

## Les carrières souterraines de craie blanche du Bassin de Mons.

### Mission SPW/ISSeP « Aléas de mouvements de terrain » 2013-2017

D. Pacyna (Dir. des Risques industriels, géologiques et miniers, Service géologique de Wallonie) et A. Kheffi (Institut scientifique de Service public). Namur, 2018

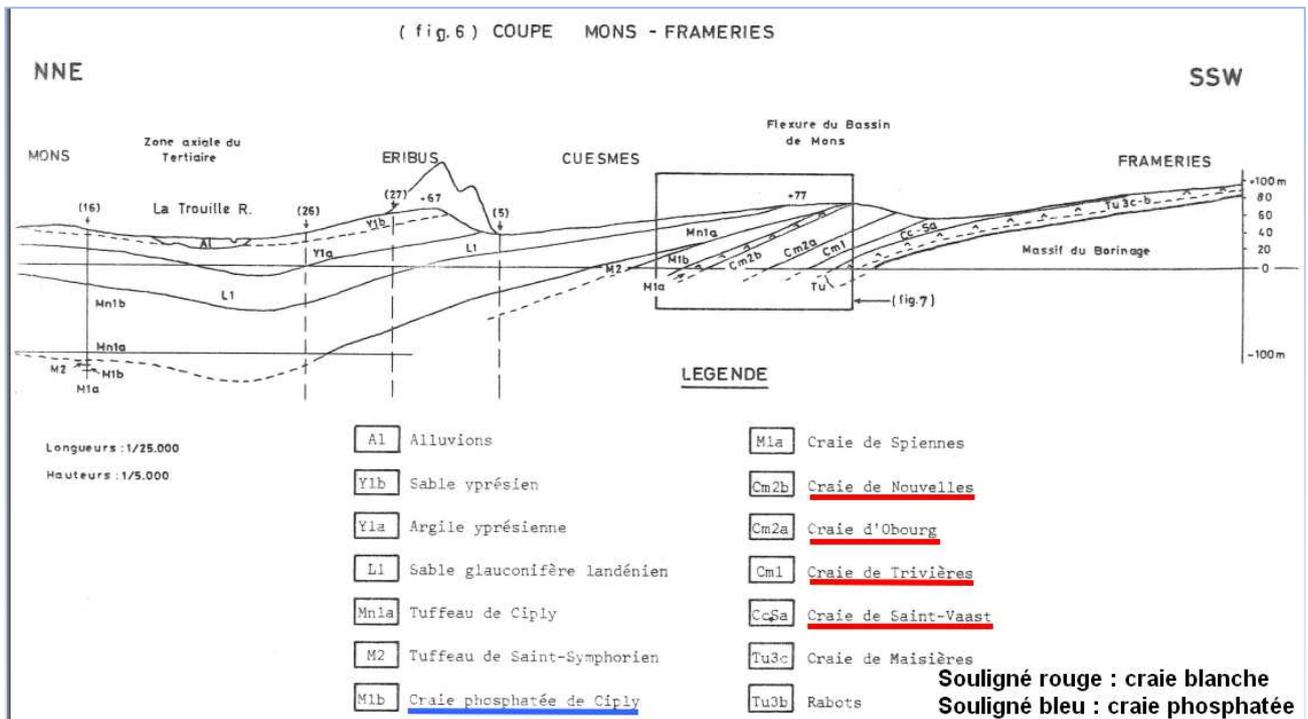
#### 1. DÉFINITIONS PRINCIPALES

- *Puits* : conduit vertical ou sub-vertical destiné à puiser de l'eau, à rejeter des eaux usées en sous-sol ou mettant les travaux d'une exploitation souterraine (mine, minière ou carrière) en relation avec la surface.
- *Eboulement* : chute de blocs et de matériaux meubles depuis le toit d'une excavation ou d'une paroi rocheuse. Les blocs et matériaux tombés au sol constituent les éboulis.
- *Effondrement* : déformation de la surface du sol marquée par des bords présentant un abrupt périphérique (surface de rupture).
- *Affaissement* : déformation progressive de la surface du sol, sans surface de rupture périphérique notable.
- *Fontis* : effondrement local du sol en forme d'entonnoir à bords raides, provoqué par l'éboulement progressif des terrains surmontant un vide souterrain. La remontée de vide laisse derrière elle une cheminée de fontis, parfois appelée « cloche ». La cinétique de remontée du fontis peut être plus ou moins lente. Le phénomène semble rapide vu depuis la surface, où le fontis se manifeste brutalement suite à l'effondrement de la voûte « en cloche » de la cheminée, au moment où elle arrive au raz de la surface du sol : c'est alors qu'on découvre le phénomène. Vu d'en dessous, il est souvent assez lent.
- *Carrière* : exploitation, à ciel ouvert ou par travaux souterrains, de toute substance non listée comme « mine ». Selon le Code civil, les carrières étaient et sont à la libre disposition des propriétaires de surface. Une déclaration d'exploitation n'est nécessaire que depuis 1852 (par galeries) et 1899 (ciel ouvert) et un permis que depuis 1988. Elles appartiennent aux propriétaires de surface à leur aplomb et sont sous leur garde et leur responsabilité. Inactives, elles ne sont pas soumises à une surveillance administrative.

