



Groupement  
d'intérêt  
scientifique



**INRA**  
SCIENCE & IMPACT

# L'état des sols de France enjeux et évaluation

Claudy Jolivet  
Unité InfoSol INRA Val de Loire  
[claudy.jolivet@orleans.inra.fr](mailto:claudy.jolivet@orleans.inra.fr)

Master 2 HBV  
Univ. Tours 03 octobre 2014



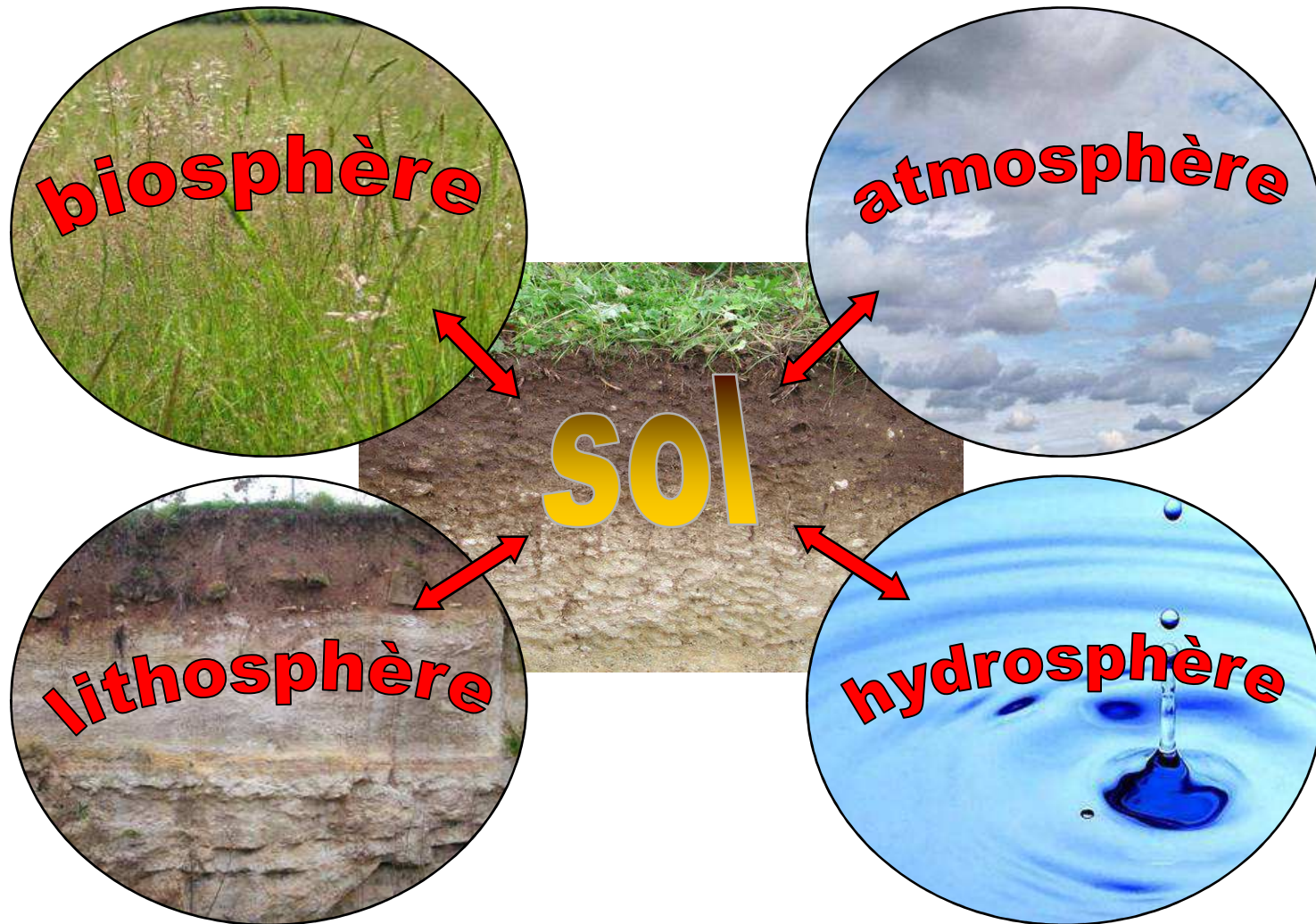
# Plan

---

- Comment définir la qualité d'un sol ?
  - Fonctions et services rendus par les sols
  - La diversité des sols français
  - Les programmes d'acquisition de données sur les sols
  
- L'état des sols de France
  - Les pertes en sol
  - Les sols et le changement climatique
  - L'état de la fertilité chimique des sols
  - La contamination des sols
  - L'état de la biodiversité dans les sols
  - Le tassement des sols

# Le sol : interface dans l'environnement

---



# Qu'est ce que la qualité d'un sol ?

---

**C'est sa capacité à fonctionner  
(caractère vivant et dynamique du sol),  
à remplir un certain nombre de fonctions  
=> à rendre des services**

- La qualité en soi n'existe pas
- Elle se définit par rapport à des fonctions, à des services rendus et à leur durabilité

# Fonctions et services rendus par les sols

## Production d'aliments et de biomasse



Source : A. Richer de Forges (CA 45)

Source : Infosol (INRA Orléans)

## Habitat et patrimoine génétique



Source : Infosol (INRA Orléans)

Source : J. Moulin (CA 36)

## Stockage, filtration Transformation des mat.org, régulation des flux hydriques

(minéraux, matière organique, eau,  
énergie, substances chimiques, gaz)



Source : A. Richer de Forges (CA 45)



## Source de matières premières



Source : J. Moulin (CA 36)

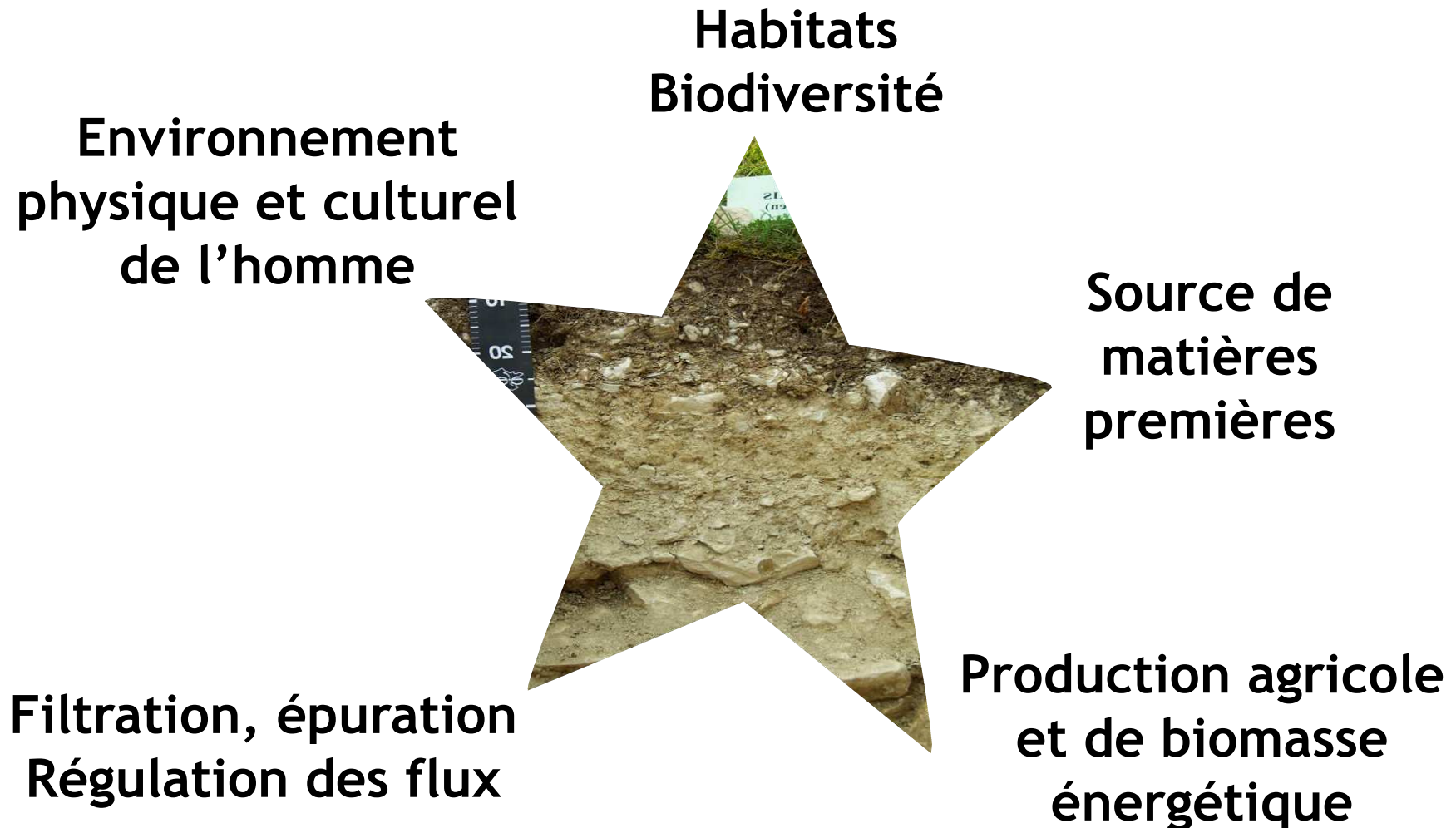
## Environnement physique et culturel pour l'homme



Source : C. Schwartz (ISAL)

