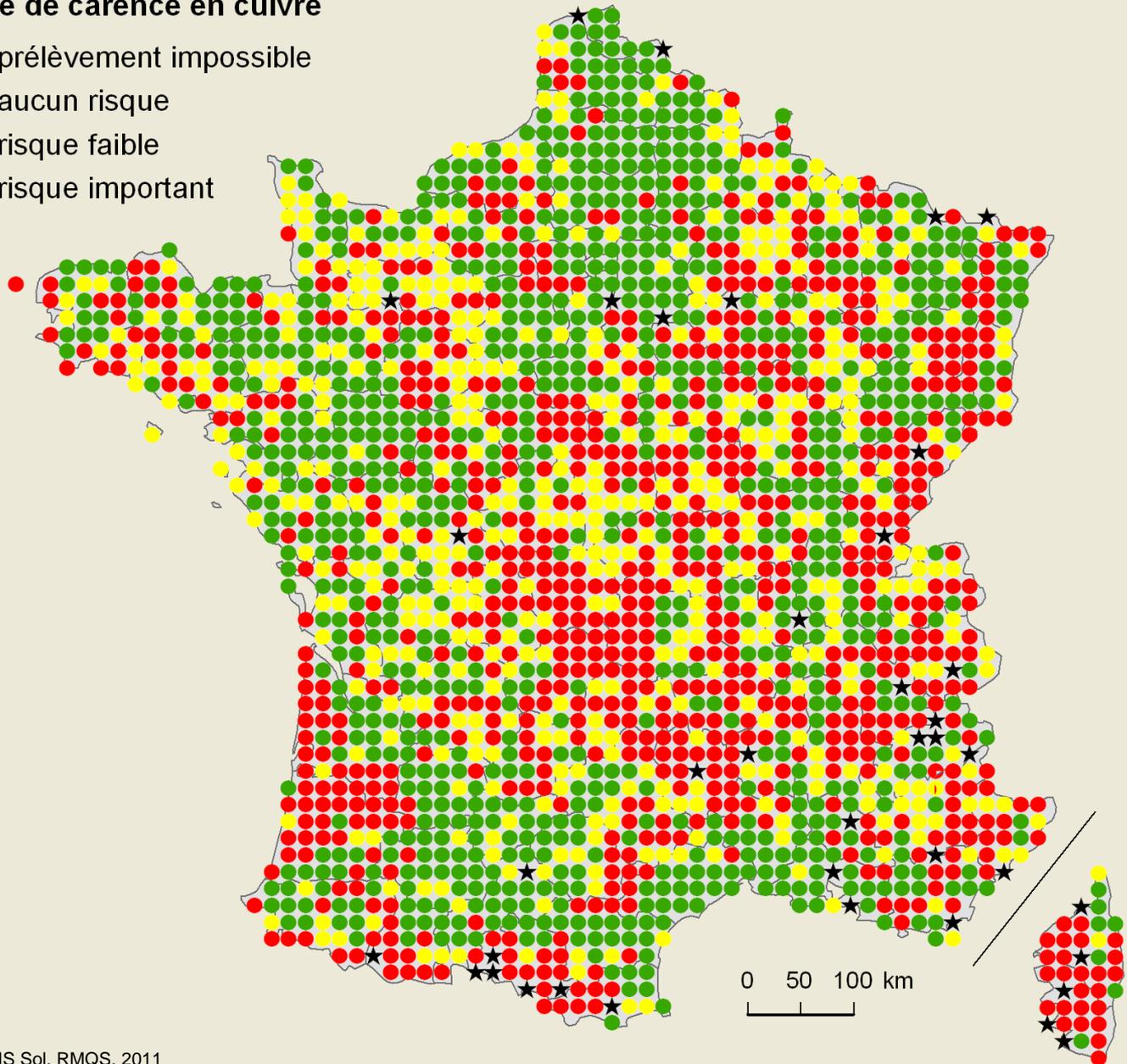


# Oligo-éléments ?



## Risque de carence en cuivre

- ★ prélèvement impossible
- aucun risque
- risque faible
- risque important



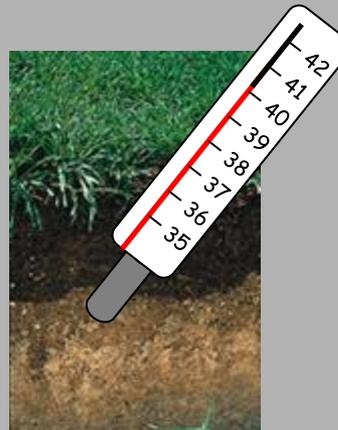


# Oligo-éléments

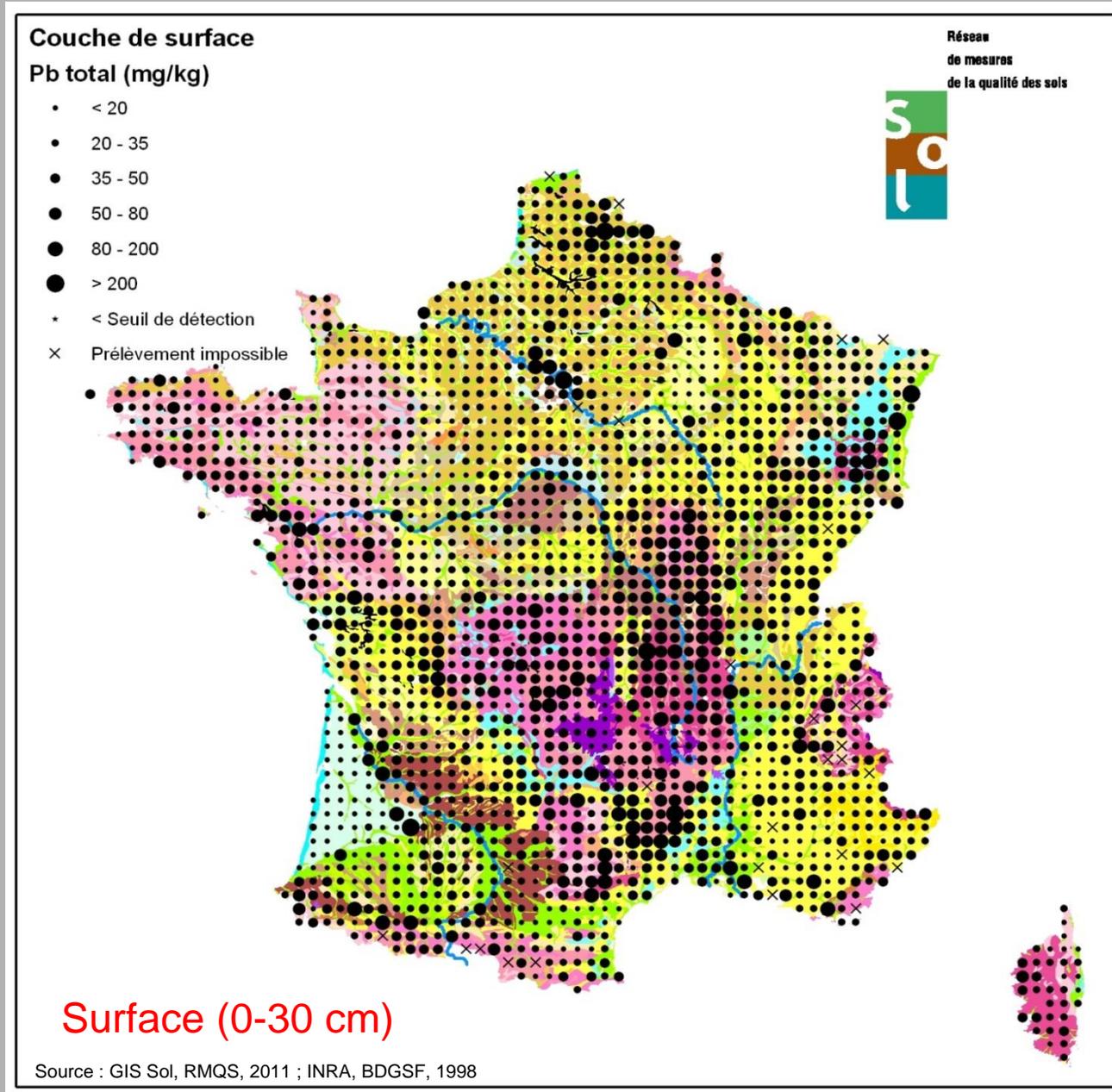
Beaucoup de situations de carences potentielles



