



Le karst

Formation et problèmes de l'ingénieur

Yves Quinif

**Service de Géologie Fondamentale et Appliquée
Faculté Polytechnique, Université de Mons,
rue de Houdain, 9, 7000 – Mons,
Yves.quinif@umons.ac.be**

Fixons le décor

Le fait karstique
... Vu par le spéléologue prospecteur



Lapiaz du Rawil, Valais, Suisse.



Le fait karstique
... Vu par le spéléologue dans les gouffres



Le fait karstique

... Vu par le spéléologue dans les grottes



Grotte de Clamouse, France



Grotte du Père Noël, Han-sur-Lesse

Le fait karstique

... Vu par le karstologue



Désert de Platé, France

Le fait karstique

... Vu par l'hydrogéologue



Sources du Locquès, Valais, Suisse.

Le fait karstique

... Vu par l'ingénieur



Effondrement à Guatemala city.



Maison sinistrée à Xhoris (province de Liège, Belgique)



Maison sinistrée à Xhoris (province de Liège, Belgique)



Thy-le-Château (province de Liège, Belgique)



Perte sur un canal à Beloeil (Hainaut, Belgique)

La karstification par enlèvement total

La théorie “classique” de la karstification : L'ENLEVEMENT TOTAL

■ La karstification est le résultat du passage de composés chimiques entre les phases solides et liquides. Les éléments dissous et la partie insoluble sont évacués hors du système par le flux d'eau souterraine. C'est ce paradigme qui est appelé karstification par enlèvement total.

Grotte des Échelles,
Chartreuse, France.

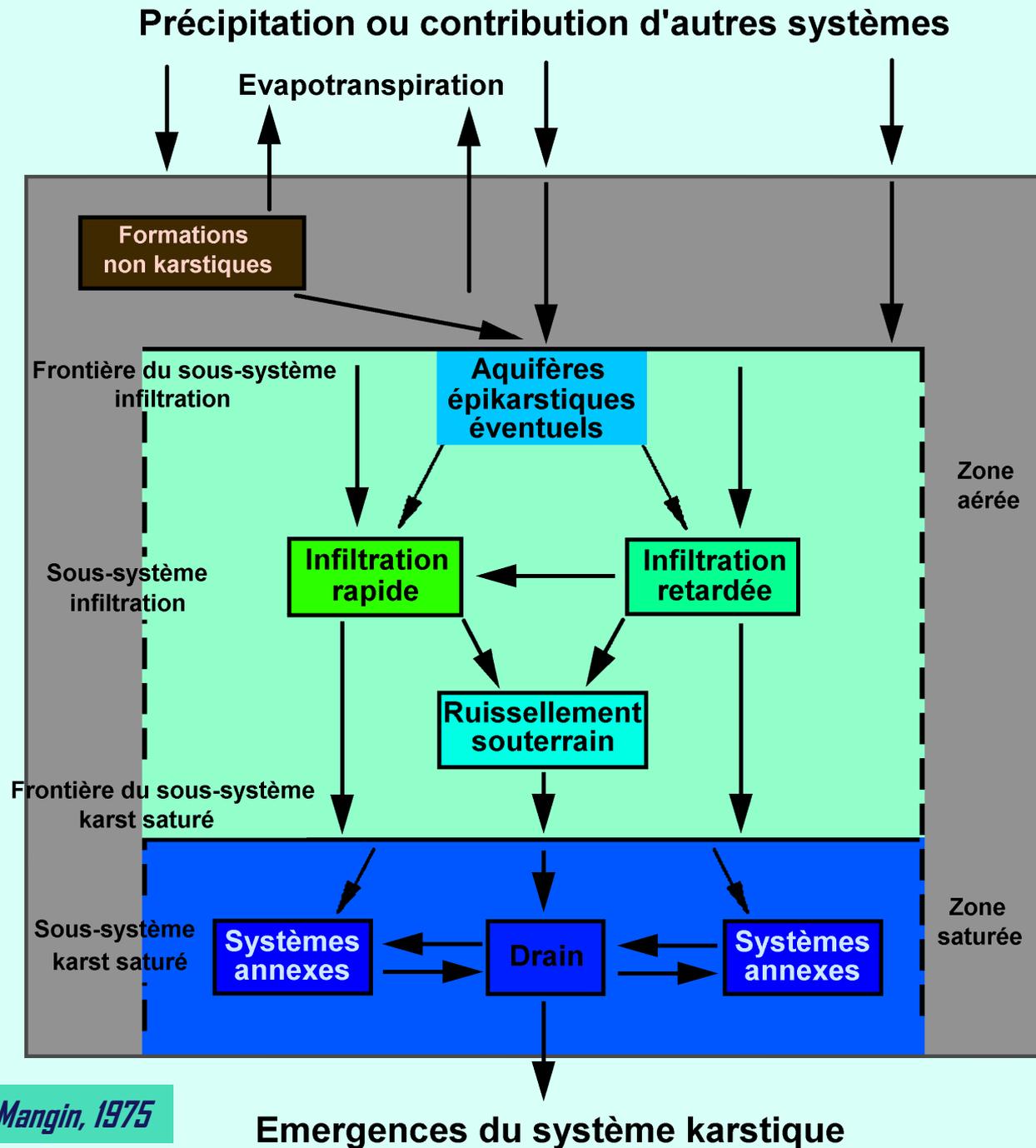
Structure hydrogéologique générale du système karstique

Karstologie appliquée

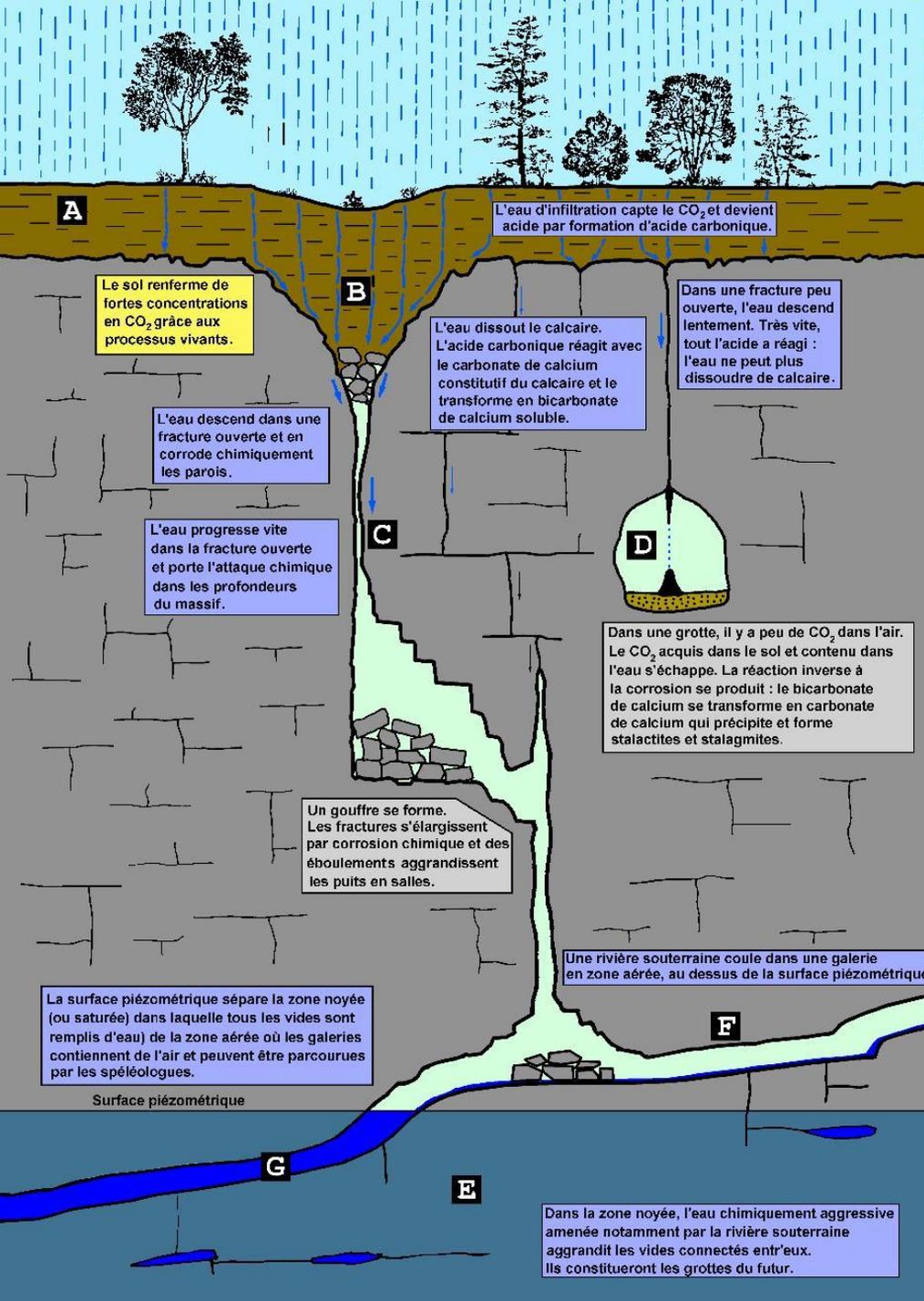
Hydrodynamique non linéaire et hétérogénéité du système karstique.

- Caractère irrégulier des ressources.
- Transmission rapide des polluants.
- Possibilité de fortes et brutales montées des eaux en amont de pertes.

D'après Mangin, 1975



Emergences du système karstique



Structure morphologique générale du système karstique

Relief particulier de surface avec dépressions fermées sur calcaire nu ou recouvert de formations superficielles.

Cavités interconnectées, sèches ou parcourues d'écoulements.

Karstologie appliquée

- Accidents de surface (affaissements, effondrements).
- Rencontre en cours de forages de cavités de grandeurs variées.

Un exemple d'effondrement de voûte.



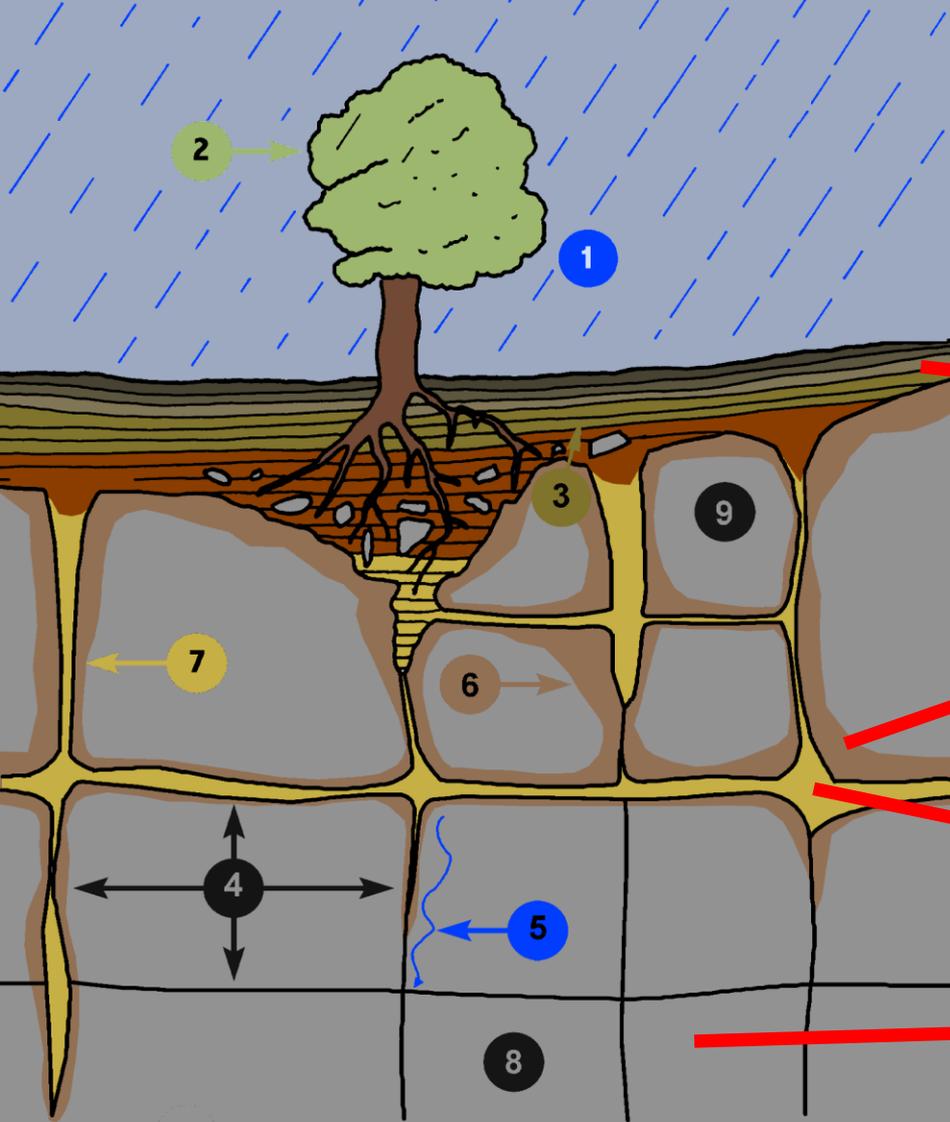
Grotte de Trotti aux Fosses, Marche en Famenne, Belgique

La théorie "alternative" de la karstification : LA FANTOMISATION

Si nous examinons l'évolution des vides du point de vue général de l'altération, la situation est tout-à-fait différente.

Résumons d'abord les phénomènes d'altération sous leur aspect général qui prennent place dans la théorie de la biorhexistasie d'Erhart.

Phénomènes d'altération : Phase biostasique



Horizons pédologiques avec corps chimiques résiduels : matière organique, quartz, minéraux argileux et oxyhydroxydes de Fe et Al.

