

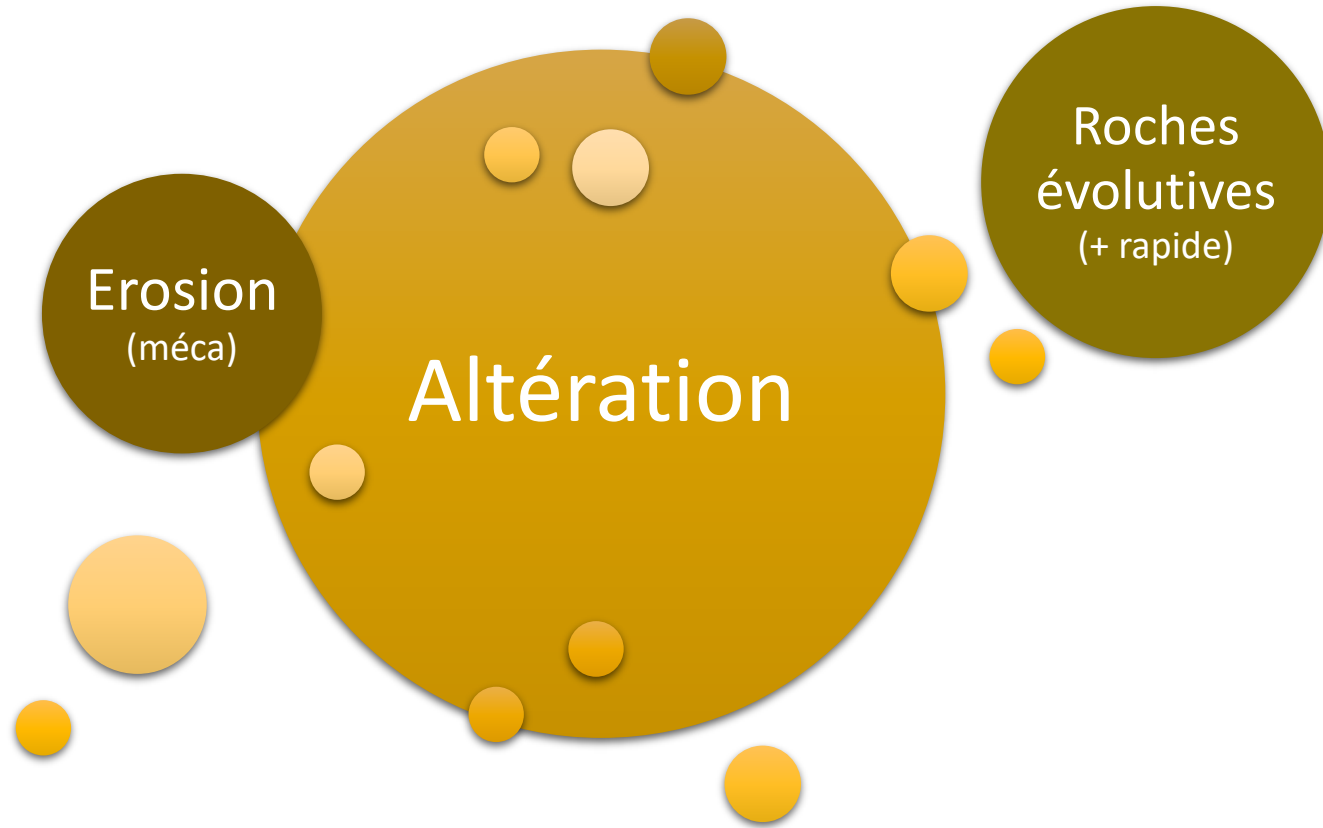
Jeudi 3 décembre 2020

Journée technique CFGI : « Les terrains évolutifs »

Compte-rendu de la journée d'étude SBGIMR du 21/11/2019

# Construire sur des roches altérées / évolutives

Fanny Descamps



- Quelles préoccupations?
  - Reconnaissance et caractérisation : sol ou roche? profondeur? Propriétés?
  - Dimensionnement de géostructures : paramètres? Évolution dans le temps? Hétérogénéités?
  - Risques : instabilités de talus, effondrement
  - Mais aussi des opportunités: terrassement

# Construire sur des roches altérées / évolutives

Les problèmes géotechniques associés à la présence de roches altérées ou évolutives sont courants, mais souvent difficilement appréhendables.

Cette journée d'étude se propose de dresser un état des lieux des types d'altération rencontrés en fonction de la lithologie des terrains, mais aussi de répondre au travers d'une série de cas d'étude à des questions essentielles pour un ingénieur géotechnicien comme les possibilités de mise en évidence et d'évaluation du risque, le dimensionnement d'ouvrages géotechniques dans de tels contextes géologiques.

09:20 Accueil et mot de bienvenue

09:30 Introduction générale (P. Gerard, ULB et L. Delhaye, BESIX)

## 1ère Partie : Roches calcaires

09:40 Différents types d'altération des calcaires et lien avec les propriétés mécaniques de la roche (O. Kaufmann, UMONS)

09:50 Méthodes de détection et de caractérisation de l'altération des roches calcaires (F. Collin, ULiège et S. Delvoie, SPW)

10:05 Case studies : Altérations des roches calcaires sous couverture, imagerie 2D, 3D et sous fondations (O. Kaufmann, UMONS)

10:30 Questions-réponses

10:40 Pause-café

## 2ème Partie : Les Craies

11:10 Définition et genèse, reconnaissance et particularités des craies altérées (C. Schroeder, CES Consult)

11:25 Case study: Les écluses de Lanhaye (B) et Limmel (NL) dans le contexte des craies du Secondaire

(X. Raucroix et K. Watzeels, BESIX)

11:50 Questions-réponses

12:00 Lunch

◀ Grès du Luxembourg, tranchée du funiculaire « Pont-Rouge » à Luxembourg-ville ▶



## 3ème Partie : Roches marneuses et argileuses

13:00 Genèse et particularités de l'altération des roches marneuses et argileuses (J. Yans, UNamur)

13:15 Caractérisation en laboratoire des roches argileuses (R. Charlier, ULiège)

13:25 Case study: Liaison Esch-Micheville: illustration d'un cas particulier de roche altérée et évolutive: les argilites marneuses du Toarcien (S. Gruslin, GeoConseils)

13:45 Case study: Creusement au Luxembourg de deux tunnels de grande section, supérieure à 120 m<sup>2</sup> (Grouff et Stafelter) dans une géologie complexe (grès du Luxembourg, marne, venue d'eau, avec localement de l'anhydrite (S. Hick, BAM Lux)

14:05 Case study: Gestion d'instabilité de talus en phase de chantier (S. Geeninckx, SPW et N. Charue, GeoCos)

14:25 Questions-réponses

14:35 Pause-café

## 4ème Partie : Altérations d'ailleurs

15:05 Quelques phénomènes d'altération à travers le monde et leurs conséquences dans le monde de la construction (L. Delhaye, BESIX)

## 5ème Partie : Sables bruxelliens

15:30 Altérations des sables bruxelliens : genèse et méthodes de reconnaissance (C. Trève, CT-GeoConsult)

15:40 Case study : Illustration sur différents chantiers des phénomènes de calcification et décalcification des sables bruxelliens (J. Deceuster, CFE)

16:00 Questions-réponses

16:10 Conclusions et perspectives : Vers une cartographie de l'altération des roches en Belgique ? (R. Charlier, ULiège et J. Yans, UNamur)