#### 2. IMPORTANCE DU CONTEXTE GÉOLOGIQUE : LES CRAIES BLANCHES ET LES PHÉNOMÈNES KARSTIQUES ASSOCIÉS.

L'exploitation de la craie est circonscrite aux zones où existent des formations de craie blanche répondant à l'usage souhaité (ici, la fabrication de chaux). Le choix d'exploiter en souterrain ou à ciel ouvert est également conditionné par la géologie, au travers de l'épaisseur des formations géologiques et superficielles recouvrant la craie. Par ailleurs, le niveau de la nappe phréatique limitait la profondeur de l'exploitation (au maximum, 30 à 35 m). Il faut que le gisement sain présente au moins 4 m d'épaisseur au-dessus du niveau de l'eau pour pouvoir y mener des travaux solides.

Les craies blanches exploitées par carrières souterraines, à l'affleurement, dans le Bassin de Mons, sont, de haut en bas, et du centre du bassin vers l'extérieur, celles des formations d'Obourg-Nouvelles, de Trivières et de Saint-Vaast.



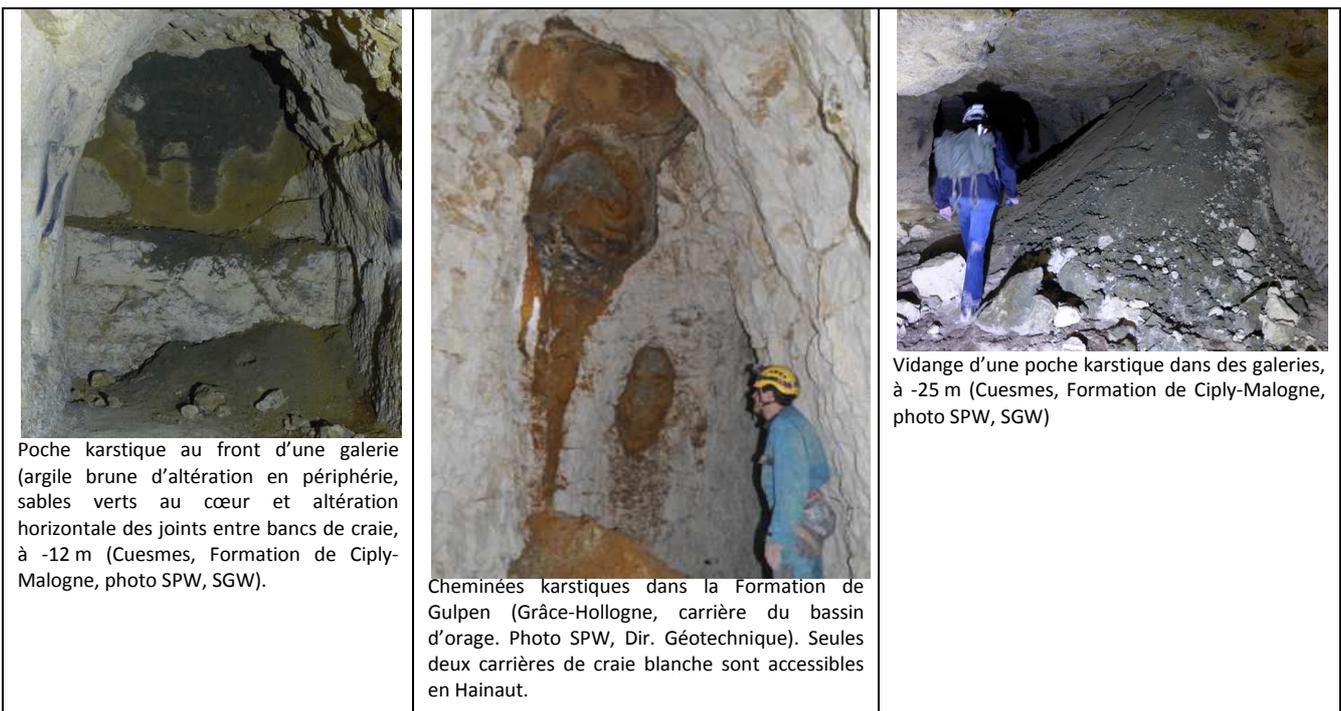
La Formation d’Obourg-Nouvelles est constituée de craie blanche fine, traçante, avec quelques bancs de silex noir au sommet. La Formation de Trivières est plus argileuse, en particulier vers la base et ne renferme pas de silex. La Formation de Saint-Vaast est argileuse et présente des silex bigarrés. La craie grossière, à nombreux lits de silex, de la Formation de Spiennes, qui repose sur la Formation d’Obourg-Nouvelles, a été exploitée dans les minières néolithiques de Spiennes et dans quelques carrières souterraines de silex à Spiennes et Cibly (faïenceries, pierres à fusil). L’épaisseur totale de ces craies est de plus de 100 m. Elles renferment une nappe souterraine importante exploitée. Ces craies ont également été extraites par de vastes carrières à ciel ouvert.

