



6 novembre 2018

Dissolution naturelle du gypse dans le sous-sol

Analyse et gestion des aléas mouvements de terrain
de type affaissement et effondrement



JOURNÉE TECHNIQUE

Risques sol/sous-sol

INERIS

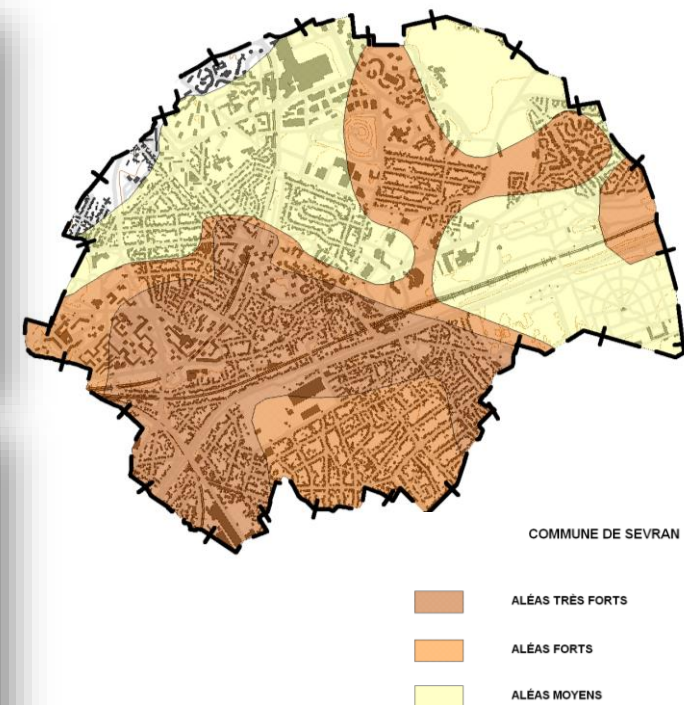
maîtriser le risque |
pour un développement durable |

Problématique

Phénomènes et
accidentologies
importants



Secteurs à forts
enjeux



Rôle de l'eau
(interactions eau/roche)



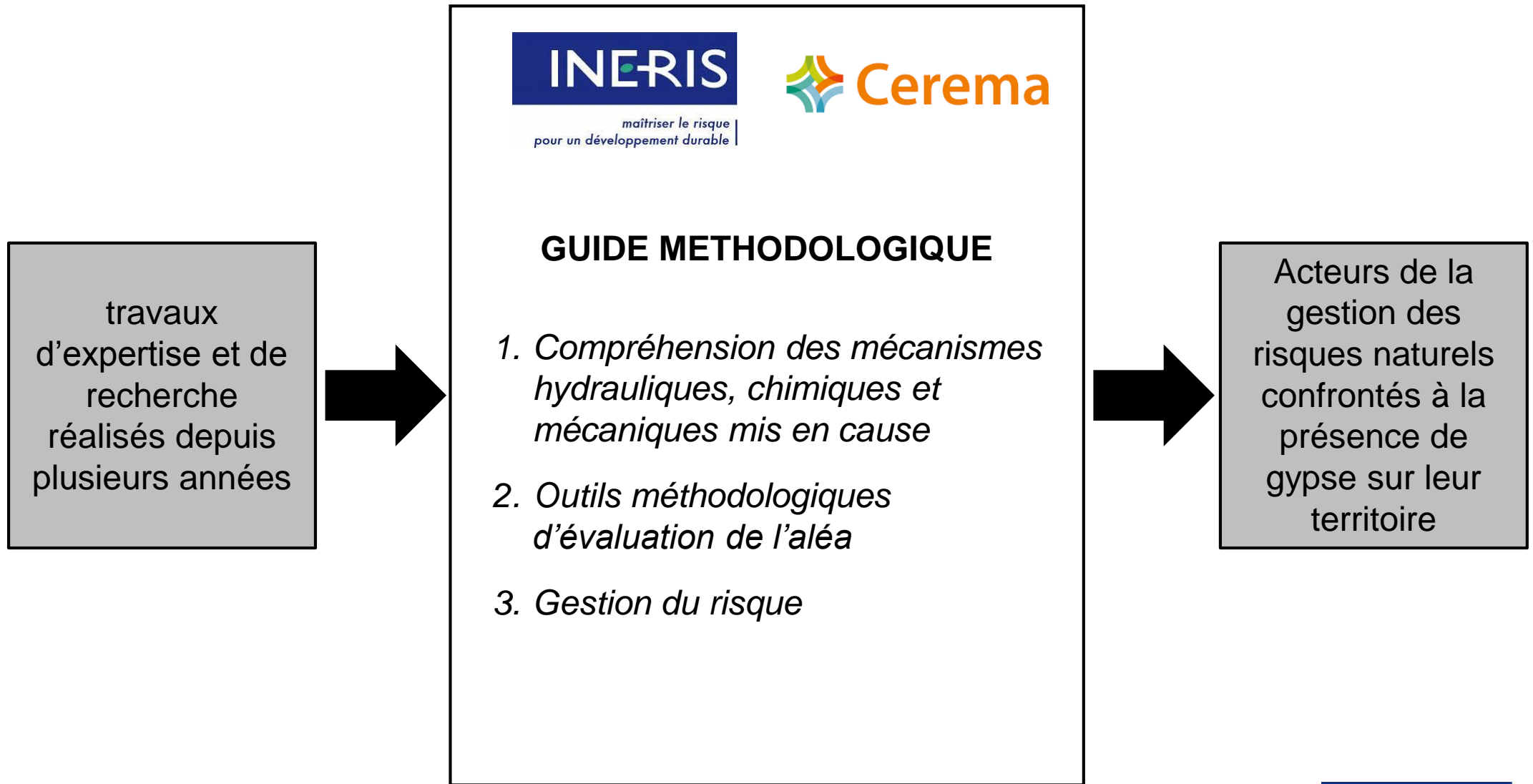
Caractère évolutif



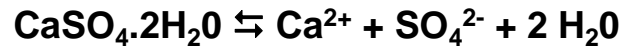
Sollicitations
extérieures



Approche adaptée de
l'évaluation de l'aléa



Le Gypse



Gypse = minéral sulfaté
 → Différents faciès



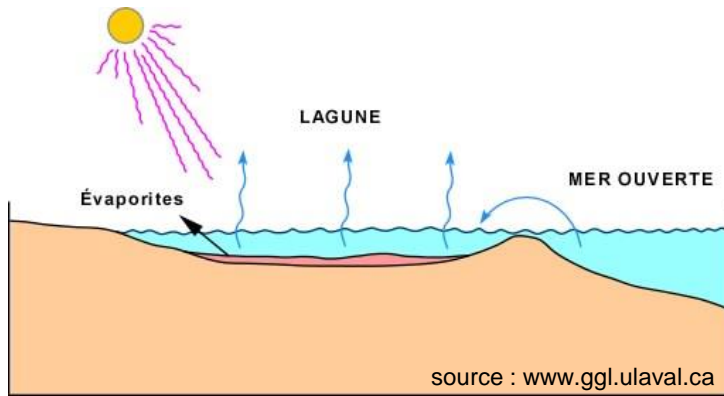
gypse saccharoïde (Isère)



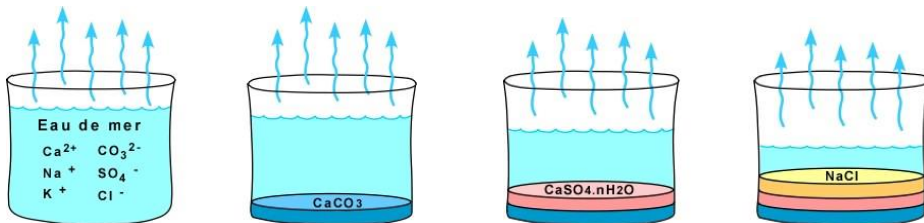
gypse alabastroïde (M&C, IdF)



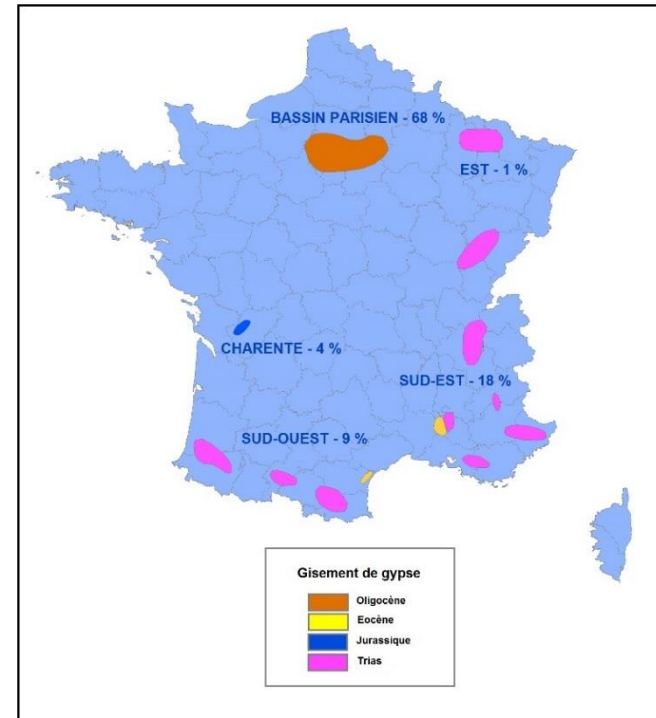
gypse dit en « fer de lance »