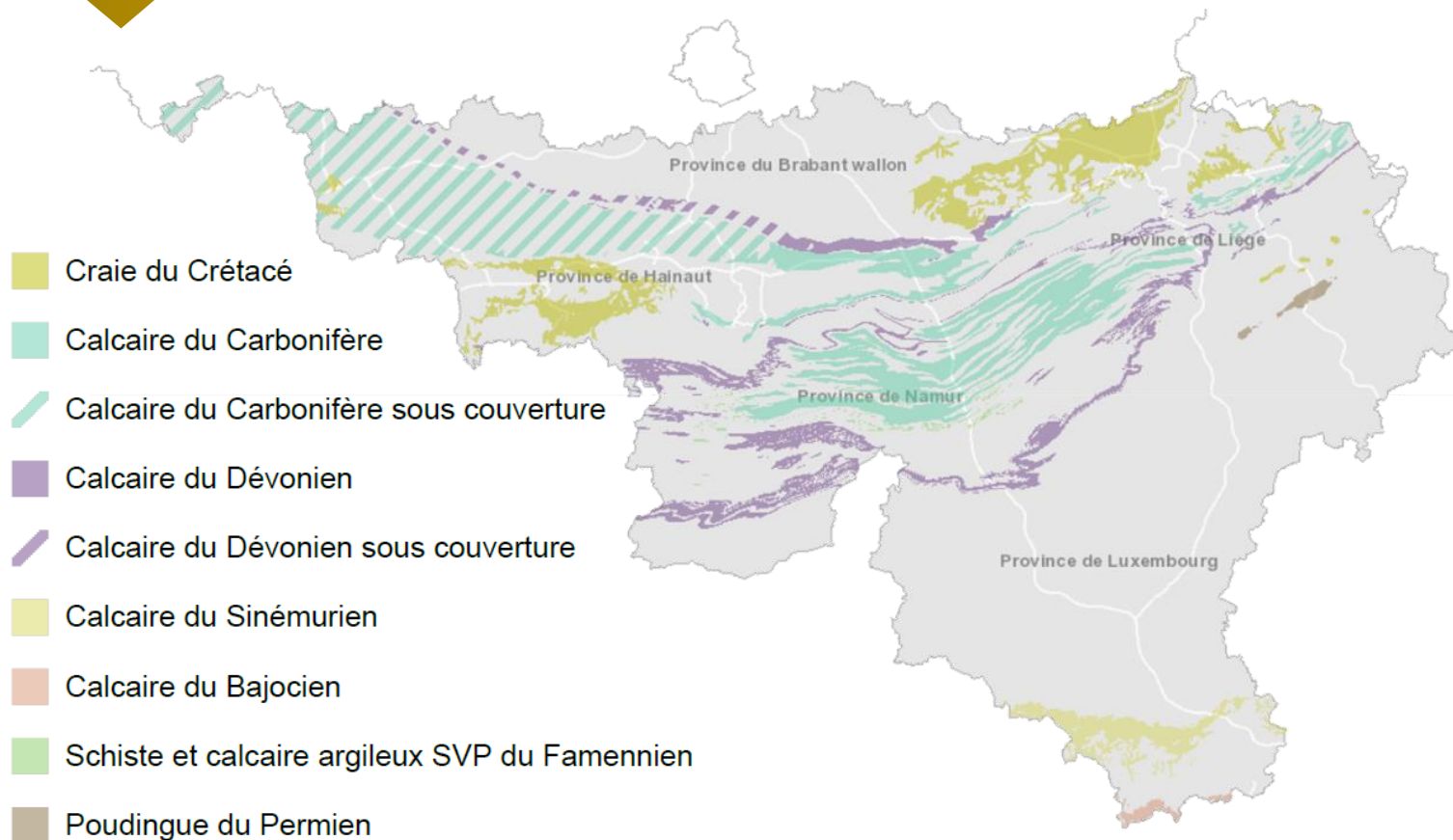
16:25 Verre de l'amitié

Grès du Luxembourg, élargissement d'une tranchée rocheuse existante à Luxembourg-Cents ▶



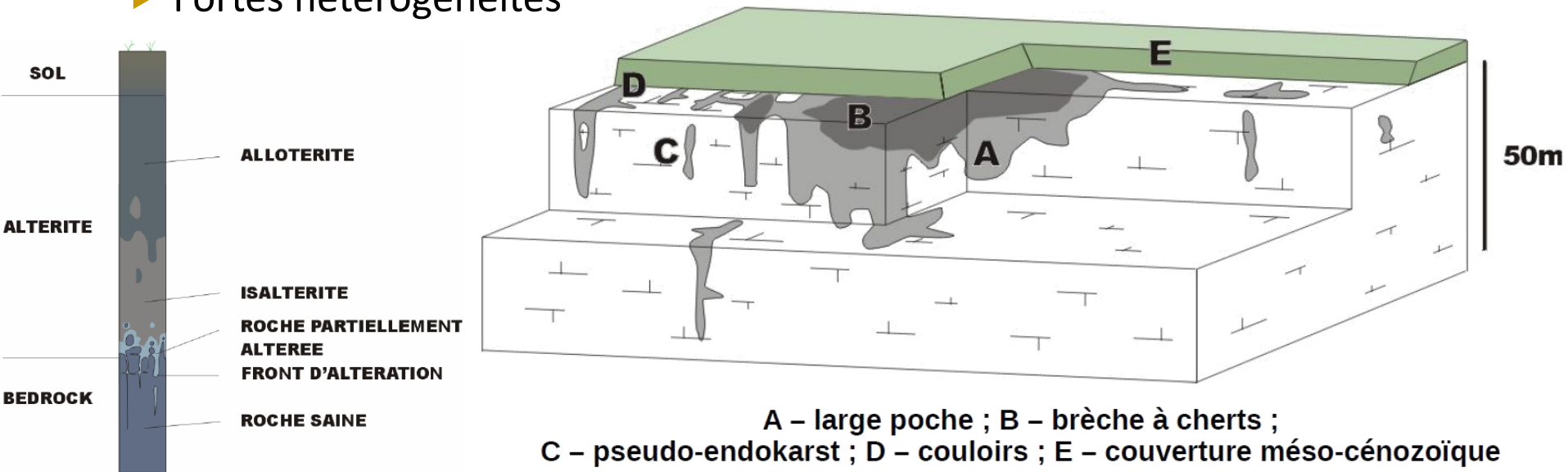


# Calcaires

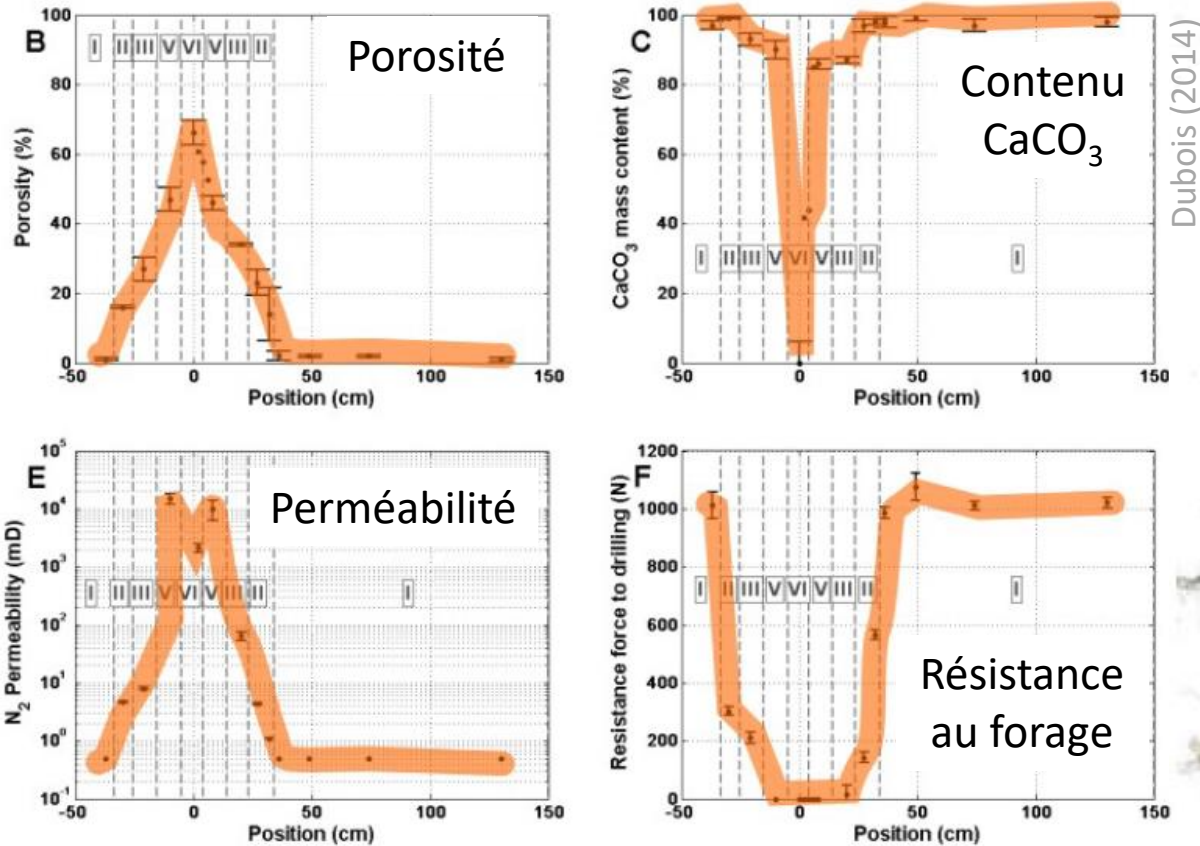


# Altération des calcaires

- Formes karstiques
- Géométrie complexe du contact altérite/roche saine : pinacles, pitons et couloirs, blocs flottants, surplombs, cavités, brèches à cherts
- ▶ Fortes hétérogénéités



# Caractérisation de l'altération des calcaires

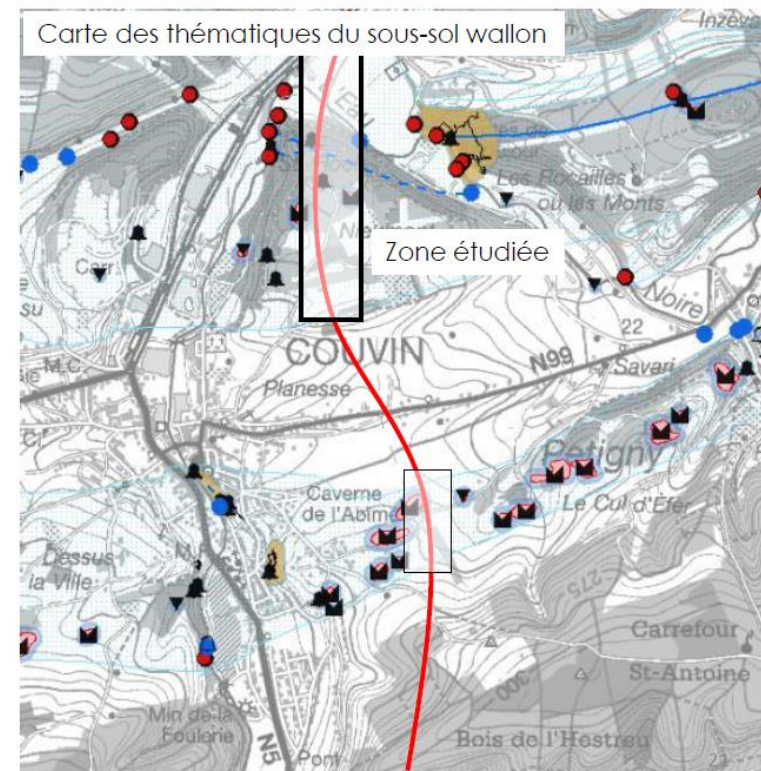
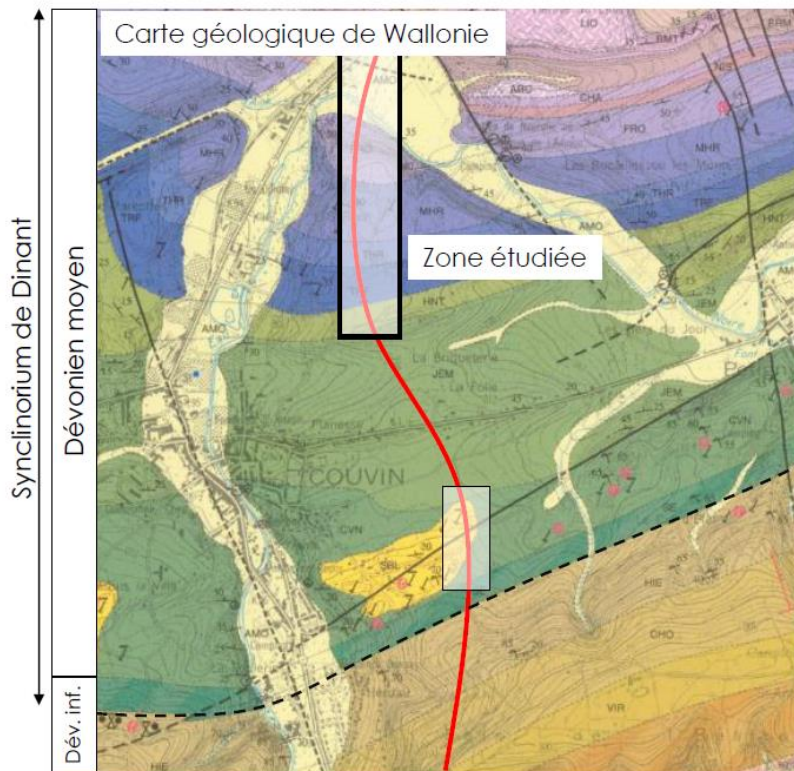