# Des fonctions multiples et des services parfois antagonistes : conflits d'usage du sol

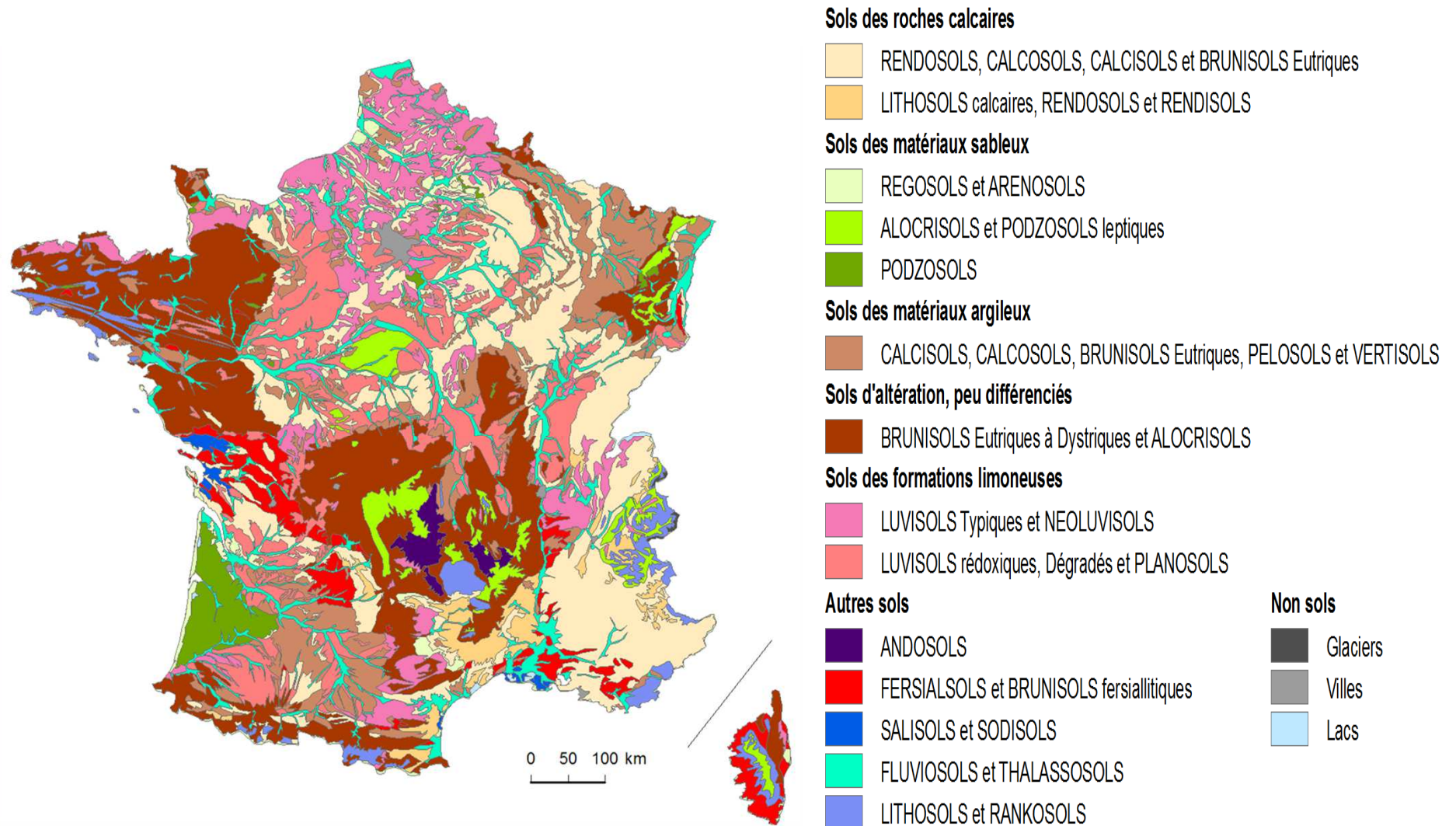
---



# La diversité des sols



# La diversité des sols de France

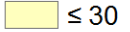
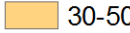





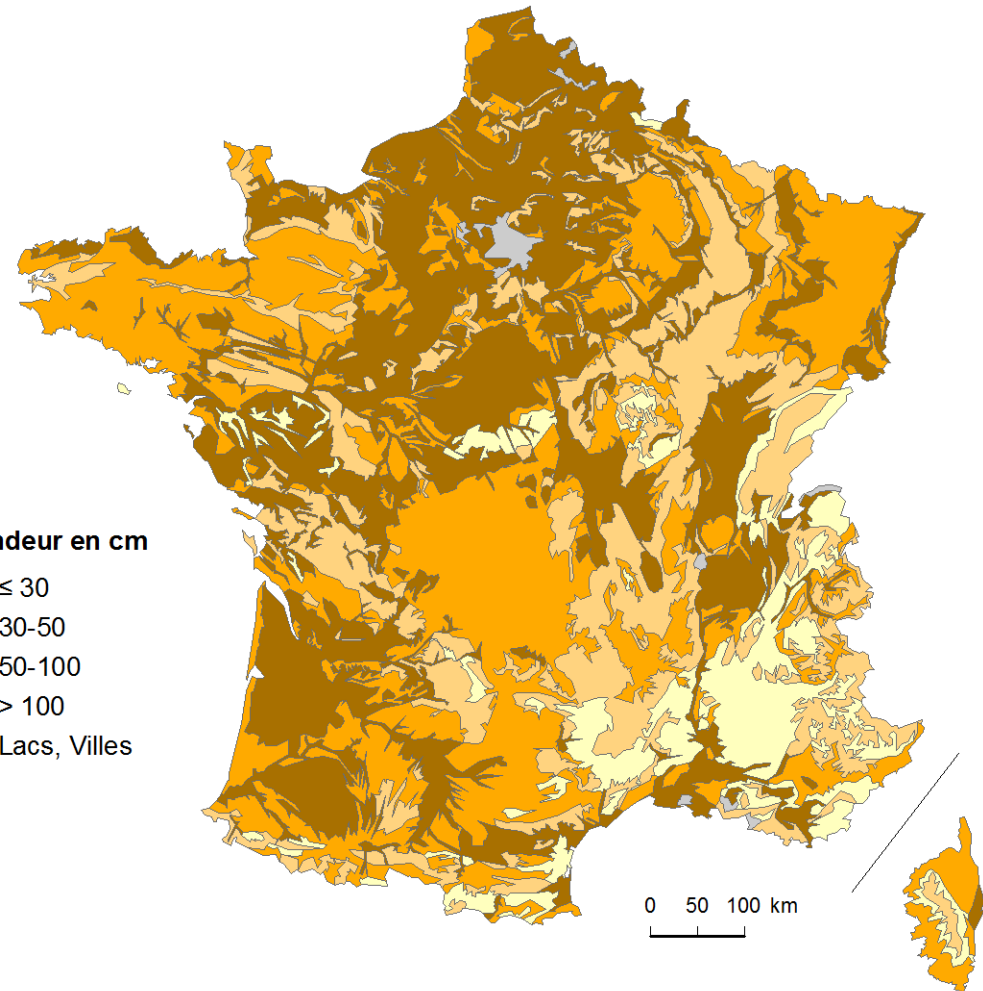


# Principales caractéristiques des sols : la profondeur



Profondeur en cm

-  ≤ 30
-  30-50
-  50-100
-  > 100
-  Lacs, Villes



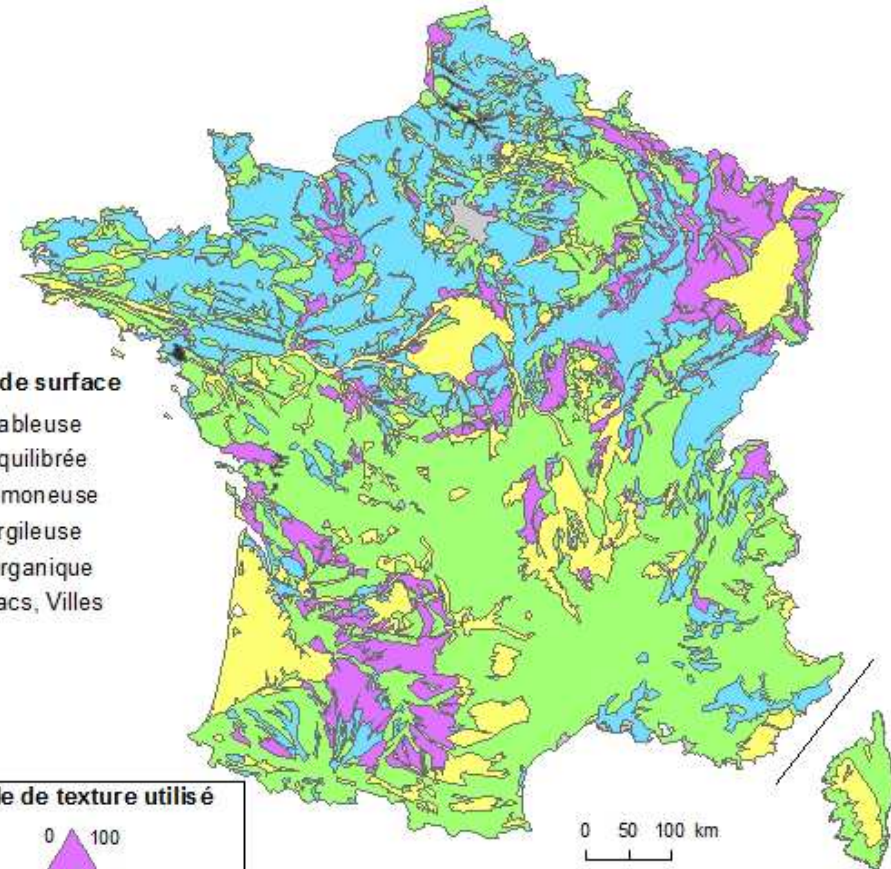
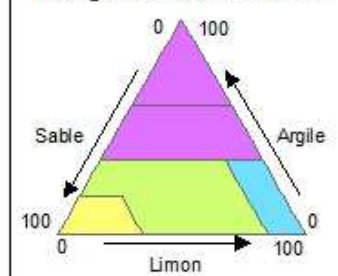
# Principales caractéristiques des sols : la texture



Texture de surface

- Sableuse
- Équilibrée
- Limoneuse
- Argileuse
- Organique
- Lacs, Villes

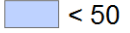
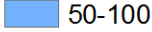




