



Risques naturels liés à la dissolution du gypse

Évaluation de l'aléa « mouvements de terrain » du Bois de la Tussion à Villepinte

X.Daupley, A.Charmoille, A.Lecomte,

Comité Français de Mécanique des Roches,
Maîtrise de risques liés aux cavités souterraines,
Séance du 8 décembre 2011

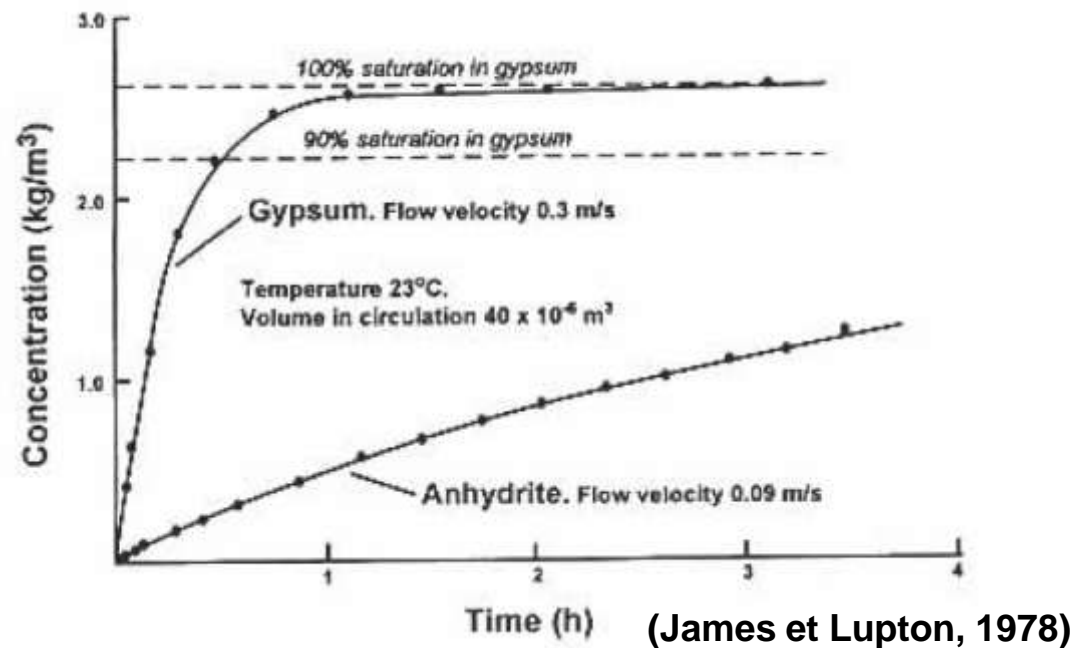
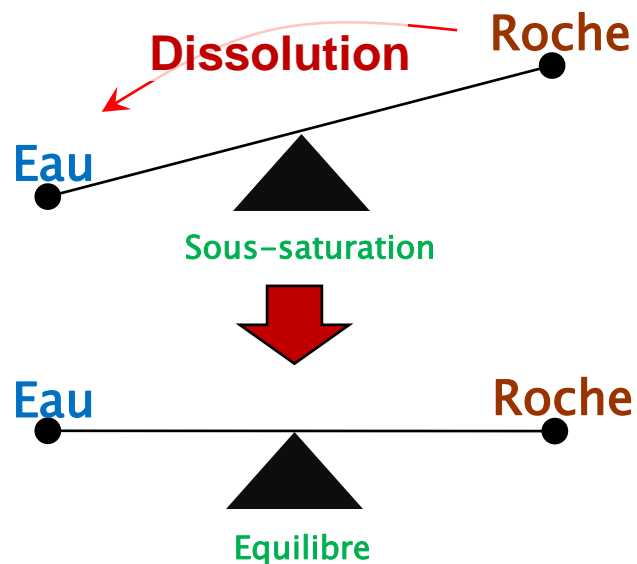


Plan de l'exposé

- ✓ Dissolution du gypse et typologies de mouvements de terrains associés
- ✓ Problématique dans le contexte de l'Ile de France
- ✓ Cas du Bois de la Tussion
 - ✓ Suivi environnemental du site et compréhension des mécanismes
 - ✓ Evaluation et cartographie de l'aléa : méthodologie spécifique

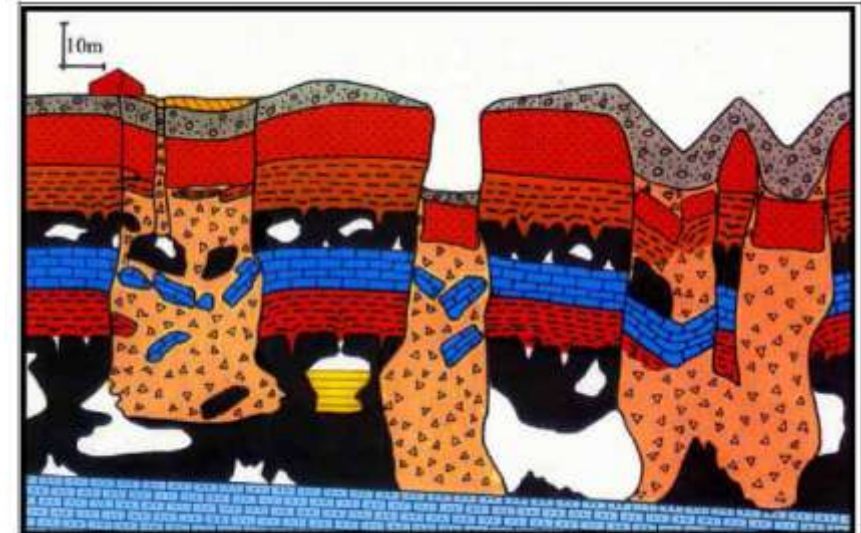
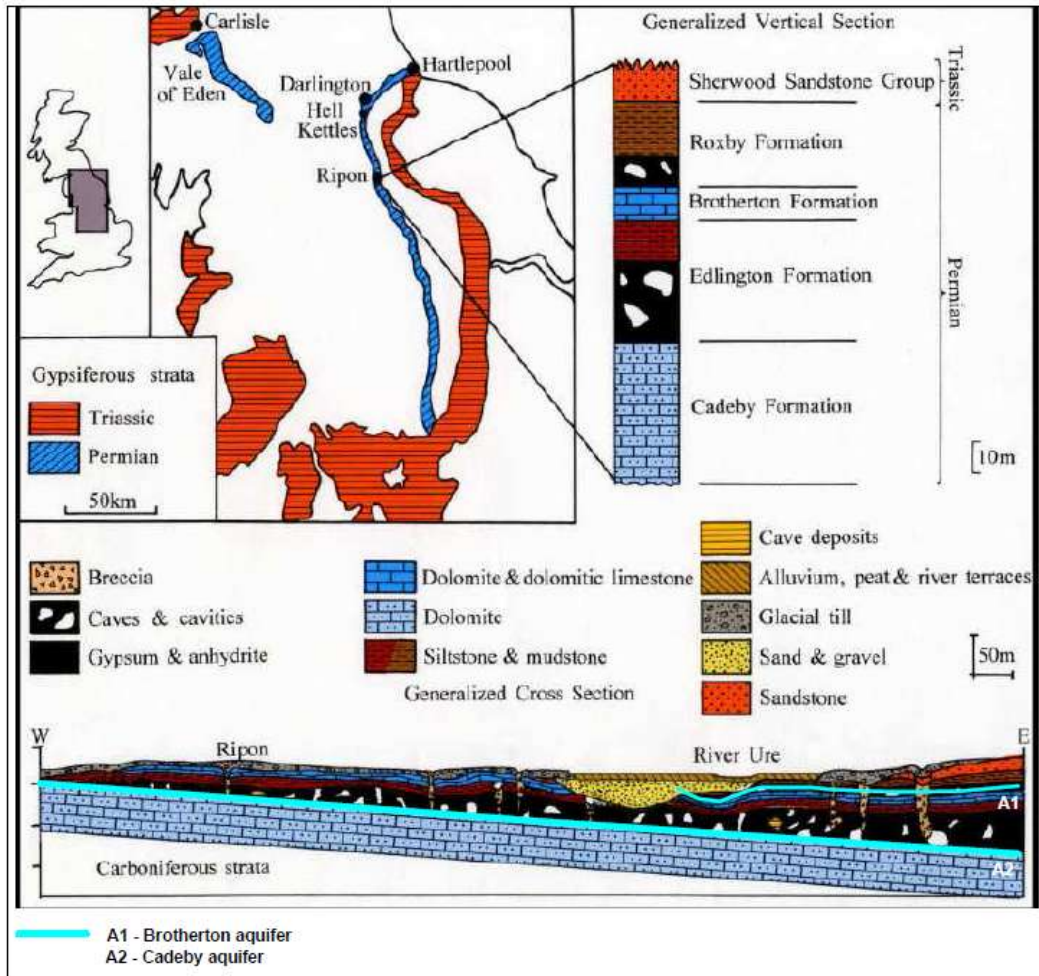
Dissolution du gypse

- ✓ Gypse, $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ (anhydrite, CaSO_4)
- ✓ Faciès : albâtre, fibreux, saccharoïde
- ✓ Propriétés mécaniques : $R_c = 10$ à 40 MPa, $R_t = 1$ à 5 MPa
- ✓ Solubilité : $2,55$ g/l à 20°C , pH 7 (360 g/l NaCl)
- ✓ Cinétique de dissolution : f(paramètres physico-chimiques et hydrodynamiques propres au milieu)



- ✓ Taux d'ablation (< ou \cong mm/an -> 10 mm/an)

Dissolution du gypse permien (Ripon, UK, Cooper 2006)



Dissolution du gypse du Trias alpin

Col du Joly, Haute-Savoie



Effondrement de Prunières (Isère)



Dissolution du gypse en Ile-de-France



Phénomène de dissolution du gypse suite à une rupture de canalisation. Source : LREP