Zone altérée de transition isovolumique

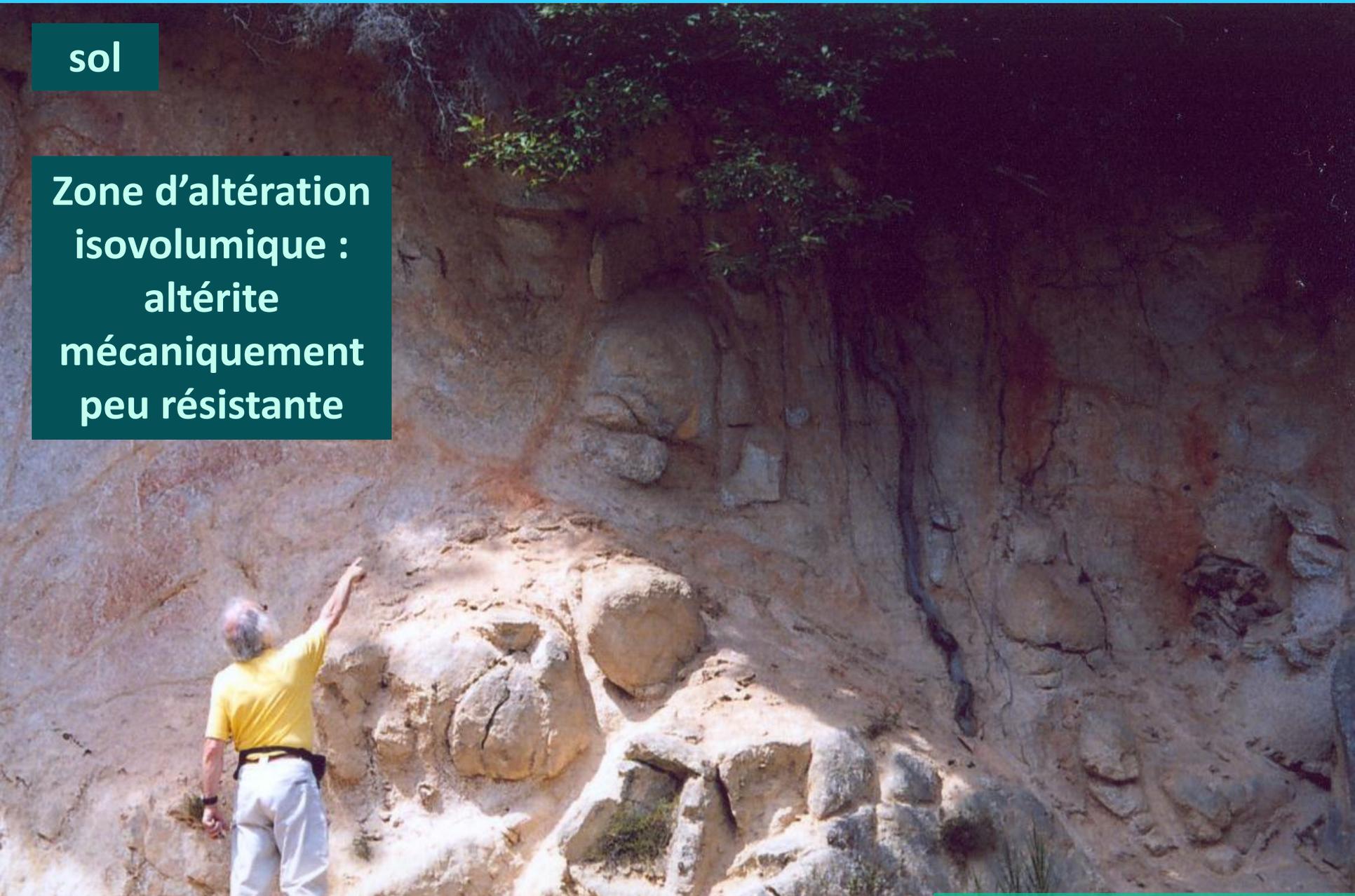
Altérite résiduelle : le fantôme de roche

Roche mère

Matières solubles exportées : métaux (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++}), Carbonates : HCO_3^- , silice : SiO_2

sol

Zone d'altération
isovolumique :
altérite
mécaniquement
peu résistante



Granite du Sidobre (France)

**Phase rhexistasique :
Érosion mécanique de l'altérite**



Granite du Sidobre : la Peyro Clabado

Les blocs non altérés inclus dans l'arène granitique se retrouvent dégagés par érosion mécanique de cette altérite.

Synthèse : théorie de la biorhexistasie d'Erhart

Altération de la roche : phase biostasique.

Caractéristique : très faible potentiel (par exemple, faible différence d'altitude entre zones d'entrée et de sortie, couverture végétale dense et protectrice). Seuls les substances solubles sortent du système.

Erosion mécanique : phase rhexistasique.

Caractéristique : apparition d'un potentiel (par exemple surrection tectonique, régression marine). Les produits insolubles résiduels de l'altération sont érodés et sortent du système.



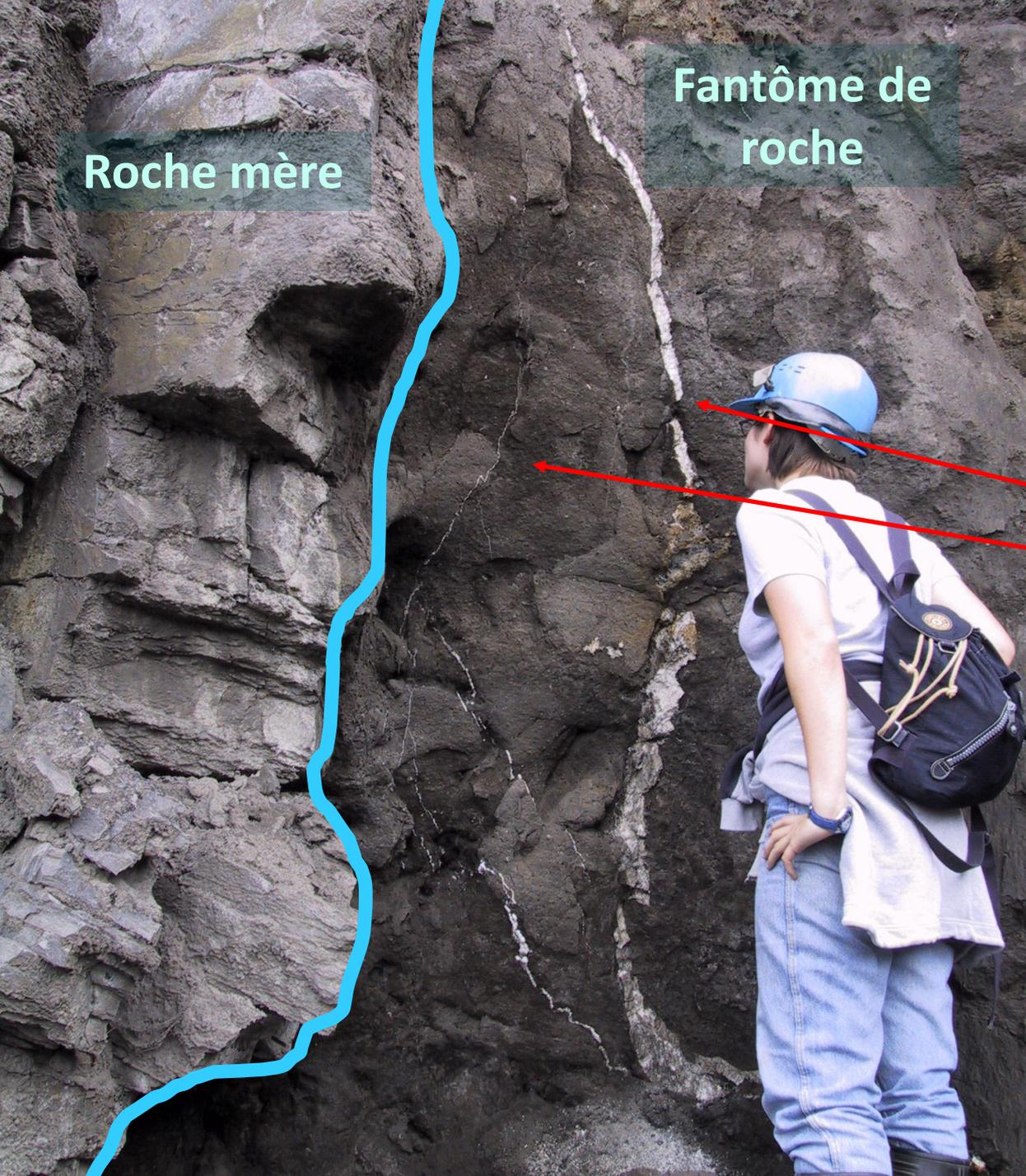
Carrière du Clypot,
Soignies, Belgique.

Qu'en est-il de la karstification?

Existence d'une phase biostasique dans les roches karstifiables

LE FANTOME DE ROCHE

- A. Roche-mère : calcaire crinoïdique tournaisien.
- B. Roche altérée résiduelle constituée d'entroques.
- C. Zone de transition.
- D. Morphologie en coupoles.



Fantôme de
roche

Roche mère

Altération in situ

Les insolubles (par exemple la silice) et les moins solubles du calcaire (fentes de tension en calcite, fossiles) restent en relief.

Carrière de Gauthier-Wincqz,
Soignies, Hainaut, Belgique.

*D'après Havron C., Baele J.-M., Quinif Y.,
2007.*



7110



7109



7105



7110

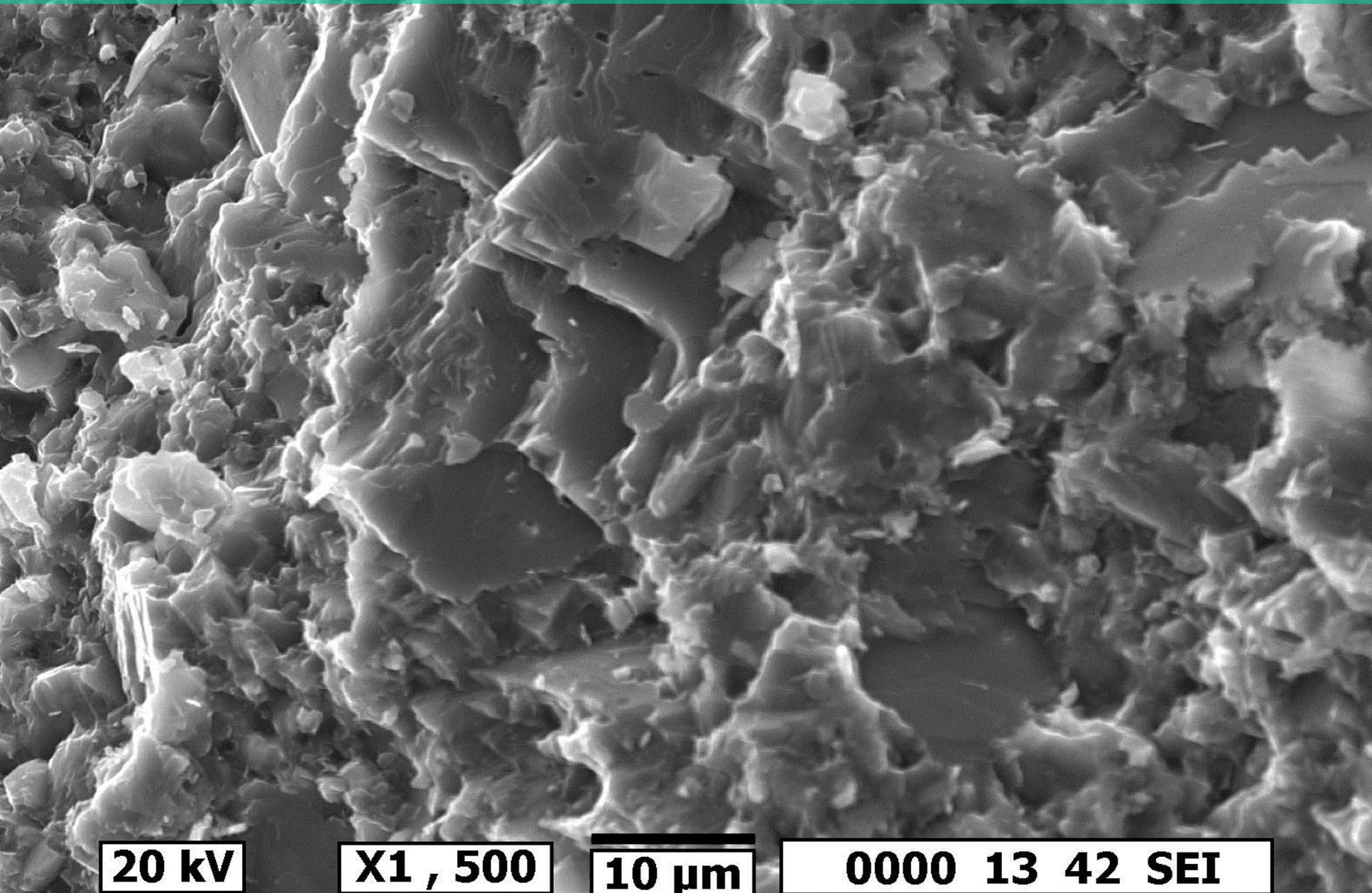


7109

Roche intacte (7110), zone de transition (7109), fantôme de roche (7105). Même strate.

A gauche, roche intacte ; à droite, roche altérée. Augmentation de la porosité et assombrissement de la roche.

Photographie au MEB, calcaire sain. Grains soudés sans vide



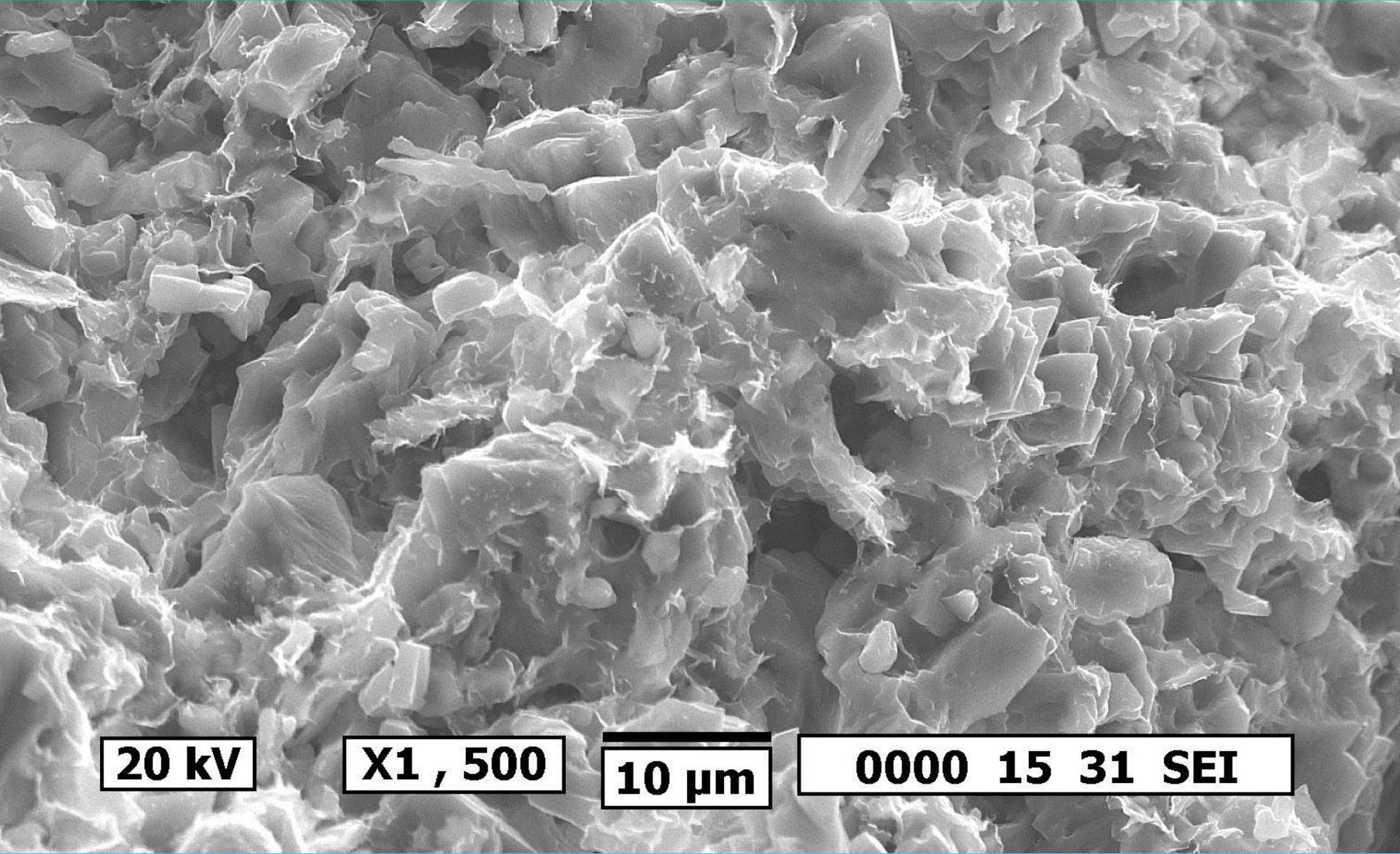
20 kV

X1,500

10 μm

0000 13 42 SEI

Photographie au MEB, fantôme de roche. Les grains sont séparés par des vides (porosité) qui sont interconnectés. Les gros cristaux sont affectés de golfes de corrosion.



