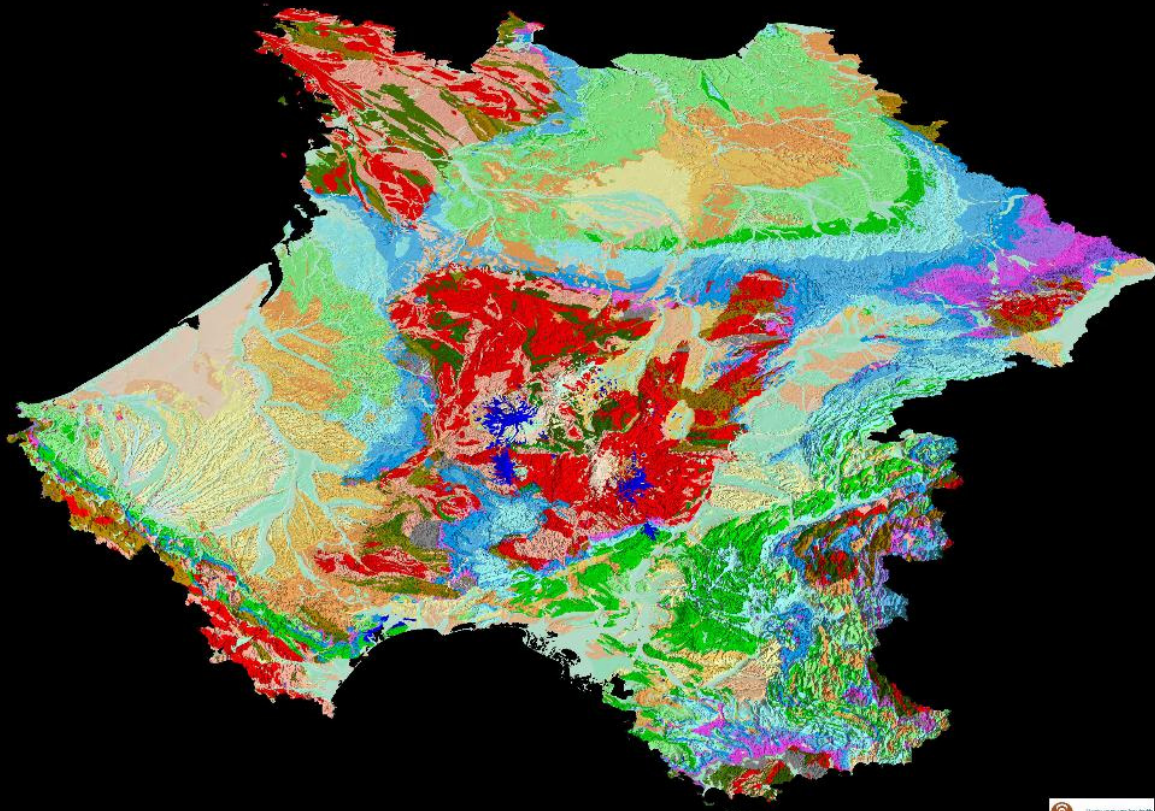


**FormaTerre 2009**

**Pratiques et Usages autour des cartes géologiques**



**Le Référentiel Géologique de la France**

**Formations superficielles et nouveaux projets de cartographie**

# Face aux défis posés par le développement ....

## > Problématiques globales

- Réchauffement climatique
- Pression anthropique sur les milieux
- Ecologie
- ...



## > Enjeux nationaux

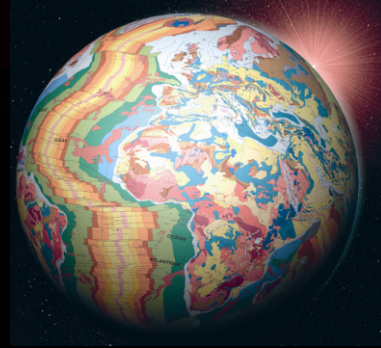
- Ressources naturelles
- Aménagement
- Risques
- ...

## > Besoins régionaux

- Ressources (inventaire et sauvegarde)
- Conflits d'usages
- Sécurité des personnes et des installations
- ...

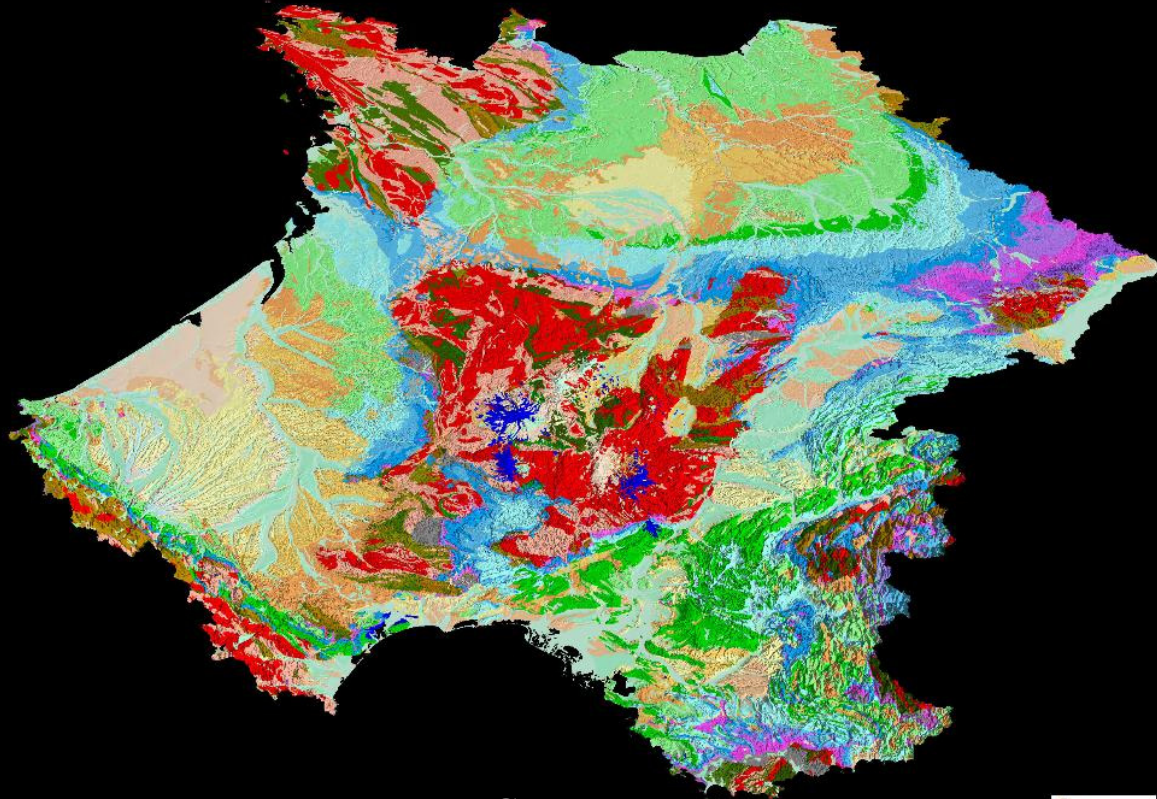


...quelles réponses peuvent apporter les  
géosciences ?



...répondre à l'urgence mais aussi  
capitaliser la connaissance et la mettre à disposition afin de  
permettre un développement durable

# Le Référentiel Géologique de la France



BRGM

Cartes Géologiques

Géologie 3D

Formations superficielles

Géophysique aéroportée



# Notre raison d'être

- > **comprendre les phénomènes géologiques**
- > **développer des méthodologies et des techniques nouvelles**
- > **produire et diffuser des données pertinentes et de qualité**

**afin de mettre à disposition les outils nécessaires aux politiques publiques :**

- de gestion du sol et du sous-sol et des ressources
- de prévention des risques naturels et des pollutions
- d'aménagement du territoire

## Caractéristiques :

- > **Établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC)**
- > **Sous la tutelle des ministères en charge de la Recherche, de l'Industrie et de l'Environnement**
- > **Effectif : 1008 personnes**

# Domaines thématiques :

- > **Géologique**
- > **Ressources minérales**
- > **Géothermie**
- > **Stockage géologique du CO<sub>2</sub>**
- > **Eau**
- > **Après-mine**
- > **Aménagement et risques naturels géologiques**
- > **Sites et sols pollués**
- > **Météorologie de l'environnement**
- > **Systemes d'information numérique**

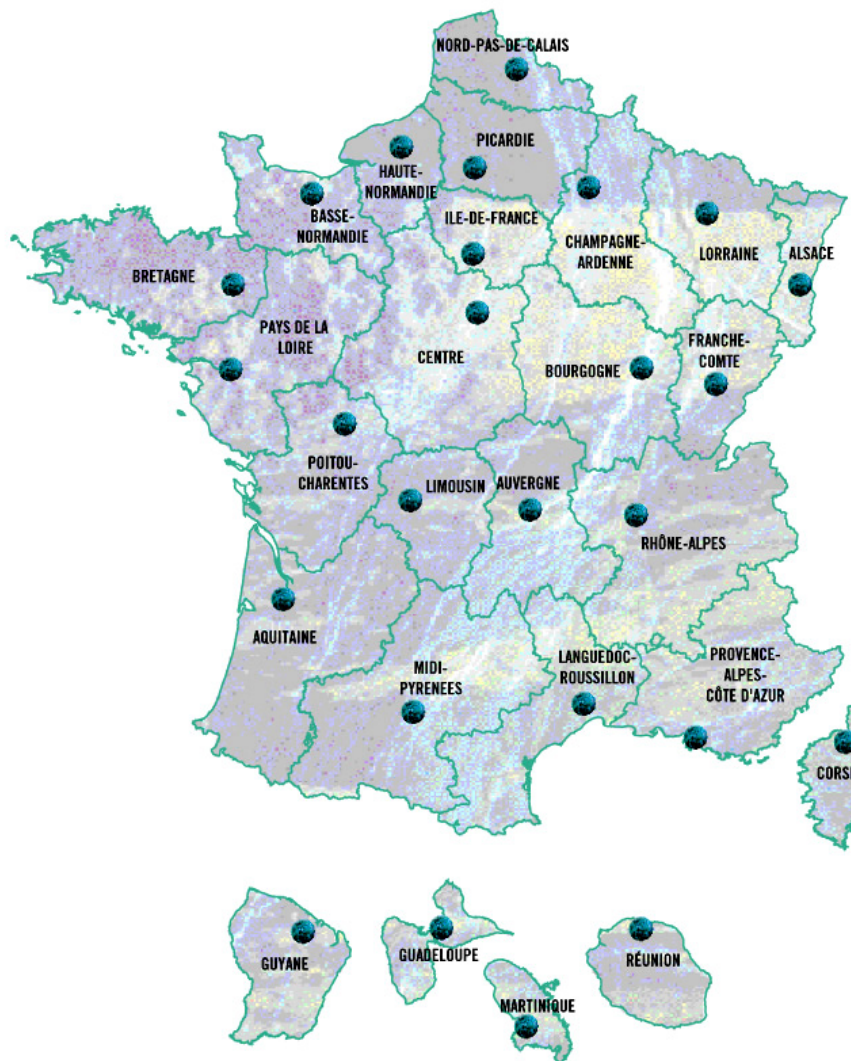


# 26 services géologiques régionaux (dont 4 DROM et Mayotte)

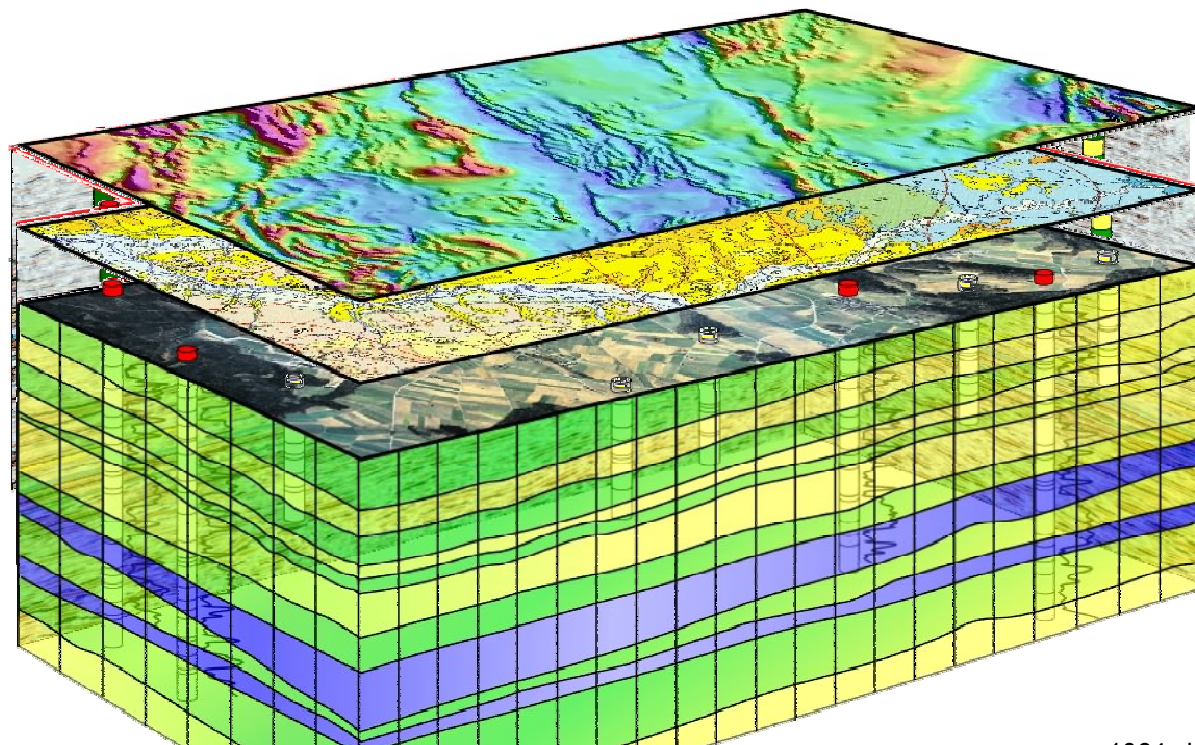
➤ Un réseau en appui aux politiques publiques, au service des administrations déconcentrées, des collectivités territoriales, des agences d'objectifs... et du développement régional

➤ Des partenariats régionaux dans la durée

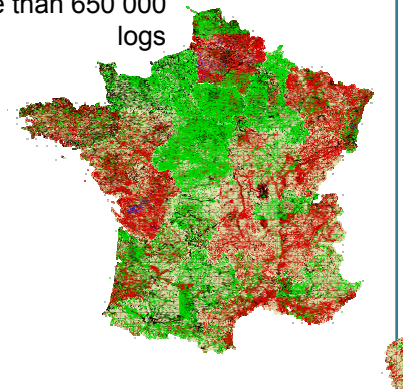
➤ Une présence de proximité au plus près des besoins locaux



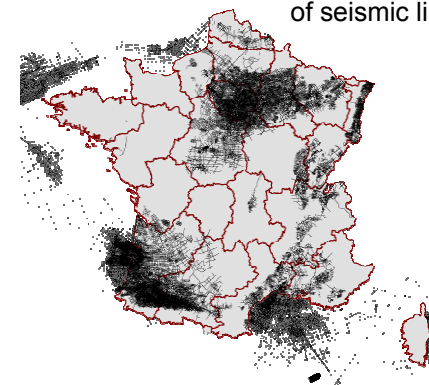
# Bases de données du BRGM



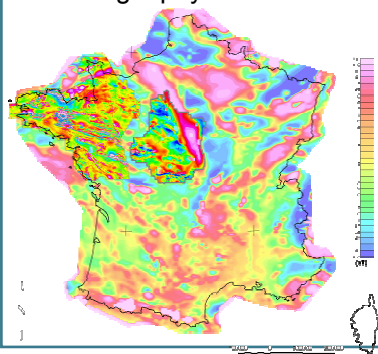
More than 650 000 logs



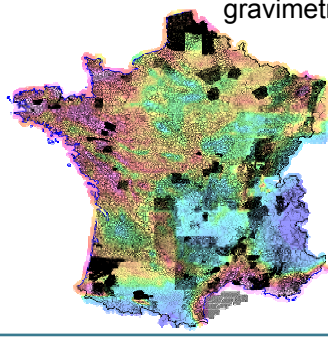
More than 350 000 km of seismic lines



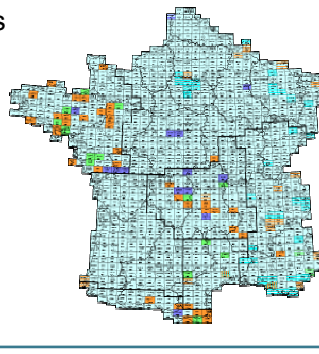
Airborne geophysics



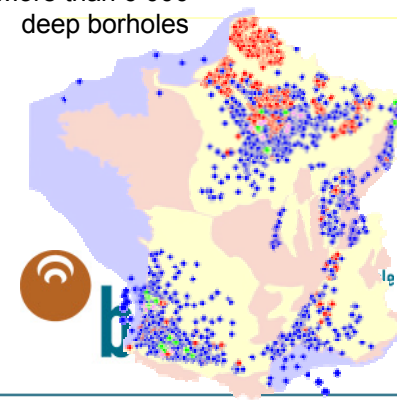
More than 417 000 gravimetric stations



1064 sheets at 1:50 000 scale



More than 6 000 deep borholes



## Bases de données

### > Développement par le BRGM de banques de données de portée nationale:

- Dans le cadre de sa mission d'acquisition de « Connaissance Géologique »
  - Banque du sous-sol
  - Cartes géologiques numériques scannées et vectorisées
  - Cartes harmonisées
  - Forages pétroliers et profils sismiques
  - Géochimie sols/sédiments de ruisseau « inventaire minier »
  - Gravimétrie
  - Rapports public
- Pour le Ministère de l'Ecologie :
  - ADES :suivi de la quantité et de la qualité des eaux souterraines,
  - Mouvements de terrains
  - Cavités souterraines
  - SisFrance métropole et DOM/TOM
  - BASIAS (anciens sites industriels et activités de services)
  - Décharges illégales
  - Inondations par remontées de nappes
  - Argiles / retrait gonflement
  - Patrimoine géologique
- Pour le Ministère de la Culture
  - Pierres et monuments historiques
- Dans le cadre de sa mission « après-mines »
  - Archives techniques après-mines
- .....

# Mise à disposition des données

<http://infoterre.brgm.fr>



Sélectionner une zone

Sauvegarder la carte Charger une carte Imprimer

**Couches affichées**

Couches affichées Légendes

- ▼ Carte géologique imprimée 1/1 000 000 (BRGM)  
Accéder à la légende
- ▼ Topographie France Métropolitaine, Corse et DOM-COM (GEOSIGNAL)  
Aucune légende
- ▼ Fond de carte mondial  
Aucune légende

**Localisation**

Aller à... Navigateur

Aller à...

Sélectionner une zone

Sélectionner une région

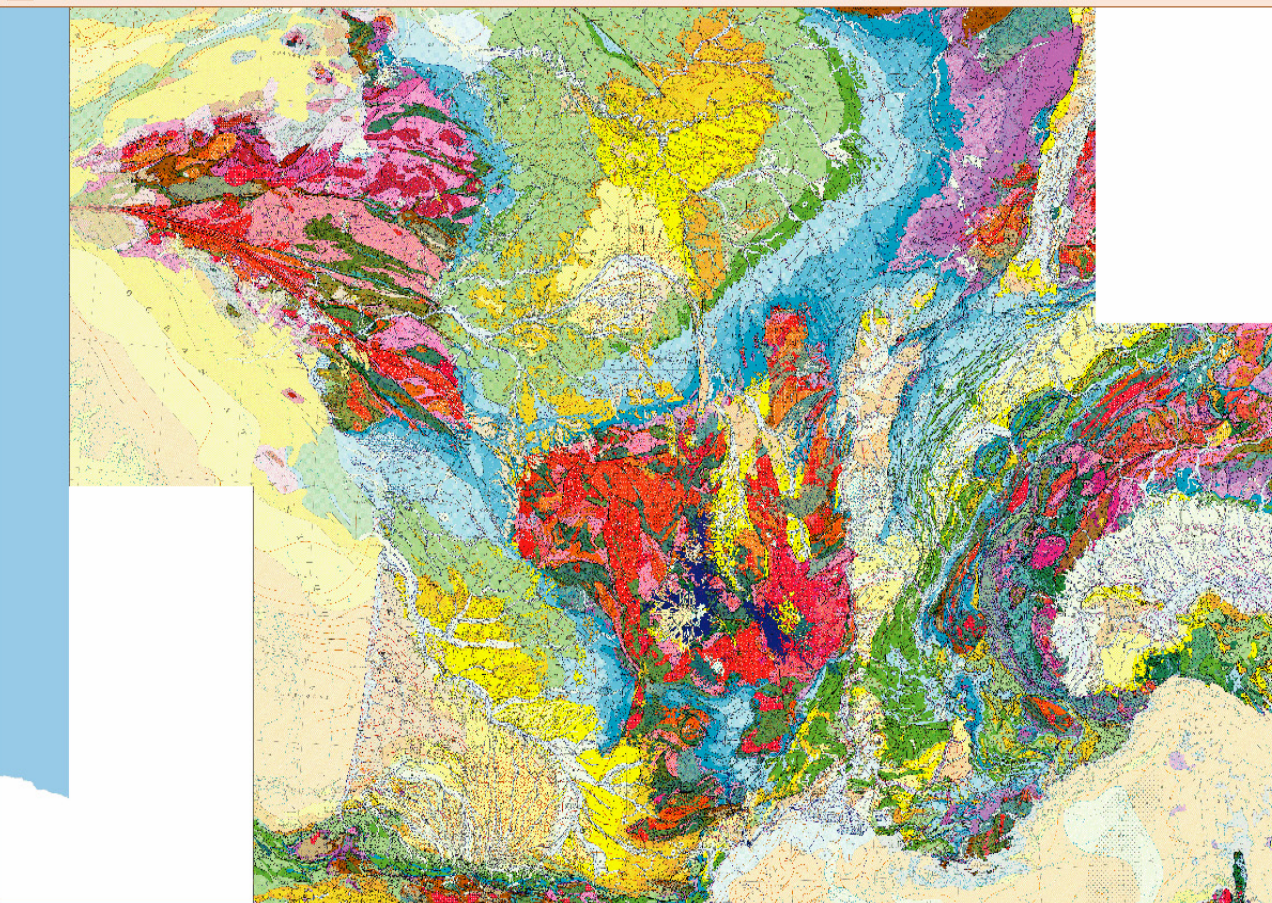
Sélectionner un département

**Choix des couches**

Catalogue InfoTerre Géocatalogue Serveur OGC

Tri selon la nomenclature : InfoTerre

- Cartes géologiques
  - Carte géologique 1/50 000 vecteur harmonisée
  - Carte géologique 1/50 000 vecteur harmonisée avec MN
  - Carte géologique Guadeloupe (Marigot) imprimée 1/50 000
  - Carte géologique Guadeloupe Sainte Anne imprimée 1/50 000
  - Carte géologique Guyane imprimée 1/500 000 (BRGM)
  - Carte géologique imprimée 1/1 000 000 (BRGM)
  - Carte géologique imprimée 1/250 000 (BRGM)
  - Carte géologique imprimée 1/50 000 (BRGM)
  - Carte géologique Martinique imprimée 1/50 000 (BRGM)
  - Carte géologique Réunion imprimée 1/50 000 (BRGM)
  - Carte lithologique simplifiée 1/1 000 000 (BRGM)
  - Tableau d'assemblage des cartes 1/250 000 (BRGM)
  - Tableau d'assemblage des cartes 1/50 000 (BRGM)
- Cartes topographiques



160 km

Echelle ≈ 1 / 4 000 000

X Y

SRS : Lambert 2 étendu



## Connaissance géologique du territoire ...

...essentiellement consignée dans les cartes géologiques

XVIème



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

## A quoi sert la carte géologique ?

### > Surface

- Agriculture
- Aménagement
- Matériaux
- Géologie urbaine

### > Subsurface

- Géothermie
- Eau, pétrole, gaz, charbon, ressources minérales
- Stockage de CO<sub>2</sub>, de gaz, de déchets...



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# Aléa Retrait-Gonflement des argiles

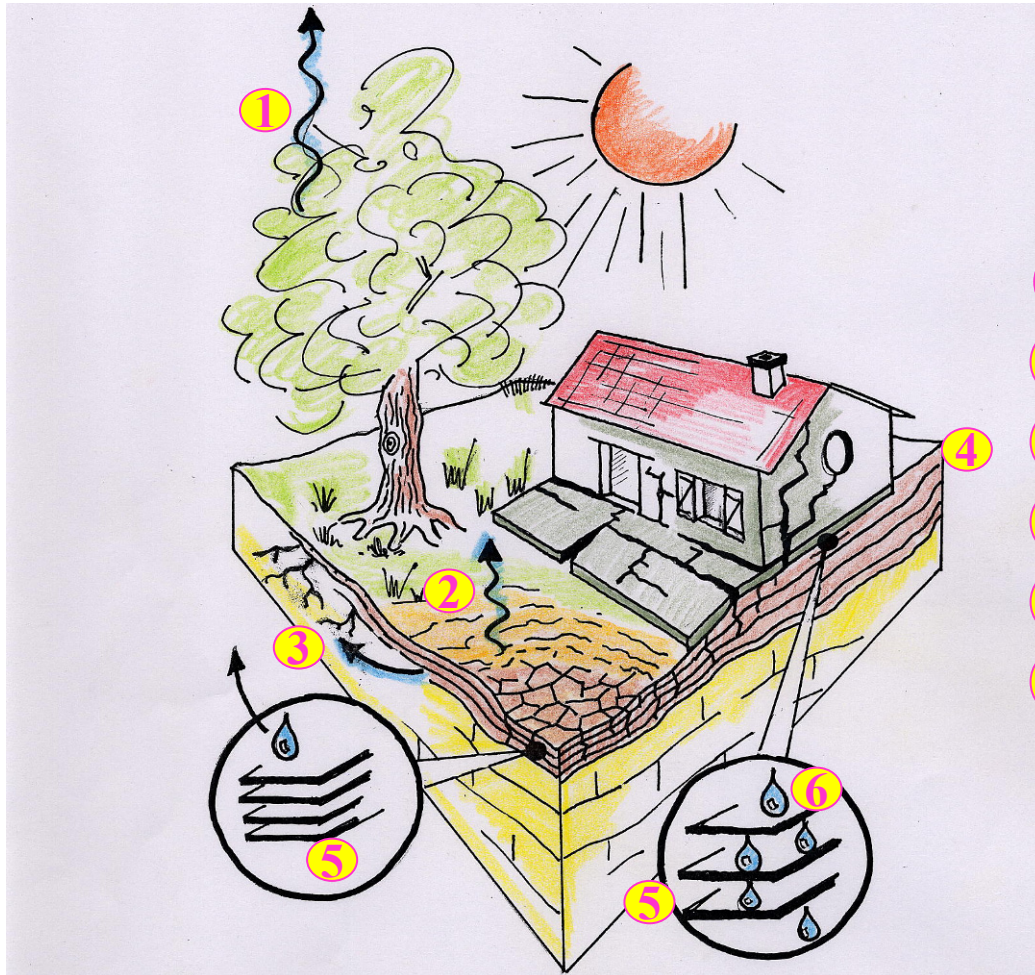
- **Concerne surtout les maisons individuelles**
  - constructions légères de plain-pied
  - dallage sur terre-plein
  - fondations continues peu profondes (< 80 cm)
  - arbres à proximité



## ➤ Désordres observés

- fissuration des structures
- distorsion des ouvertures
- rupture de canalisations
- décollement des bâtiments annexes
- etc...

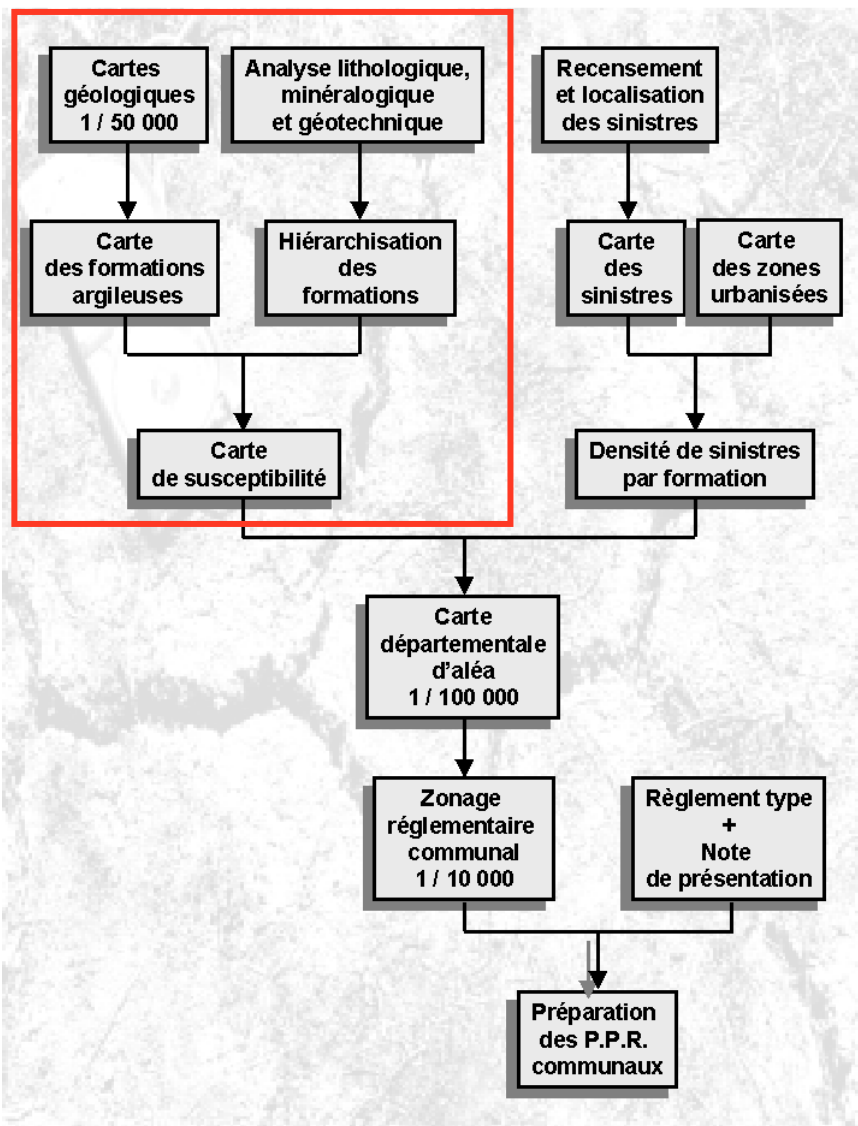
# Pourquoi les maisons se fissurent-elles ?