Triangle de texture utilisé

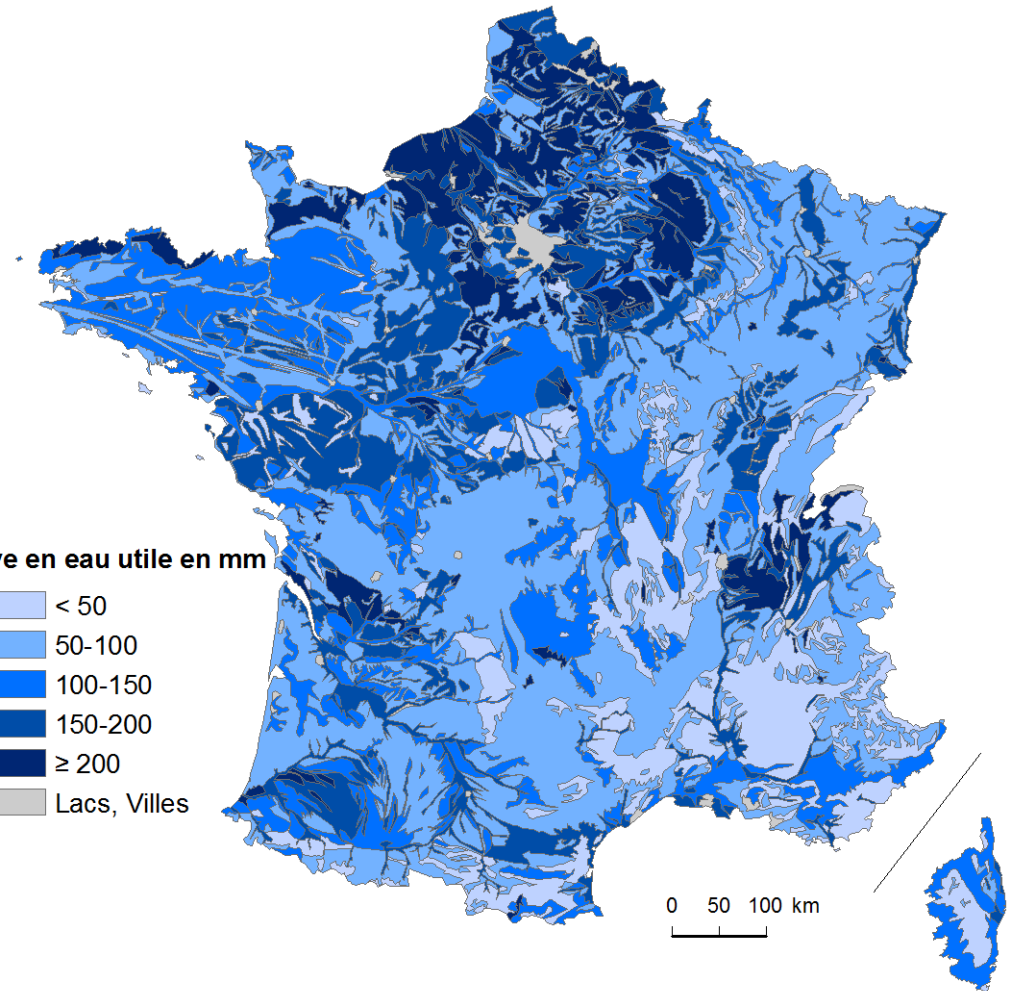


# Principales caractéristiques des sols : l'eau dans les sols



Réserve en eau utile en mm

-  < 50
-  50-100
-  100-150
-  150-200
-   $\geq 200$
-  Lacs, Villes



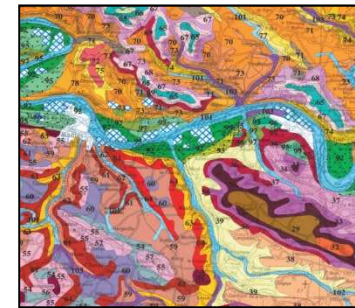
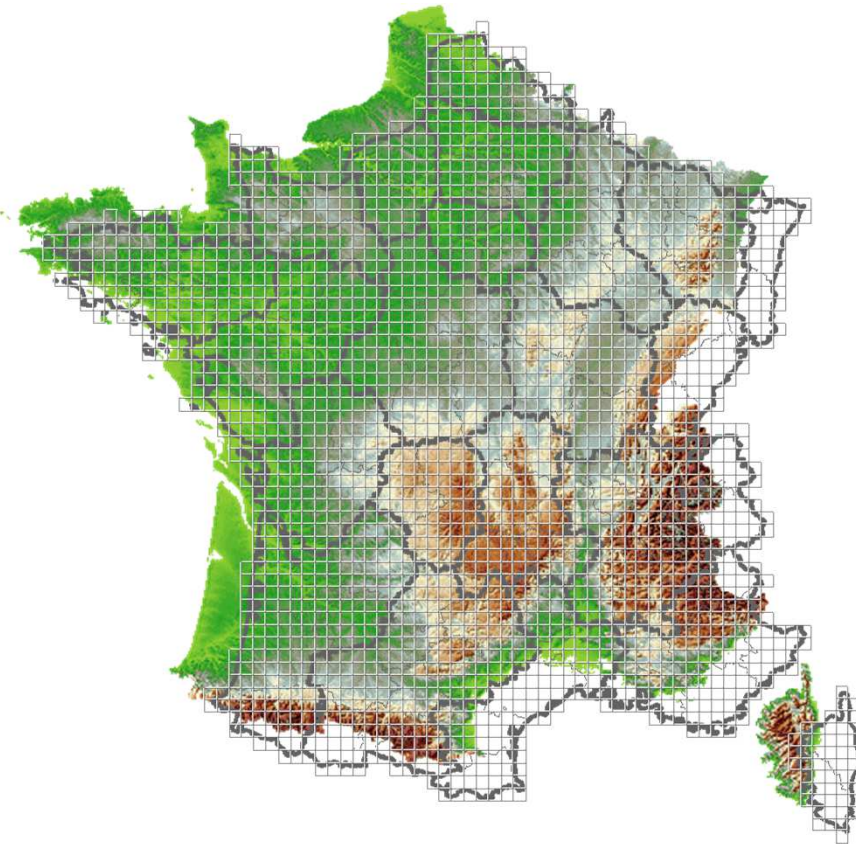
# Comment évaluer et suivre la qualité des sols face à cette diversité ?



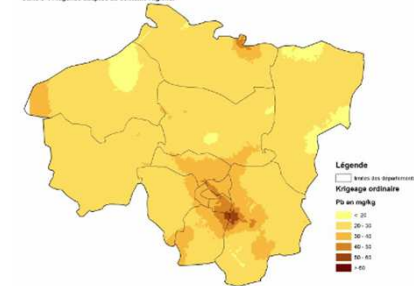
# Les programmes d'acquisition de données sur les sols



© Claudy Jolivet (INRA Orléans)



Carte 8-4 : légende adaptée au contexte régional





# Des programmes financés par le Gis Sol

## LE GROUPEMENT D'INTERET SCIENTIFIQUE SOL (**MEDDE**, **MAAF**, **ADEME**, **INRA**, **IRD**, **IGN**)



pour une gestion patrimoniale et durable des sols

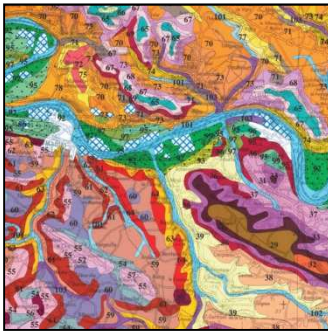


« *constituer et gérer le système d'information sur les sols de France* »

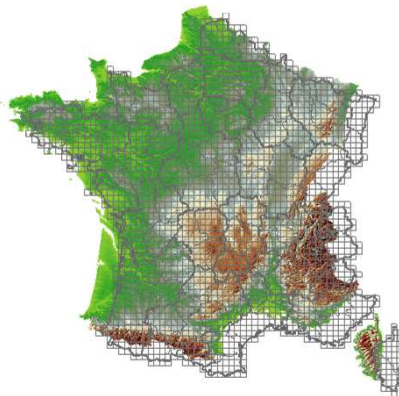


# Les programmes du Gis Sol

Des programmes nationaux pour améliorer la connaissance et la surveillance des sols de France



Inventaire Gestion et  
Conservation des Sols (IGCS)



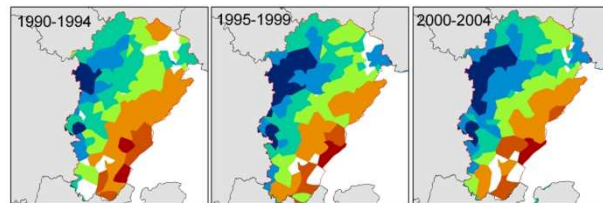
Réseau de Mesures de la  
Qualité des Sols (RMQS)



# Les programmes du Gis Sol

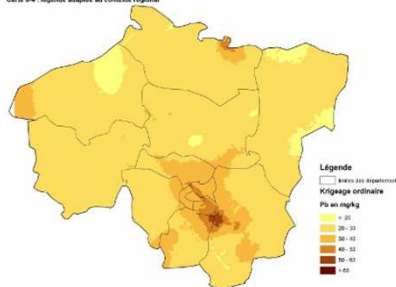
Des bases de données nationales pour capitaliser  
les analyses de sols réalisées en France

Soil organic carbon content (g kg<sup>-1</sup>)



Base de Données  
d'Analyses de Terre (BDAT)

Carte B-4 : légende adaptée au contexte régional



Base de Données Éléments  
Traces Métalliques (BDETM)





# Les programmes du Gis Sol

Le Conservatoire des Sols :  
un conservatoire national pour archiver et valoriser  
les échantillons de sols collectés en France

© Claudy Jolivet (INRA Orléans)

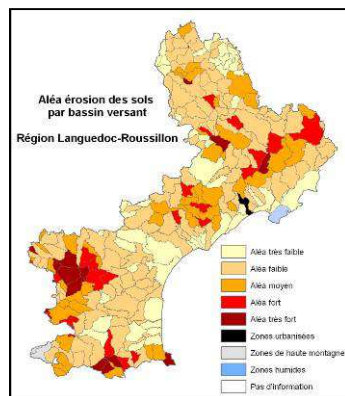
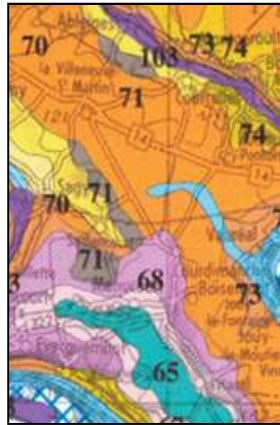


© Philippe Berché (INRA Orléans)



# Inventaire Gestion et Conservation des Sols (IGCS)

## « Inventorier les sols pour mieux les gérer »



- identifier, définir et localiser les **principaux types de sols** d'une région ou d'un territoire et caractériser leurs propriétés
- constituer des **bases de données** de qualité répondant aux besoins des utilisateurs
- évaluer les **aptitudes des sols et les risques pour différents usages** (agriculture, environnement, aménagement des territoires)

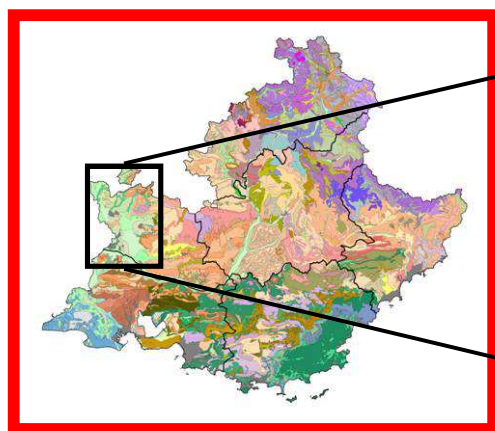


# IGCS : un programme multi-échelle

Référentiels Régionaux  
Pédologiques (RRP)

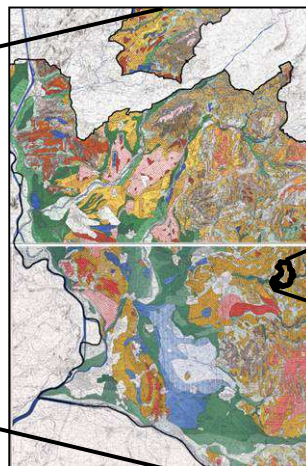
Connaissance Pédologique  
de la France (CPF)

Secteurs de  
référence (SR)