20 kV

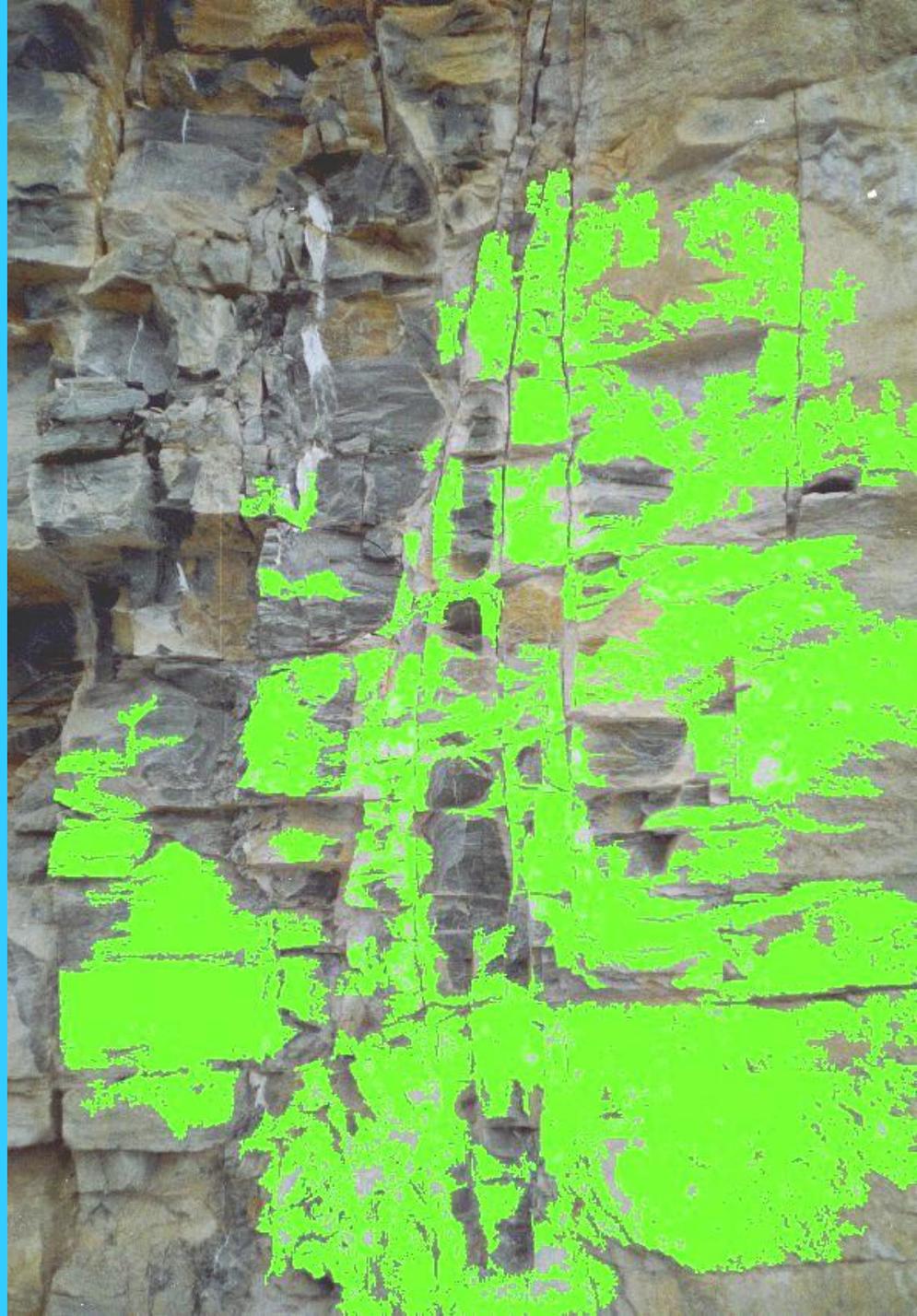
X1,500

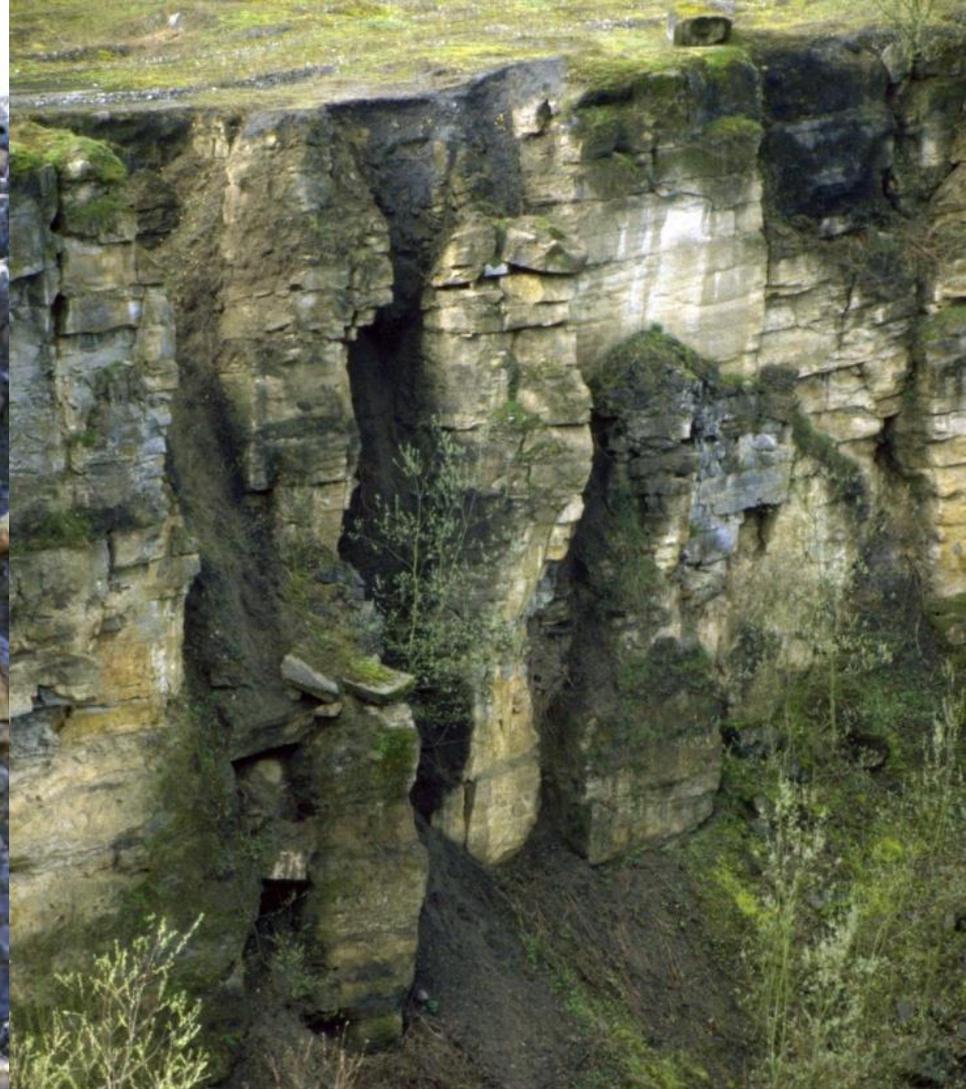
10 μm

0000 15 31 SEI



De la roche mère...





Expressions morphologiques des fantômes de roche

1. Les couloirs

Carrière du Clypot, Neufville, Hainaut.

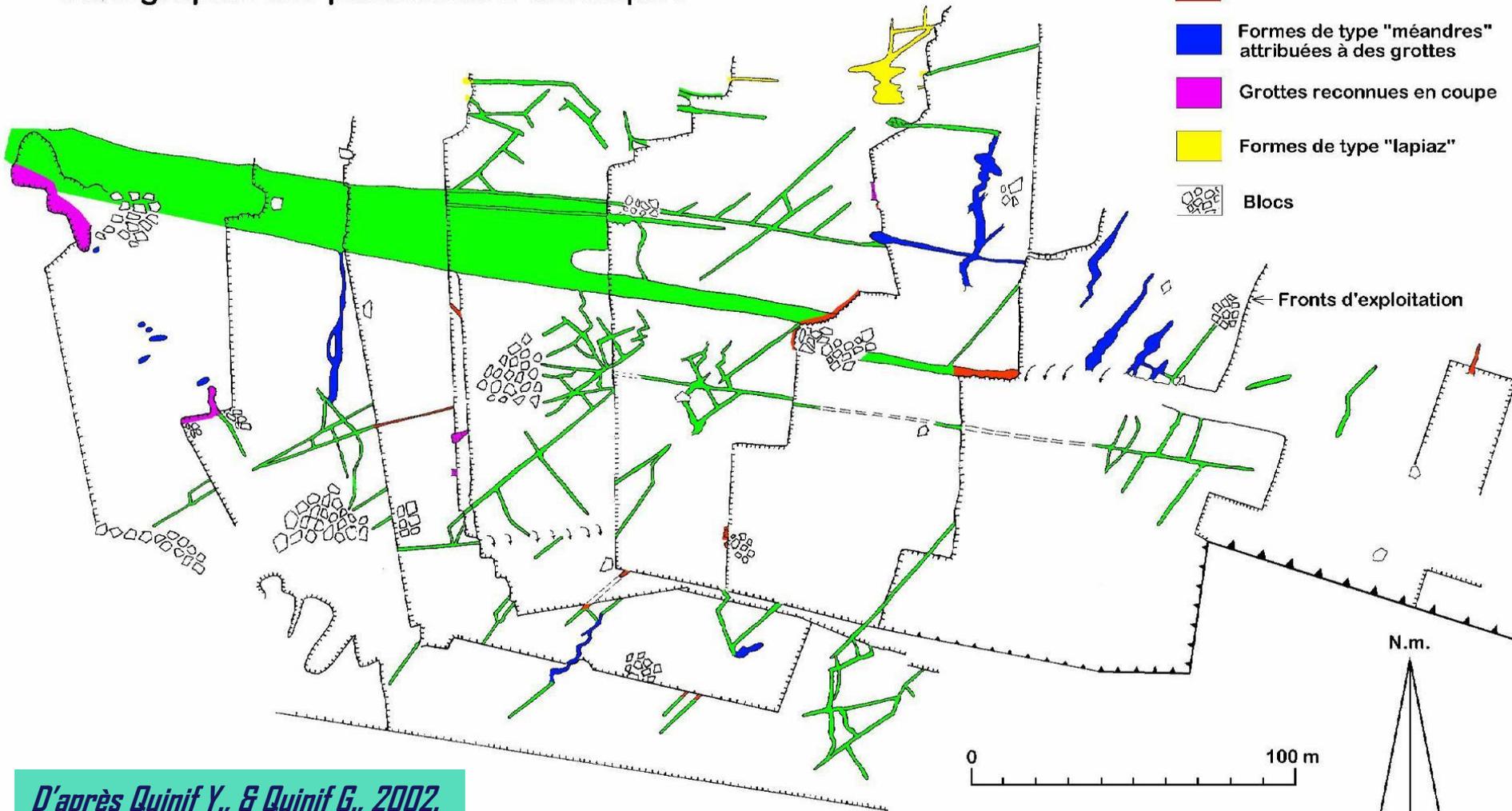
Carrière Perlonjour, Soignies, Hainaut.