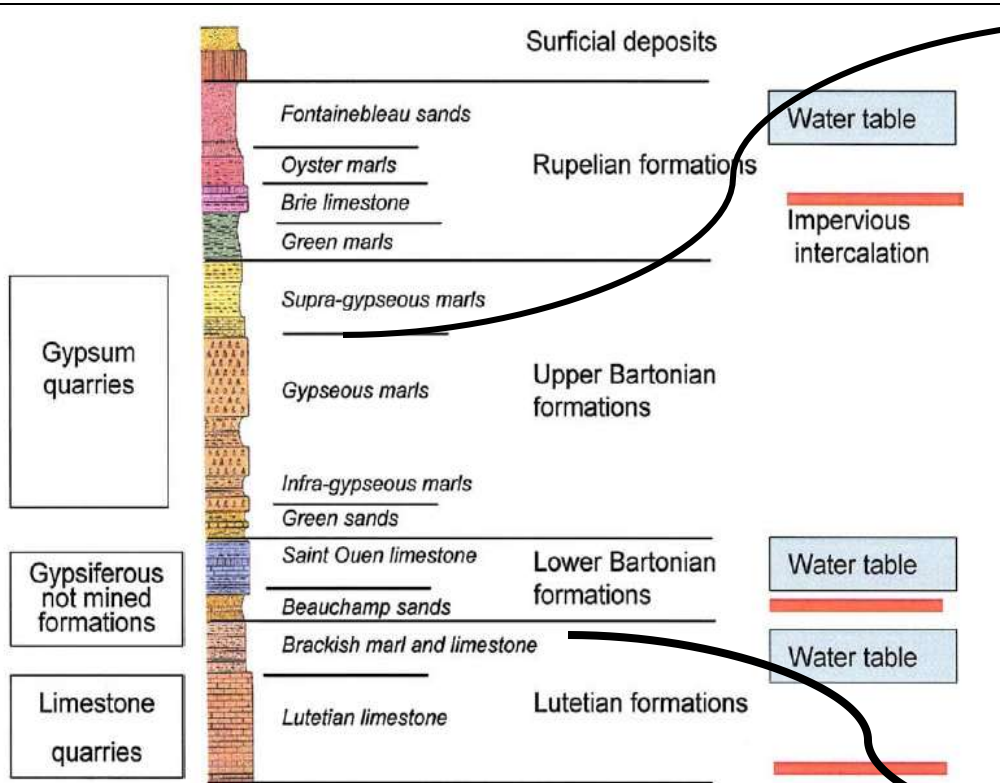
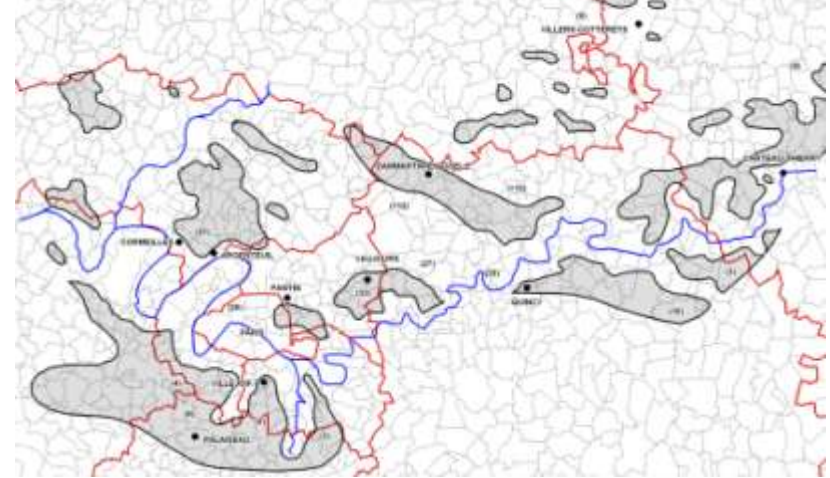
Comité

Bois de la Tussion

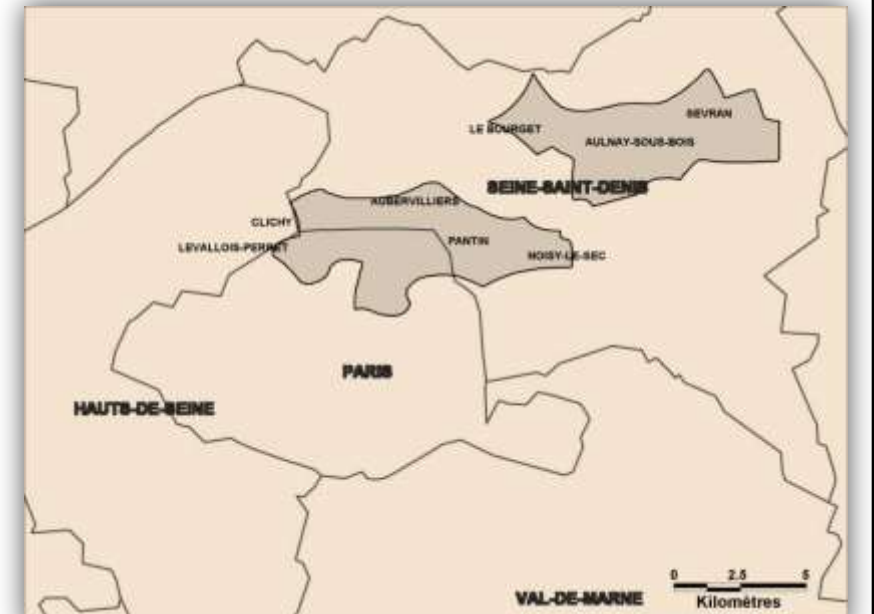


Dissolution du gypse en Ile-de-France

Extension du gisement gypseux ludien, Toulemont et al 1988



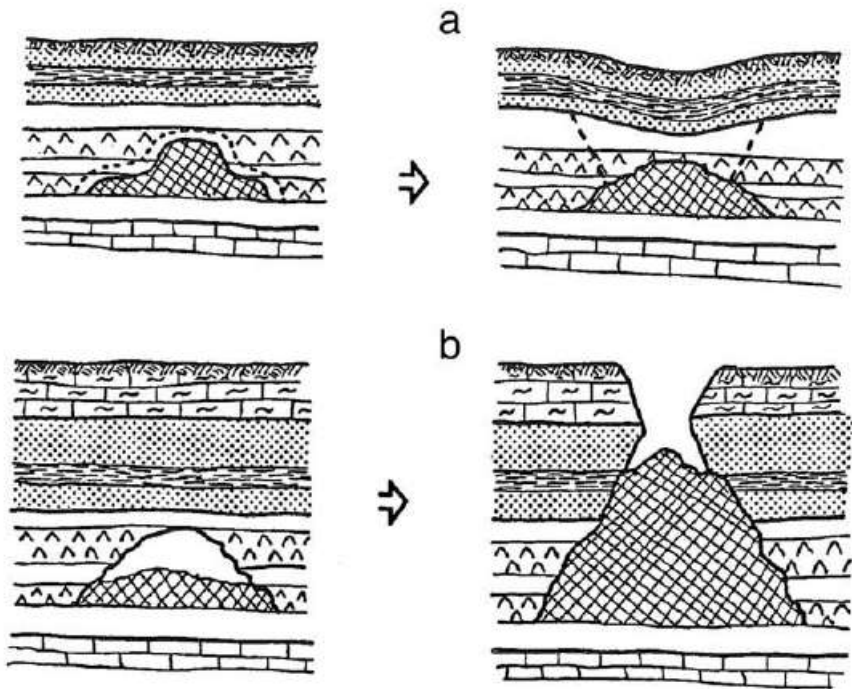
(Thierry et al, 2009, BRGM, IGC)



Périmètre exposé au risque de dissolution des gypses antéludiens (D'après Jourdan, 1976, in Toulemont 1987)

Dissolution du gypse en Ile-de-France

Typologie Mouvements de terrain



(Toulemont, 1986)

- ✓ Souples et progressifs de type affaissement
- ✓ Effondrements localisés de type fontis
 - ✓ Dissolution dans la masse ou en surface du gisement
 - ✓ Présence ou absence de bancs mécaniquement résistants (gypse y compris)
 - ✓ Dimensions du vide / profondeur et foisonnement des terrains

Annexes

mise à jour du 10 décembre 06

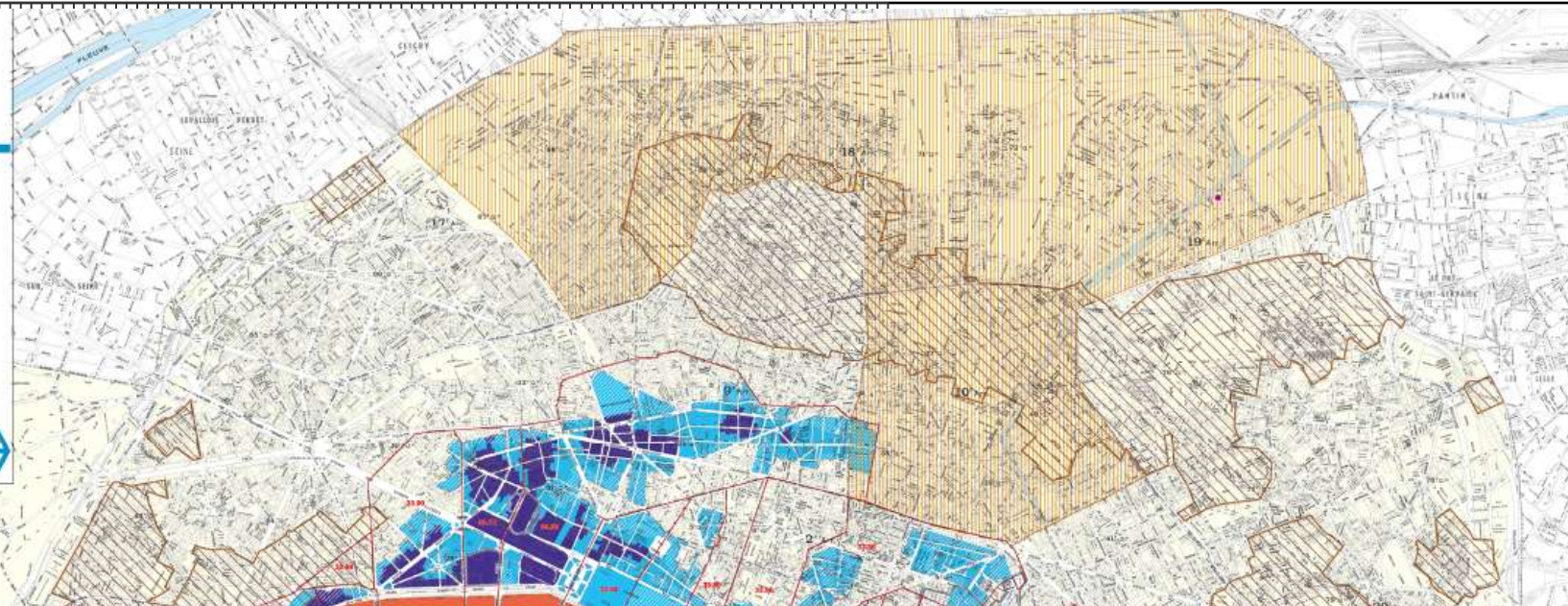
Servitudes d'utilité publique

IV. Servitudes relatives à la salubrité et à la sécurité publiques

Plans de prévention des risques naturels et installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) générant des contraintes fortes d'urbanisme