Les craies sont recouvertes, à l’affleurement, par les sables verts thanétiens (Formation de Hannut, Membre de Grandglise) et par les limons et dépôts quaternaires. Les dépôts thanétiens sont assez discontinus en bordure sud de l’affleurement des craies, jusqu’à ne plus laisser que des témoins piégés dans des poches karstiques.

La partie supérieure des craies, juste sous les terrains tertiaires, présente souvent une surface de contact altérée (« marlette »). Par ailleurs, la partie des craies située entre les terrains meubles de couverture et la nappe présente des cheminées (conduits étroits, verticaux, d’allure sinueuse) et des poches (entonnoirs plus ou moins vastes) de dissolution. Dans le Bassin de Mons, on trouve surtout des poches, qui se présentent sous forme d’entonnoirs irréguliers, pouvant atteindre 5 à 15 m de diamètre à la tête de la craie et dont la racine peut descendre à 30 m sous la surface. Elles renferment, près des parois et du fond, des argiles de décalcification, dans la masse, des sables verts du Membre de Grandglise et, au cœur, des limons décalcifiés. Ces sédiments meubles sont descendus au fur et à mesure de la dissolution de la craie. Ces cheminées et poches sont fréquemment recoupées par les galeries. La karstification ne s’est pas développée que verticalement. Elle s’est aussi attaquée aux joints horizontaux et aux diaclases entre les bancs, les élargissant et y infiltrant des matériaux meubles de surface. On trouve ainsi, dans certains sondages, des alternances de craie et de sables ou de limons. Ces poches jalonnent le tracé des failles, où l’eau a pu s’infiltrer.



Carrières souterraines de la Malogne (Cuesmes). Densité des racines de poches karstiques visibles près de l’affleurement (taches vert sombre) et cônes d’éboulis sableux dans les galeries (taches vert clair, h=2 à 5 m). (ASBL Malogne, 2018 sur base des levés du SPW, Dir. de la Géotechnique)



Poche karstique au front d’une galerie (argile brune d’altération en périphérie, sables verts au cœur et altération horizontale des joints entre bancs de craie, à -12 m (Cuesmes, Formation de Cibly-Malogne, photo SPW, SGW).

Cheminées karstiques dans la Formation de Gulpen (Grâce-Hollogne, carrière du bassin d’orage. Photo SPW, Dir. Géotechnique). Seules deux carrières de craie blanche sont accessibles en Hainaut.

Vidange d’une poche karstique dans des galeries, à -25 m (Cuesmes, Formation de Cibly-Malogne, photo SPW, SGW)

### 3. LE CONTEXTE HISTORIQUE ET TECHNIQUE.

Les « puits à marne » sont attestés chez nous dès l'époque gallo-romaine jusqu'au 20ème siècle. La marne constituait un amendement calcaire pour corriger l'acidité des terres exploitées. Bien que non attestées dans le Bassin de Mons, il n'est pas exclu qu'il puisse en exister.