Cartographie des couloirs

Carrière du Clypot

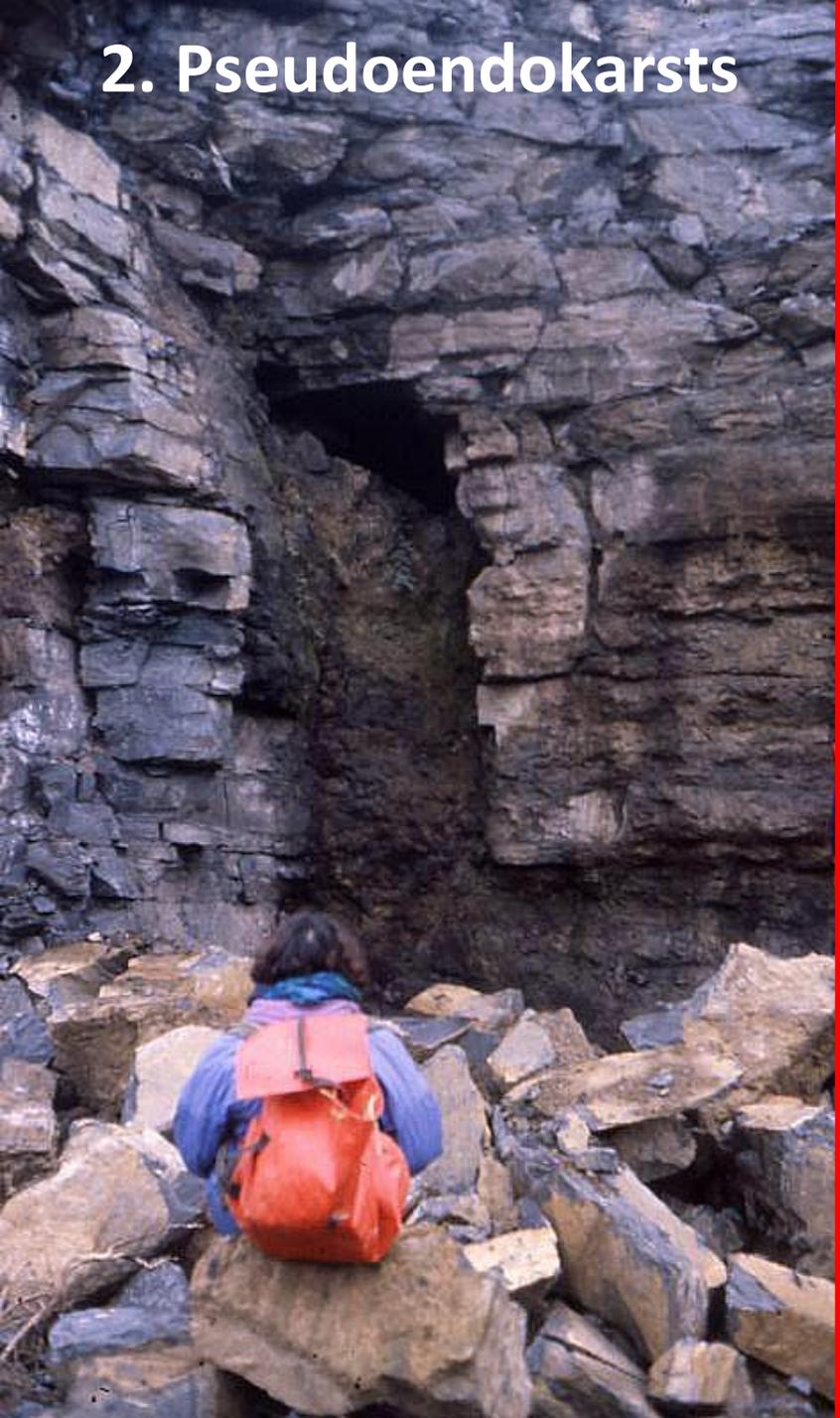
Cartographie des phénomènes karstiques

-  Couloirs indifférenciés attribués à des fantômes
-  Fantômes reconnus en coupe
-  Formes de type "méandres" attribuées à des grottes
-  Grottes reconnues en coupe
-  Formes de type "lapiaz"
-  Blocs

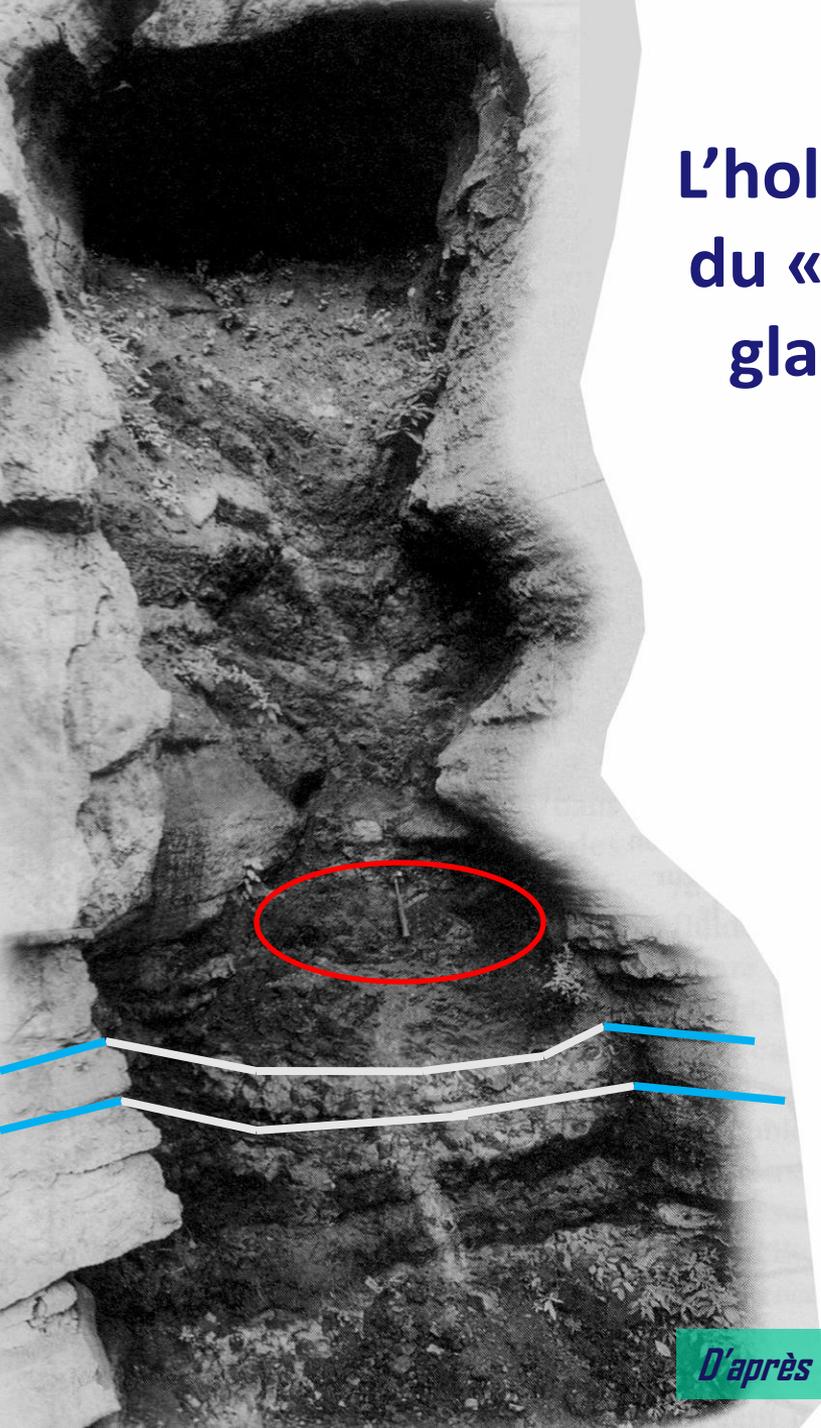


D'après Quinif Y., & Quinif G., 2002.

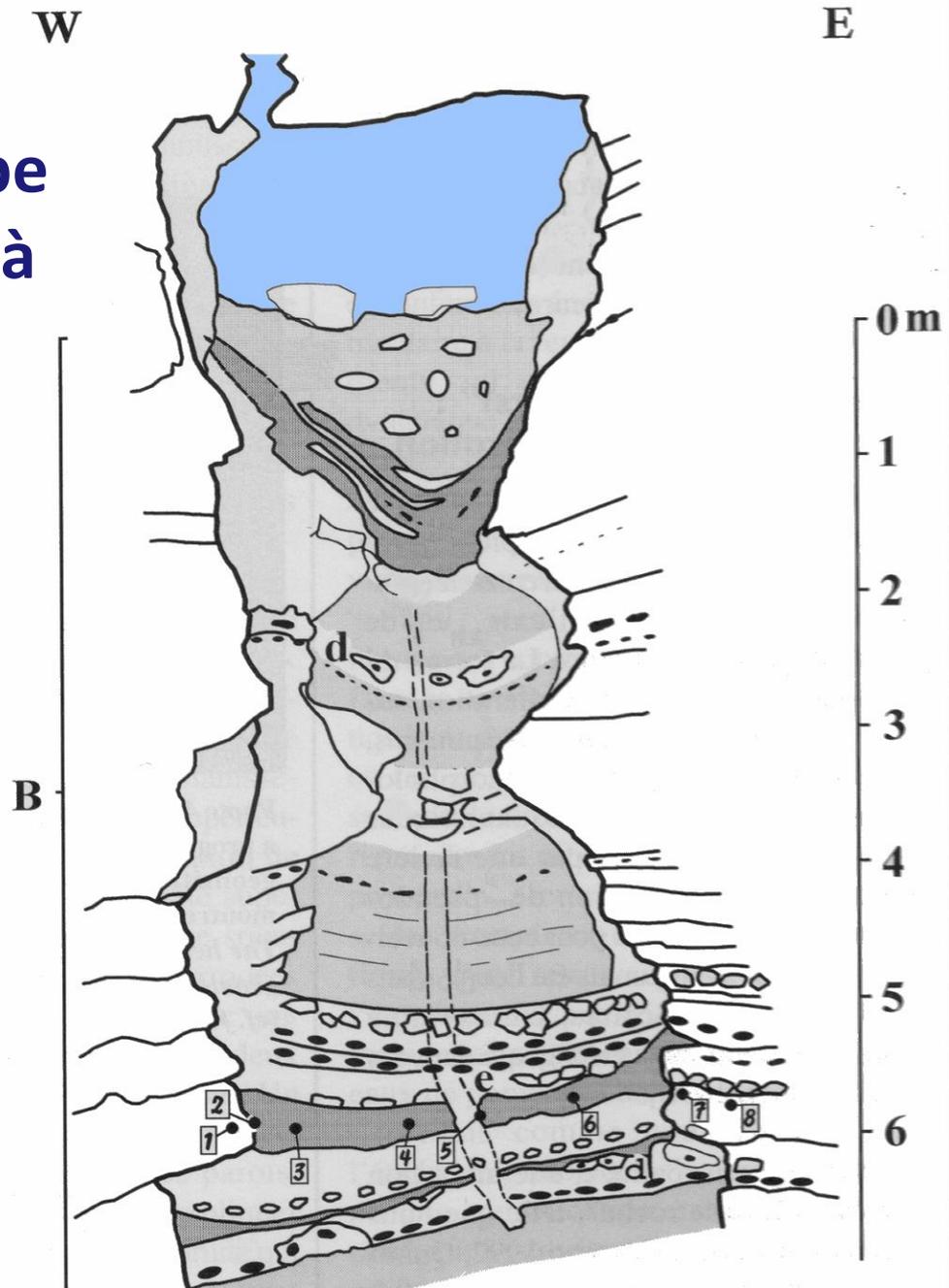
2. Pseudoendokarsts



Carrière du Milieu à Gaurain-Ramecroix (Belgique)



L'holotype du « Pic à glace »



D'après Vergari A., 1996 : 1998

Carrière du Milieu (Gaurain-Ramecroix)



L'évolution des fantômes de roche

1. Subsidence

Apparition d'un vide au sommet du pseudoendokarst

- Genèse du fantôme de roche dans la zone phréatique avec peu de potentiel.
- Tassement et apparition d'un vide macroscopique avec le passage en zone vadose ou épiphréatique.

L'évolution des fantômes de roche

2. La phase fluviatile

Du fantôme de roche à la grotte Naissance d'un nouveau paradigme

Après le stade fantôme de roche (phase biostasique), un réseau de couloirs et de pseudoendokarsts se développent au sein du massif rocheux, avec leur altérite résiduelle.

Si un nouveau potentiel apparaît, l'altérite résiduelle peut être mécaniquement érodée par un flux d'eau.

La "Grotte Quentin" est un exemple qui a évolué à vitesse humaine.

A wide-angle photograph of a massive, deep quarry. In the foreground, a large body of water, likely a reservoir or lake, is visible. Several waterfalls cascade down the dark, rocky walls of the quarry into the water. The background shows the rugged, layered rock formations of the quarry, extending into the distance under a clear sky. The overall scene is one of a significant geological excavation.

Ce nouveau potentiel apparaît ici par le creusement d'une carrière dans le massif rocheux, sous la surface piézométrique régionale (Carrière de Nocarcentre, Ecaussinnes, Belgique).

L'entrée de la Grotte Quentin, ouverte par un tir de mine.



D'après Quinif Y. & Maire R., 2009

Altérite résiduelle

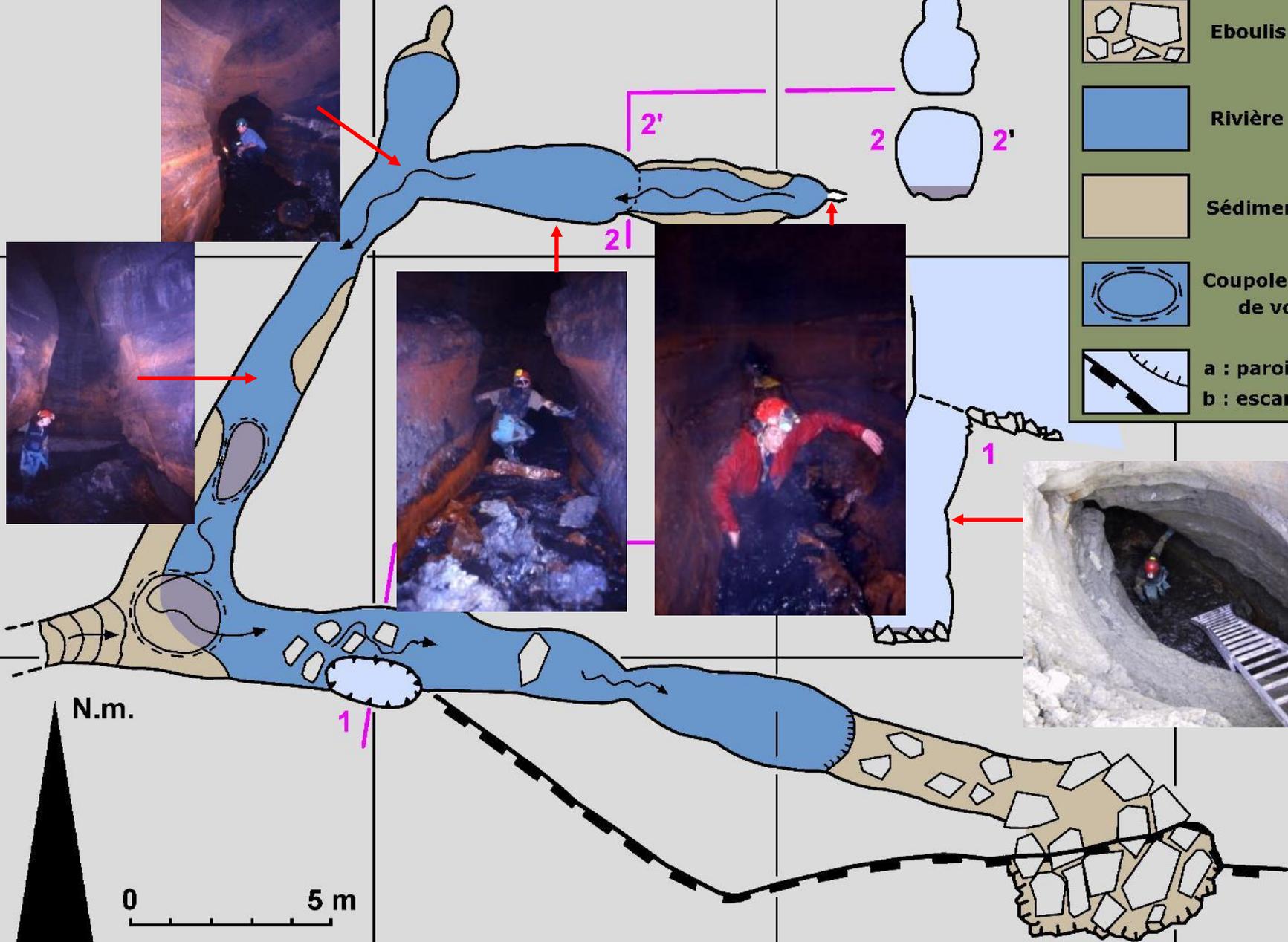


Cette grotte « spéléologique » résulte de la vidange par érosion fluviale de l'altérite résiduelle du fantôme de roche.