# « Contamination »



# Teneurs totales en plomb

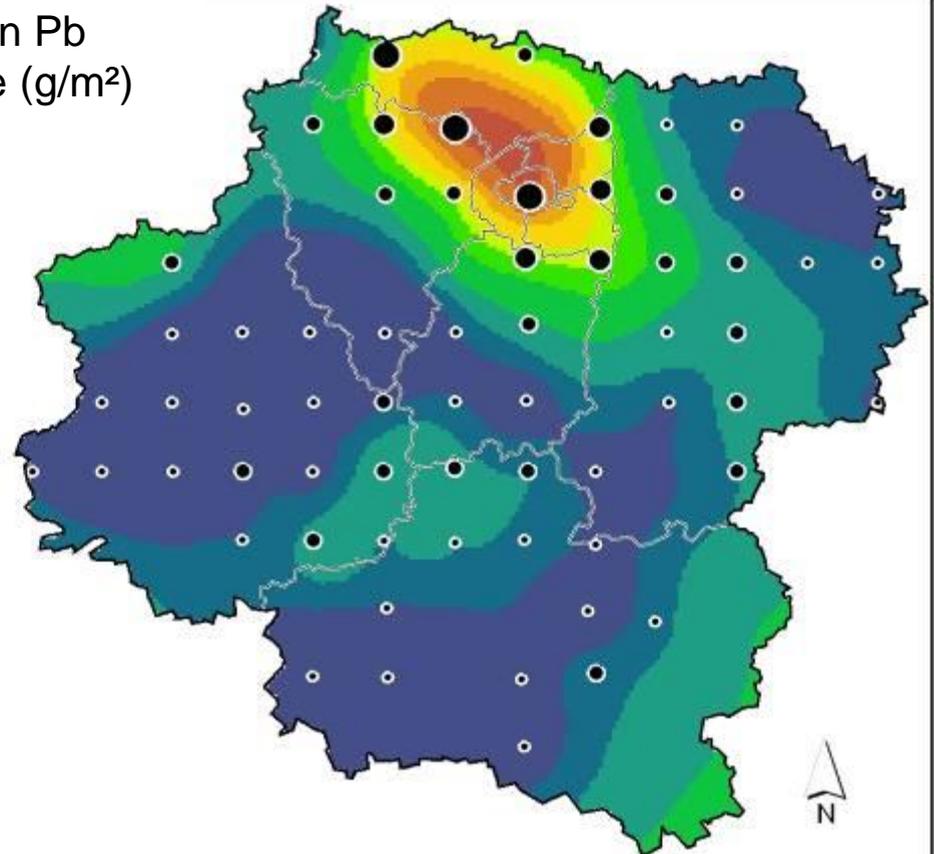


# Retombées en Pb anthropogène

Un gradient de contamination autour de Paris

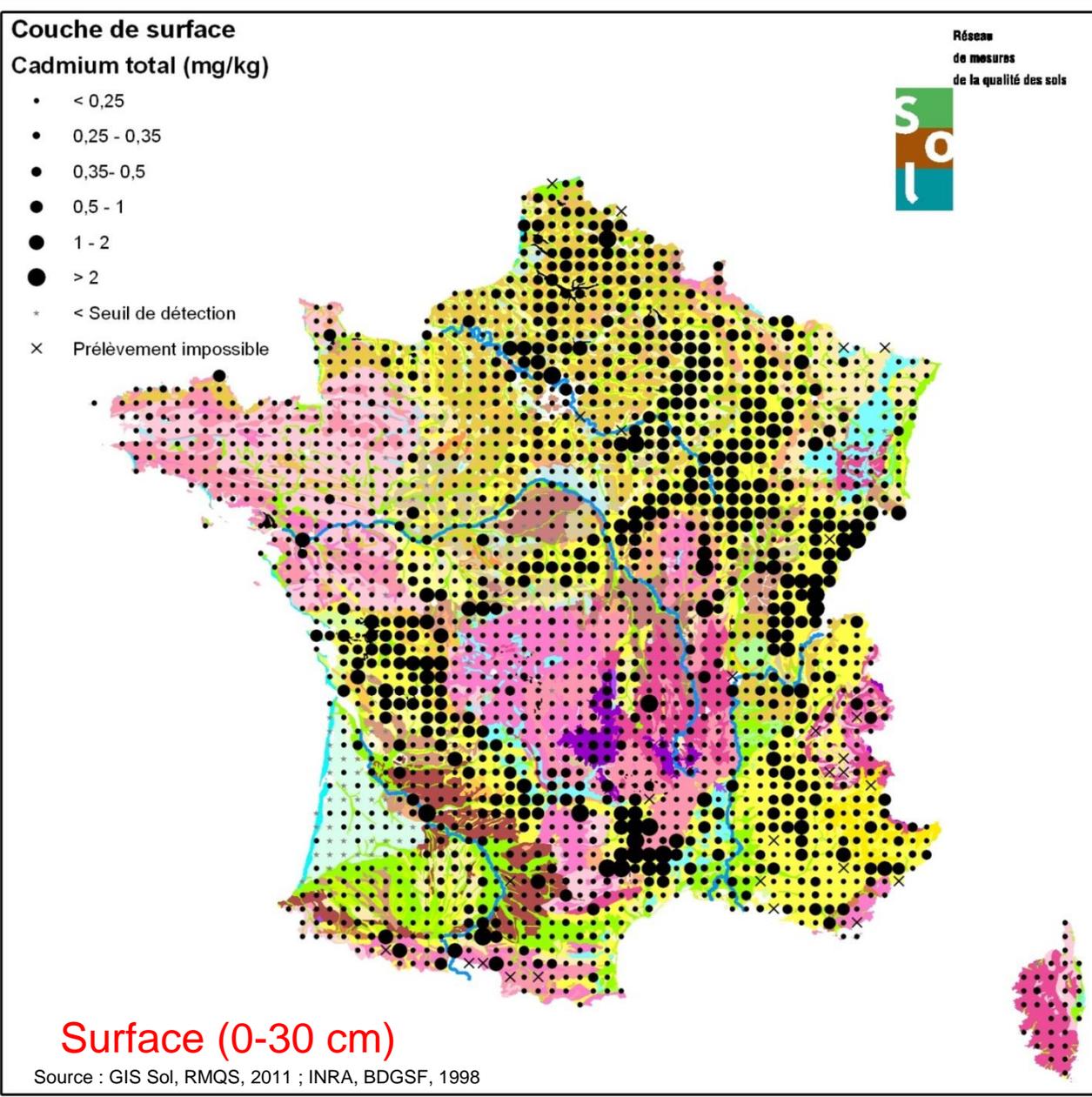
Retombées en Pb anthropogène (g/m<sup>2</sup>)

- < 2
- 2 - 10
- 10 - 30
- > 30



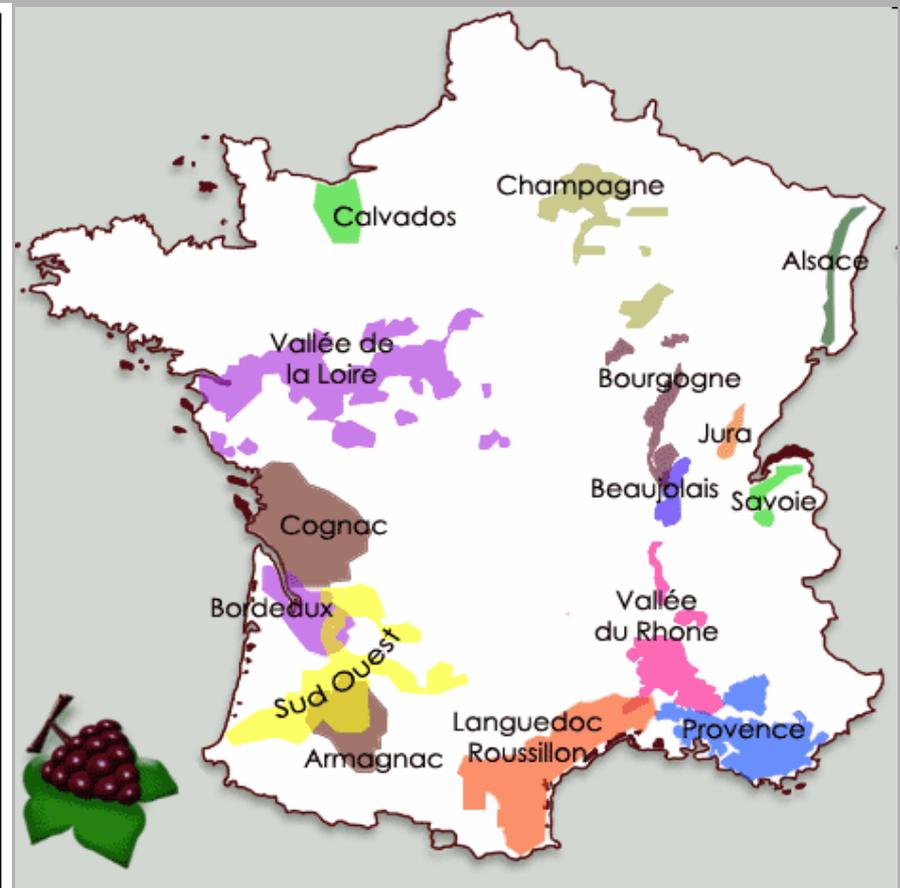
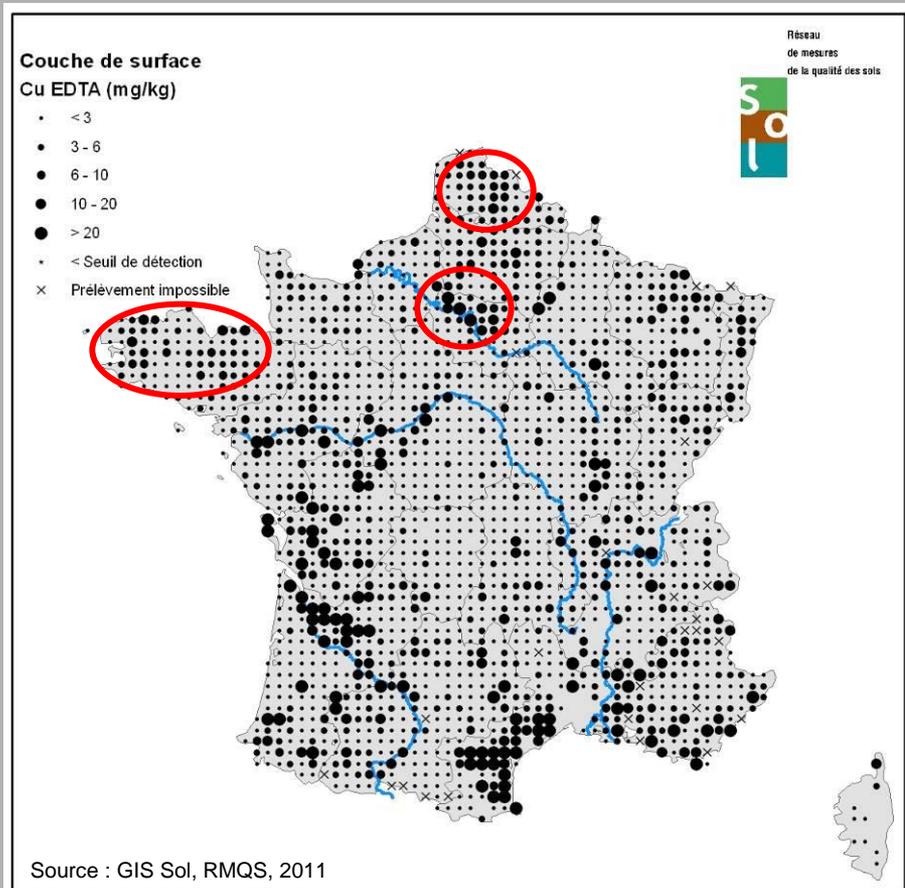
**143 000 T Pb soit 5,9 T /km<sup>2</sup>**