- ① Evapotranspiration
- ② Evaporation
- ③ Absorption par les racines
- ④ Couches argileuses
- ⑤ Feuilletés argileux
- ⑥ Eau



# Canevas d'une étude départementale d'aléa



- > 1- Identification et cartographie des formations argileuses du département
- > 2- Caractérisation lithologique de chaque formation (proportion, épaisseur et continuité du terme argileux)
- > 3- Caractérisation minéralogique de la phase argileuse par formation (RX)
- > 4- Caractérisation géotechnique de chaque formation
- > 5- Carte de susceptibilité (hiérarchisation des formations)
- > 6- Recensement et localisation des sinistres, calcul des densités de sinistres
- > 7- Carte d'aléa

# Carte géologique départementale harmonisée

- > Regroupements de formations et réinterprétations (notamment pour les limons)
- > 23 formations géologiques comportant un terme argileux ont été sélectionnées

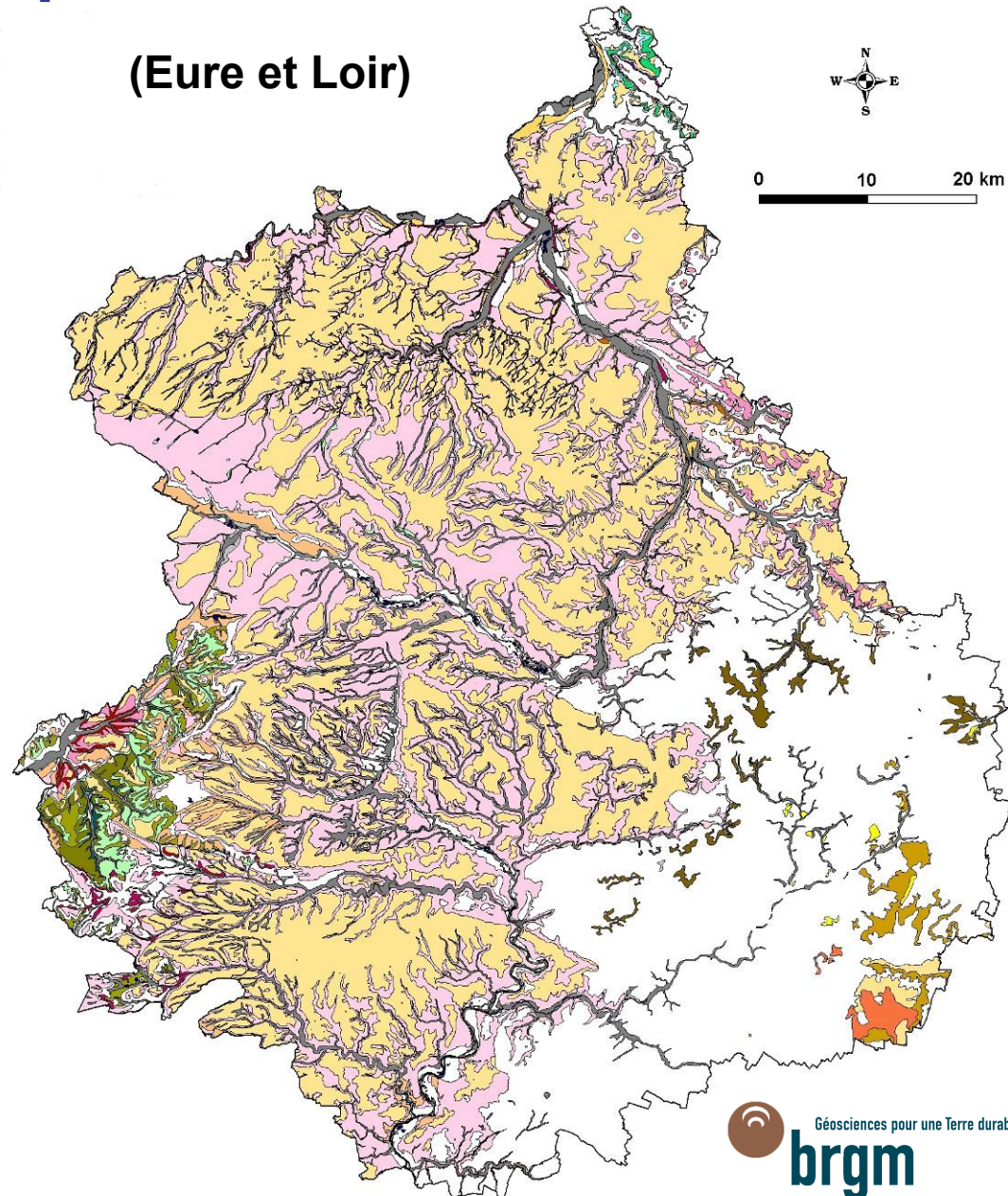
(Eure et Loir)



0 10 20 km

## Légende

- Réseau hydrographique
- Formations a priori non argileuses
- ▨ 23 - Remblais
- 22 - Alluvions récentes
- 21 - Alluvions anciennes
- 20 - Colluvions à dominante limoneuse avec silex
- 19 - Colluvions à dominante sablo-argileuse avec silex
- 18 - Colluvions à dominante limono-argileuse avec silex
- 17 - Colluvions à dominante d'argiles à meulières et à silex
- 16 - Colluvions à dominante d'argiles à silex
- 15 - Altérite du Cénomanien
- 14 - Argiles à meulières
- 13 - Limons ou loess quaternaires en recouvrement de formations argileuses
- 12 - Sables alluviaux mio-pliocène
- 11 - Marnes et sables de l'Orléanais
- 10 - Marnes de Blamont
- 9 - Molasse du Gâtinais
- 8 - Marnes à huîtres
- 7 - Marnes vertes du Ludien
- 6 - Sépiolites et Marnes à pholadomies
- 5 - Argiles à silex
- 4 - Craie marneuse du Cénomanien et du Turonien
- 3 - Gaize du Cénomanien
- 2 - Sables verts de l'Albien
- 1 - Argile grise du Barrémien et de l'Aptien



# Calcul du degré de susceptibilité

**Hierarchisation des formations basée sur la prise en compte de 3 caractéristiques quantifiables**

**Lithologie :**

note **L** de 1 à 4

**Minéralogie :**

note **M** de 1 à 4

**Géotechnique :**

note **G** de 1 à 4

**Indice de susceptibilité :**

$$iS = (L + M + G) / 3$$

Carte de susceptibilité établie sur la base de cet indice avec 3 classes (faible, moyenne, forte)

N°	Nom de la formation	Degré de susceptibilité	Surface (km <sup>2</sup> )	% de la surface totale
	Formations a priori non argileuses	-	1832,13	30,87
23	Remblais	faible	4,10	0,07
22	Alluvions récentes	faible	416,60	7,02
21	Alluvions anciennes	faible	3,83	0,06
20	Colluvions à dominante limoneuse avec silex	faible	21,33	0,36
13	Limons ou loess quaternaires	faible	1815,78	30,59
19	Colluvions à dominante sablo-argileuse avec silex	moyen	88,22	1,49
18	Colluvions à dominante limono-argileuse avec silex	moyen	4,96	0,08
17	Colluvions à dominante d'argiles à meulières et à silex	moyen	8,09	0,14
16	Colluvions à dominante d'argiles à silex	moyen	18,37	0,31
15	Altérite du Cénomaniens	moyen	41,37	0,70
14	Argiles à meulières	moyen	43,90	0,74
12	Sables alluviaux mio-pliocène	moyen	5,39	0,09
11	Marnes et sables de l'Orléanais	moyen	17,50	0,29
10	Marnes de Blamont	moyen	36,75	0,62
9	Molasse du Gâtinais	moyen	40,56	0,68
6	Sépiolites et Marnes à pholadomies	moyen	4,15	0,07
5	Argiles à silex	moyen	1445,89	24,36
4	Craie marneuse du Cénomaniens et du Turonien	moyen	48,44	0,82
3	Gaize du Cénomaniens	moyen	26,92	0,45
2	Sables verts de l'Albien	moyen	2,91	0,05
1	Argile grise du Barrémien et de l'Aptien	moyen	0,22	0,00
8	Marnes à huîtres	fort	1,29	0,02
7	Marnes vertes du Ludien	fort	6,84	0,12
	<b>Total</b>		<b>5935,53</b>	<b>100,00</b>



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# Carte de susceptibilité

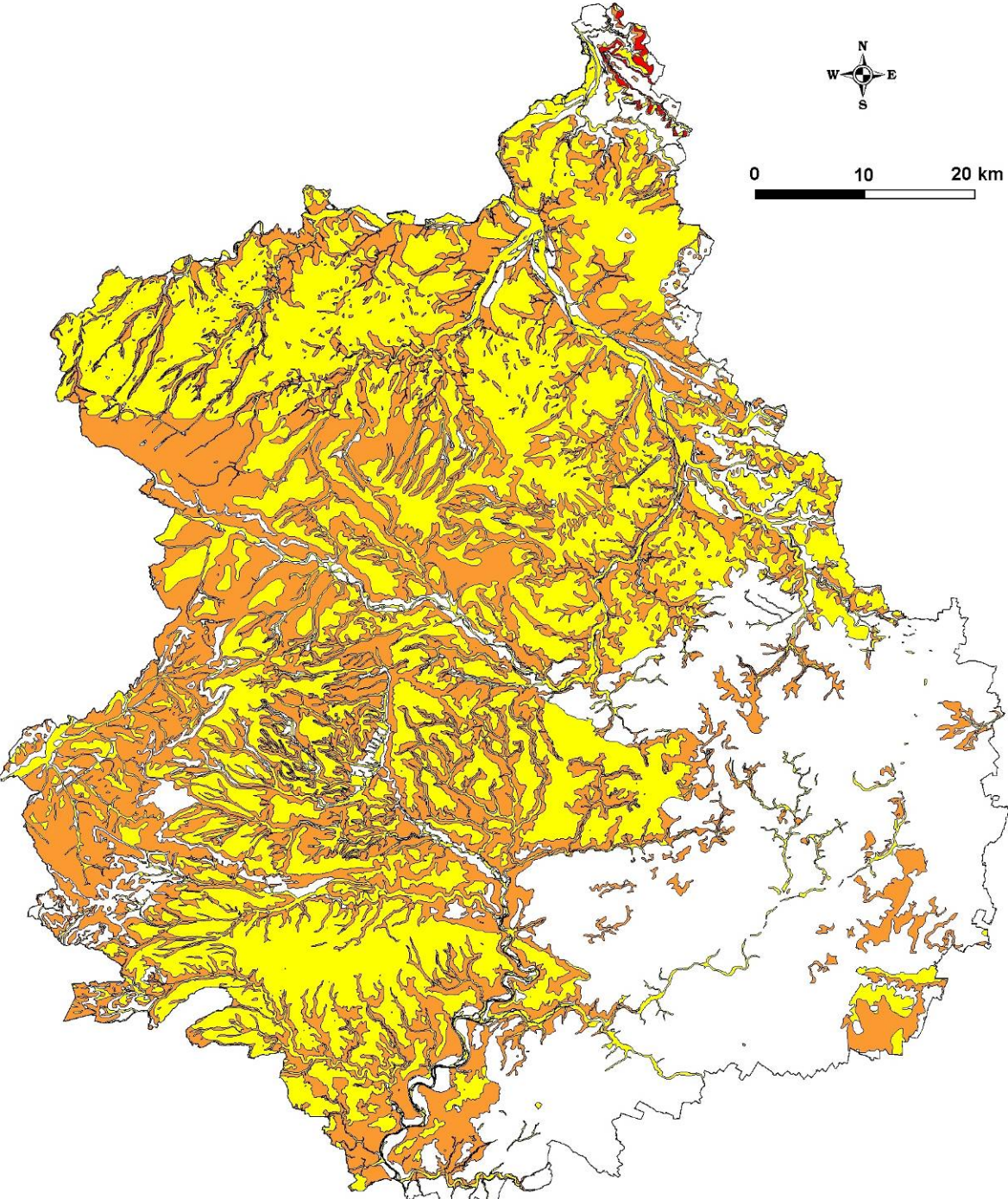
(Eure et Loir)

Degré de susceptibilité

-  fort
-  moyen
-  faible
-  a priori nul



0 10 20 km



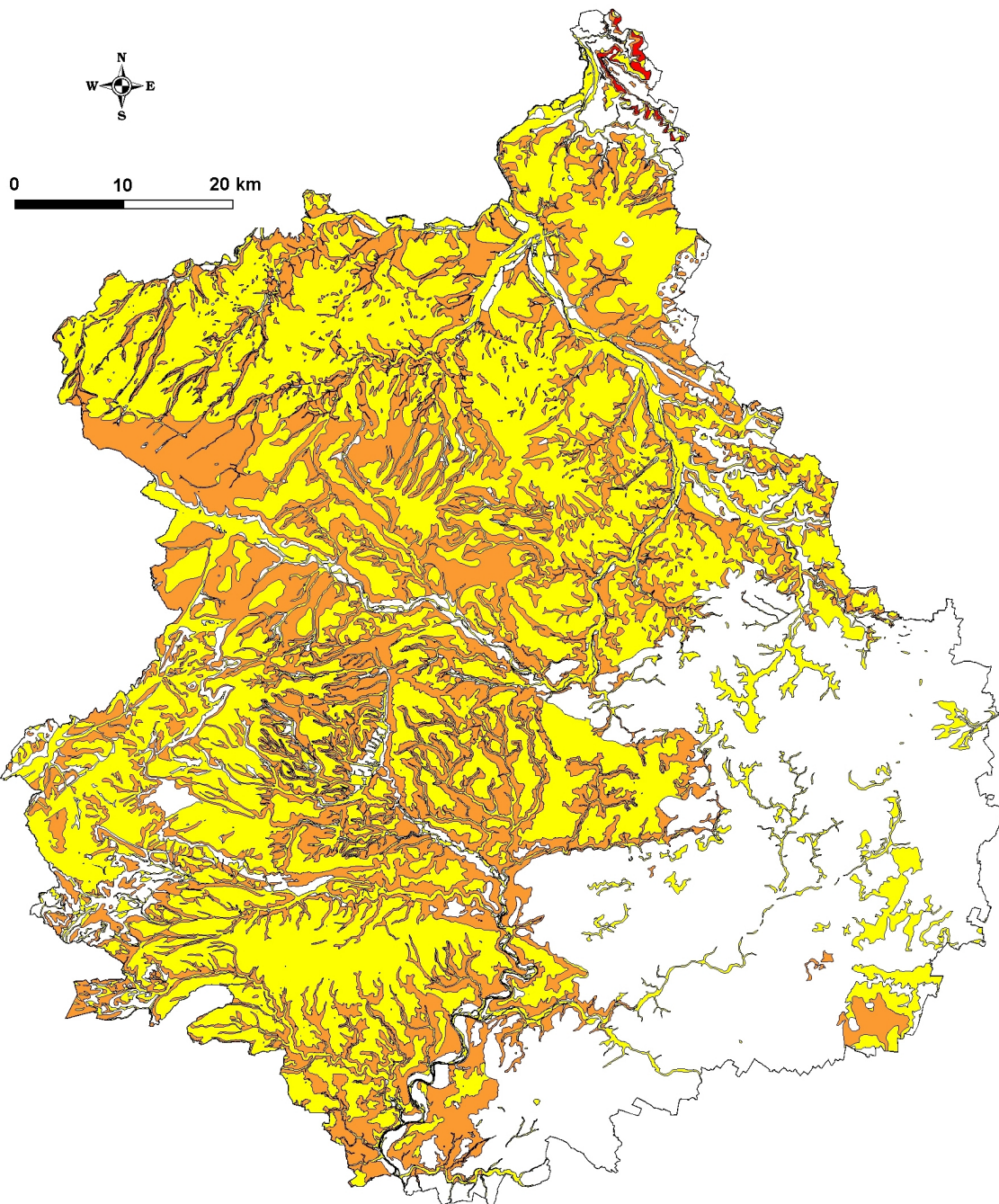
# Détermination du niveau d'aléa

Degré d'aléa = 2 x (note de susceptibilité) + (note densité de sinistre)

N°	Nom de la formation géologique	note susceptibilité	note densité de sinistres	degré d'aléa	niveau d'aléa
23	Remblais	1	1	3	faible
22	Alluvions récentes	1	1	3	faible
21	Alluvions anciennes	1	1	3	faible
20	Colluvions à dominante limoneuse avec silex	1	2	4	faible
19	Colluvions à dominante sablo-argileuse avec silex	2	1	5	faible
18	Colluvions à dominante limono-argileuse avec silex	2	1	5	faible
17	Colluvions à dominante d'argiles à meulières et à silex	2	2	6	moyen
16	Colluvions à dominante d'argiles à silex	2	1	5	faible
15	Altérite du Cénomanién	2	3	7	moyen
14	Argiles à meulières	2	3	7	moyen
13	Limons ou loess quaternaires	1	2	4	faible
12	Sables alluviaux mio-pliocène	2	1	5	faible
11	Marnes et sables de l'Orléanais	2	3	7	moyen
10	Marnes de Blamont	2	1	5	faible
9	Molasse du Gâtinais	2	1	5	faible
8	Marnes à huîtres	3	1	7	moyen
7	Marnes vertes du Ludien	3	3	9	fort
6	Sépiolites et Marnes à pholadomies	2	3	7	moyen
5	Argiles à silex	2	2	6	moyen
4	Craie marneuse du Cénomanién et du Turonien	2	1	5	faible
3	Gaize du Cénomanién	2	1	5	faible
2	Sables verts de l'Albien	2	1	5	faible
1	Argile grise du Barrémien et de l'Aptien	2	1	5	faible



0 10 20 km



# Carte d'aléa

## Niveau d'aléa

-  fort
-  moyen
-  faible
-  a priori nul



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# A quoi sert la carte géologique ?

## > A étayer les politiques publiques de prospection, d'exploitation, de protection et de gestion durable des ressources naturelles et de l'espace souterrain

- recherche et exploitation des ressources en eau souterraine
- recherche et exploitation des ressources minérales
- prévention des risques naturels (inondations, glissements de terrains, risque de retrait-gonflement des sols, séismes, cavités souterraines, érosion du littoral)
- protection de l'environnement
- gestion de l'espace
- gestion des conflits d'usage

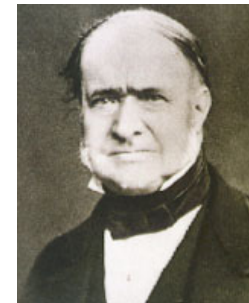
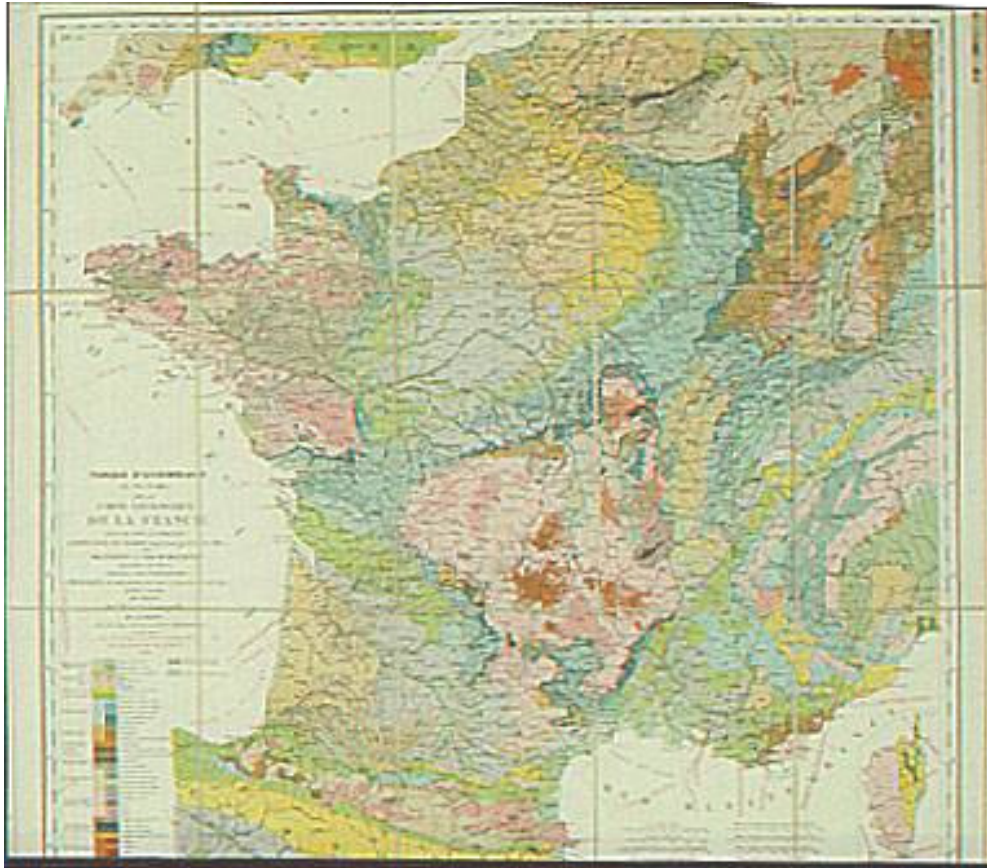
## > A former

- les élèves, les étudiants et les enseignants

## > A expliquer notre environnement

- d'où vient cette roche ?
- d'où vient ce paysage ?

# Concepts de base de la cartographie géologique



1813 - 1822- Première carte géologique de la France

1822- Administration des Travaux Publics: 6 feuilles à 1/500 000 (>1841)

1835 - Cartes géologiques départementales : 44 cartes d'échelle, de références et de qualité inégales (>1868)

1841



Géosciences pour une Terre durable  
**brgm**



# Historique de la carte géologique systématique du territoire national

NAPOLÉON,  
Par la grâce de Dieu et la volonté nationale, Empereur des Français,  
A tous présents et à venir, salut :  
Sur le rapport de notre ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics;  
Avons décrété et décrétons ce qui suit :  
Art. 1<sup>er</sup>. La carte géologique détaillée de la France sera exécutée aux frais de l'Etat, à la même échelle que la carte de l'état-major.  
Art. 2. Un service spécial sera établi pour l'exécution de cette carte et placé sous la direction de M. Elie de Beaumont, secrétaire, membre de l'Institut.  
Art. 3. Notre ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics est chargé de l'exécution du présent décret.

Fait à Biarritz, le 1<sup>er</sup> octobre 1833.

NAPOLÉON.

Par l'Empereur :  
Le ministre de l'agriculture,  
du commerce et des travaux publics,  
DE FORCADES.

1867 – Exposition Universelle de Paris

1868 - Création du service de la carte géologique (268 feuilles en 10 ans en 200 exemplaires; centralisation de la cartographie et des éditions; 1 directeur, 1 sous-directeur et 5 ingénieurs

1875 - Réorganisation du Service de la carte géologique: concours de collaborateurs extérieurs, accélération des levés; faire bénéficier la carte des concepts nouveaux et de l'évolution permanente des connaissances

# Cartes à l'échelle du 1/ 80 000 : 268 cartes

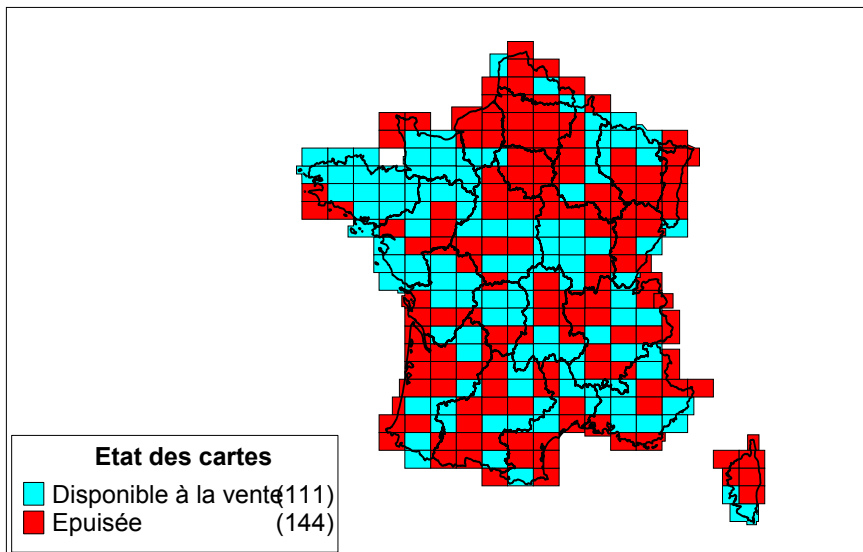
**1873 - édition de la première feuille**

**1885 - 1ère reprise en seconde édition  
(Boulogne)**

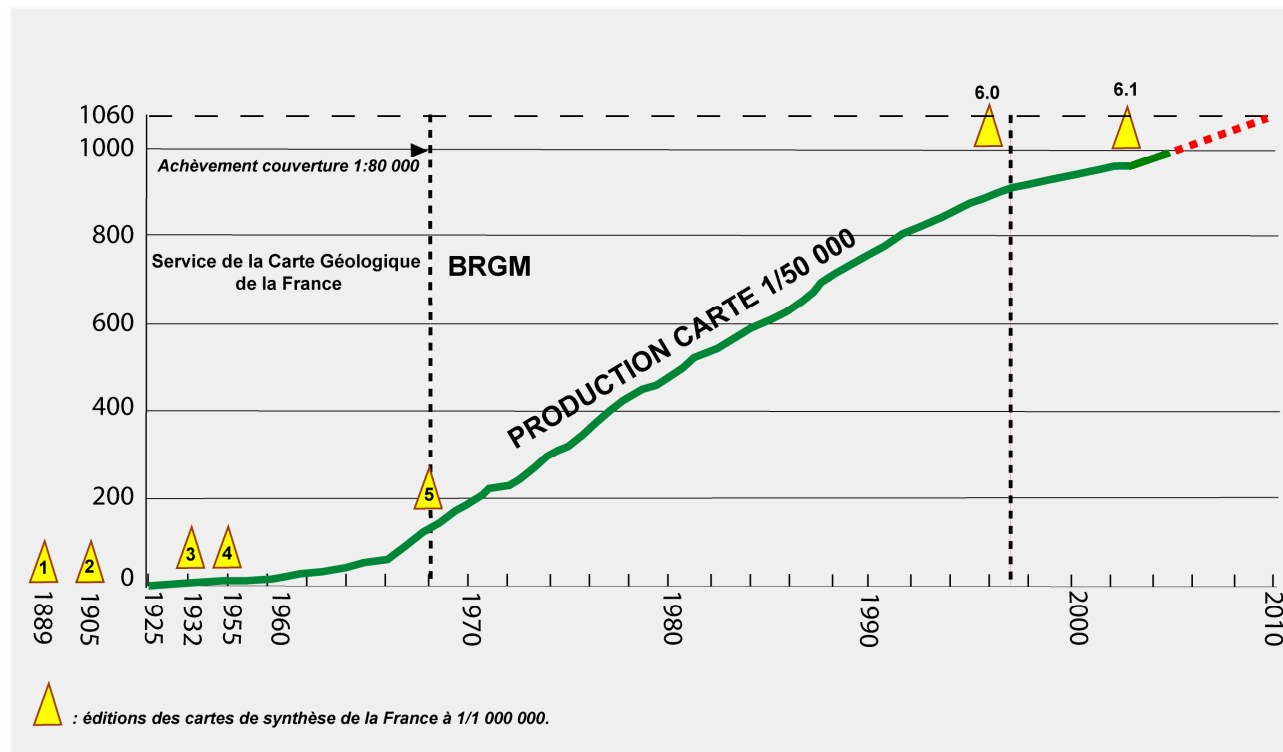
**1925 - achèvement de la couverture en  
première édition**

**1971 - Fin du programme: 600 feuilles  
éditées**

- > Légende technique à symbolique complexe (1 000 signes)
- > Carte utile aux praticiens
- > Finalités : Chauffage et éclairage; Agriculture et hygiène; Arts céramiques et chimiques; Métallurgie; Arts de construction; Arts mécaniques et décoratifs; métaux (symboles planétaires); métalloïdes (signes du zodiaque)
  
- > 1900 - Ministère de l'intérieur: procédure d'examen des projets d'adduction d'eau potable par les collaborateurs de la carte géologique



# Carte géologique de la France à 1/50 000 : 1060 cartes



**Décision ministérielle du 6 juin 1913**

**1925 - Parution de la première carte à 1/50 000: Toulon**

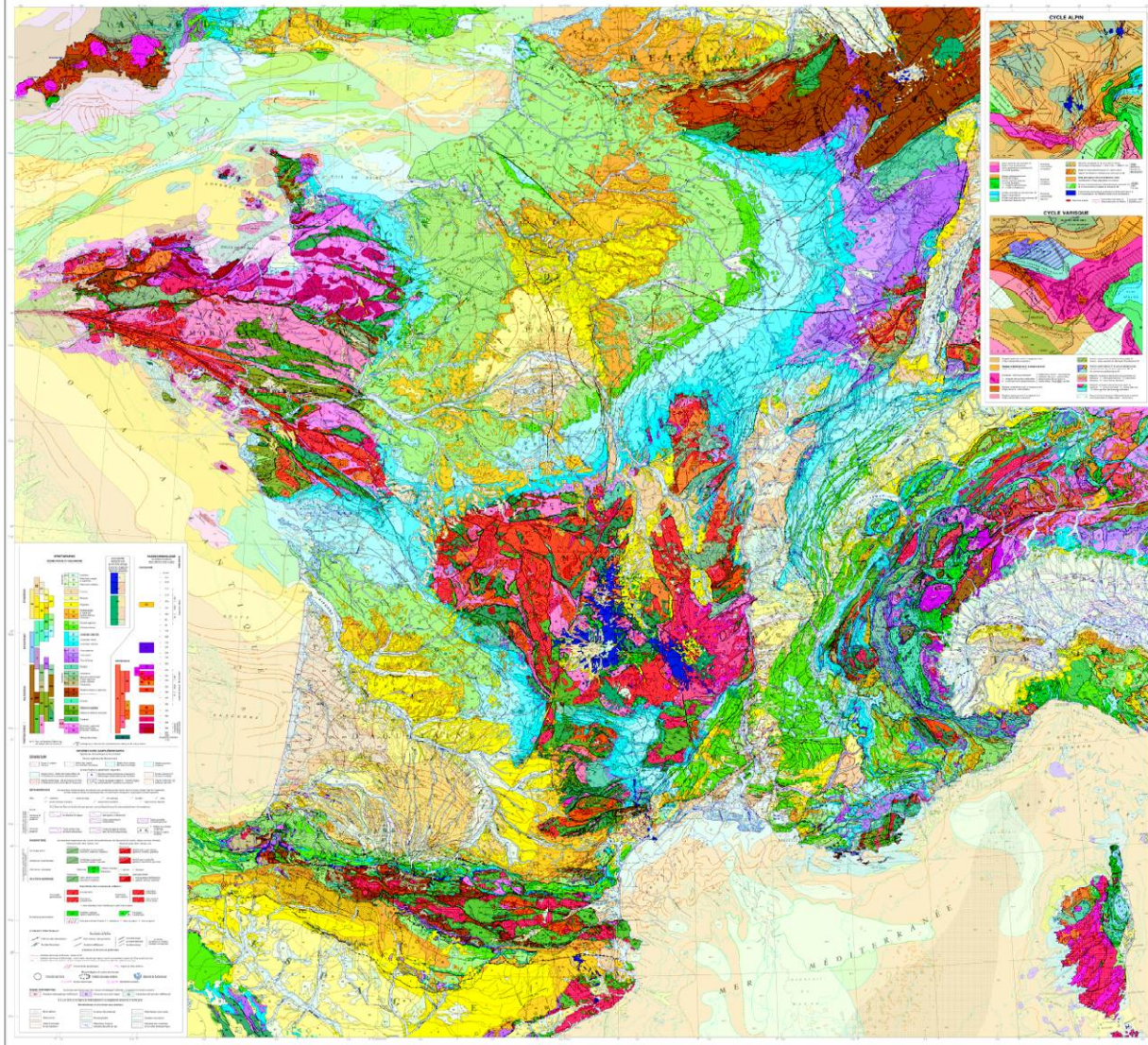
**1968 - 148 cartes éditées. Regroupement du Service de la carte géologique et du Bureau de recherches géologiques et minières**