La rivière provient d'un siphon constitué non pas d'un vide macroscopique, spéléologique, mais de la porosité de l'altérite résiduelle. Nous sommes là à la limite de l'érosion mécanique du fantôme de roche.



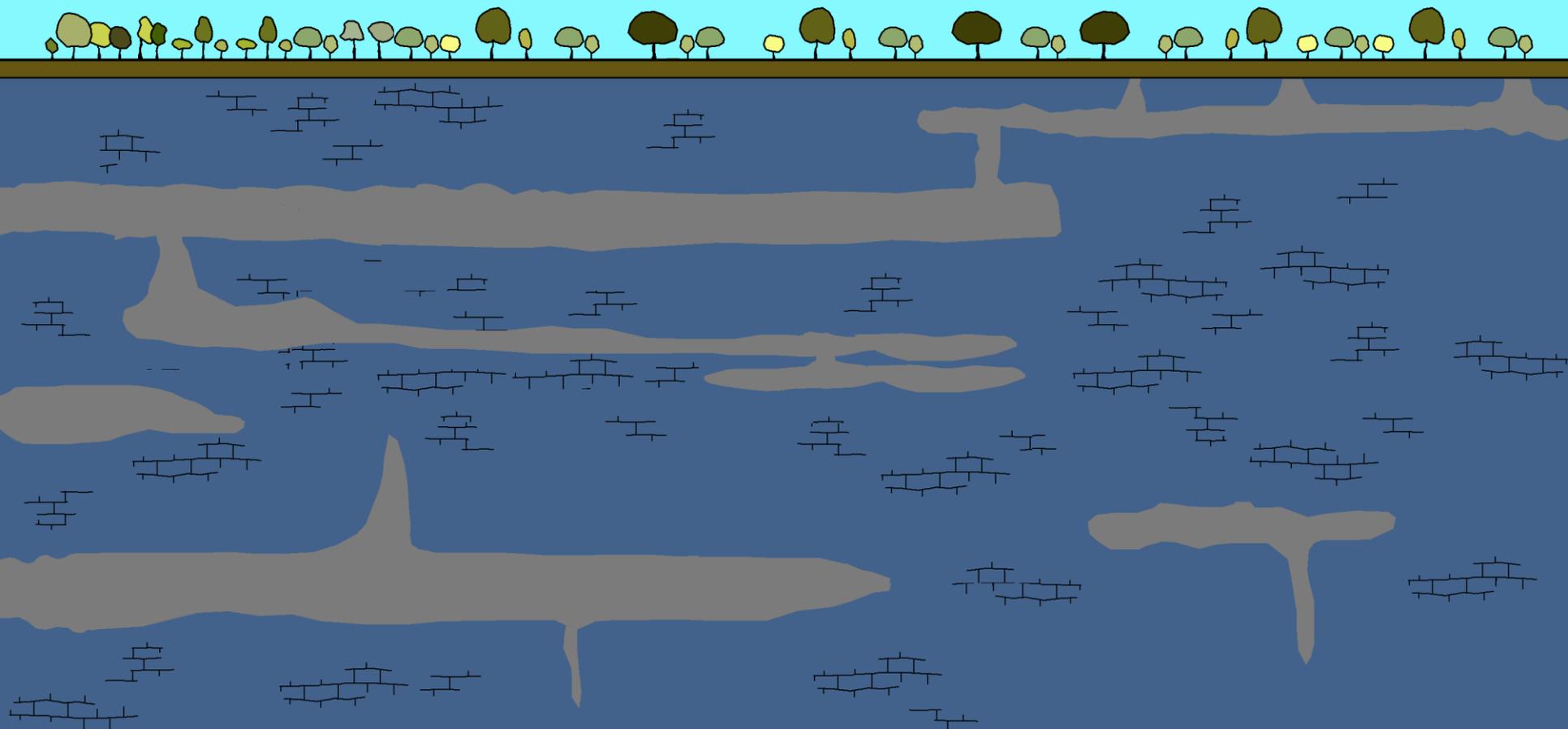


	Eboulis
	Rivière
	Sédiments fins
	Coupole de voûte
	a : paroi
	b : escarpement

N.m.

0 5 m

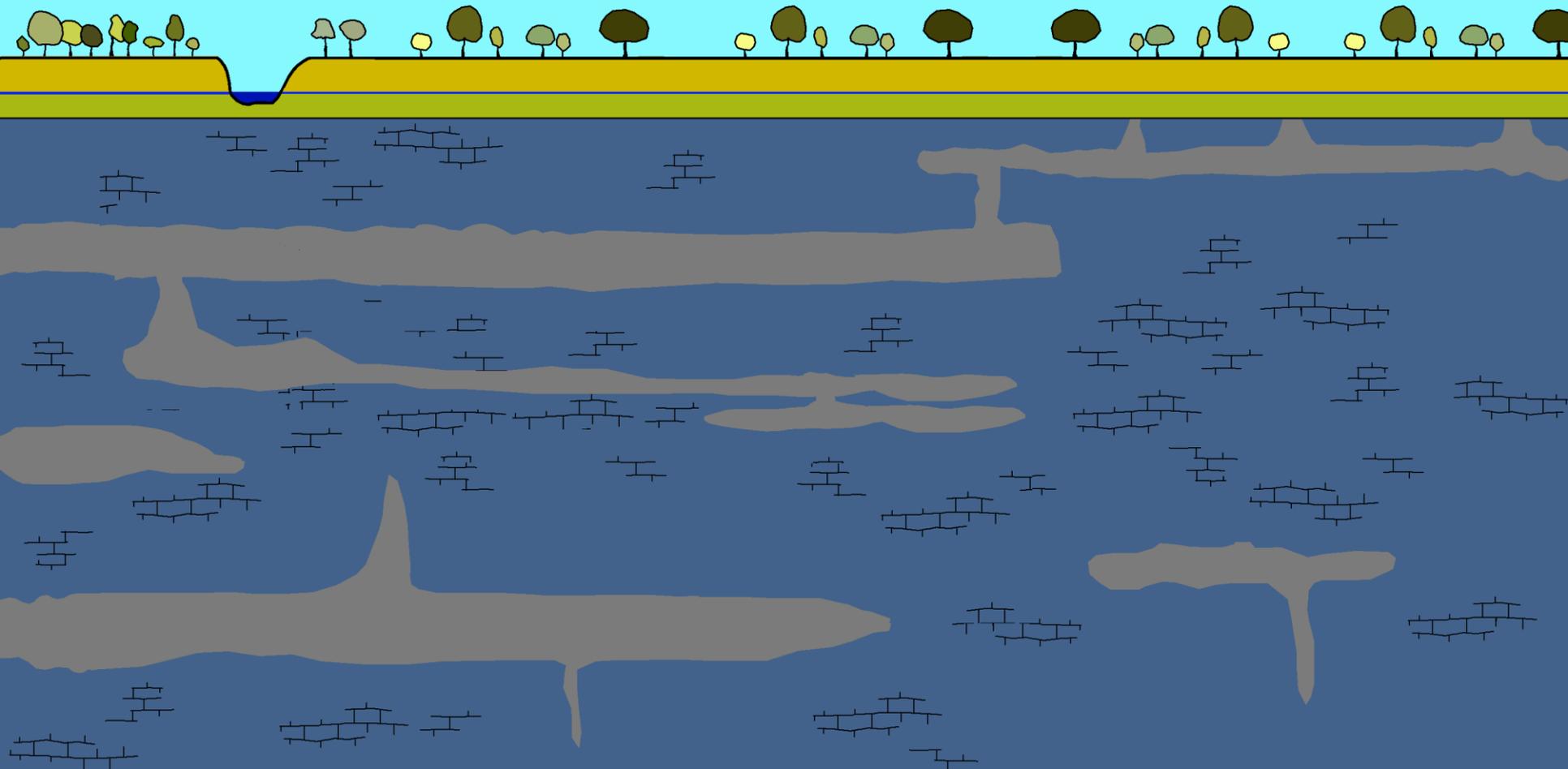
Y. Quinif, 26.06.2003



Phase 1 : la genèse du fantôme de roche

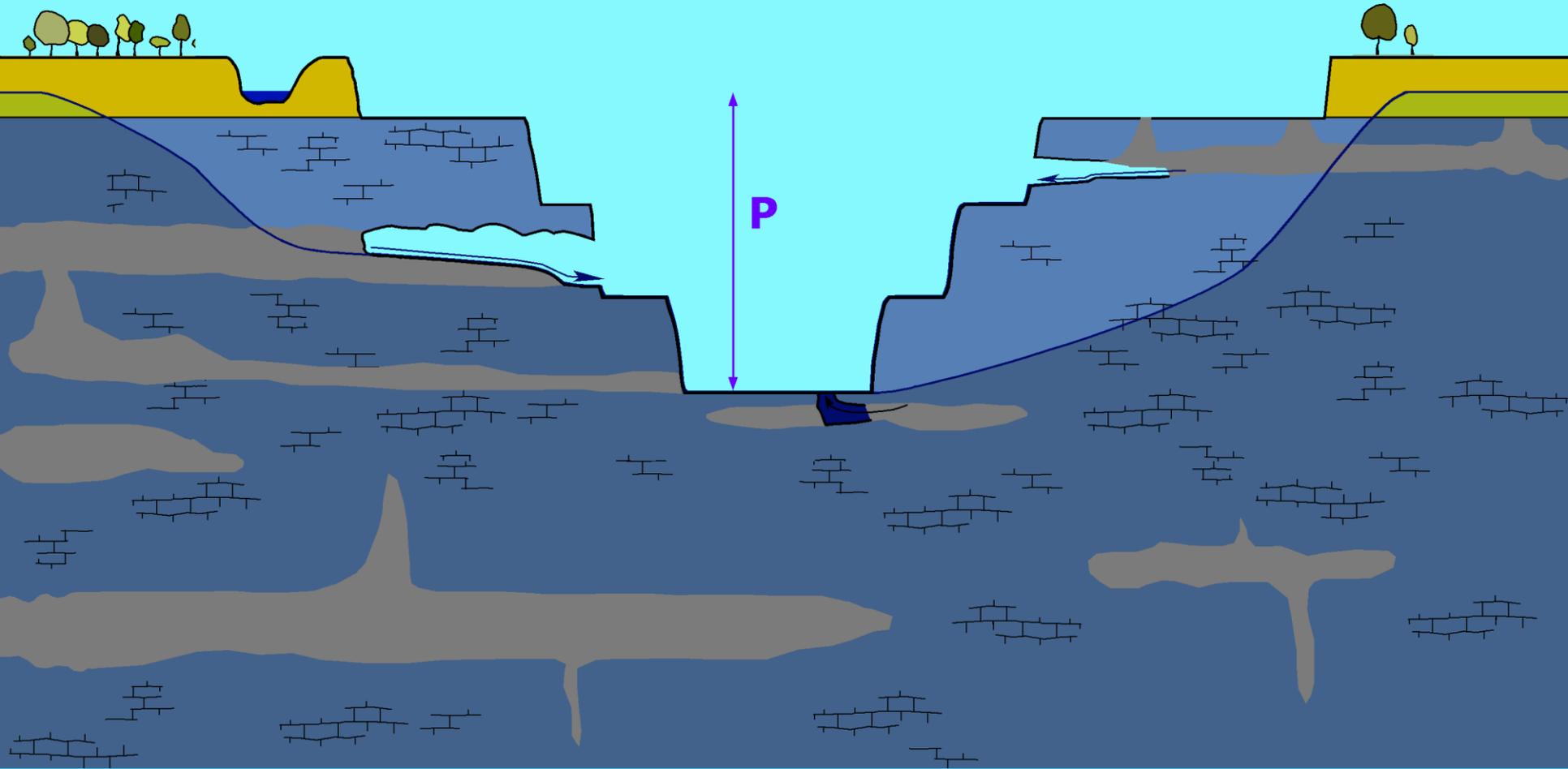
D'après Quinif Y., 2010

Crétacé : peu de relief et climat chaud et humide.



Phase 2 : la fossilisation du fantôme de roche

Transgressions thanétienne et yprésienne.

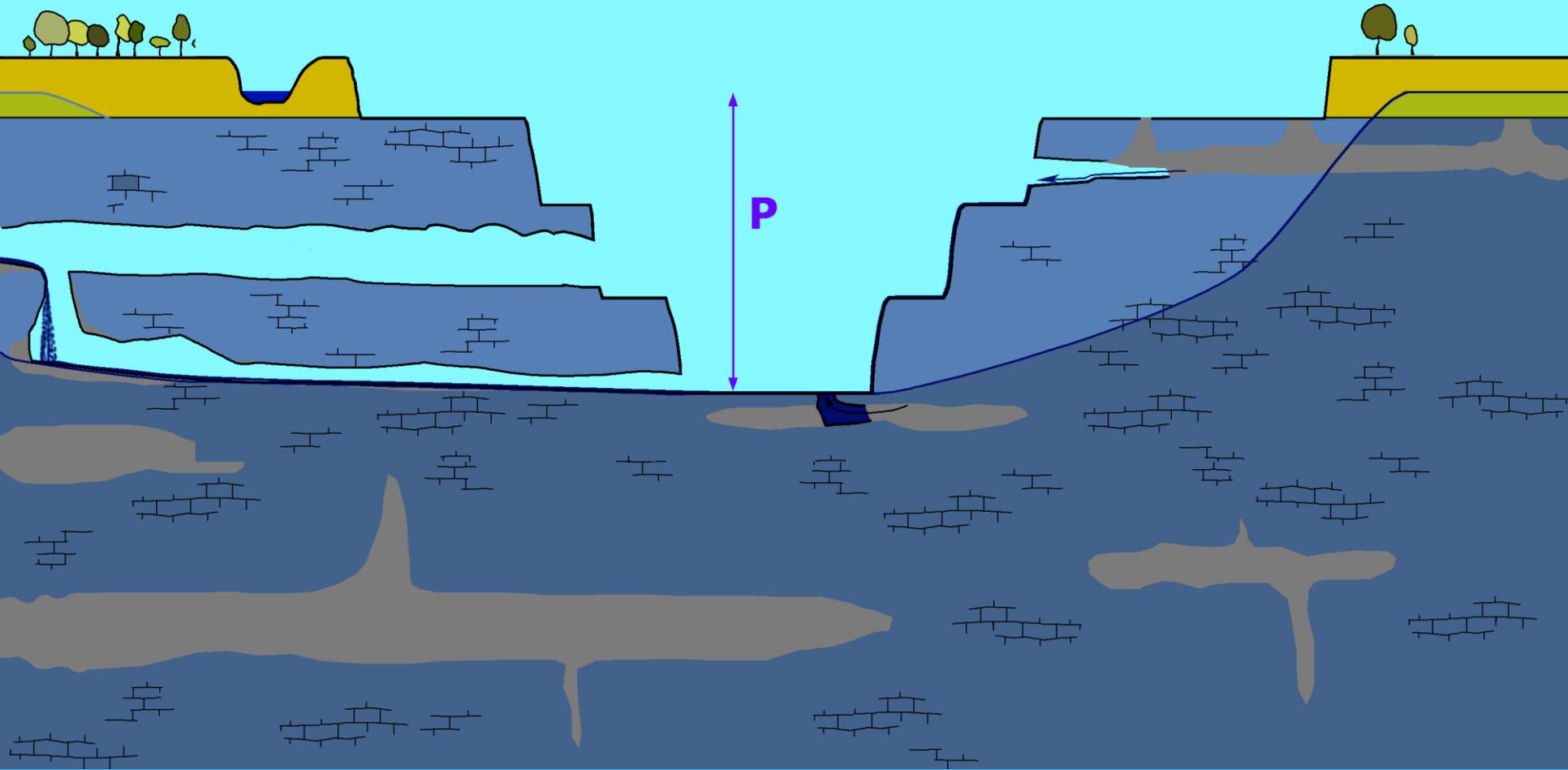


Phase 3 : genèse d'une grotte spéléologique

Suite à la création d'un potentiel hydrodynamique par le creusement de la carrière, un courant d'eau entre la nappe et le fond de la carrière érode mécaniquement l'altérite résiduelle suivant les fantômes de roche.