Parallèlement à son usage agricole, la craie a surtout servi, sans doute depuis l'époque gallo-romaine, à la fabrication de chaux, là où les calcaires du Paléozoïque n'étaient pas disponibles. C'était le cas dans le Hainaut, entre Quiévrain et Haine-Saint-Paul. Les exploitations et les fours à chaux associés (« chauffours » ou « chauxfours ») y sont attestés depuis la fin du Moyen-Âge (1444 à Quaregnon). Leur expansion est liée à celle de l'habitat en maçonnerie (ciment à la chaux) et de l'industrie (sucrierie, chimie). La période d'exploitation la plus intense se situe entre 1750 et 1930, avec un pic dans la seconde moitié du 19<sup>ème</sup> siècle.

La cuisson de la craie dans les fours, par alternances de lits de craie et de lits de charbon, nécessitait des blocs de craie de taille moyenne, suffisamment cohérents pour ne pas s'écraser sous la charge en bas du four et assurer la circulation des gaz chauds. De ce fait, contrairement aux marnières agricoles, les carrières sont descendues sous la partie altérée superficielle de la craie pour trouver la qualité de roche désirée. C'est une des raisons du choix de l'exploitation souterraine avant le 20<sup>ème</sup> siècle, du fait de la limitation des moyens de terrassement pour accéder au gisement sain. Outre cet impératif technique, la craie recherchée ne devait pas contenir d'impuretés susceptibles d'altérer la qualité de la chaux (argiles, glauconie, phosphate, ...). Les marnes, craies glauconifères ou craie grossière à silex de la base du Crétacé hennuyer ont donc été délaissées, tout comme les craies grossières et « tuffeaux », trop friables, du sommet du Crétacé et de la base du Cénozoïque. Entre Quiévrain et Haine-Saint-Paul, on n'exploitait que les craies blanches, presque silex, des formations de Saint-Vaast, Trivères et Obourg-Nouvelles.

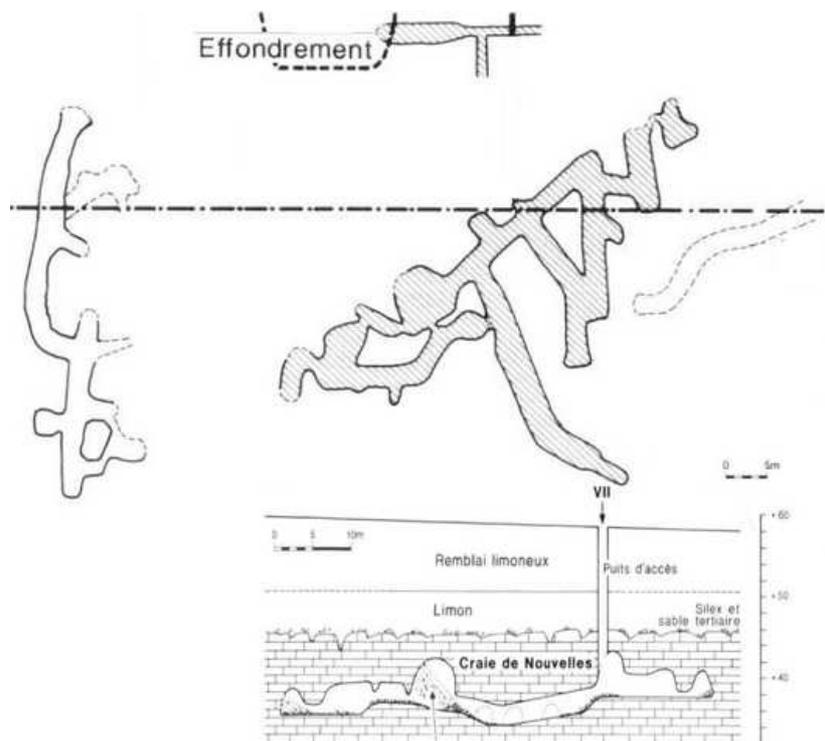
#### **Pourquoi exploiter par puits et en souterrain ?**

Dès le néolithique, partout dans le monde, le creusement de puits est la règle. On estime à plus de 20.000 le nombre de puits à silex à Spiennes. On en trouve également en Hesbaye (Avennes). Les « puits à marne » sont attestés il y a 2.000 ans. Les agriculteurs de Hesbaye en ont creusé des centaines, sinon des milliers, jusqu'à 35 m de profondeur. Le creusement de puits est le moyen le plus court et le plus économique pour accéder à un gisement non affleurant, sans évacuer des volumes importants de stériles, à une époque où les excavatrices et camions n'existaient pas. L'opération est très simple techniquement, sur quelques dizaines de mètres.

