

PHENOMENES KARSTIQUES AFFECTANT LE CALCAIRE CARBONIFERE DU HAINAUT

par

Yves QUINIF¹, Anne VERGARI², Pascal DOREMUS², Michel HENNEBERT², Jean-Marie CHARLET²

RESUME

Les "Carrières du Hainaut" dévoilent une grande variété de phénomènes paléokarstiques affectant le calcaire carbonifère. On y reconnaît des formes endokarstiques (galeries) et crypto-karstiques (crypto-dolines, couloirs) dont les remplissages les rattachent essentiellement à des phases de karstification crétacées. Une karstification plus modérée durant le Tertiaire affecte la sédimentation de la couverture lors des phases continentales. Mis hors fonctionnement, ces paléokarsts connaissent une nouvelle activité hydrogéologique par l'abaissement de la surface piézométrique. L'importance de ces paléokarsts est grande dans la reconstitution paléoenvironnementale de cette région depuis le Crétacé.

ABSTRACT

The Carboniferous limestone quarry "Carrières du Hainaut" at Soignies (Belgium) reveals various paleokarstic phenomena. Endokarstic forms (galleries), together with cryptokarstic forms (dolinas, channels), can be attributed to the Lower Cretaceous based on the facies of the filling material. The Paleozoic surface and its pervasive karstic framework is capped by marine and continental Tertiary deposits; the latter show weak karstification effects. At present, lowering of the water-table, induced by human activities, determined a new hydrogeologic regime and reactivation of the paleokarst. The understanding of those paleokarsts is of valuable interest for the paleoenvironmental reconstruction of this area since the Cretaceous.

MOTS CLES

karst, paléokarst, calcaire carbonifère, Hainaut (Belgique).

KEY WORDS

karst, paleokarst, Carboniferous limestone, Hainaut (Belgium).

1. INTRODUCTION.

Dans la région de Soignies, le paysage est constitué d'un plateau couvert de prairies et de champs cultivés, à peine entaillé par de petites rivières qui

y prennent naissance pour s'écouler au nord vers la vallée de la Senne. L'altitude moyenne est de 100 à 120 m (fig. 1).

¹ CERAK (Centre d'Etudes et de Recherches Appliquées au Karst), GEFA (Service de Géologie Fondamentale et Appliquée). Faculté Polytechnique de Mons, rue de Houdain 9 - B-7000 Mons.

² GEFA (Service de Géologie Fondamentale et Appliquée), Faculté Polytechnique de Mons, rue de Houdain 9 - B-7000 Mons.

C'est un pays de carrières. A Soignies, les exploitations entament le calcaire carbonifère, plus exactement le Tournaisien supérieur, afin d'y exploiter le "petit granit", calcaire compact donnant un beau poli et utilisé dans la construction. Ce sont ces carrières qui ont permis la découverte, dès le siècle passé (CORNET, BRIART, 1869), de phénomènes karstiques dont l'importance est telle qu'ils gênent le bon déroulement des exploitations et qu'ils modifient d'une manière drastique les régimes hydrogéologiques. Enfin, par leur morphologie, leur structure, les dépôts spécifiques qu'ils renferment et l'influence qu'ils ont eue sur la sédimentation, ils constituent des témoins fondamentaux de l'évolution morpho-structurale post-paléozoïque. Nous nous proposons d'étudier à titre d'exemple les karsts visibles dans les Carrières du Hainaut, sachant qu'ils se rencontrent partout, depuis Charleroi jusqu'à Tournai.

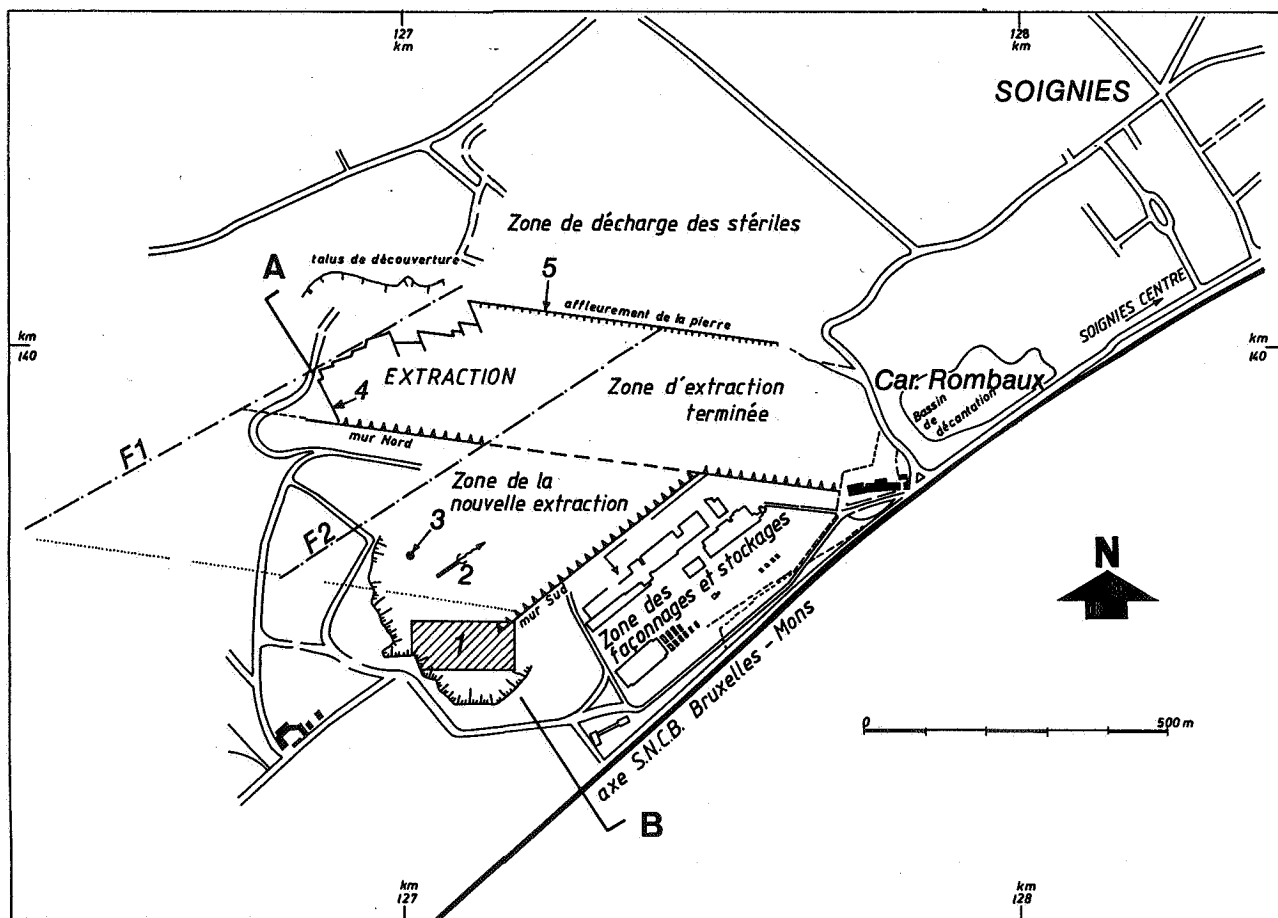
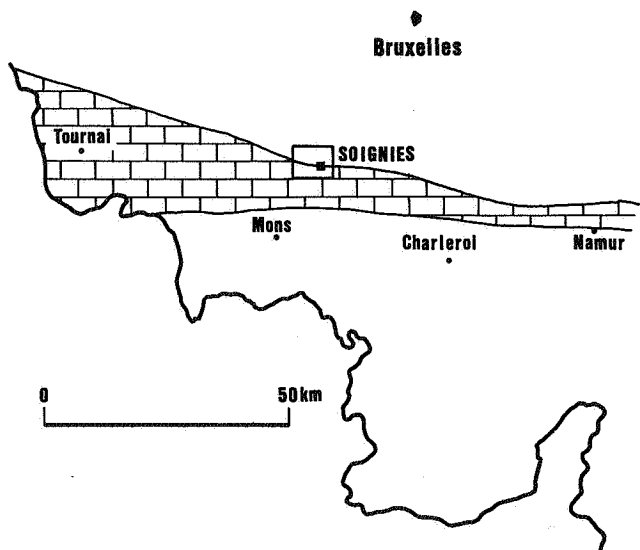


Figure 1. Localisation du site étudié. La zone tramée représente l'extension des calcaires carbonifères, affleurant ou sous couverture essentiellement cénozoïque. Le cadre entourant Soignies reprend les limites de la figure 2.

Localisation of the studied area. The area between Tournai and Namur represents the extension of the carboniferous limestones, with or without overburden. The frame around Soignies is the frame of the geological map of figure 2.