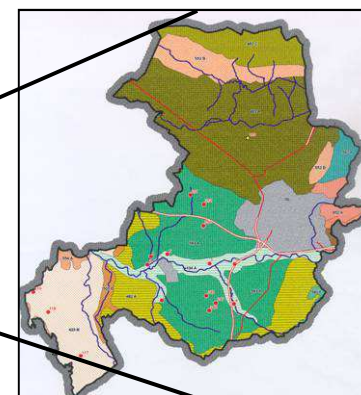
1/250 000

Régions, Départements



1/50 000 à 1/100 000

Petites Régions



1/10 000





Parcelles

← Un enrichissement progressif →

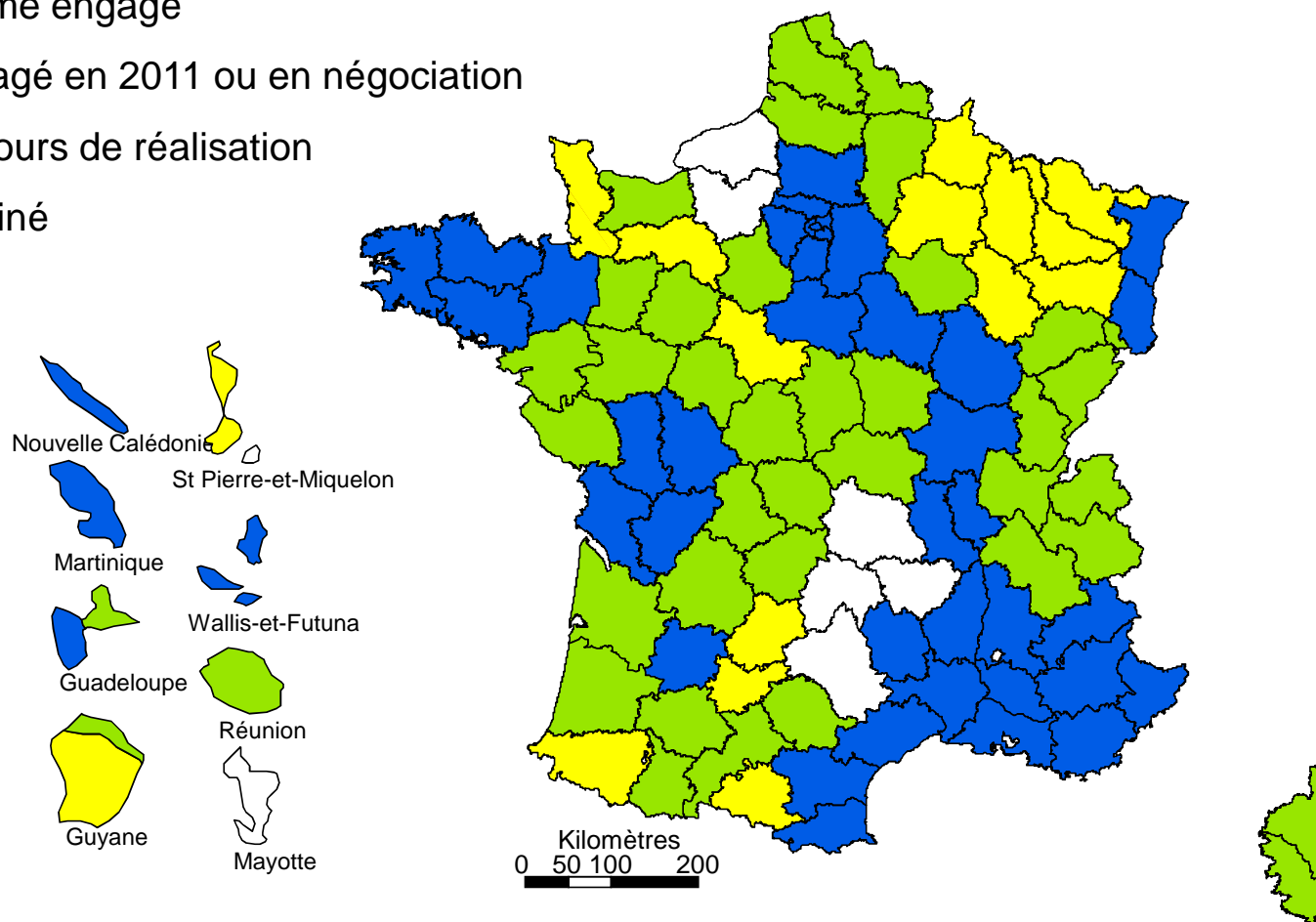


# Référentiels régionaux pédologiques : état d'avancement

## Légende

-  Pas de programme engagé
-  Programme engagé en 2011 ou en négociation
-  programme en cours de réalisation
-  programme terminé

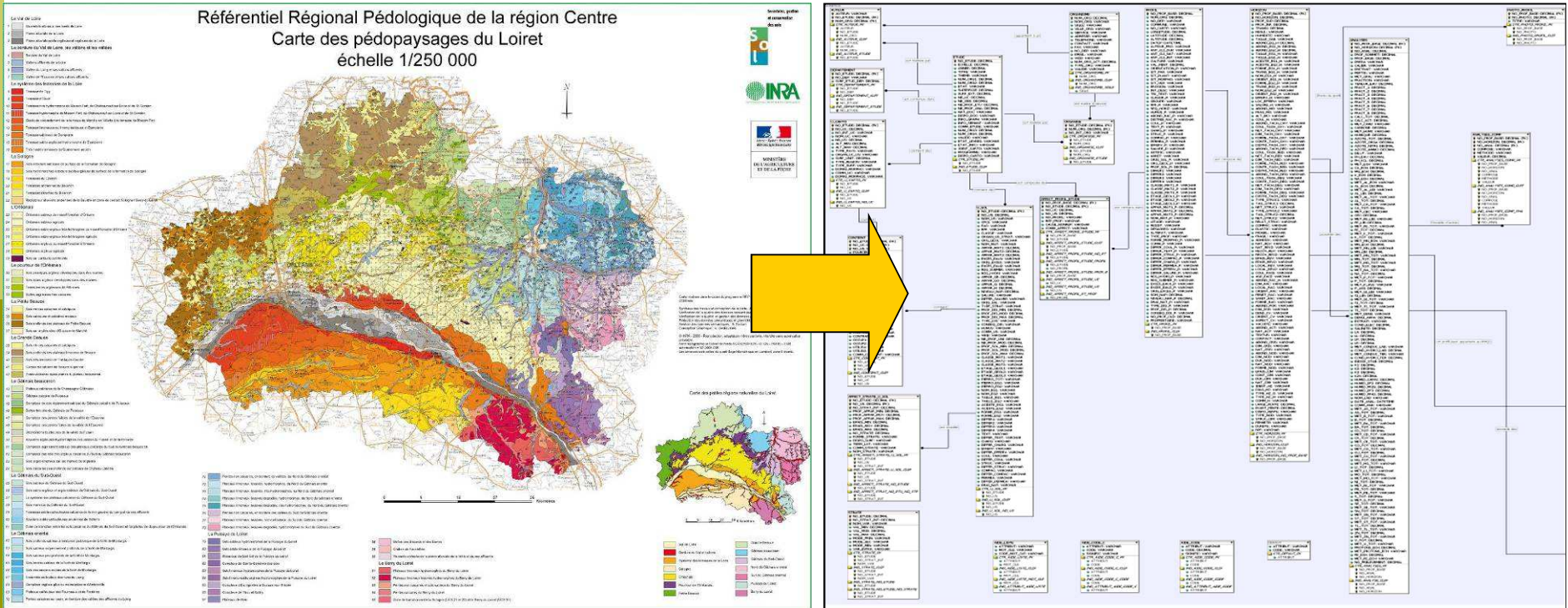
80% du territoire métropolitain est couvert





# Qu'est-ce qu'un référentiel régional pédologique ?

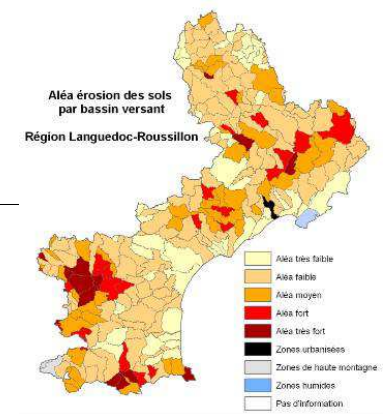
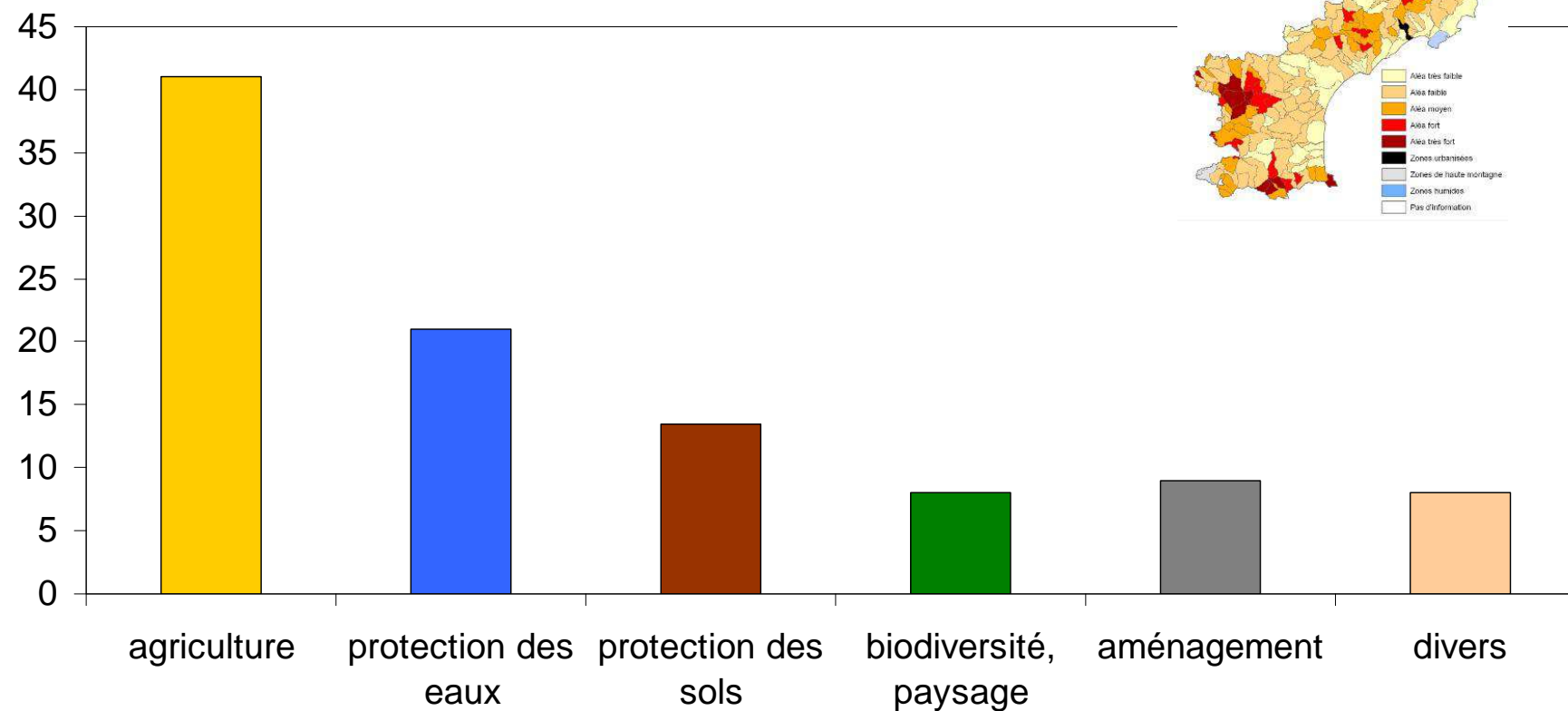
## une **carte de sols** et une **base de données**