Variations latérales rapides et importantes des propriétés



# Roches calcaires : méthodes de détection et de caractérisation

- Informations initiales : cartes géologiques, bases de données carto. thématiques, visites de sites



# Roches calcaires : méthodes de détection et de caractérisation

## ■ Investigation géotechnique

- Essais de pénétration
- Forage diagraphique

## ■ Investigation géophysique

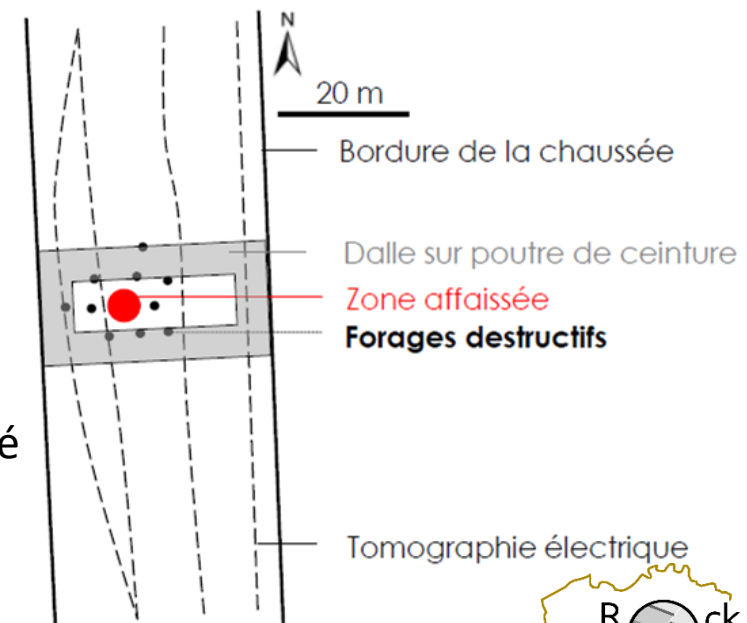
- Tomographie électrique
- Sismique

## ■ Exemple: contournement de Couvin

- Tronçon autoroutier en déblais
- Cavités jusqu'à + 25m de profondeur
- Très hétérogène
- Combi forages destructifs et tomo résistivité
- Solution : dalle sur poutre de ceinture