Enfoncement de la rivière souterraine





Phase 4 : évolution de la phase fluviale

L'érosion de l'altérite continue et la rivière souterraine descend d'un niveau en générant de cette manière une grotte « à étages ».

Un cas d'étude exemplaire

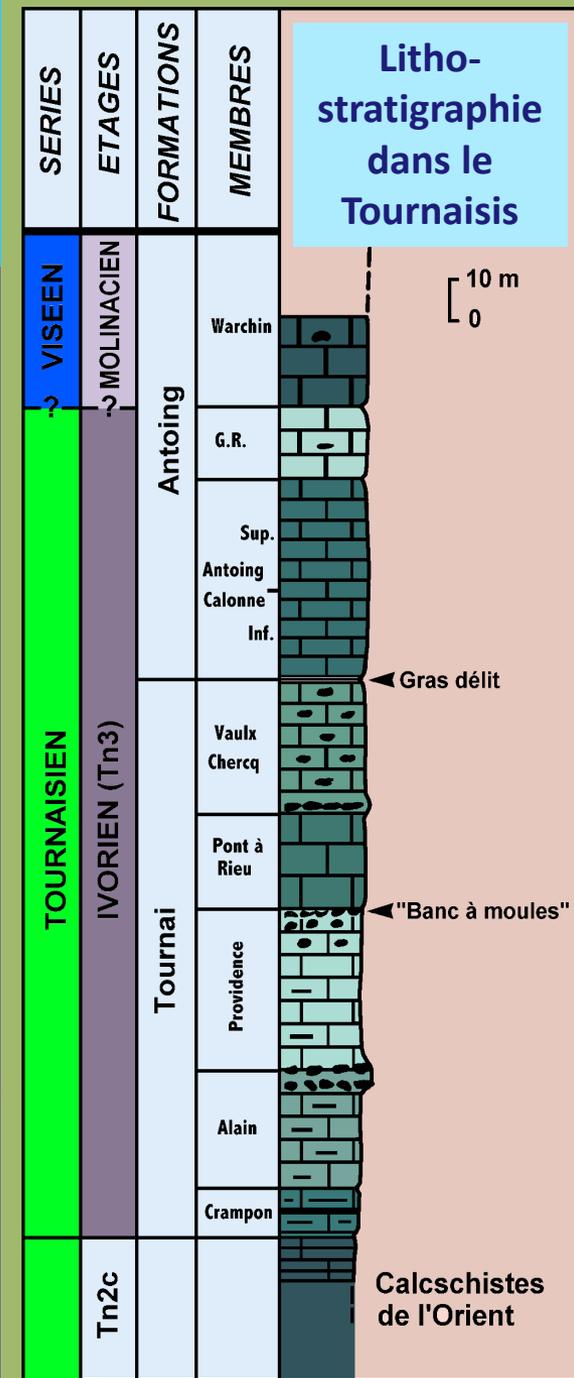
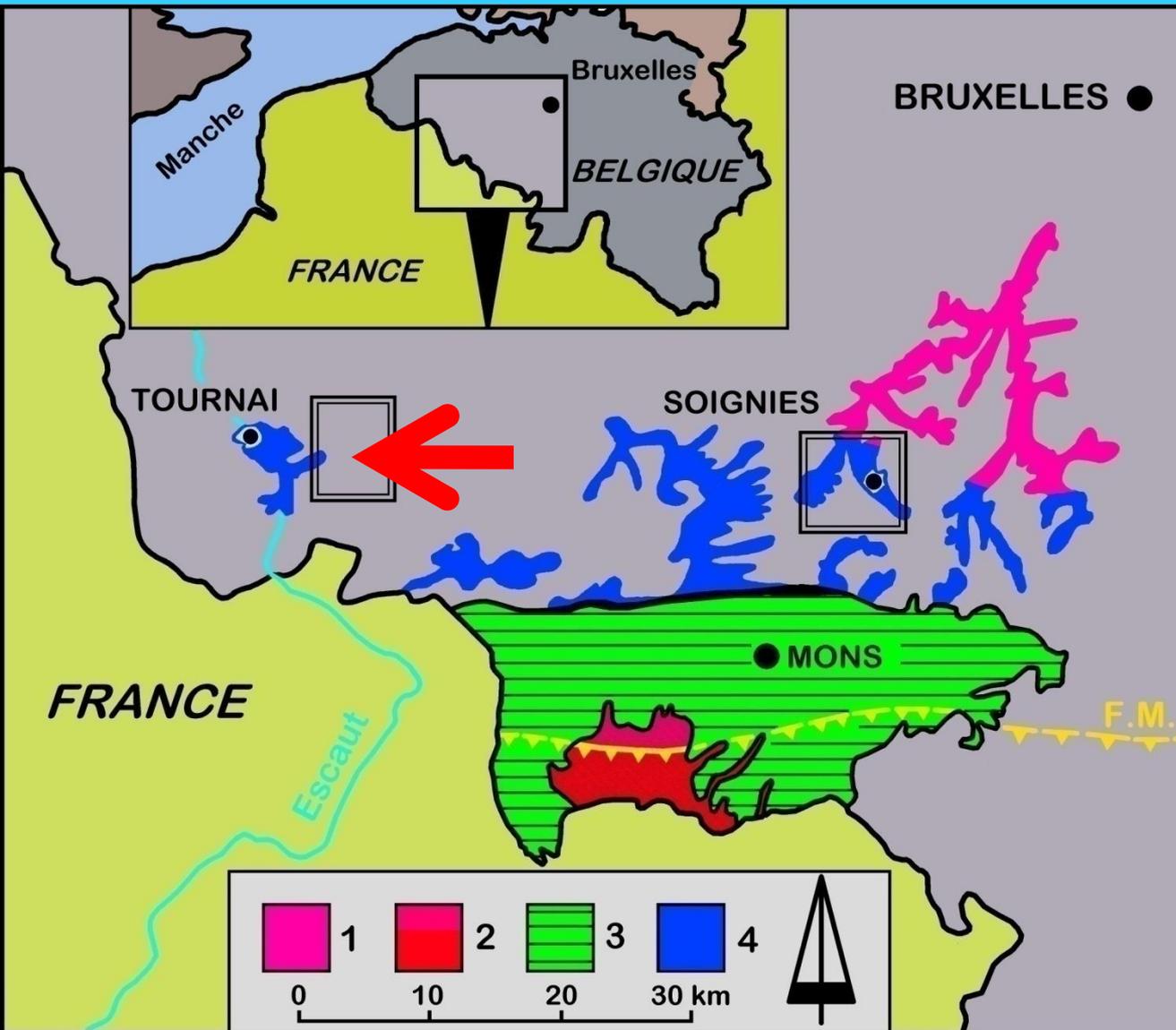
Le Tournaisis (Hainaut, Belgique)

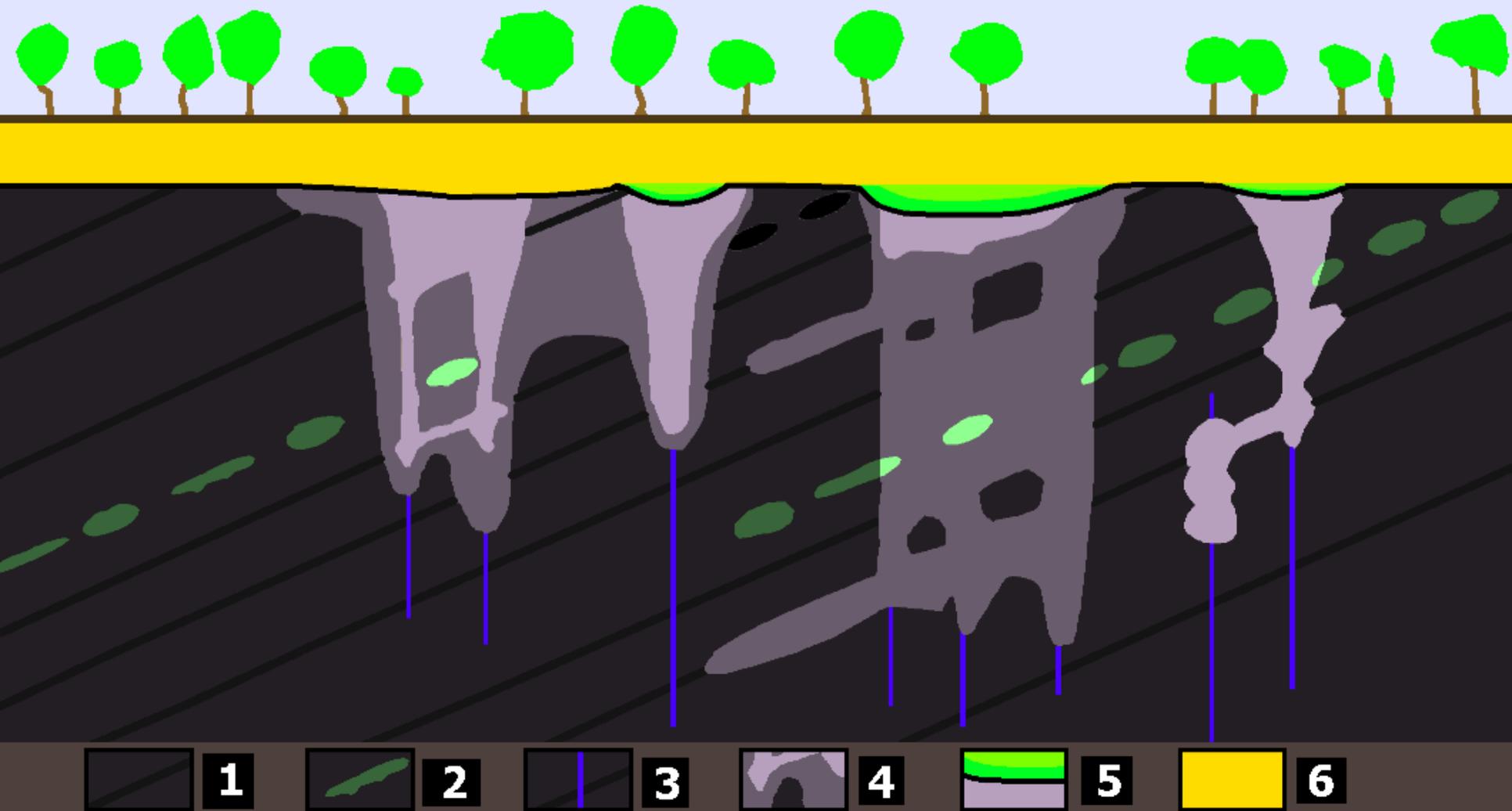


Existence d'effondrements variés : les « puits naturels ». La maison à l'arrière plan a été en partie détruite par un effondrement sous une annexe.



Le contexte morpho-structural : le socle dinantien recouvert en discordance par le Méso-cénozoïque



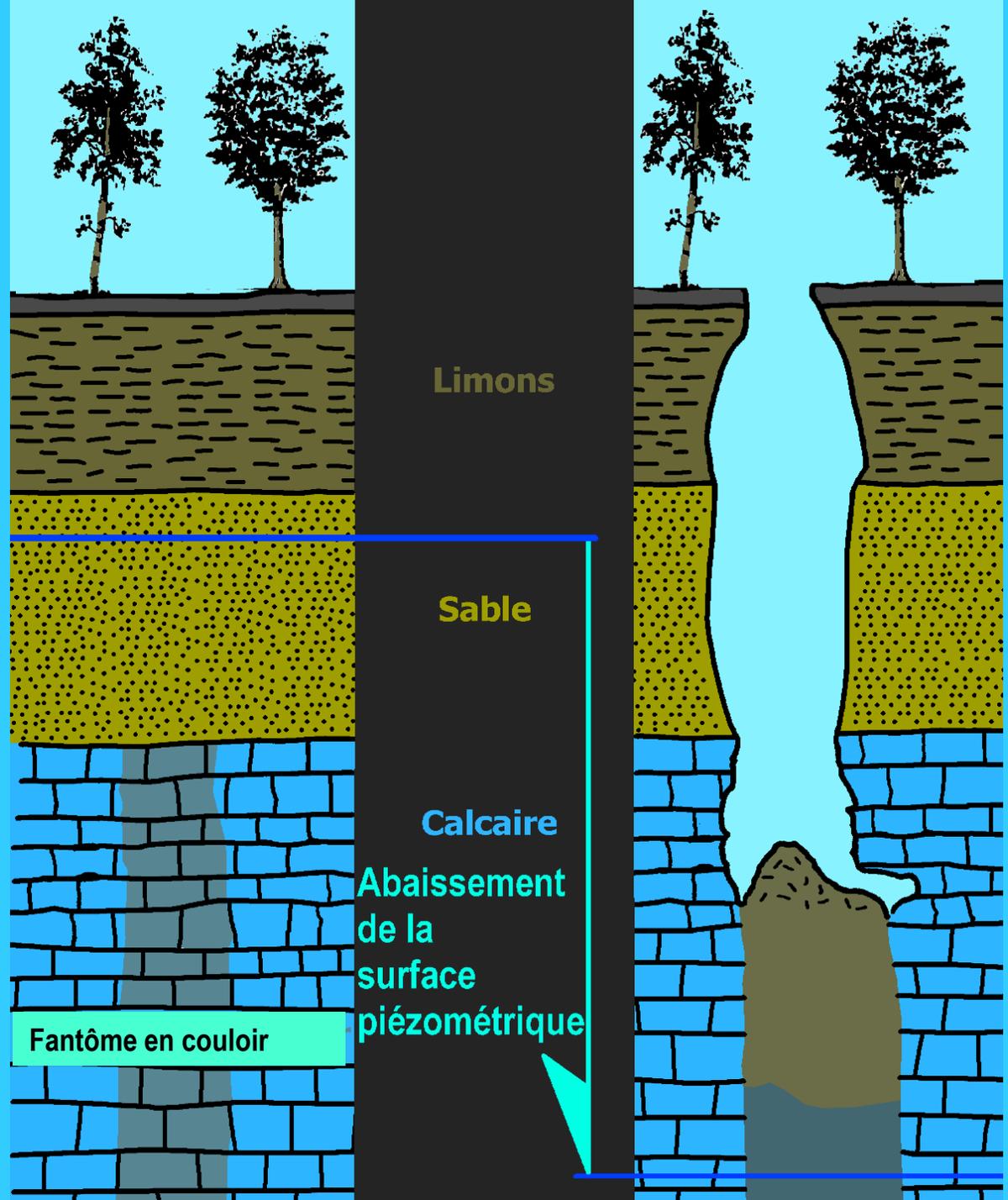


Coupe de principe d'un massif fantômisé. 1. Calcaire avec plans de stratification. 2. Lits de silicification (cherts). 3. Joints verticaux. 4. Zones fantômisées, plus ou moins affectées par l'altération figurée ici par les tons de gris. 5. Couverture transgressive crétacée. 6. Couverture transgressive cénozoïque.