#### **Méthode d'exploitation.**

Dans le Hainaut, les carrières souterraines de craie destinée à la production de chaux étaient exploitées à partir d'un puits d'extraction de 1,5 à 2 m de diamètre. Ce puits se trouve presque toujours assez éloigné du four à chaux, pour éviter la descente des fumées dans les travaux. Vu l'extension des travaux, on trouve souvent un ou deux puits d'aération de plus faible section. Ils servent souvent à la translation du personnel, via des échelles. Les puits sont généralement de section circulaire. Comme l'exploitation de ces carrières dure plusieurs années, ces puits sont souvent maçonnés, au moins dans la traversée des terrains meubles. Il existe des cas connus de puits de mines réaffectés en puits de carrières après avoir établi un plancher et une ouverture dans le revêtement.

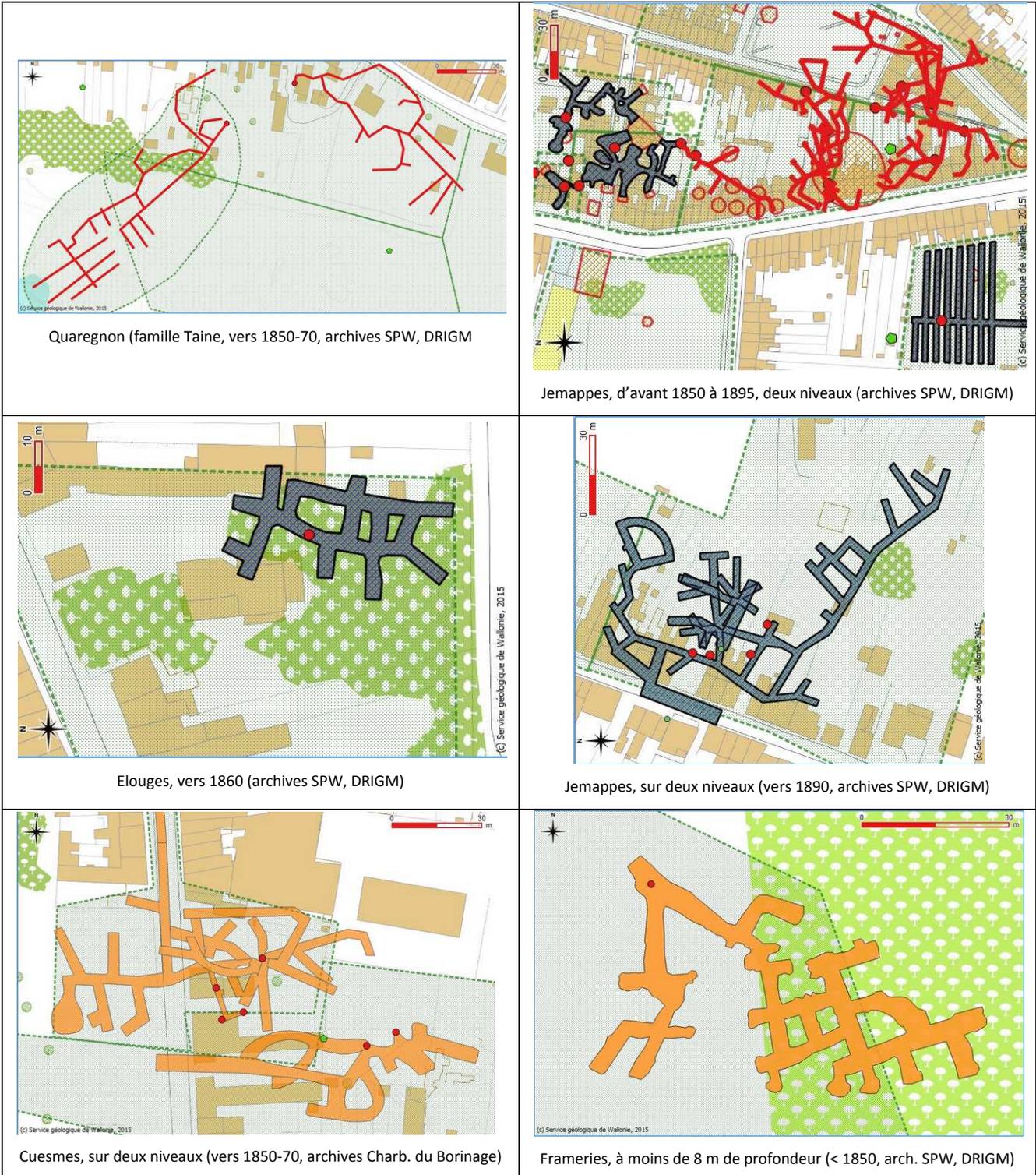
Au pied du puits débouchent une ou deux galeries, qui démarrent souvent avec une section réduite pour prendre leur pleine largeur après quelques mètres. Ceci permet d'assurer la stabilité du pied du puits. Dans d'autres cas, le puits débouche à l'extrémité d'une galerie ou dans le toit d'une galerie ou d'un carrefour de galeries.