Mairie de Paris - Urbanisme



Installations classées pour la protection de l'environnement

- ◻ Dépôt de fioul enterré générant des servitudes d'implantation
- Dépôt de fioul aérien générant des servitudes d'implantation

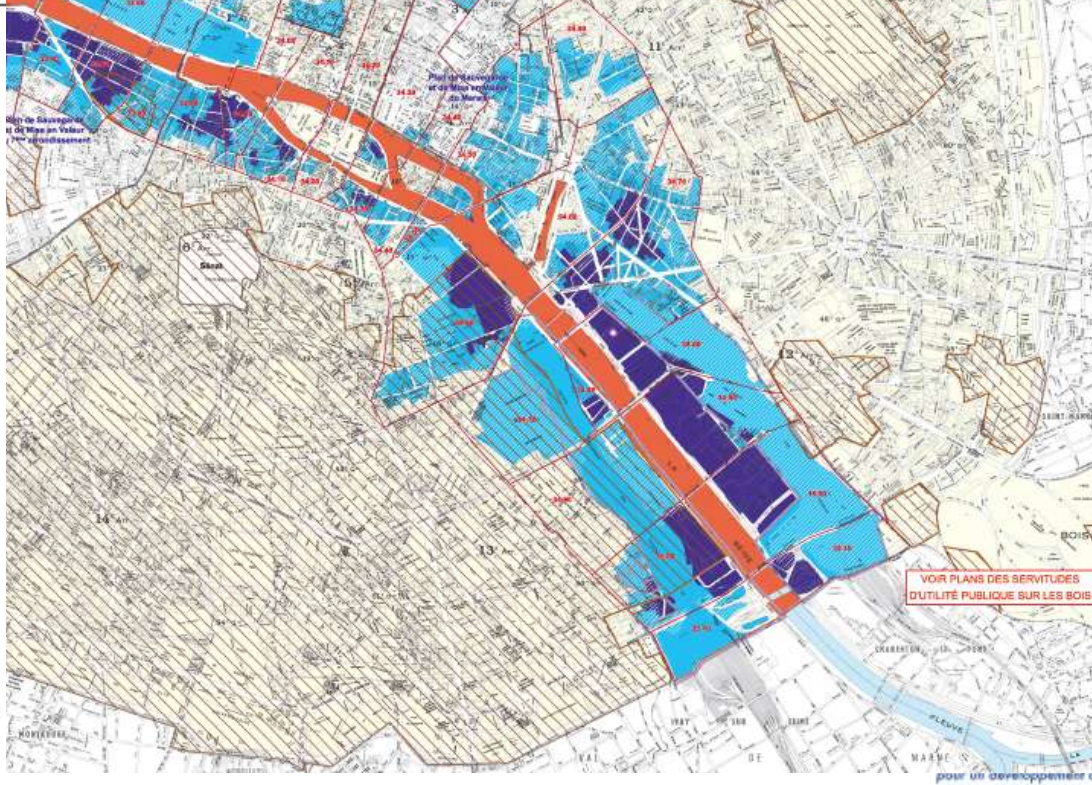
Servitudes de carrières

- Zones d'anciennes carrières
- Zone comportant des poches de gypse antéludien

Plan de Prévention des Risques d'Inondation

- Zone bleu sombre (incluse dans l'aléa) *zone urbanisée potentiellement submersible par plus d'un mètre d'eau*
- Zone bleu sombre hachurée (hors aléa)
- Zone bleu clair (incluse dans l'aléa) *zone urbanisée potentiellement submersible par au plus un mètre d'eau*
- Zone bleu clair hachurée (hors aléa)
- Zone rouge : zone d'écoulement principal du fleuve en période de crues
- Zone verte : zone d'expansion des crues
- Secteurs stratégiques pour le développement économique et social de Paris ou d'intérêt national

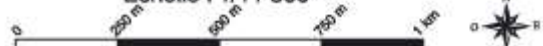
34.50 PHEC en mètres suivant le nivellement général de la France (dit IGN 69) et limites des casiers qui leur sont associés.
 Pour avoir le PHEC suivant le nivellement orthométrique "Ville de Paris", retirer 0,33 m

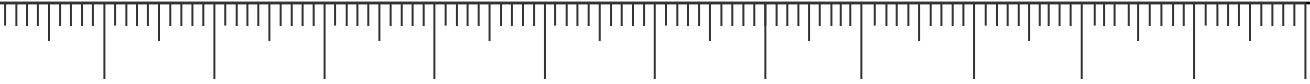


VOIR PLANS DES SERVITUDES D'UTILITÉ PUBLIQUE SUR LES BOIS

Le plan ne peut servir de base pour la mise en place de l'information aux acquéreurs et locataires. Seul l'arrêté préfectoral n°2006-45-1 du 14 février 2006, publié sur le site de paris.pref.gouv.fr offre le caractère d'exhaustivité nécessaire.