formation des dépôts évaporitiques



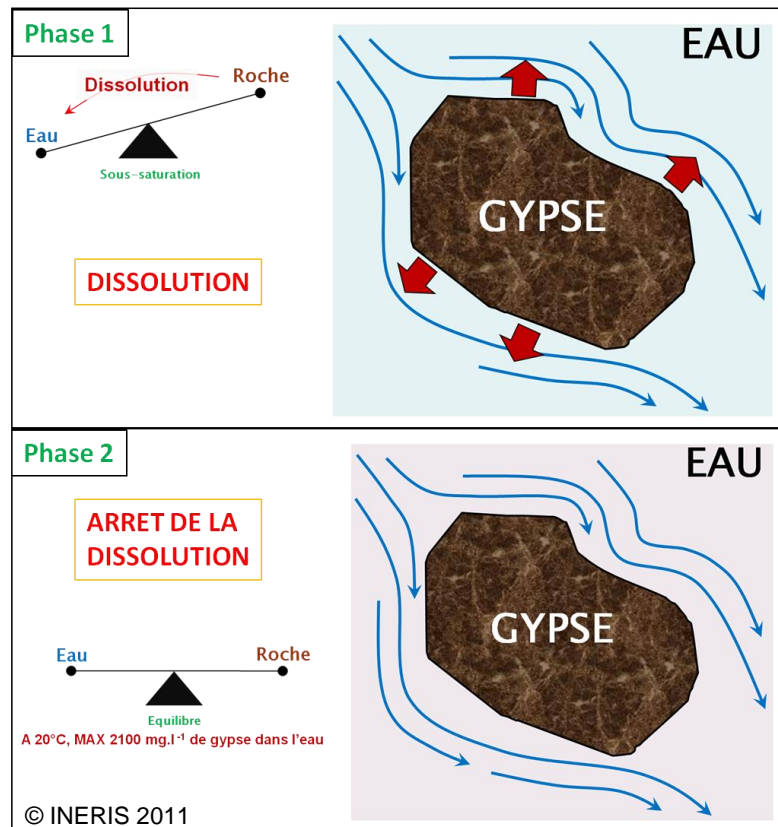
Séquence d'évaporation



gisements de gypse et répartition de la production annuelle selon les gisements (d'après Marteau, 1993)

La dissolution du Gypse

Mécanisme



Cinétique

Ordre de grandeur du taux de dissolution

Gypse = entre 0,03 et 0,05 g.m⁻².s⁻¹

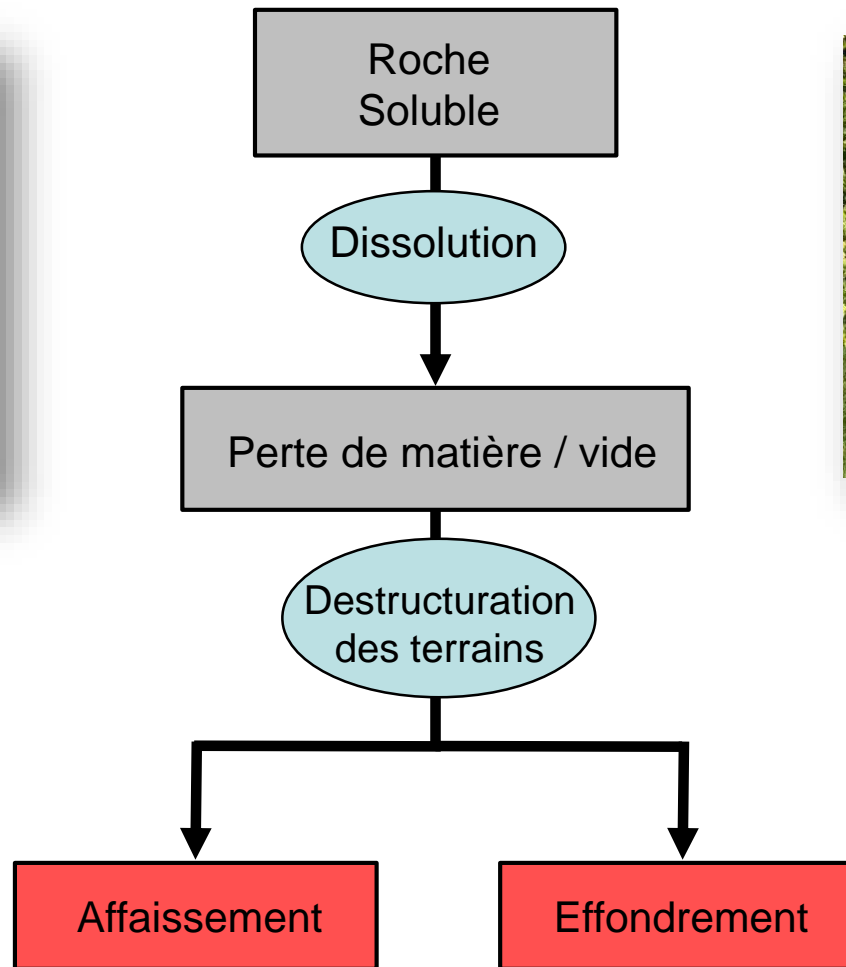
Sel gemme ≈ 3 g.m⁻².s⁻¹

Calcite = entre 0,3 et 3 10⁻⁴ g.m⁻².s⁻¹ (dépend pCO₂)



Difficile de créer de grandes cavités sur une période de temps courte (ordre de grandeur annuelle) sauf conditions particulières

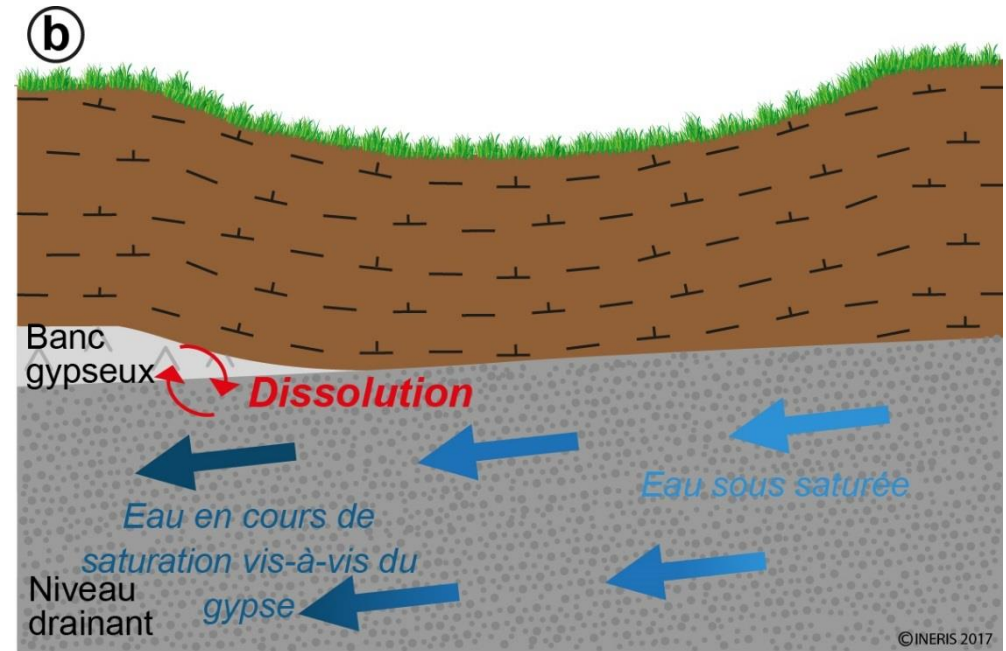
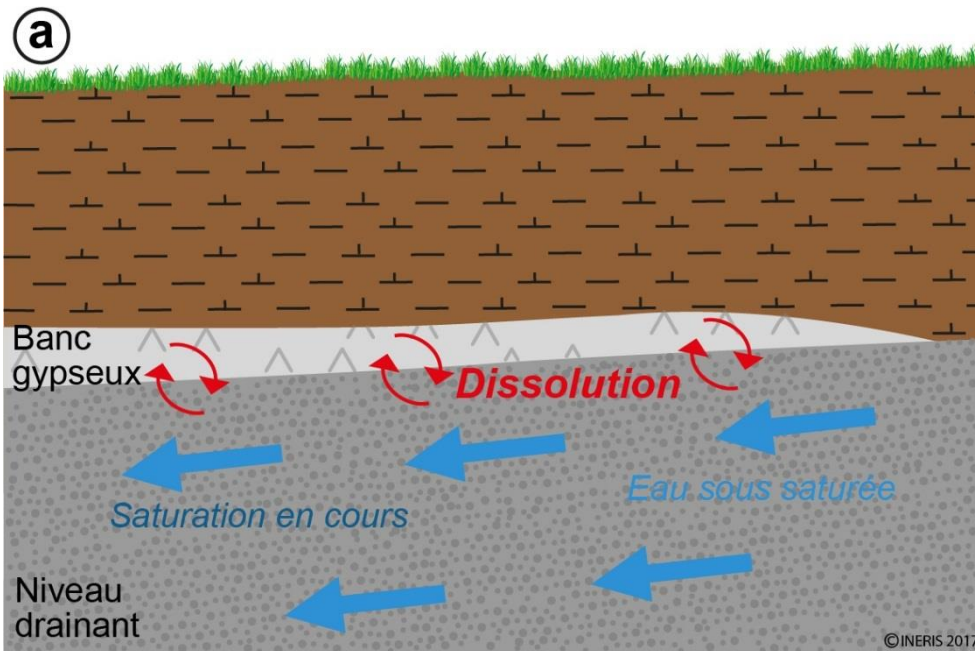
De la dissolution à l'apparition de désordres