# Teneurs totales en cadmium



# Teneurs en cuivre extrait à l'EDTA

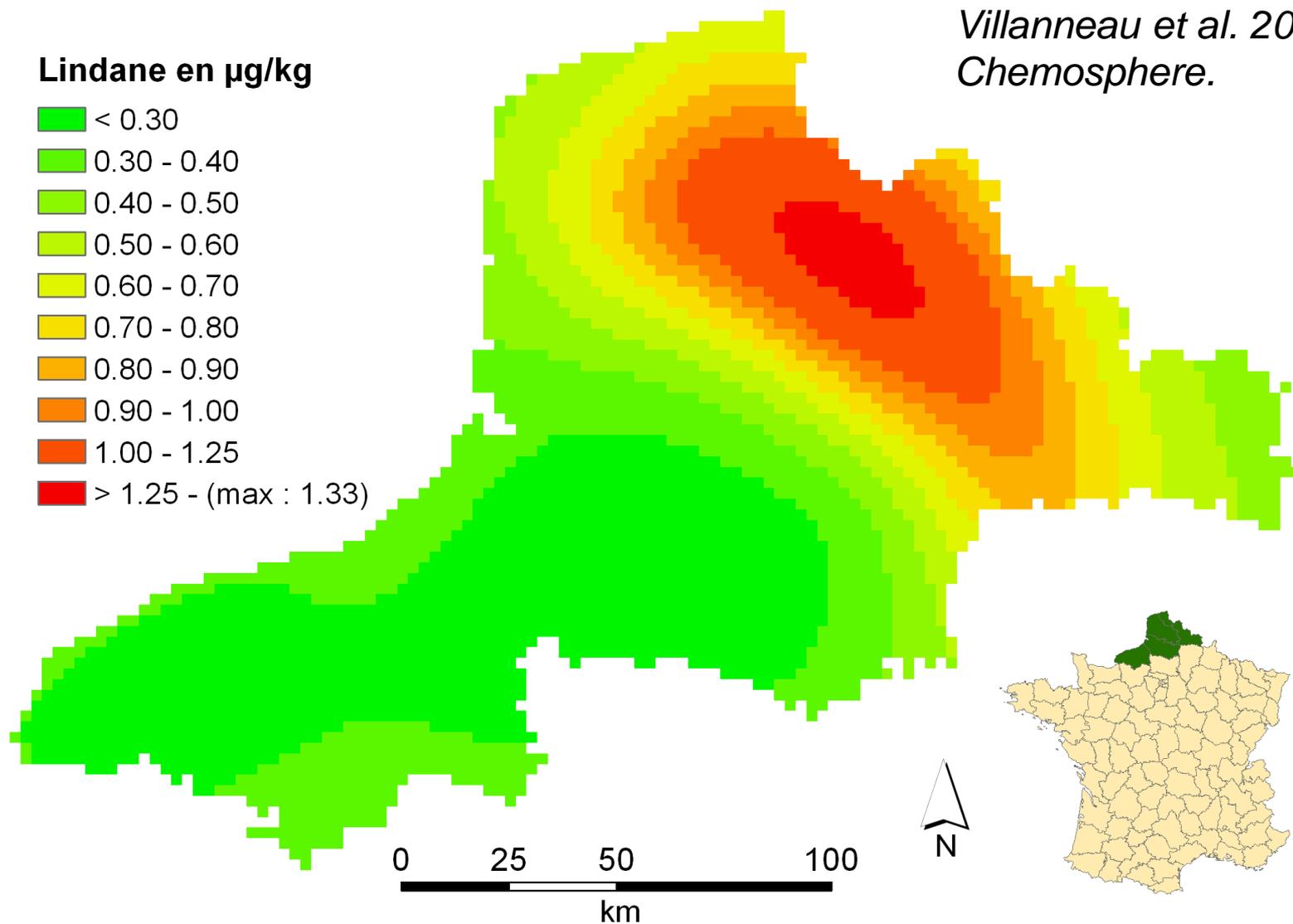
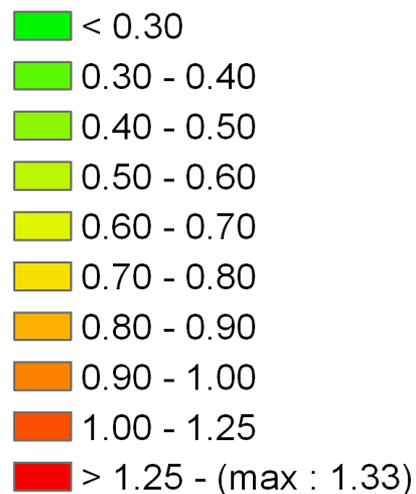
Surface (0-30 cm)



# Des POPs parfois omniprésents

*Villanneau et al. 2009.  
Chemosphere.*

**Lindane en  $\mu\text{g}/\text{kg}$**

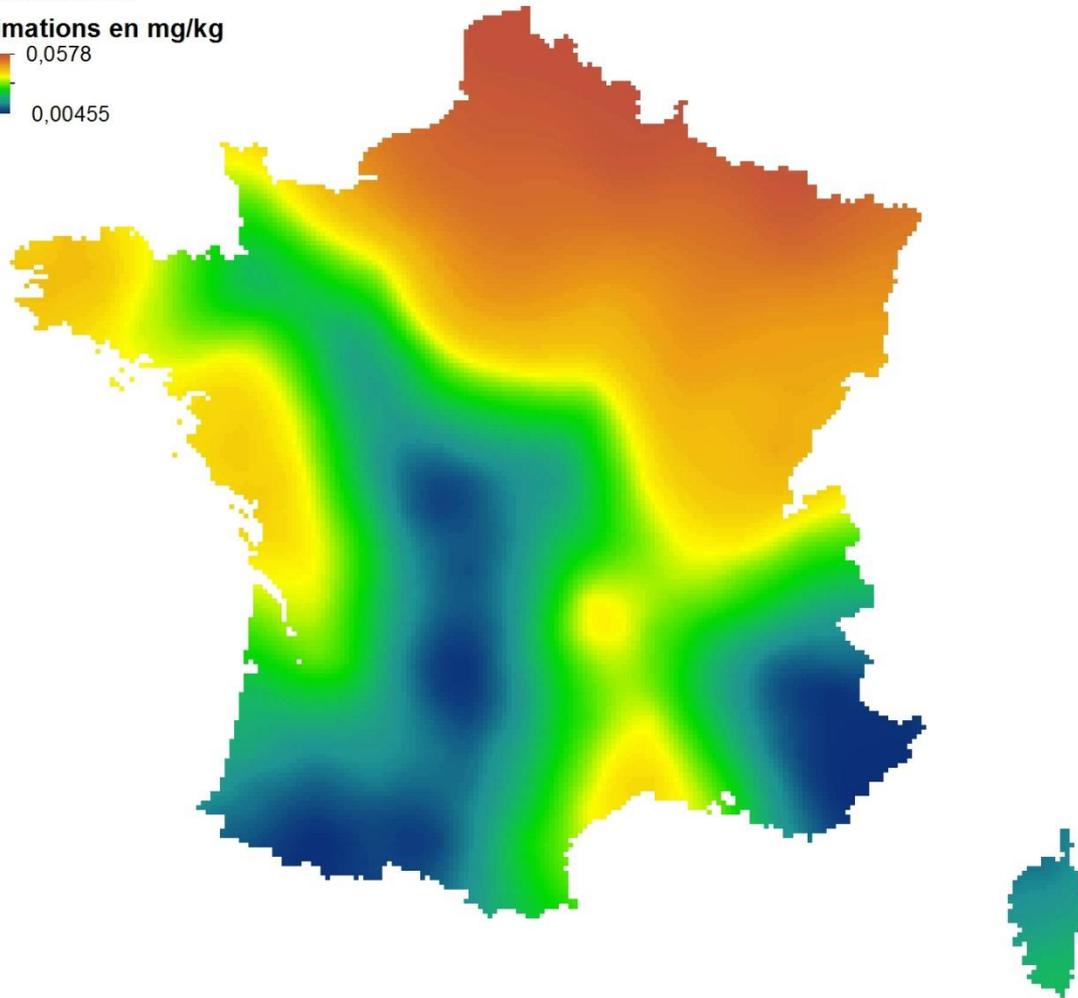
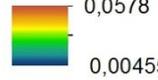