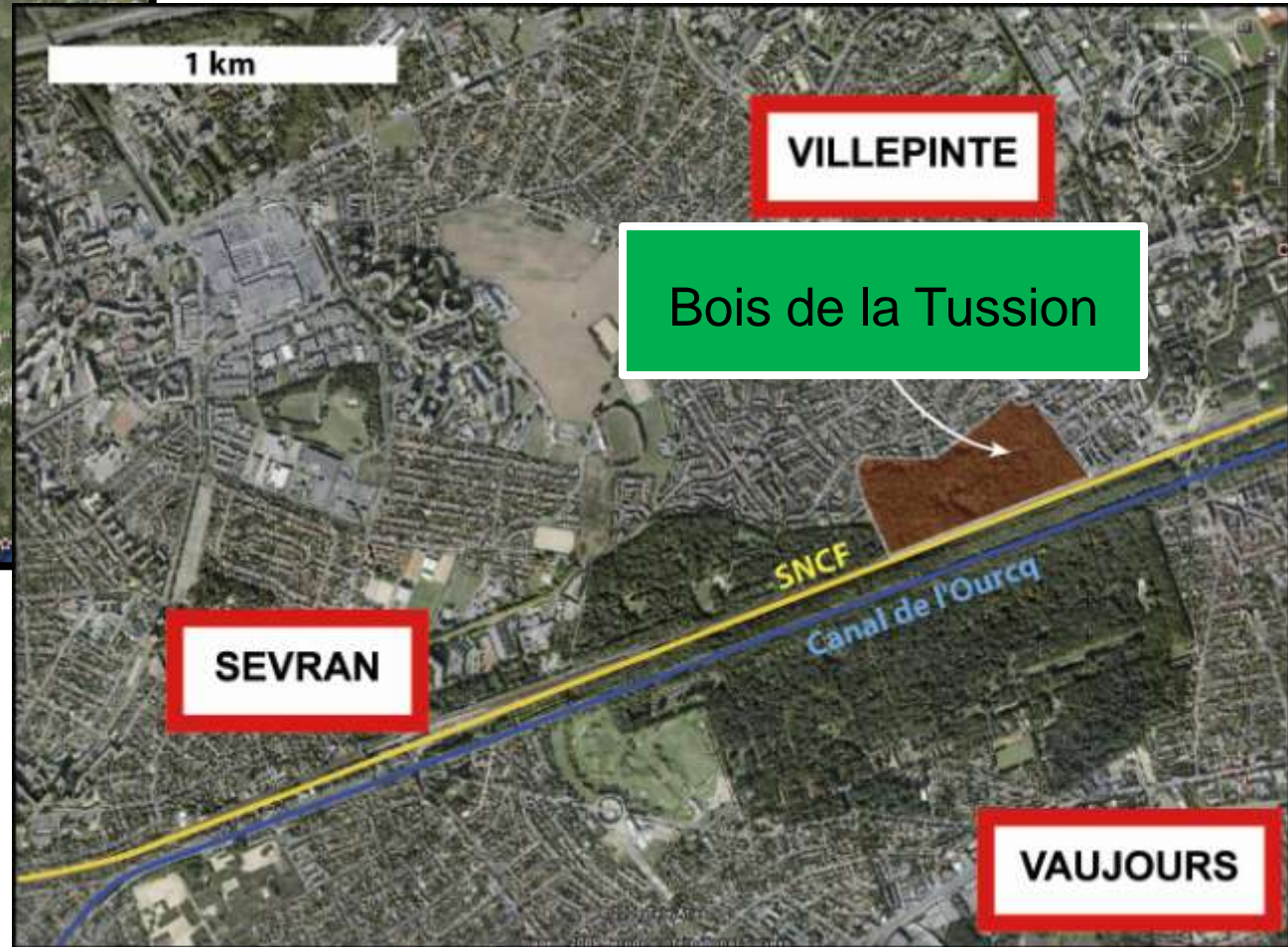
Echelle : 1/11 500^{ème}





Cas du bois de la Tussion

Contexte géographique



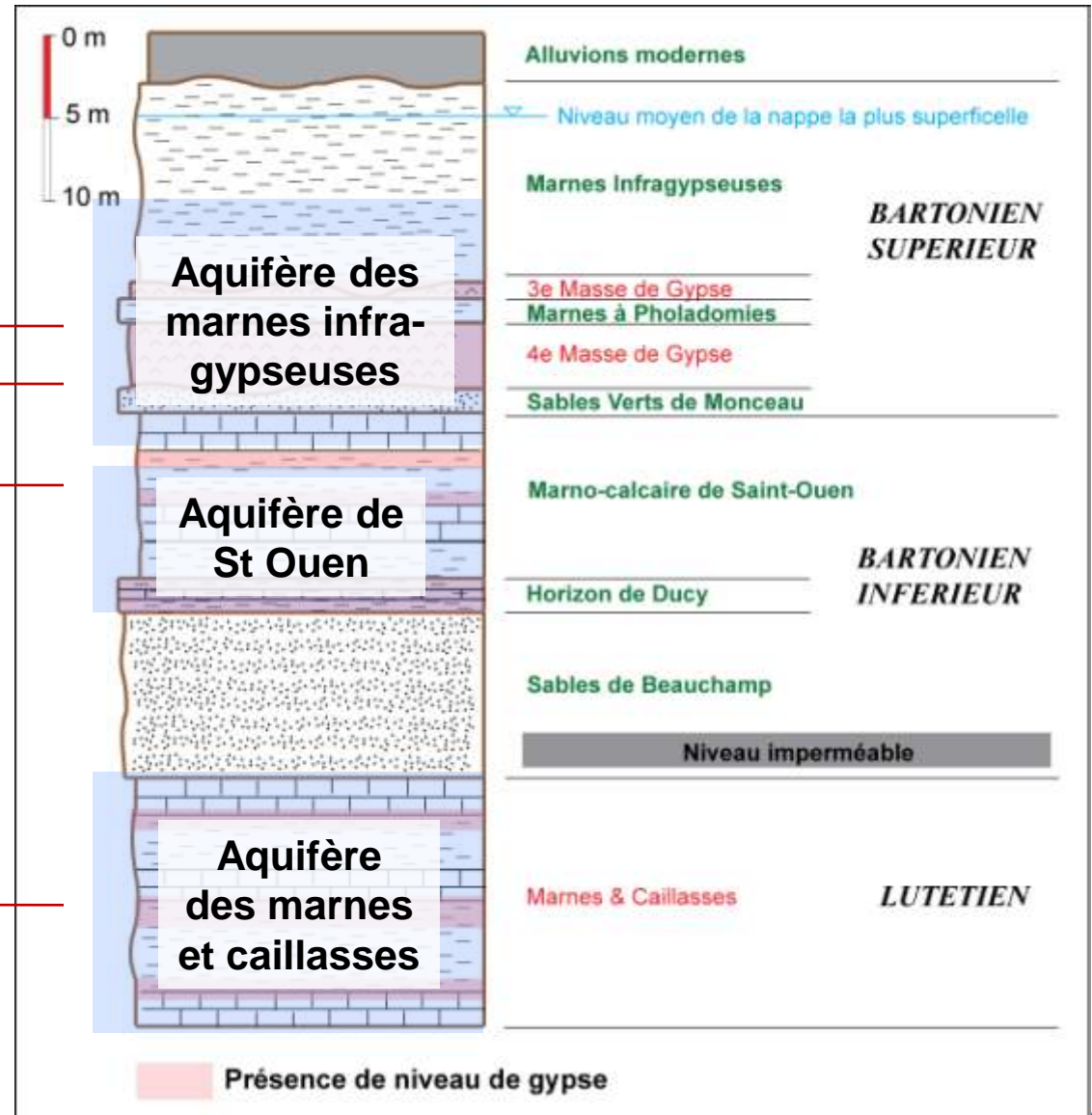
Contexte géologique et hydrogéologique

Niveaux de gypse notables :

0 à 5 mètres de gypse entre 10 et 15 mètres de profondeur

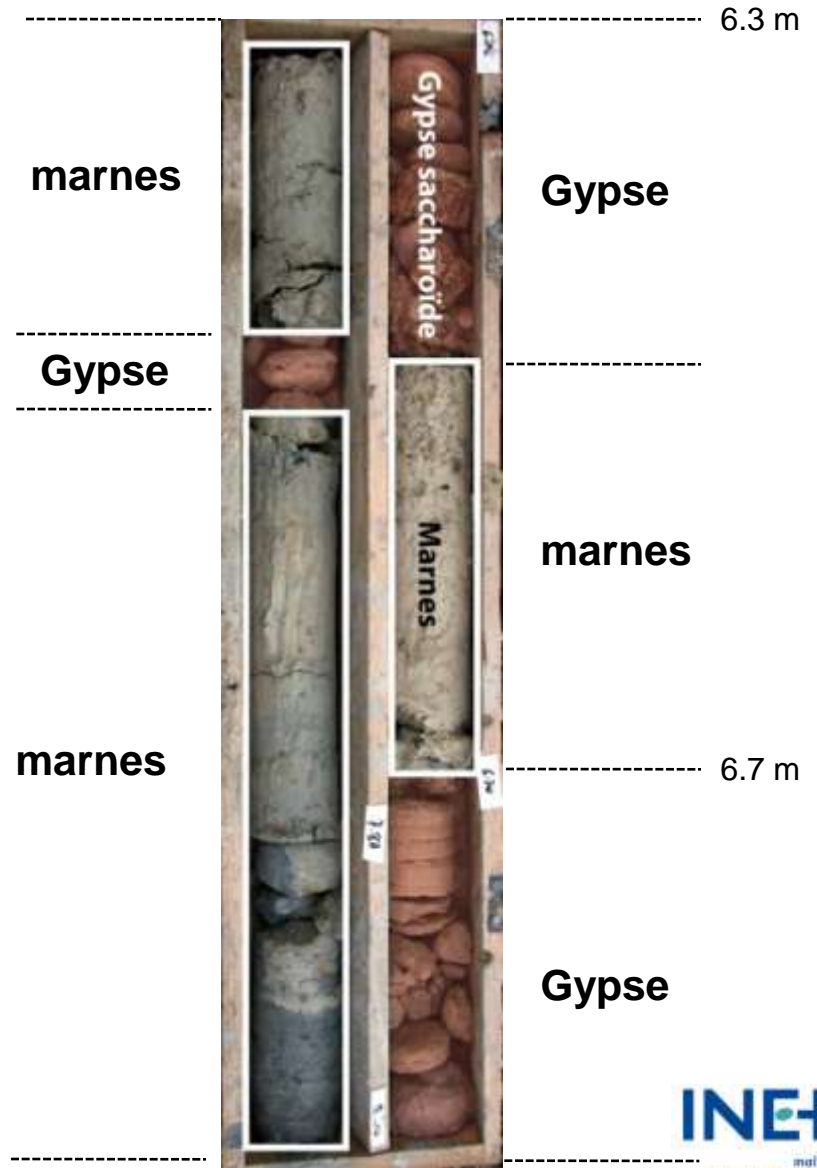
Moins de 1 mètre de gypse à 20 mètres de profondeur

1 à 2 mètres de gypse à 50 mètres de profondeur



Contexte stratigraphique des niveaux gypseux

Gypse saccharoïde



Contexte géotechnique



Avril 2008



Avril 2000

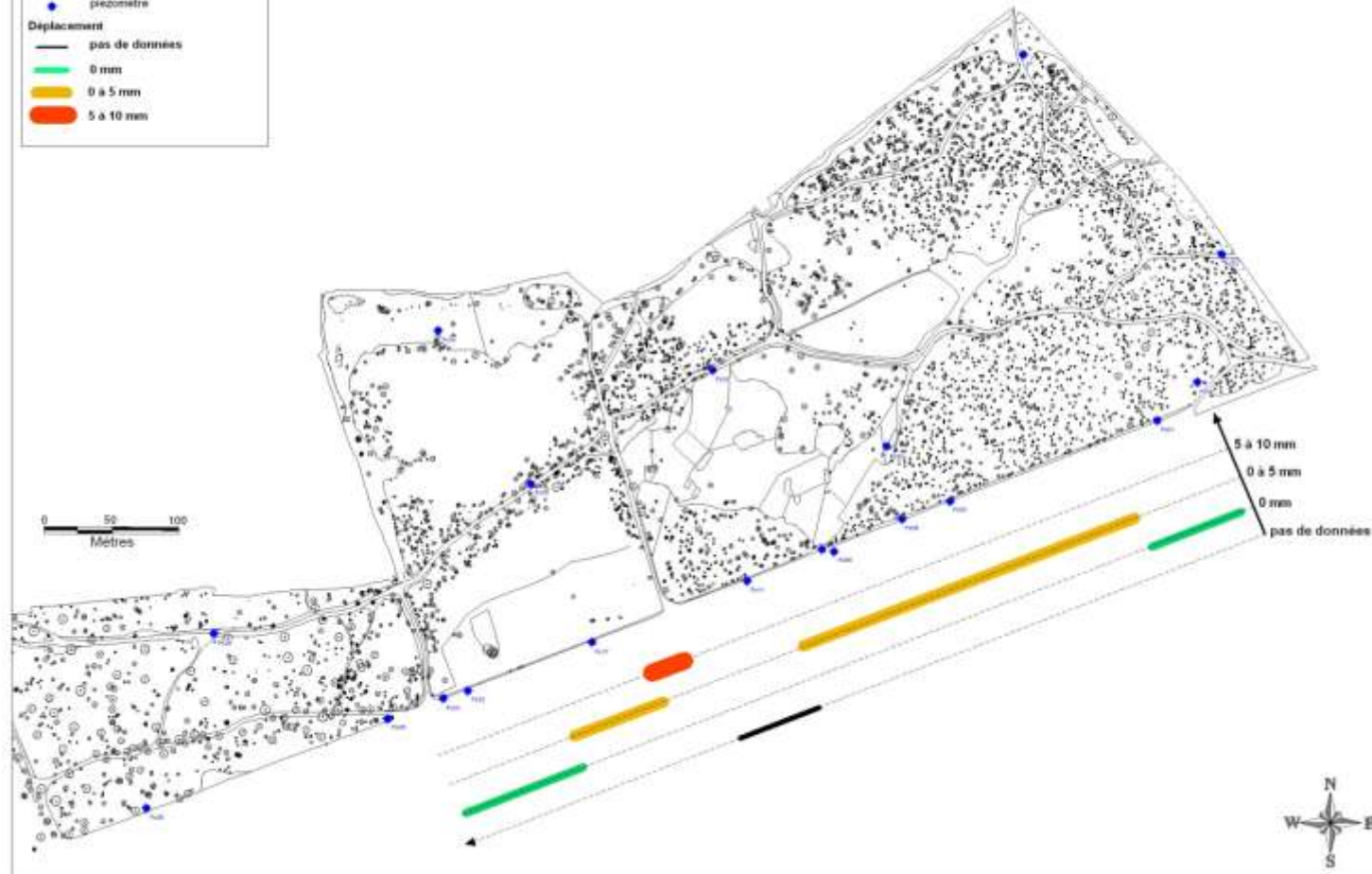


Courant 2007

Comparaison des mesures de nivellement entre 1998 et 2008

Localisation des déplacements
mesurés le long du chemin latéral
entre 1998 et 2008

- piezomètre
- pas de données
- 0 mm
- 0 à 5 mm
- 5 à 10 mm



/12/2009

01/01/2011



Objectif :

- ✓ Acquérir des données *in situ* sur un système de dissolution naturelle
- ✓ Proposer une solution d'ouverture du parc au publique ;

Stratégie et méthode :

- ✓ Coupler une approche hydrogéologique et des investigations géotechniques ;
- ✓ Suivre l'évolution hydrogéochimique des différents aquifères présents ;

⇒ **Comprendre le fonctionnement du système de dissolution naturelle à l'origine des désordres observés en surface.**





⇒ **Développer une méthodologie d'évaluation de l'aléa adaptée au contexte de dissolution naturelle**



Finalité :

- ✓ Améliorer la compréhension du fonctionnement hydro-géotechnique d'un système de dissolution naturelle typique du Nord-Est Parisien.
- ✓ Proposer des usages et aménagements adaptés à l'intensité de l'aléa