De la dissolution à l'apparition de désordres

Les affaissements

- Dissolution à l'interface entre la roche soluble et les terrains sus-jacents avec des propriétés mécaniques plutôt faible → perte de matière → abaissement des terrains

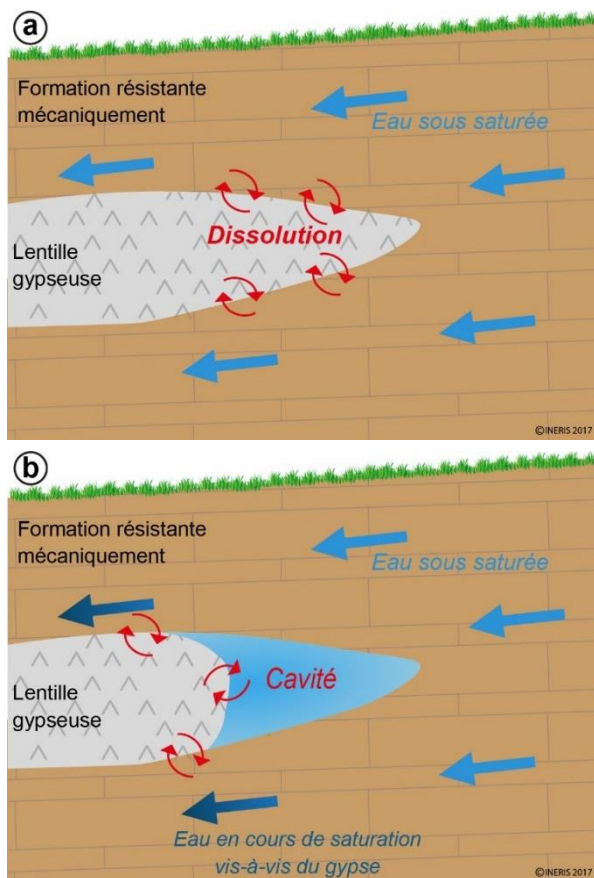


De la dissolution à l'apparition de désordres

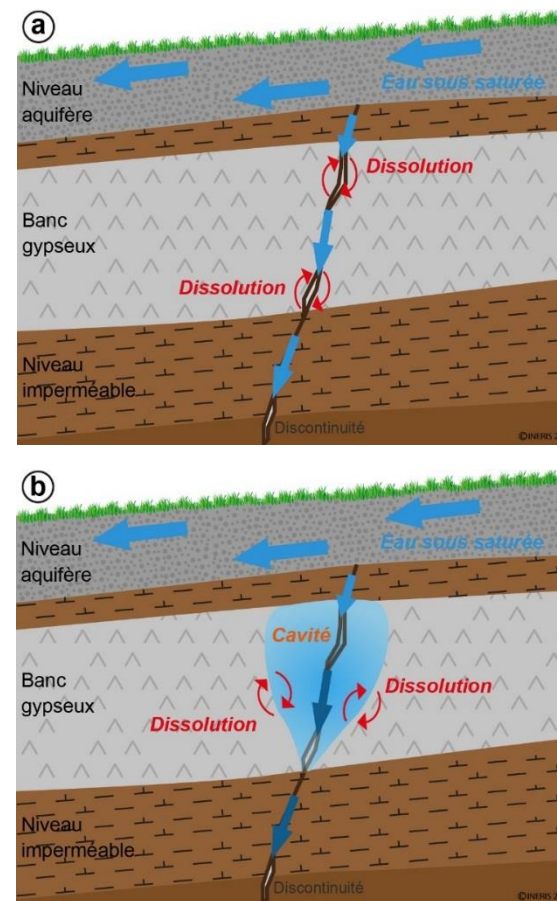
La création du vide par dissolution

- Gypse en contact avec eau sous-saturée + écoulement permanent

horizons gypseux au sein d'un aquifère
ex : niveaux gypseux lutétien



fractures préexistantes
ex : Draguignan / Prunières



De la dissolution à l'apparition de désordres

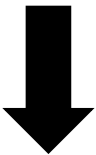
Mécanismes de déstabilisation

Dans le cas d'une dissolution active

Développement de la cavité

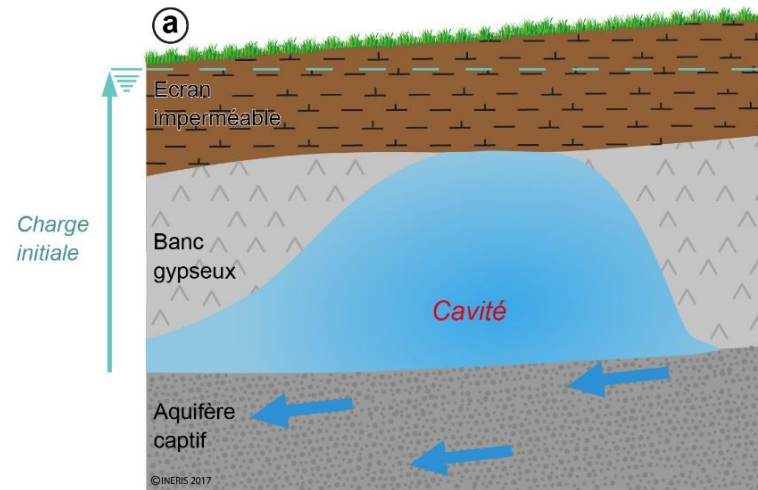


Poids terrains > résistance mécanique

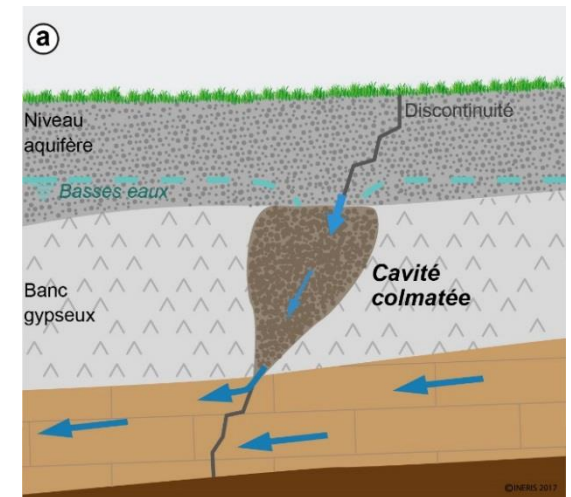
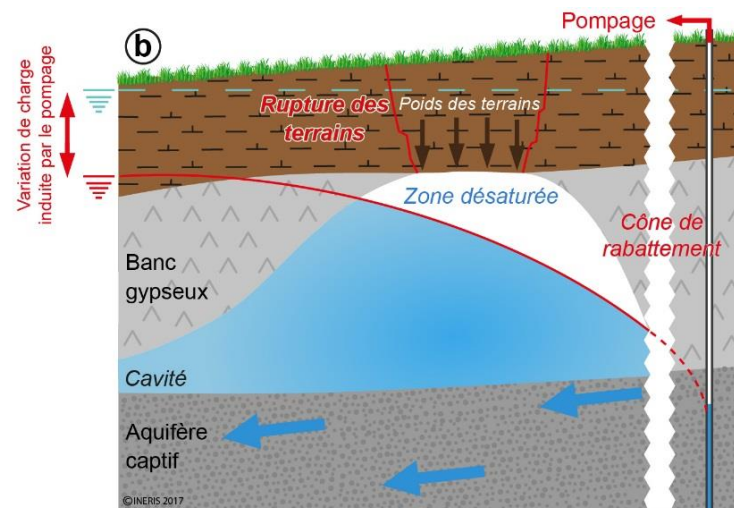


Rupture (toit et parements)

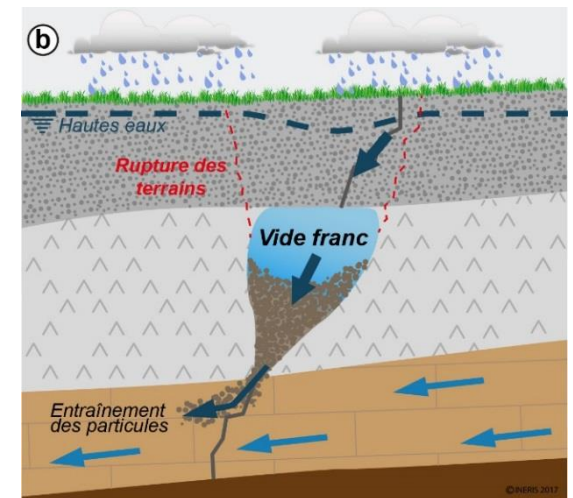
Dans le cas de sollicitations hydrauliques particulières