L'abaissement de la surface piézométrique par pompage crée un potentiel hydrodynamique qui rompt l'équilibre hydrostatique des fantômes de roche.

Couverture

Socle



Fantôme en couloir

Limons

Sable

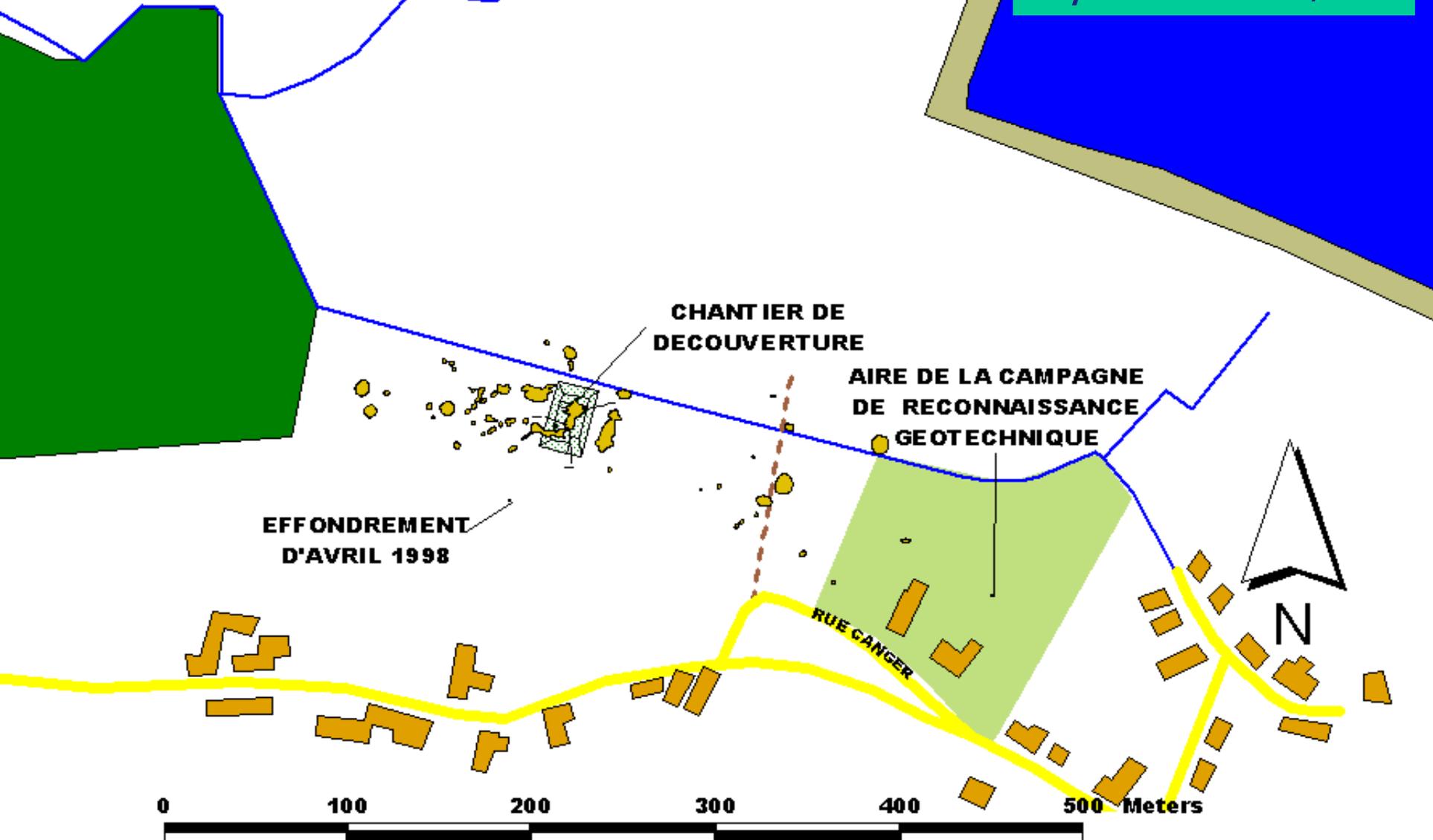
Calcaire

Abaissement de la surface piézométrique

Un cas d'application remarquable

Le site de Gaurain-Ramecroix

D'après Kaufmann O., 2000



Sondage d'exploration

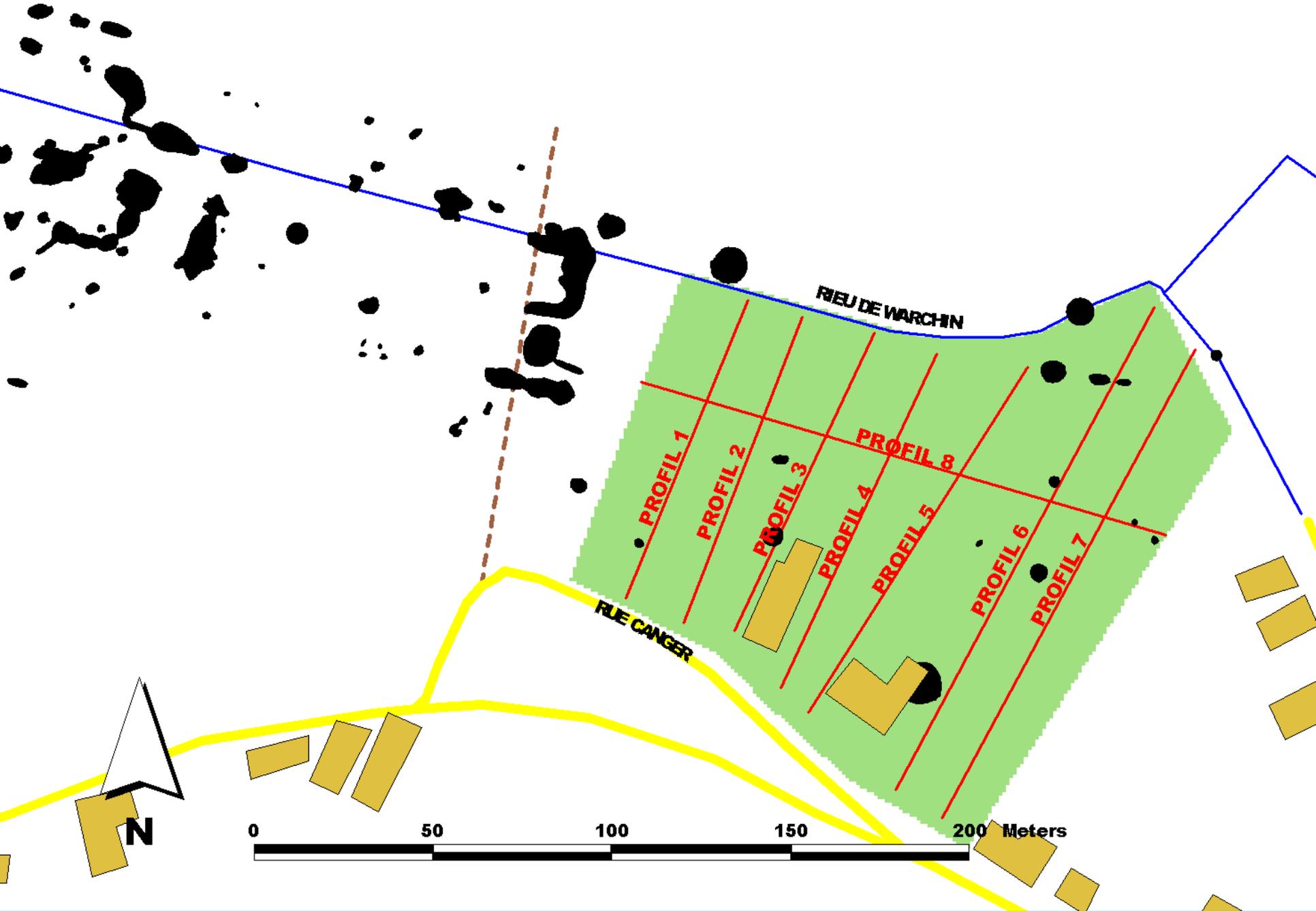
Chantier « Olivier Kaufmann », Gaurain Ramecroix



Effondrement avant les travaux



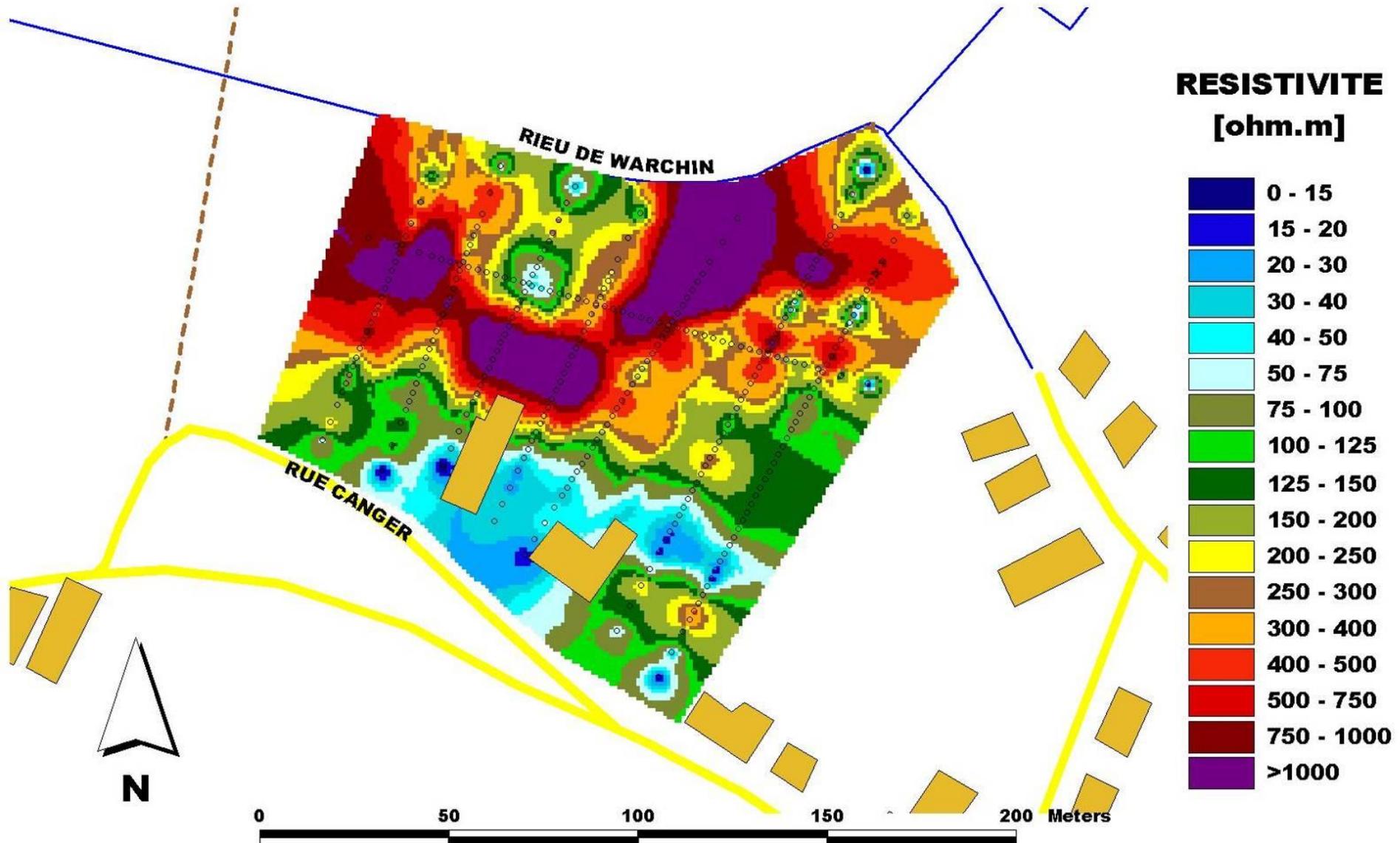
Dégagement de deux couloirs fantômes à l'emplacement de la doline



Carte d'implantation des profils géoélectriques

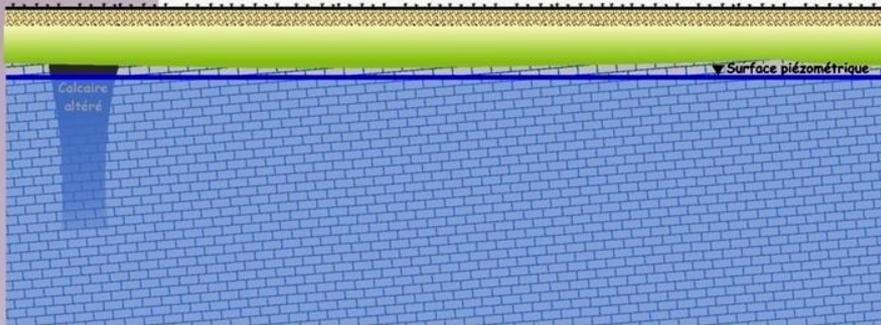
Carte de résistivité - profondeur : 9,9 m

Les zones de calcaire sain apparaissent plus résistives que les zones fantômées.