# Des POPs parfois omniprésents : HAPs

## Légende

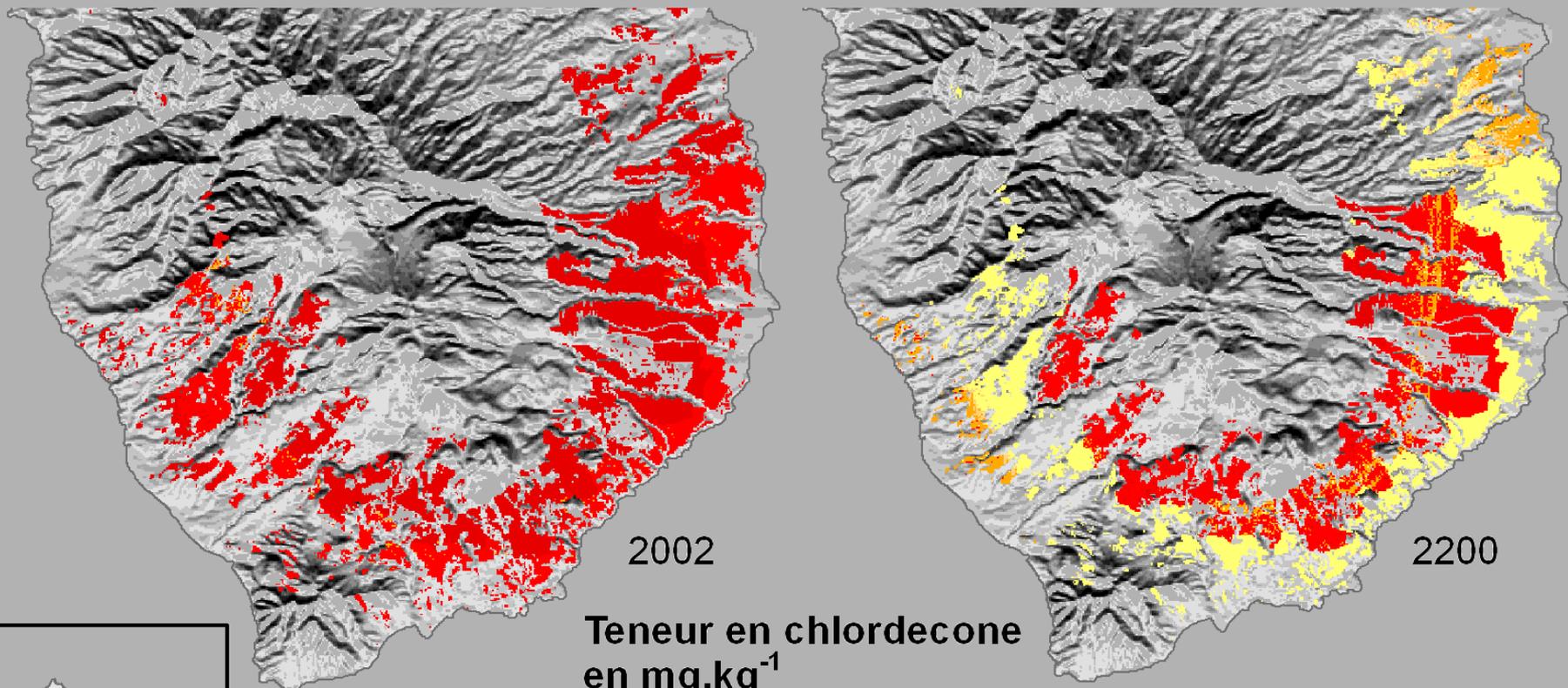
Fluoranthene

Estimations en mg/kg

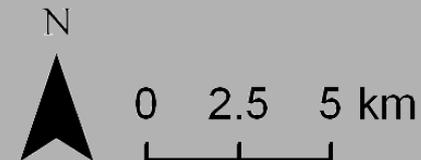
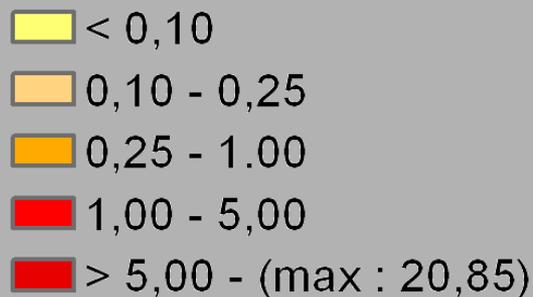


*Villanneau et al. 2013.  
Env. Chem. Letters*

# La chlordécone en Basse-Terre



Teneur en chlordécone  
en  $\text{mg.kg}^{-1}$



Source : Gis Sol IGCS 2006 ; Cabidoche et al., 2009 ; IGN, Geofla®, 2008

# Contamination

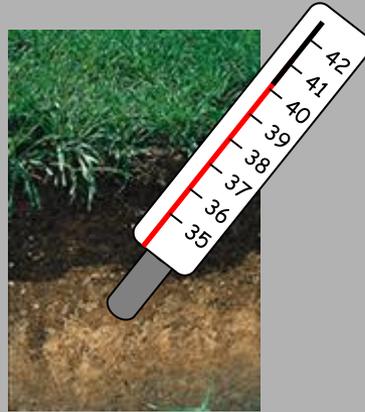
Des contaminations diffuses le plus souvent modérées liées à :

Urbanisation, industrialisation, contexte minier, certains usages (vignes) et pratiques (lisiers, anciens épandages de boues, anciens usages d'organochlorés...). La forêt n'est pas à l'abri...

Une situation globale moins préoccupante que dans d'autres pays (par ex. UK, D, NL, pays d'Europe de l'Est...)