Diminution pression hydrostatatique

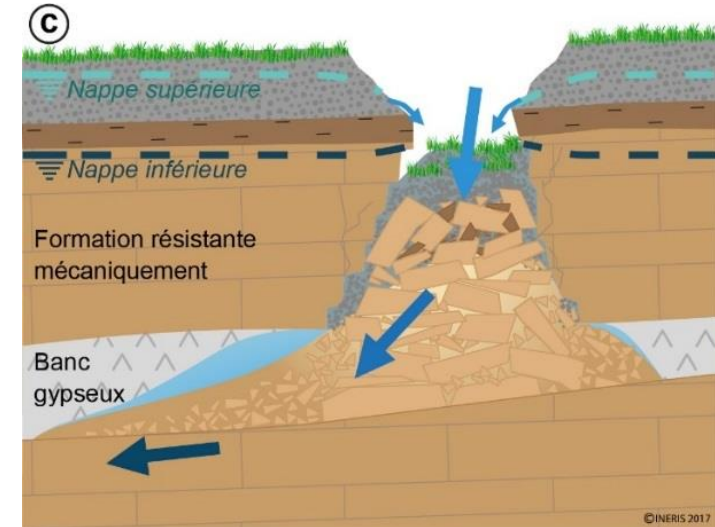
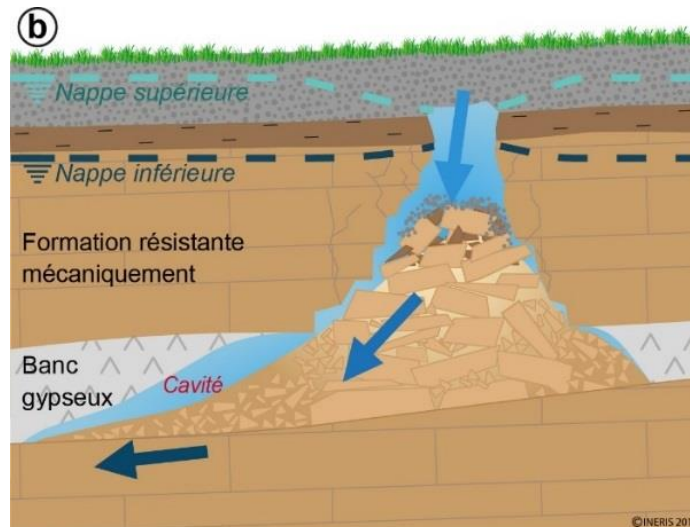
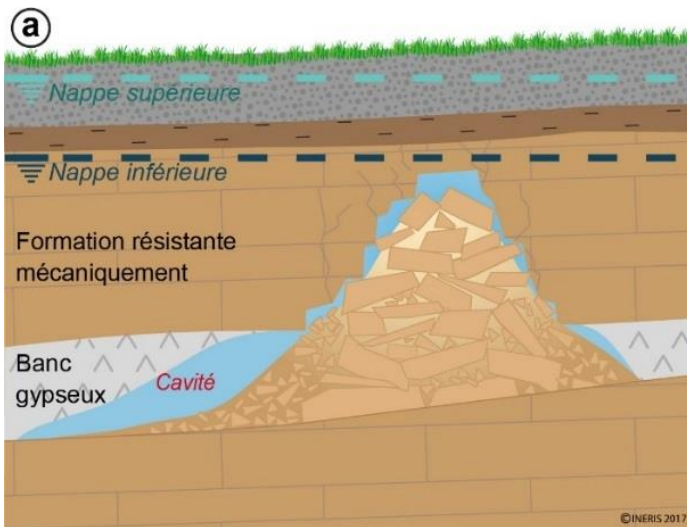
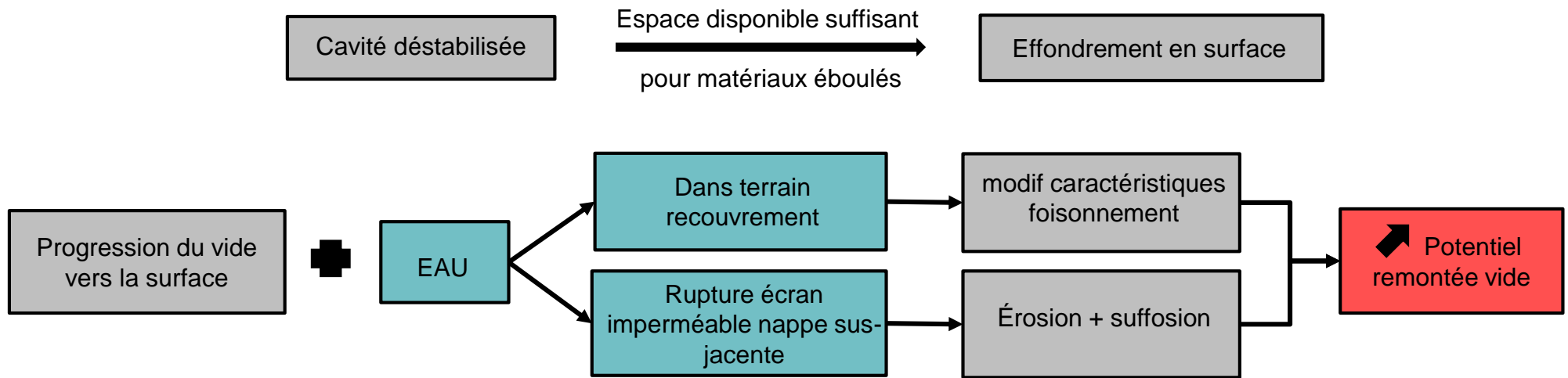