Instrumentation mise en place

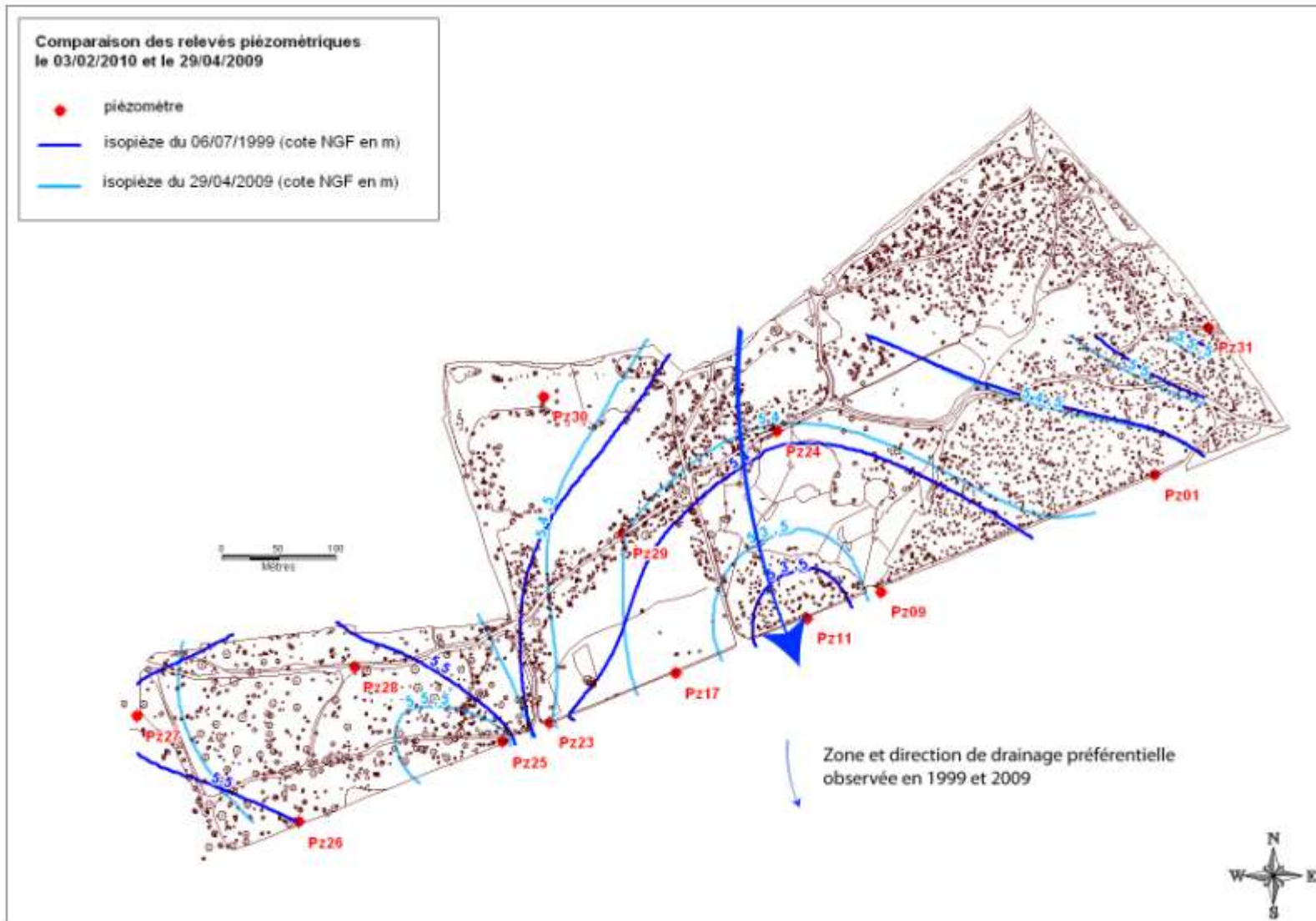


-  Canal de l'Ourcq
 -  Aquifère des marnes infragypseuses
 -  Aquifère de St Ouen
 -  Aquifère des Marnes et Caillasses
- Comité

-  Point de mesure en continu du niveau piézométrique et des paramètres physico-chimiques
-  Point de mesure du taux de dissolution *in situ*

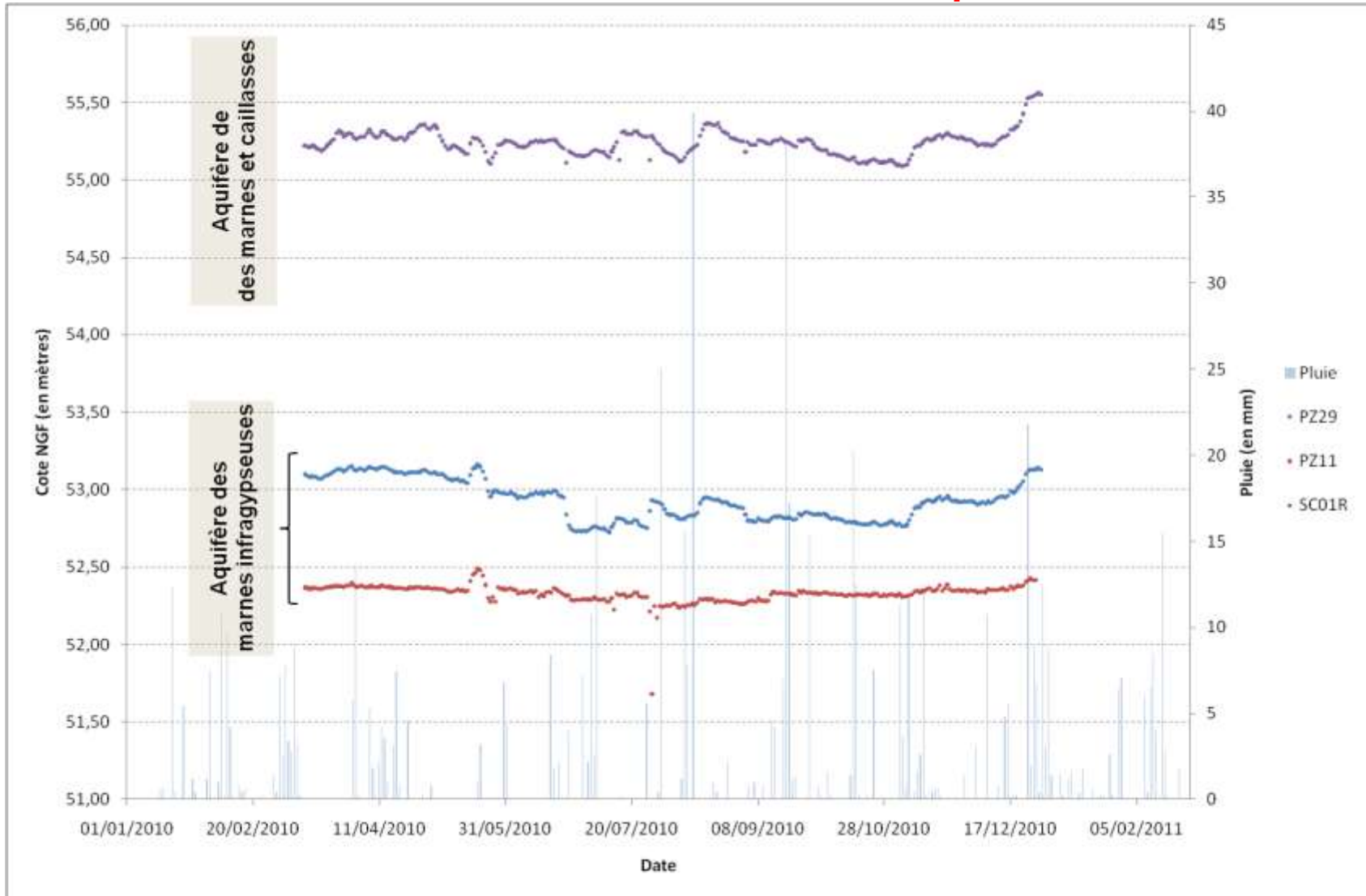
011

Comportement hydrogéologique de l'aquifère superficiel



→ Peu d'évolution saisonnière de la morphologie de la surface piézométrique ainsi que durant 10 ans