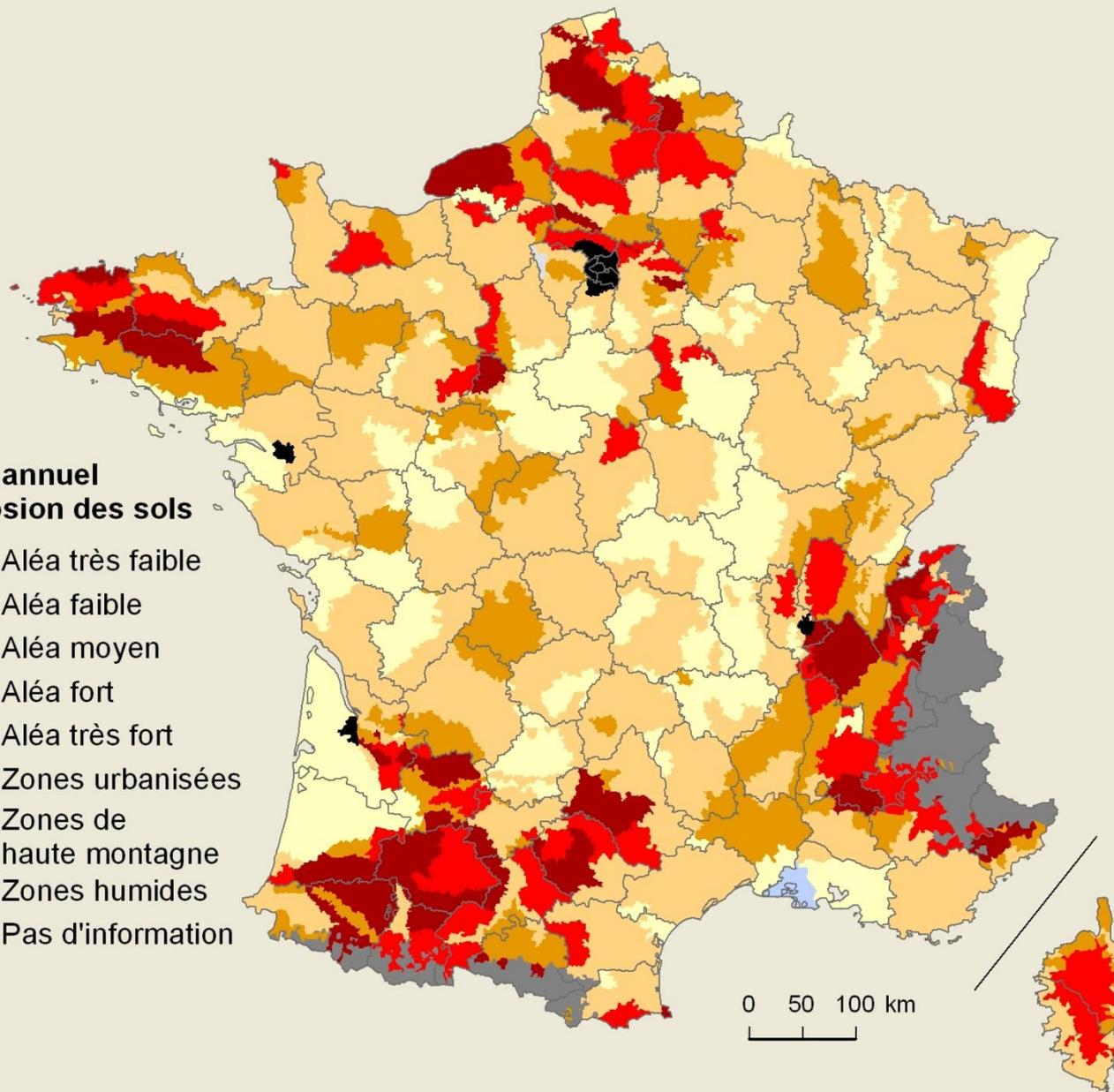
# Erosion



**Enjeu majeur à long terme : au-delà  
d'une perte de 1T/ha/an on perd plus  
de sol que la nature n'en forme !**

### Aléa annuel d'érosion des sols

-  Aléa très faible
-  Aléa faible
-  Aléa moyen
-  Aléa fort
-  Aléa très fort
-  Zones urbanisées
-  Zones de haute montagne
-  Zones humides
-  Pas d'information





# Erosion

Des inquiétudes liées à l'augmentation des événements extrêmes

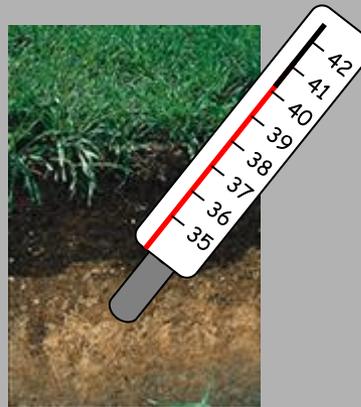
Importance du taux de couverture du sol, du sens de travail du sol

Importance des « barrières » à la connectivité des ruissellements

Importance d'une gestion à l'échelle des petits bassins versants



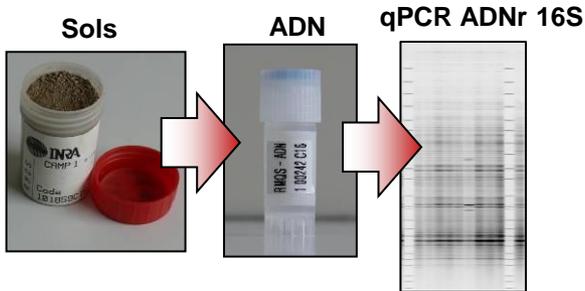
# Biodiversité



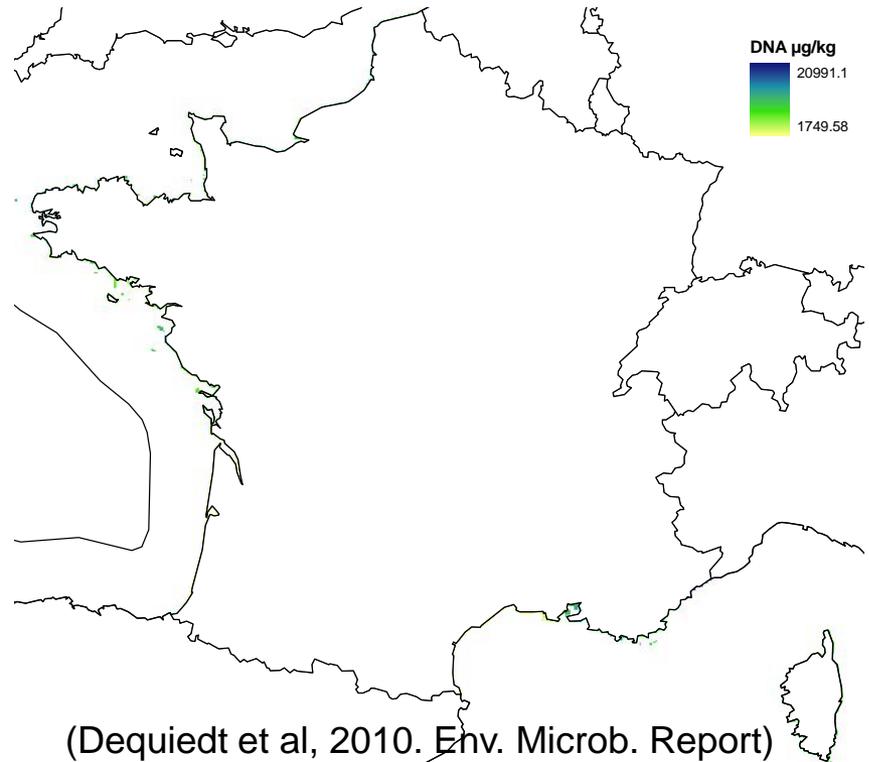


# ECOMIC-RMQS

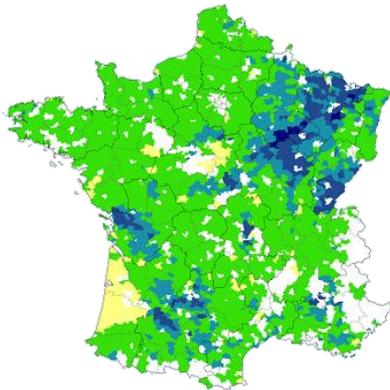
Microbio-géographie à l'échelle de la France  
par application d'outils moléculaires au RMQS



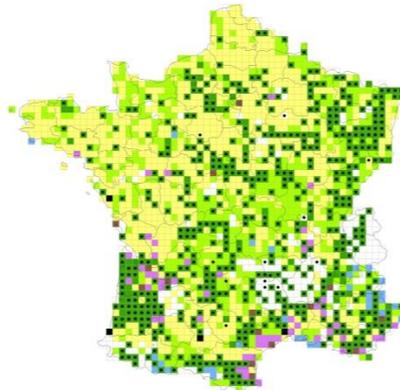
Quantité d'ADN dans les sols en  $\mu\text{g/kg}$  de sol



Texture



Occupation



# Biodiversité

Les sols ne sont pas « morts »

Encore très largement inconnue

Un champ de recherches immense ouvert  
par la biologie moléculaire

Une hypothèse biodiversité ⇔ résilience

# Tassement



# Tassement



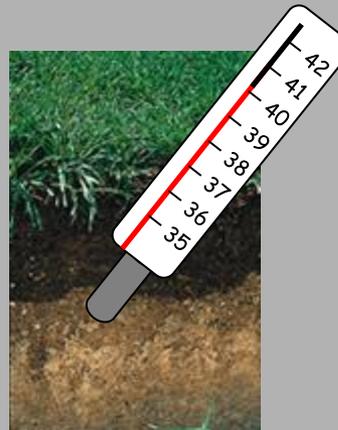
Reste assez inconnu au plan de sa cartographie nationale des risques

Fortes interrogations en milieu forestier

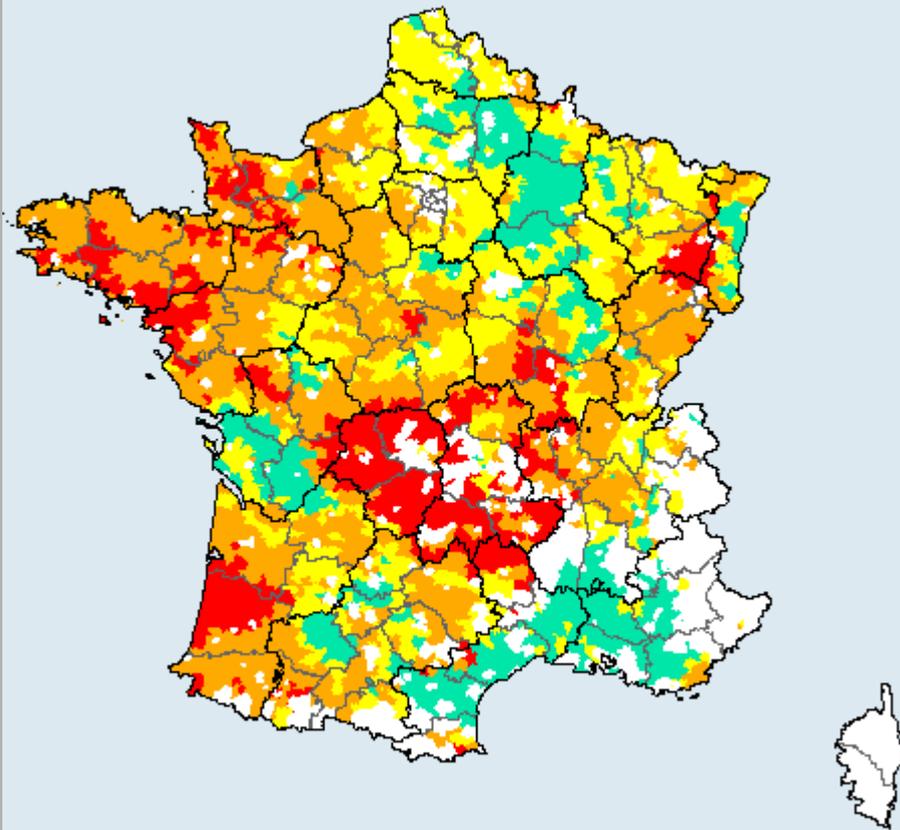
Conséquences plus ou moins réversibles selon les propriétés des sols