**1997- 889 cartes éditées (84%)**

**2009 > 1000 cartes éditées**

# CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE

à l'échelle du millionième



**NOTES**

**1. INTRODUCTION**

**2. LÉGENDE**

**3. ÉCHELLE**

**4. RÉFÉRENCES**

**5. CONTACTS**

**6. DÉTAILS**

**7. ÉLÉMENTS DE LA CARTE**

**8. ANNEXES**

**9. BIBLIOTHÈQUE**

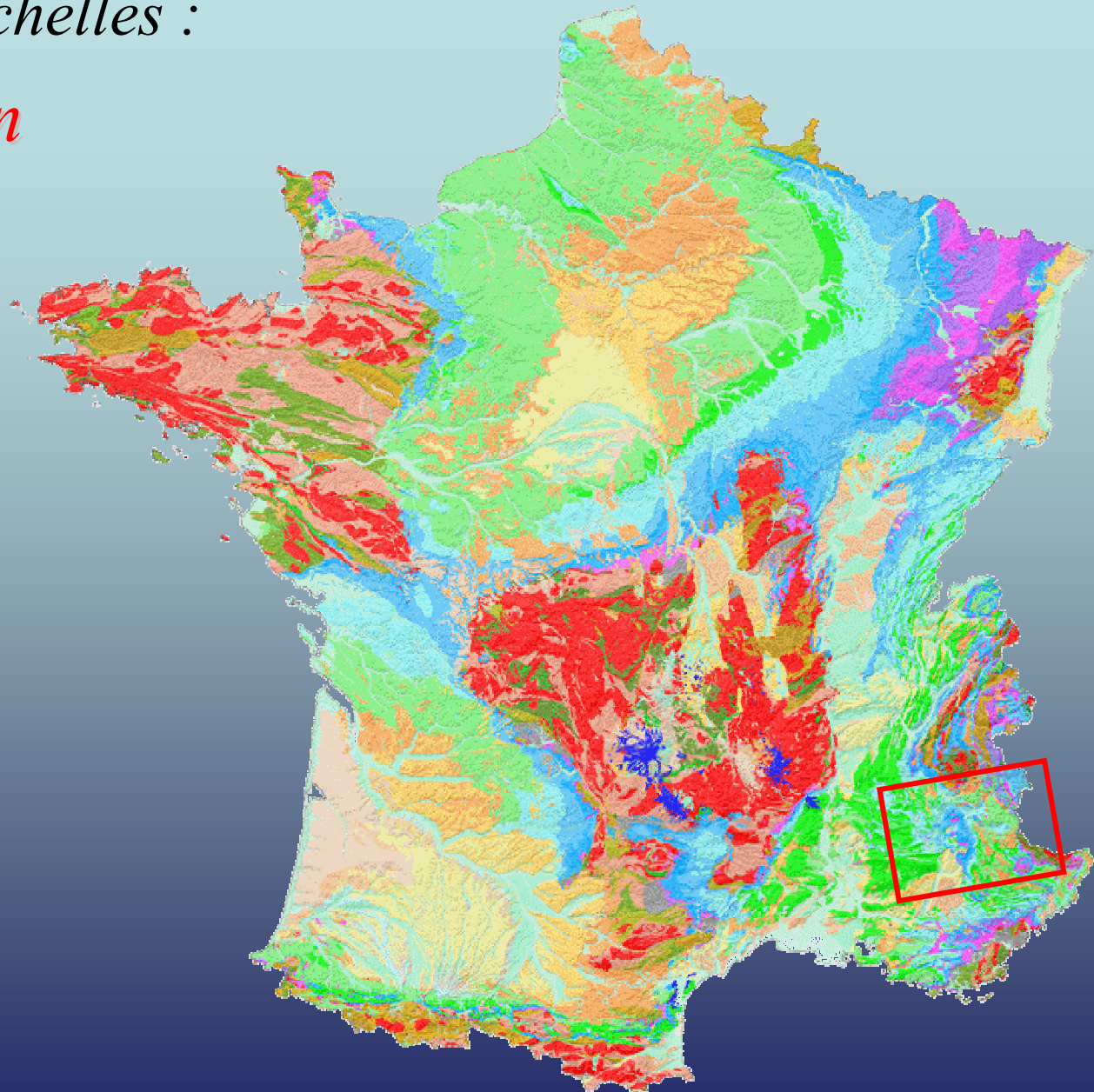
**10. INDEX**

**11. RÉSUMÉ**

**12. ÉPILOGUE**

*Différentes échelles :*

→ *Million*

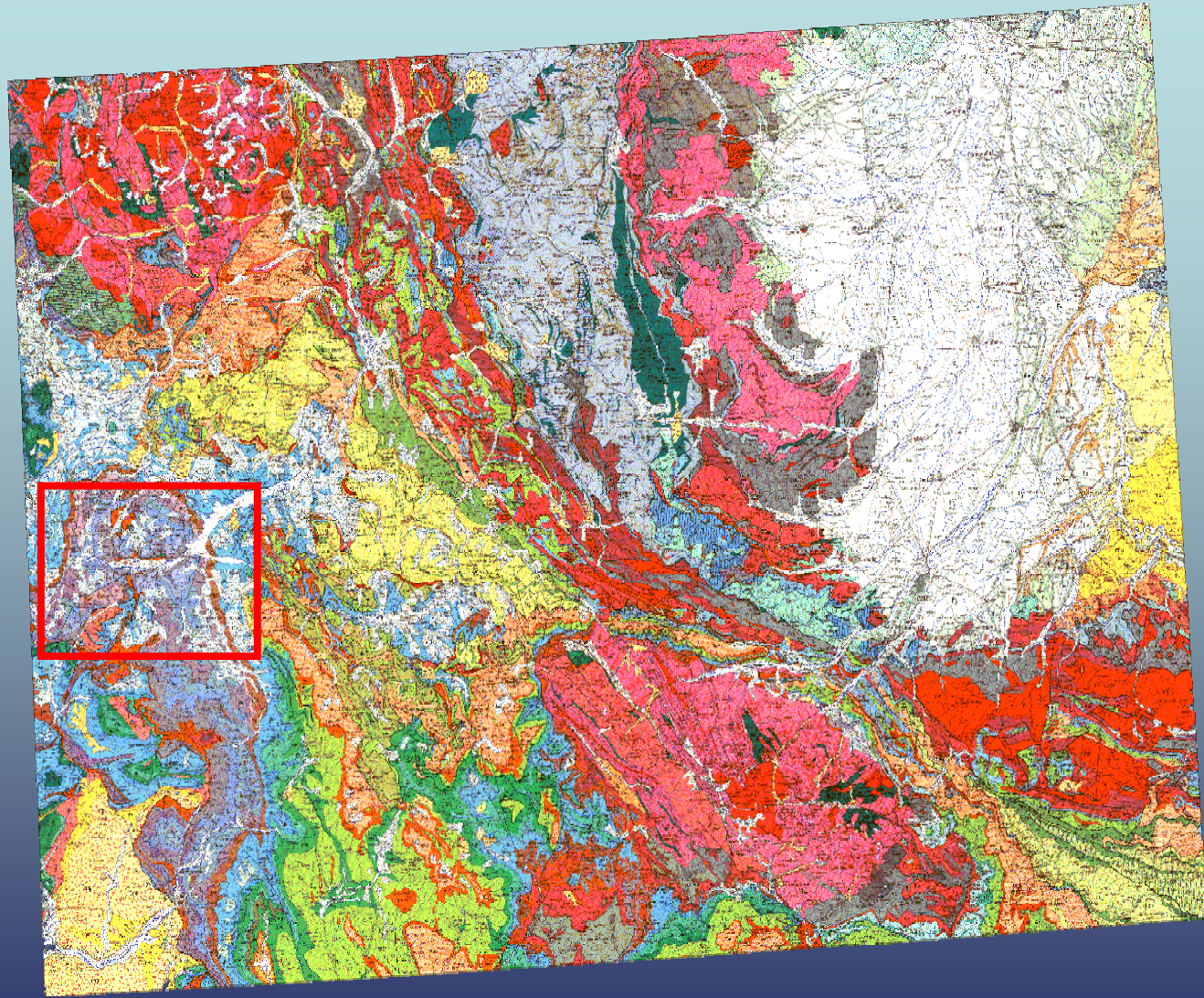


*Documents cartographiques disponibles*

*Différentes échelles :*

→ *Million*

→ *250.000*



Extrait feuille de Gap 1/250.000

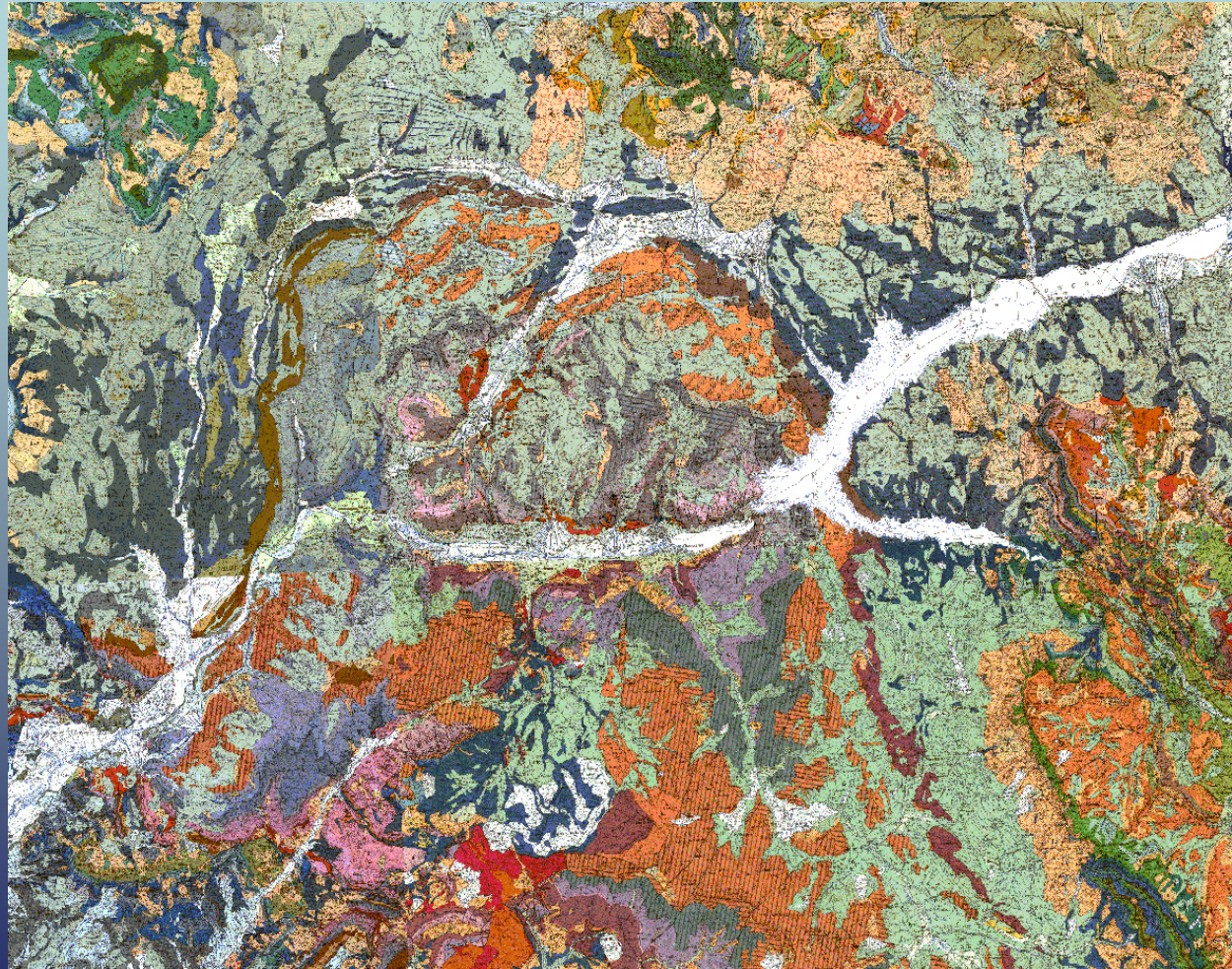
*Documents cartographiques disponibles*

*Différentes échelles :*

→ *Million*

→ *250.000*

→ *50.000*



*Extrait feuille de Gap 1/50.000*

***Documents cartographiques disponibles***

# Trois échelles de représentation ?

- > L'échelle du 1/50 000 (1cm = 0,5 km), échelle de détail qui sert à ceux qui ont besoin d'avoir la connaissance géologique la plus précise
- > L'échelle du 1/250 000 (1 cm = 2,5 km), échelle de synthèse qui permet la représentation des entités géologiques cohérentes (Corse, Massif armoricain...). Elle a un intérêt régional et pédagogique.
- > L'échelle du 1/1 000 000 (1 cm = 10 km), échelle de synthèse qui permet une vision globale du sous-sol de la France, y compris dans les zones marines. C'est l'échelle de vulgarisation





## Appui aux opérations de lever sur de terrain.

- Datations géochronologiques.
- Données biostratigraphiques et paléontologiques.
- Mesures géophysiques.
- Données géochimiques.
- Atelier de sondage..





# Le passage des cartes papiers aux modèles numériques en 3D



....le développement des Nouvelles Technologies de l'Information et des Systèmes d'Informations Géographiques est à l'origine :

- ✍ de nouveaux besoins
- ✍ de nouvelles possibilités d'utilisation des données

## Structure de la Base de Données pour la vectorisation des cartes à 1/50 000

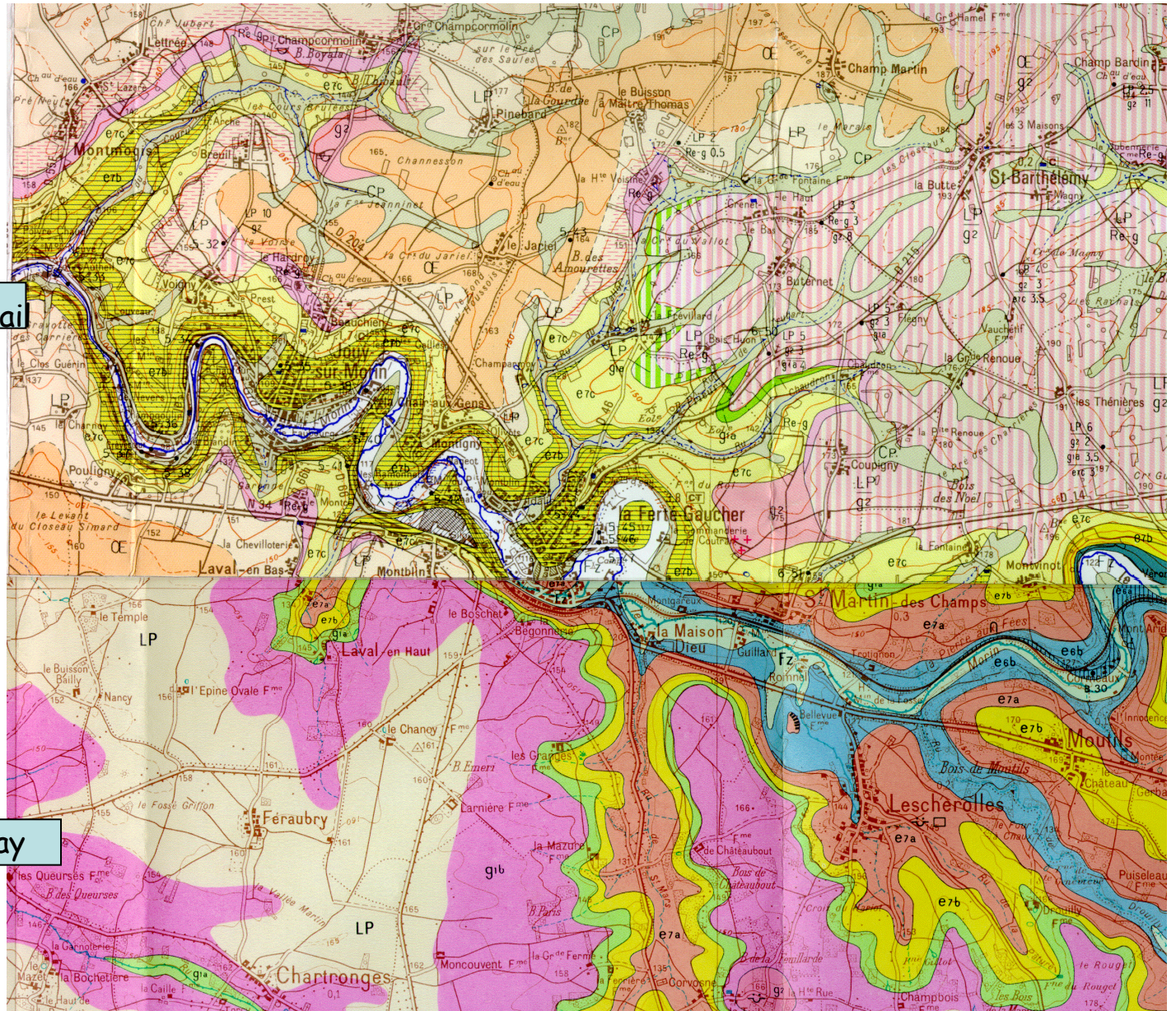
**Objectif** : passer de la carte géologique papier à la carte numérique  
**Une carte géologique peut être décomposée en :**

**Polygones** (lignes fermées)  
(formations géologiques : fichier **S\_FGEOL**)  
(surcharges : fichier **S\_SURCH**)

**Lignes**  
limite des polygones géologiques (fichier **L\_FGEOL**)    **Lexique**  
lignes structurales (fichier **L\_STRUCT**)    **Lexique**  
lignes d'isovaleur (fichier **L\_ISOVAL**)    **Lexique**  
lignes diverses (fichier **L\_DIVERS**)    **Lexique**

**Points**  
points structuraux (fichier **P\_STRUCT**)    **Lexique**  
points divers (fichier **P\_DIVERS**)    **Lexique**

# Harmonisation 1/50 000



Montmirail

Esternay

# « Harmonisation » des cartes au 1:50,000 suppose de résoudre trois problèmes principaux

## Problèmes conceptuels

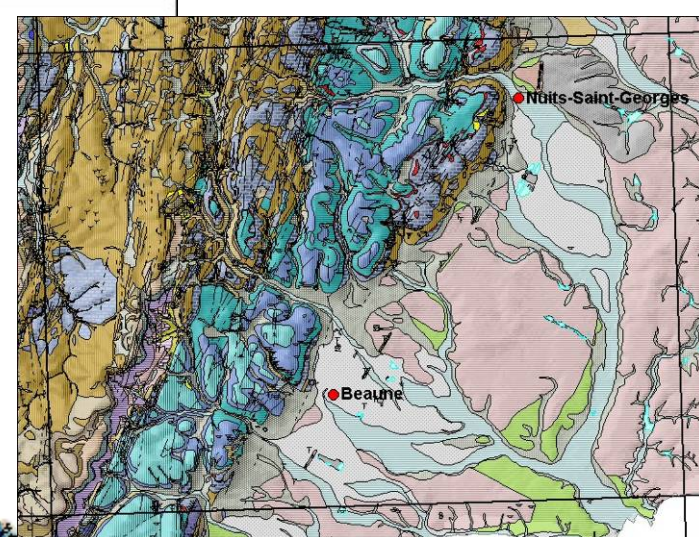
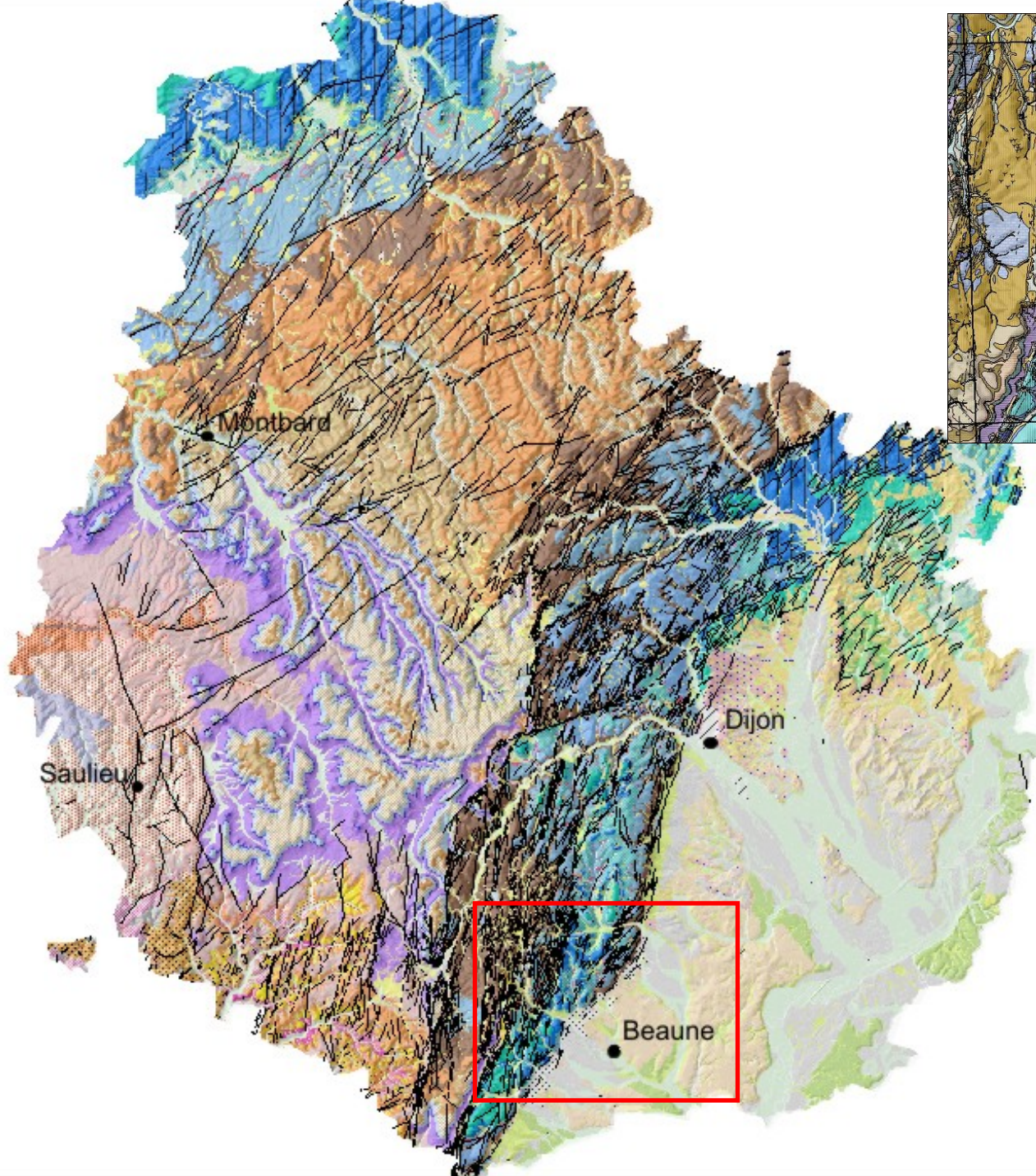
- 20% des cartes antérieurs à la théorie de la tectonique des plaques,
- 60% des cartes antérieurs au développement des méthodes de datation isotopique
- différents modèles

## Problèmes géométriques

- subdivisions strati et litho ... différentes
- connections entre cartes

## Problèmes attributaires

- différentes formations
- cartes lithologiques, stratigraphiques, lithostratigraphiques...



# Côte d'Or

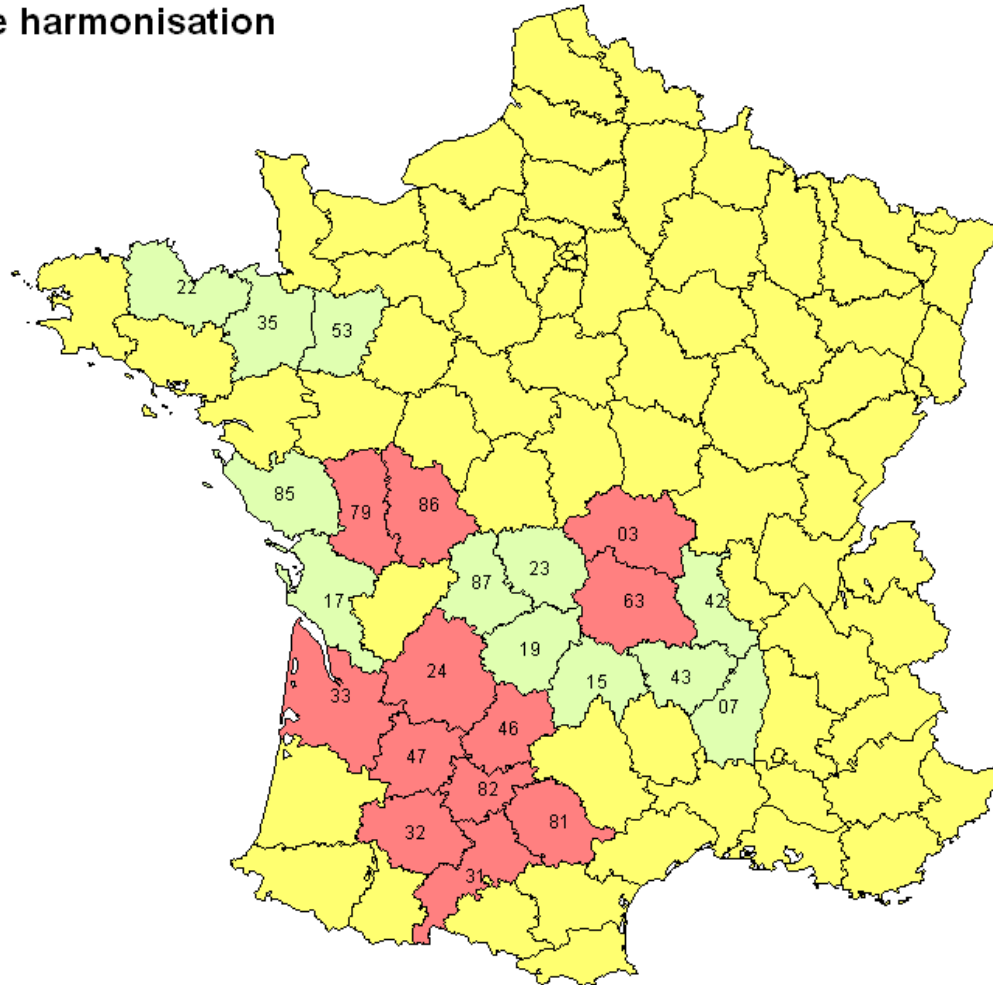




Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

# Avancement harmonisation (13 départements restants à programmer)

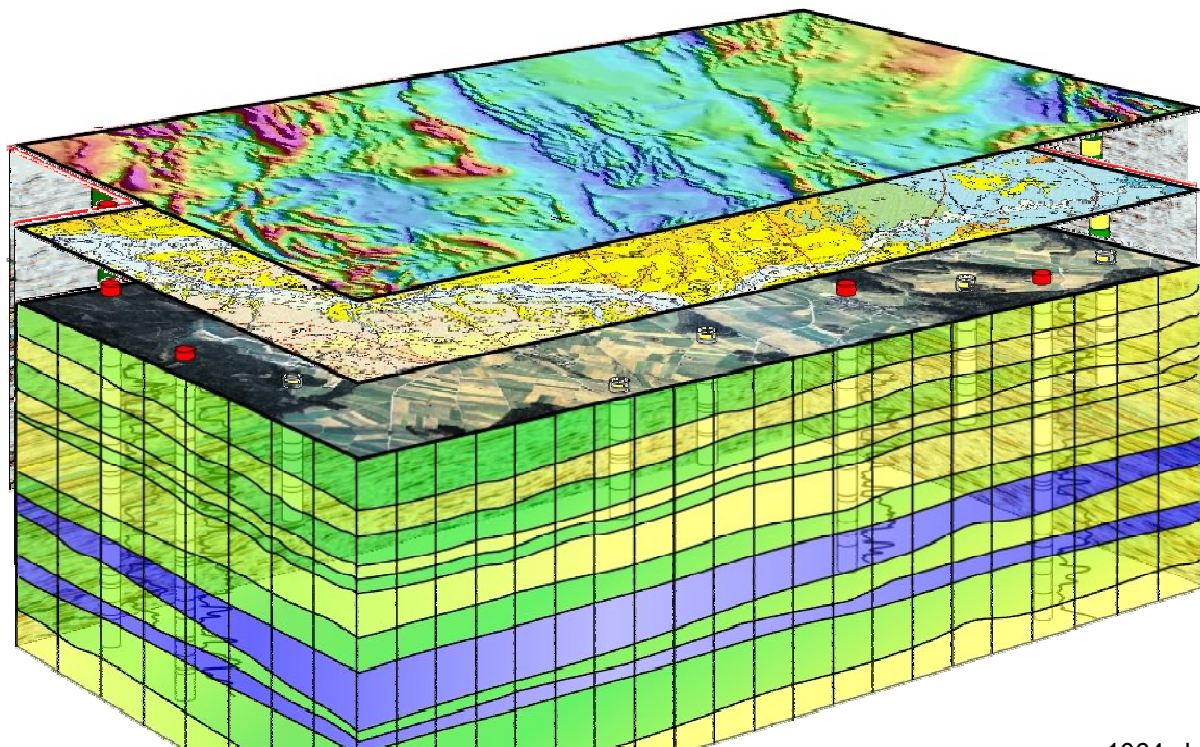
Programme harmonisation



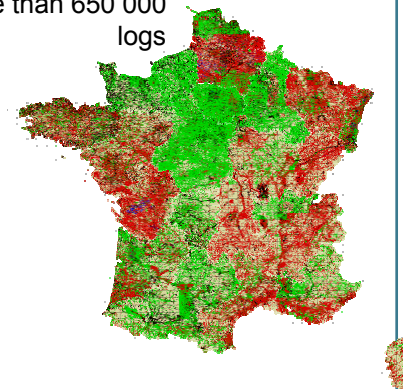
-  Départements non harmonisés fin 2009
-  Programme harmonisation 2009



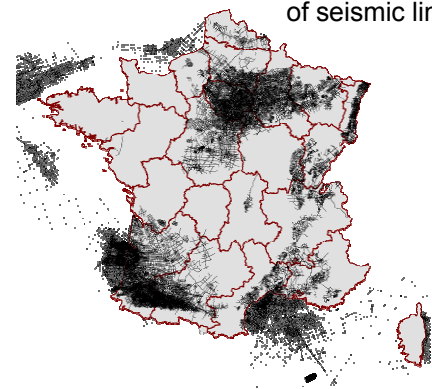
# 3D



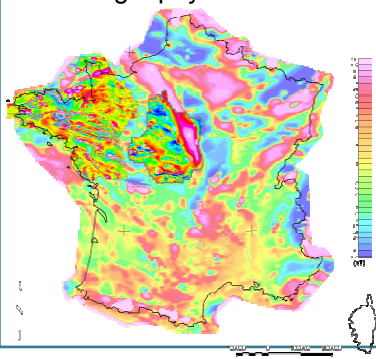
More than 650 000 logs



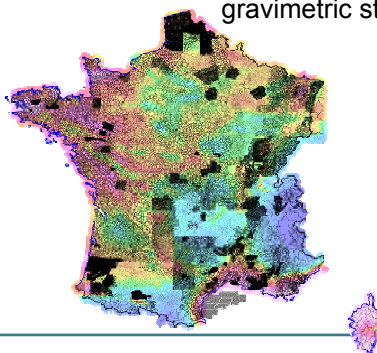
More than 350 000 km of seismic lines



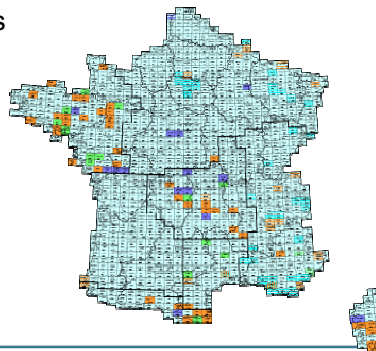
Airborne geophysics



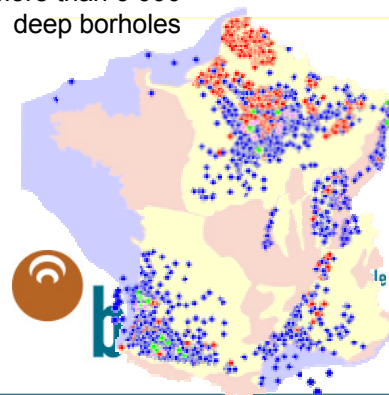
More than 417 000 gravimetric stations



1064 sheets at 1:50 000 scale



More than 6 000 deep borholes

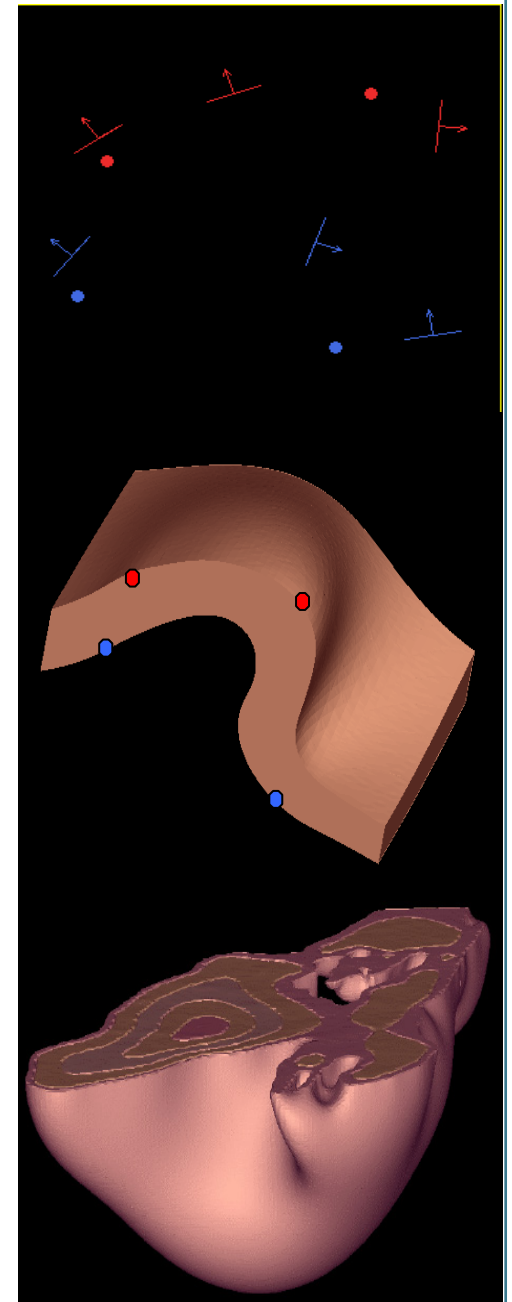


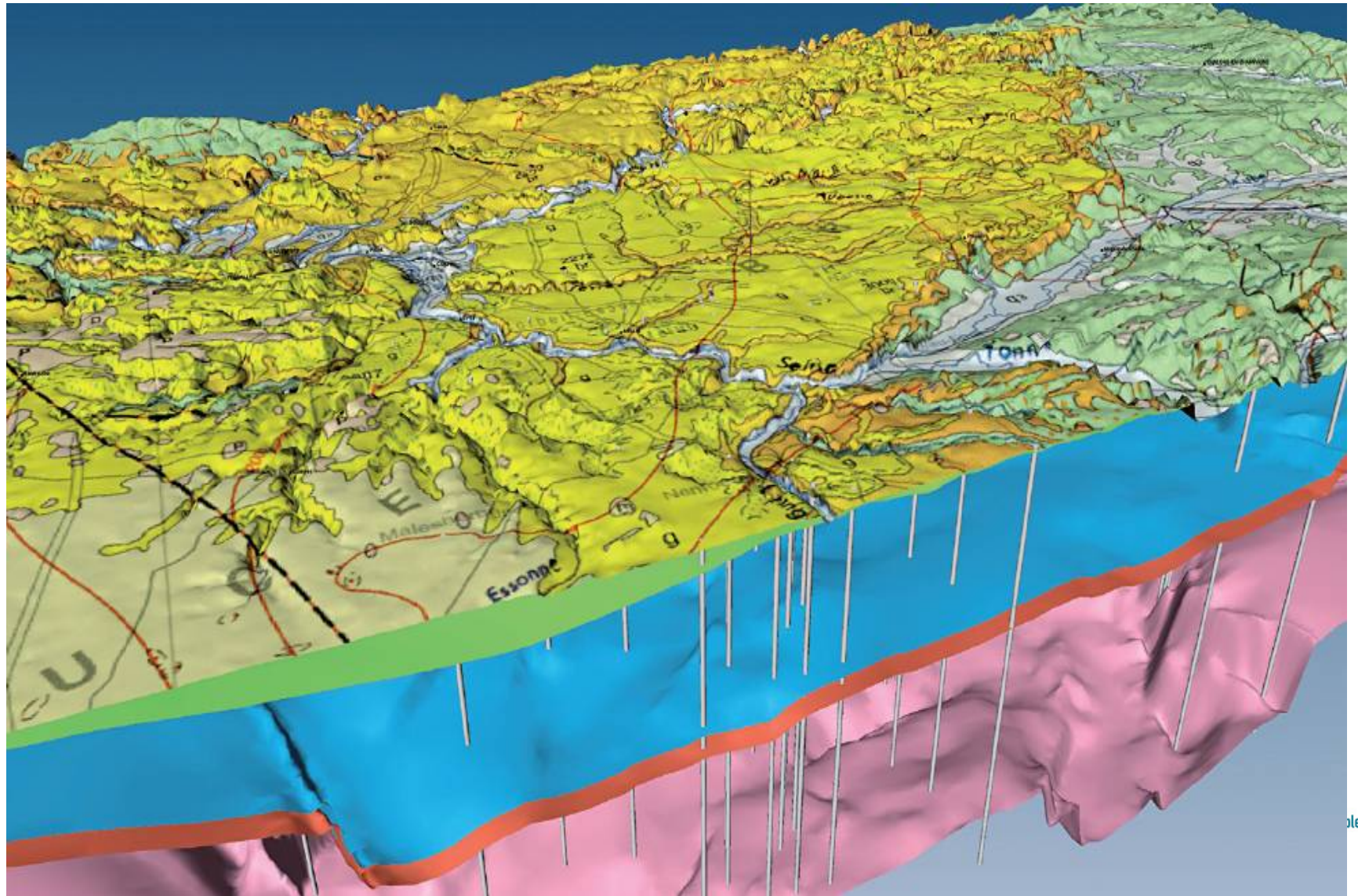
# Modélisation Géométrique 3D au BRGM

## Différents logiciels:

- > Géométries multicouches
  - **GDM + MULTILAYER**
- > Géométries complexes + inversion géophysique
  - **GEOMODELLER**
- > Géométrie simple, failles, données pétrophysiques
  - **PETREL** (commercial)
  - **EARTH VISION** (commercial)
- > Géométries simples + Géostatistiques
  - **GDM + ISATIS**

**3D GeoModeller**  
EDITEUR GÉOLOGIQUE





ole

**Extrait du modèle géologique 3D du Bassin de Paris avec la carte géologique sur le MNT, les toits de la craie (vert), du Jurassique (bleu), du Dogger (rouge), et du Trias (rose), les forages profonds de plus de 2 000 mètres (facteur d'exagération de l'échelle verticale de 20).**

# Banque de données du sous-sol

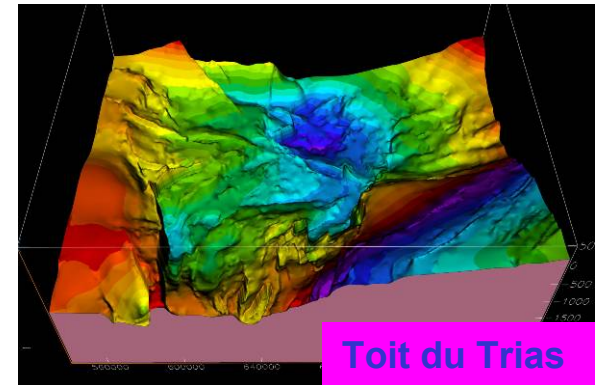
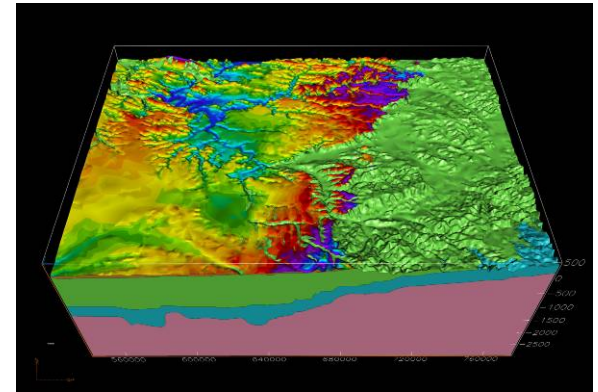
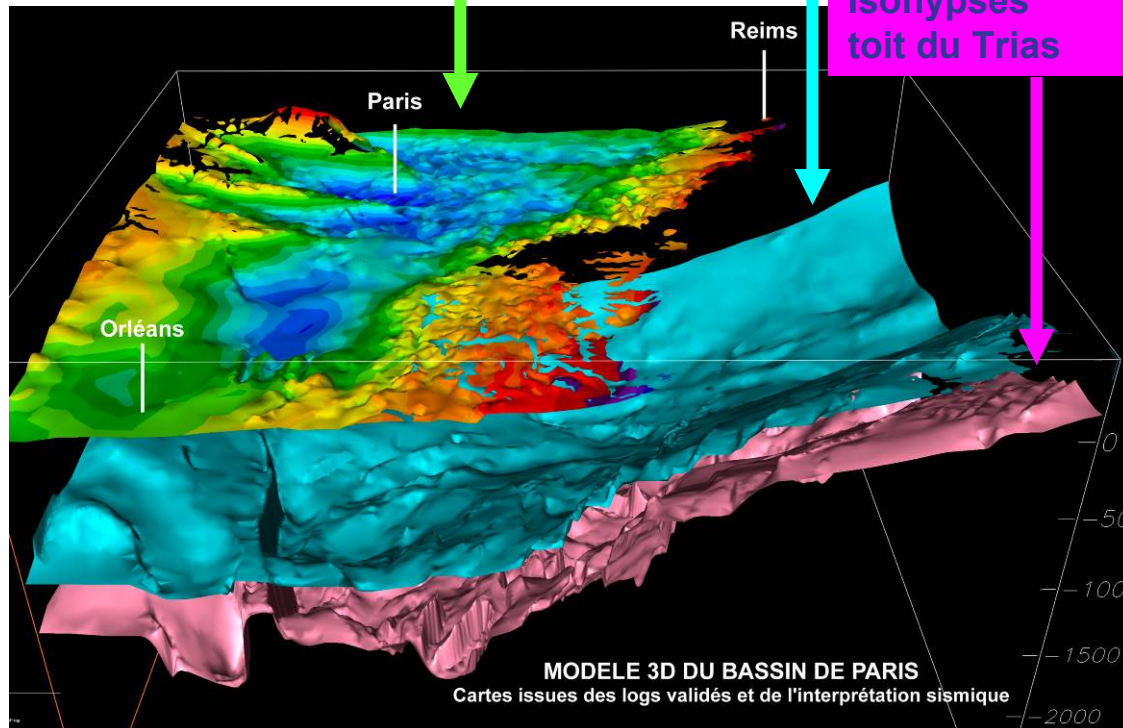
## Modèles géologiques 3D

### Bassin de Paris

Isohypes  
toit de la Craie

Isohypes  
toit du Dogger

Isohypes  
toit du Trias



#### Applications :

- ressources eaux souterraines
- ressources hydrocarbures
- stockage (CO<sub>2</sub>, gaz naturel)
- géothermie
- risques géologiques



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**



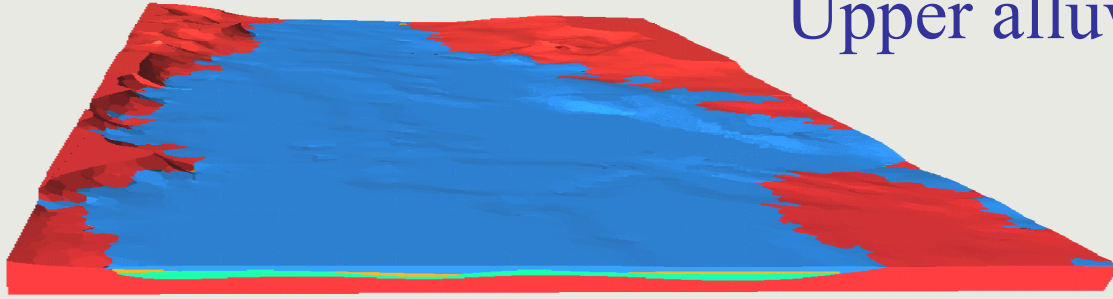
Chateau de Saumur : modèle détaillé avec les sondages, la surface topographique (brun), la surface de la base des remblais (rose), la surface de la base des sables (vert) ; en bleu, des éléments de construction apparus lors des travaux.