Plan et coupe d'une carrière sous le R5 à Cuesmes (Raedschelders *et al*, Institut géotechnique de l'Etat, 1987)

Les galeries sont en fait des chambres d'exploitation (il n'y a pas de galeries de liaison en roche stérile). Elles sont creusées sans explosifs : le réseau dense de fractures et de diaclases parcourant la craie facilite l'abattage avec des outils. Ces galeries peuvent s'étendre à plusieurs dizaines de mètres du puits. Elles suivent les particularités du gisement : elles apparaissent comme divagantes mais présentent souvent des directions préférentielles. Dans certains cas, on retrouve des zones plus régulières, en chambres et piliers. Les galeries ont couramment de 2 à 4 m de largeur pour 2 à 5 m de hauteur. Pour des raisons de stabilité, il est préférable, à section égale, d'augmenter leur hauteur plutôt que leur largeur. Dans le Couchant de Mons, deux cas au moins sont connus pour avoir fait l'objet d'une extraction en « cloche » au toit de certaines galeries, au moyen d'outils à très long manche, jusqu'à 8 ou 9 m de hauteur. Il s'agissait sans doute d'une manière de prolonger la durée de vie de la carrière.

Les carrières souterraines de craie sont en général exploitées sur un seul niveau. Deux carrières sur deux niveaux sont toutefois connues à Jemappes et Cuesmes. Des carrières superposées, d'âge différent, sont connues à Jemappes. Il existe en outre, à Cuesmes, une carrière de craie blanche établie vers 1903 à quelques mètres sous les carrières souterraines de craie phosphatée de la Malogne.



### « Exploitations clandestines » et « exploitations officielles » ?

On considère souvent qu'une bonne partie des marnières et carrières souterraines de craie aurait été réalisée « sans autorisation » ou « clandestinement ».

Avant 1852, l'exploitation des carrières souterraines était libre, moyennant l'autorisation du propriétaire de surface et le respect de règles locales (distance par rapport aux chemins, remblayage des puits,...). Elles n'ont donc pas laissé de traces administratives, tout en étant parfaitement légales dans le contexte administratif de l'époque. A dater de 1852, l'exploitant devait adresser une déclaration d'ouverture de carrière souterraine au Gouverneur de la province. Ce dernier en donnait acte, ce qui valait autorisation. La carrière se trouvait alors placée sous la surveillance de l'Administration des Mines (protection des travailleurs). La tenue de plans n'était pas exigée. Après 1935, il était procédé à une instruction plus complète et un arrêté d'autorisation de la Députation permanente précisait les conditions d'exploitation. La tenue de plans et le remblayage des puits hors service deviennent obligatoires.

Les marnières agricoles, datant d'avant la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, n'ont pas laissé de traces administratives. Pour ce qui est des carrières de craie, une grande majorité a fait l'objet de la déclaration requise dès 1852 : la présence du four à chaux rendait difficile les exploitations clandestines, tout comme la présence de l'Administration des Mines du fait des nombreux charbonnages voisins...