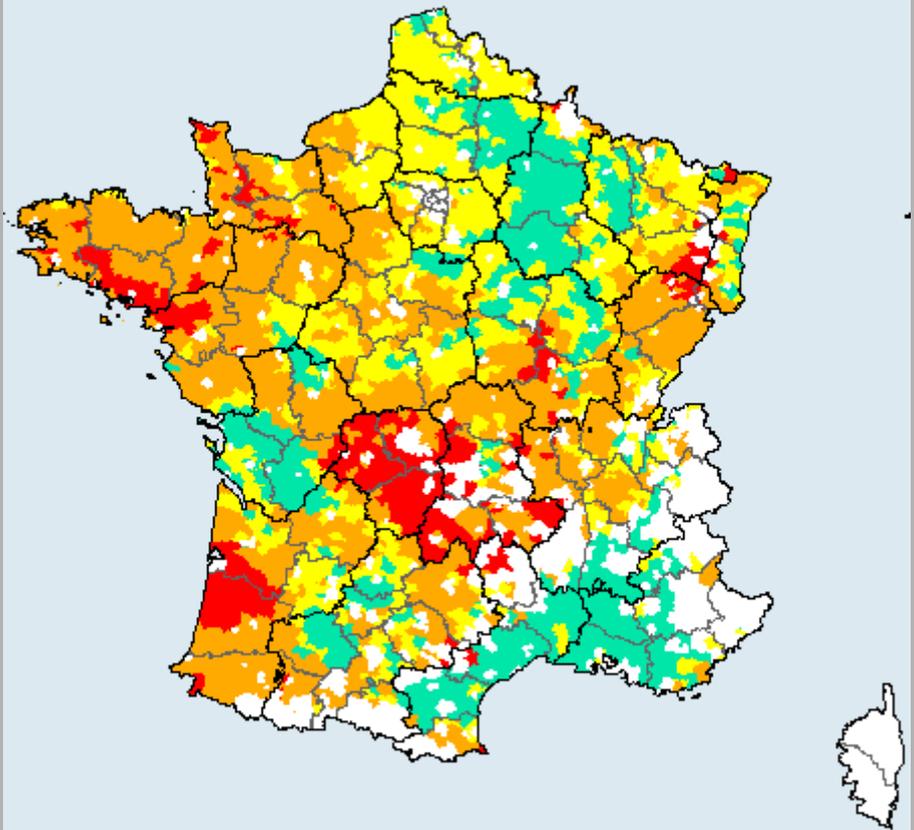
# Acidification



# Médiane cantonale des pH des sols agricoles de France

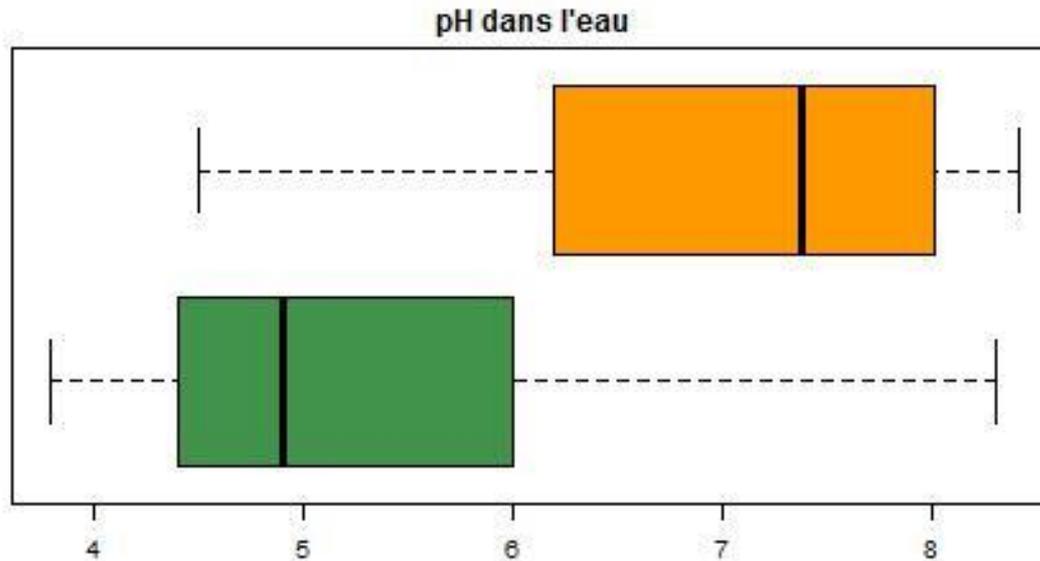
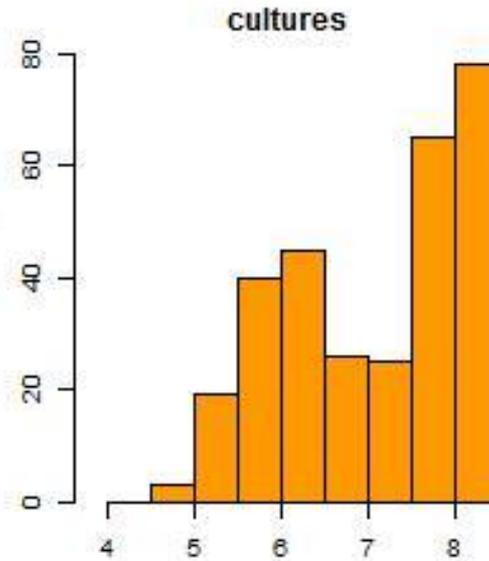
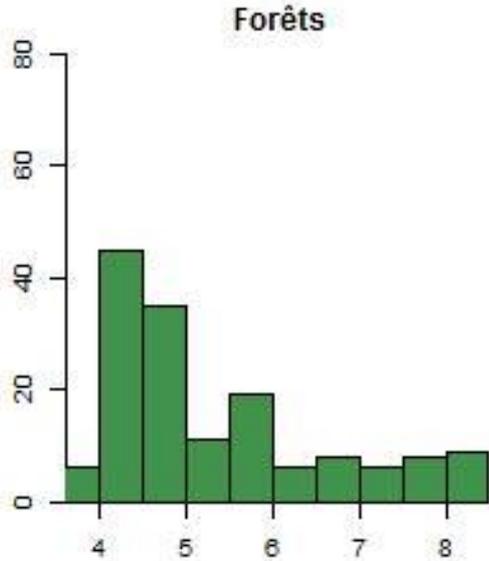