Interactions entre les différents aquifères



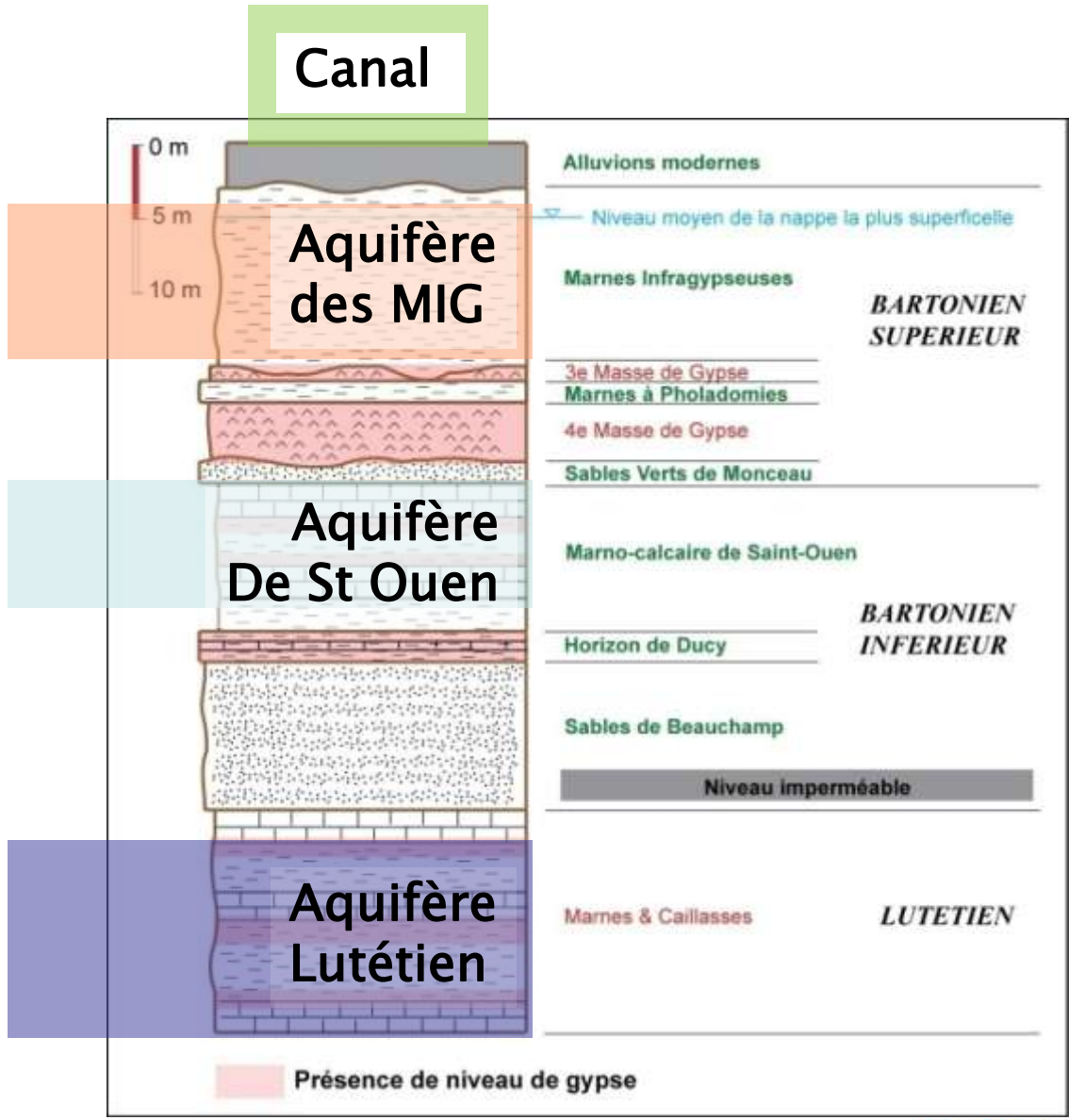
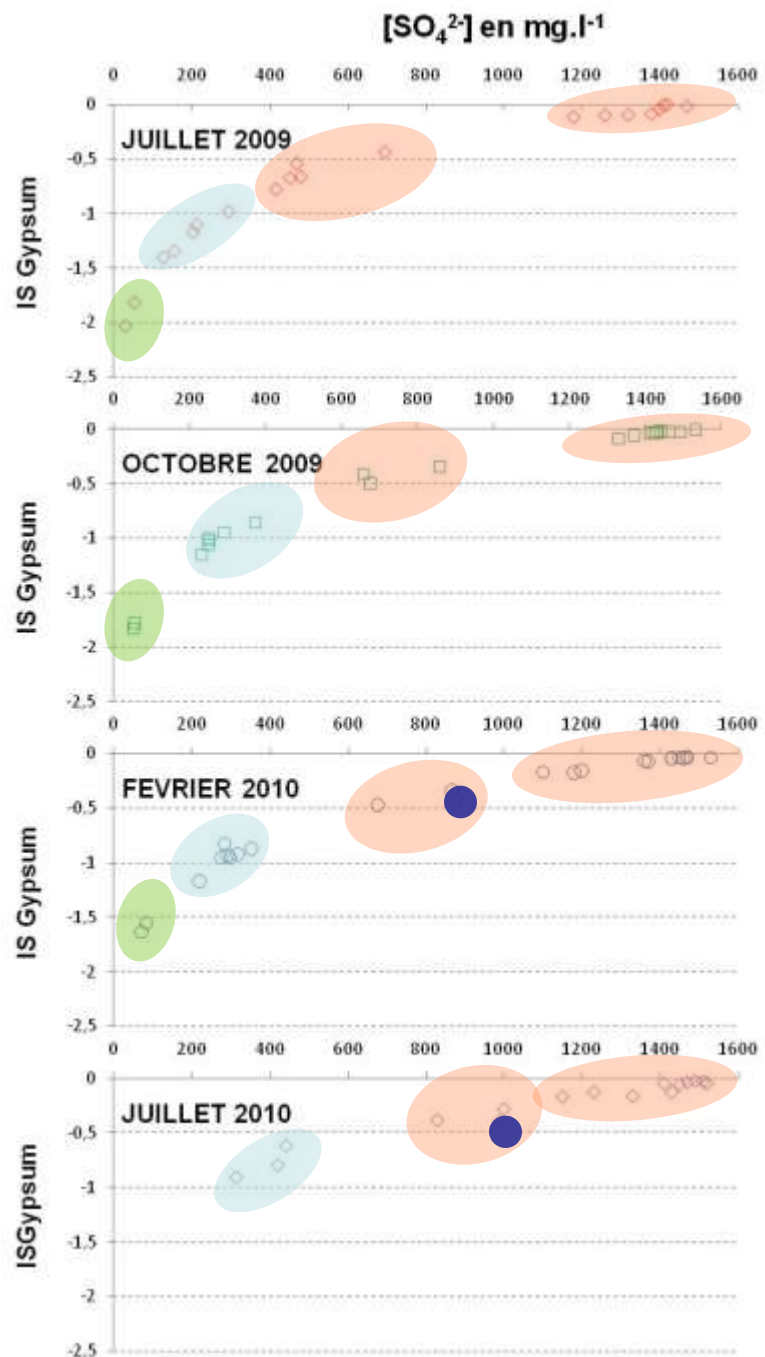
→ Contrôle de l'ensemble des aquifères par l'aquifère le plus profond,