2. ESQUISSE GEOLOGIQUE.

Le socle cambro-silurien est visible au creux d'anciennes exploitations artisanales ou le long de la Senne et de ses affluents. Le Silurien (figs 2a et 2b) qui constitue le soubassement direct des séries dévono-carbonifères est représenté par d'épaisses séries pélitiques et gréseuses du Wendlockien moyen à supérieur et du Ludlowien inférieur, affectées de plis amples de la phase orogénique ardennaise à la fin du cycle calédonien.

Par dessus, les séries dévoniennes et carbonifères, affectées de failles, présentent un faible pendage sud (10 à 15°). Ces séries constituent en fait le bord nord du Synclinorium de Namur formé par le cycle orogénique varisque à la fin du Carbonifère, synclinorium nettement dissymétrique dont le bord sud est infiniment plus déformé que le bord nord.

Au sud de la région étudiée, le sillon synclinal de la vallée de la Haine dévoile des séries crétacées recouvrant la surface d'érosion post-varisque, les premières séries fluviales et estuariennes, de faciès *wealdien*, représentant le Néocomien. Suit alors la grande transgression paléocène supérieur qui a recouvert indistinctement le Paléocène inférieur et le Crétacé de la vallée de la Haine, les séries dévono-carbonifères du bord nord du Synclinorium de Namur et le socle silurien du Massif du Brabant.

3. LA PLACE DES PHENOMENES KARSTIQUES

La karstification d'un massif calcaire peut prendre naissance dès l'émersion : des karsts sont bien développés dans les îles coralliennes du Pacifique (Bourrouilh-Lejan, 1992a, 1992b). Comme les phénomènes karstiques présentent cette remarquable propriété de posséder des formes souterraines dans lesquelles des sédiments sont piégés, ils constituent ainsi de précieux témoins de l'évolution continentale des régions présentant des terrains calcaires.

Dans la région étudiée, les phénomènes karstiques prennent place après l'orogénèse varisque. Des karstifications eurent lieu durant le Paléozoïque supérieur (Quinif, 1989), mais elles n'interviennent pas ici. Les périodes continentales, siège d'importantes phases de karstification, se situent donc au Mésozoïque, et plus particulièrement après les grands aplanissements post-varisques. En effet, les karsts de type montagnards qui n'ont pas manqué de se développer dans les chaînes varisques ont été détruits par l'érosion. Les témoins que nous allons

examiner ci-après, pour encore exister actuellement, ont pris naissance dans un paysage de faible relief dont l'érosion n'a pu venir totalement à bout de l'épikarst ou de l'endokarst. Il faut donc nous attendre à rencontrer des formes et remplissages karstiques, peut-être d'âge fini-jurassique, mais certainement crétacés et tertiaires.

4. LE PAYSAGE

Le plateau de Soignies-Naast est remarquable d'uniformité. C'est un paysage qui ne rappelle en rien une région karstique! Il s'agit d'une ligne de partage des eaux : les talwegs des rivières sont donc peu incisés et ne dévoilent souvent que les premiers mètres des terrains quaternaires et tertiaires (sables, limons, argiles). Dans ce paysage, seules les carrières mettent le sous-sol à jour et découvrent les formes et dépôts karstiques. Parmi ces exploitations, les carrières du Hainaut sont riches en phénomènes karstiques très divers : c'est dans cette exploitation que nous avons trouvé les formes et dépôts décrits dans cet article.

5. LES KARSTS DES CARRIERES DU HAINAUT

Plusieurs types de formes karstiques altèrent les calcaires. La diversité de ces formes résulte de l'influence de plusieurs facteurs : nature de l'encaissant, type de contraintes tectoniques, âge des phases de karstification, paléoenvironnement. Ce dernier facteur est particulièrement important car, en fait, il résume la suite des processus dynamiques qui se sont déroulés au cours de l'histoire géologique, géomorphologique et climatique de la région.

5.1. Structure géologique observée dans la carrière

Les couches présentent un pendage faible et régulier de 11 à 12°S (direction N99°E). La litho-stratigraphie débute par un calcaire silico-dolomitique appelé "Cliquantès" (*figure 3*). Il est suivi par le "petit granit", lui-même étant surmonté de calcaires plus stratifiés, beaucoup moins compacts appelés ici les "raches". Ces calcaires appartiennent à l'étage Ivorien (Tournaisien supérieur). Actuellement, on n'observe pas à l'affleurement les couches supérieures. Elles sont connues en sondage à une centaine de mètres au sud de l'exploitation : ce sont les dolomies molinaciennes (Viséen inférieur).

- 4 : Calcaires du Tournaisien supérieur (raches, petit granit, cliquantes).
- 5 : Tournaisien inférieur et moyen.
- 6 : Dévonien moyen et supérieur.
- 7 : Silurien du Massif du Brabant.
- 8 : Failles majeures.

Le rectangle en traits interrompus correspond au cadre de la figure 1. Les coordonnées géographiques sont les coordonnées kilométriques du système Lambert belge.

Geological map and section of the studied area.

- 1 : Holocene alluvium.
- 2 : Tertiary cover (Landenian and Ypresian).
- 3 : Visean dolomite.
- 4 : Limestones from Upper Tournaisian ("raches, petit granit, cliquantes").
- 5 : Lower and Middle Tournaisian.
- 6 : Middle and Upper Devonian.
- 7 : Silurian of the Brabant Massif.
- 8 : Major faults.

The rectangle in dotted line corresponds to the frame of the figure 1. The geographical coordinates are the kilometric coordinates of the Belgian Lambert System.

5.2. L'endokarst

Des formes endokarstiques sont bien développées, spécialement dans le petit granit, mais aussi dans les raches. Une des plus spectaculaires est une galerie creusée dans le petit granit au front N. Elle a 9 mètres de hauteur pour 3 mètres de largeur. Les formes sont essentiellement des parois sculptées de coupoles métriques. La galerie se développe au détriment d'une diaclase de direction N70°E. Nous nous trouvons là à une cinquantaine de mètre de profondeur par rapport à l'actuelle surface du sol. Cette galerie est totalement colmatée par un remplissage complexe à aspect général d'argile noire. En fait, ce sont des ensembles sédimentaires stratifiés, montrant en alternance des argiles riches en matières organiques et des sables. Ces sédiments présentent, dans l'ensemble, une radioactivité anormalement élevée (tableau 1).

La deuxième forme endokarstique spectaculaire a été mise à jour par la découverte des raches au front S à la fin de 1989. Il s'agit d'une galerie large de 0,5 à 1 mètre, haute de 2 mètres et perchée à quelques mètres au dessus du palier d'exploitation. Un courant d'eau y a décolmaté une partie du remplissage, remplissage de nature analogue à celui de la galerie nord. En août 1992, ces mêmes travaux ont rouvert la galerie par un porche imposant de 10 mètres de haut. La progression spéléologique est stoppée à une quinzaine de mètres dans la cavité par le colmatage qui rejoint la voûte. Il s'agit de sables et d'argiles finement stratifiés, ainsi que de sables noirs résultant de la corrosion in situ des parois calcaires. Une belle coupole métrique se développe à la voûte au détriment d'une diaclase verticale de direction N.67°E

A côté de ces galeries importantes, de multiples vides perforent le massif. Il s'agit surtout de coupoles métriques à décamétriques.

Lorsqu'on peut les examiner avant l'exploitation, elles sont colmatées par des dépôts de la même nature que ceux des galeries. Mentionnons également des anastomoses de fractures verticales, lacis de chenaux hémicylindriques de quelques centimètres à un décimètre, se recoupant à maintes reprises, visibles lorsque l'exploitation enlève un des deux murs de la fracture. Ces vides illustrent le début de la genèse du karst noyé, lorsque des filets d'eau s'écoulaient lentement dans les fractures au sein de la zone saturée. Leur genèse exacte est plus difficile à interpréter que celle des classiques anastomoses de joints de stratification, microforme jumelle mais située dans des plans horizontaux.

Vu les contraintes d'étude liées à l'exploitation, il est difficile de reconstituer dans l'espace le trajet des galeries. Néanmoins, dans l'axe de la galerie nord et de la galerie de la rivière, une série de diaclases verticales karstifiées et colmatées permettent de visualiser un axe de drainage (fig. 4) sous l'aspect de couloirs. Les formes s'allongent parfois sur plus de cent mètres et évoquent bien des paléodraines, accidentellement remis en fonctionnement par le rabattement de la surface piézométrique.