Source : GIS Sol, BDAT



Source : GIS Sol, BDAT

# Acidification : et sous forêt ?

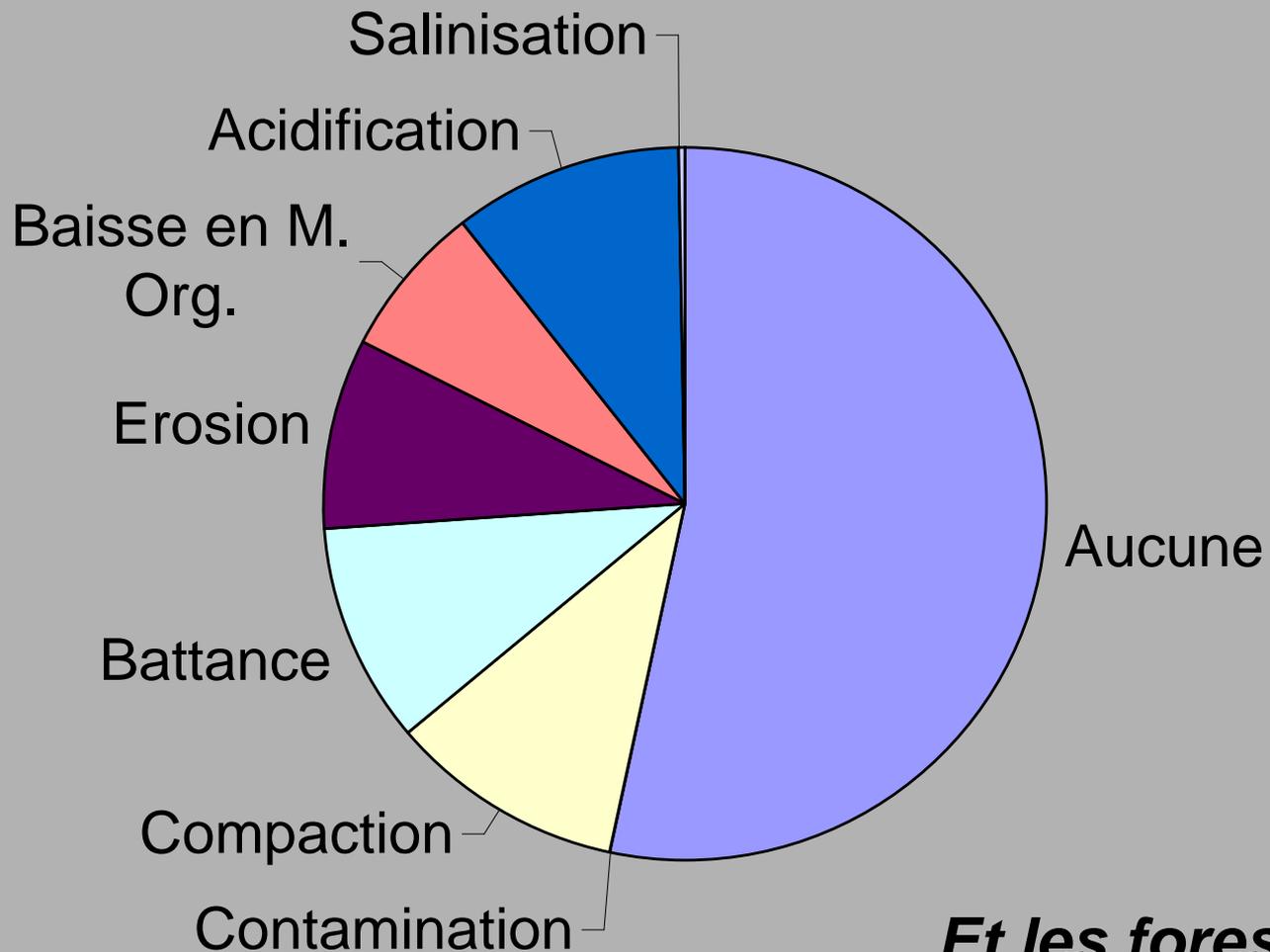


# Acidification

Ne semble pas être un véritable problème dans les sols cultivés

A surveiller dans les prairies et forêts ainsi qu'en situation de semis direct (acidification possible des premiers centimètres de surface)

# Les inquiétudes vues par les exploitants agricoles (enquête du RMQS)



*Et les forestiers ?*

# Quel état des sols aujourd'hui et demain ?

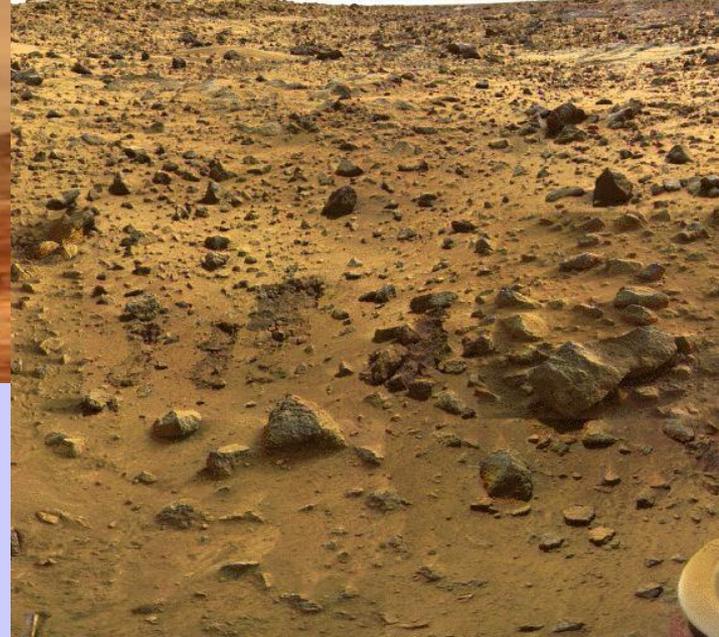
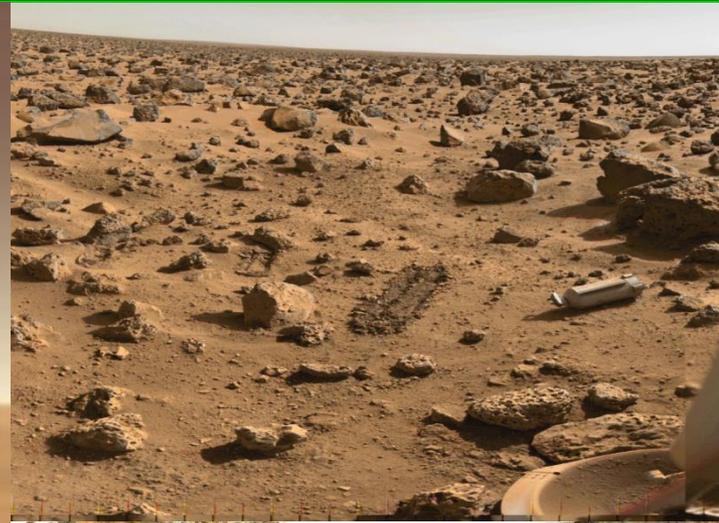
Un bilan « nuancé »... Des points positifs, mais...

Des préoccupations pour le futur (érosion, phosphore, artificialisation...)

Des incertitudes (biodiversité, carbone, tassement, modification des propriétés hydriques...)

=> Importance des outils de suivi et de la gestion à long terme

# *Nous en savons plus sur les sols de Mars que sur ceux de la Terre*



NASA

# La cartographie des sols



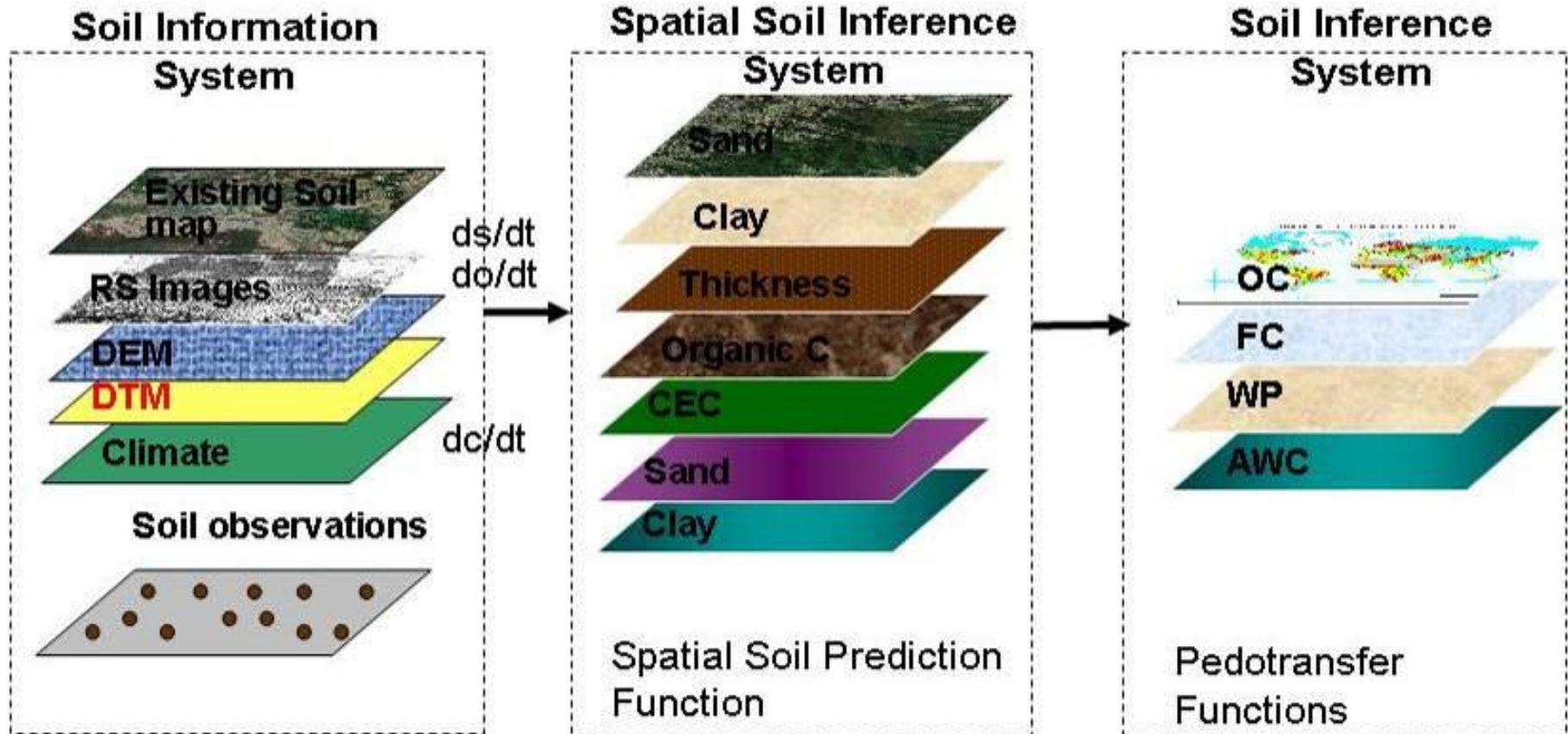
# Peu de changement...