Diminution niveau piézométrique



De la dissolution à l'apparition de désordres

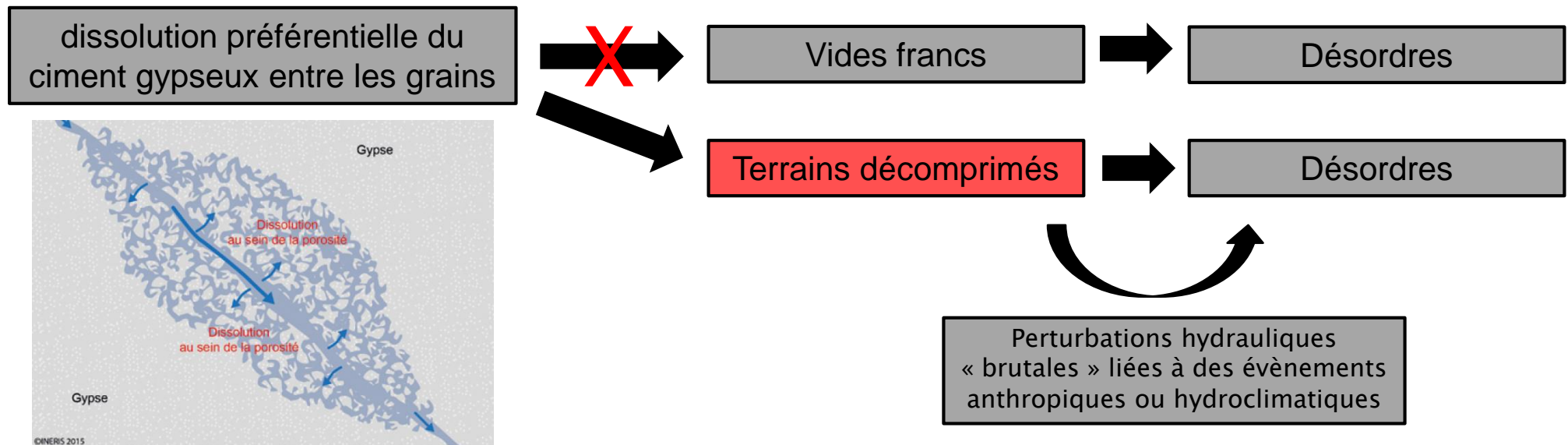
Propagation du vide jusqu'à la surface



De la dissolution à l'apparition de désordres

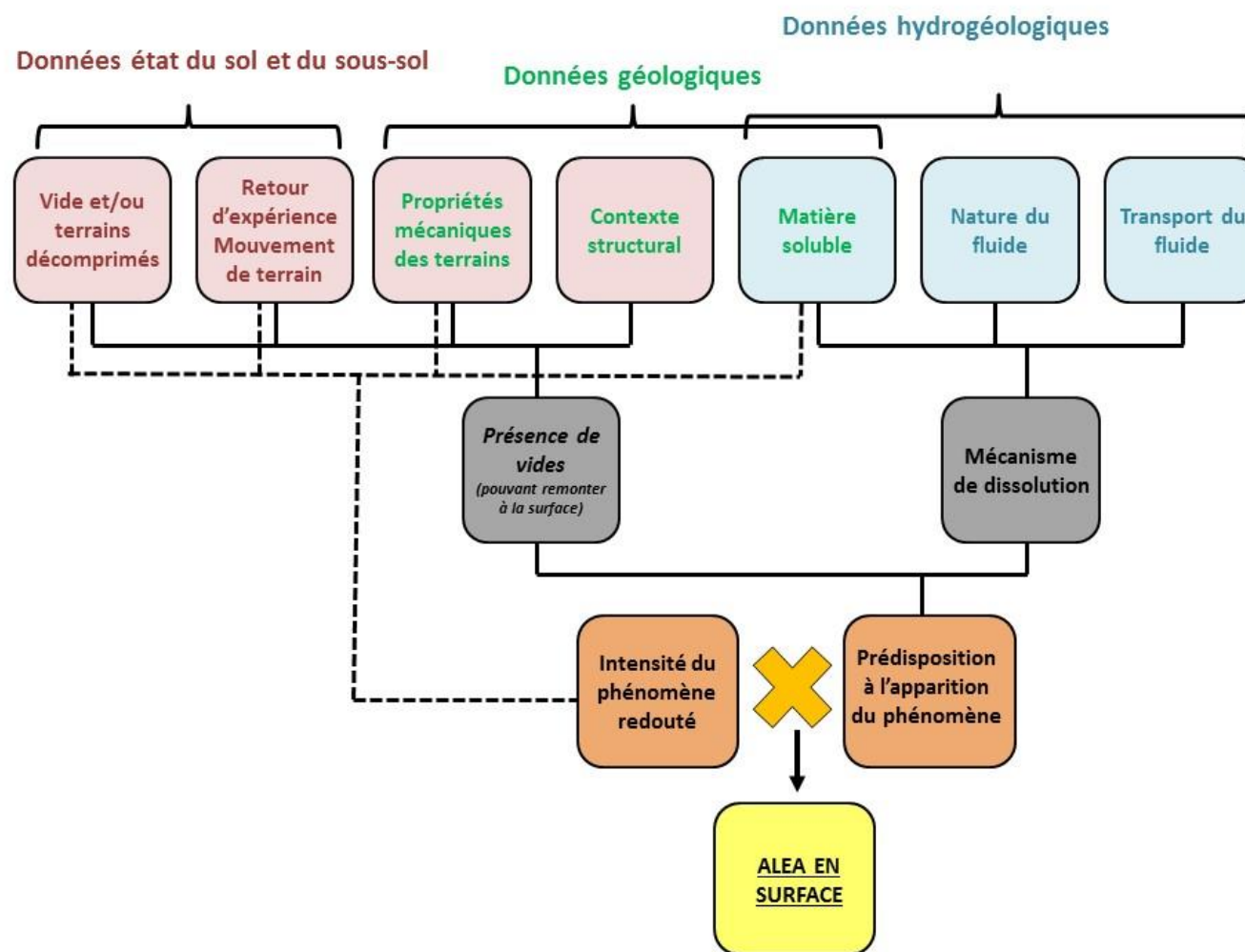
Décompression des terrains

- Sondages (vitesse d'avancement de l'outil élevée mais moins que pour vide franc)
- Prélèvements d'eau (eau d'aspect blanc laiteux avec présence de nombreux grains non dissous)
- Cas particulier du Gypse sacchoroïde ou autres faciès avec forte proportion d'insolubles



Démarche d'évaluation de l'alea

- Tient compte des spécificités des environnements solubles et de leurs évolutions
- Basée sur l'acquisition d'un certain nombre de données



EVALUATION DE L'ALEA : Données nécessaires

Contexte géologique

- Sommes-nous en présence de gypse ?
- Quelle est son épaisseur ?
- A quelle profondeur est-il situé ?
- Quelles sont les propriétés géomécaniques des terrains de recouvrement ?

Etat du sous-sol et phénomènes attendus

- Quelle est la dimension des vides attendus ?
- Existe-t-il des désordres en surface dans la zone d'étude ?
- Quelles sont les caractéristiques des désordres observés ?
- A-t-on connaissance de la présence de vide ou de terrains déstructurés dans le sous-sol ?

Contexte hydrogéologique

- Quels sont les nappes présentes dans le sous-sol ?
- Quel est leur agressivité vis-à-vis du gypse ?
- Quel est leur gradient hydraulique ?
- Existe-t-il un contexte particulier (pompage à proximité, injection, perte...) ?



Précision des données

- ✓ Quantité
- ✓ répartition
- ✓ qualité

Evaluation de l'aléa

Facteurs principaux et aggravants

2 critères principaux

- Le « gisement » (données géologiques)
 - L'épaisseur du gisement
 - Le rapport épaisseur / profondeur
- Le « potentiel hydrodynamique et hydrochimique des eaux (données hydrogéologiques)
 - Conductivité électrique de l'eau + analyses chimiques → eau en contact avec du gypse
 - Indice de saturation → potentiel de dissolution de l'eau vis-à-vis du gypse
 - Gradient hydraulique de la nappe → circulation de l'eau souterraine

Facteurs aggravants

- Les désordres (récents ou anciens)
- Présence de vide

} Zone de dissolution active ?
Tend à augmenter la prédisposition

Evaluation de l'aléa

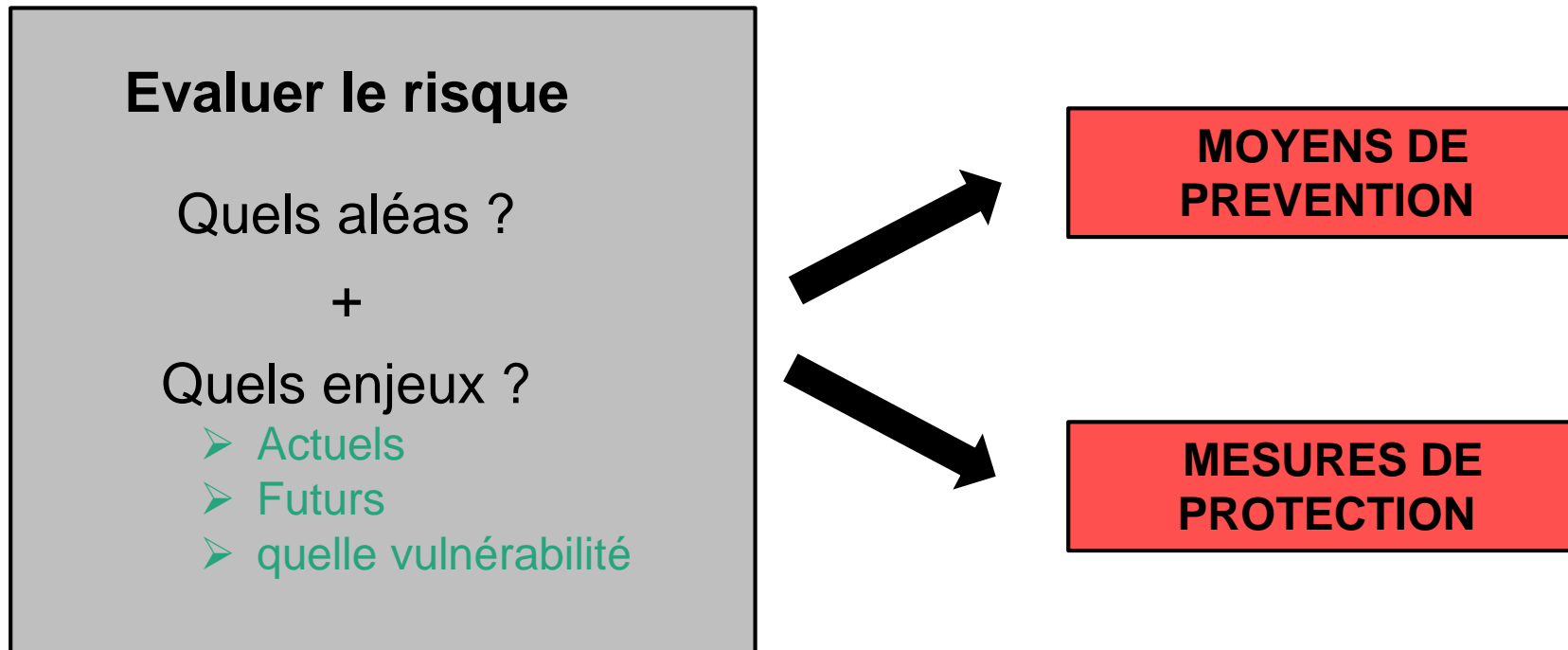
Tableaux de croisement

Prédisposition à l'aléa mouvements de terrain lié à la dissolution du gypse		Potentiels hydrodynamique et hydrochimique des eaux	
		Circulation peu probable ou eaux saturées	Circulation d'eaux agressives vis-à-vis du gypse
Gisement	Absent	Nulle	Nulle
	Suspecté	Peu sensible	Sensible
	Avéré	Peu sensible	Sensible à très sensible

➤ Classes définies selon données sommaires = base de raisonnement

Classe d'Intensité	Phénomènes	Principaux critères de jugement (non exhaustifs)	Conséquences redoutées
Limitée	Affaissement	Mise en pente < 3 %	Désordres légers de types fissures isolées sans atteintes aux fonctionnalités du bâtiment
	Effondrement localisé	Diamètre de l'effondrement < 3 m	Trou éventuellement profond mais suffisamment étroit pour ne pas affecter immédiatement une fondation classique
Modérée	Affaissement	Mise en pente < 6 %	Fissures visibles à l'extérieur. Les portes et les fenêtres coincent et certaines canalisations se rompent
	Effondrement localisé	Diamètre de l'effondrement < 10 m	Cratère +/- profond et suffisamment large pour ruiner une construction récente en béton même sur radier
Élevée	Affaissement	Mise en pente > 6 %	Désordres structurels importants. Bâtiments inhabitables
	Effondrement localisé ou effondrement en masse de la surface	Diamètre de l'effondrement > 10 m	Cratère important avec parois abruptes et risque d'engloutissement du bâti ou ruine complète et immédiate de plusieurs constructions.