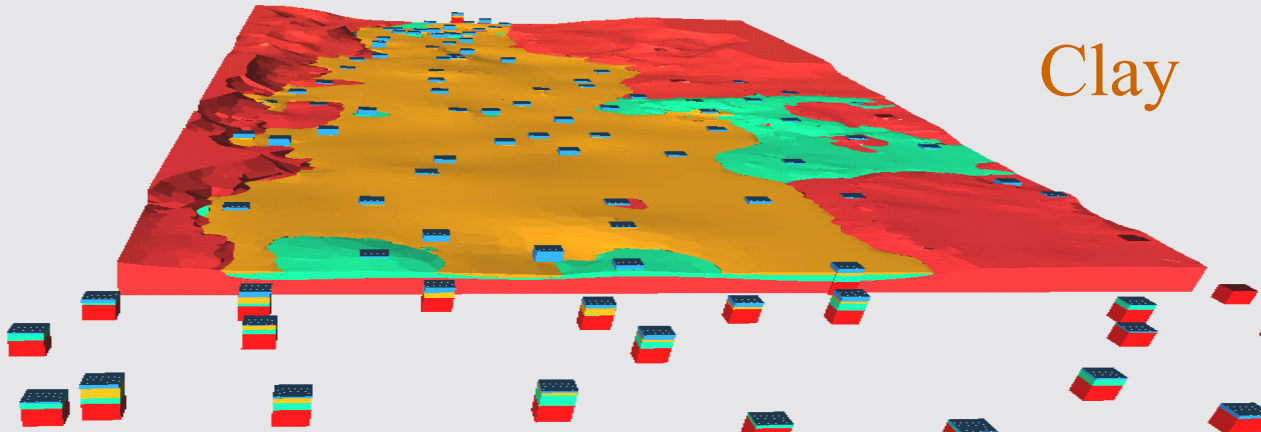
Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

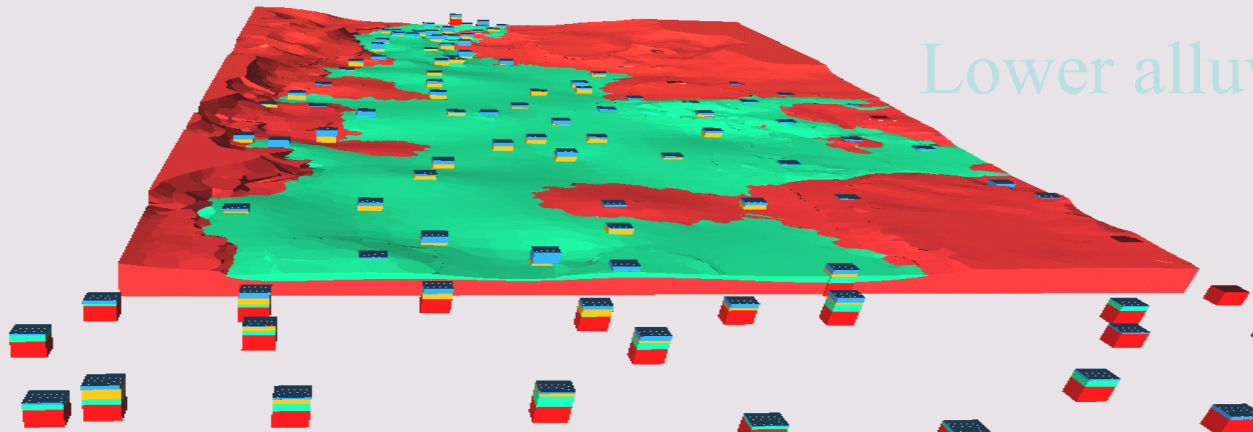
# Upper alluvial deposits



## Clay



## Lower alluvial deposits

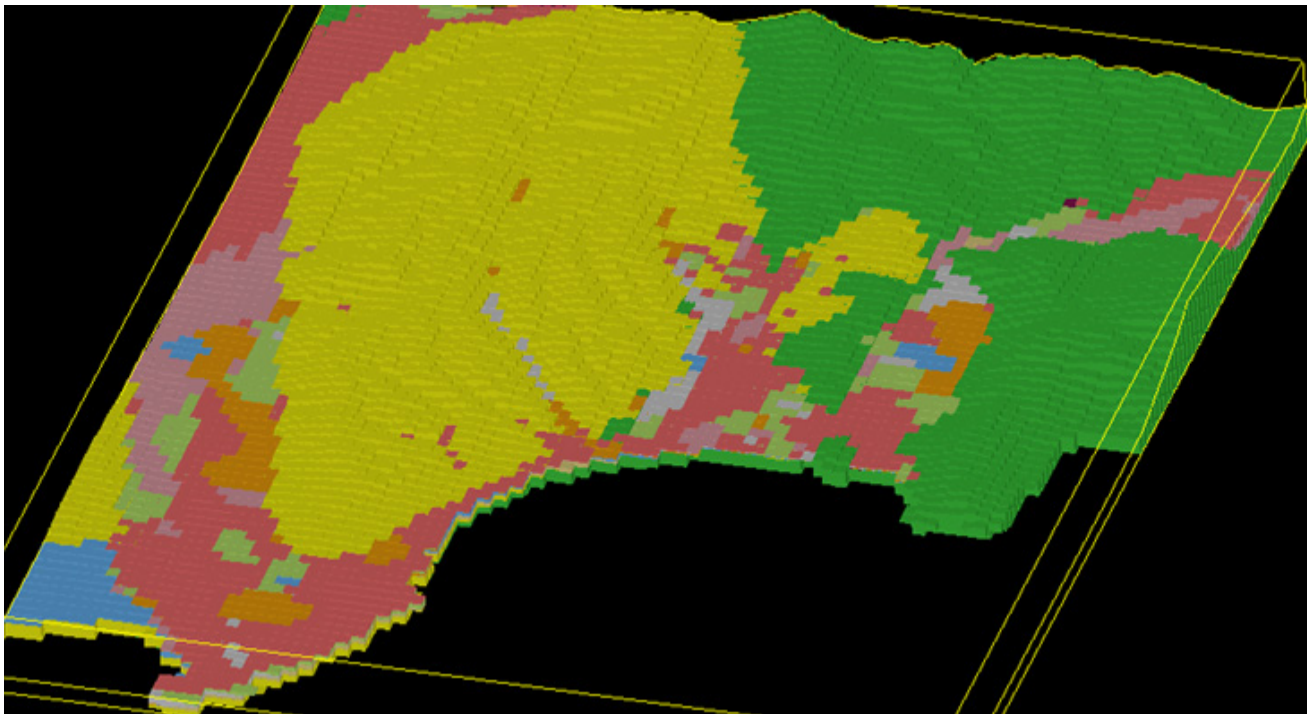


**3D GeoModeller**  
EDITEUR GÉOLOGIQUE

Géosciences pour une Terre durable  
**brgm**

> **Modélisation 3D pour simulation de propagation d'ondes sismiques**

- Nice (France, 2002) : Geometry (GEOMODELLER)



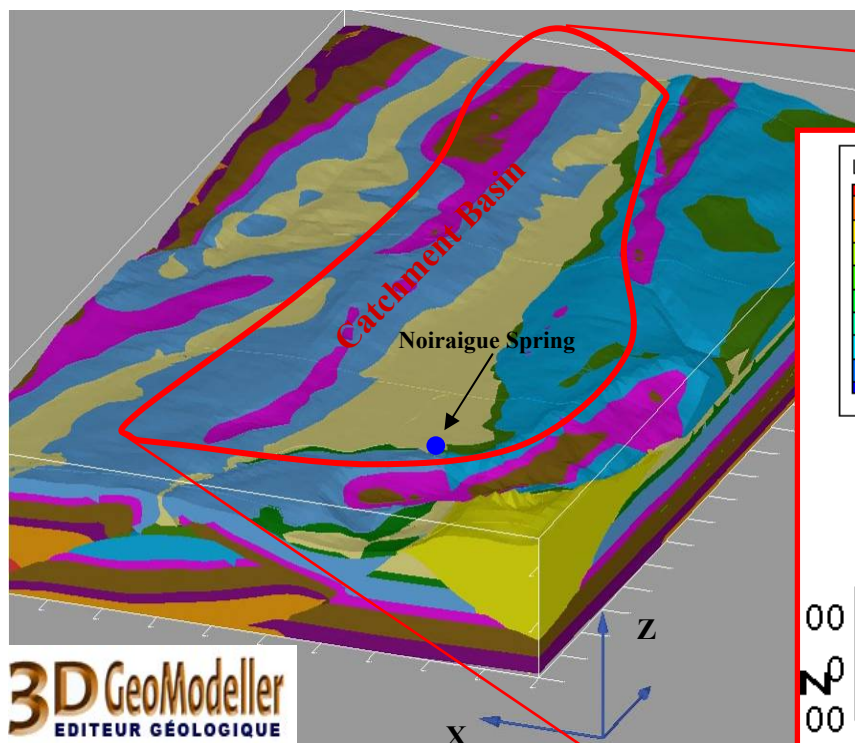
**3D GeoModeller**  
EDITEUR GÉOLOGIQUE

# Modélisation Géométrique 3D au BRGM

## Eau souterraine

*The "Vallée des Ponts-de-Martel" (Jura mountains, Switzerland)*

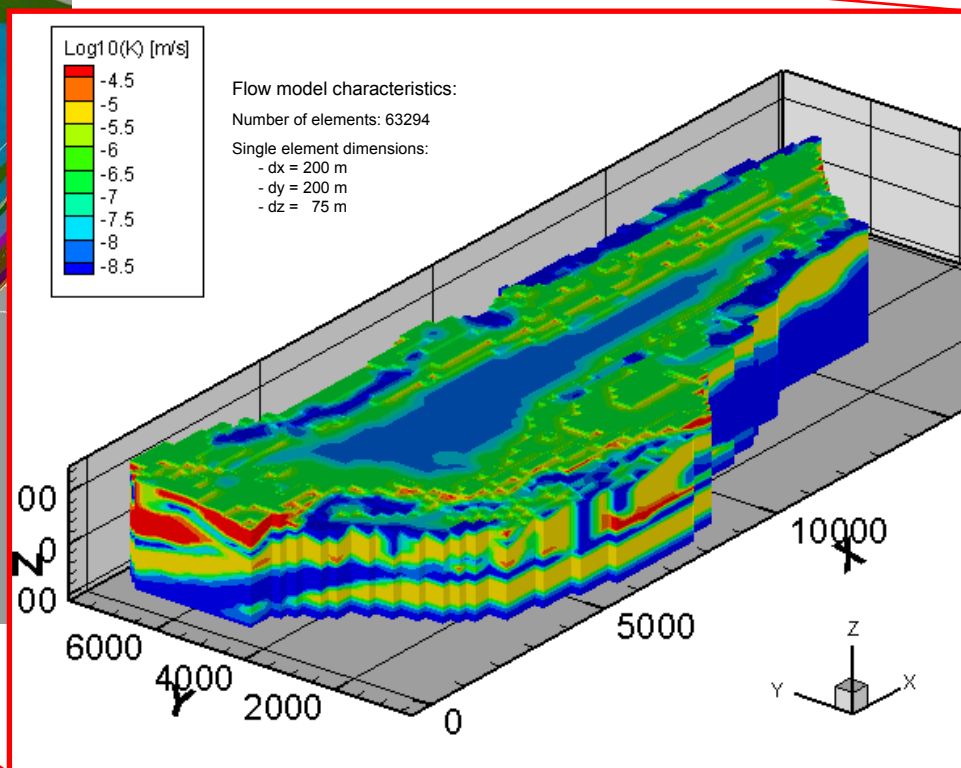
*Hydrogeological situation: Noiraigue spring drains the Karstic aquifer*



**3D GeoModeller**  
EDITEUR GÉOLOGIQUE

3D geological model created with Geomodeller 3D

Université de Neuchâtel **unine**



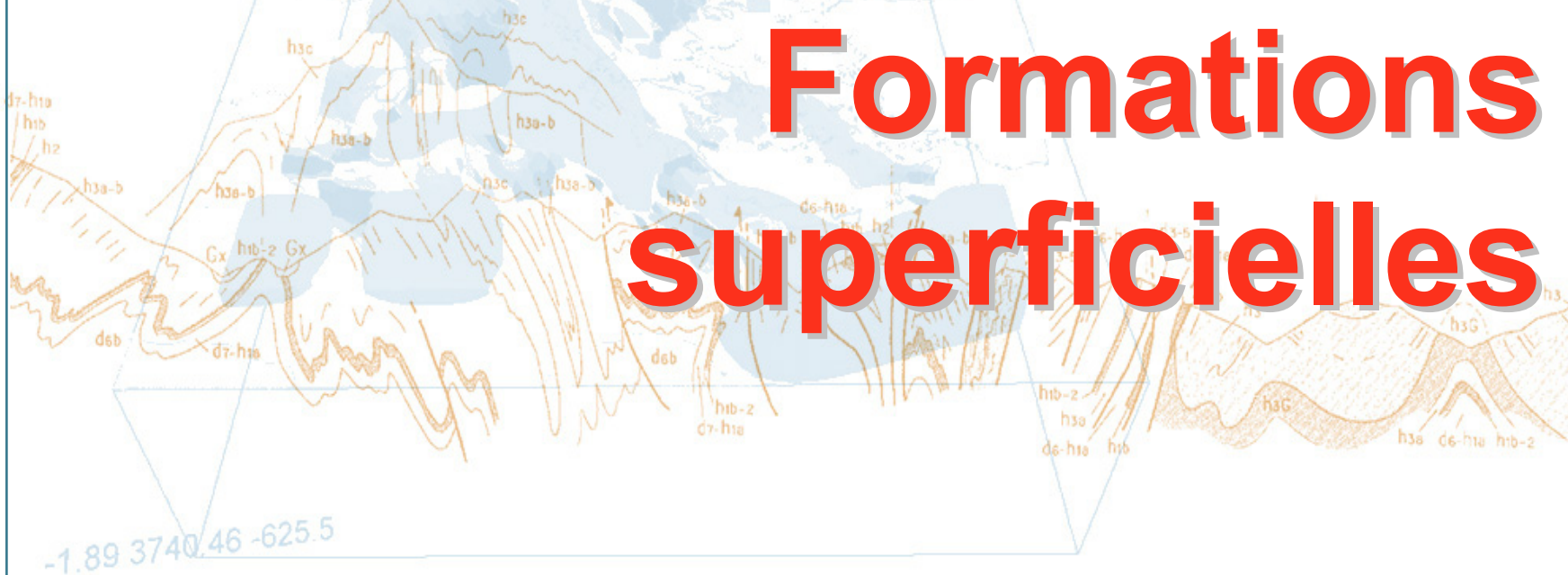
Conversion to 3D Hydraulic Parameters for the flow simulation

**brgm**

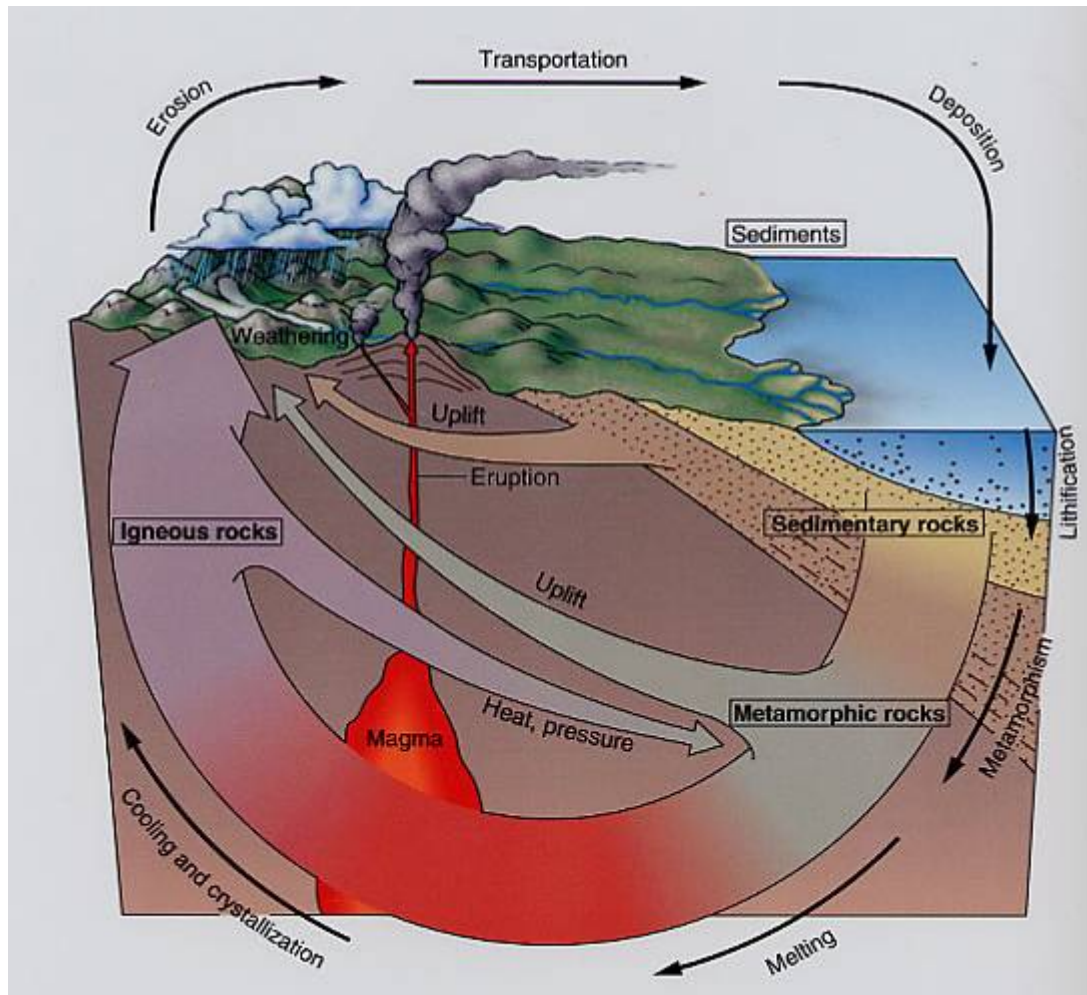




# Cartographie des Formations superficielles



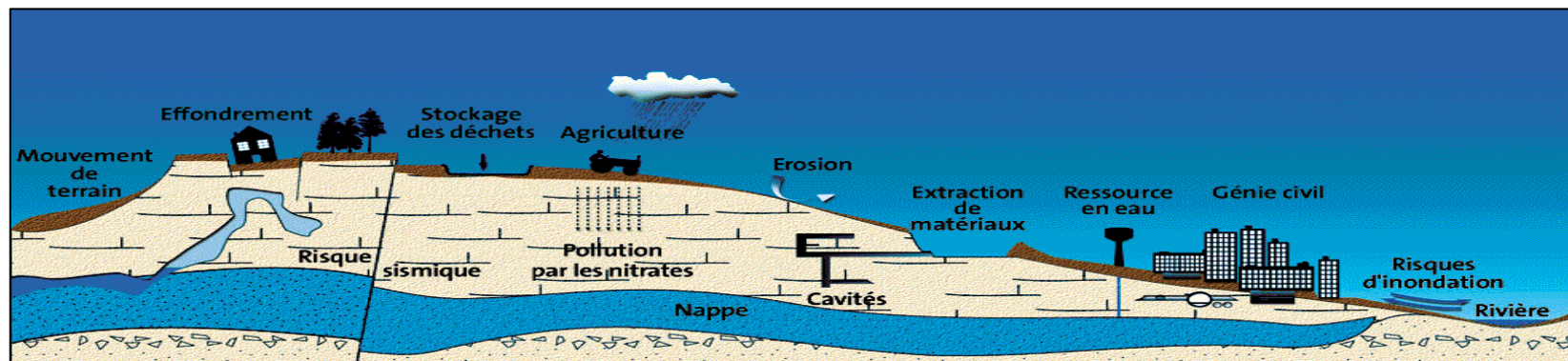
# Les formations superficielles



...un 4<sup>ème</sup> type de roches dans le cycle géologique

# Besoins

- Nature des dépôts
- Extension des dépôts
- Géométrie des dépôts
- Propriétés Physiques et chimiques



## Eau

- perméabilité
- porosité
- volume...

## Risques

- résistance mécanique
- teneur en argiles
- teneur en eau...

## Pollutions

- teneur en argiles
- perméabilité
- adsorption...

## Géothermie

- conductivité
- perméabilité
- dureté...

# Définitions

**Formations superficielles = formations plio-IV meubles peu épaisses**

(alluvions, colluvions, formations de versants, loess, moraines...)

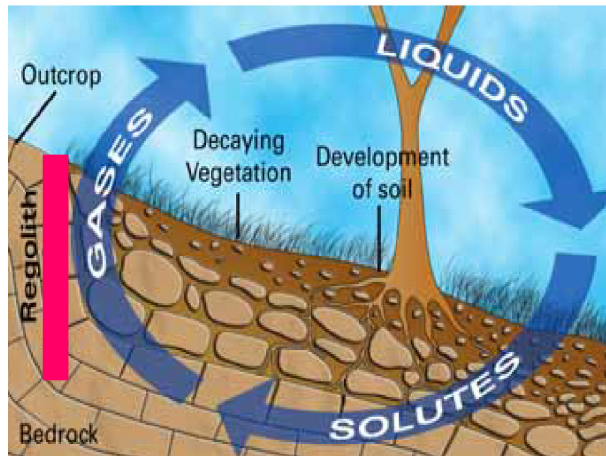
*Définition trop restrictive excluant les **altérites anciennes ou récentes**, présentes très largement en domaine de socle et dans les bassins sédimentaires, avec des épaisseurs souvent très importantes*

## Formations superficielles

= Formations géologiques affleurantes dont la genèse ou les propriétés actuelles résultent de processus supergènes, quel qu'en soit l'âge

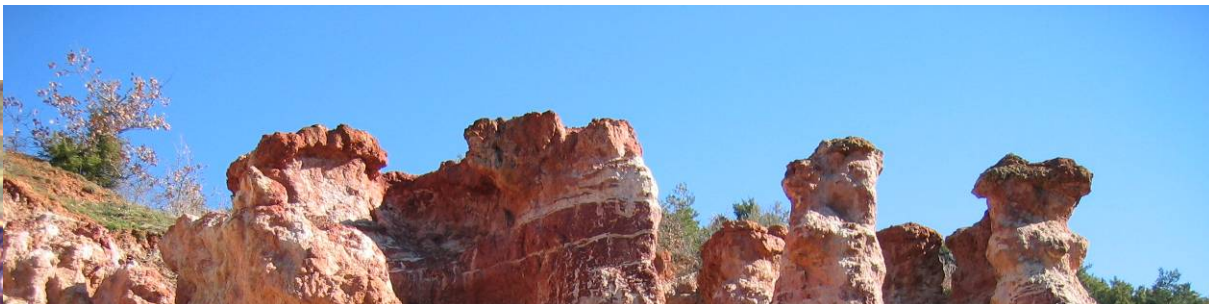
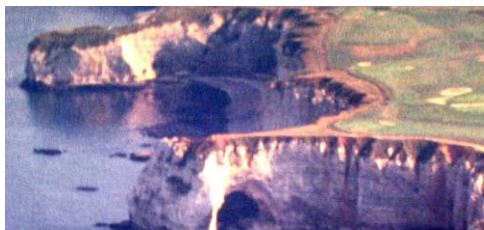
*Cette définition se rapproche du concept de*

**Régolithe** = Ensemble des roches généralement non consolidées que l'on trouve en surface ou subsurface au dessus du bed-rock"

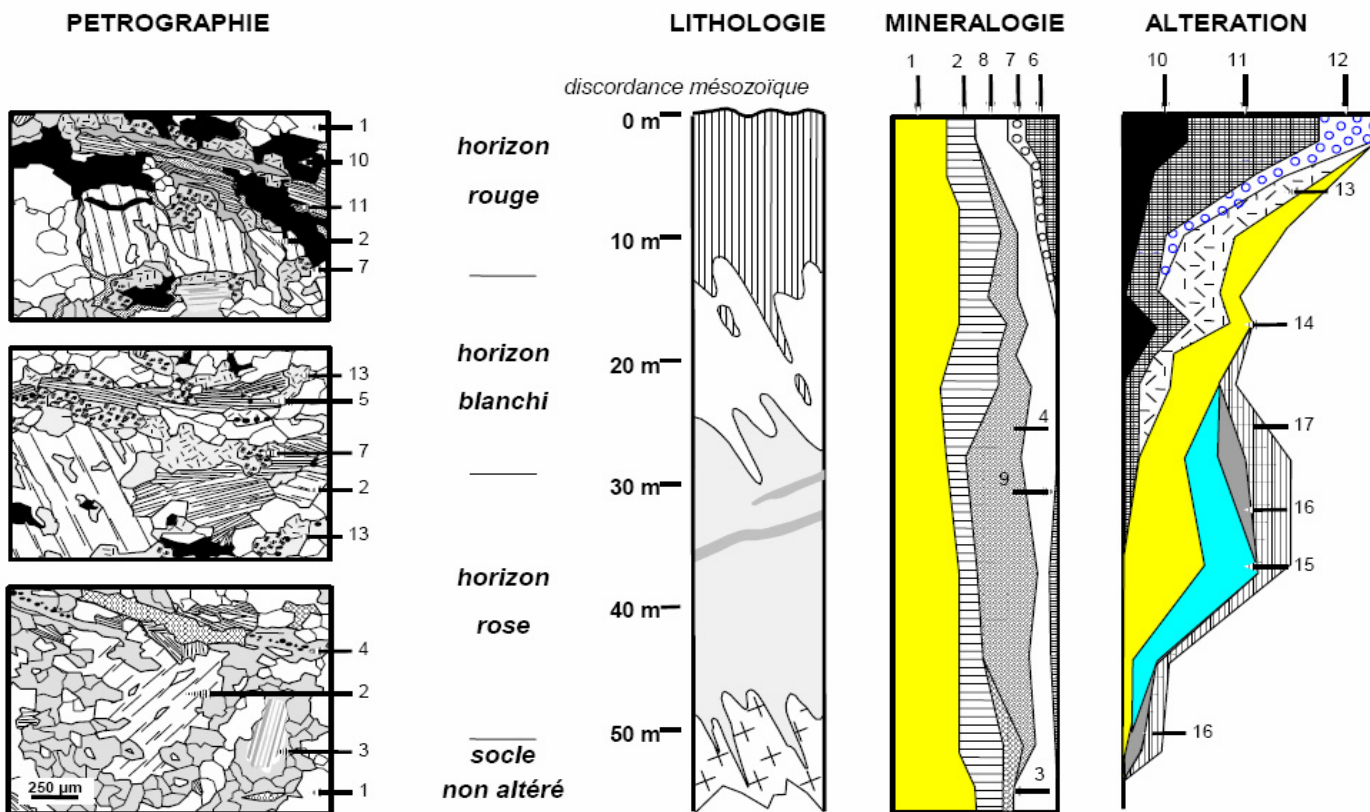




## Terrain



# Caractérisation



**Profil albitisé triasique sur socle, Massif central,**  
Schmitt, 1986 ; Thiry et al, 2006

# Résidus à silex sur le Crétacé du bassin de Paris

Modélisation par géostatistiques de la géométrie du **Toit** et du **Mur** des résidus à silex

4049 forages

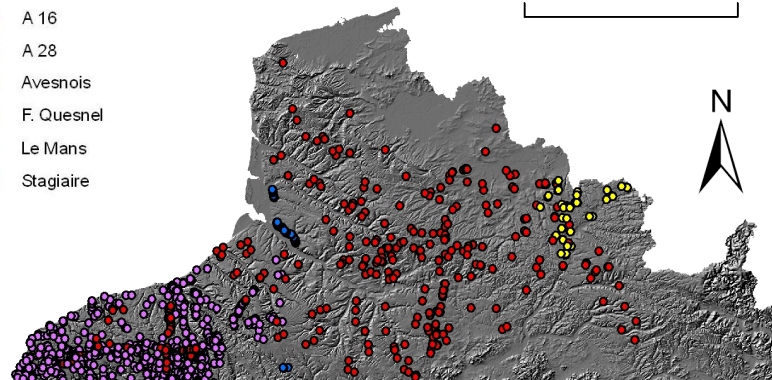
Tables attributaires :

Répartition des points de forage

SOURCE

- A 16
- A 28
- Avesnois
- F. Quesnel
- Le Mans
- Stagiaire

0 Kilomètres 100



Surfaces recherchées **TOIT** — } Recoupées par la topo

**MUR** — }

forage      digitalisation      Altitude MNA 250

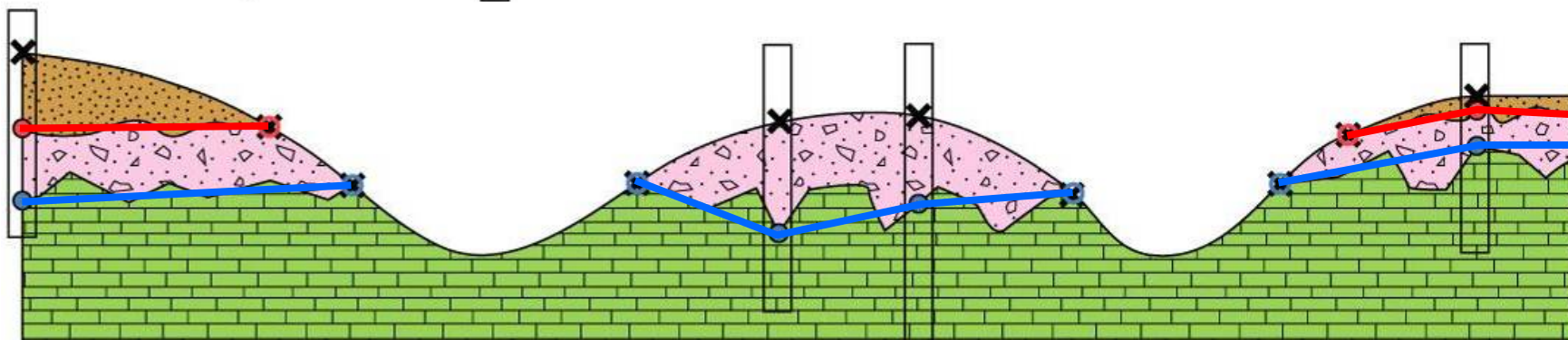
point du toit



point du mur



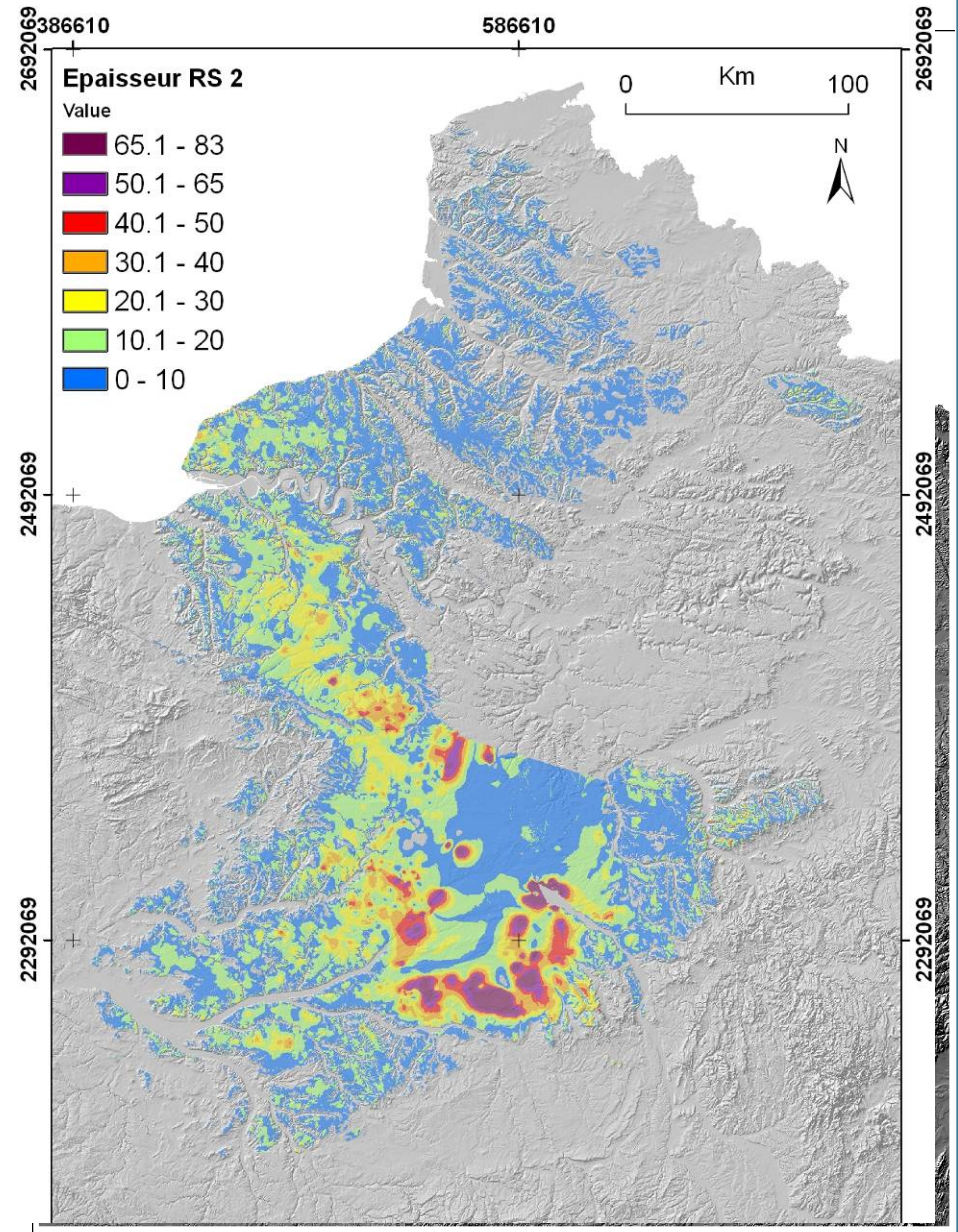
×





# Contours et faciès de résidus à silex

- RS quaternaires post décapage des argiles imperméables sparnaciennes et yprésiennes
- RS post-dépôt des Sables de Lozère, St Eustache et Fourmetot
- Toit et du Mur** = Zone à silex quaternaires post Alluvions de la Seine
- Contours des RS du bassin de Paris et de leur couverture** = Zone à silex paléogènes et post-lacustres
- RS post-dépôt des dépôts rupéliens et + jeunes (depuis avec points de contrainte)
- RS paléogènes coiffées par les silcrètes éocènes, alluviales ou scellées par Sparnacien ou Lacustre lutétien à + jeunes
- Toit et du Mur**
- Zone mixte : RS et altérites paléogènes de tuffeau, coiffées par silcrètes éocènes
- Spongolithe +/- à silex, paléogènes pures, coiffées par silcrètes éocènes
- Zone mixte : altérites sableuses et spongolithes +/- à silex, paléogènes, coiffées par silcrètes éocènes
- Altérites sableuses paléogènes pures, coiffées par les silcrètes éocènes