# Les cartes de sol dans le Monde

	Countries		Area	
	Number	%	km <sup>2</sup> x 10 <sup>3</sup>	%
1:1M or larger	109	68	42,261	31
Not complete	49	32	94,783	69
Total	158	100	137,044	100

# Passer à l'Ere digitale



Des initiatives mondiales

GlobalSoilPartnership (FAO)

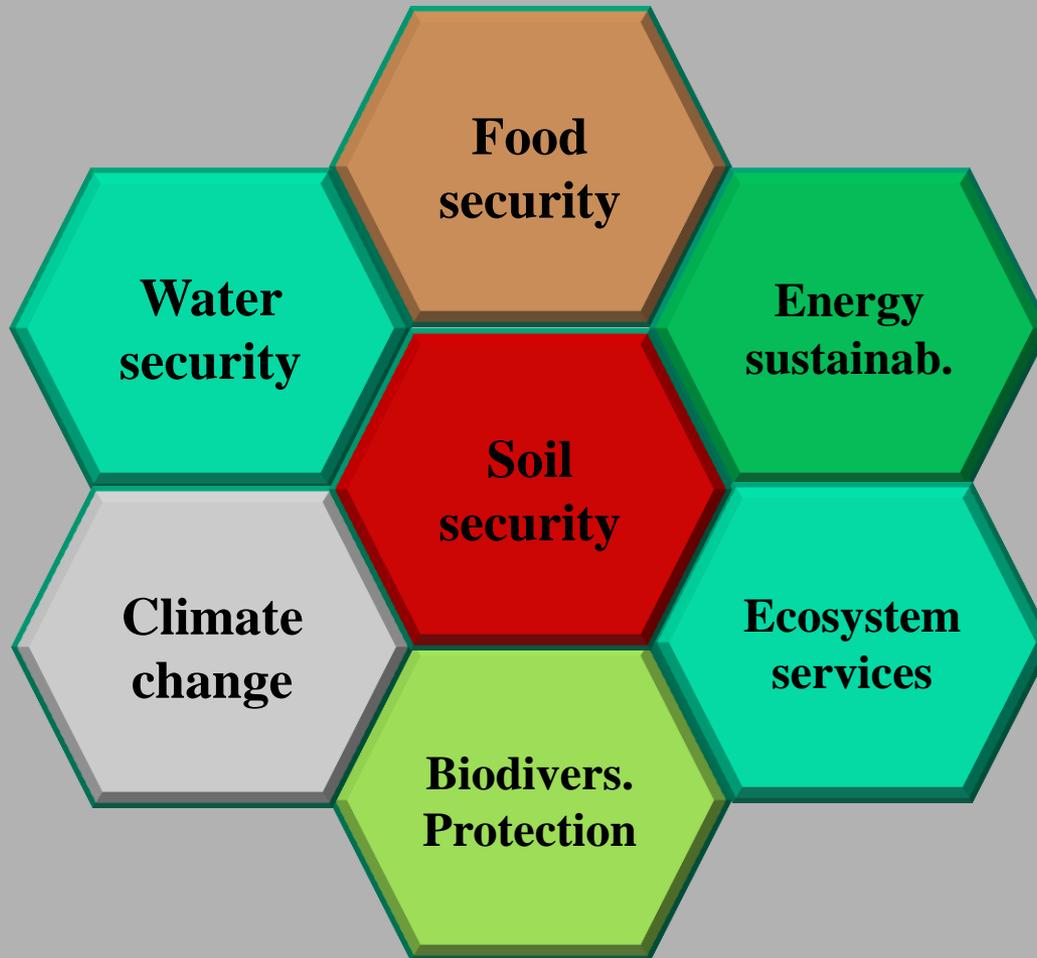
GlobalSoilMap



1st GlobalSoilMap World Conference  
(Orléans, 7-9 Oct, 2013.).

<https://colloque.inra.fr/globalsoilmap2013>

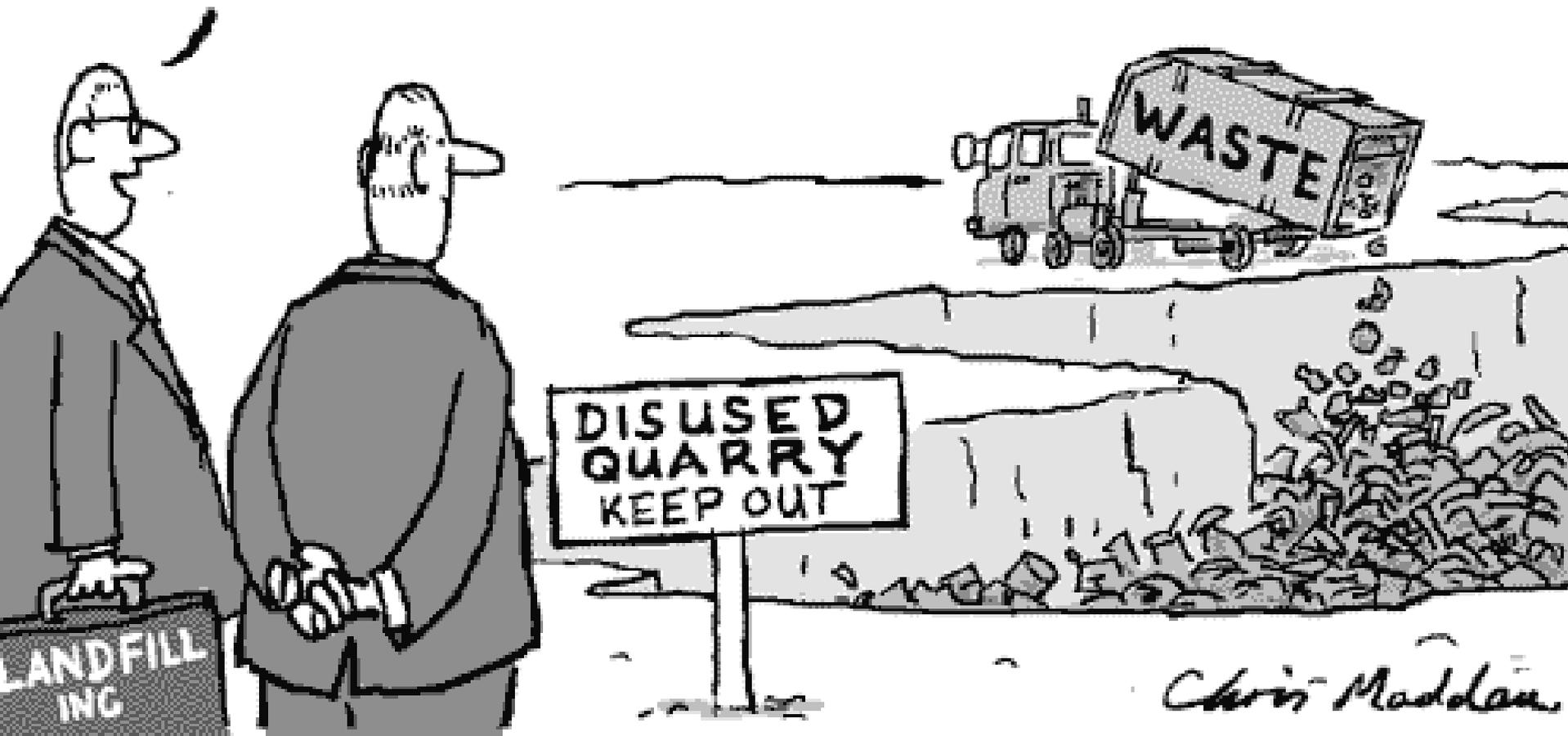
# Les enjeux globaux



*D'après McBratney et al., 2012*

# L'exportation et le cycle des nutriments

The original inhabitants of this land had a saying -  
'Every time you take something from the Earth,  
you must give something back.'





# Les systèmes d'information du Gis Sol

## Des outils pour le très long terme

Quels sols pour les générations futures ?

Quels sols sous les forêts de 2100 ?

Pourquoi les sols forestiers sont-ils sous-représentés dans les bases de données ?

■ 2011

# L'état des sols de France



LES SERVICES RENDUS PAR LES SOLS



LA DIVERSITÉ DES SOLS DE FRANCE



L'ÉTAT DES SOLS DE FRANCE ET SON ÉVOLUTION



Nous n'héritons pas la terre de nos ancêtres.  
Nous l'empruntons à nos petits enfants.

Saint-Exupéry

**Merci de votre attention...**  
**Et bonnes journées Regefor !**  
**[Dominique.Arrouays@orleans.inra.fr](mailto:Dominique.Arrouays@orleans.inra.fr)**