# Valorisation thématique des bases de données IGCS

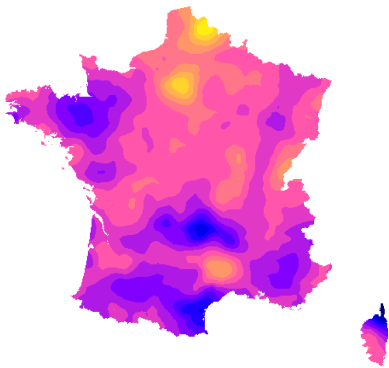
(%) Des centaines d'applications thématiques





# Réseau de Mesures de la Qualité des Sols (RMQS)

## « Suivre l'évolution de la qualité des sols français »

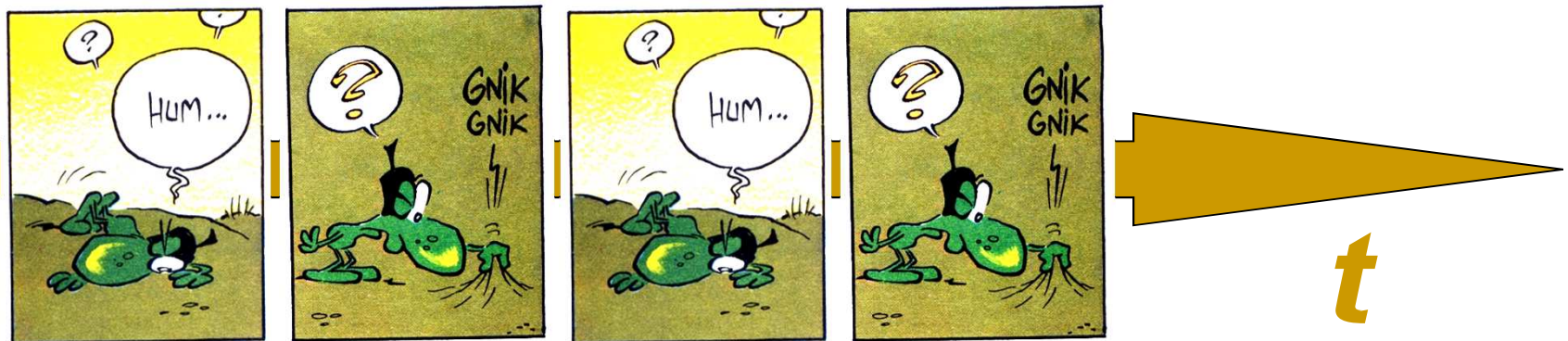


- Établir un **tableau de bord** de la qualité des sols (bilan et référence)
- **Cartographier** les propriétés des sols (contamination diffuse)
- Détecter des **évolutions** (réseau d'alerte)
- Constituer une **banque d'échantillons** de sols

# Qu'est-ce que la surveillance ?

## Surveiller vt :

Observer attentivement pour contrôler, vérifier.



**Implique un processus de répétition des observations**



# Qu'est-ce que la surveillance appliquée aux sols ?

La surveillance des sols est la détermination systématique des propriétés du sol afin d'enregistrer leurs variations temporelles et spatiales (FAO/ECE, 1994)



Un réseau de surveillance est un ensemble de sites où l'évolution des caractéristiques du sol est mesurée périodiquement à partir d'un ensemble étendu de propriétés de sol (Morvan *et al.*, 2008)

# Quelles solutions pour surveiller les sols ?

---

- Réutiliser des données acquises pour d'autres objectifs (ex : BDAT)
- Ré-échantillonner des sites initialement analysés pour d'autres objectifs (ex : profils IGCS)
- Développer des programmes de surveillance dédiés (ex : RMQS)



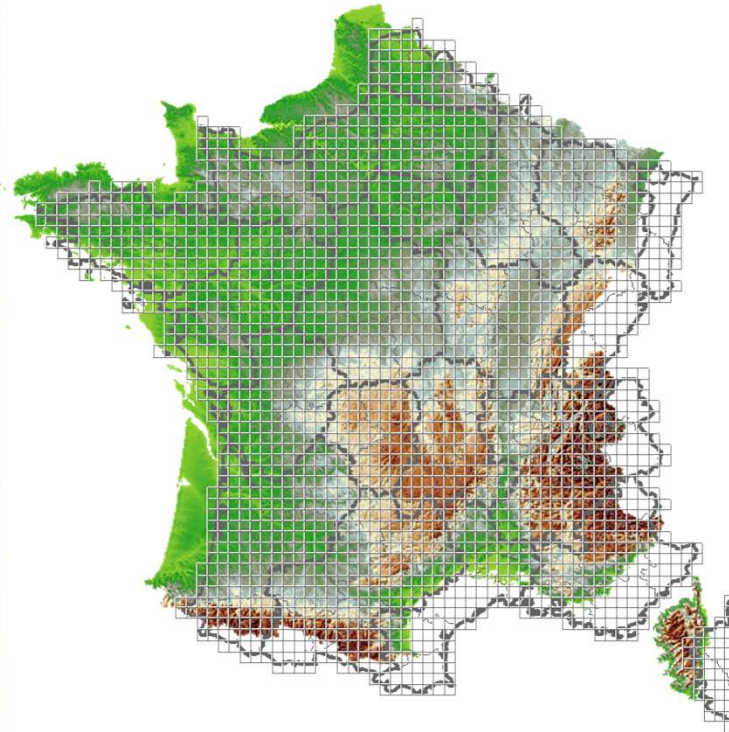
**→ Rôle essentiel des SI et des conservatoires**



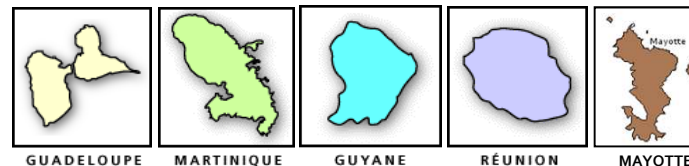
# Le RMQS : un réseau systématique



© Claudy Jolivet (INRA Orléans)



- 2200 sites
- répartis selon une grille de 16 km x 16 km
- représentatifs des sols français et de leurs usages
- rééchantillonnés régulièrement



GUADELOUPE

MARTINIQUE

GUYANE

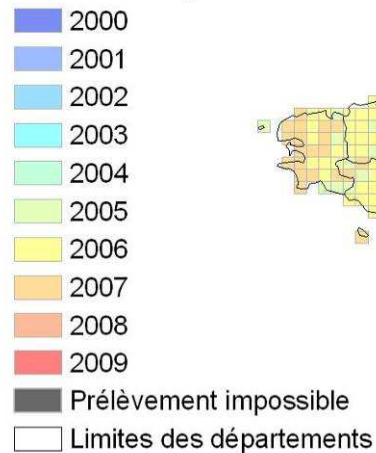
RÉUNION

MAYOTTE

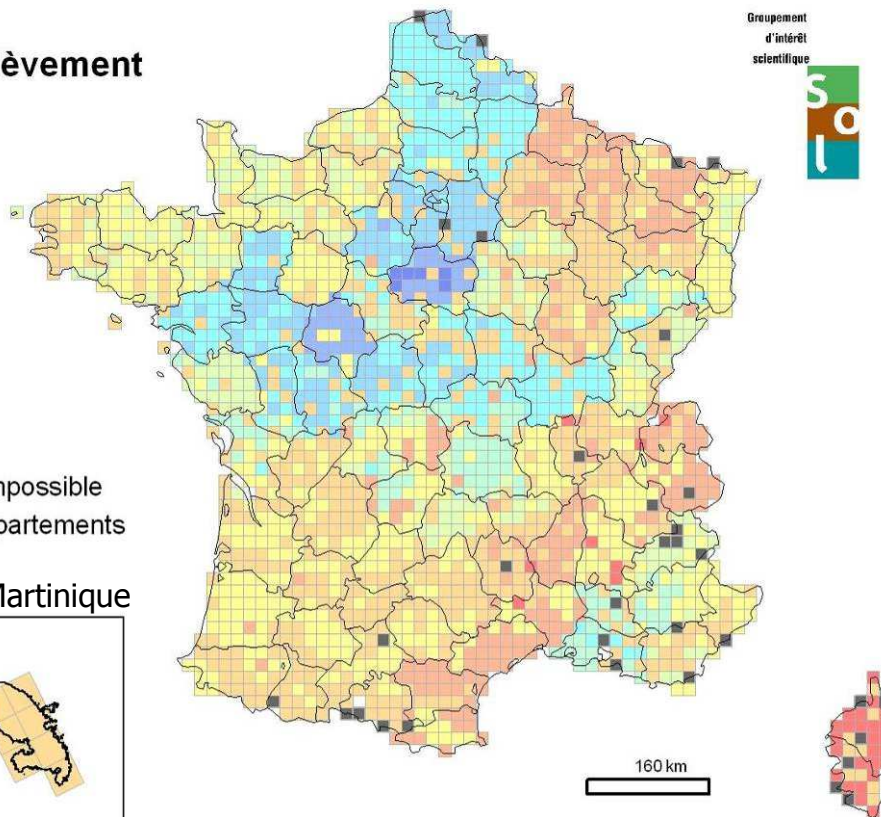
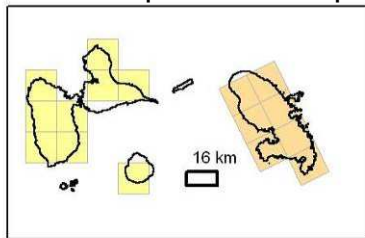