# Cartographie des altérites en domaine de socle

Altérite



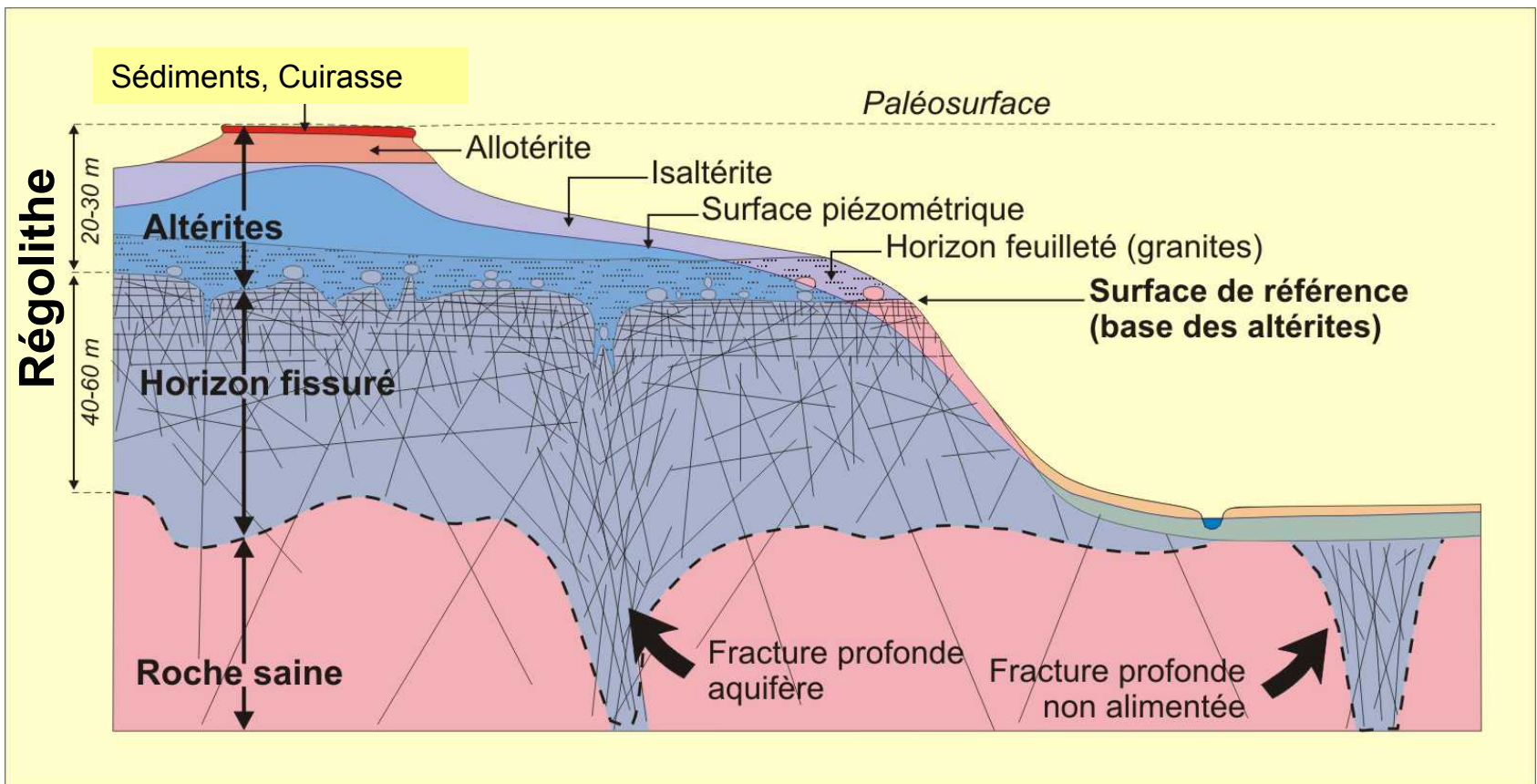
Isaltérite



Horizon fissuré



## Coupe-type des 100 premiers mètres en contexte de socle altéré



(R. Wyns, 1998)

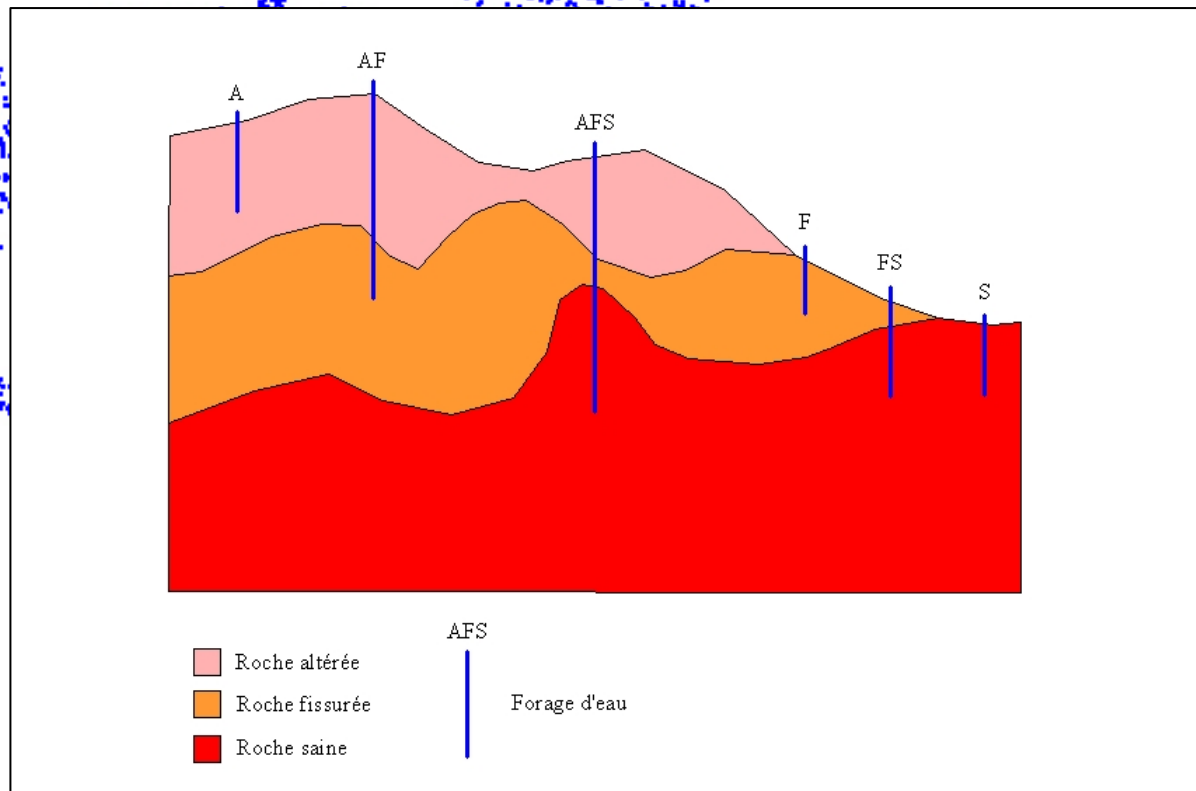
Nom de l'ouvrage : 03176X0293/A  
 Echelle : 1 / 200  
 Tranche de profondeur : 0.00 M - 30.40 M  
 Date d'impression : 25/05/05  
 Coordonnées : X = 300.9670 Y = 2354.834 Z = 39.65000

Feuille 317 - Rennes

Stratigraphie	Strati	Formation	Profondeur	Lithologie	Litho	Description
Holocène		remblais			remblais	remblai (bitume, empierrement, sable limoneux brun à graviers)
Pleistocène		Alluvions fluviatiles anciennes (Formations superficielles ; Tous domaines)	2.25		sable fin argileux	
Mur du Quaternaire			3.40		Lacune	
Age indéterminé		Niveau repère	3.41		saprolite (argile d'altération)	sable très fin limoneux ocre à roux avec passées grossières entre 2,25 et 2,35 m et entre 2,9 et 3,0 m
base des altérites meubles		Briovérien centre armoricain - Formation de la Mayenne (Unité de Bretagne Centrale ; Domaine varisque de Bretagne centrale (Rennes))	4.60		Lacune	argile beige à grise à blocs de schiste
Age indéterminé		Niveau repère	4.61		Roche d'altération s.l.	argile sableuse gris-verdâtre à fragments de schiste
base des altérites feuilletées et/ou décolorées		Briovérien centre armoricain - Formation de la Mayenne (Unité de Bretagne Centrale ; Domaine varisque de Bretagne centrale (Rennes))	5.60		Lacune	blocs de schiste très tendre beige-verdâtre à gris avec argile entre les blocs
		Niveau repère	6.00		schiste	schiste tendre gris-verdâtre très fracturé (argile dans fractures)
		Briovérien centre armoricain - Formation de la Mayenne (Unité de Bretagne Centrale ; Domaine varisque de Bretagne centrale (Rennes))	8.40		schiste	schiste tendre gris à rouille fragmenté à broyé, tapissé d'oxyde de fer
		Niveau repère	9.65		schiste	schiste gris tendre très fracturé (argile à fragments de schiste dans fractures)
		Briovérien centre armoricain - Formation de la Mayenne (Unité de Bretagne Centrale ; Domaine varisque de Bretagne centrale (Rennes))	9.66		schiste	schiste gris tendre à dur, fracturé à très fracturé
		Niveau repère	13.30		schiste	schiste gris tendre peu fracturé à zones broyées
		Briovérien centre armoricain - Formation de la Mayenne (Unité de Bretagne Centrale ; Domaine varisque de Bretagne centrale (Rennes))	29.80		schiste	schiste gris tendre, très fracturé
		Niveau repère	30.40		schiste	

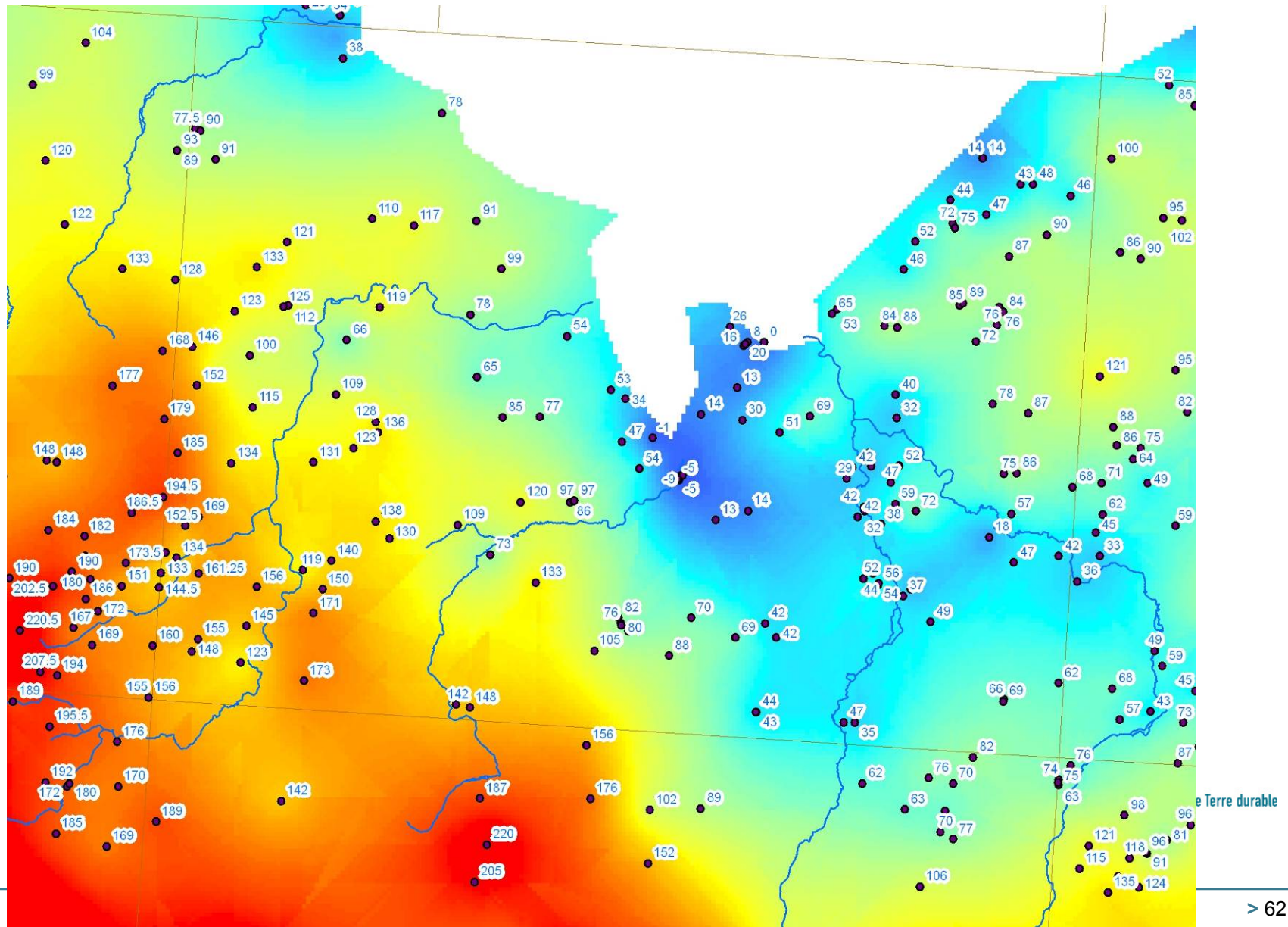
Exemple de sondage dans la Briovérien de Bretagne centrale (environs de Rennes)

# Localisation des forages interprétés

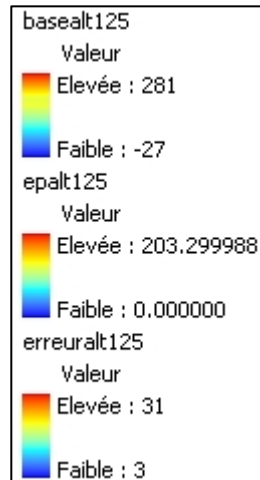
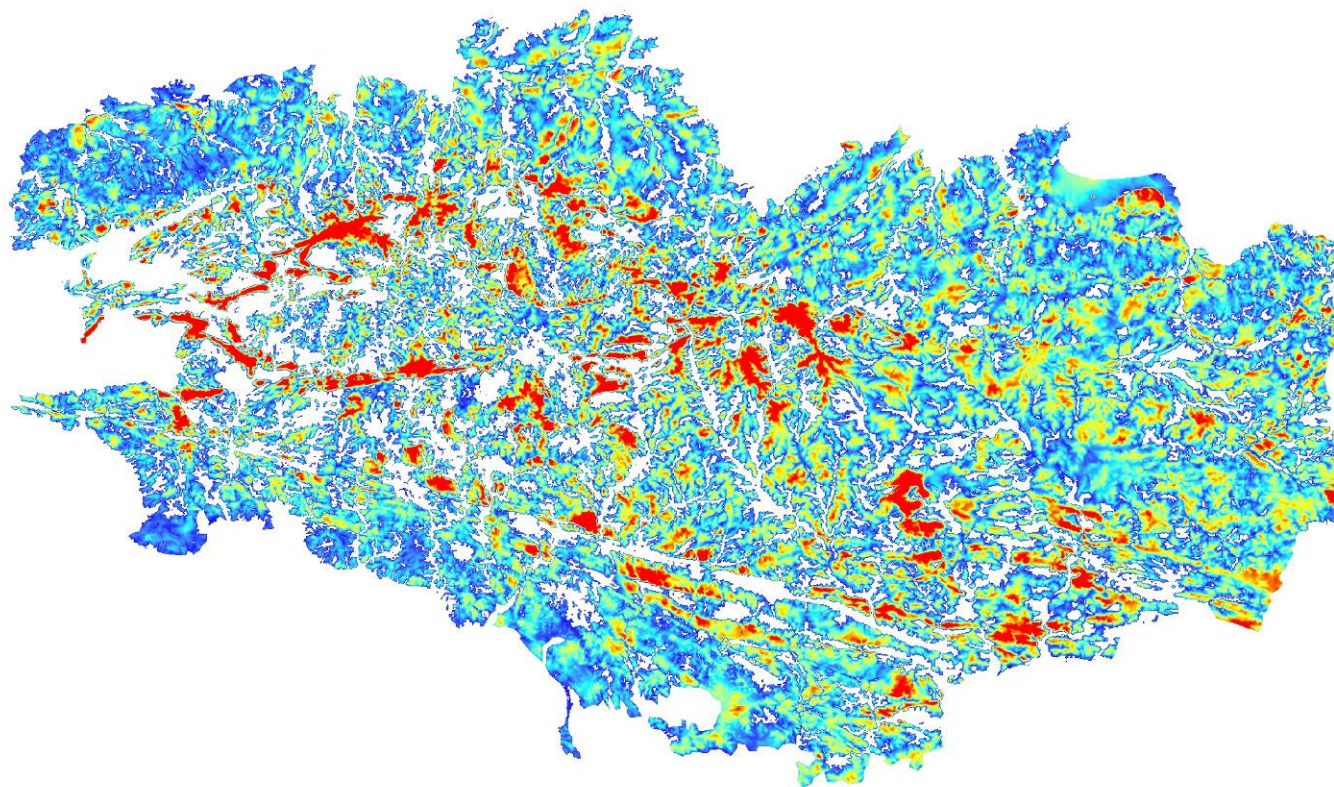


Buts : obtenir épaisseurs **altérites** et **horizon fissuré**

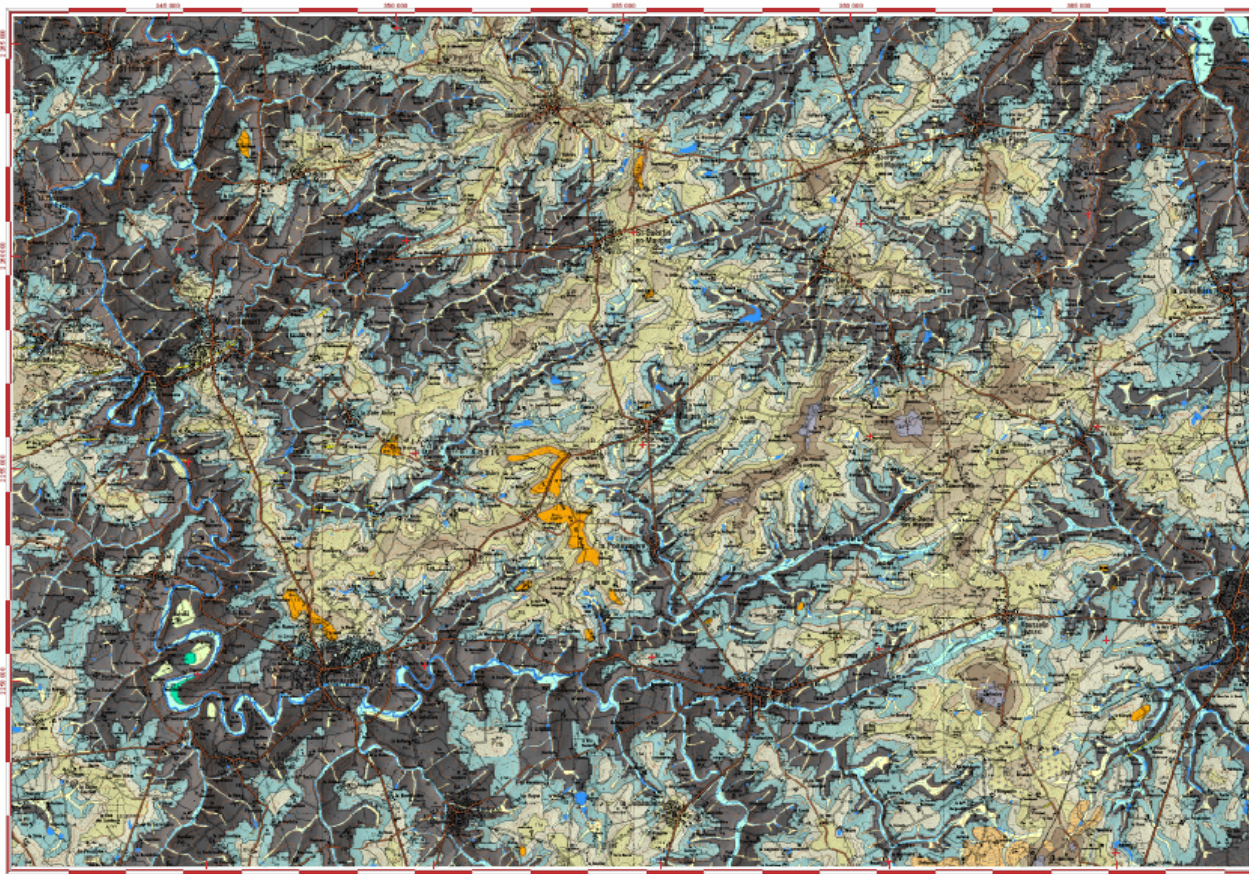
# 7000 forages caractérisent la base des altérites



# Essai de modélisation du Z de la base des altérites



# Domaine de socle : carte Chemillé



Projection et quadrillage NTF Lambert II étendu - Fond topographique (Scan 50) et MNT © IGN

Document public

Contrat de Plan Etat-Region Pays de la Loire

Projet de Recherche  
Cartographie quantitative  
des propriétés du sol et du sous-sol

Rapport final  
BRGM/RP-53575-FR

par R. WYNS, F. QUEREL, F. LAQUARENT, S. BOUGRIN,  
F. MAHOU, F. LEBET, J.M. BATASSAT, A. BILLI, D. MATHON

Mars 2005

Planche 2

Carte Chemillé (Maine et Loire)

## EPAISSEUR DES FORMATIONS MEUBLES

LECLON  
PAYS DE LA  
LOIRE

CETE  
de l'Etat

brgm

### LEGENDE

**Formations meubles**

- Rm - Remblais
- Fz - Alluvions récentes
- Fy et Fy - Alluvions anciennes
- CF - Colluvions de fond de vallon
- C - Colluvions de versant
- e-p - Eocène à Pliocène : argiles grises
- e - Eocène continental : sables, graviers et cailloux

**Epaisseur des formations meubles (m)**

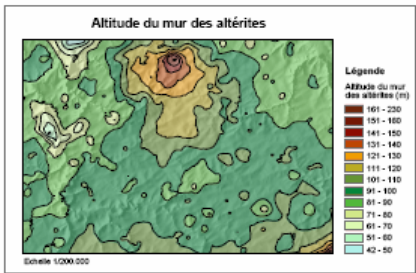
- 0 - 5
- 6 - 10
- 11 - 15
- 16 - 20
- 21 - 25
- 26 - 30

**Lithologie**

- A - Altérites
- F - Filon de quartz
- G - Granite de Chemillé
- M - Microgranite aphanitique

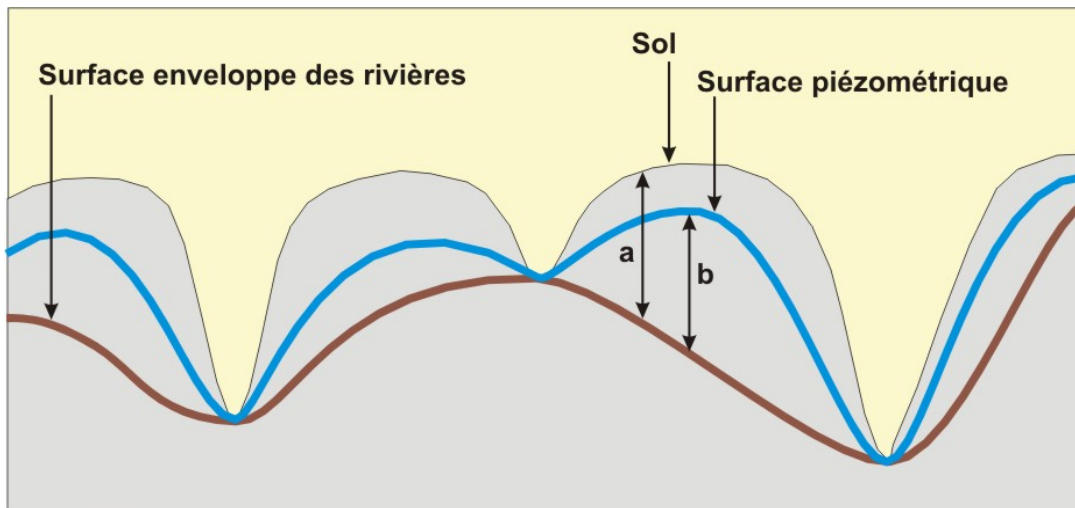
Kilomètres

0 1 2 3 4 5





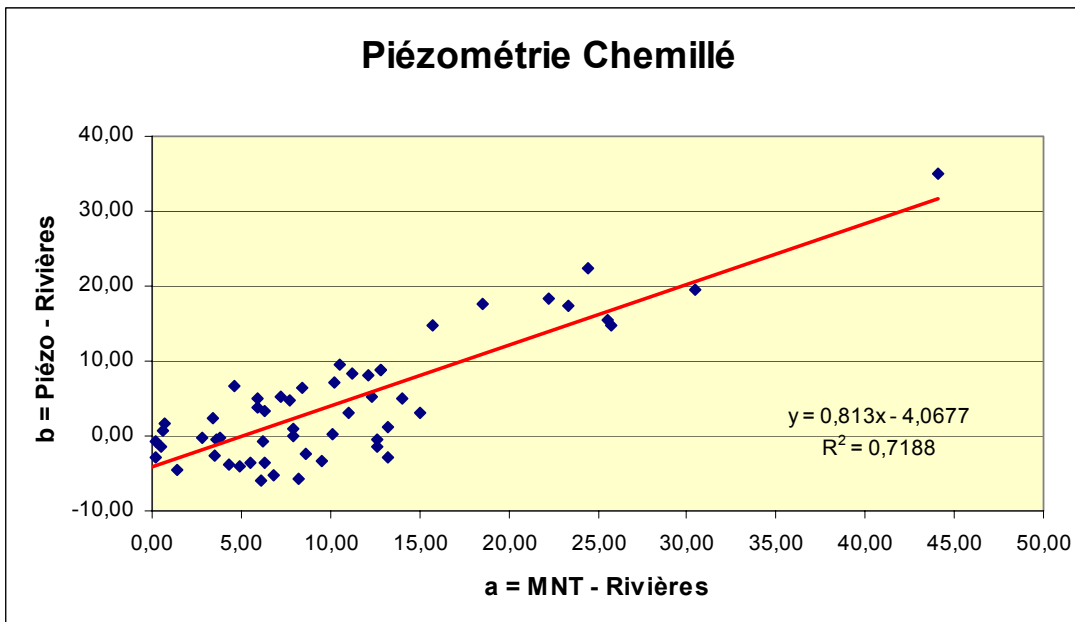
## Domaine de socle



## Piézométrie et épaisseur de la zone non saturée :

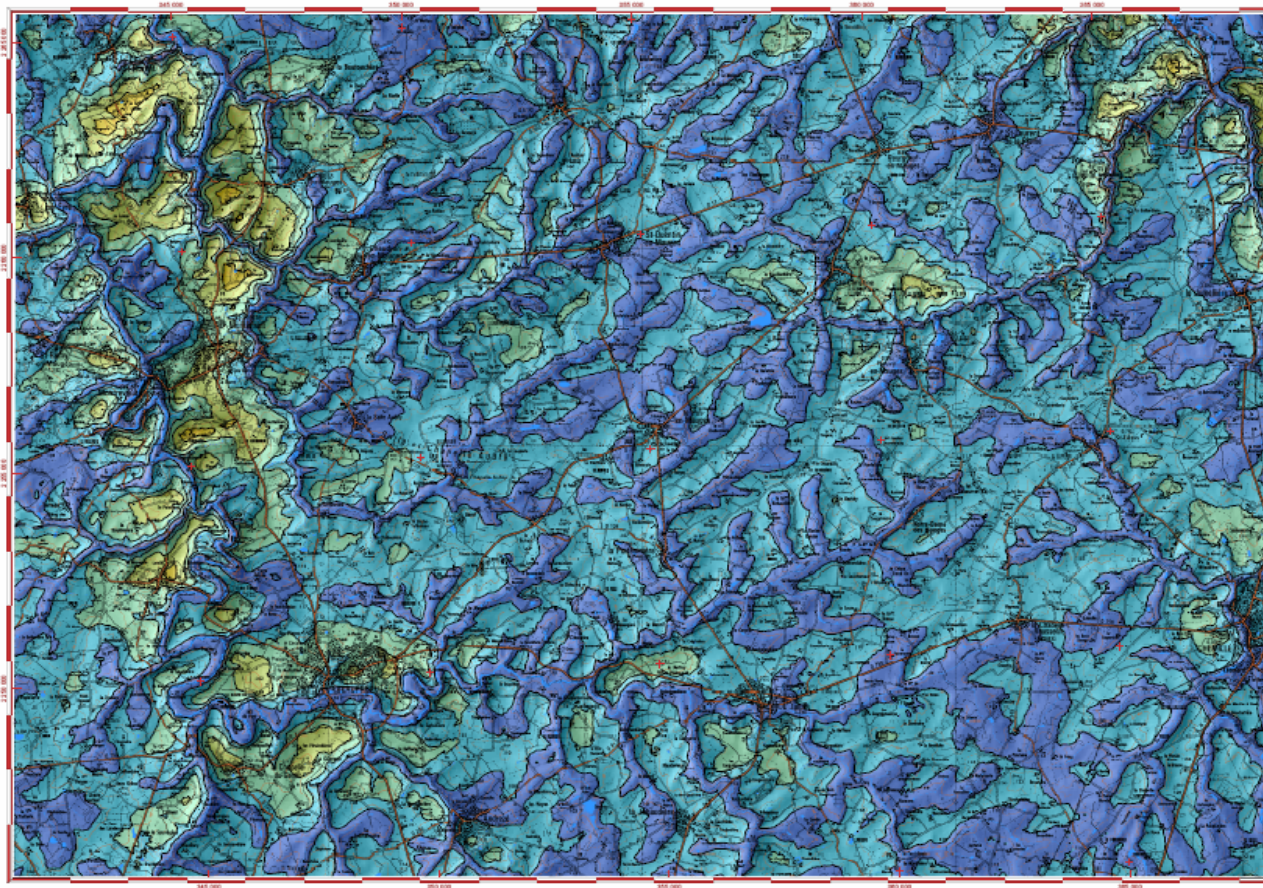
### Principe de modélisation en domaine de socle altéré (Wyns, 1999)

#### Piézométrie Chemillé



Lois de corrélation entre les variables topographiques et la piézométrie

# Domaine de socle



Document public

Contrat de Plan Etat-Region Pays de la Loire

Projet de Recherche  
Cartographie quantitative  
des propriétés du sol et du sous-sol

Rapport final  
BRGM/IRP-53575-FR

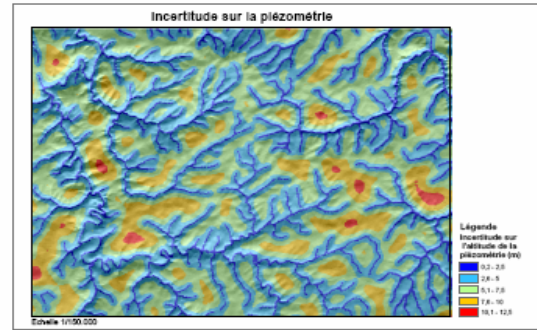
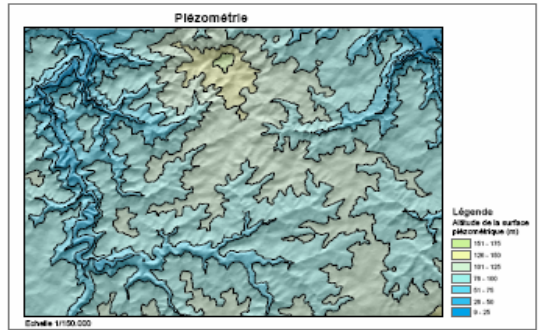
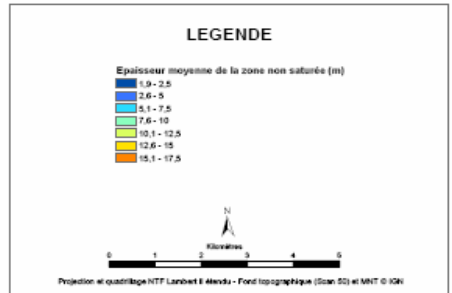
par R. Wyns, F. Guivert, F. Lecomte, B. Bourgin,  
F. Maléau, F. Lebert, J.M. Bellissol, A. Durr, G. Mathon