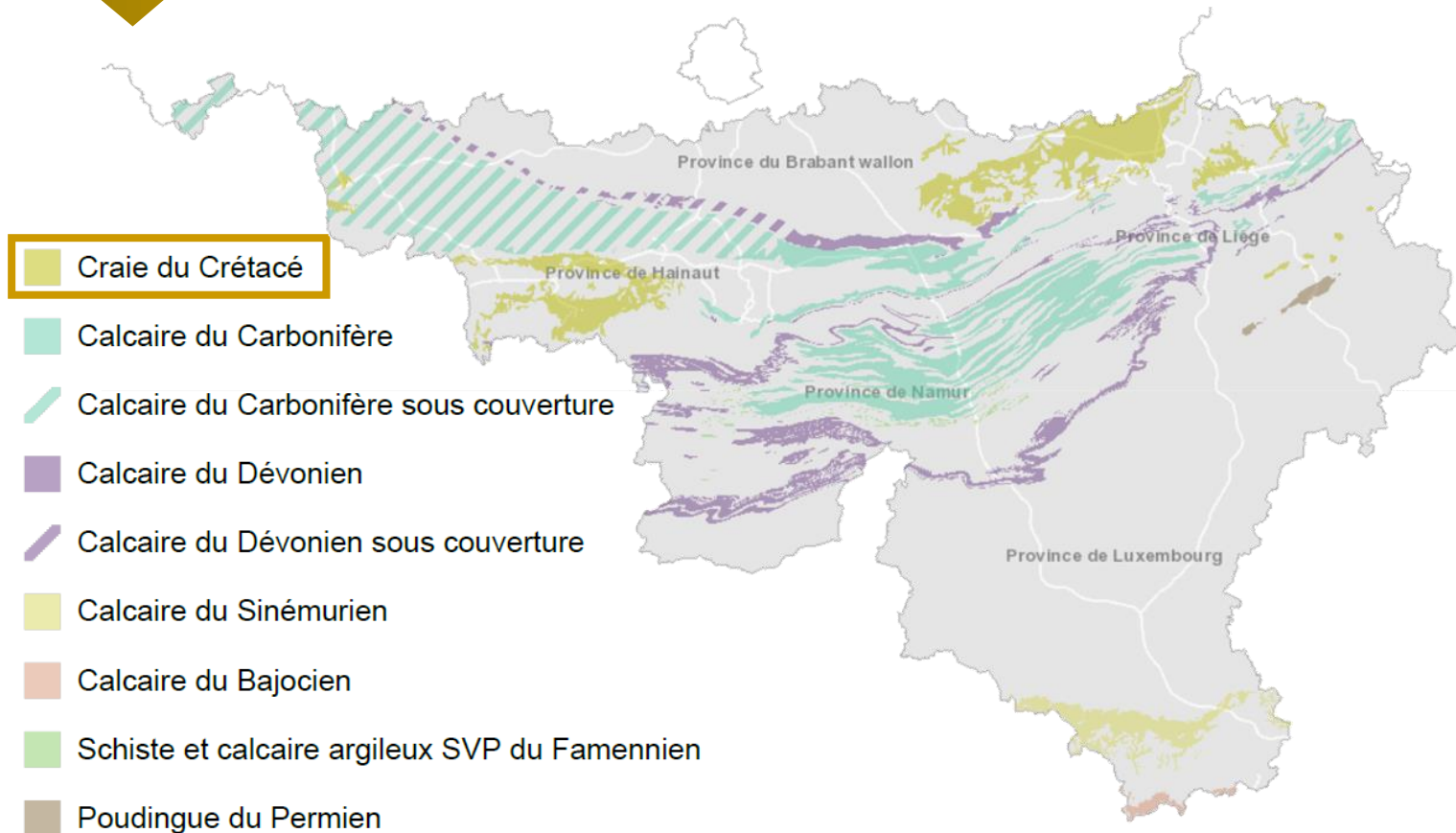


Combiner les méthodes  
+  
Suivi de chantier

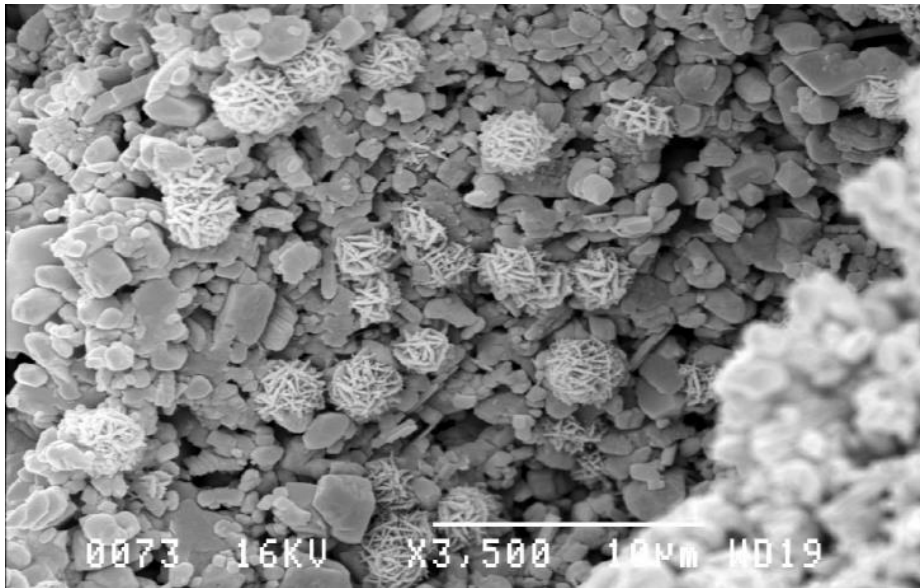




# Craies



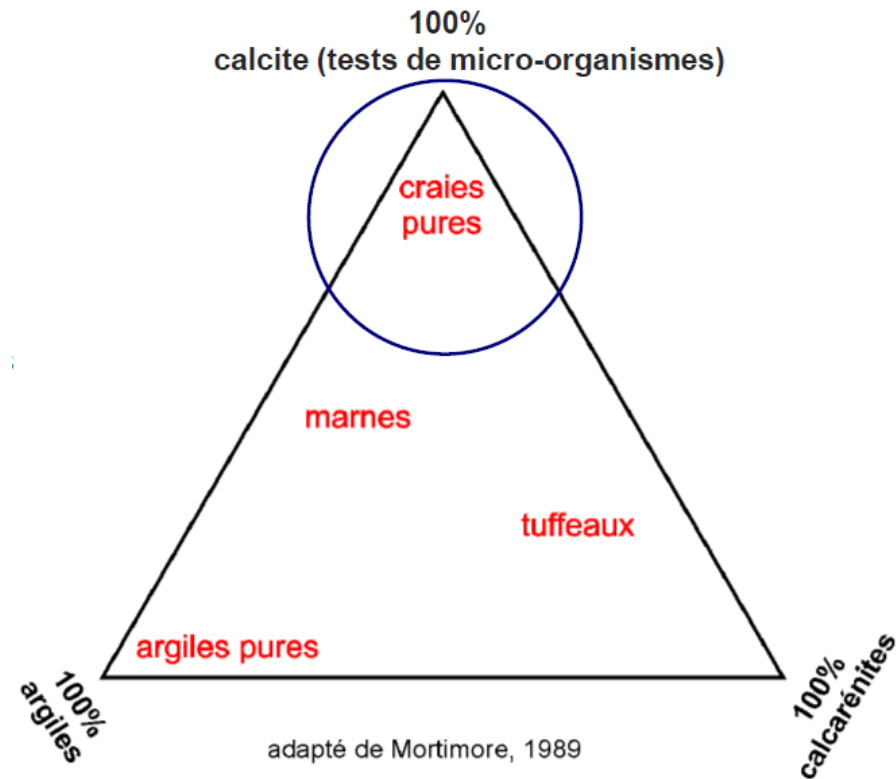
# Les craies



« Chalk is a fascinating material,  
which has still not revealed all its secrets »

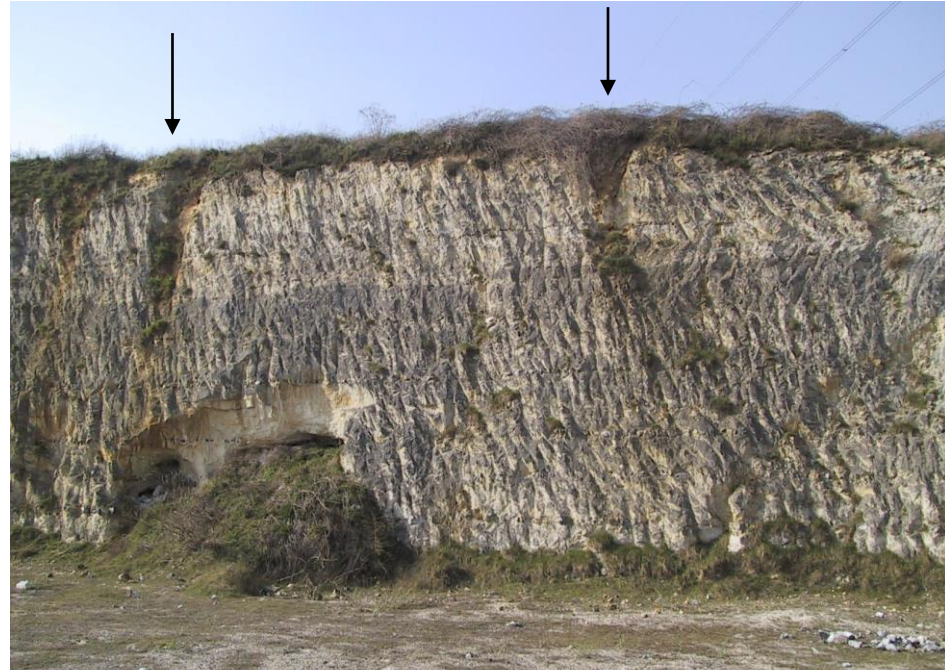
« La craie est un matériau fascinant,  
qui ne nous a pas encore révélé tous ses secrets »

Rasmus Risnes



# Altération chimique des craies

- Phénomènes karstiques
- Ouverture des réseaux de fissures et « conduits karstiques » → circulation des eaux + entrainement de particules (suffosion)
- Densité ↘ et donc résistance ↘
- Parfois en quelques mois !



Cheminées karstiques sur un affleurement de tuffeau



# Altération mécanique des craies



Bundy (2013)

- Faible perméabilité de la matrice
  - sollicitation mécanique rapide
  - surpressions interstitielles
  - rupture des liaisons intergranulaires "physiques" ("ponts de calcite")
- Exemples:
  - Production de craie chez les pétroliers
  - Blocs tombés d'une falaise
  - Cycles de gel-dégel



Interprétation des résultats de forage !!!



# Classification des craies altérées

## Classification CIRIA

Degré de fracturation

Espacement des fractures

Densité



Craie compacte et résistante (forage rotary)



Craie destructurée et à l'état de pâte (vibrofonçage)





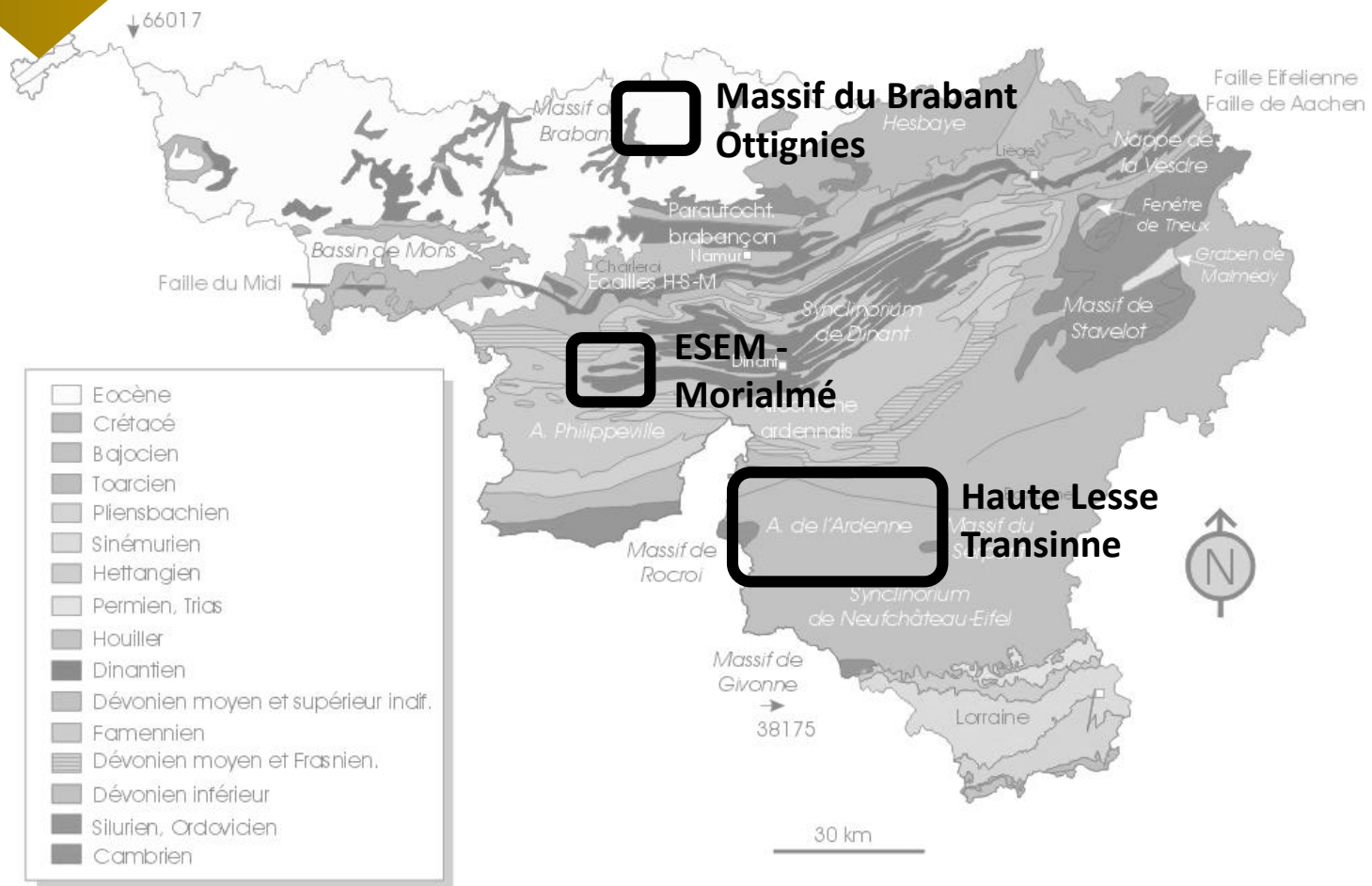
# Etude de cas : les écluses de Lanaye (BE) et Limmel (NL)

- Entre Liège et Maastricht
- Formations de Gulpen et Maastricht: craies et calcarénites fines à grossières, avec de nombreux niveaux de silex intercalés