Nature des échantillons

4058 : suite de 5 échantillons se succédant de la paroi d'un couloir (1) vers l'intérieur de la masse rocheuse (le 5 est le plus éloigné, à 50 cm). Ces données expriment géochimiquement la frange d'altération : diminution de la teneur en CaCO₃,

Echantillon	CaCO ₃ (%)	SiO ₂ (%)	M.R.(mF/gr)	U(ppm)	Th(ppm)	K ₂ O(%)
4058-1	92	4,1	2,7	5,6	0	0
4058-2	93	3,4	2,1	5,3	0	0
4058-3	95	2,2	2,0	5,5	0	0
4058-4	98	2,2	3,0	5,1	0	0
4058-5	97	2,2	2,1	4,7	0	0
4017	2,8	39	56	18,7	6,7	1,45
4015	0	93	2,0	3,0	0,79	0,28
4024	0	28	50	22,8	5,2	0,70
4021	0	51	27	15,6	4,6	1,66
4133	---	---	---	3,5	1,0	0,24
4121	---	---	---	12,9	6,6	1,15
4130	---	---	---	31,8	2,3	2,12
0492/7	---	---	---	13,9	27,5	0,48

Tableau 1 : données géochimiques de quelques échantillons de calcaire et de remplissage.

augmentation de la teneur en SiO₂ et des teneurs en uranium.

4017 : argile noire englobant des cherts, zone des couloirs.

4015 : sable gris-vert situé dans une cavité de la zone des couloirs.

4024 : argile noire pyriteuse (galeries jumelles).

4021 : argile noire, en plaquage de cherts (zone des couloirs).

4121 : faciès "mille feuilles", échantillon surtout sableux (zone des couloirs).

4133 : sable gris de la "poche Flappi".

4130 : sable à l'intérieur de la masse argileuse noire de la "poche Flappi".

0492/7 : sédiment rouge dans le promontoire.

Certains de ces paléodrain dévoilent leur remplissage. Une coupe (fig. 5), levée dans la partie supérieure du petit granit, montre de bas en haut un remplissage à faciès "mille feuilles", succession de strates de sable blanc et de lentilles de matières argileuses noires, contenant en plus des galets roulés et altérés. Au dessus, une zone de galets dessine une grosse lentille. Ces galets sont formés de quartz ou de roches du socle pré-carbonifère altérées. Cette lentille est scellée par une surface horizontale de sédiments présentant à nouveau un faciès de type mille-feuilles (sable blanc et petits lits d'argile riche en matière organique).

L'examen pétrographique des galets montre à peu près 50% de galets de quartz et 50 % d'autres roches. Ces dernières sont essentiellement des grès, assemblages de grains très hétérométriques comprenant des quartz et des microquartzites à grains très fins du Cambrien, repris par la transgression du Dévonien moyen. De petits grains de phyllades, un grain de tourmaline ont aussi été observés. Nous avons aussi rencontré un faciès un peu rosé, à linéaments parallèles, un autre plus argileux, ainsi que des phyllites déformées. Ont également été reconnus des gros grains de quartz à bulles, évoquant des quartz filoniens hydrothermaux. Ces associations confirment donc une origine cambro-ordovicienne et dévonienne du Brabant.

5.3. Les formes superficielles

Nous appelons ainsi des formes karstiques situées non loin de la surface, à l'exclusion de la zone des couloirs décrite ci-après. Il s'agit de conduits verticaux en coupoles anastomosées, de poches colmatées de sédiments divers (sables, argiles, matières organiques), de fractures corrodées en coupoles avec parois fragilisées. Il semble bien que ces formes n'ont de superficiel que l'actuelle situation topographique, hormis les dépressions appartenant à un crypto-lapiaz comme la "poche Flappi" (fig. 6), ou encore la "poche Poclairn" et la "poche à Tertiaire".

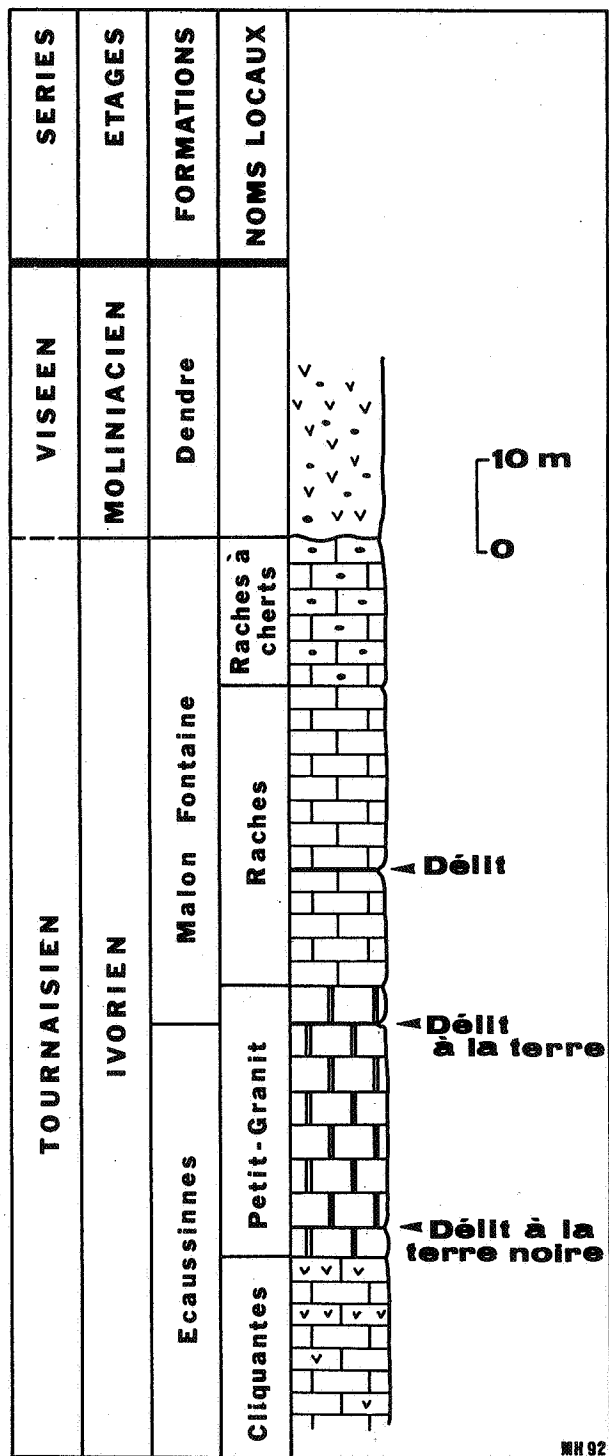


Figure 3. Série lithostratigraphique des formations concernées. Les "délimit" sont des couches centimétriques argileuses dont l'origine est encore obscure.

Lithostratigraphic series of the concerned formations. The "délimit" are centimetric clayey layers of unknown origin.

La "poche Flappi" (fig. 6) montre un ensemble sédimentaire commençant par un encroûtement ferrugineux au contact du calcaire. On trouve

ensuite une grosse masse de sable blanc englobant de petites lentilles décimétriques de matière argileuse noire contenant parfois de petits galets mous. Ce sable est surmonté d'un noyau de matière organique noire et brune massive, montrant des débris végétaux allant jusqu'au lignite. De petites lentilles de sable gris s'y trouvent dispersées. A nouveau, comme dans l'endokarst, ces sédiments, spécialement les argiles noires, sont radioactifs.

La "poche Poclain" renferme un remplissage qui commence par un sable blanc analogue à celui de la "poche Flappi", supportant une matière argileuse noire, organique, radioactive. Bien que l'observation y ait été très difficile vu la perturbation des sédiments due à l'exploitation, la couverture tertiaire (argiles sableuses vertes ou jaunes) y présente une structure en guirlande.