Mars 2005

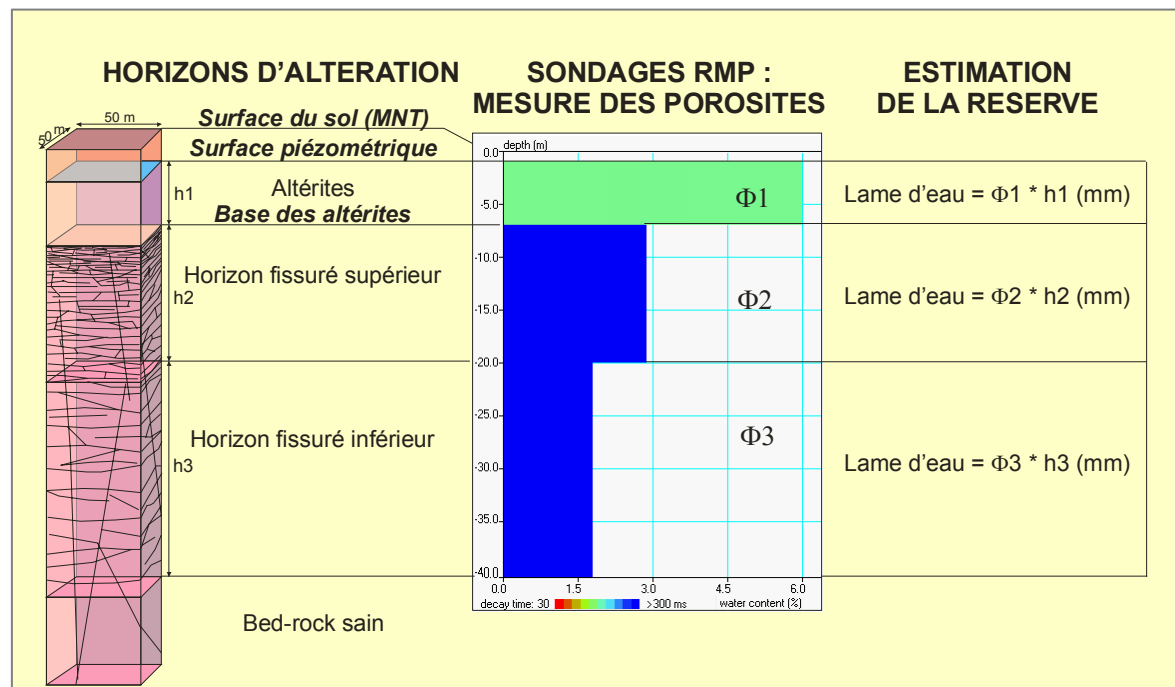
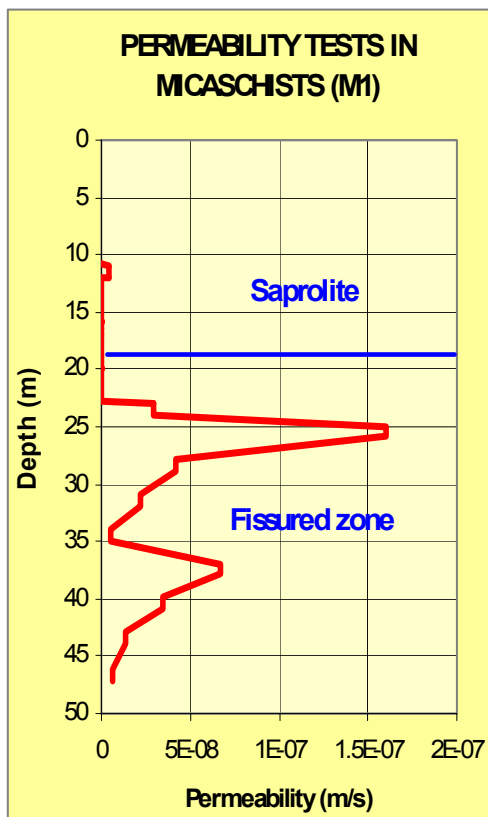
Planche 3

Carte Chemillé (Maine et Loire)

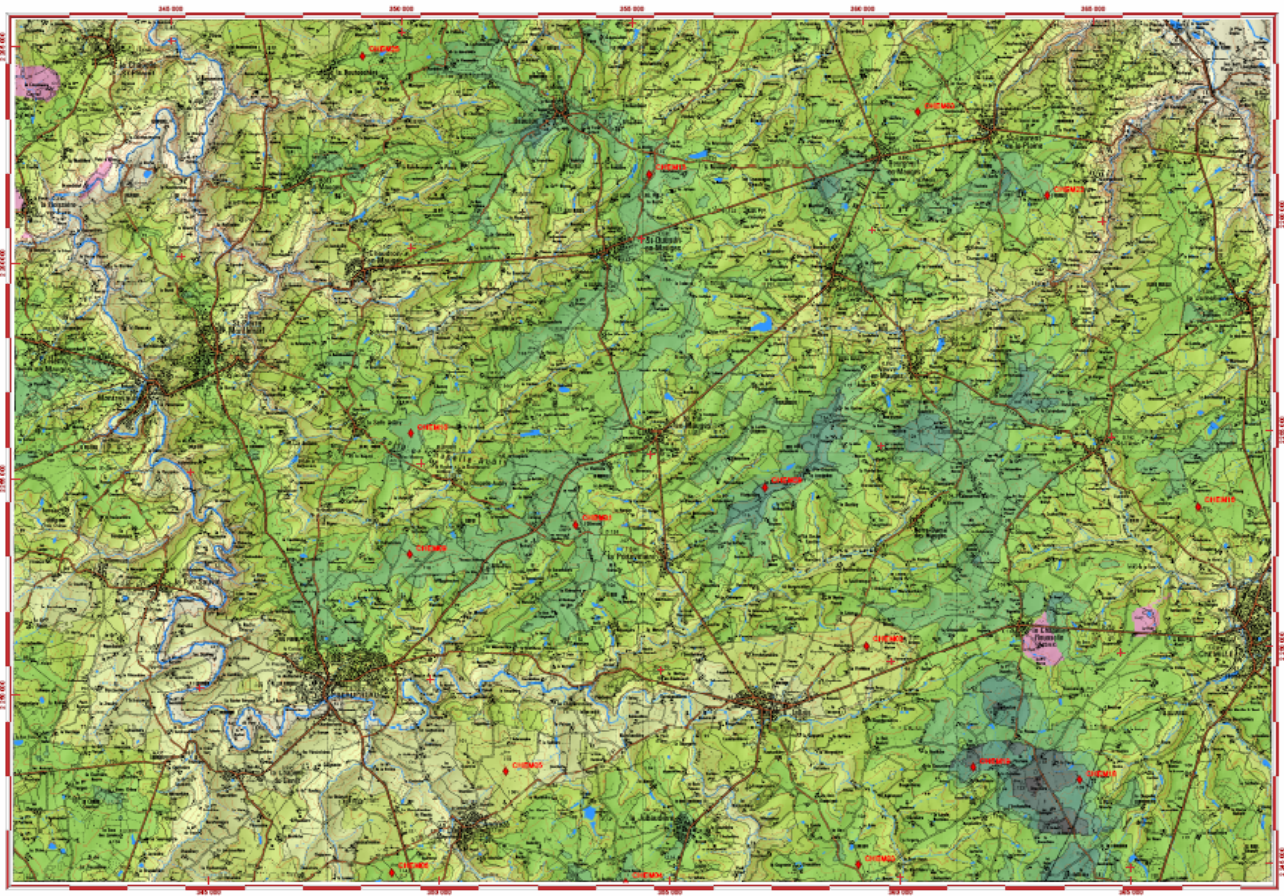
## EPAISSEUR DE LA ZONE NON SATURÉE



# Paramètres physiques et chimiques



# Domaine de socle



Document public

Contrat de Plan Etat-Région Pays de la Loire

Projet de Recherche  
Cartographie quantitative  
des propriétés du sol et du sous-sol

Rapport final  
BRGM/RP-53676-FR

par R. Wyns, F. Cheneval, F. Lacomme, S. Bourgein,  
F. Maheu, P. Labret, J.M. Sotoulet, A. Bli, D. Mathon

Mars 2005

Planche 4

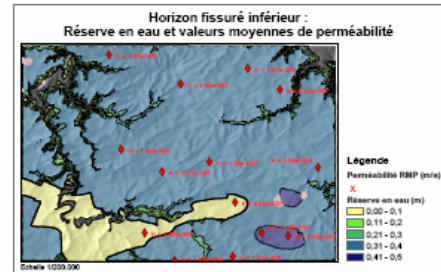
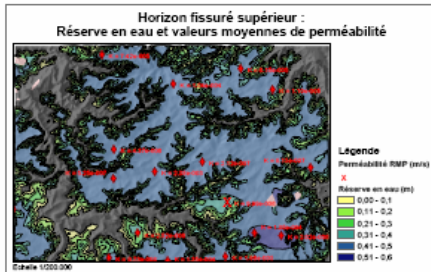
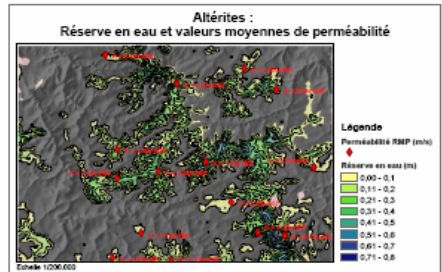
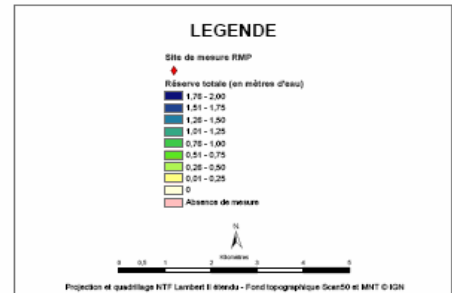
Carte Chemillé (Maine et Loire)

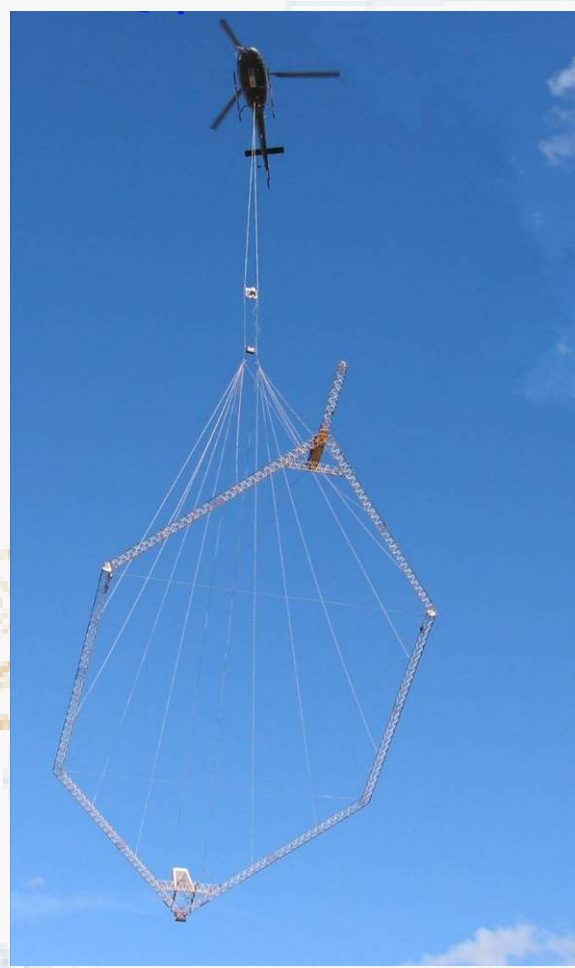
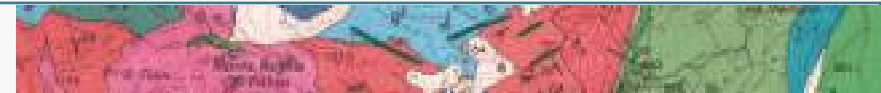
## RESERVE EN EAU SOUTERRAINE

REGIONS  
PAYS DE LA  
LOIRE

CETE  
de l'Etat

brgm  
Bureau de Recherche  
Géologique





# Géophysique aéroportée

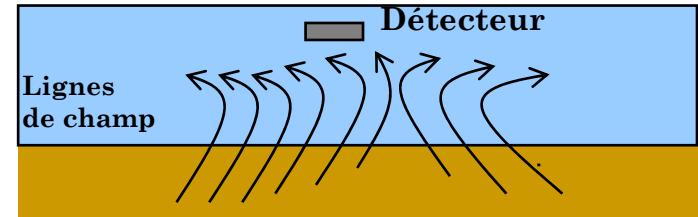
## Apport pour la cartographie des formations superficielles



# Trois principales méthodes de géophysique aéroportée

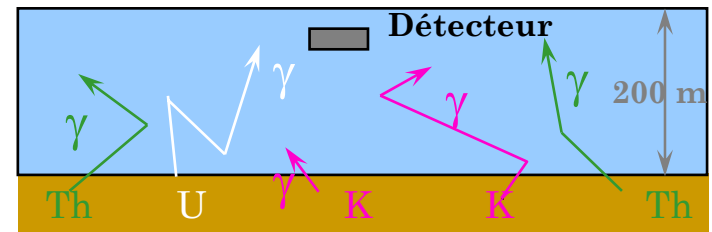
## ⇒ Magnétisme

- > Prop. magn. des roches / Pénétration kilométrique
- Peu contrasté en sédim. / Structuration / Socle sous-jacent



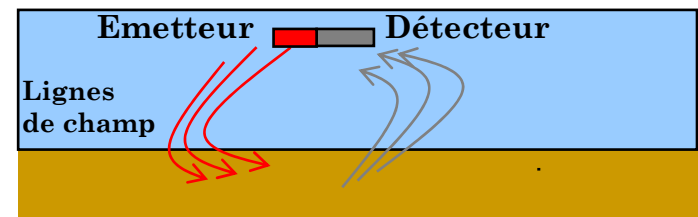
## ⇒ Spectrométrie gamma

- > Teneur en K, U, Th (géochimie) / Pénétration 50 cm
- Lithologie du substratum, au 1<sup>er</sup> ordre altérations / nature des sols, au 2<sup>nd</sup> ordre



## ⇒ Electromagnétisme

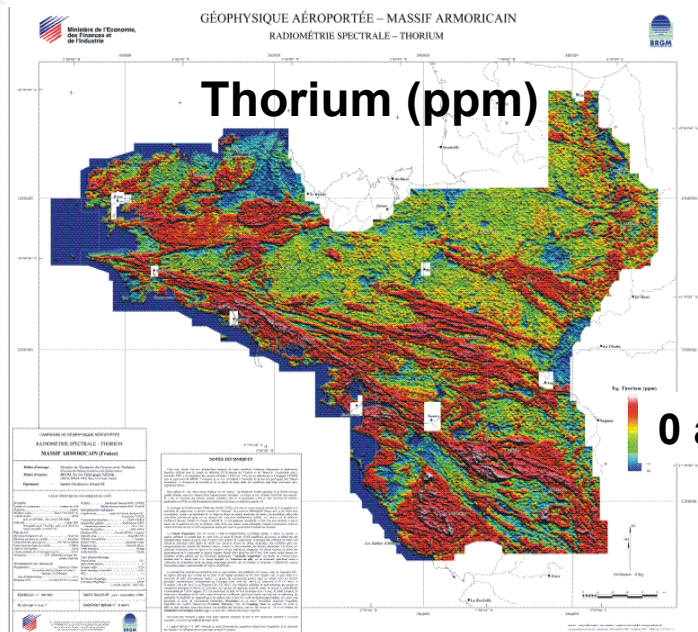
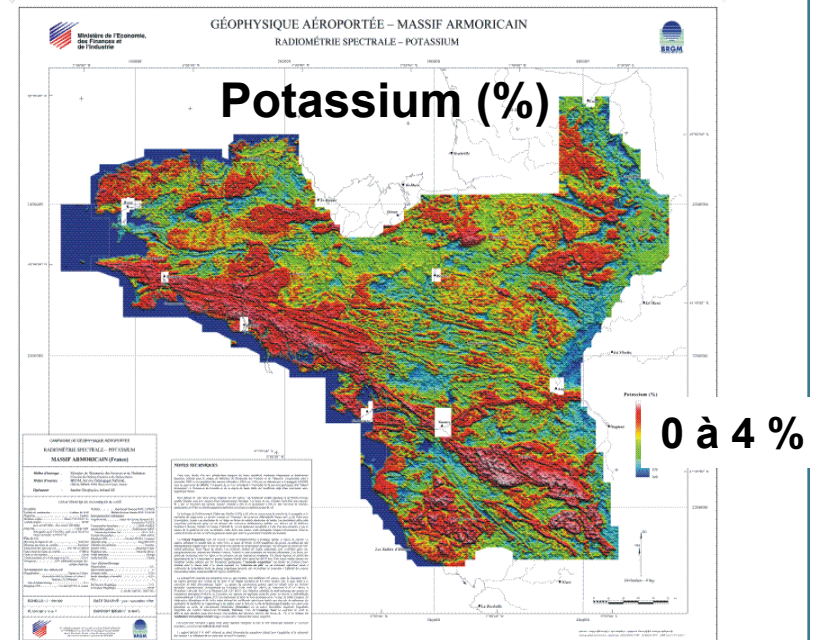
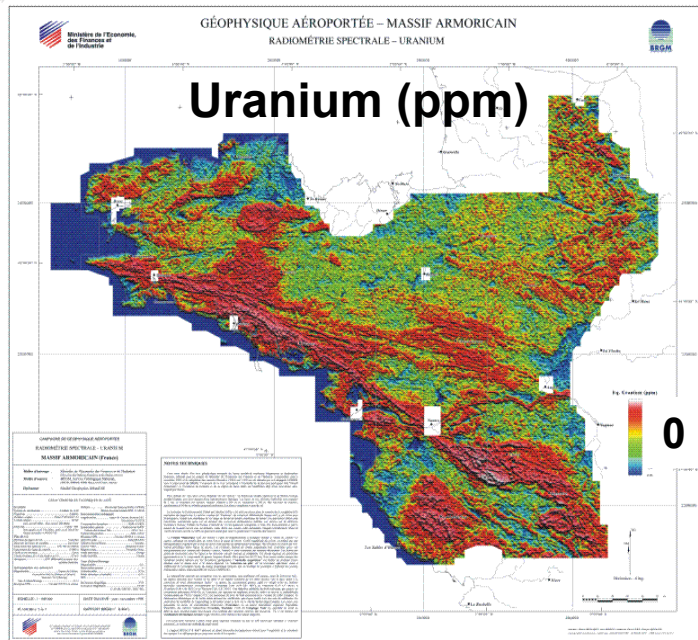
- > Résistivité apparente / Pénétration ~200m / Perturbation anthropiques,
- Lithologie (dureté/porosité) et structuration / Teneurs en eau (salinité), argiles



METHODE A SOURCE CONTROLEE

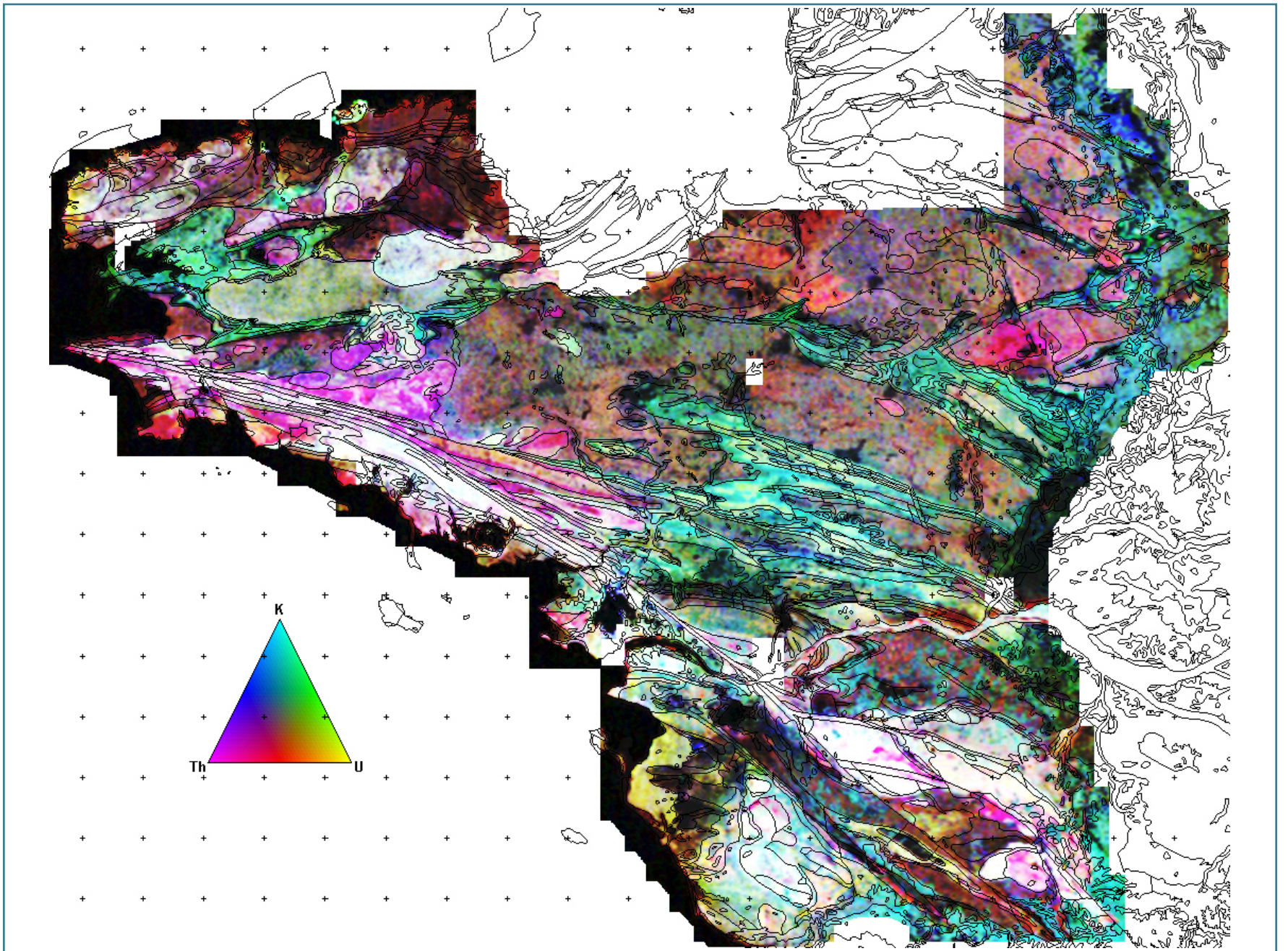
# Rayonnement gamma

- > Le rayonnement gamma est une onde électromagnétique comme la lumière visible (< 5 nanomètres)
  - > Lors de la décroissance radioactive, le noyau émet un rayonnement gamma.
  - > Les rayons gamma possèdent un grand pouvoir de pénétration dans la matière environnante. Le rayonnement gamma peut traverser plusieurs centaines de mètres d'air sans affaiblissement notable.
- 
- > **Les signatures radiométriques des ensembles géologiques traduisent les propriétés radiométriques des minéraux qui les constituent. Ces propriétés dépendent de :**
    - la lithologie et la formation de la roche :
      - cristallisation pour des roches ignées, et volcaniques
      - processus de sédimentation pour les formations sédimentaires
    - modifications ultérieures liées à du métamorphisme, de la déformation, de l'altération, des circulations hydrothermales, ...



➤ Rayonnement gamma K, U, Th utilisé pour la cartographie haute résolution de la géochimie des formations superficielles