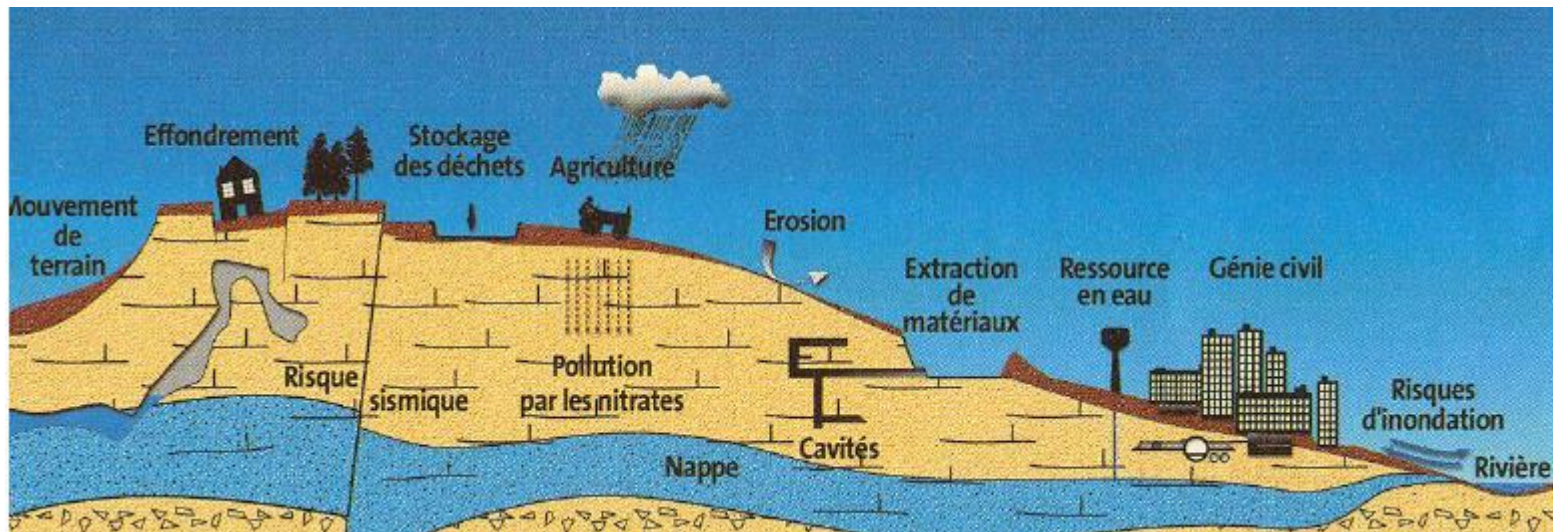


# Roches marneuses et argileuses

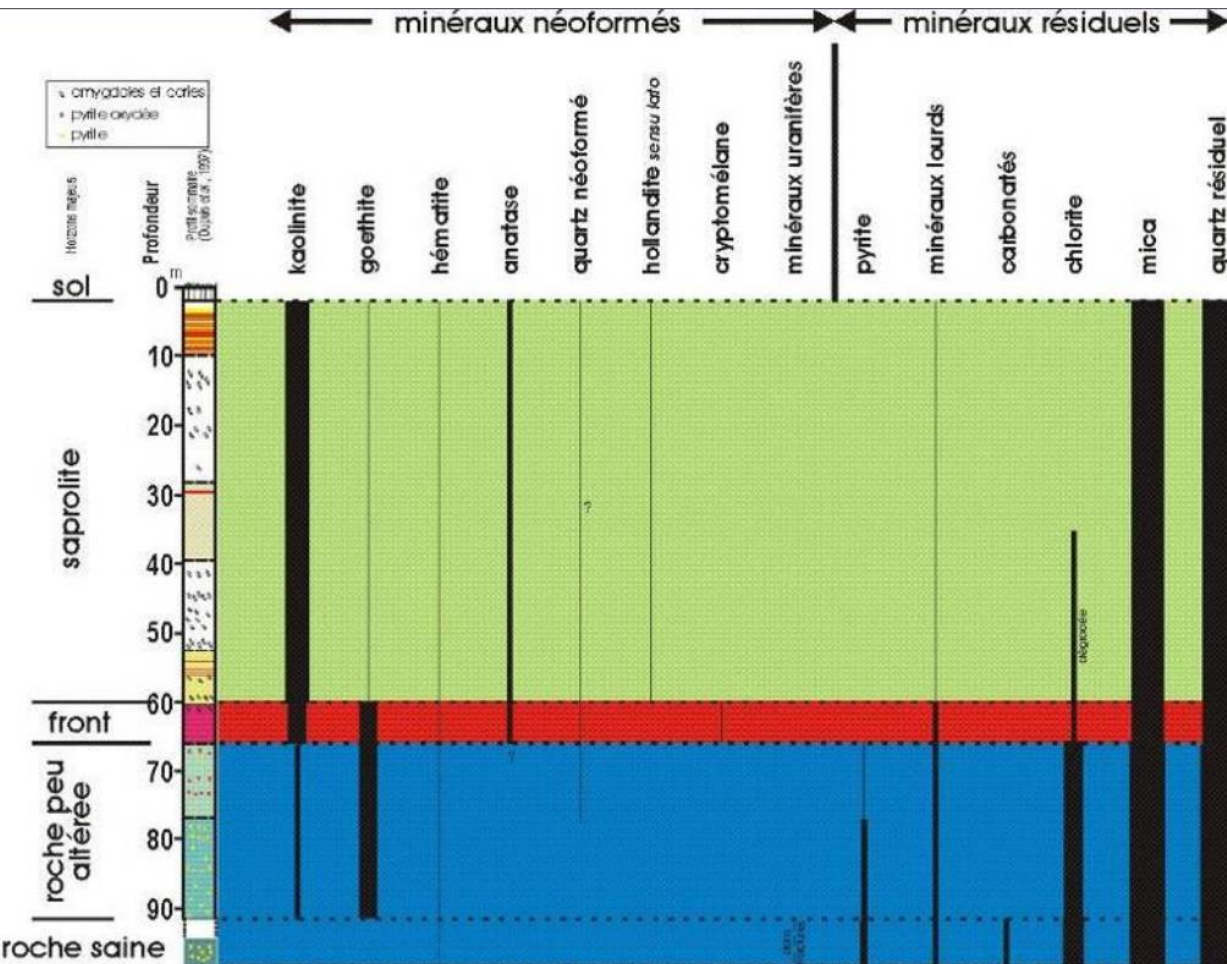


# Roches marneuses et argileuses

- Processus d'altération météorique – paramètres:
  - Protolithe (roche mère: sulfures, carbonates, silicates)
  - Fracturation – géodynamique
- Intérêt d'une étude en lien avec les activités :



# Roches marneuses et argileuses

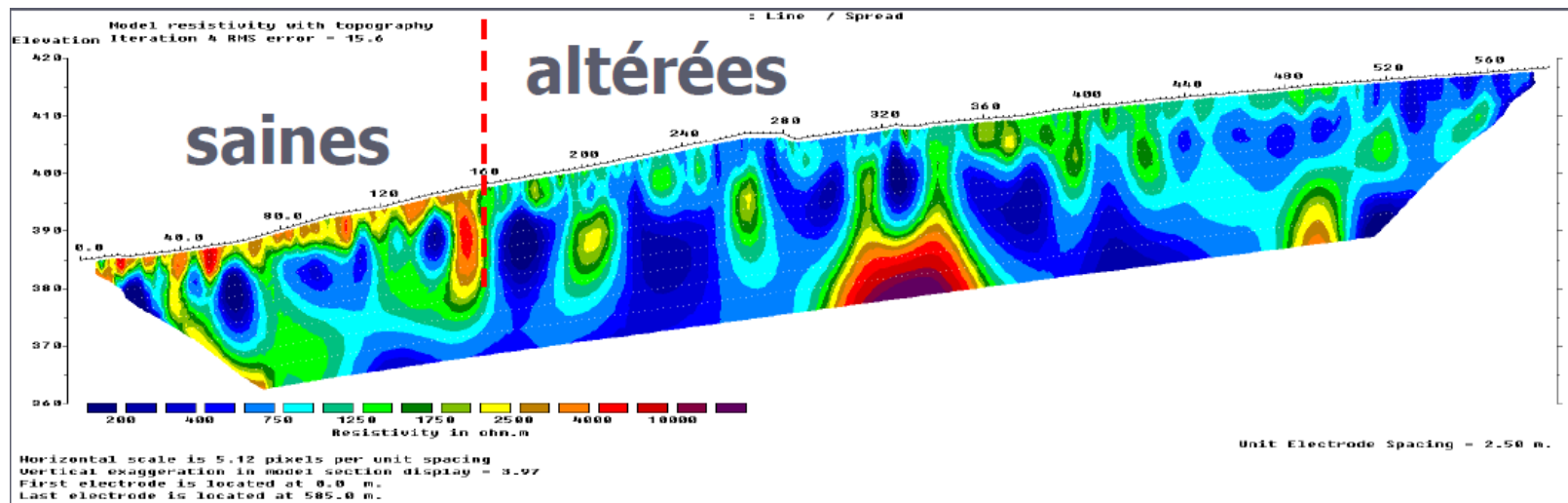
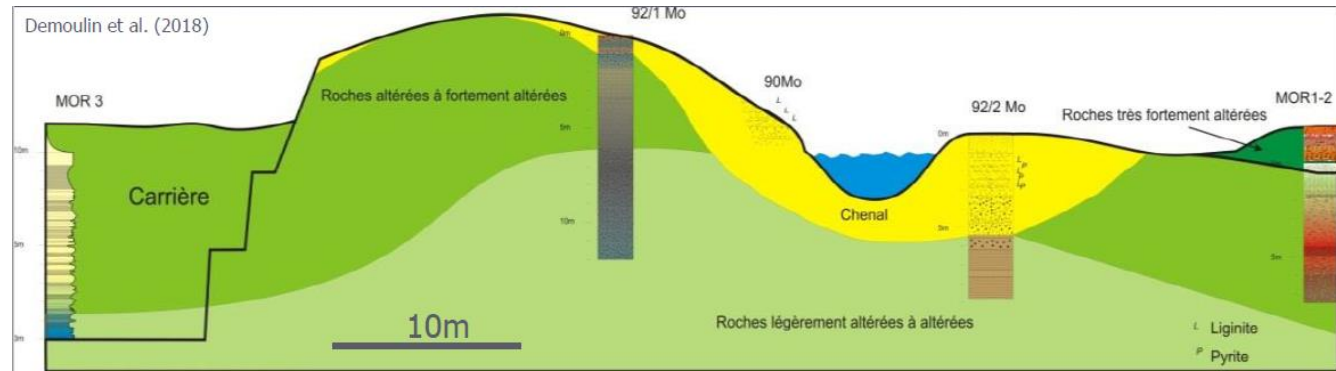