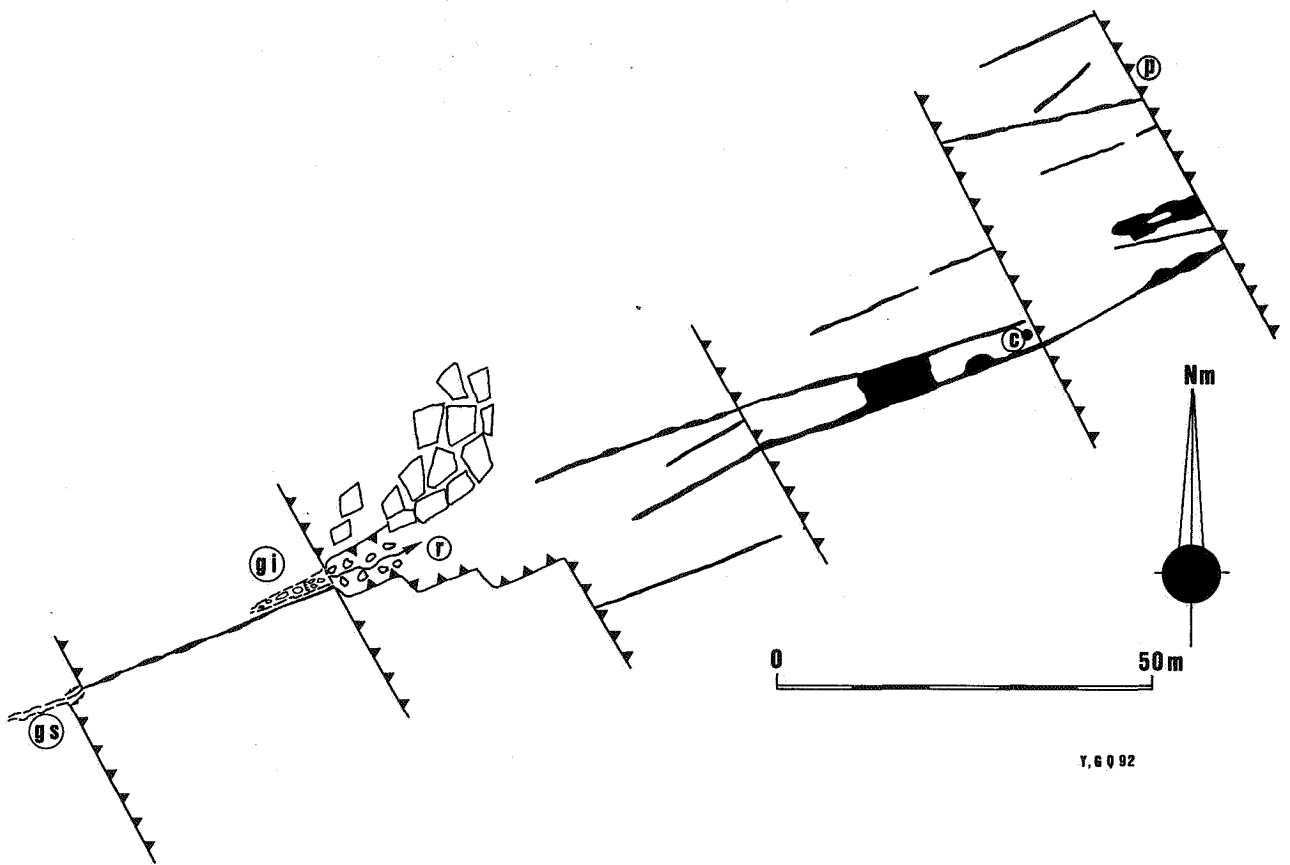
La "poche à Tertiaire" a permis une observation plus précise (fig. 7). Sur un substratum calcaire très altéré (raches), on trouve une première couche constituée de sable blanc, de matière argileuse noire et de débris de cherts, analogue à ce que l'on a trouvé dans les poches Flappi et Poclain. Suivent une couche d'argile beige et de sables roux accompagnée d'un cordon de galets de cherts à la base, une couche à amas tourbeux et ligniteux dans des argiles sableuses ocres et rouilles et, enfin, des argiles sableuses brunes à *Nummulites*. Dans ce cas, on voit donc que le Tertiaire est descendu dans la poche avec des faciès qui ressemblent à ceux de la couverture des couloirs (voir plus loin).

5.4. La zone des couloirs

Ce vaste accident karstique se localise dans les raches, à l'extrémité S-W de la carrière. Vu de loin, le calcaire est noirâtre, de vastes et nombreux couloirs lacèrent le massif, les paliers d'exploitation sont encombrés de cailloux et de sédiments meubles. La principale caractéristique morphologique est la présence des couloirs alignés sur des diaclases de direction N60°E à N70°E (fig. 8). Ils ont quelques mètres de large, une profondeur décamétrique. Ils sont séparés les uns des autres par des "promontoires" formés de calcaire plus sain. C'est une zone terriblement chaotique.

Les couloirs sont colmatés par des ensembles sédimentaires variés mais qui présentent des points communs. Une des coupes (fig. 9) comprend, de bas en haut :

- 50 cm de faciès "mille-feuilles" (sable blanc et matière argileuse noire) et de sable blanc plus homogène, avec quelques cherts altérés,



Y. 6 Q 92

Figure 4. Plan des formes karstifiées dans l'exploitation sud-ouest. Les galeries sont figurées en noir : elles sont colmatées. En c, une coupe est dessinée à la figure 5. p sont les murs de l'exploitation, ils ont environ 5 mètres de haut. gi est la grotte inférieure dite "grotte de la Cascade" : une rivière souterraine y débouche (r). gs est la "grotte supérieure", galerie d'une dizaine de mètres de long, accidentée de coupes, encombrées d'éboulis et, finalement, colmatée. Les diaclases qui guident les drains ont des directions variées dans le détail mais se regroupent autour d'une direction moyenne N70°E.

Map of the karst forms in the S-W exploitation. Galleries, drawn in black, are filled. In c, a section is drawn in figure 5. p are the walls of the exploitation which are 5 meters high. gi is the cave "Grotte de la Cascade" with an underground river (r). gs is the upper cave, a 10 meters long gallery with coupolas and fallen blocks. Joints concentrate drainage along mean direction N70°E.

- quelques centimètres formés d'une alternance serrée de straticules sableuses et argileuses,
- plus d'un mètre d'une masse argilo-sableuse à stratification confuse, comprenant de nombreux cherts altérés,
- latéralement, au sommet de la coupe, une brèche de cherts altérés dans une matrice argileuse noire peu abondante se présente en une masse arrondie enfoncée dans l'argile sableuse noire précédente.

Mentionnons encore la radioactivité anormale de ces sédiments, surtout les argiles noires et les brèches de cherts.

5.5. Le promontoire

Nous avons appelé ainsi un éperon calcaire, à présent disparu, situé au nord du front sud. Plusieurs observations y ont été faites. Tout d'abord, c'est là qu'une coupe de référence de la couverture tertiaire a été levée par l'un d'entre nous (P.D., voir ci-après). Ensuite, les parois verticales de cet éperon dévoilent de superbes petites coupes décimétriques organisées parfois en anastomoses, au détriment des joints de stratification. Les cherts en place apparaissent en relief mais sont eux-mêmes altérés (perte de toute cohérence). Dans les vides, on a trouvé des sédiments argileux dont certains étaient jaunes à orangés. Ils sont plus radioactifs que l'encaissant ; les résultats du dosage de l'uranium, du thorium et du potassium par spectrométrie

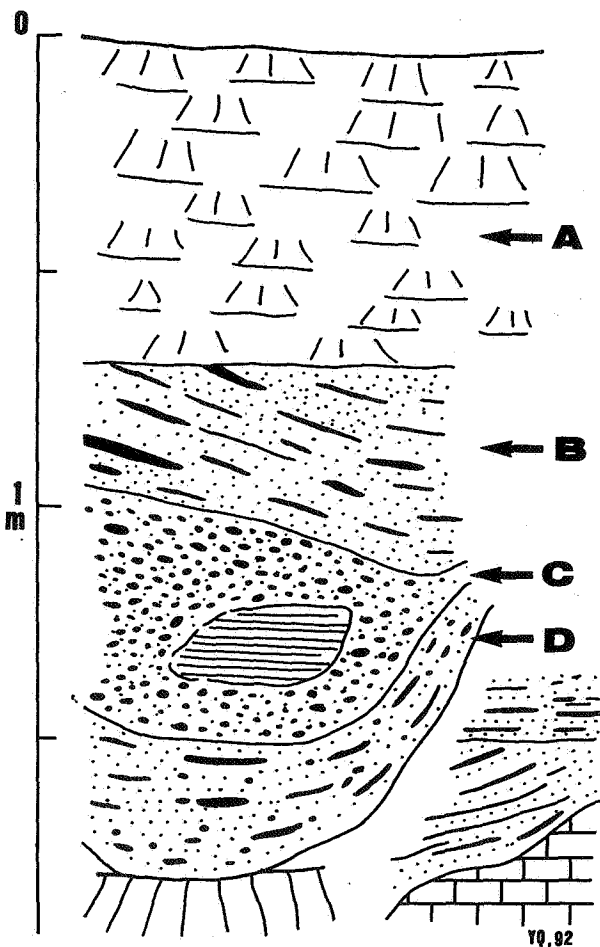
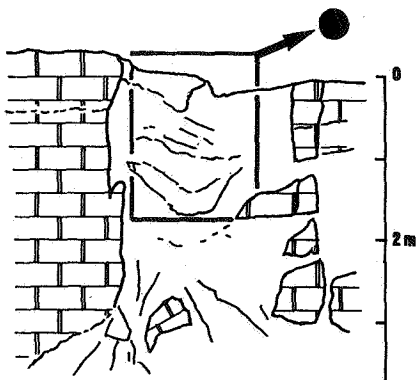


Figure 5. Coupe c (galerie dans le sommet du petit granit, en aval de la grotte de la cascade). Le cartouche donne l'aspect général de la galerie. La base est encombrée d'éboulis et de terrains remaniés. Le cadre montre la coupe dessinée plus en détail. On y voit les formations suivantes.