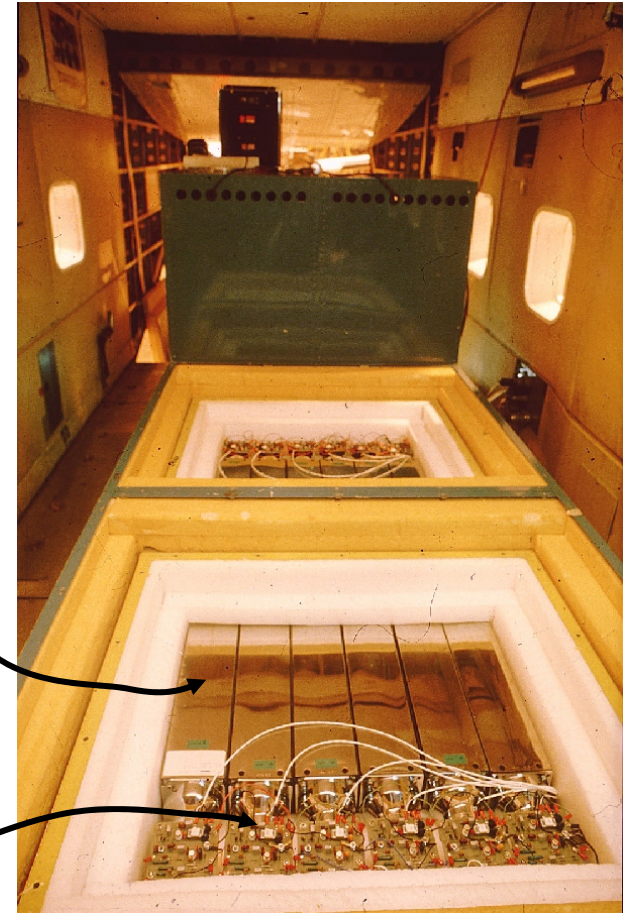




# Spectrométrie gamma aéroportée



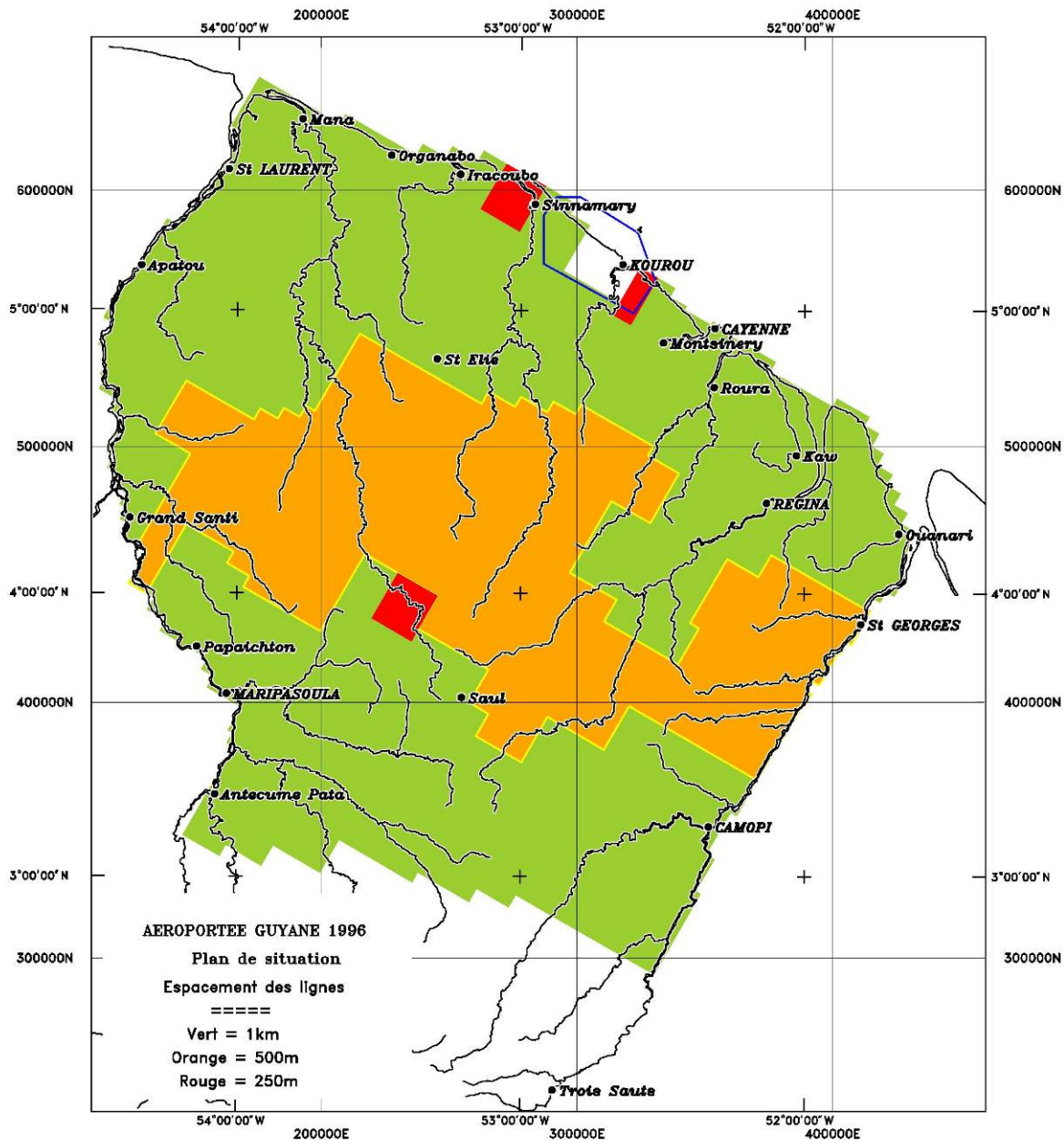
Pack de cristaux NaI



Tubes  
photo-multiplificateurs

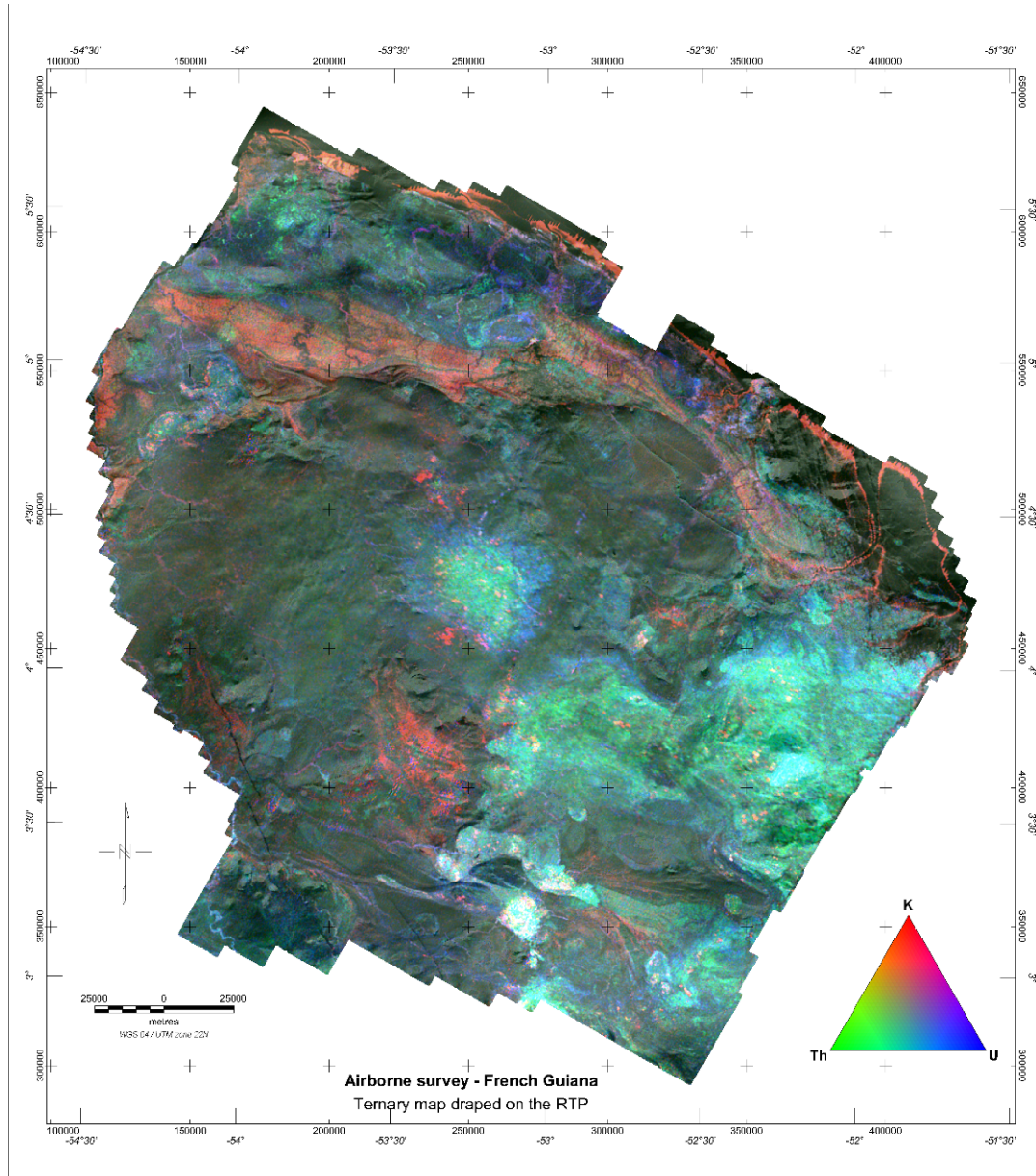
# Levé de Guyane 1996

Espacement des lignes de vol



Cartographie BRGM - SGY/CMG - Jop. - 2002

# Composition ternaire U/K/Th drapée sur l'anomalie magnétique



# Profil d'altération typique en Guyane

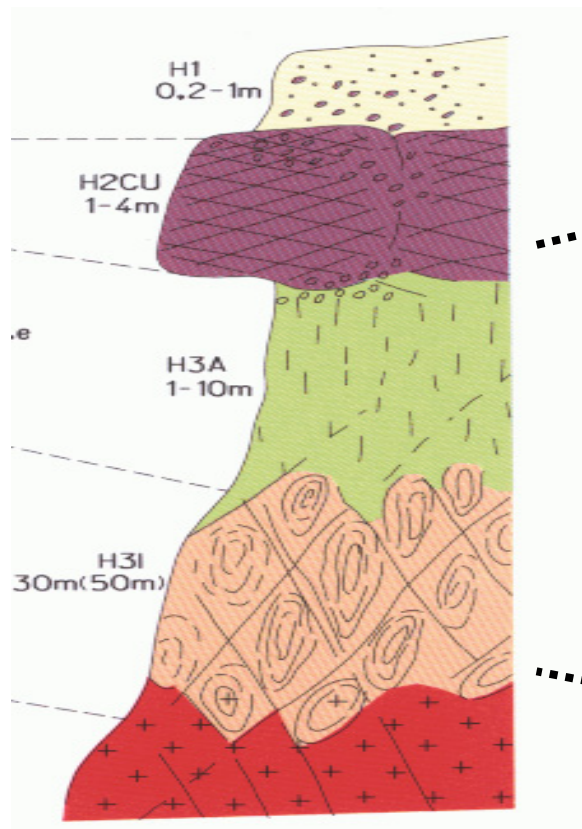
**Sol avec pisolites**

**Cuirasse**

**Allotérite  
(argiles bariolées)**

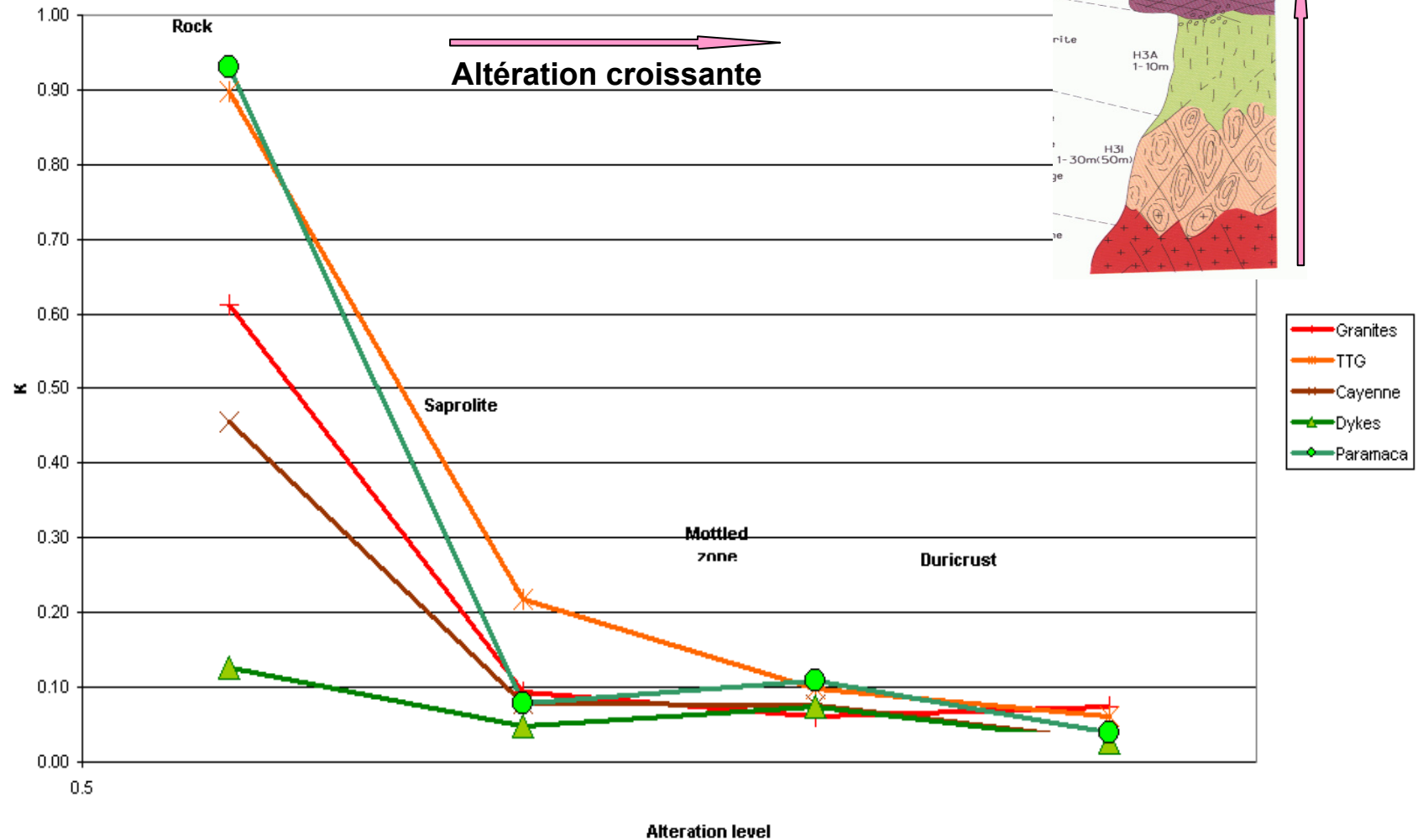
**Saprolite**

**Roche fissurée**



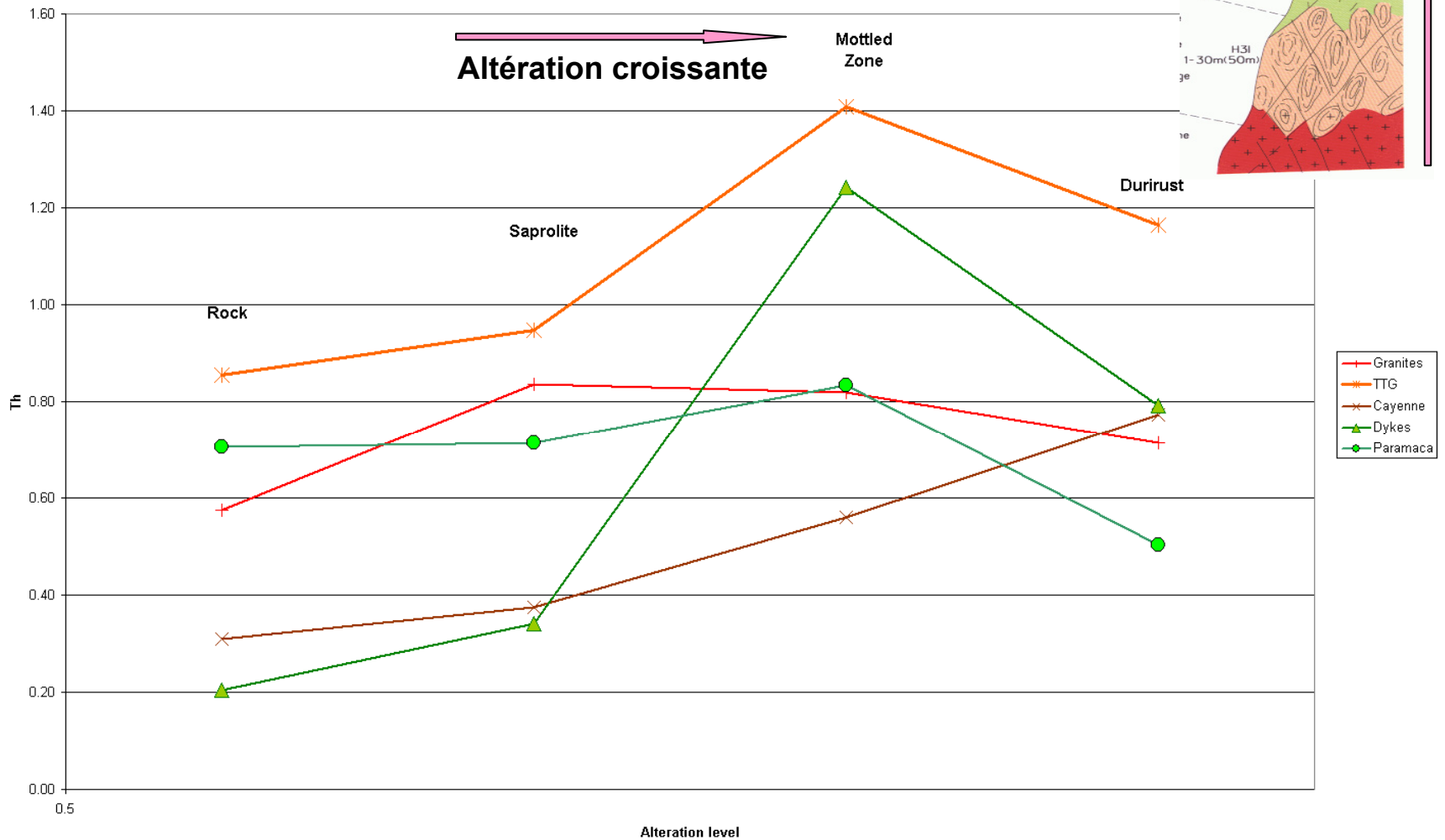
# Comportement des radioéléments avec l'altération

Diminution de K lorsque l'altération augmente



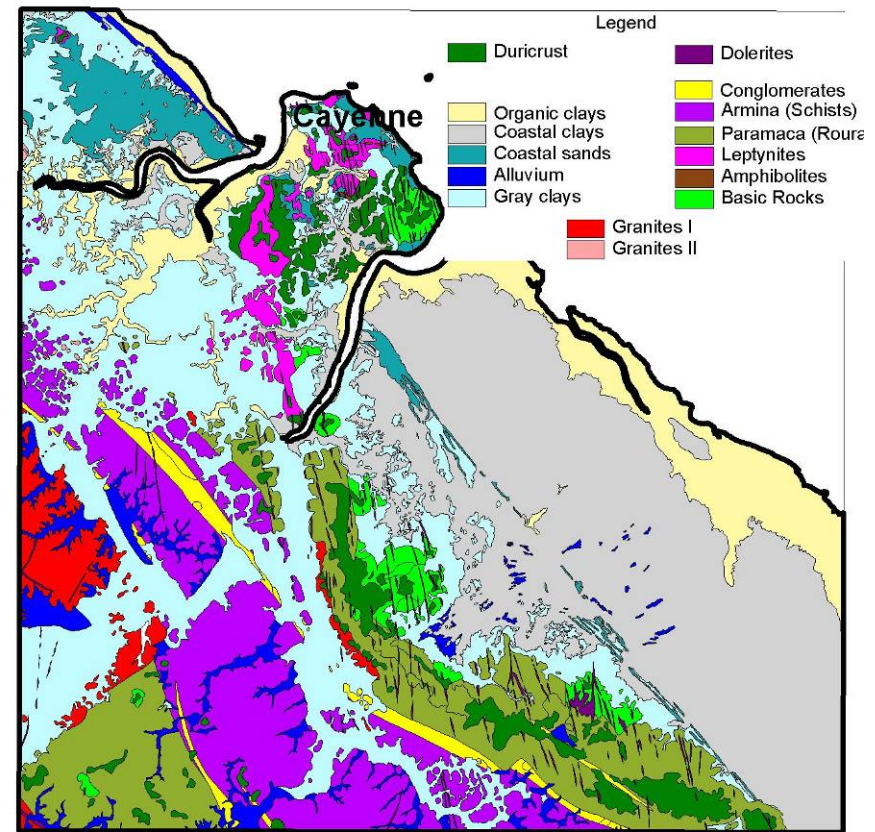
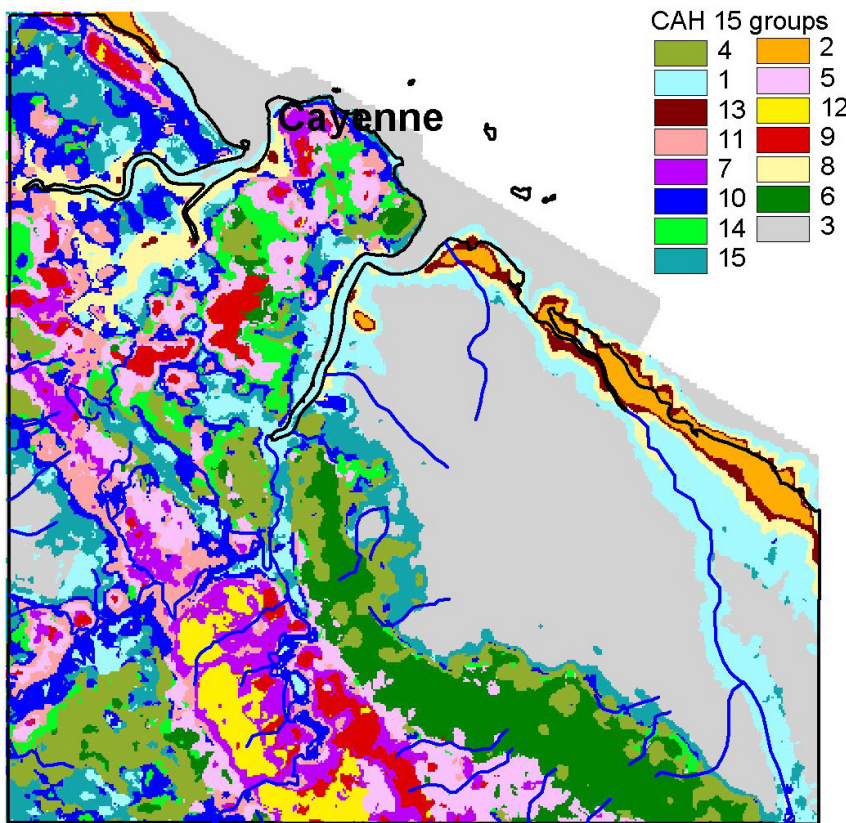
# Comportement des radioéléments avec l'altération

Augmentation de Th lorsque l'altération augmente, sauf au stade ultime de cuirasse



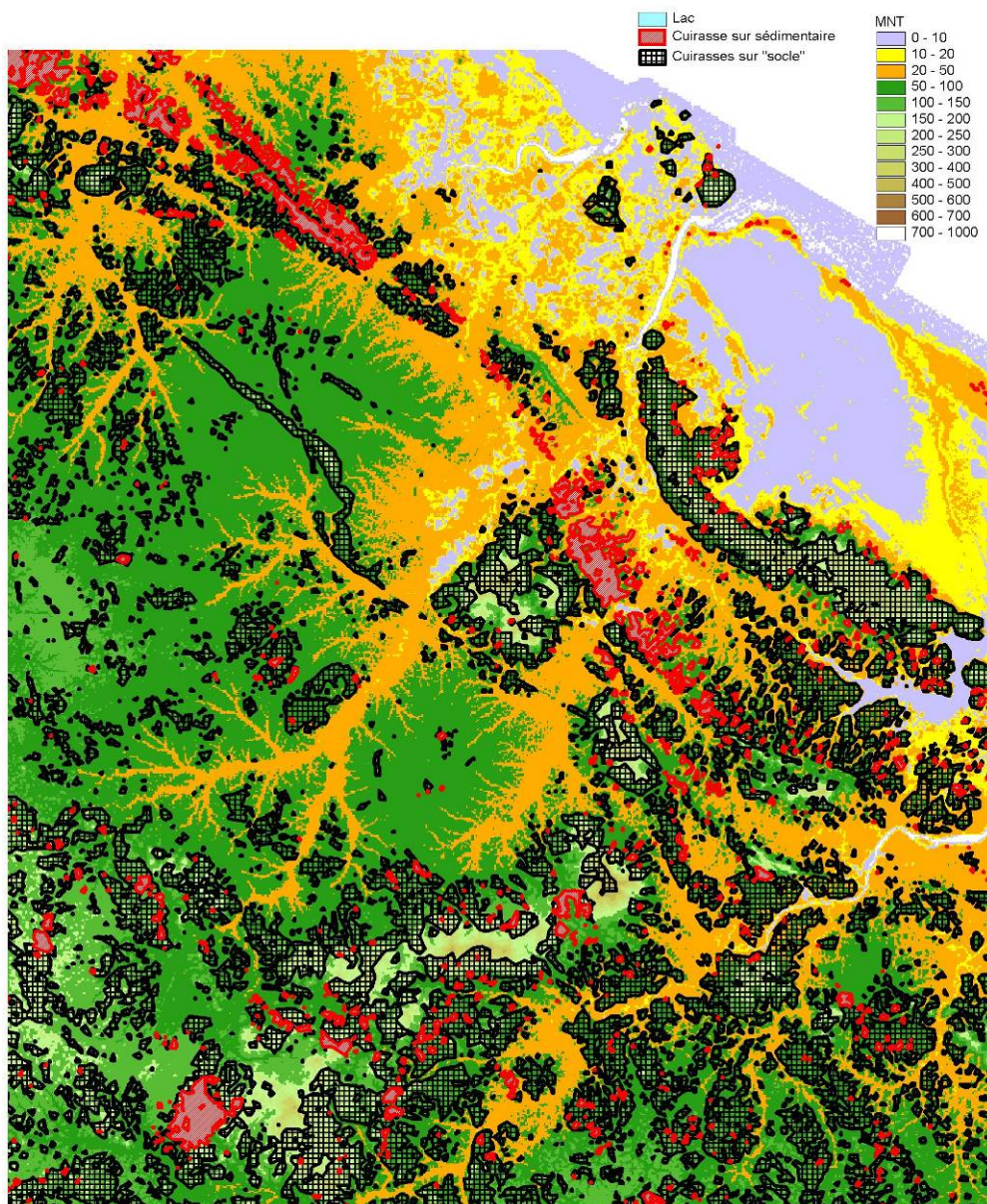
- > Comprendre la physique/chimie des roches et lors de l'altération
- > Les relier aux paramètres géophysiques aéroportés (U, K, Th, magnétisme)
  - ⇒ **mesures de terrain et analyses labo**
- > Traduire ces informations multi-éléments en procédures rapides, objectives, reproductibles

⇒ **analyse multivariée (CAH)**





## Carte prédictive des zones cuirassées (carte de Cayenne)



➤ Cartographie prédictive des ensembles lithologiques fiable

ENRICHIE PAR

➤ Cartographie prédictive de l'altération



# Le levé de géophysique aéroportée « GéoCentre »

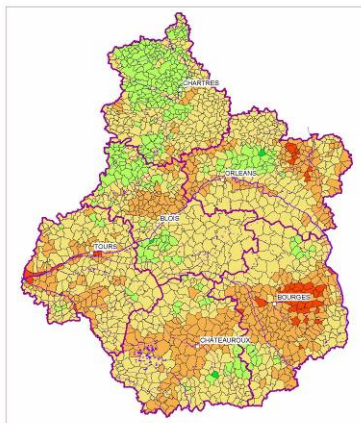
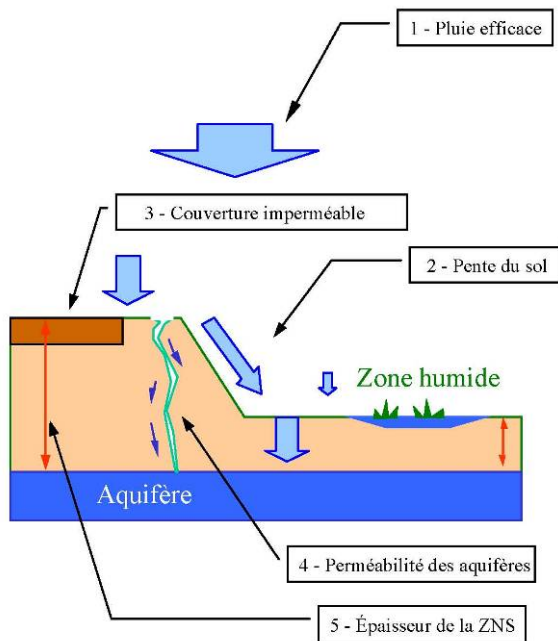


# Le projet

## Acquisition d'une infrastructure géophysique régionale moderne

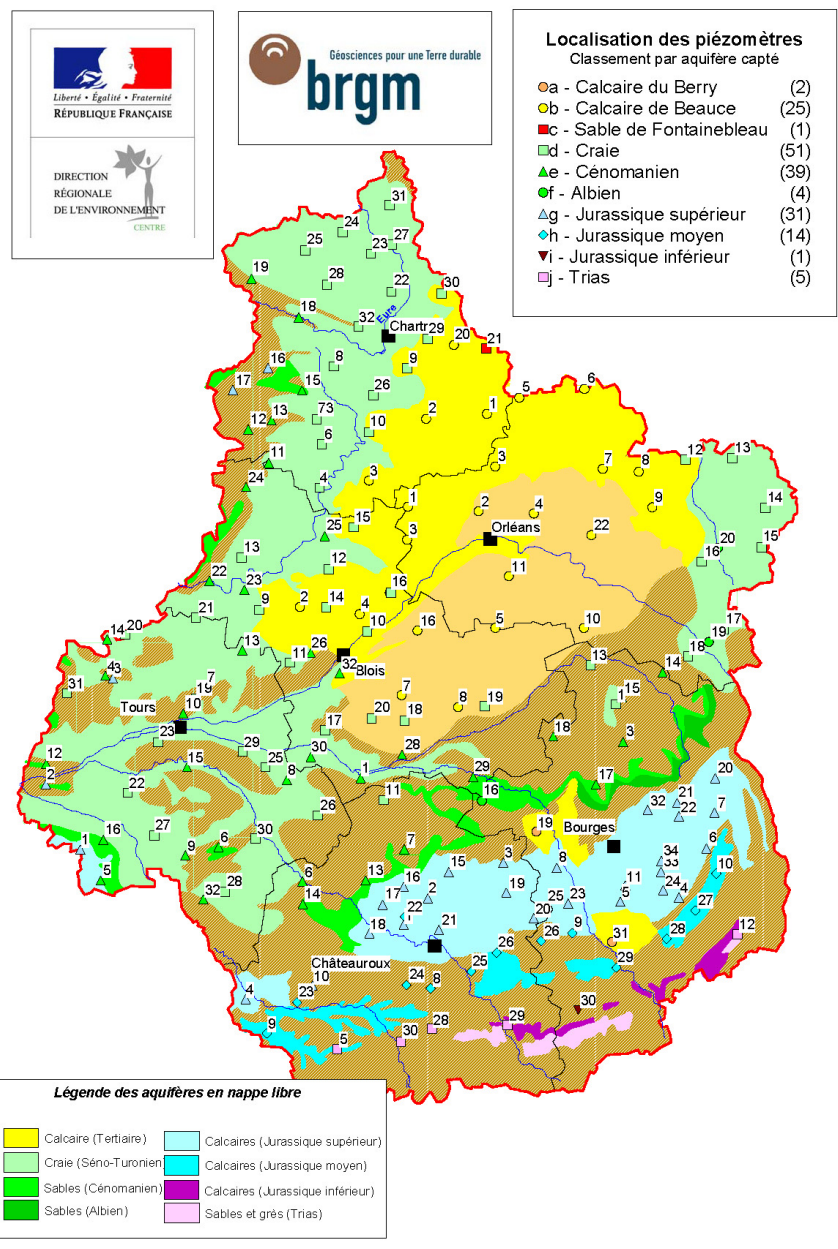
- > Durée : 2 ans (2008-2009)
- > Partenaires financiers : région Centre, Europe (FEDER), BRGM (Etat)
- > 2 phases :
  - 1- Sur l'ensemble de la Région Centre : **Magnétisme / Spectrométrie gamma**  
→ acquisition de 46 600 kml
  - 2- Sur des zones ciblées : **Electromagnétisme**  
→ acquisition de 3000 kml

# Eaux souterraines : caractérisation de la ressource et de sa vulnérabilité

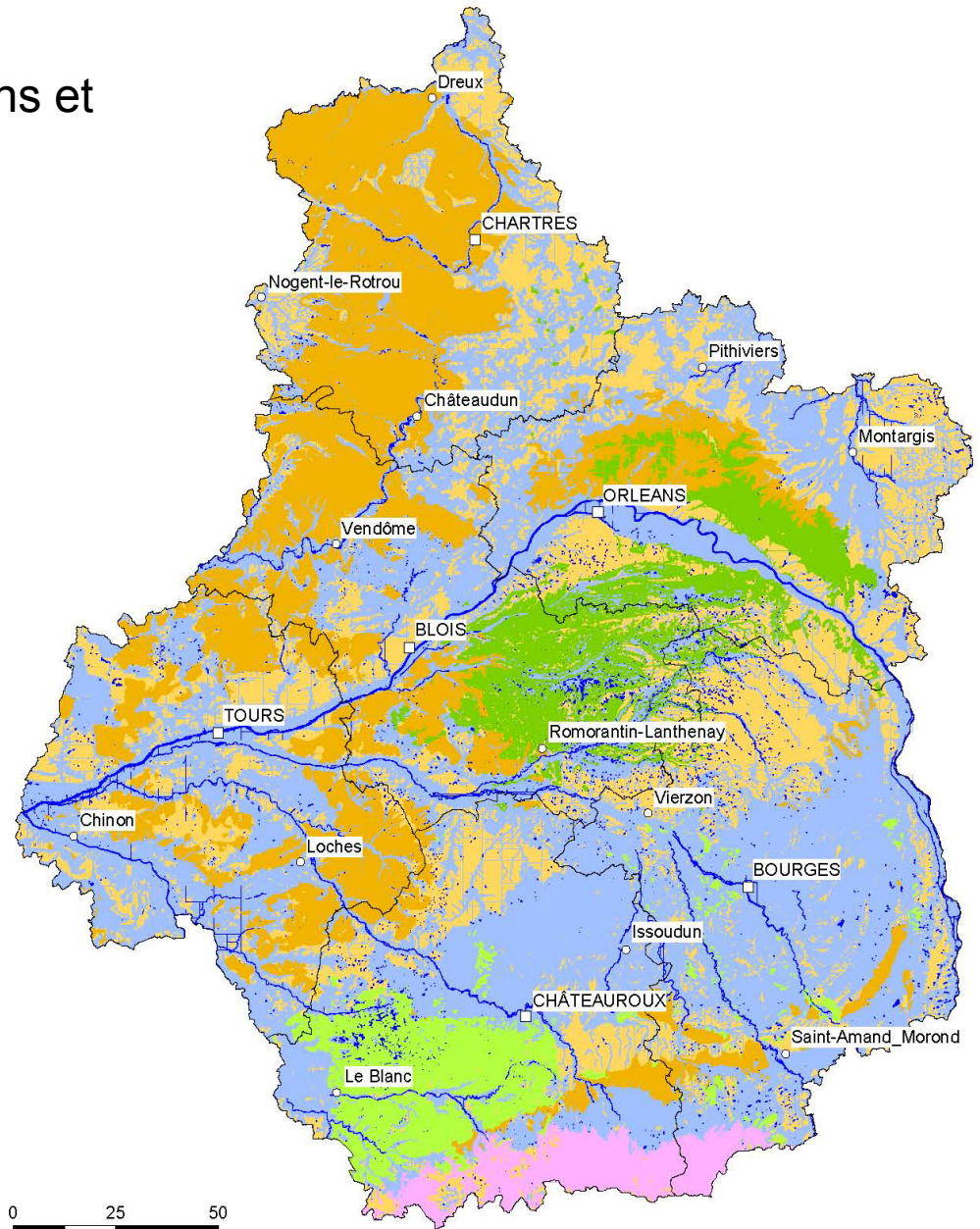


**ECHELLE DE VULNÉRABILITÉ**

20 - 25	: très fortement vulnérable
15 - 20	: fortement vulnérable
10 - 15	: moyennement vulnérable
5 - 10	: faiblement vulnérable
0 - 5	: non vulnérable



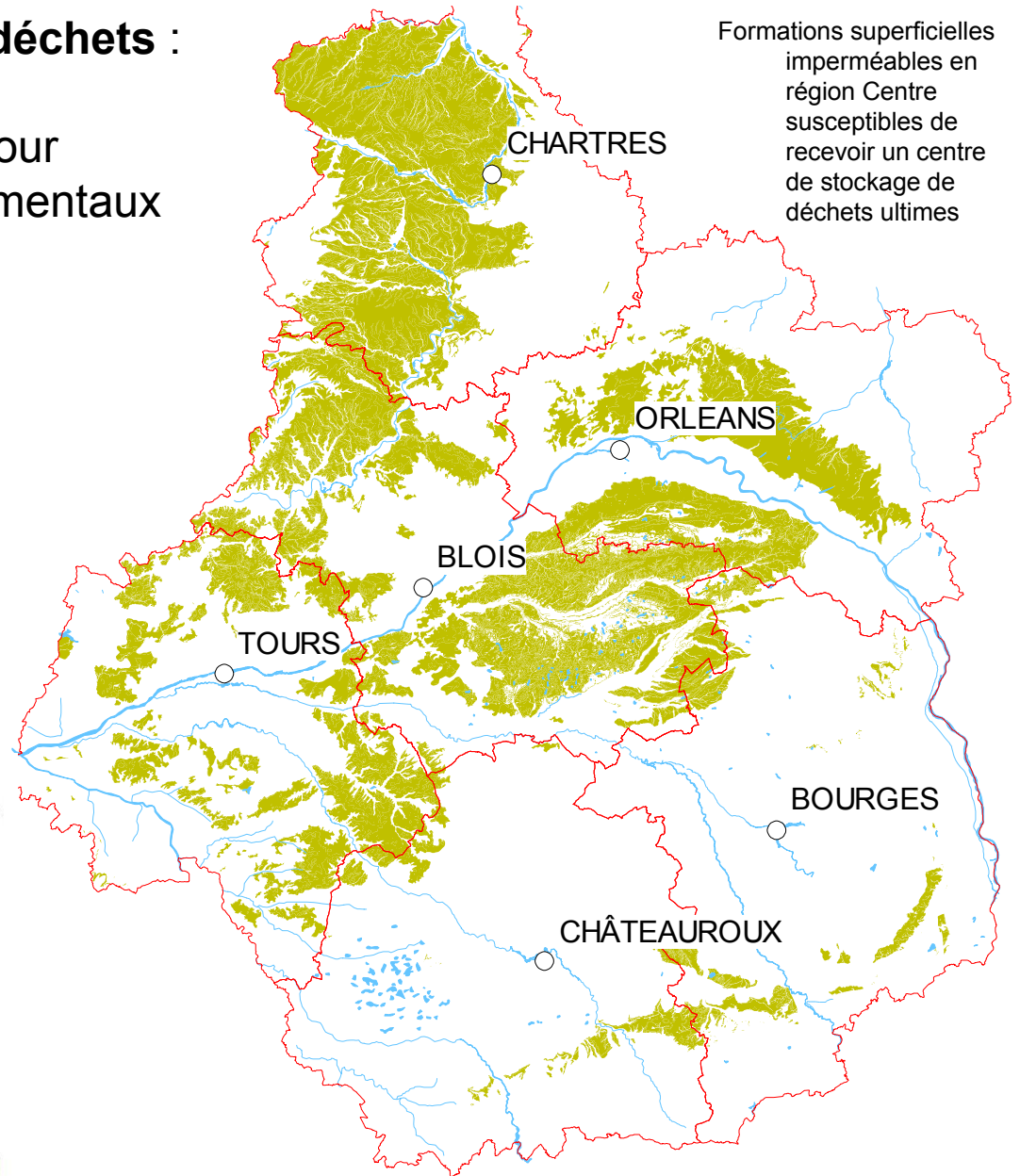
# Géothermie basse et moyenne enthalpie : favorabilité des terrains et des aquifères



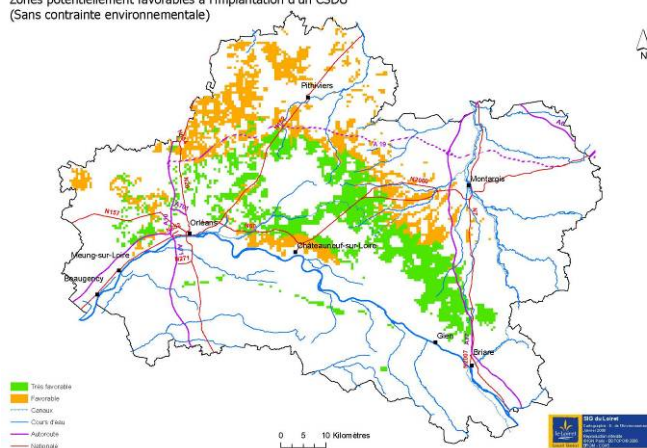
- Aquifères et couvertures imperméables de la région Centre
- Aquifères sans recouvrement imperméable
  - Couvertures imperméables (épaisseur inférieure à 5 m)
  - Couvertures imperméables (épaisseur supérieure à 5 m)
  - Formations des sables et argiles de Sologne (sans recouvrement)
  - Formations de Brenne (sans recouvrement)
  - Soche

**Sites et sols pollués, et les déchets :**  
 recherche de sites de centres  
 d'enfouissement technique, pour  
 orienter les schémas départementaux  
 de gestion des déchets, etc.