Lutétien

Coût de Français de Mécanique des Roches, Séance du 8 décembre 2011

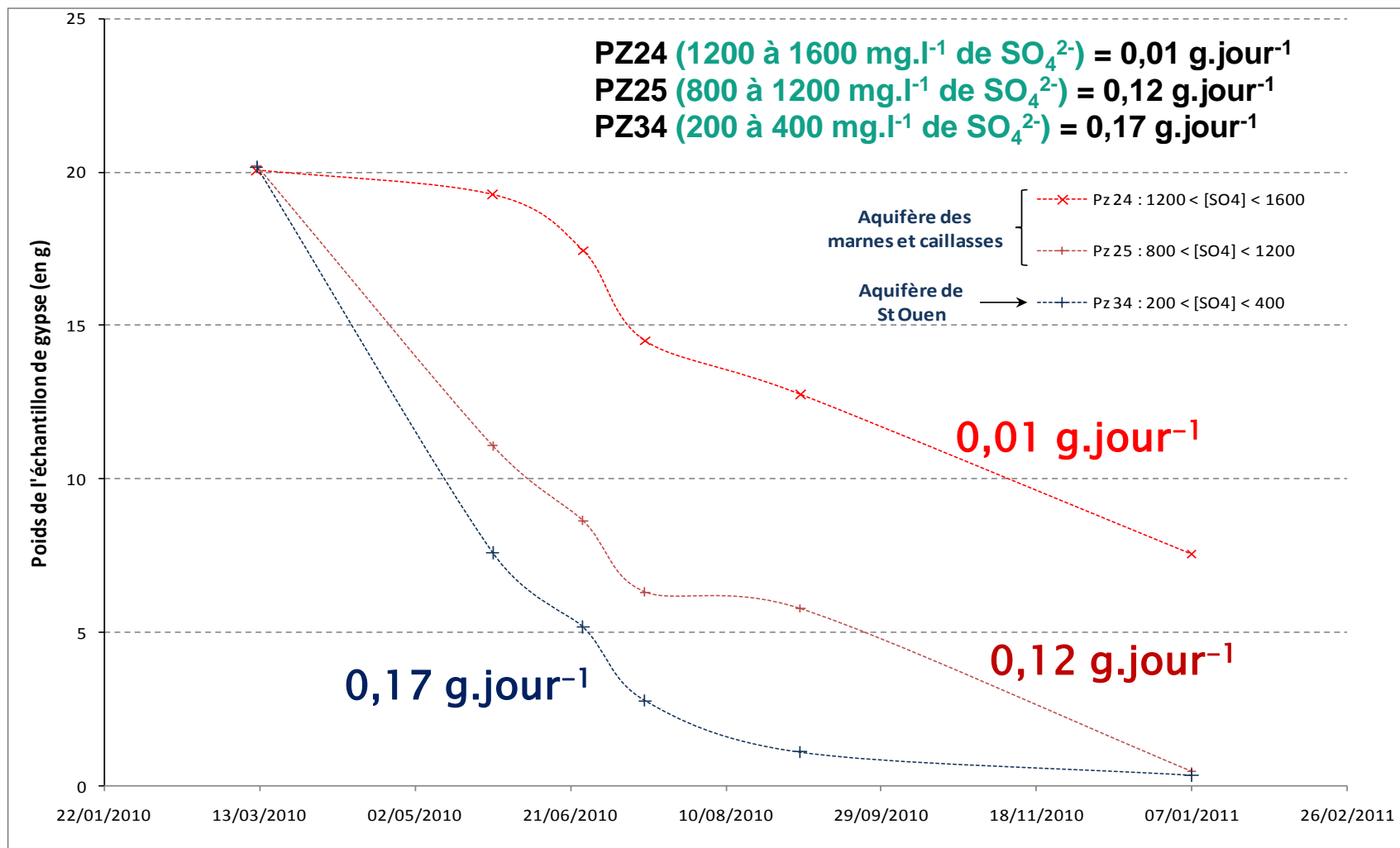


FONCTIONNEMENT HYDRO-GÉOTECHNIQUE DU SOUS-SOL DU BOIS DE LA TUSSION



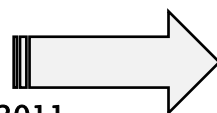
3 décembre 2011

Vitesses de dissolution mesurées *in situ*



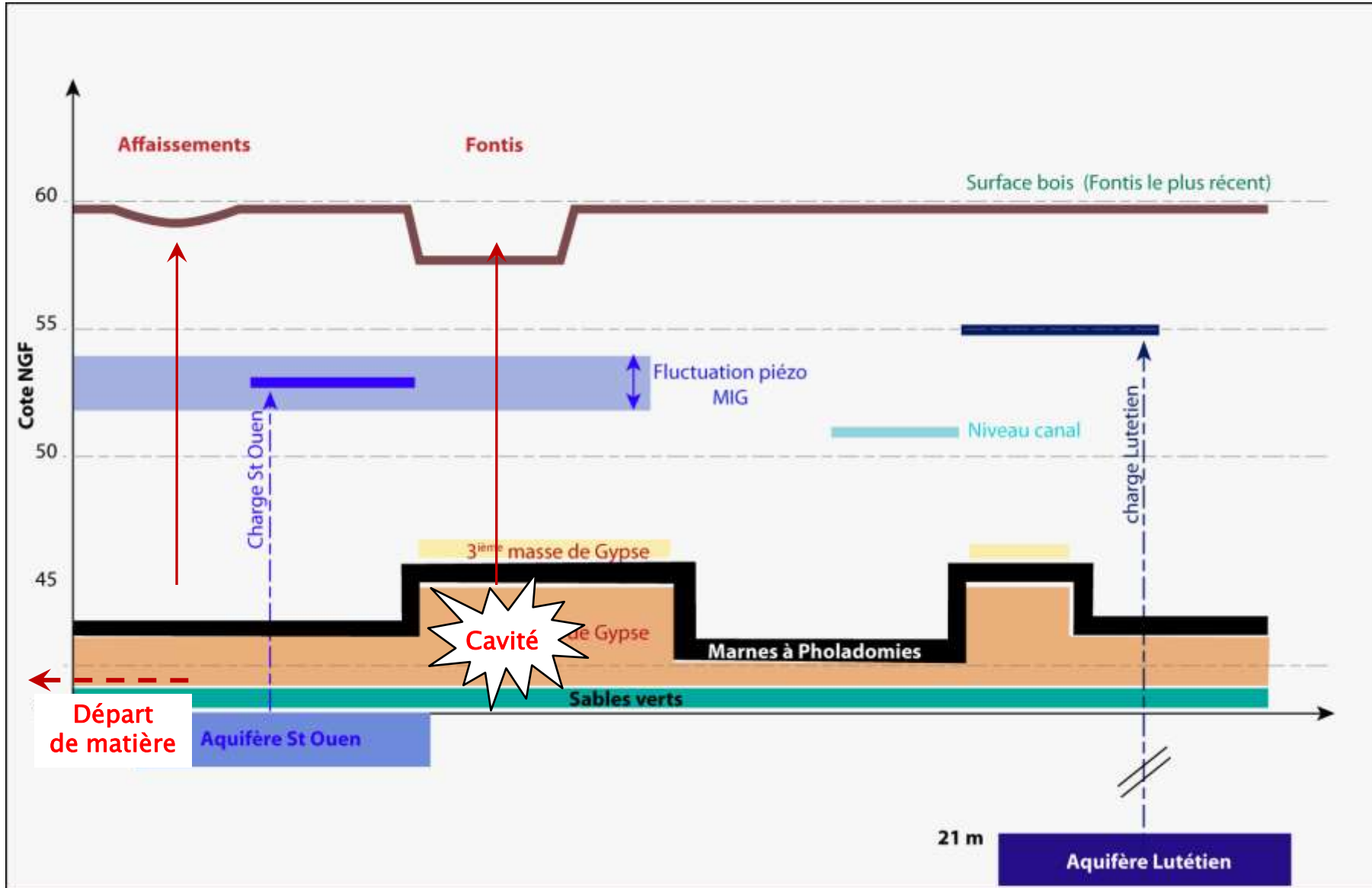
[SO₄²⁻] passe de 800 mg.l⁻¹ à 1600 mg.l⁻¹

Comité Français de Mécanique des Roches, Séance du 8 décembre 2011



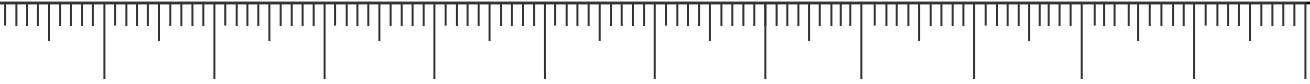
Vitesse de dissolution / 10

Mécanisme de dissolution identifié





Evaluation de l'aléa

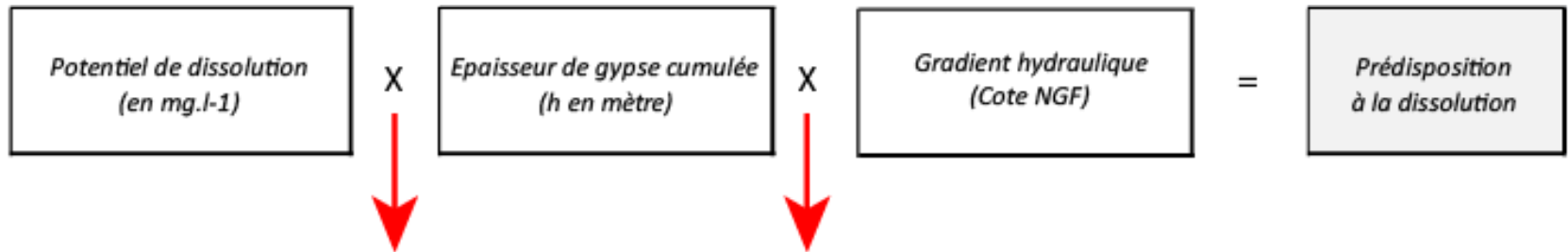


Démarche adoptée dans le cas d'un mécanisme naturel de création de vides:

- ✓ Évaluation de la **prédisposition à la dissolution** ;
- ✓ Évaluation de la **prédisposition à l'occurrence d'un type de désordre** (fontis ou affaissement) ;
- ✓ Évaluation de **l'intensité pour chaque type de désordres** ;
- ✓ Évaluation de **l'aléa pour chaque type de désordres**.

Méthodologie :

Etape 1 : Evaluation de la prédisposition à la dissolution



Potentiel de dissolution (en mg.l-1)	Epaisseur de gypse cumulée (h en mètre)	Prédisposition initiale
	> 3.5	Sensible
1200 < SO4 < 1600	1 < h < 3.5	Peu sensible
	< 1	Peu sensible
	> 3.5	Très sensible
800 < SO4 < 1200	1 < h < 3.5	Sensible
	< 1	Peu sensible
	> 3.5	Très sensible
350 < SO4 < 800	1 < h < 3.5	Très sensible
	< 1	sensible

Prédisposition initiale	Cote nappe NGF	Prédisposition dissolution
	53 < NGf < 54	Sensible
peu sensible	54 < NGF < 55	Peu sensible
	> 55	Peu sensible
	53 < NGf < 54	Très sensible
sensible	54 < NGF < 55	Sensible
	> 55	Peu sensible
	53 < NGf < 54	Très sensible
très sensible	54 < NGF < 55	Très sensible
	> 55	sensible

- Non affecté
- Peu sensible
- Sensible
- Très sensible

Méthodologie :

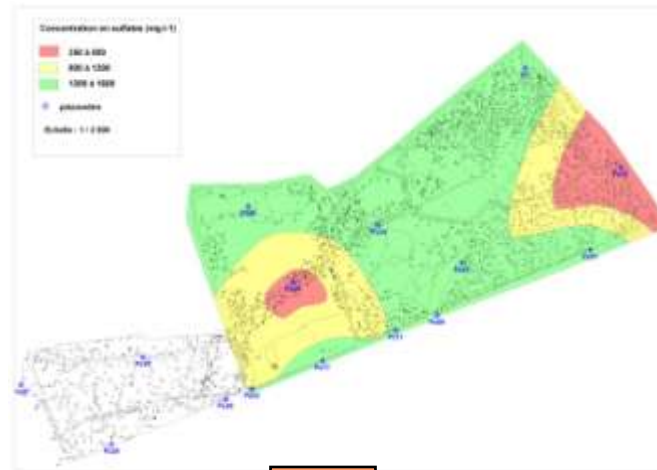
Etape 1 : Evaluation de la prédisposition à la dissolution

Epaisseur de gypse



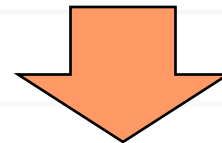
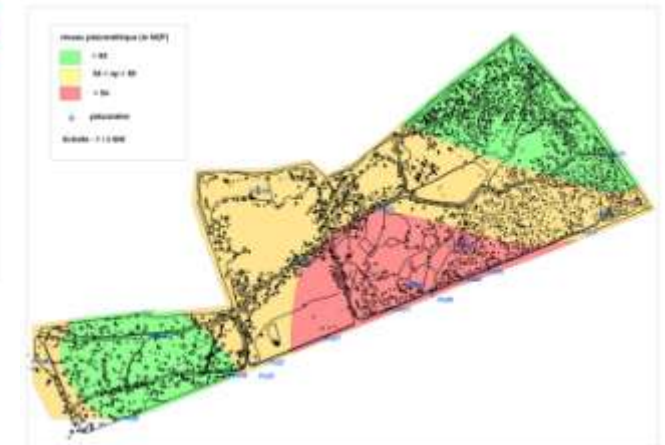
X

Teneur en sulfates

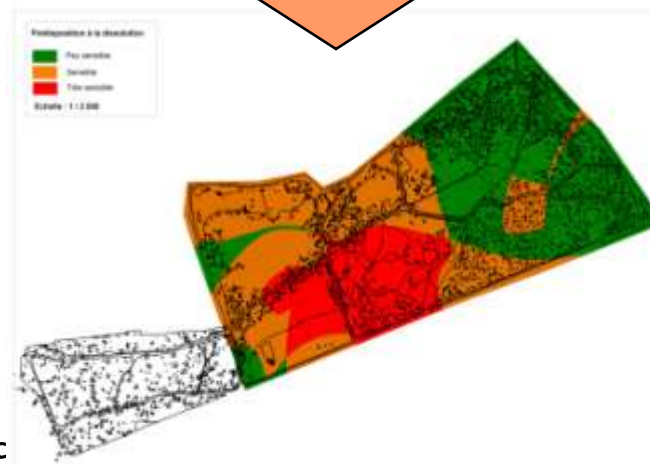


X

Gradient hydraulique



Prédisposition au
mécanisme de dissolution



Méthodologie :

Etape 2 : Evaluation de la prédisposition à l'apparition d'un type de désordre



Facteur aggravant

Facteur aggravant

Prédisposition générale	Désordres répertoriés en surface (Maille de 25 m)	Prédisposition fontis
	32 < d < 80	Très sensible
Très sensible	8 < d < 32	0
	0 < d < 8	0
	32 < d < 80	Très sensible
Sensible	8 < d < 32	0
	0 < d < 8	0
	32 < d < 80	Sensible
Peu sensible	8 < d < 32	Sensible
	0 < d < 8	0

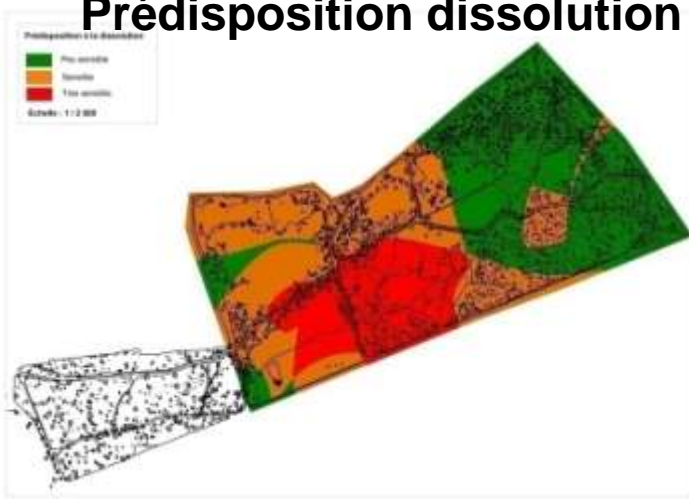
Prédisposition générale	répertoriés en surface (Maille de 25 m)	Prédisposition affaissement
	25 < d < 65	Très sensible
Très sensible	6 < d < 25	0
	0 < d < 6	0
	25 < d < 65	Très sensible
Sensible	6 < d < 25	0
	0 < d < 6	0
	25 < d < 65	Sensible
Peu sensible	6 < d < 25	Sensible
	0 < d < 6	0