# Un suivi à long terme

## Année de prélèvement



## Guadeloupe et Martinique



## Métropole

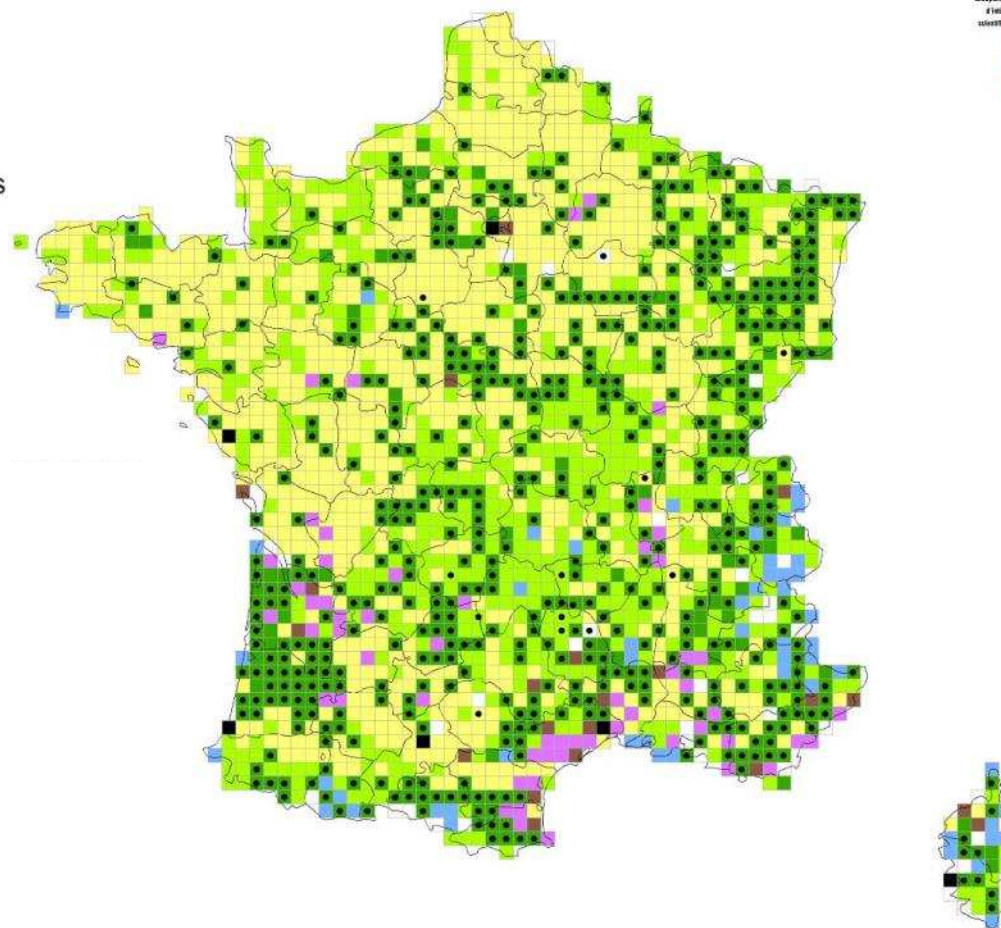
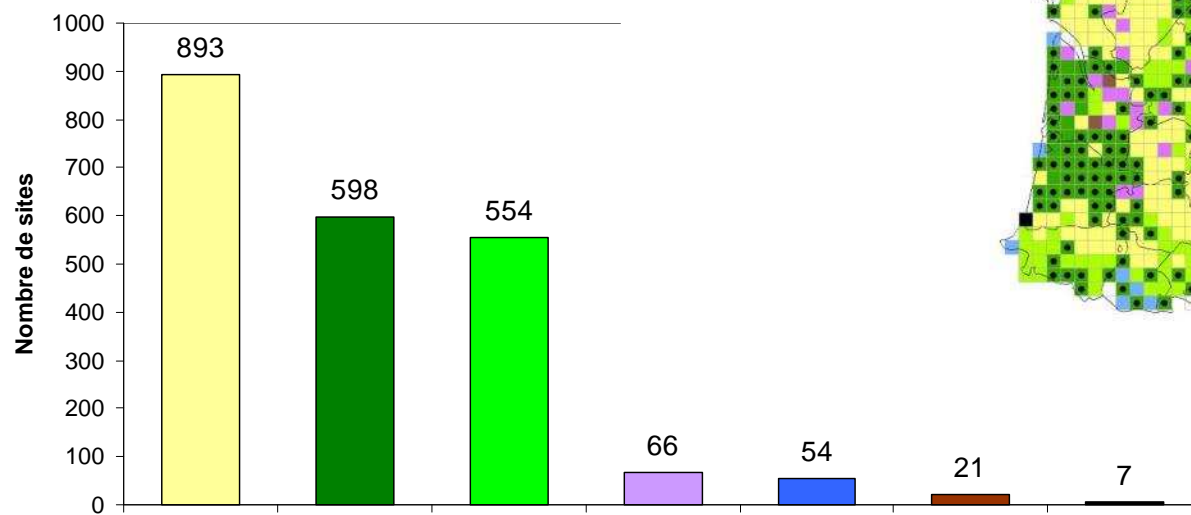
- 2000-2009  
1<sup>ère</sup> campagne
- 2015-2026  
2<sup>ème</sup> campagne

## Outre-mer

- 2006 Guadeloupe
- 2007 Martinique
- 2012 Réunion
- 2012 Mayotte
- 2014/15 Guyane

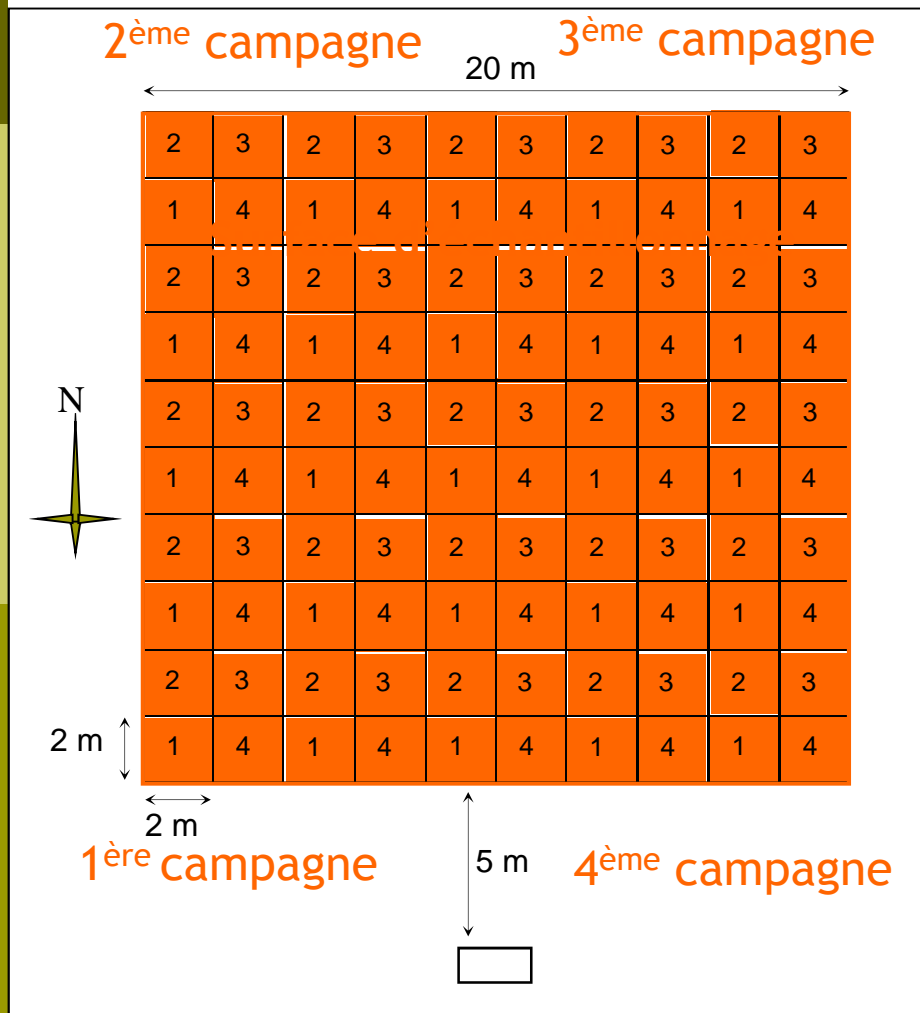


# Une diversité d'occupation





# Qu'est ce qu'un site RMQS ? la surface d'échantillonnage



- Des échantillons composites issus du mélange de 25 prélèvements
- horizons 0 (forêts, prairies)
  - couche travaillée ou 0-30 cm
  - couche sous-jacente ou 30-50 cm



# Qu'est ce qu'un site RMQS ? la fosse pédologique

20 m

2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
1	4	1	4	1	4	1	4	1	4

**Saisie des horizons du profil** (compatible DONESOL 2) RMQS F 04 0305

Etude RMOS N° RMQS 1463

**Eléments grossiers**

Abondance (% volumique)	
1	3
2	3
3	5
4	4
5	5
6	6

Abondance EG A et B (% volumique)	
1	3
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

Nature	
1	quartz
2	W
3	W
4	W
5	W
6	W

**Schéma du profil**

**Types d'horizons**

Type d'horizon H	
1	Horizon H1 (Brique)
2	Horizon H2 (mésique)
3	Horizon H3 (supra)
4	Horizon H4 (Mack)

Type d'horizon O	
1	Horizon O1a
2	Horizon O1b
3	Horizon O1c
4	Horizon O1d
5	Horizon O1e
6	Horizon O1f
7	Horizon O1g
8	Horizon O1h
9	Horizon O1i
10	Horizon O1j
11	Horizon O1k

Code de l'horizon	
1	A1
2	A2 (P)
3	S
4	C
5	
6	

**Commentaires sur les horizons :**

1 A1 : très organique à forte densité racinaire, peu épais et bien drainé. Enracinement régulier dû à son couvert végétal aéré.

2 A2p : très peu organique, à limite stratifiée, brun rouge, à très nombreux débris de bois de bruyère, à forte porosité, à perturbation anthropique.

3 S : horizon structurel partiellement localement brisé par racines d'origine charbonnière, diffuse zone localement caillouteuse à 50 cm (contient de quartz).

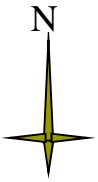
4 C : horizon d'altération de micaschiste, bariolé (B5Y5/4 dominant et P5YR/68), peu fertile, morceaux de micaschiste encore identifiable nombreux, liés.

5 On retrouve sur l'ensemble du profil quelques pierres et blocs quartz, rare, d'origine fluvienne et quelques fragments de briques.