A : Terrains remaniés.

B : Faciès de type "mille feuilles", formé d'une alternance de sable blanc et de matière argileuse noire qui se présente en petites amygdales et non en strates continues.

C : Lentilles de galets centimétriques à pugilaires, constitués de quartz et de roches quartzo-schisteuses fortement altérées.

D : Prépondérance de sable blanc, galets de quartz, galets de roches quartzo-schisteuses altérés, lentilles de matière argileuse noire organique.

Section c (gallery in the top of the "Petit Granit" facies, downstream of the "Grotte de la Cascade"). The cartoon gives the general aspect of the gallery. The bottom is encumbered by fallen blocks and reworked material.

A : Reworkings.

B : Millefeuille facies, alternation of white sands and black clayey matter in discontinuous levels.

C : Lenses of centimetric and decimetric pebbles, constituted of strongly weathered quartz and quartz-mudstones.

D : Preponderance of white sands, quartz pebbles, weathered quartz-mudstone pebbles, lenses of black clayey organic matter.

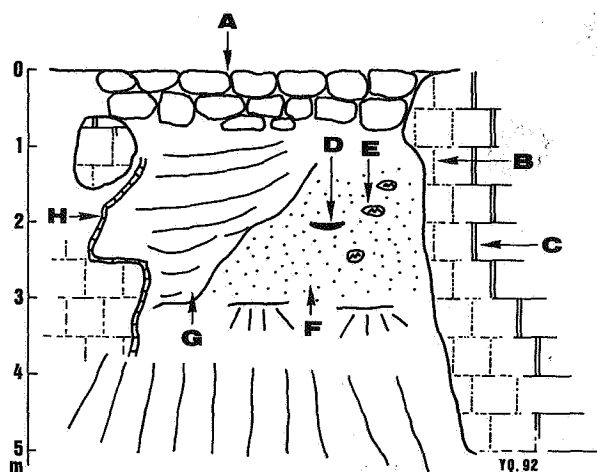


Figure 6. Poche "flappi" localisée dans le sommet du petit granit, sur le flanc nord de la carrière, quelques mètres sous la surface naturelle du terrain qui, à cet endroit, est invisible sous les déblais de la carrière.

A : Mur de pierres sèches.

B : Liseré de petit granit altéré.

C : Petit granit sain.

D : Lentille de matière argileuse organique avec galet de quartz.

E : Chert altéré.

F : Sable blanc à gris, bien lavé.

G : Matière argileuse noire, organique, avec tourbe et lignite.

H : Encroûtement ferrugineux.

"Flappi" pocket, localised in the top of the "Petit Granit" limestone facies, on the north side of the quarry, a few meters under the natural surface.

A : Pebble wall.

B : Weathered fringe in the "Petit Granit".

C : Unweathered "Petit Granit".

D : Black clayey organic matter with quartz pebbles.

E : Weathered chert nodules.

F : White to grey well-sorted sand.

G : Black clayey, organic matter with peat.

H : Ironstone crust.

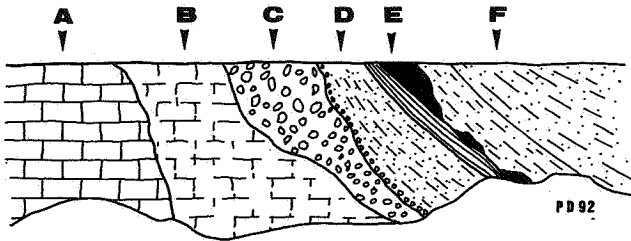


Figure 7. Coupe schématique de la "Poche à Tertiaire". Les pendages sont exagérés.

- A : Calcaire sain.
- B : Calcaire altéré.
- C : Sables blancs, matière argileuse noire, débris de cherts.
- D : Argiles beiges, sables roux, cordons de galets de cherts à la base.
- E : Tourbes et lignites en amas, argiles sableuses ocres et rouilles.
- F : Argiles sableuses brunes à *Nummulites*.

Schematic section of the pocket "Poche à Tertiaire". The slopes are very exaggerated.

- A : Unweathered limestone.
- B : Weathered limestone.
- C : White sands, black clayey organic matter, chert debris.
- D : Brown clays, red sands, chert pebble beds base.
- E : Peat, red sandy clays.
- F : Brown sandy clays with *Nummulites*.

gamma sont donnés dans le tableau 1. Ces teneurs sont caractéristiques d'un paléosol de type ferralitique. On sait en effet (Quinif, Mercier, Roche, Dupuis, 1983 ; Charlet, Doremus, Quinif, 1987) qu'une allitisation concentre le thorium à cause de son insolubilité, l'uranium par adsorption sur les minéraux argileux de type kaolinite et les oxyhydroxydes de fer, et appauvrit le sol de son potassium. Ces sédiments argileux constituent ainsi des témoins d'un paléosol qui surmontait le promontoire, probablement avant la transgression paléocène.

La surface du promontoire supporte la couverture tertiaire : c'est la surface de transgression (voir ci-après). Cette paléosurface est accidentée de formes de corrosion de type lapiaz. Enfin, des fractures karstifiées verticales exhibent des cherts en relief, des parois aux formes arrondies. Il est plausible de les associer à une crypto-corrosion elle-même liée à la pédogenèse.

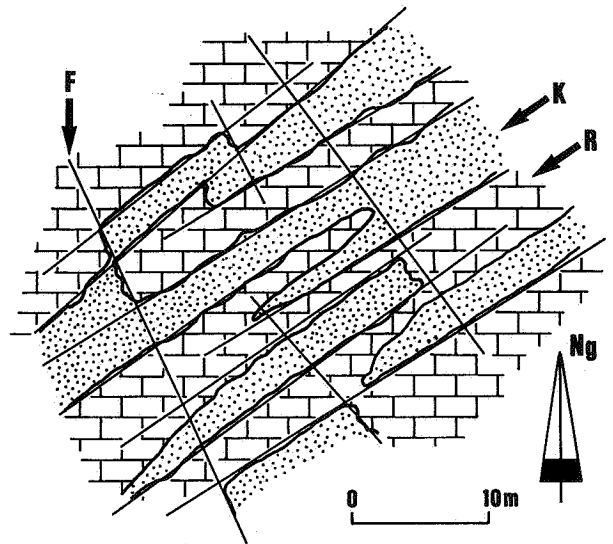


Figure 8. Schéma partiel de la zone des couloirs.

- R : promontoires rocheux.
- K : couloirs karstiques.
- F : fractures.

Partial scheme of the channels area.

- R : rocky promontories.
- K : karstic channels.
- F : fractures.

5.6. Les franges d'altération dans la roche encaissante

C'est un problème qui se pose rarement dans les karsts "actifs", spéléologiquement étudiés. Ici, on observe que le calcaire encaissant est souvent altéré autour des formes karstiques sur une épaisseur assez grande : quelques centimètres à quelques décimètres dans le petit granit, plus dans les raches. Quels sont les facteurs responsables?

Le moteur énergétique est essentiellement chimique. Une érosion mécanique détruirait ces franges d'altération qui, par endroit, sont constituées de silts et de sables. Une première condition pour les observer est donc que l'attaque chimique se soit constamment faite dans un milieu *protégé de l'érosion mécanique*.

La lithologie joue un rôle. La porosité des raches, et la plus grande perméabilité de fissures ont indiscutablement favorisé le développement de l'altération dans la masse. C'est là l'origine de la morphologie de la zone des couloirs. Vu de loin, la masse du calcaire est altérée globalement. Ce n'est qu'à une échelle plus petite que l'on distingue les couloirs à remplissages essentiellement alloctones des promontoires calcaires apparemment intacts.