### Cartographie, précision de la localisation et sources.

La quasi absence de traces administratives, de plans et de topographies n'a pas permis de réaliser un inventaire exhaustif des carrières de craie existantes. La cartographie reprend, selon les données disponibles (avec leur précision) :

- le périmètre enveloppe d'une carrière dont un plan (travaux finaux) ou une topographie actuelle est connu (1 à 5 m) ;
- la(les) parcelle(s) pour la(les)quelle(s) existe un plan de travaux, dont on ignore s'il s'agit de l'état final (5 m) ;
- la(les) parcelle(s) pour la(les)quelle(s) existe une déclaration d'ouverture ou une autorisation (5 m) ;
- les points indices de présence de carrière souterraine (effondrement, présence d'un four à chaux ; 1 à 100m).

Le Service géologique de Wallonie poursuit la numérisation des plans et topographies disponibles et leur géoréférencement. Ce travail est néanmoins conséquent, faute de points de calage précis de qualité.

La quasi-totalité des données provient :

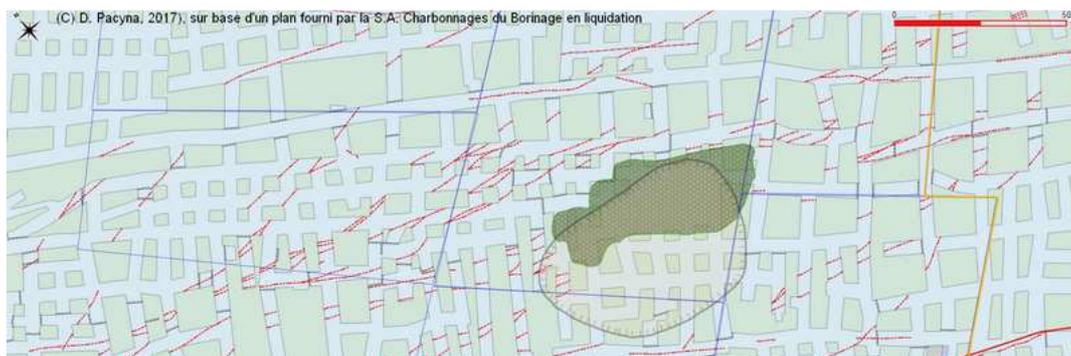
- des archives de l'ex-Administration des Mines, telles que transférées à la Région wallonne en 1986-87 ;
- des archives de la Carte géologique de Belgique à 1/40.000 (1890-1919) et de la Carte géologique de Wallonie à 1/25.000 (1990-2019), avec une précision de l'ordre de 20 m ;
- des dossiers d'archives du Service public de Wallonie (interventions sur des effondrements ou des découvertes de carrières souterraines). Depuis 2014, ces dossiers sont suivis et archivés par la Cellule Avis et Conseils Effondrements ;
- de recherches dans la presse, dans la bibliographie et sur internet ;
- des Archives de l'Etat à Mons et d'archives privées (S.A. Charbonnages du Borinage en liquidation, D. Pacyna).

## 4. MÉCANISMES DE RUINE, FACTEURS D'INFLUENCE ET MANIFESTATIONS EN SURFACE DE CES CARRIÈRES

Aujourd'hui, on n'aperçoit plus aucune trace en surface de la majorité de ces carrières. Elles ne se rappellent à nous que par des effondrements réguliers souvent en hiver ou après des périodes de fortes précipitations, qui provoquent l'évolution rapide de la phase finale de remontée du fontis. La grande majorité, uniquement accessibles par puits, n'est plus visible ni visitable (il n'en existe plus que deux accessibles, à Cuesmes et Frameries, cette dernière étant à préserver comme témoin, la première l'étant déjà).

### L'influence des exploitations houillères sous-jacentes.

Dans le Couchant de Mons, l'exploitation de la houille a provoqué, dans la zone d'influence des chantiers, une dislocation des terrains reposant sur le Houiller, y compris des formations crayeuses. Cette fracturation a pu, dans certains cas, favoriser l'exploitation de la craie. Toutefois, pour les exploitations qui existaient déjà, elle a contribué à réduire la résistance des massifs et des piliers et fracturé le toit des galeries. Elle a aussi facilité les infiltrations d'eau depuis la surface, et, avec elles, la migration des matériaux meubles renfermés dans les poches de dissolution ou de surface vers ces fractures, même en l'absence de carrière.