(version modifiée par InfoSol - INRA Orléans pour le RMQS, mars 2005)

↓

**Fosse pédologique**



2 m

2 m

STIPA 2000 - U.M.I.R. Sol et Environnement - INRA Montpellier



# Qu'est ce qu'un site RMQS ? de nombreuses observations

## Historique et pratiques de gestion



## Environnement et sources de contamination







# Bilan de la première campagne en quelques chiffres

- 10 ans de prélèvements
- 1 600 fosses pédologiques
- de 0 à 2500 mètres d'altitude
- 98 000 coups de tarière
- 24 000 échantillons (60 t de terre)
- 1 800 000 données collectées
- 300 participants (dont 6 mules et 3 ânes)



© David Sardin (ENITA Bordeaux)



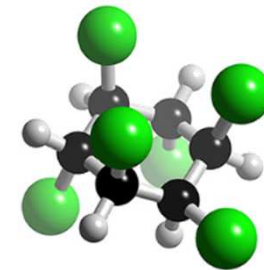
© Claudy Jolivet (INRA Orléans)



# RMQS1 : un menu analytique axé sur la contamination des sols

## Menu standard

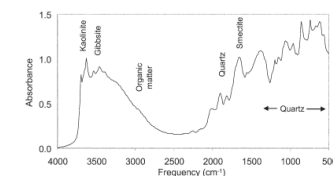
- **Paramètres pédologiques** : pH, C, N, P ass., granulométrie, CEC, cations éch., éléments majeurs, B, ...
- **Contaminants** :
  - éléments traces : As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Tl, Zn (extraction totale ou partielle)
  - micropolluants organiques : HAP, PCB, dioxines, furanes, OCP, herbicides (sélection de sites)



© Claudy Jolivet (INRA Orléans)

## Projets de recherche

- **Biodiversité** :
  - microorganismes : ADN bact./champ., pathogènes
  - faune : vers de terre, nématodes, collemboles (Bretagne)
- **Qualité des matières organiques** :
  - NIRS, MIRS
  - Black carbon
  - Glomaline

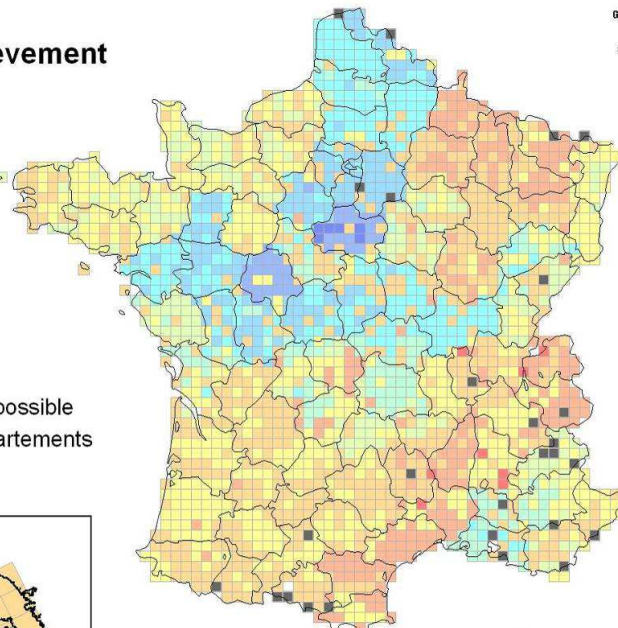
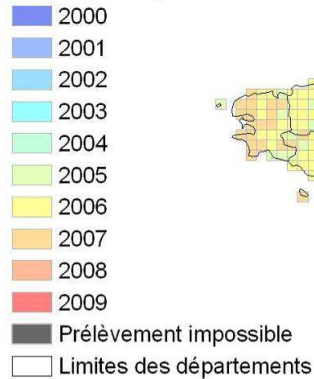




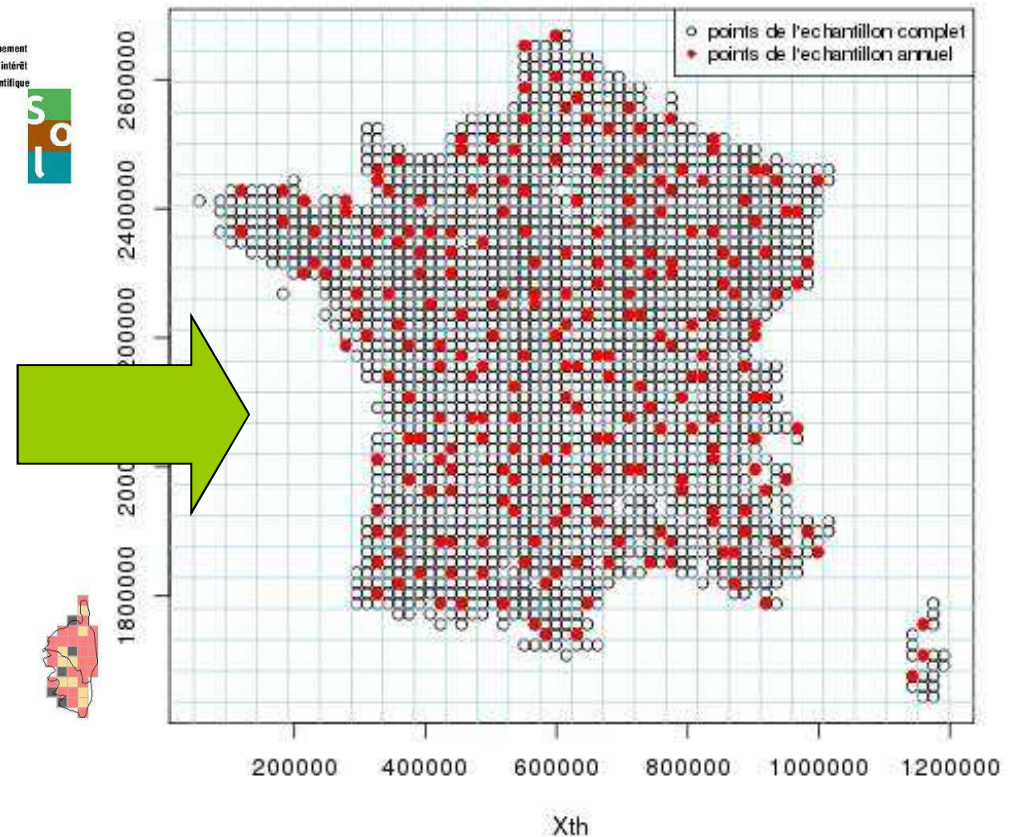
# RMQS2 : une nouvelle stratégie d'échantillonnage annualisée

RMQS1

Année de prélèvement



RMQS2 : exemple d'échantillon annuel



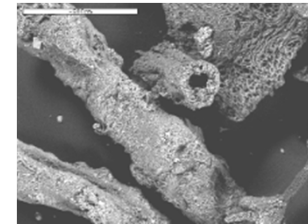
Améliorer la capacité du RMQS à détecter des évolutions et pouvoir cartographier plus rapidement des variables à l'échelle de la France



# RMQS2 : un menu analytique axé sur le changement climatique

## Menu standard

- **Paramètres pédologiques** : pH, C, N, P ass., CEC, cations éch., ...
- **Carbone et gaz à effet de serre:**
  - stock de carbone jusqu'à 1 mètre
  - matières organiques particulaires (sélection)
  - black carbon
  - test de réduction du  $N_2O$  en  $N_2$



© Claudy Jolivet (INRA Orléans)

## Options

- **Réservoir en eau utilisable des sols**
  - teneurs en eau à pF 2 et pF 4,2
  - volume des éléments grossiers
  - réservoir utilisable des éléments grossiers

+ PROJETS DE RECHERCHE



# DONESOL : une base de données nationale les programmes du Gis Sol

DoneSolWeb 3.4.3

Recherche rapide

celine.rabe@orleans.inra.fr (Compte)

Bienvenue sur l'application DoneSolWeb 3.4.3. Cette application va vous permettre de gérer l'ensemble des entités définissant les études pédoagiques. Veuillez trouver ci-dessous l'ensemble des opérations auxquelles vous avez accès en fonction de vos droits. Seuls les Administrateurs de la base de données pourront modifier vos droits.

Si dans la colonne de l'opération souhaitée vous avez un vos droits ne vous permettent pas d'effectuer cette opération. Bonne utilisation.

	Rechercher	Saisir	Personnaliser
<b>INFORMATIONS GÉNÉRALES</b>			
ÉTUDES			
AUTEUR(S)			
ORGANISME			
<b>INFORMATIONS PONCTUELLES</b>			
PROFIL(S) (AFFECTATION À UNE ÉTUDE)			
HORIZONS			
ANALYSES			
PRÉLEVEMENTS			
PHOTOS			
<b>INFORMATIONS RMQS ET CONSERVATOIRE DE(S) SOL(S)</b>			
FORMULAIRE SIMPLIFIÉ			
CELLULE			
SITE			
INTERVENTION			
PHOTO D'ENVIRONNEMENT			
STATUT DES PRÉLEVEMENTS			
PROJET			
DEMANDE DE PRÉLEVEMENTS			

Aide : Dictionnaire de données | Liste de diffusion : DoneSol User | Journal de DoneSolWeb : Ici  
Copyright © 2009-2014 INRA. Tous droits réservés

Groupement  
d'intérêt  
scientifique

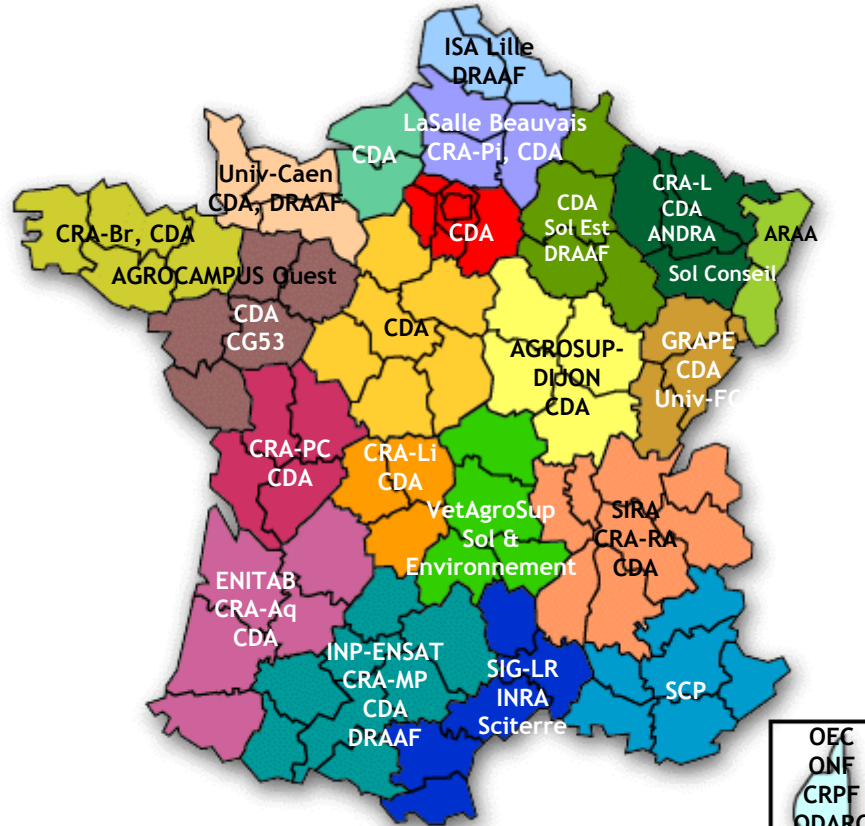
4 500 études  
88 000 profils de sols  
12 300 000 données

Une base de  
données :

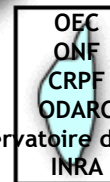
multi-échelle  
harmonisée  
contrôlée  
évolutive  
partagée



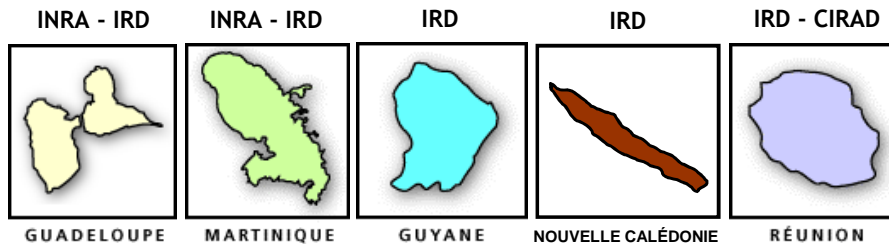
# ICGS et RMQS : un réseau de partenaires en région