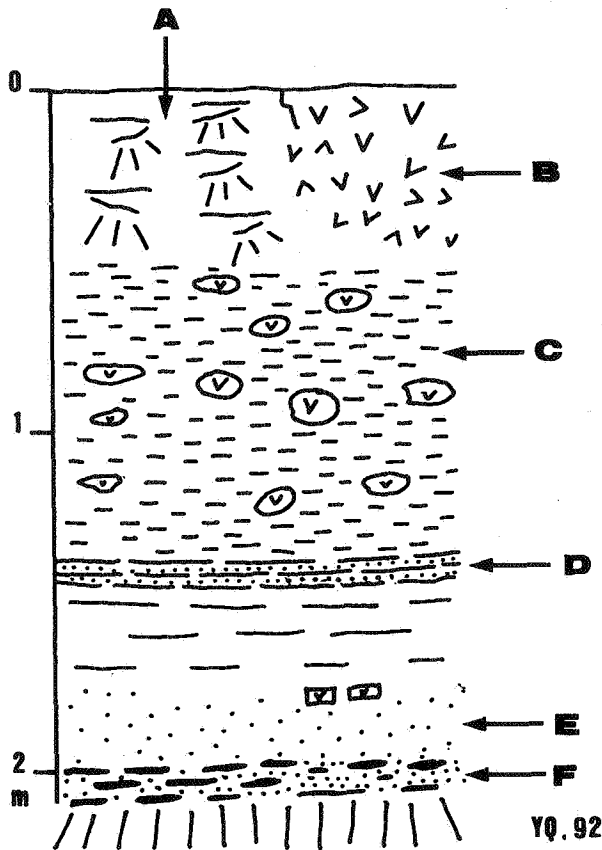


Figure 9. Coupe partielle dans le remplissage d'un couloir karstique.

- A : Zone perturbée.
- B : Brèche de cherts altérés.
- C : Nombreux cherts dans une masse argilo-sableuse noire.
- D : Alternance de sable et d'argile.
- E : Sable blanc.
- F : Faciès "mille feuilles" comprenant quelques cherts.

Partial section in a karstic channel filling.

- A : *Disturbed area.*
- B : *Weathered chert breccia.*
- C : *Abundant chert in black clayey sand.*
- D : *Alternation of sand and clay.*
- E : *White sand.*
- F : *"Millefeuille" facies with some chert.*

Dans le petit granit, la nature du calcaire, plus compact et moins poreux, limite l'extension des franges d'altération. Néanmoins, elles existent indiscutablement comme le montre l'exemple du filonnet de calcite resté intact dans une masse de sédiments meubles, sur le flanc droit du "couloir aux galets".

Il apparaît donc que le colmatage complet de la forme est indispensable pour générer et préserver ces franges d'altération. Cela explique que, dans la presque totalité des cavités karstiques explorables

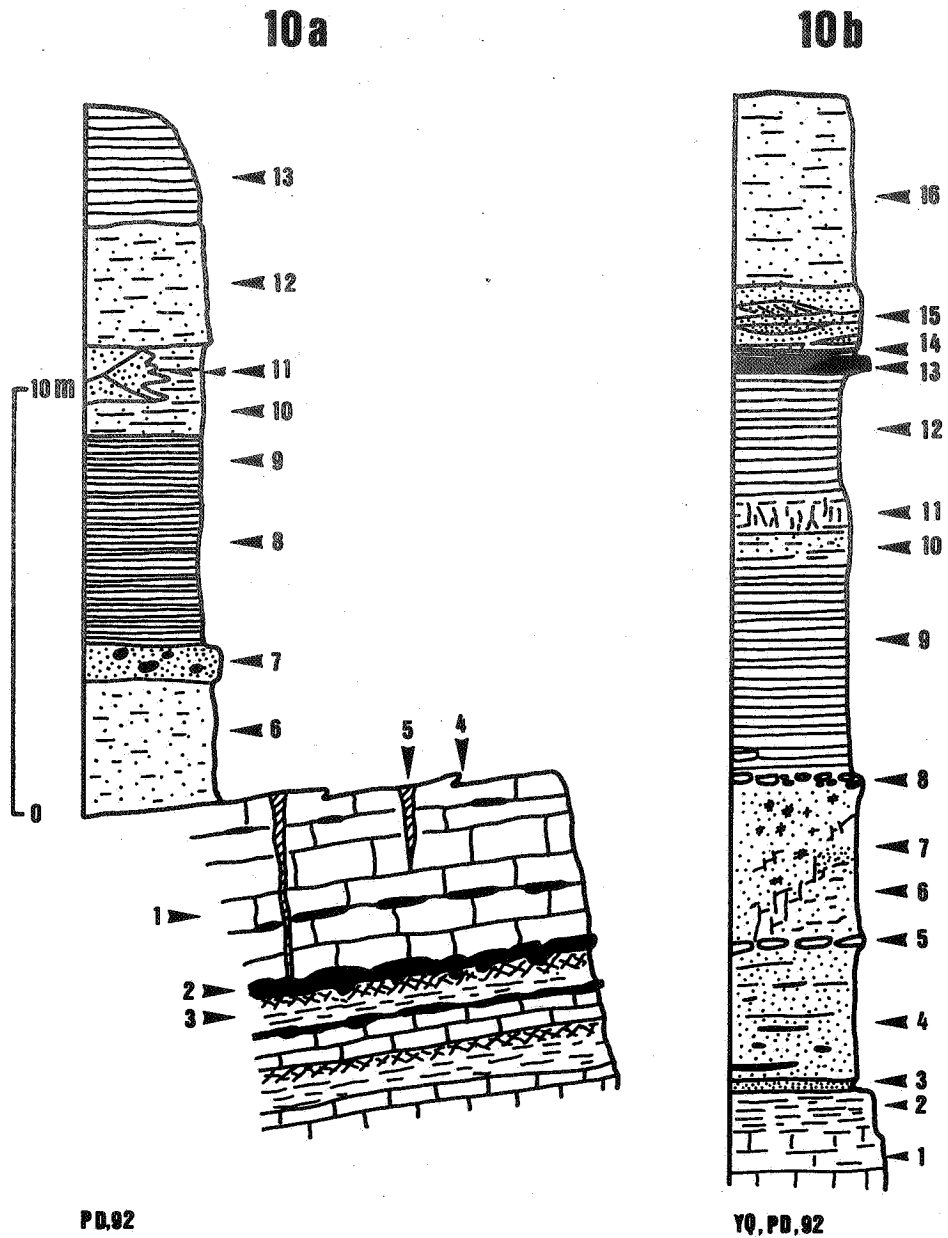
dans le monde, on ne décèle ces franges d'altération sur les parois (on peut planter des pitons dans le calcaire : ils tiennent! ce qui est rigoureusement impossible dans les parois altérées au contact des remplissages wealdiens. En effet, dans les cavités explorables, le temps de colmatage total est souvent court (à l'échelle géologique). De plus, l'enlèvement des colmatages a nécessité des écoulements érosifs qui ont nettoyé les parois de leurs éventuelles franges d'altération.

6. LA COUVERTURE CENOZOÏQUE

Bien que peu épaisse, elle acquiert une importance fondamentale comme témoin et chronomètre des karstifications. Une série témoin a été relevée au dessus d'un éperon calcaire, à présent disparu : c'est la coupe du promontoire. Elle y reposait sur une surface de transgression sculptée dans un calcaire compact mais présentant des formes décimétriques de type lapiaz. Cette coupe comprend une partie inférieure constituée de sables argileux gris verdâtre attribués au Landénien inférieur. Parfois, cette unité repose sur 1 à 2 mètres de cailloutis et de sables argileux rouilles (fig. 10a). Par dessus, des argiles sableuses jaunâtres, marines, appartiennent à l'Yprésien. Le tout est surmonté de loess quaternaires. Nous verrons plus loin que cette couverture présente des variations latérales de faciès importantes.

Au dessus de la zone des couloirs, une autre coupe, plus complexe et comprenant une partie inférieure située dans le karst, présente des différences d'avec la précédente (fig. 10b). Elle se répartit verticalement de part et d'autre d'un cordon de cailloux et de blocs de cherts et de calcaires, une espèce de "stone-line". Ce cordon s'étend à la même altitude que le toit du socle calcaire en dehors des zones fortement karstifiées. Il sépare les dépôts de nature karstique, en dessous, de la couverture s.s., au dessus.

Dans la partie inférieure de la coupe, on trouve sur une épaisseur de 7 mètres des sables gris, marbrés, à structures de dépôt très compliquées dans le détail, avec poches, chenaux, petites failles. Une seconde zone de dalles barre les sédiments fins 4 mètres sous la première. Plus bas, une suite de bancs sableux et de lits de sédiments argileux noirs alternent avec des plages homogènes de sables gris, des chenaux de sables bruns et matières argileuses noirs, des cherts altérés. Cet ensemble sédimentaire de 3 mètres d'épaisseur repose sur 20 cm de sable argileux vert, riche en glauconie. Enfin, à 7,75



PD,92

YQ, PD,92

Figure 10a. Coupe du promontoire.