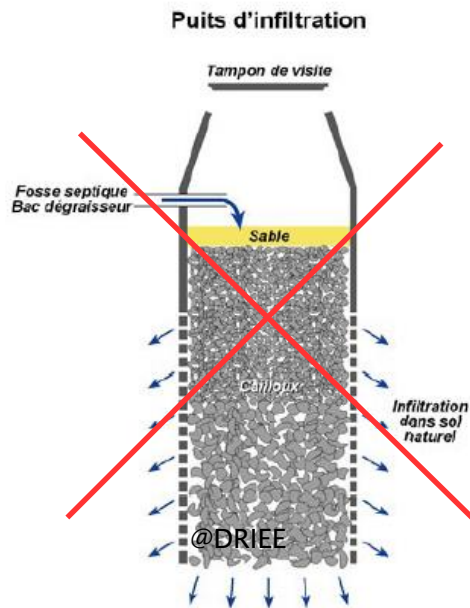
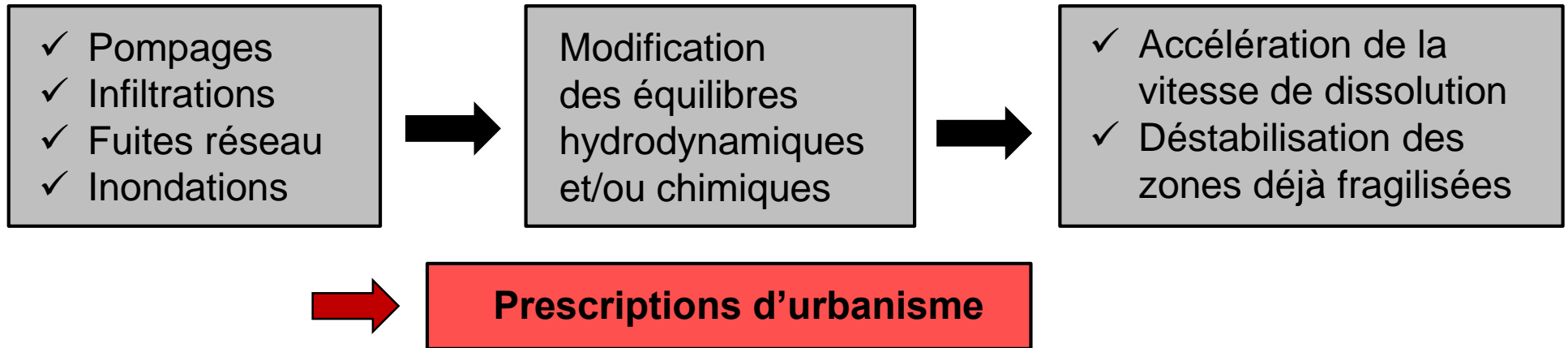
		Prédisposition		
		Peu sensible	Sensible	Très sensible
Intensité	Limitée	Faible	Faible	Moyen
	Modérée	Faible	Moyen	Fort
	Élevée	Moyen	Fort	Fort



Moyens de prévention

Gestion des eaux

⚠ Attention particulière ⚠

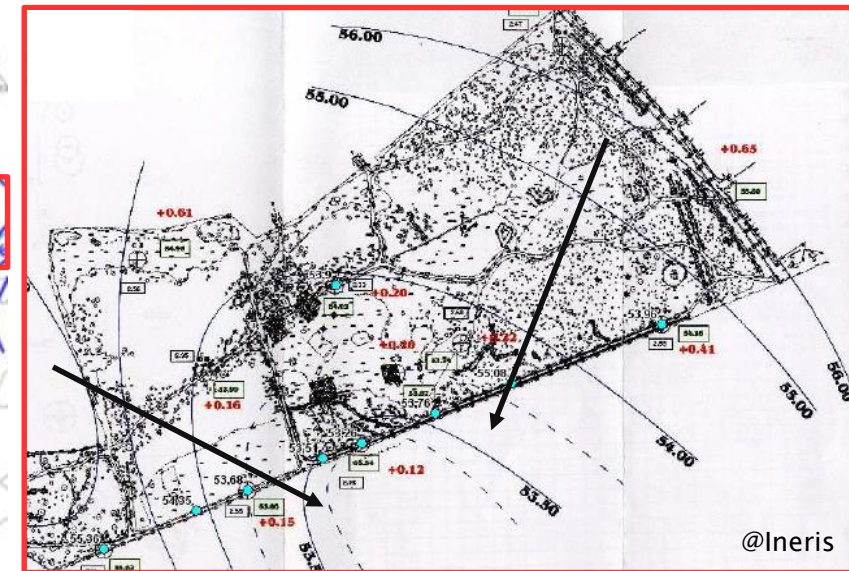
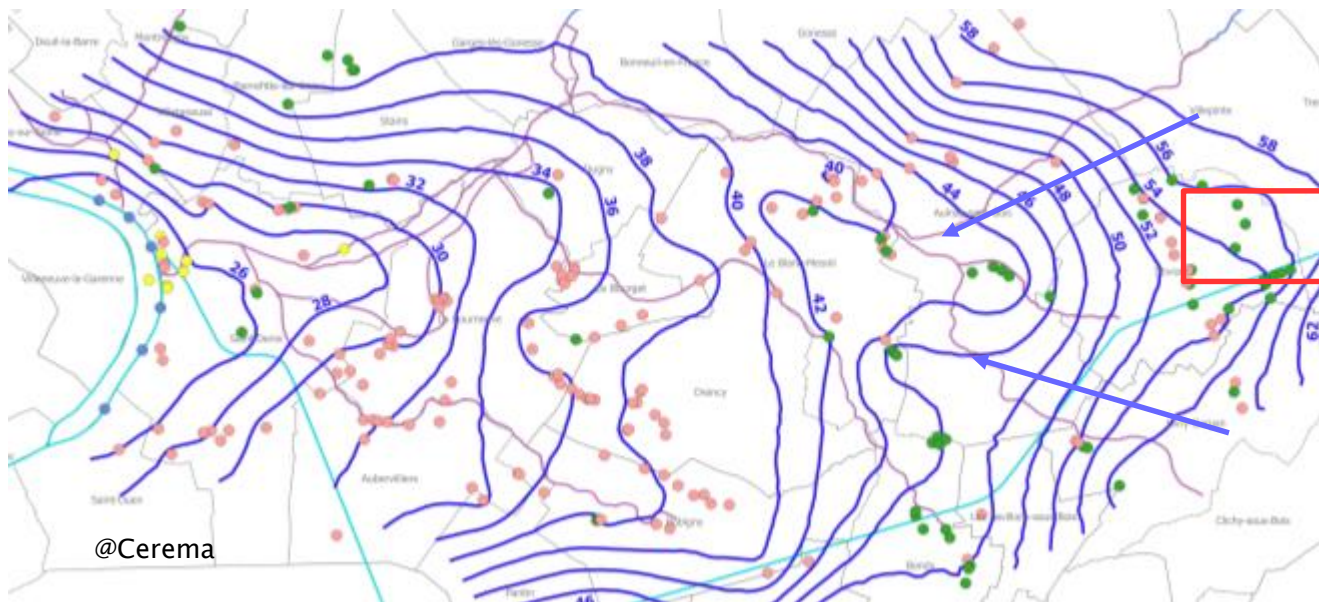