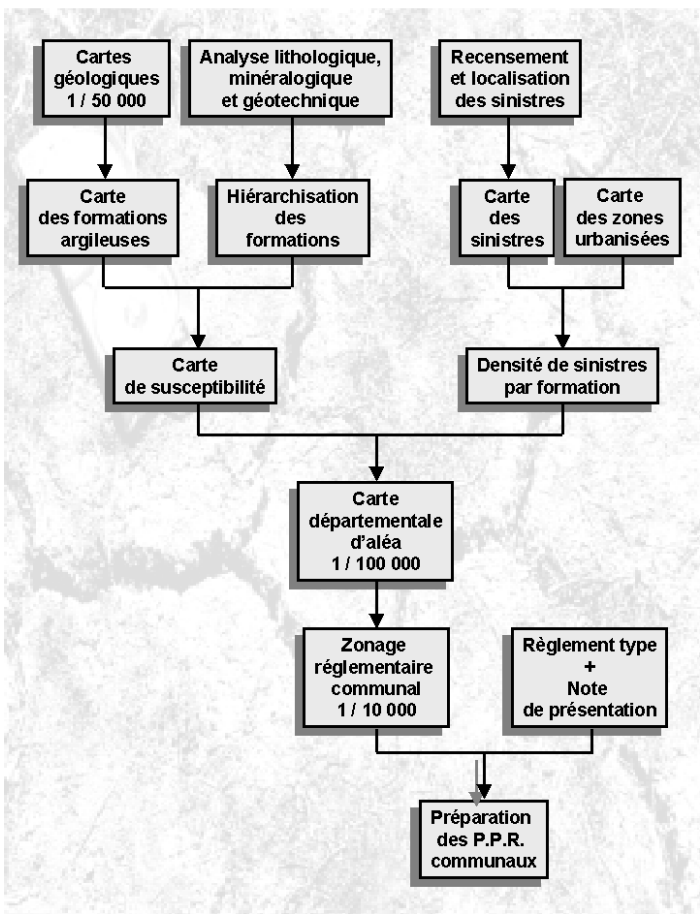
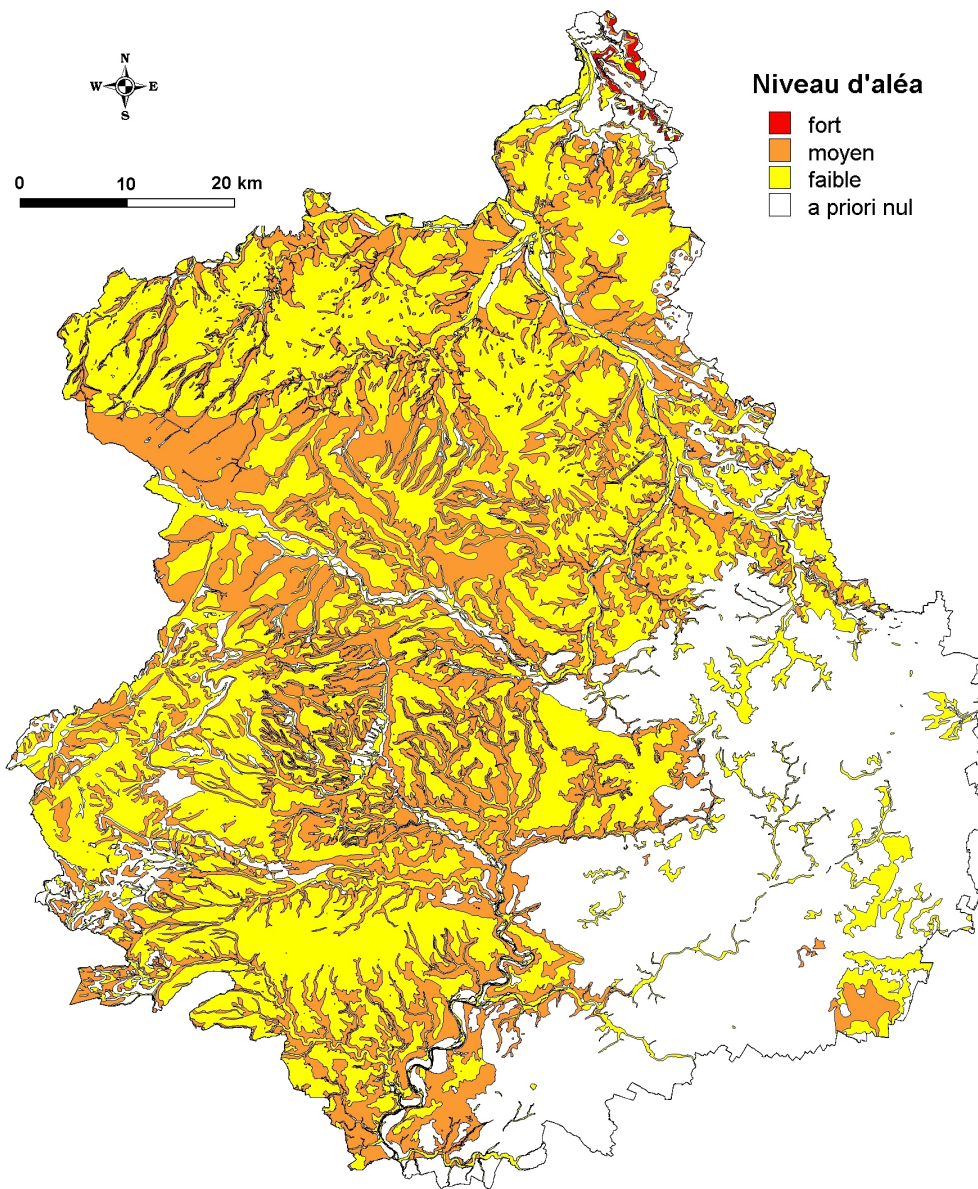
Formations superficielles  
 imperméables en  
 région Centre  
 susceptibles de  
 recevoir un centre  
 de stockage de  
 déchets ultimes

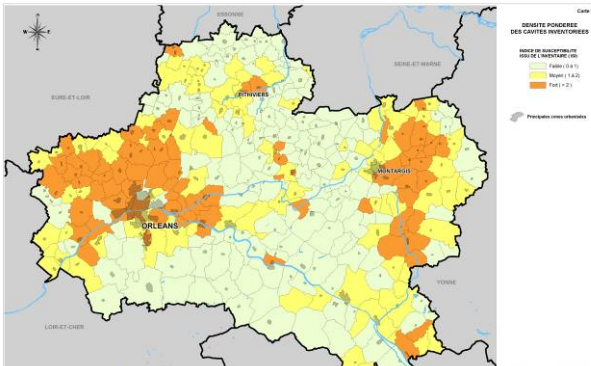


Zones potentiellement favorables à l'implantation d'un CSDU  
 (Sans contrainte environnementale)

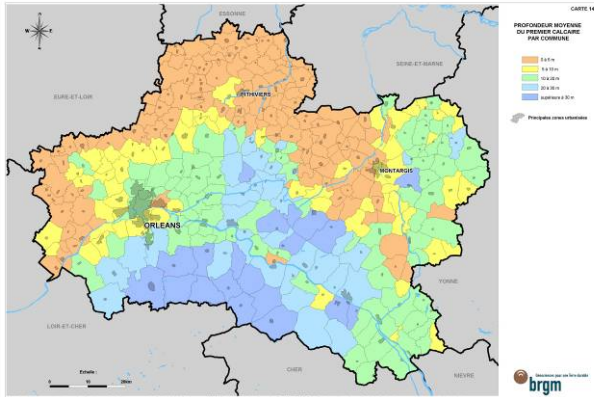


# Risques géologiques : cartographie à l'échelle nationale de l'aléa associé au retrait-gonflement des argiles, etc.

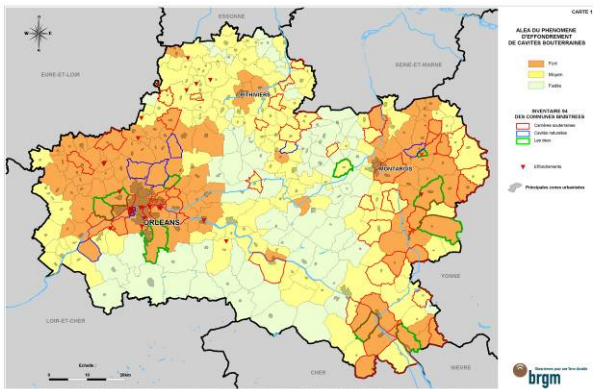




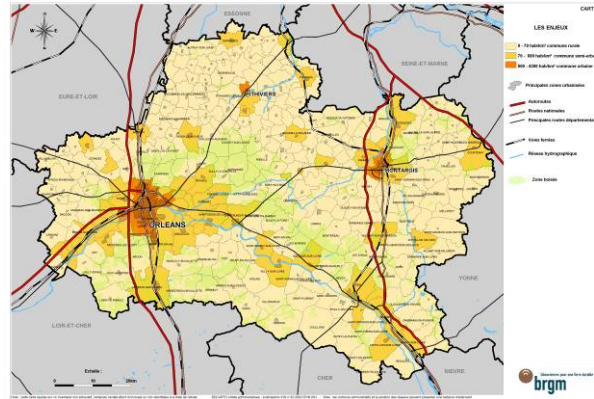
Recensement des cavités



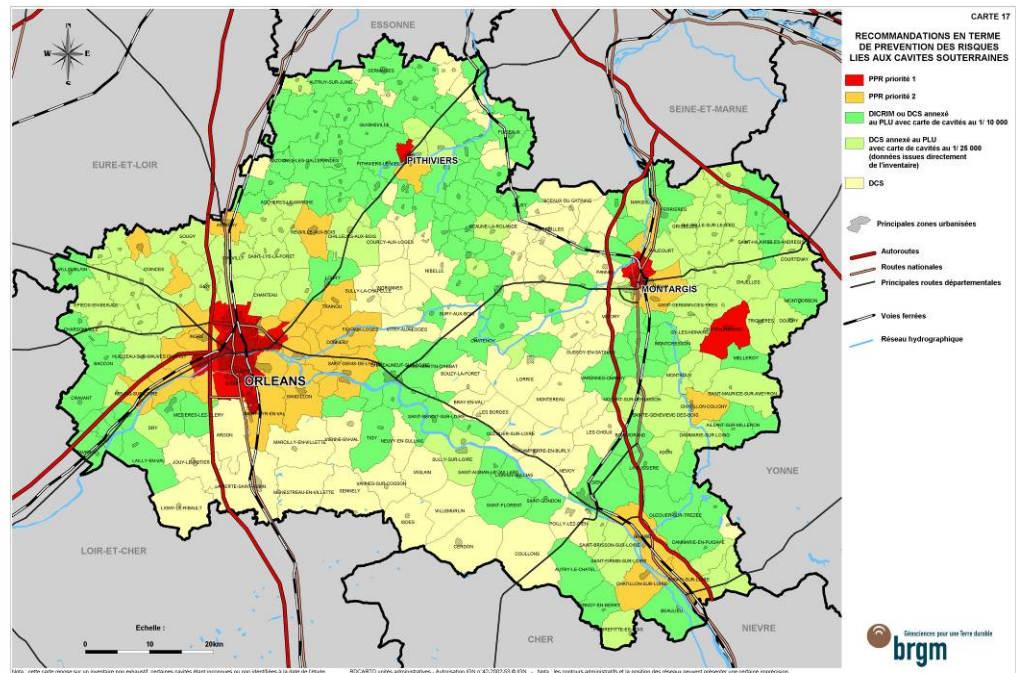
Caractéristiques du sous-sol



Aléa



Enjeux



Risques cavités souterraines

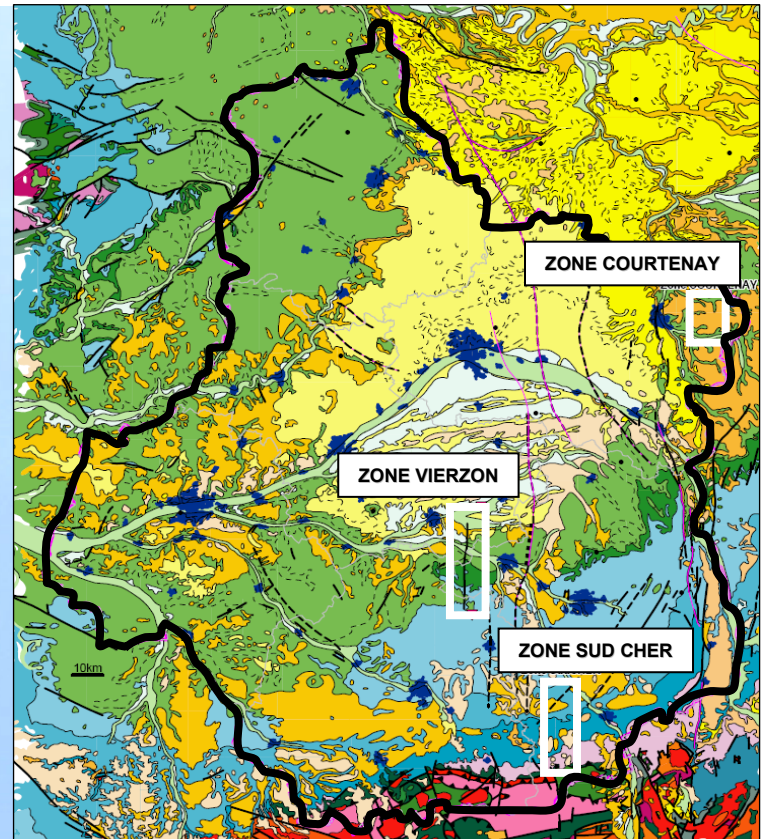
prise de décision en matière d'urbanisme et d'aménagement (exemple Cavités souterraines)



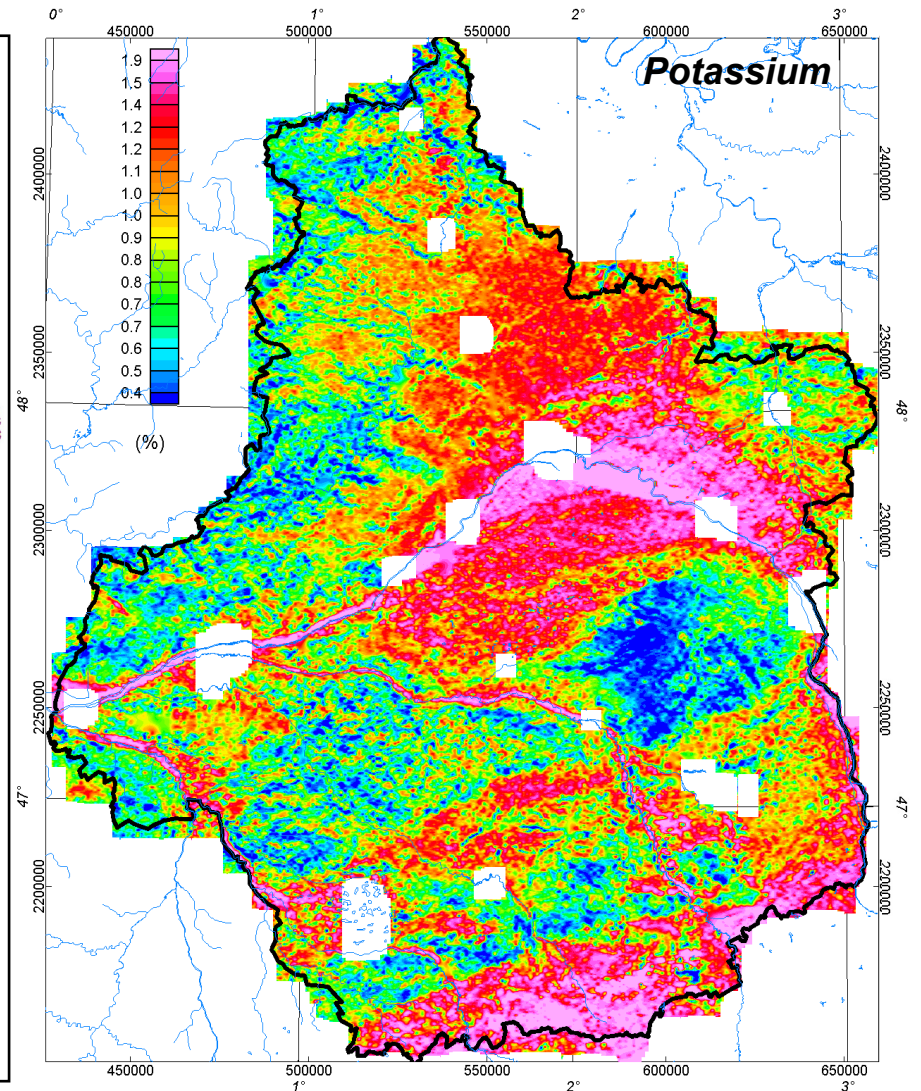


# Phase II (2009) : Electromagnétisme

- > Acquisition sur 3 zones ciblées (3000 km)  
→ Acquisition : *Fev. - Mars 2009*
- > Société SkyTEM (Danemark)
- > Acquisition héliportée d'EM temporel ; dispositif tracté à environ 40 m du sol
- > Lignes de vol espacées de 400 m



## > Connaissance du régolithe



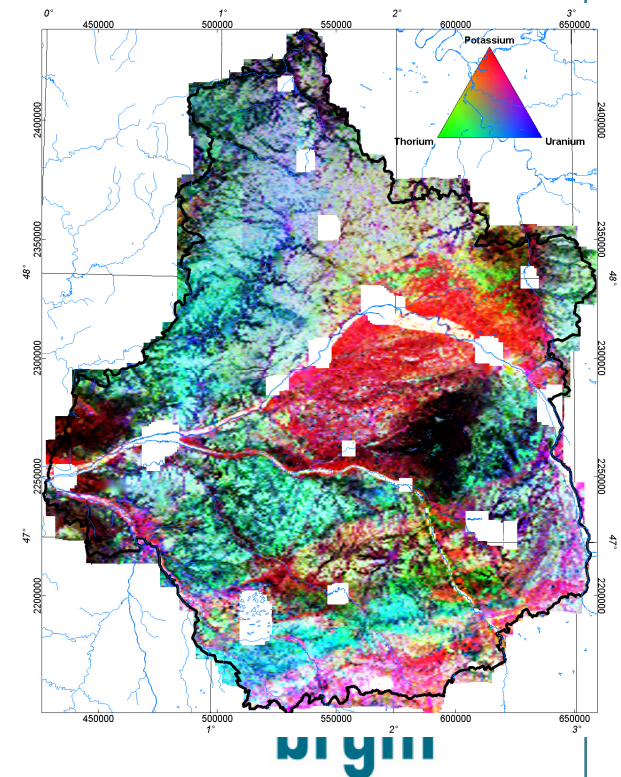
# Apports de la géophysique aéroportée

## > Scientifiques

- Relations érosions (Massif central) / dépôts (bassin de la Loire)
- Contributions tectoniques / eustatiques
- Dynamique lithosphérique, mouvements verticaux

## > Dans la connaissance du proche sous-sol pour les collectivités et les industriels :

- Cartographie des formations superficielles
- Ressources en matériaux
- Cartographie du potentiel radon
- Cartographie des pédopaysages



# Conclusion 1 - Cartographie des formations superficielles



*Rocher granitique*



*Granite altéré*



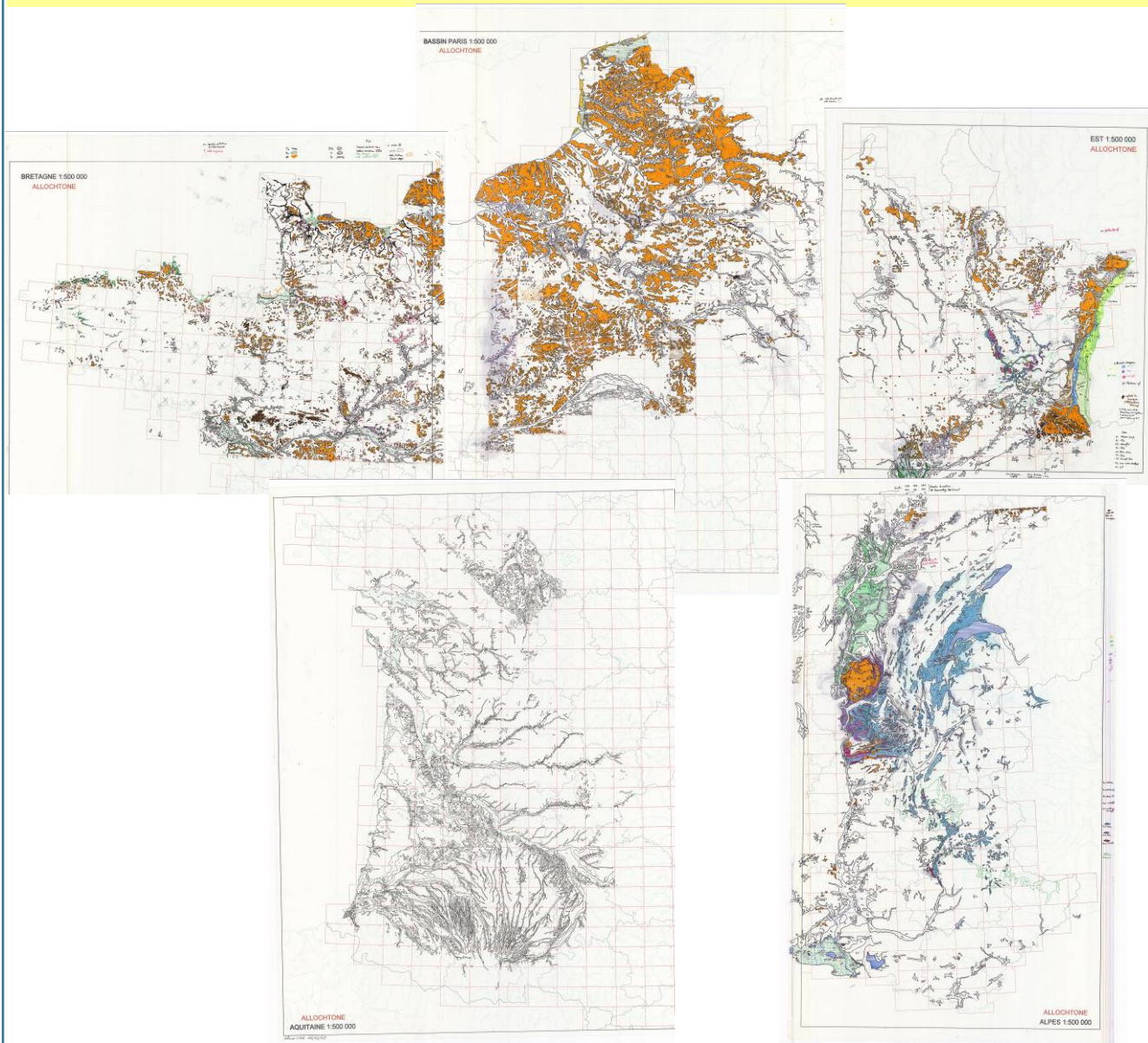
*Argile d'altération d'un granite*

*Variation des propriétés physiques et chimiques*



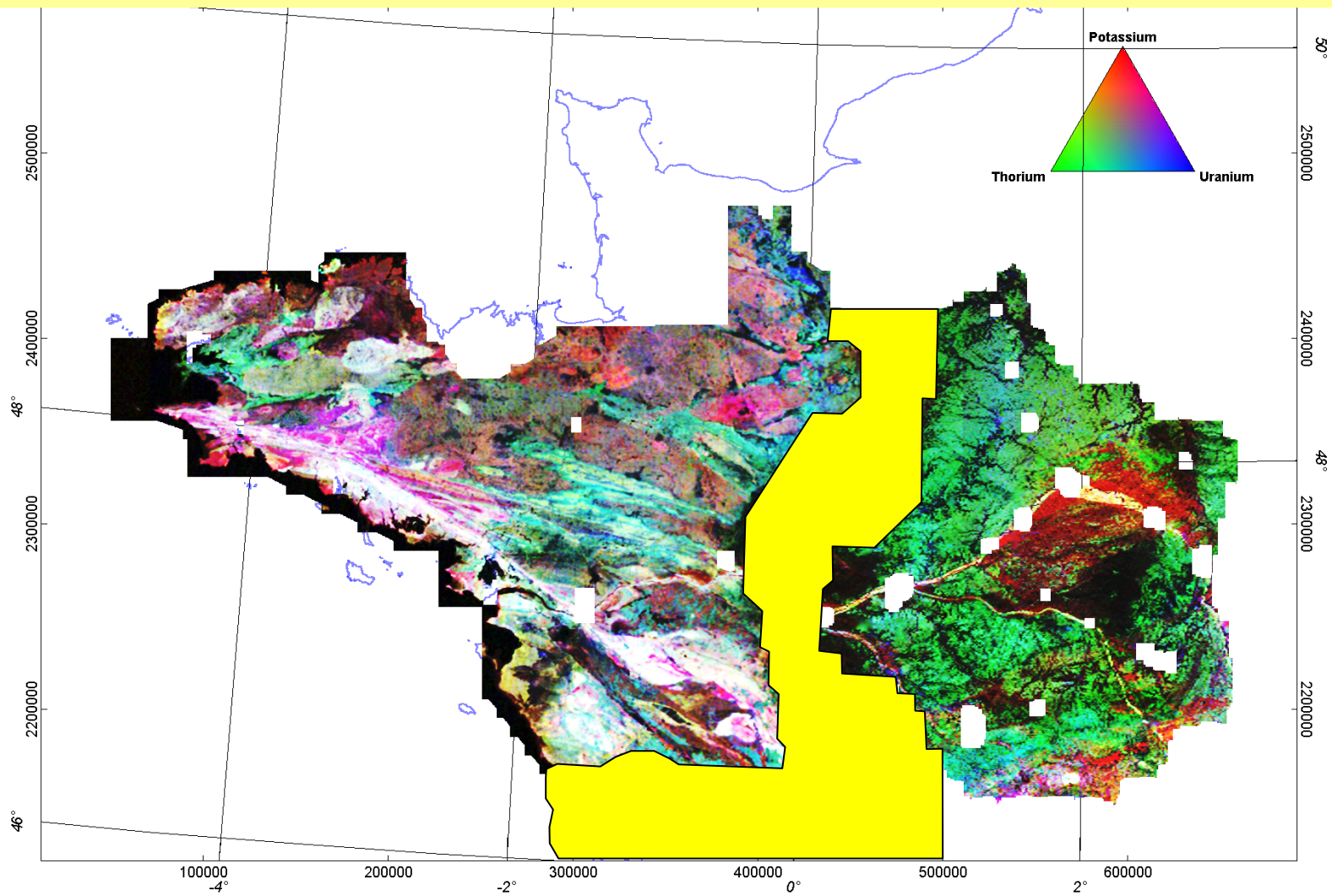
Géosciences pour une Terre durable  
**brgm**

# Conclusion 2 - Cartographie à 1/1000000

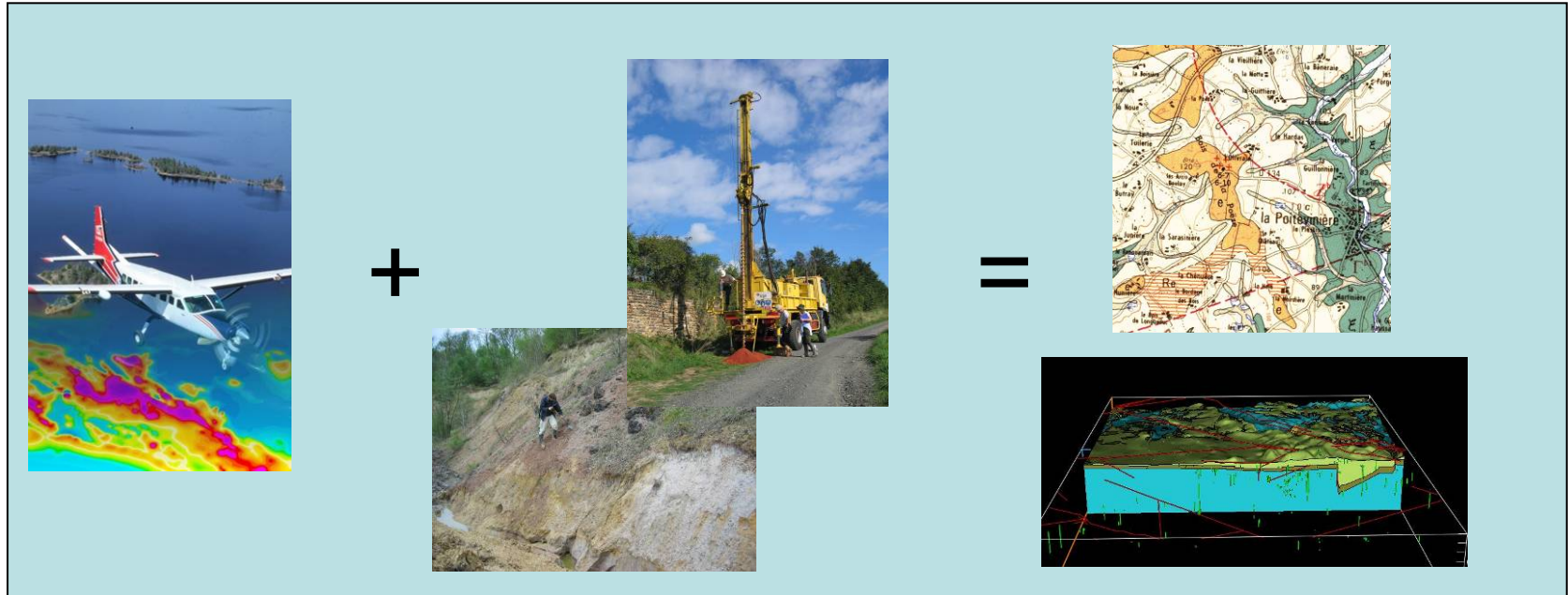


**Deux cartes:**  
- allochtones  
- autochtones  
-  
état des lieux

# Conclusion 3 - Cartographie des formations superficielles



# Conclusion 4 - Cartographie des formations superficielles





# Conclusion 5 – Mise à disposition des données

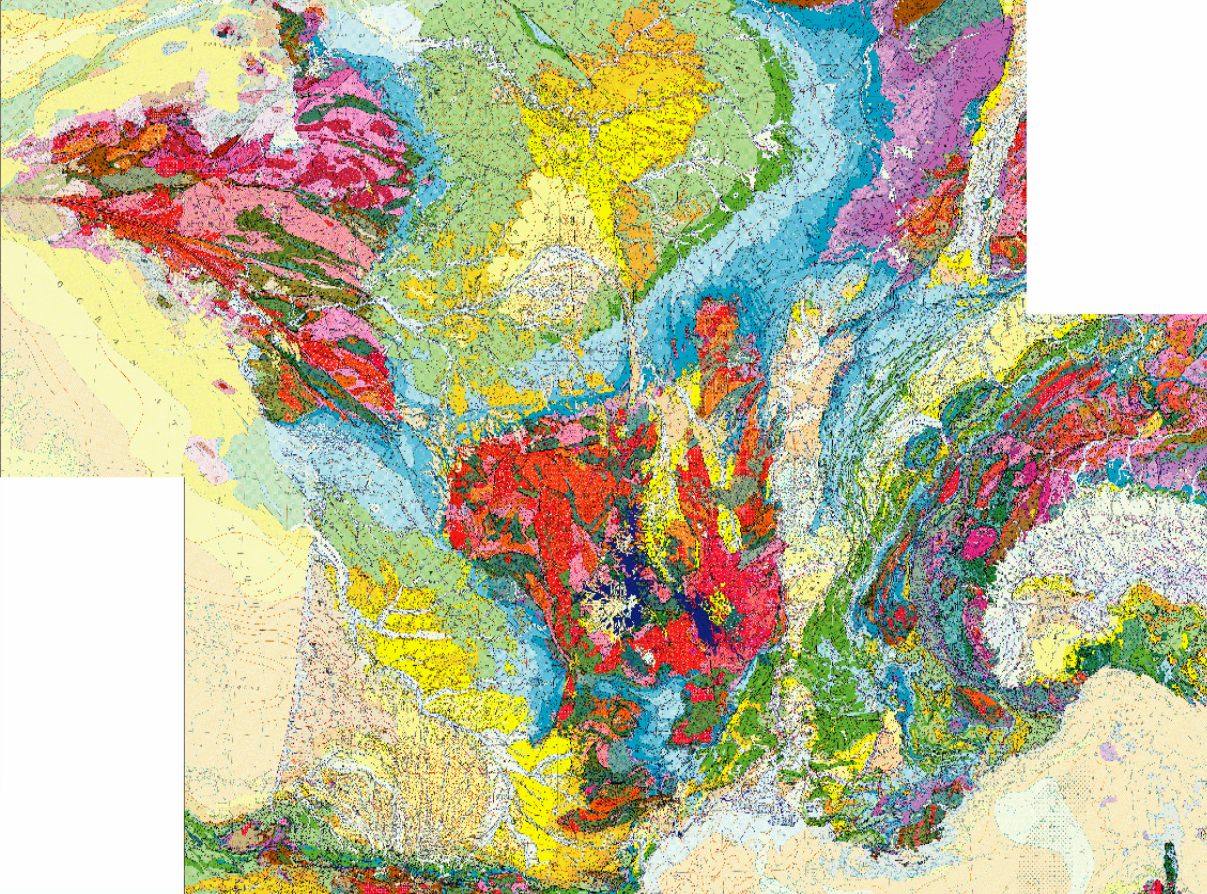
brgm Sciences pour une terre durable

InfoTerre

Accueil Compte Espace de travail Outils Aide

Sélectionner une zone

Sauvegarder la carte Charger une carte Imprimer



160 km

Echelle  $\approx 1 / 4\,000\,000$

x y

SRS : Lambert 2 étendu

Couches affichées

Couches affichées Légendes

- Carte géologique imprimée 1/1 000 000 (BRGM)  
Accéder à la légende
- Topographie France Métropolitaine, Corse et DOM-COM (GEOSIGNAL)  
Aucune légende
- Fond de carte mondial  
Aucune légende

Localisation

Aller à... Navigateur

Aller à...

Sélectionner une zone

Sélectionner une région

Sélectionner un département

Choix des couches

Catalogue InfoTerre Géocatalogue Serveur OGC

Tri selon la nomenclature : InfoTerre

- Cartes géologiques
  - Carte géologique 1/50 000 vecteur harmonisée
  - Carte géologique 1/50 000 vecteur harmonisée avec MN
  - Carte géologique Guadeloupe (Marigot) imprimée 1/50 000
  - Carte géologique Guadeloupe Sainte Anne imprimée 1/50 000
  - Carte géologique Guyane imprimée 1/500 000 (BRGM)
  - Carte géologique imprimée 1/1 000 000 (BRGM)
  - Carte géologique imprimée 1/250 000 (BRGM)
  - Carte géologique imprimée 1/50 000 (BRGM)
  - Carte géologique Martinique imprimée 1/50 000 (BRGM)
  - Carte géologique Réunion imprimée 1/50 000 (BRGM)
  - Carte lithologique simplifiée 1/1 000 000 (BRGM)
  - Tableau d'assemblage des cartes 1/250 000 (BRGM)
  - Tableau d'assemblage des cartes 1/50 000 (BRGM)
- Cartes topographiques

# Deciphering plume–lithosphere interactions beneath Europe from topographic signatures

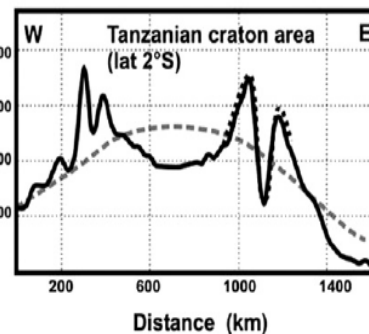
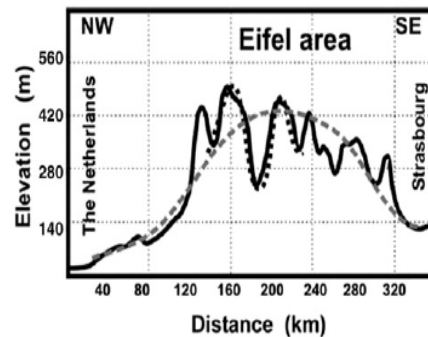
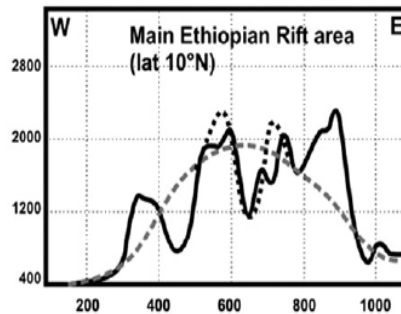
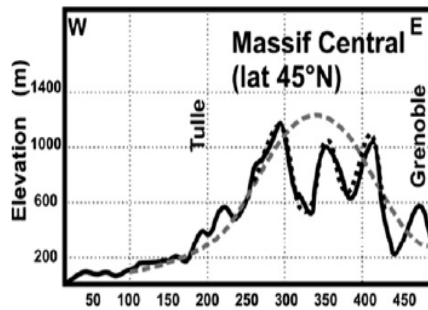
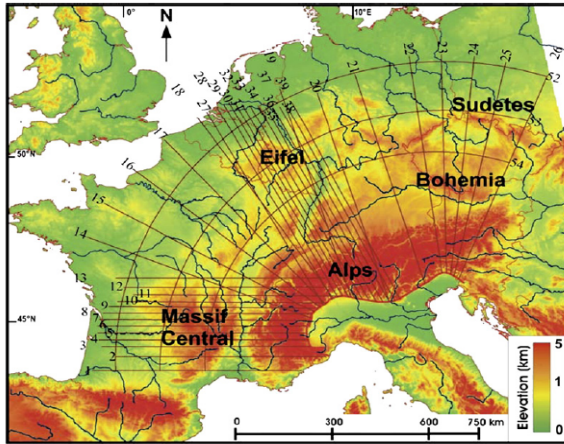
Laurent Guillou-Frottier<sup>a,\*</sup>, Evgenii Burov<sup>b</sup>, Pierre Nehlig<sup>a</sup>, Robert Wynn<sup>a</sup>

<sup>a</sup> BRGM, 3 av. C. Guillemin, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 2, France

<sup>b</sup> Laboratoire de Tectonique, Université P. et M. Curie, 4 Place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France

Received 25 November 2005; accepted 20 October 2006

Available online 6 April 2007



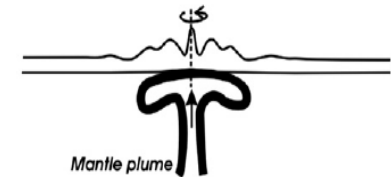
## a) Horizontal source



2D effect on topography

## b) Vertical source

3D-effect on topography



## c) Surface signatures