- 1 : Raches à cherts.
- 2 : Bancs de cherts.
- 3 : vides karstiques de type coupoles et anastomoses de joints de stratification, remplis par des argiles bigarrées et des oxyhydroxydes de fer.
- 4 : Paléosurface karstifiée.
- 5 : Fractures karstifiées à remplissages ferro-argileux en relation avec la zone 3.
- 6 : Sable argileux rouille (Landénien L1).
- 7 : Cailloutis de cherts roulés avec sable blanc à points rouilles (Landénien L1).
- 8 : Argile sableuse verte (Landénien L1).
- 9 : Argile sableuse gris-vert (Landénien L1).
- 10 : Argile sableuse à marbrures rouilles, noires, verdâtres (Yprésien Yc).
- 11 : Sable vert, grossier, argileux, à coquilles de gastéropodes, lamellibranches et *Nummulites*, à stratification entrecroisées (Yprésien Yd).
- 12 : Argiles sableuses ocre (Yprésien Yd).
- 13 : Limons.

Section of the promontory.

- 1 : "Raches" limestone with chert.
- 2 : Chert layers.
- 3 : Karstic coupolas and bedding plane anastomosis, filled by multicoloured clays and iron oxy-hydroxydes.
- 4 : Karstified palaeosurface.
- 5 : Karstified fractures with ferruginous clay filling in relation with the area 3.
- 6 : Red clayey sand (Landenian L1).
- 7 : Chert pebble bed and red-stained white sand (Landenian L1).
- 8 : Green sandy clay (Landenian L1).
- 9 : Grey-green sandy clay (Landenian L1).
- 10 : Sandy clay with mottled veining (Ypresian Yc).
- 11 : Coarse green, clayey sand with gastropode shells, lamellibranchs and Nummulites, cross-stratification (Ypresian Yd).
- 12 : Ochre sandy clays (Ypresian Yd).
- 13 : Loam.

Figure 10b. Coupe des couloirs.

- 1 : Raches à cherts plus ou moins altérées.
- 2 : Zone fortement altérée, argile noire, sables blancs, débris de cherts.
- 3 : Argiles sableuses vertes très glauconieuses.
- 4 : Sables beige à amygdales aplaties de matière argileuse noire organique.
- 5 : Cordon inférieur de blocs de chert et de calcaire.
- 6 : Sables marbrés, beige, blancs, marron.
- 7 : Sables marbrés, beige, verts, séparés des précédents par de petites failles.
- 8 : Cordon supérieur de blocs de chert et de calcaire, à l'altitude du toit du socle.
- 9 : Argiles sableuses vertes (Landénien L1).
- 10 : Sable argileux beige à traces noirâtres (Landénien L1).
- 11 : Argile grise à marbrures rouille et traces de racines (Landénien L1 ou L2).
- 12 : Argile sableuse beige (Landénien L2).
- 13 : Lignites (Landénien L2).
- 14 : Argiles blanches (Landénien L2).
- 15 : Sables rouilles et blancs, grossiers à la base, fins au sommets, à stratifications entrecroisées, chargés de granules ferriques (Landénien L2).
- 16 : Argiles sableuses beiges à nombreuses marbrures rouilles et quelques nodules carbonatés (Yprésien Yc).

Section above the karstic channels area.

- 1 : "Raches" limestone with weathered chert.
- 2 : Strongly weathered zone, black clay, white sands, chert debris.
- 3 : Green sandy clays with glauconite.
- 4 : Beige sand with black, organic layered matter.
- 5 : Lower flint and limestone blocks bed.
- 6 : Veined beige, white, brown sands.
- 7 : Veined beige, green sands, separated from the previous by small faults.
- 8 : Upper horizon of chert and limestone block, at the original subcrop level.
- 9 : Green sandy clays (Landenian L1).
- 10 : Beige clayey sand with black traces (Landenian L1).
- 11 : Grey clay with red veining and root traces (Landenian L1 or L2).
- 12 : Beige sandy clay (Landenian L2).
- 13 : Peat (Landenian L2).
- 14 : White clays (Landenian L2).
- 15 : Red and white sands, coarse at the bottom, fine at the top, with cross-stratifications and loaded by ferruginous grains (Landenian L2).
- 16 : Beige sandy clays with red veins and carbonated nodules (Ypresian Yc).

mètres sous le premier cordon de blocs, le socle apparaît très altéré en argile noire.

Au-dessus du premier cordon de blocs, la couverture débute par une argile un peu sableuse, gris-vert, straticulée, avec un pendage de 9° vers N-306°E. Cet ensemble, épais de 9,5 mètres, présente, entre 5 et 7 mètres au dessus du premier cordon de

blocs, des niveaux plus jaunes avec des traces de racines. Vers 8 mètres, un niveau plus noir suggère la trace d'un paléosol duquel proviendraient les racines. Au-dessus de ces sédiments, une couche de lignite, avec de belles traces de tiges, rompt la monotonie des sédiments sablo-argileux. Ce lignite est suivi par 15 cm de sables argileux blancs et 1 mètre de sables assez grossiers, blancs à ocres, à

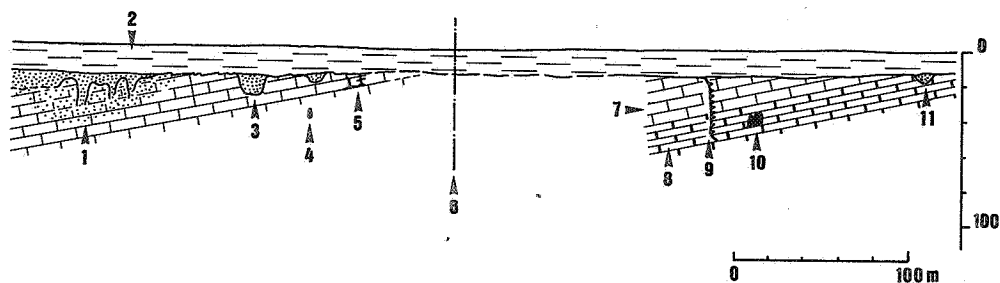


Figure 11. Coupe synthétique des principaux phénomènes karstiques rencontrés dans les Carrières du Hainaut. Tous ne sont pas sur un même plan vertical mais y ont été ramenés par projection.

- 1 : Zone des couloirs dans les raches.
- 2 : Couverture tertiaire.
- 3 : Crypto-dépression à Tertiaire.
- 4 : Grotte de la cascade (en section).
- 5 : Coupoles à remplissage argileux et ferrugineux du promontoire.
- 6 : Faille dite "la grande coupe", rejet normale et décrochant.
- 7 : Raches.
- 8 : Petit granit.
- 9 : Mur nord de l'exploitation.
- 10 : Galeries "jumelles".
- 11 : Poche dite "Flappi".

Synthetic section of the main karstic features observed in the quarry. All features do not fall exactly in the same vertical plan.

- 1 : Karstic channels area in the "Raches" limestone.
- 2 : Tertiary cover.
- 3 : Crypto-depression with in the Tertiary.
- 4 : Cave "Grotte de la Cascade" (in section).
- 5 : Coupolas with clay and ferruginous filling of the promontory.
- 6 : Fault named "la grande coupe".
- 7 : "Raches" limestone.
- 8 : "Petit Granit" limestone.
- 9 : North wall of the quarry.
- 10 : Galleries named "galleries jumelles".
- 11 : Pocket named "Flappi".

stratification entrecroisée et chenaux fluviatiles. Cet épisode se transforme vers le haut en une masse assez homogène de sables jaunes beaucoup plus fins. Enfin, cette couverture se termine par 4,5 mètres de sables argileux jaunes avec parfois des marbrures rouille et des nodules carbonatés. La couverture quaternaire limoneuse est ici dégradée par l'exploitation et invisible.

En comparaison avec la coupe du promontoire, on reconnaît les principales divisions : argile-sableuse verdâtre du Landénien marin et sables supérieurs de l'Yprésien. Par contre, les faciès continentaux (paléosols, lignites, sables fluviatiles), conservés ici, témoignent de conditions de légère subsidence ayant provoqué l'apparition dans une cuvette d'un diamètre de l'ordre de l'hectomètre d'un milieu palustre ayant favorisé l'apparition d'un sol épais générateur de lignite.

7. EVOLUTION KARSTIQUE

L'âge le plus ancien de la formation du karst est au plus celui de l'encaissant : le Dinantien. On ne retrouve pas de formes qui pourraient être attribuées à une phase de karstification précoce sub-contemporaine de la sédimentation.