- Réactions chimiques : acidification, neutralisation, etc.
- Indices d'altération basés sur les proportions d'oxydes
- Analyses minéralogiques : minéraux résiduels vs néoformés



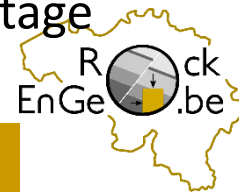
# Cartographie

- Terrain: affleurements, carrière
- Topographie
- Tomographie électrique



# Caractérisation en laboratoire de roches argileuses altérables

- Enjeu : caractériser des roches... qui se dégradent rapidement
- **Prélèvement** de roche ou de sol en modifie l'état : forage, transport, conservation, usinage
  - Décompression – ouverture de pores – sciage ...
  - Déformation d'extension = moteur de l'endommagement dans les bétons et les roches
  - Création d'une succion liée à l'augmentation de volume
  - Teneur en eau : forage à l'eau, séchage – succion
  - Oxydation de certains minéraux : entrée d'air dans les fissures et les plus grands pores
- La **conservation** doit minimiser les modifications : emballage étanche et durable, parfois conservation sous contrainte (cellules T Andra)
- La **préparation** de l'échantillon avant le test en modifie l'état : carottage à l'eau, séchage pendant la taille ...



# Caractérisation en laboratoire de roches argileuses altérables

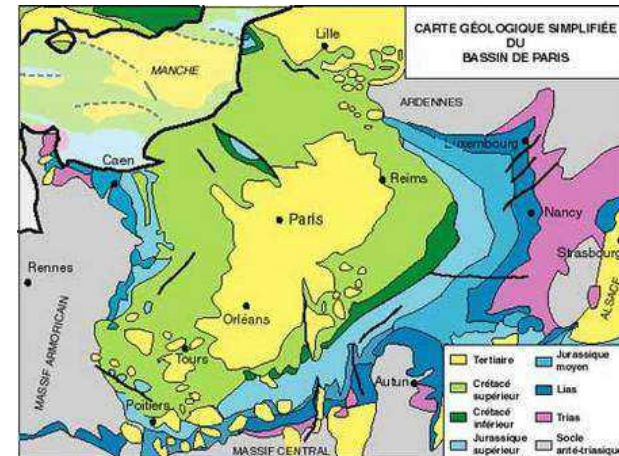
- La dégradation des roches argileuses est un phénomène rapide, avec une échelle de temps similaire à celle d'un chantier.
- Mesurer les propriétés mécaniques et hydrauliques de la roche intacte demande de prendre des précautions pour limiter la dégradation du matériau avant et pendant l'essai proprement.
- Mesurer la dégradabilité ou un degré de dégradation d'une roche argileuse reste une question très ouverte, un beau sujet de recherche.





# Liaison Esch-Micheville, étude de cas dans les argilites marneuses du Toarcien

- Argilites marneuses de Toarcien (« Schistes bitumineux »):
  - Lorraine
  - Lorraine belge
  - G-D. de Luxembourg
- Caractérisation lithologique et géotechnique
- Problématiques liées à l'altération:
  - Gonflement par oxydation de la pyrite et formation de gypse (avec exemples de sinistres en Lorraine (Nancy), en Belgique (Athus) et au Luxembourg (Bettembourg, Dudelange, ...))
  - Retrait-gonflement des argiles d'altération
  - Eaux souterraines agressives par rapport au béton (sulfates)



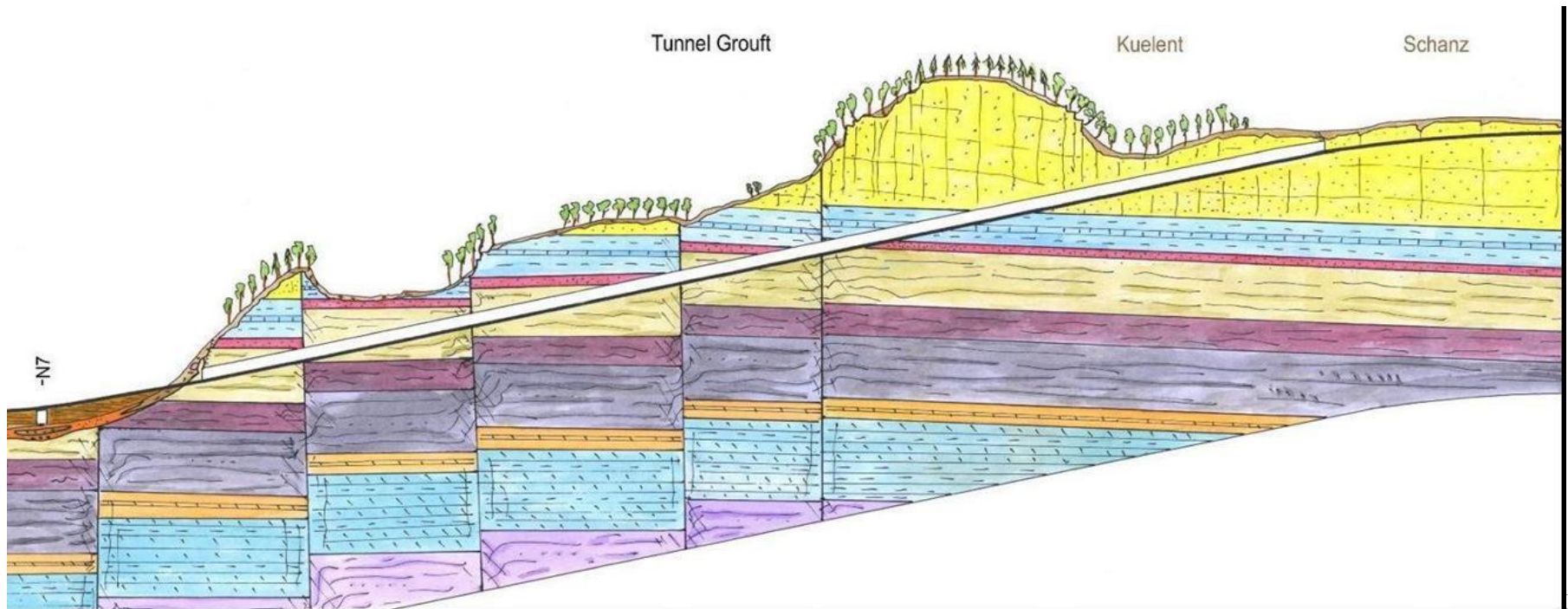
# Liaison Esch-Micheville, étude de cas dans les argilites marneuses du Toarcien

- Liaison autoroutière entre Esch/Alzette (Luxembourg) et Micheville (France)
  - Présentation des investigations géotechniques réalisées (forages carottés, diagraphies en forage, essais en laboratoire, etc.)
  - Problématiques rencontrées malgré les précautions prises:
    - Fissuration de dalles en béton (gonflement)
    - Autocombustion des schistes bitumineux stockés sur le chantier



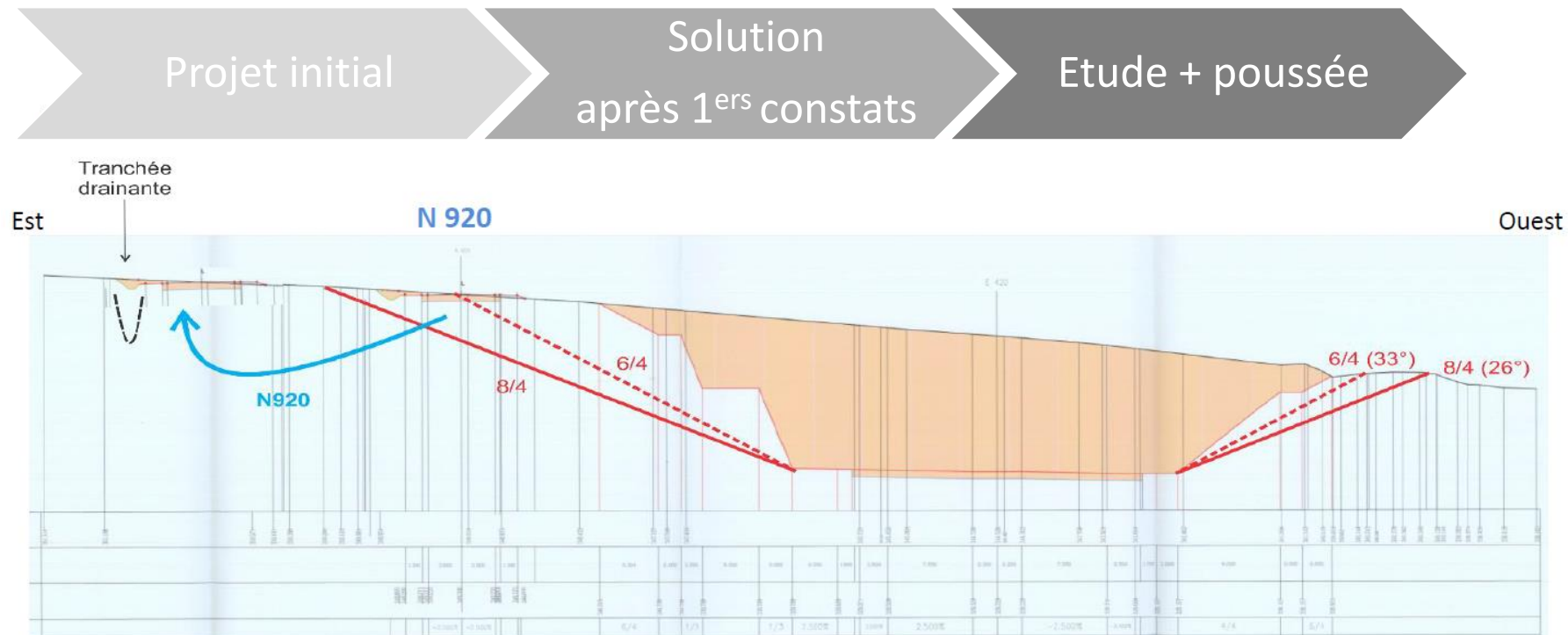
# Creusement au Luxembourg de 2 tunnels de grande section dans des marnes et grès