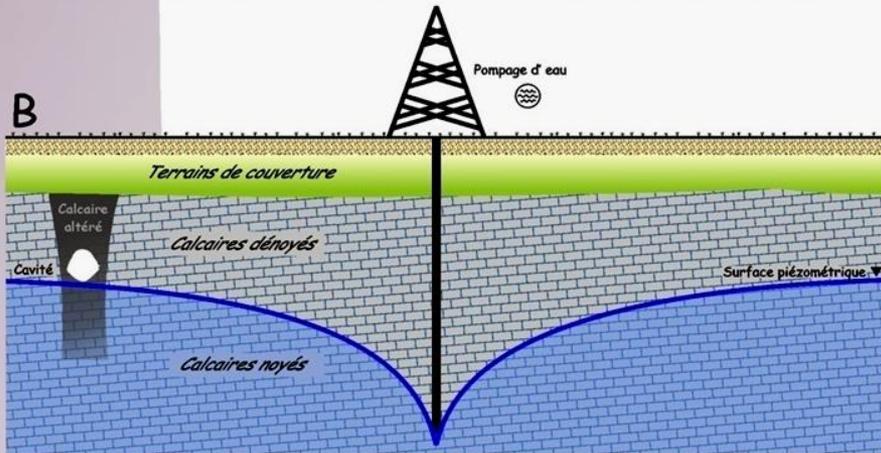
La genèse des effondrements dans le Tournaisis

A



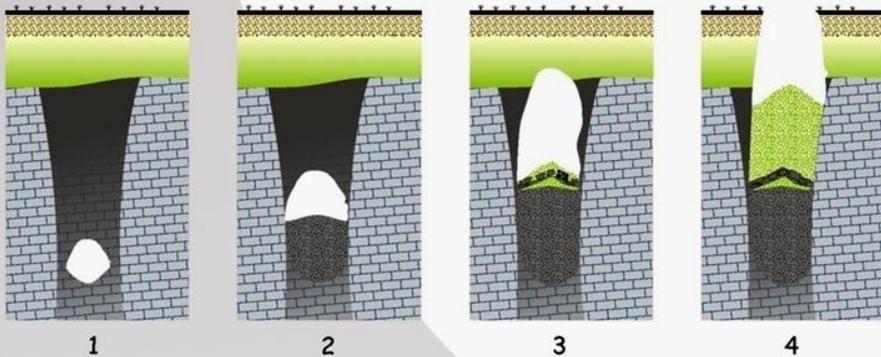
A. Avant les années 50, les calcaires dans le Tournaisis se trouvaient noyés, sous la surface piézométrique.

B



B. Dès les années 50, l'homme a commencé à pomper les eaux souterraines, ce qui a conduit au dénoyage des calcaires par l'abaissement de la surface piézométrique.

C



C. L'abaissement de la surface piézométrique conduit à une circulation d'eau gravitaire qui met en mouvement l'altérite, ce qui forme un vide. Ce vide progresse vers le haut par effondrements successifs de la voûte pour finalement percer la surface.



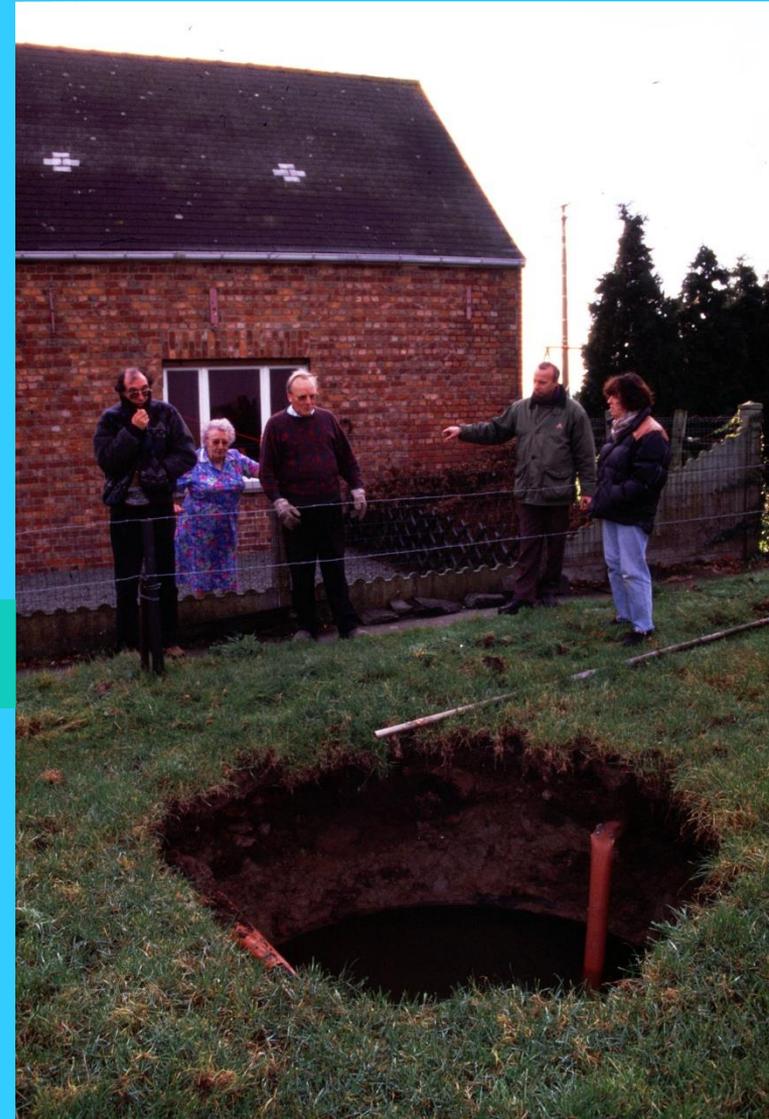
Effondrement dans les fondations du nouvel hôpital (Tournai, Belgique)

Sirault (Hainaut, Belgique)



Effondrements à proximité d'habitations

Gaurain-Ramecroix (Hainaut, Belgique)

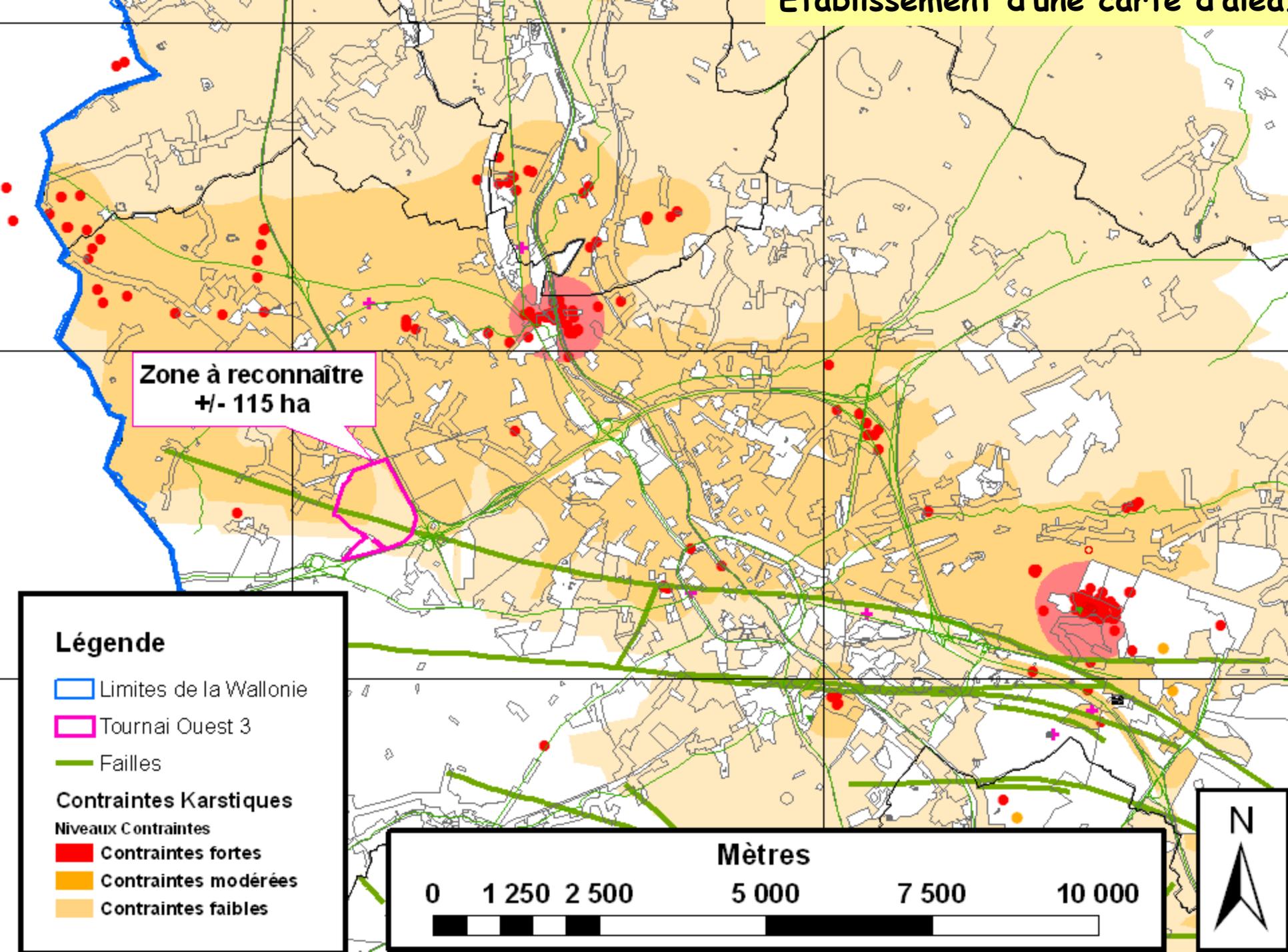




Perte du Rieux de Warchin non épuré dans un effondrement (Tournai, Hainaut)



Effondrement sur le site du TGV (Tournai, Hainaut)



Zone à reconnaître
±- 115 ha

Légende

- Limites de la Wallonie
- Tournai Ouest 3
- Failles

Contraintes Karstiques

Niveaux Contraintes

- Contraintes fortes
- Contraintes modérées
- Contraintes faibles

Schistes et grés du Famennien

Grés du Dévonien inférieur

Calcaires du Dévonien moyen



En Ardenne, les effondrements peuvent aussi résulter de la vidange de systèmes karstiques du remplissage mis en place durant les périodes glaciaires.

Soutirage

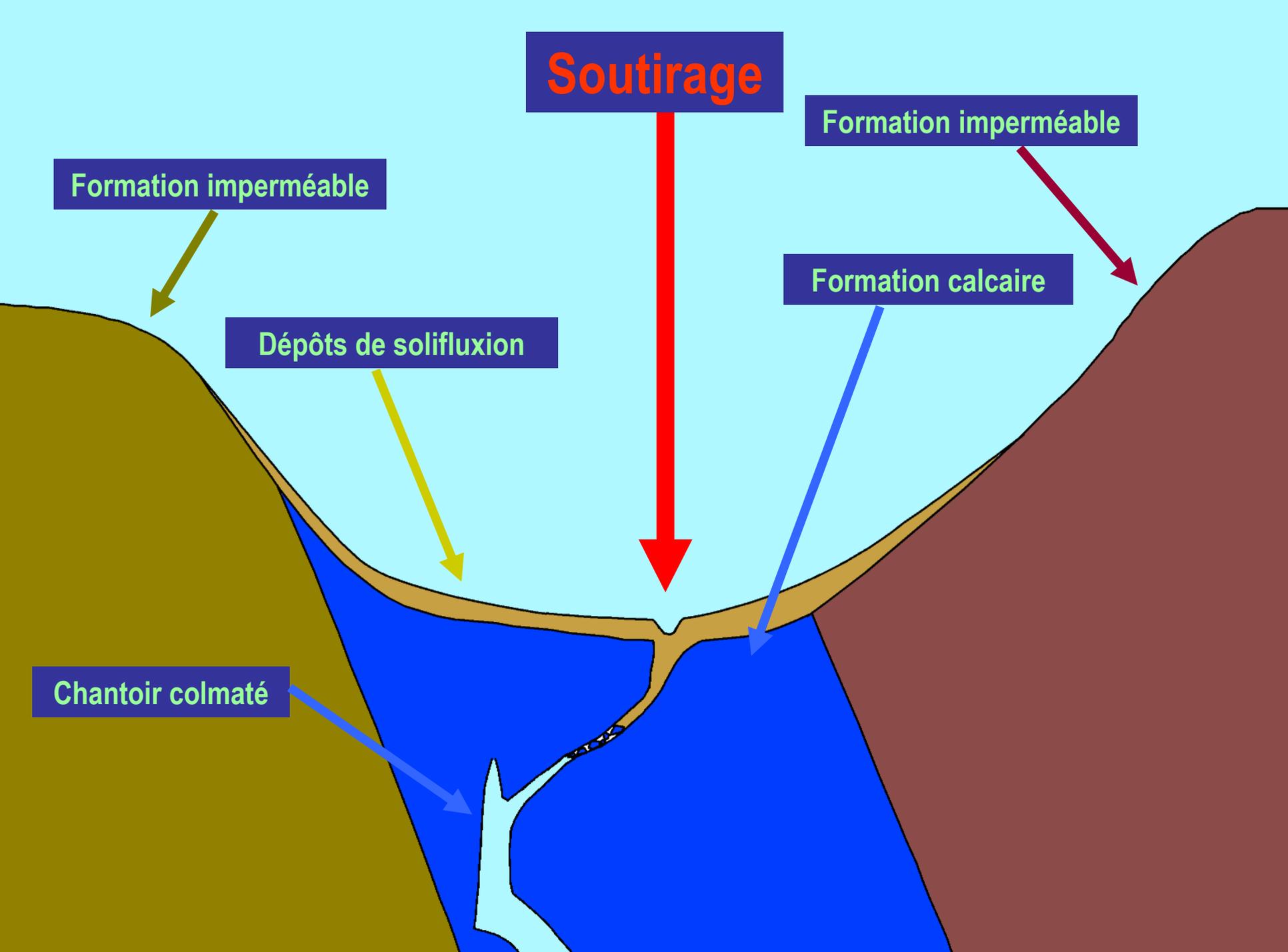
Formation imperméable

Formation imperméable

Dépôts de solifluxion

Formation calcaire

Chantoir colmaté



**C'est fini!
Merci pour votre
attention**