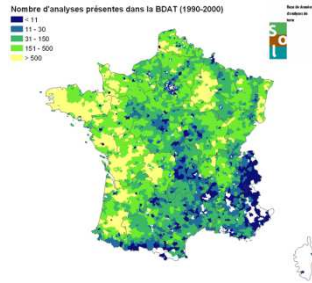
InfoSol coordonne  
et participe aux  
programmes du  
Gis Sol  
en s'appuyant sur  
un réseau de  
180 partenaires  
régionaux



Conservatoire du Littoral



# Les bases de données BDAT et BDETM

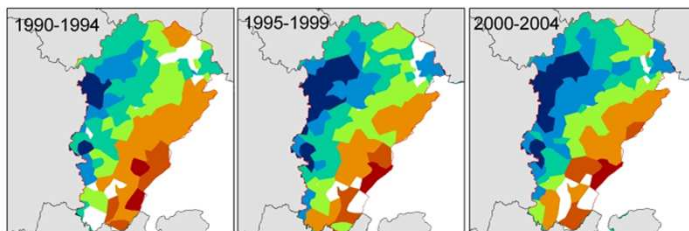


## «Capitaliser les analyses des sols agricoles français»

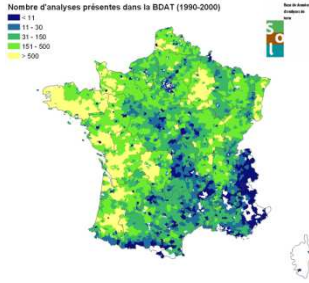
- **Collecter** les milliers d'analyses de sols agricoles réalisées chaque année
- Transformer des informations individuelles, isolées, dispersées et atemporelles en **bases de données** riches, géoréférencées et temporelles
- Développer des **outils de suivi** de l'évolution de la qualité des sols



Soil organic carbon content (g kg<sup>-1</sup>)

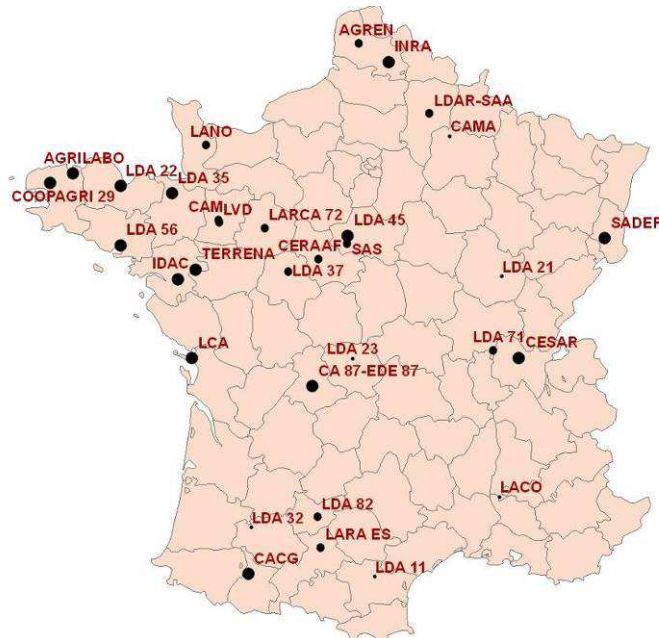


# BDAT et BDETM : sources de données



**BDAT :**  
40 laboratoires  
d'analyses de sols

Analyses agronomiques  
pour gérer la fertilisation

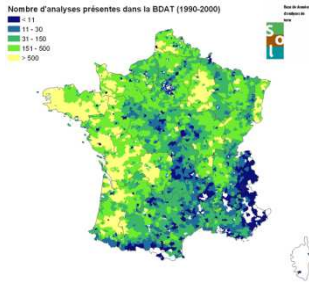


**BDETM :**  
100 fournisseurs  
de données

Analyses d'ETM réglementaires  
préalables aux autorisations  
d'épandage de boues

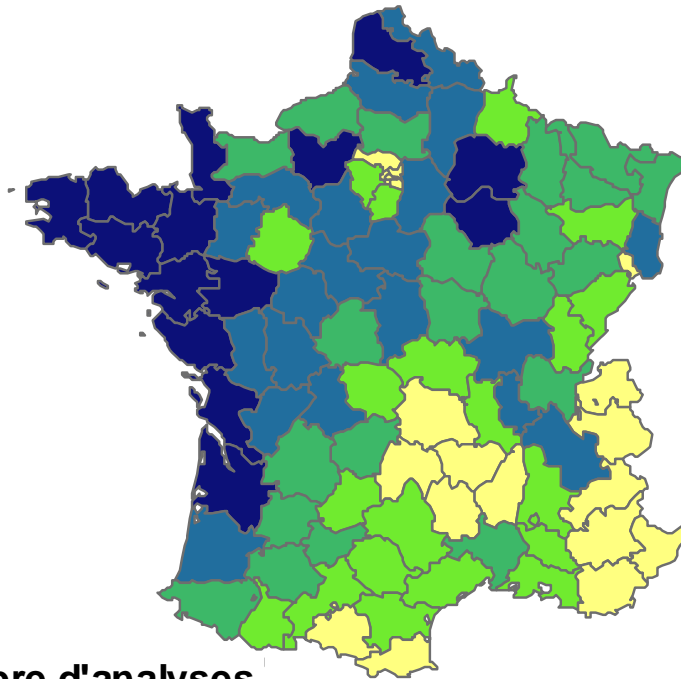
- Chambres d'agriculture
- Directions Départementales des Territoires (DDT)
- Services d'Assistance Technique aux Exploitants de Station d'Épuration (SATESE)
- Bureaux d'études
- ...



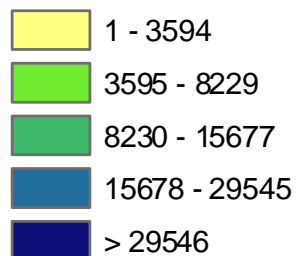


# Les bases de données BDAT et BDETM : contenu

**1 800 000** échantillons  
**19 000 000** déterminations

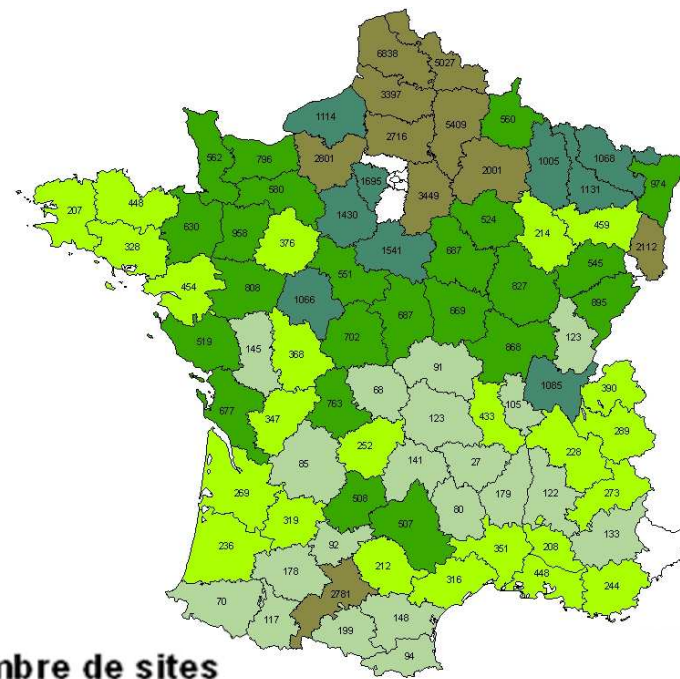


**Nombre d'analyses**

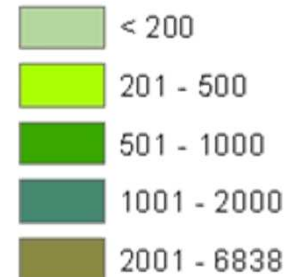


Collecte continue  
depuis 1990

**74 000** échantillons  
**520 000** déterminations



**Nombre de sites**

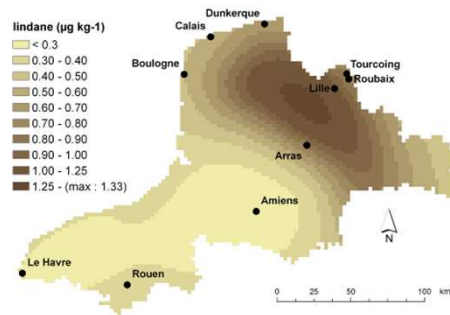


2 campagnes :  
1998 et 2008



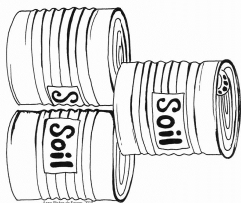
# Le Conservatoire des sols

© Claudy Jolivet (INRA Orléans)



« Construire la mémoire  
de nos sols »

- Constituer une **banque de sols**
- Pouvoir «**remonter le temps**»



# Le Conservatoire des sols : laboratoire et pédothèque



© Olivier Bertel (INRA Orléans)



© Claudy Jolivet (INRA Orléans)



# Le trésor du Conservatoire : 35 000 échantillons

Près de 70 tonnes de terre !



© Claudy Jolivet (INRA Orléans)

RMQS (première campagne)	24 000 échantillons 60 tonnes
IGCS (SR, CPF, RRP)	7 000 échantillons 3 tonnes
Santé des Forêts (campagne européenne BIOSOIL 2006-2007)	2 000 échantillons 2,5 tonnes
Observatoires de l'environnement	500 échantillons 1 tonne
Etudes ponctuelles	1000 échantillons 2,5 tonnes



# Bilan et perspectives des programmes du Gis Sol

	<b>Bilan</b>	<b>Perspectives</b>
<b>IGCS</b>	Réseau, labels de qualité, normalisation, RMT Sols & Territoires	Terminer les RRP Valoriser les données
<b>RMQS</b>	1 <sup>ère</sup> campagne achevée Valorisation	Poursuivre la valorisation 2 <sup>ème</sup> campagne
<b>BDAT &amp; BDETM</b>	Couverture exhaustive 15 ans de recul	Une nouvelle campagne de collecte
<b>Conservatoire des sols</b>	35 000 échantillons Un modèle reconnu	Enrichir le conservatoire

# Plan

---

- Comment définir la qualité d'un sol ?
  - Les fonctions et les services rendus par les sols
  - La diversité des sols français
  - Les programmes d'acquisition de données sur les sols
  
- L'état des sols de France
  - Les pertes en sol
  - Les sols et le changement climatique
  - L'état de la fertilité chimique des sols
  - La contamination des sols
  - L'état de la biodiversité dans les sols
  - Le tassement des sols