- Tunnels du Grouft et Staffelter
- Section excavée 2 voies: 80 à 118 m<sup>2</sup>
- Section excavée 3 voies: 102 à 170 m<sup>2</sup>





# Gestion d'instabilité de talus en phase de chantier... Retour sur le contournement de Couvin



# Gestion d'instabilité de talus en phase de chantier... Retour sur le contournement de Couvin



# Sables bruxelliens

- Décalcification
- Altération quaternaire

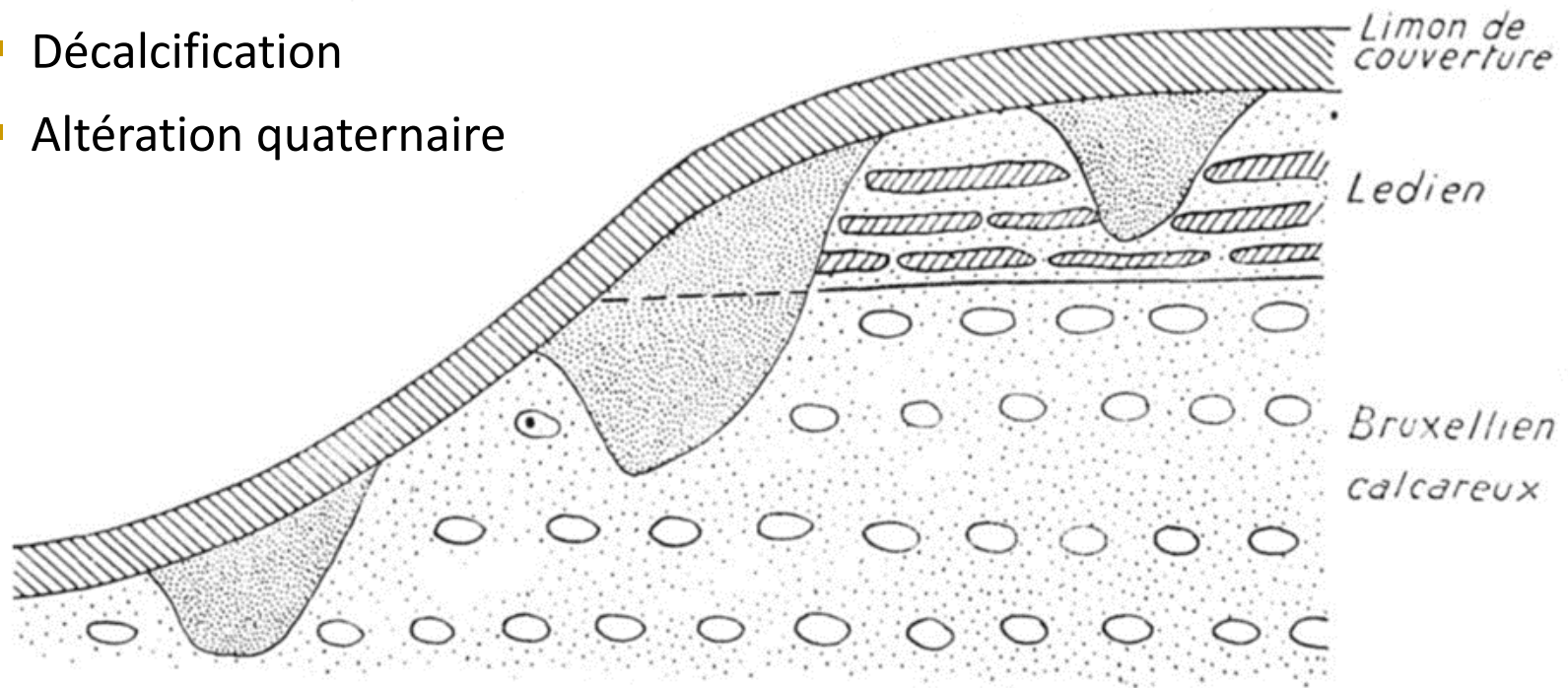
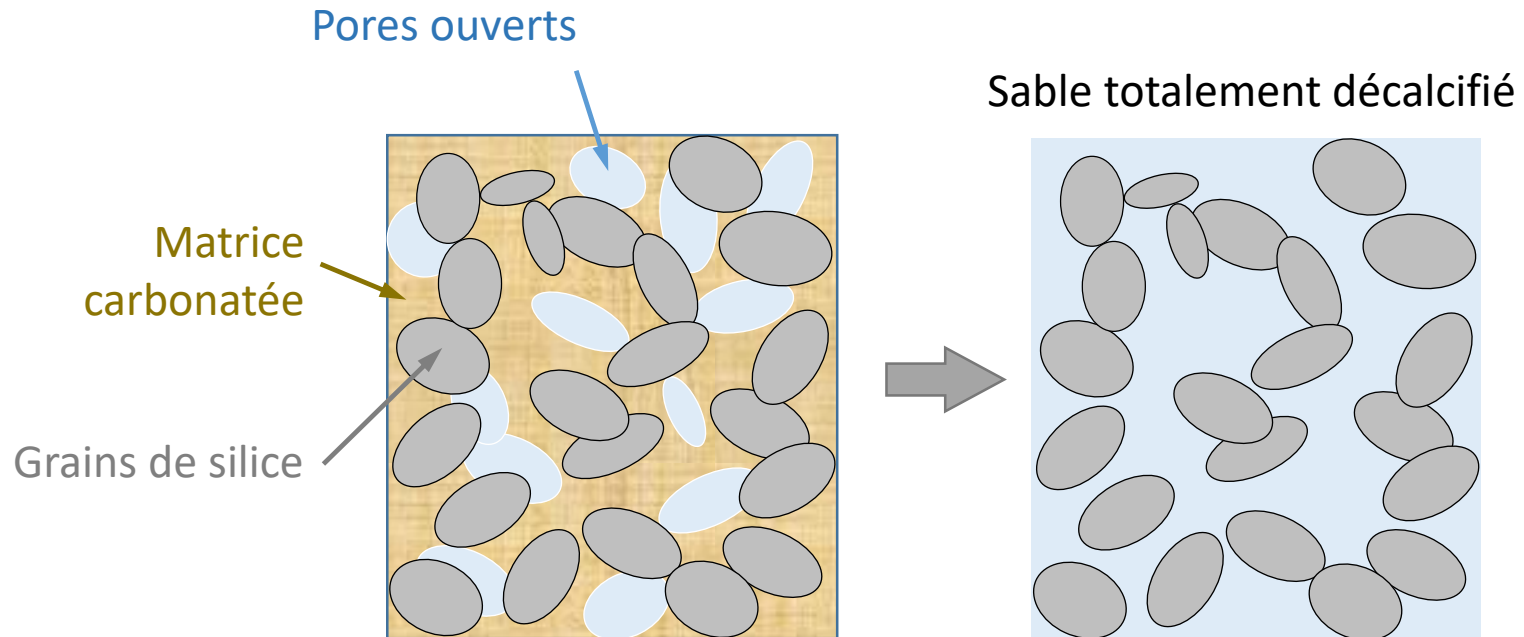


Schéma de poches de dissolution dans le Ledien et le Bruxellien



# Altération quaternaire : décalcification



Teneur en  $\text{CaCO}_3$  (sur 171 analyses)

Référence : Cartes géotechniques Bruxelles

Maximum	48,0%
Moyenne	11,8%
Minimum	0,1%

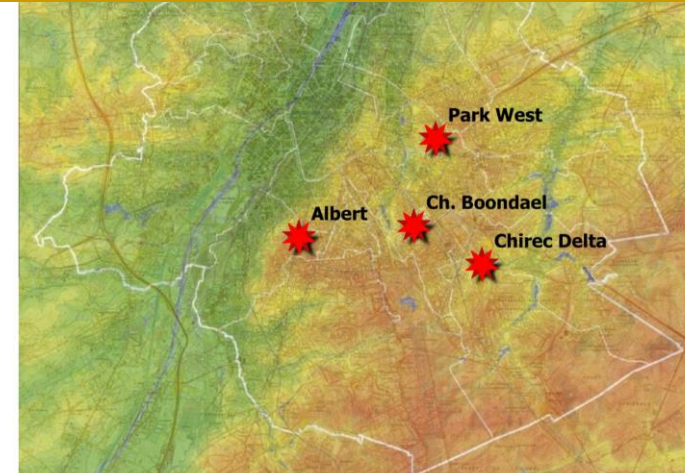
# Décalcification des sables bruxelliens

- Méthodes de reconnaissance
  - Micro-gravimétrie: perte de masse dans les zones décalcifiées > anomalie de densité (marge d'erreur significative sur la mesure)
  - Pénétrromètre
- Incidents rares
- Explications possibles :
  - Les zones décalcifiées en état critique sont localisées
  - La plupart des zones décalcifiées se sont déjà « effondrées » et présentent une  $D_r > 0$
  - Les zones les plus critiques se présentent sous forme de « cheminées » d'un diamètre pluri-décimétrique
  - En absence de circulations d'eau ou de vibration, leur état est stable
  - Sous la nappe, les zones décalcifiées se sont naturellement densifiées.