Moyens de prévention

Suivi piézométrique

Indication sur la localisation et l'évolution du phénomène de dissolution

- Axes de drainage
- Suivi de la conductivité des eaux

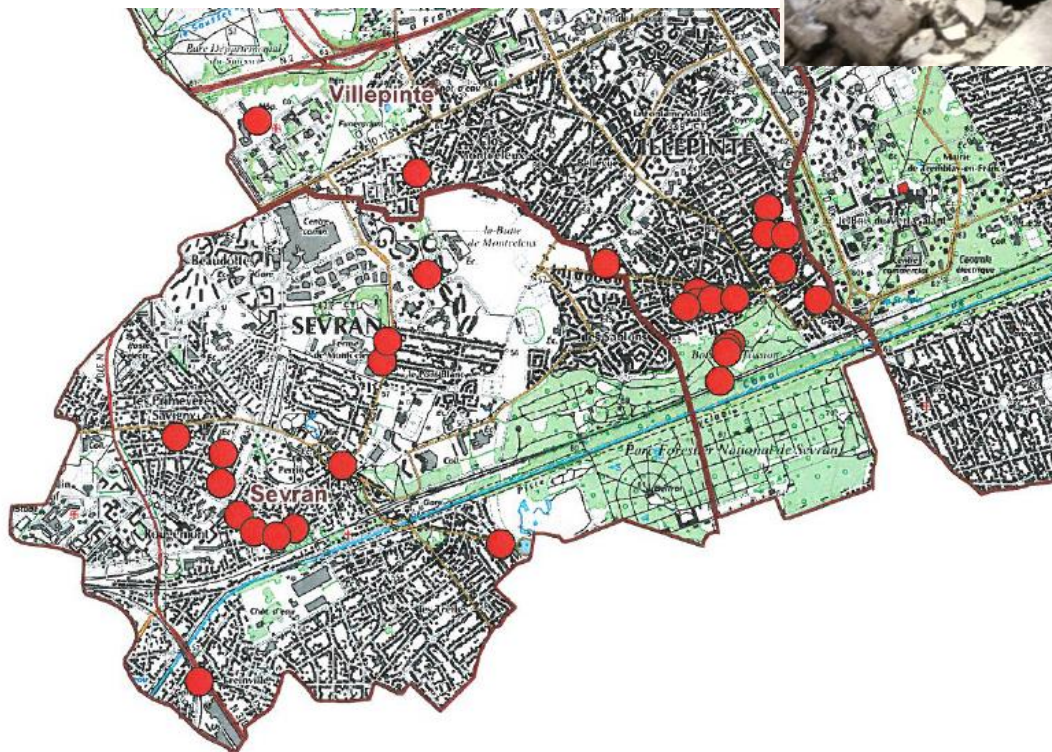


Moyens de prévention

Suivi des désordres

Caractériser et capitaliser les désordres survenus

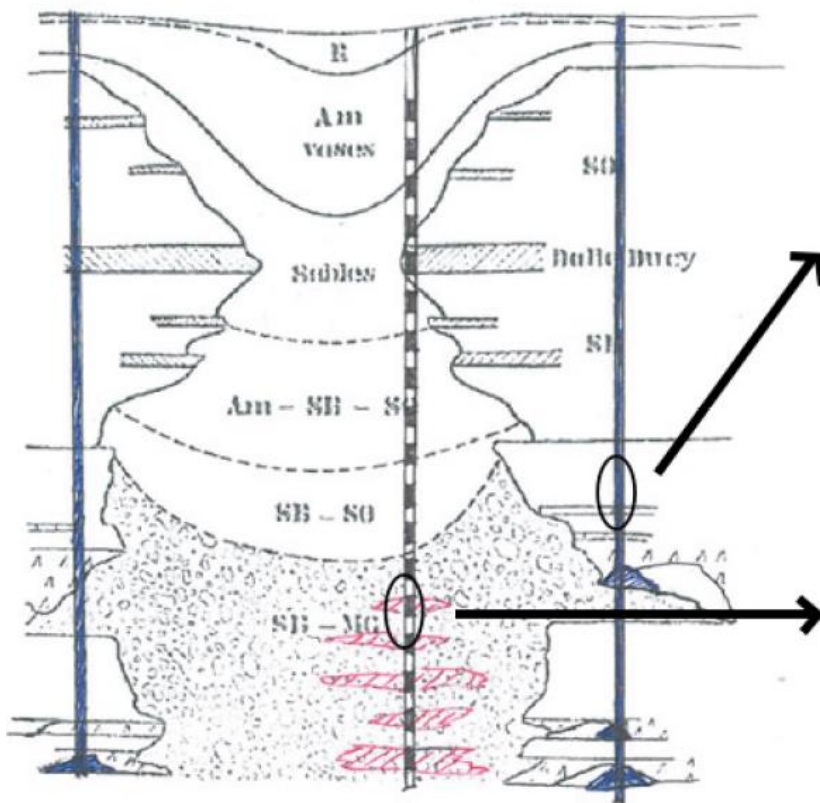
- Localisation
- Géométrie
- Date
- Circonstance d'apparition
- Coût des réparations
-



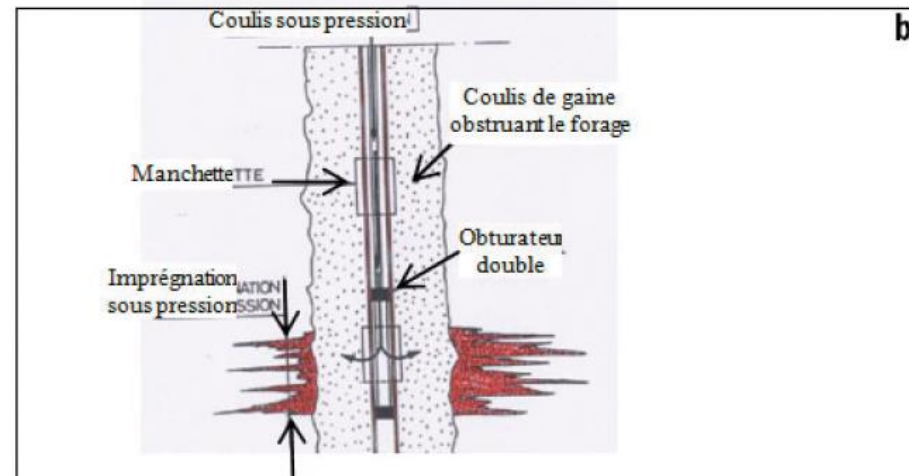
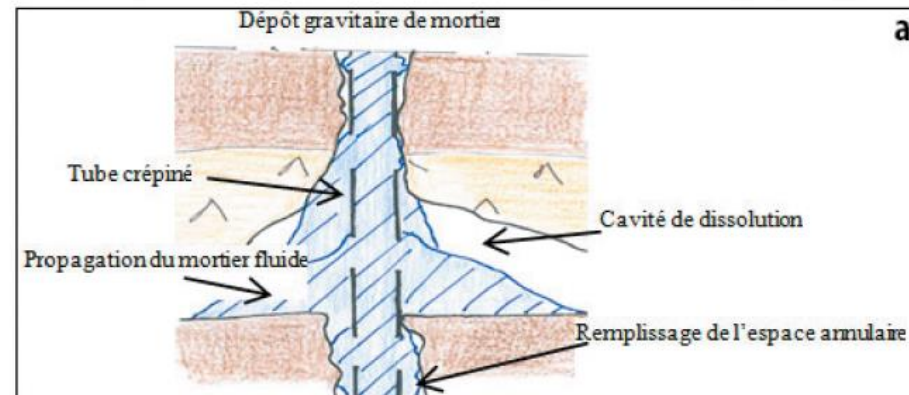
Mesures de protection

Injections

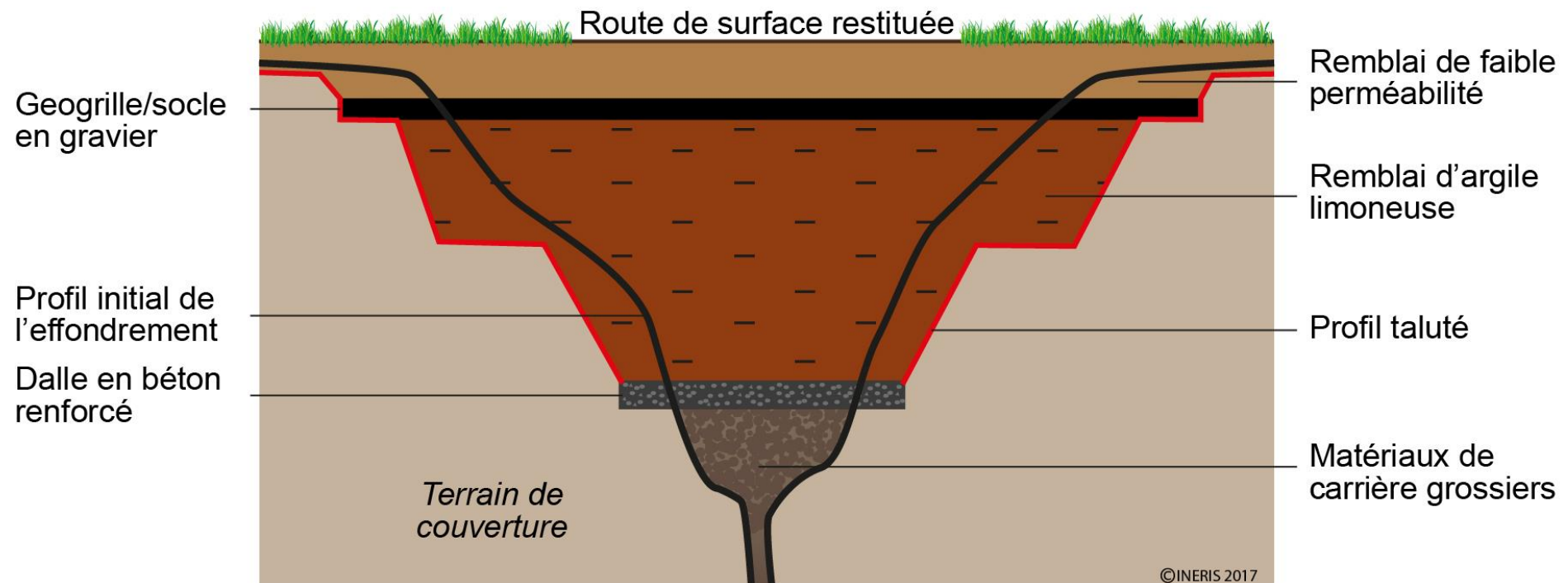
Objectif : combler ou consolider une zone de dissolution



Traitement par injection (Source : Cerema)