La phase la plus importante est celle qui se traduit par les grands conduits et formes métriques de type coupoles à la fois dans le petit granit et dans les raches (fig. 11). Le faciès du remplissage évoque le Wealdien sans que nous ayons ici d'éléments formels de datation. Néanmoins, plusieurs faits militent en faveur de l'attribution wealdienne : les galets de quartz blancs trouvés par exemple dans les dépôts fluviatiles wealdiens de Thieu (Marlière, 1946), les sédiments argileux riches en matières organiques et présentant aussi une radioactivité

anormale. Cette karstification wealdienne est à relier à la formation des "puits naturels du Houiller", les "crans" comme celui ayant fourni les Iguanodons de Bernissart où la datation wealdienne est certaine.

Cette karstification vigoureuse, qui peut en fait se composer de plusieurs phases non distinguables, doit être reliée à une activité tectonique importante au Crétacé inférieur (Vandycke, Bergerat, Dupuis, 1991), source d'énergie indispensable pour cette karstogenèse. Le "karst wealdien" est ici caractérisé par un réseau souterrain hiérarchisé avec formes et microformes (coupoles, anastomoses de fractures et de joints de stratification), galeries isolées et drains générés en zone noyée. Les colmatages qui comprennent des galets et des faciès fluviaux témoignent de circulations à forte énergie. Les galets issus du socle brabançon indiquent que des cours d'eau provenaient de ce socle émergé au nord et se perdaient en arrivant sur les calcaires dinantiens pour resurgir au sud. Il est peu courant de retrouver des témoins d'un endokarst structuré datant de quelques 120 millions d'années.

Les phénomènes de type couloir sont peut-être aussi à relier à cette phase de karstification. Ils témoigneraient de formes de type crypto-lapiaz *s.l.* contemporaines de l'endokarst. Néanmoins, rien ne nous permet d'affirmer cela. De plus, si les sédiments de ces formes présentent certains faciès rencontrés dans l'endokarst (argiles noires), ils ne renferment pas de galets de quartz mais montrent des sables verts à glauconie d'origine marine. En outre, on observe une imbrication compliquée entre sédiments autochtones (les cherts, parfois encore organisés en strates, parfois sous la forme de brèches) et allochtones (les sables verts) ou parautochtones. On pourrait, avec ces éléments, penser à une karstification datant du milieu du Crétacé (Aptien? Albien?). Les sédiments karstiques situés sous le premier cordons de blocs de la "coupe des couloirs" ne présentent pas les caractères géochimiques des colmatages de type wealdien.

Les témoins pédologiques trouvés sous le promontoire indiquent une pédogénèse de type tropical antérieure à la transgression paléocène. La surface supérieure du calcaire est accidentée de formes de lapiaz, probablement de cryptolapiaz, élaboré sous une couverture pédologique datant de la fin du Crétacé ou du Paléocène inférieur. La transgression a érodé cette couverture et dégagé les cryptolapiaz. Il est délicat de rattacher cette karstification à la phase des couloirs : elle est plus tardive. Notons que les anomalies en thorium et uranium d'origine pédogénétique impliquent l'existence d'une couver-

ture car le calcaire des raches, s'il renferme quelques ppm d'uranium, est exempt de thorium.

Durant le Tertiaire, les faciès de cuvette de la coupe des couloirs, en révélant des subsidences localisées, témoignent d'une karstification modérée au Landénien supérieur. Elle est sûrement faible car le seul effet morphologique est un tassement modeste : les formes karstiques sous-jacentes restent colmatées. La "poche à Tertiaire", quant à elle, montre un enfouissement plus important qui affecte aussi l'Yprésien : l'activité karstique y est plus récente. Notons que ces phases coïncident avec une énergie hydrodynamique superficielle plus importante que par le passé. Ces indices nous incitent à faire intervenir une activité tectonique.

Enfin, aucun fait n'indique une karstification post-éocène. Bien-sûr, le calcaire carbonifère est aquifère et cet aquifère comprend inévitablement des conduits karstiques mais les colmatages mésozoïques en place témoignent d'une mise hors fonction de ces paléokarsts. Seules les activités humaines, en déprimant la surface piézométrique, provoquent une remise en fonctionnement de certains conduits anciens (grotte de la cascade). A cet égard, on comprend que la topographie monotone probablement depuis des millions d'années ne permet pas un potentiel hydrodynamique générateur de creusement karstique.

8. CONCLUSION

Les formes et remplissages karstiques observés dans les Carrières du Hainaut offrent un éventail exceptionnel de phénomènes paléokarstiques. Le contexte géologique permet de définir plusieurs phases de karstification et de les rattacher à des paléoenvironnements différents. En particulier, la phase de karstification wealdienne se montre exceptionnelle par son ampleur et sa diversité : réseaux endokarstiques, karsts sous couverture, dissolution profonde et superficielle. C'est grâce à elle que le gisement d'Iguanodons de Bernissart existe! La découverte de témoins pédologiques pré-landéniens et de sols paléocènes, de milieu palustre et fluviaux, connectés directement ou indirectement aux karsts sont autant de jalons précieux dans les reconstitutions paléogéographiques et paléoclimatiques. Enfin, la dépendance probable de la karstogenèse par rapport à la tectonique active ouvre de nouvelles voies de recherches bénéficiant à l'un et l'autre domaine.

On peut s'attendre à ce que ces phénomènes se retrouvent partout ailleurs où les calcaires carboni-

fères ont affleuré à plusieurs reprises depuis le Carbonifère. Les recherches entreprises dans le Tournaisis (Quinif, Rorive, 1990) confirment ce point. Toutes ces observations mettent en exergue l'utilité des phénomènes karstiques en tant que témoins de l'évolution continentale. Enfin, il faut souligner leur impact pour l'exploitant, l'hydrogéologue et l'ingénieur : qualité des calcaires exploités, caractéristique hydrogéologique de l'aquifère des calcaires carbonifères, problèmes liés à la stabilité des ouvrages de génie civil.

REMERCIEMENTS

Ces études n'ont été permises que grâce à l'aide de tous les scientifiques et techniciens du service de Géologie Fondamentale et Appliquée de la Faculté Polytechnique de Mons, à l'aide permanente et au soutien de la direction de la S.A. Carrières du Hainaut à Soignies, en particulier Mrs. Lemaigre et Debast, ainsi que le personnel des carrières et de la bienveillance de la Région Wallonne pour l'utilisation des schémas géologiques tirés de la nouvelle carte géologique de la Wallonie en cours de réalisation.

BIBLIOGRAPHIE

- BOURROUILH-LEJAN, F.G., 1992a - Evolution des karsts océaniques (Karsts, bauxites et phosphates). *Karstologia*, **19**: 31-50.
- BOURROUILH-LEJAN, F.G., 1992b - Naissance géologique d'un karst. Lithification - dissolution des sédiments marins de 125 ka à l'actuel et ses conséquences (Grand Banc de Bahamas et Tuamotu). In : "Karst et évolutions climatiques", Salomon, J.-N., Maire, R. (Ed.), *Presses Universitaires de Bordeaux*, 77-114.
- CHARLET, J.M., DOREMUS P. & QUINIF, Y., 1987 - Concentration mechanisms of uranium in the mineralized fractures of the Lower Devonian of the Belgian Ardennes - The case of the Oizy area. *Uranium*, **3**: 387-405.
- CORNET, F.L. & BRIART, A., 1869 - Notice sur les dépôts qui recouvrent le calcaire carbonifère à Soignies. *Bull.Acad.Roy.Belg., Cl. Sci., 2^{ème} série*, **XXVII**: 11-17.
- MARLIERE, R., 1946 - Deltas wealdiens du Hainaut : sables et graviers de Thieu ; argiles réfractaires d'Hautrage. *Bull. Soc. belge Géol., Paléontol., Hydrol.*, **LIV**: 69-101.
- QUINIF, Y., MERCIER, M., ROCHE, E. & DUPUIS, C., 1983 - Essai de reconstitution géodynamique du Paléogène du Bassin belge à partir des données de la minéralogie des argiles, de la

géochimie des radioéléments (U, Th, K₂O) et de la palynologie. *C.R.A.S.Paris*, **296/II** : 1621-1624.

- QUINIF, Y., 1989 - Paleokarsts in Belgium. In : Bosak, P., Ford, D.C., Glazek, J., Horacek, I. (Ed.) : *Paleokarst. A Systematic and Regional Review*. Elsevier and Academia, Amsterdam and Praha, 35-50.
- QUINIF, Y. & RORIVE, A., 1990 - Nouvelles données sur le karst du Tournaisis. *Bull. Soc. belge Géol.*, **99/3-4**: 361-372.
- VANDYCKE, S., BERGERAT, F. & DUPUIS, C., 1991 - Meso-Cenozoic faulting and inferred palaeostresses in the Mons Basin, Belgium. *Tectonophysics*, **192**: 261-271.

Manuscrit reçu le 19 juillet 1993 et accepté pour publication le 28 septembre 1993.