# Etude de cas

- Difficultés d'interprétations et fortes hétérogénéités locales > influence choix des fondations et moyens de reconnaissance



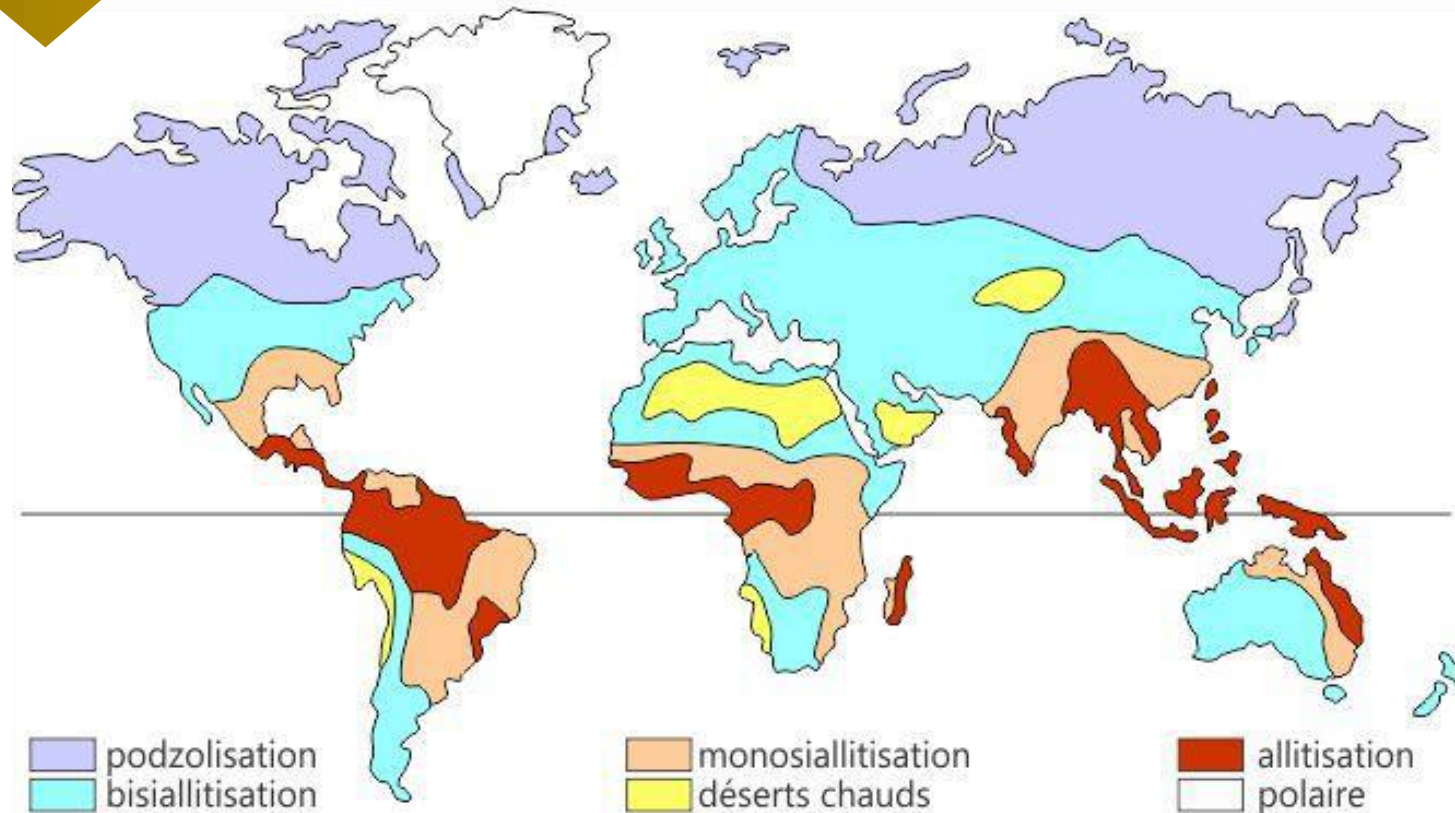
Concrétions ferrugineuses sur chantier Boondael



Déviations des pieux sur chantier Park West



# Altérations d'ailleurs



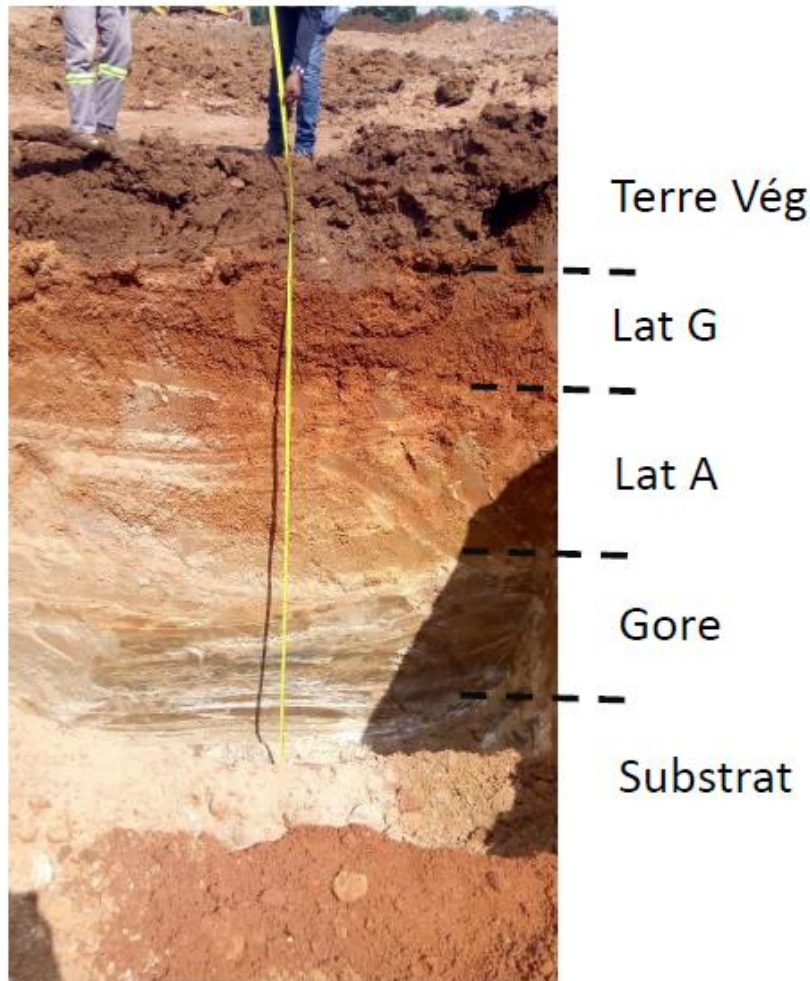
# En milieu aride

## Port de Duqm

- Sultanat d'Oman
- Mur de quai et 2 jetées
- Construction à sec, après mise en place d'un bund de sable dragué et mise à sec du fond marin par rabattement
- Argiles tertiaires finement laminées avec intercalations calcaires
- Comportement du mudstone en fonction de la teneur en eau
- Maintenir une teneur en eau du terrain en place aussi proche que possible de la teneur initiale. Et plus particulièrement éviter les cycles déshydratation/hydratation.



# En milieu tropical



- Latérite :
  - sol rougeâtre riche en fer, aluminium et kaolinite
  - Minéraux caractéristiques : gibbsite, bauxite, hématite, goethite, quartz
- Exemples
  - Barrage et centrale hydroélectrique de Nachtigal (Cameroun)
  - Station de traitement d'eau de la Mé (Côte d'Ivoire)
  - Les 3 ponts de Riaba-Bioko (Guinée Equatoriale)



# Conclusions et perspectives

- Les phénomènes d'altération touchent des roches très différentes, et à différentes échelles.
- Difficultés principalement liées à la géométrie des terrains altérés.
- *Avant exécution* :
  - Bonne analyse du contexte à partir des bases documentaires
  - Caractérisation fiable et complète
  - Suivi systématique
  - Contrôle qualité
- *En cours d'exécution*: contrôle qualité adapté + suivi
- Pas de disposition constructive type. Les solutions sont la plupart du temps sur mesure
- Vers une cartographie des roches altérées en Belgique?



Plus de détails sur cette journée...

<http://sbgimr-bvigrm.be/>

Journées d'étude/Archives

Merci à tous les orateurs qui ont contribué à ce contenu :

Lionel Delhayé et Pierre Gerard

O. Kaufmann, F. Collin, S. Delvoie, C. Schroeder, X. Raucroix, K. Watzeels, J. Yans, R. Charlier, S. Gruslin, S. Hick, S. Geeninckx, N. Charue, C. Treve, J. Deceuster



21 avril 2021

50 ans

de Géologie de l'Ingénieur  
et de Mécanique des Roches  
en Belgique

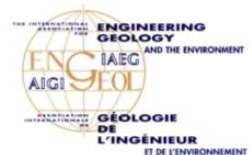
Rendez-vous  
à Bruxelles  
à l'Atomium  
pour célébrer

# Le Jubilé de la SBGIMR



© 2020 – [www.atomium.be](http://www.atomium.be) – SOFAM

Avec la participation de représentants de la Société Internationale de Mécanique des Roches (ISRM)  
et de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur (IAEG)





Depuis le 14 juillet 2020

la Société Belge de Géologie de l'Ingénieur et de  
Mécanique des Roches est une asbl