- Peu sensible
- Sensible
- Très sensible

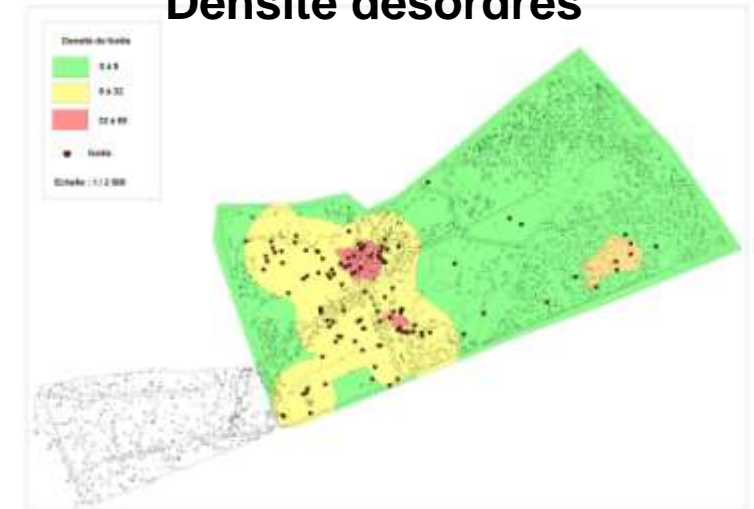
Méthodologie :

Etape 2 : Evaluation de la prédisposition à l'apparition d'un type de désordre

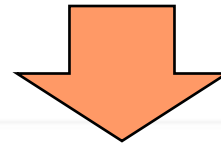
Prédisposition dissolution



Densité désordres



X



Prédisposition à l'apparition de fontis



Méthodologie :

Étape 2 : Évaluation de l'intensité

FONTIS →

Classe d'intensité	Diamètre de l'effondrement
Très limitée	Effondrements auto-remblayés à proximité immédiate de la surface (profondeur centimétrique)
Limitée	$\emptyset < 3 \text{ m}$
Modérée	$3 \text{ m} < \emptyset < 10 \text{ m}$
Elevée	$\emptyset > 10 \text{ m}$

AFFAISSEMENT →

Classe d'intensité	Mise en pente (en %)
Très limitée	$0 < P < 1$
Limitée	$1 < P < 3$
Modérée	$3 < P < 6$
Elevée	$P > 6$

Méthodologie :

Étape 2 : Évaluation de l'aléa

FONTIS →

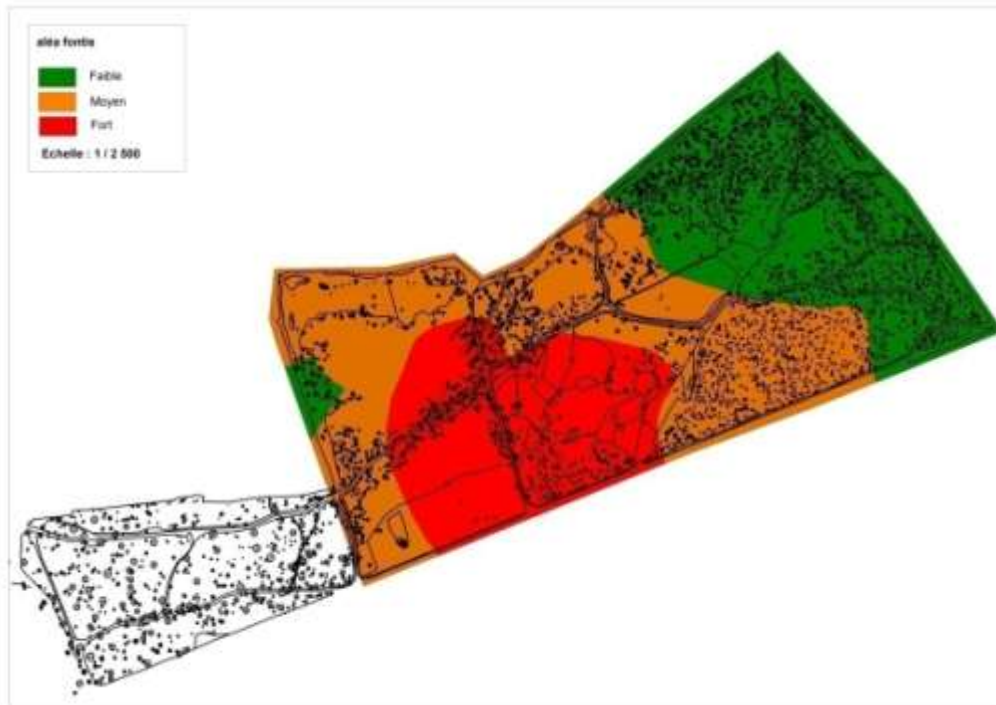
AFFAISSEMENT →

Intensité	Prédisposition		
	Peu sensible	Sensible	Très sensible
Très limitée	Rien ou aléa « tassement »	Aléa « tassement »	Aléa « tassement »
Limitée	Faible	Faible	Moyen
Modérée	Faible	Moyen	Fort
Elevée	Moyen	Fort	Fort

Méthodologie :

Etape 3 : Evaluation de l'aléa

Aléa fontis

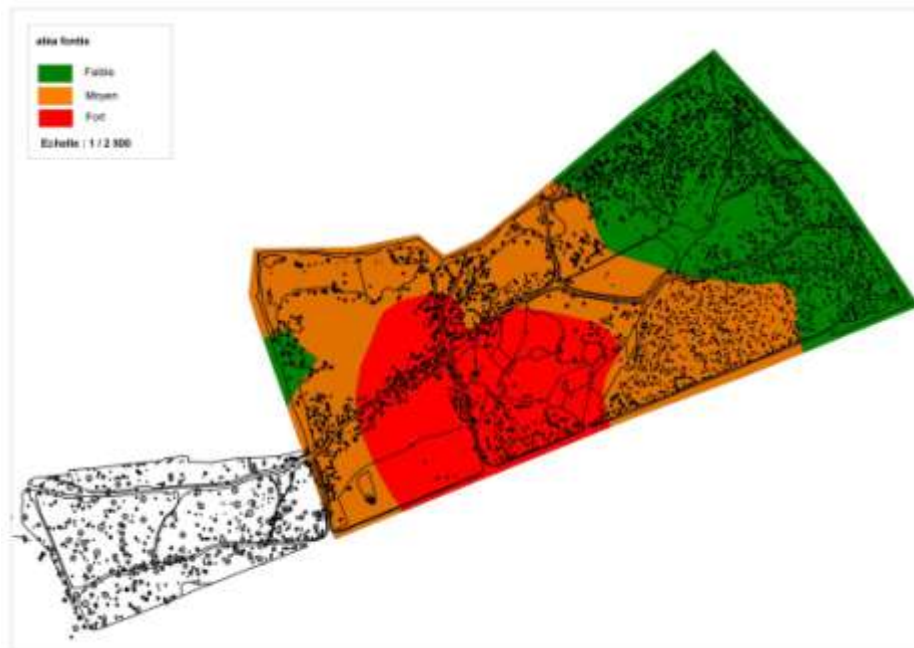


Aléa affaissement

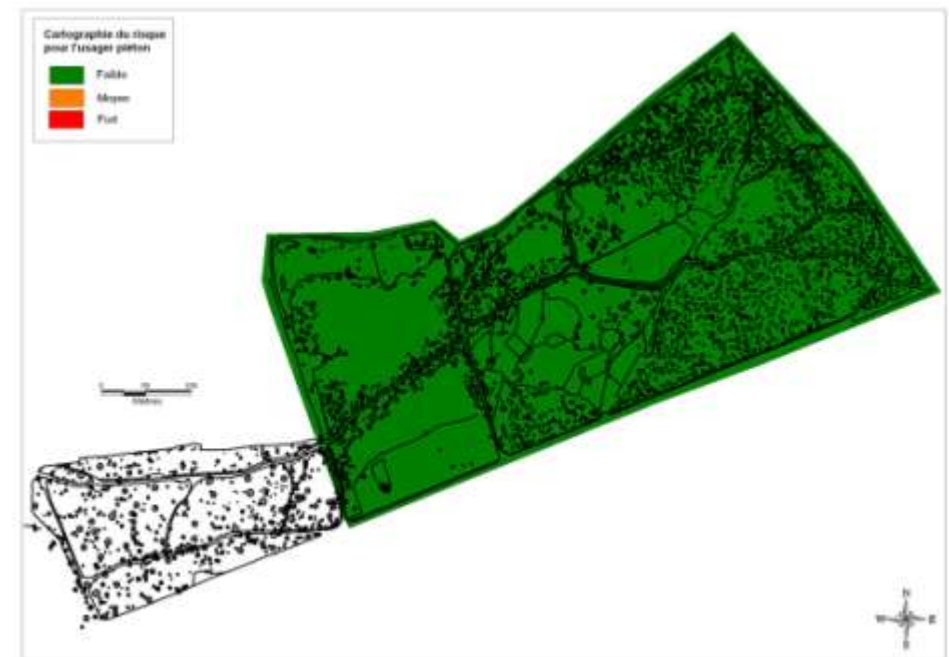


Évaluation du risque vis-à-vis de l'utilisateur piéton

Risque fontis



Risque affaissement



Stratégie d'aménagement :

- ✓ Zones à accès restreint = f (du risque)
- ✓ Propositions d'aménagements, assorties ou non de dispositifs de surveillance

Haies naturelles



Barrière en linteaux de bois (à gauche) <http://www.clotures-nicolas.fr/>;
Barrière grillagée (à droite) <http://tp-cloture.sotec-tp.fr/cloture.htm>



Aménagement d'un cheminement contraint à Moyeuve-Grande dans
une zone d'aléa minier (Crédit INERIS ©).



*Chemins hors sol (Crédit photo : PENIN SARL© et en haut à droite
FRANCIAL©)*



MERCI DE VOTRE ATTENTION