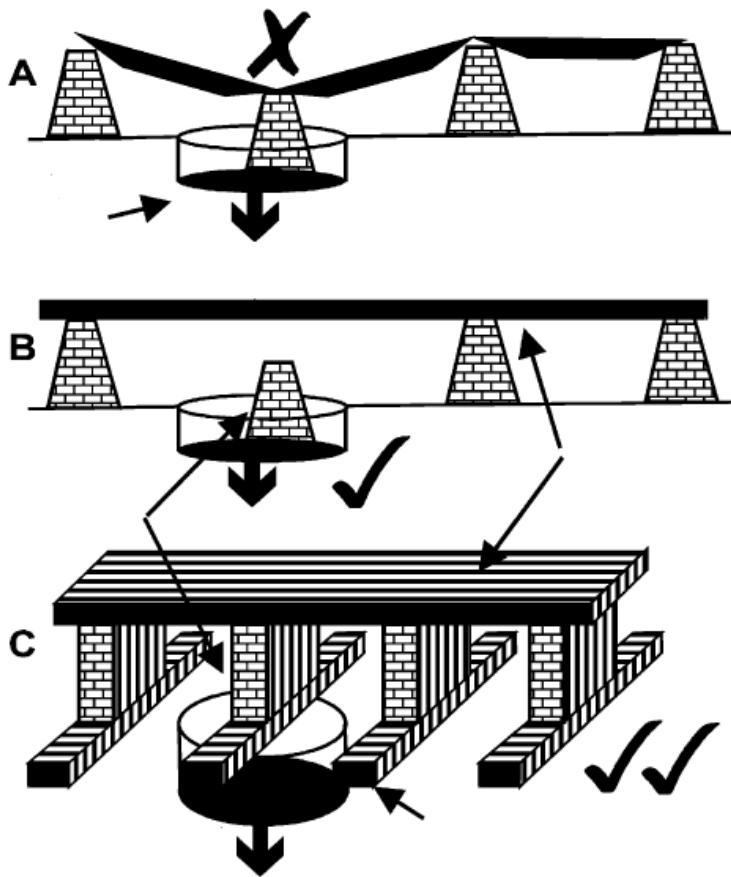


Objectif : mise en sécurité d'un effondrement en surface

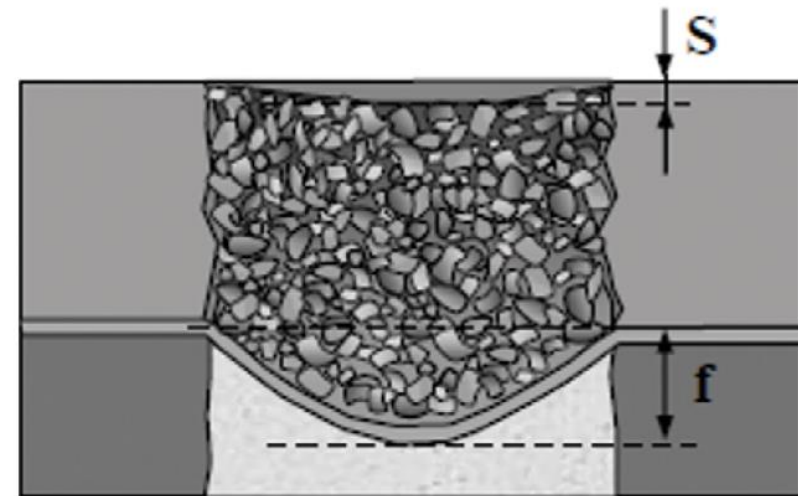


Remblaiement bloqué à sa base par une dalle en béton armée (D'après Bonaparte et Berg (1987) dans Waltham et al., 2005)

Objectif : rigidification ou absorption des déformations



Renforcement d'un tablier de pont (Cooper et al., 2002)



Mise en tension d'une géogridde au dessus d'une cavité (P. Villard, 2006)

MOYENS DE PRÉVENTION ET DE PROTECTION

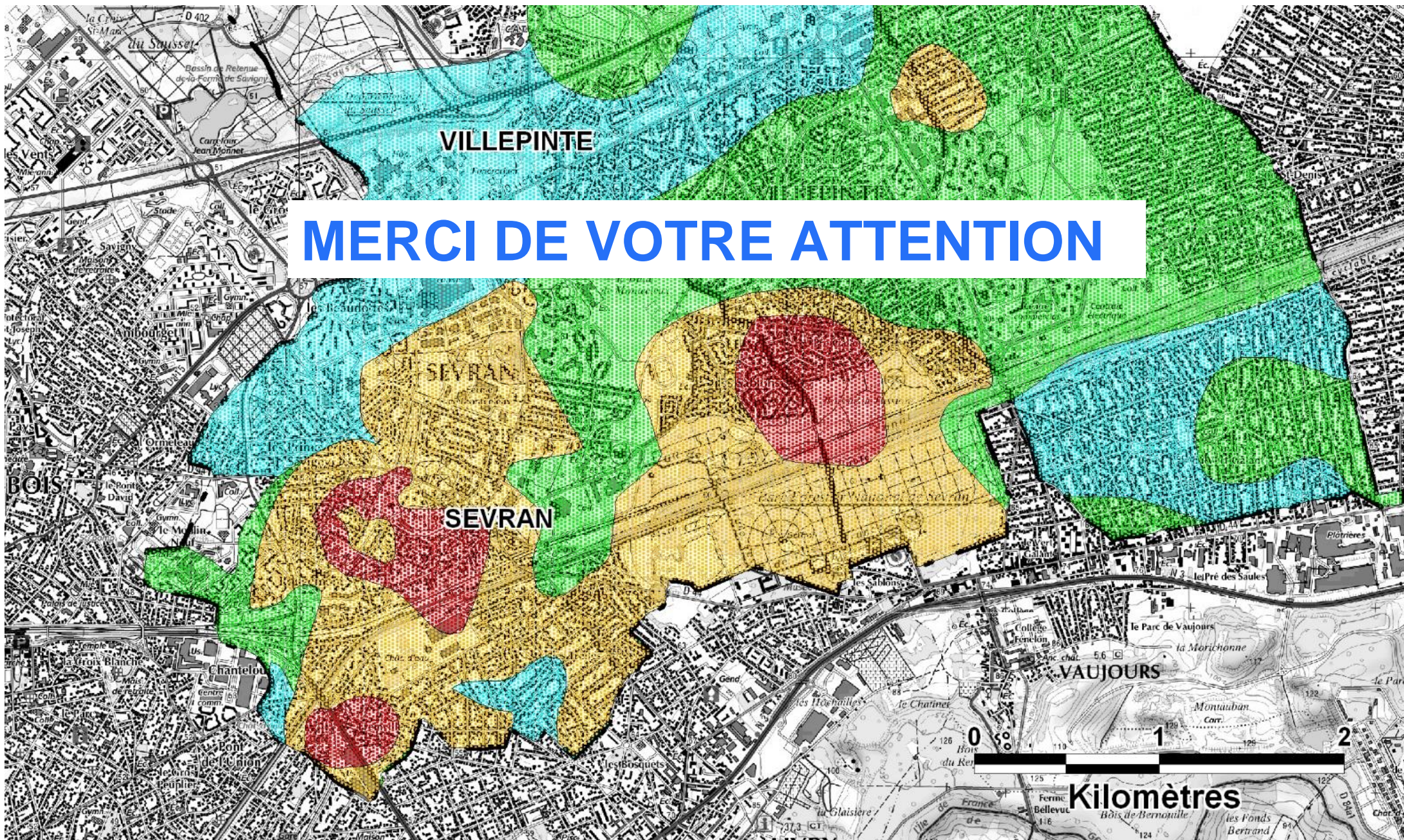
Méthodes de gestion du risque	Techniques	Coût	Faisabilité		Aléa résiduel	Risque résiduel	Observations
			Sur le neuf	Sur l'existant			
Mesures de prévention	Gestion des eaux	€	Aisée	Possible	=	=	Mesure à pérenniser dans le temps. Evite d'aggraver le phénomène. Dans certains cas, permet de diminuer le niveau d'aléa
	Suivi piézométrique	€	Aisée	Aisée	=	=	Mesure à pérenniser dans le temps
	Suivi des manifestations en surface	€	Aisée	Possible	=	=	Difficulté en milieu urbain
Mesures de protection	Injections / Traitement des sols	€€€	Aisée	Aisée	↘	↘	Incidence possible aux alentours
	Comblement en surface	€/€€	Aisée	Possible / Compliquée	↘	↘	Emprises importantes nécessaires
	Rigidification des structures	€€/€€€	Aisée	Possible / Compliqué	=	↘	Nécessite une bonne évaluation des phénomènes en amont
	Structure souple	€€	Aisée	Compliquée	=	↘	Peu envisageable pour l'existant Nécessite un suivi et d'éventuelles reprises

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

- Guide permettant de diffuser les connaissances acquises sur les **mécanismes en jeu** et sur la **démarche d'évaluation de l'aléa**
- Prise en compte de l'**EAU** dans l'évaluation de l'aléa permettant de nuancer les niveaux d'aléa sur certains territoires
- Les recherches en cours (INERIS et Cerema) ont pour objectif d'améliorer les connaissances sur les mécanismes en jeu
 - Effets de travaux d'aménagement du sous-sol en zone gypsifère (Expérimentations in situ et en labo + modélisations numériques)
 - Thèse en cours sur le rôle du transport particulaire dans le processus de création de vide lors de la dissolution du gypse
 - Impact hydrogéologique des pratiques de gestion des eaux pluviales

Lien de téléchargement du guide

https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/Guide_Gypse_A4_V10_web.pdf



MERCI DE VOTRE ATTENTION

Kilomètres