Fracturation liée à l'activité houillère à la Malogne (extrait d'un plan levé à l'occasion d'une expertise en 1902, suite à un litige entre la S.A. du Levant de Flénu et la S.A. des Phosphate de la Malogne, qui a vu la fracturation accroître les venues d'eau à exhauser de 400m<sup>3</sup>/j à 24.000 m<sup>3</sup>/j).

### Mécanismes conduisant de la ruine au toit de la cavité à l'effondrement de surface (fontis).

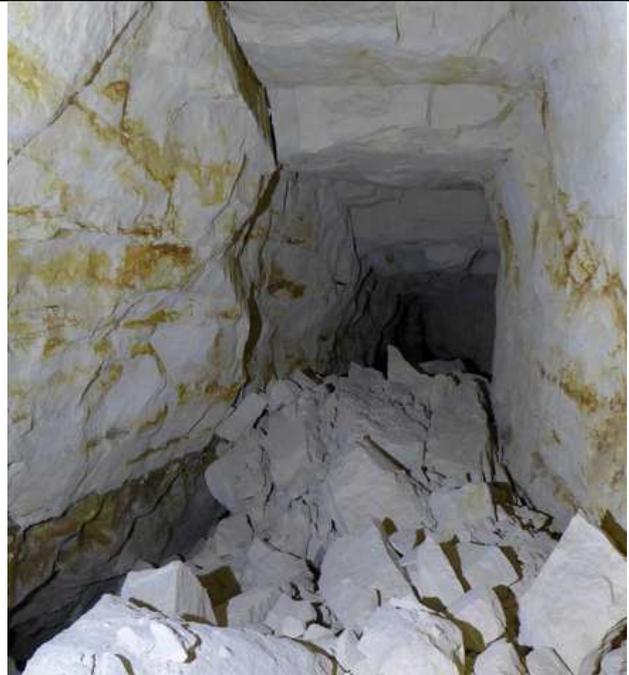
Un effondrement résulte rarement de la descente brutale d'un bloc prismatique ou cylindrique de terrain dans un vide souterrain profond. Il s'agit en général de la remontée progressive d'une « bulle de vide » depuis la cavité vers la surface. Il en est différemment des effondrements généralisés, quasi instantanés, qui peuvent affecter certains quartiers de carrières souterraines en chambres et piliers abandonnés ou en très grandes chambres (ce qui n'est pas le cas pour les exploitations de craie blanche chez nous).

Un effondrement de la surface lié à la présence d'une cavité trouve son origine dans la ruine du toit de la cavité. Cette ruine commence par la chute des premiers bancs du toit, à la faveur de discontinuités (diaclasses, faille, fractures naturelles ou d'origine minière, discontinuités d'origine karstique), soit par fléchissement des bancs si la portée est trop importante par rapport à leur épaisseur (carrefour de galeries, élargissement), soit par éboulement de couches présentant une cohésion faible.

L'éboulement peut alors progresser vers le haut, banc par banc ou couche par couche, jusqu'à ce que se forme une voûte naturelle stable (bancs en encorbellement, cloche, ceci peut se produire pour de faibles sections de fontis) ou jusqu'à rencontrer un horizon plus solide (banc épais, bancs de silex tabulaires, hard-ground, argile à silex compacte,...). Le vide vertical laissé derrière est la « cheminée de fontis ». Elle est plus ou moins comblée d'éboulis selon le volume de vide disponible dans des galeries.



Remontée de fontis dans le tuffeau au-dessus de la craie phosphatée et ses éboulis de pied (fontis linéaire sur faille, Cuesmes, photo SPW, SGW)



Même site. Malgré son allure, cette remontée de fontis linéaire n'est pas une galerie mais le vide d'éboulement au-dessus de la galerie (« migration » verticale du vide initial). Le sommet des éboulis se trouve à 4 m au dessus du sol de la galerie, au niveau de son toit (fontis linéaire sur faille, Cuesmes, photo SPW, SGW)

Si la remontée de la cheminée de fontis n'est pas arrêtée avant la rencontre de formations meubles superficielles, le vide progressera vers la surface. C'est lorsque la voûte se trouve à proximité immédiate de la surface qu'elle est la plus dangereuse, la « bulle de vide » n'en étant séparée que par une croûte assez mince. C'est l'éboulement final de cette croûte qui donne l'impression, depuis la surface, que le phénomène est survenu brutalement, alors qu'il progressait depuis un temps plus ou moins long.

Selon l'importance du foisonnement et de l'épaisseur des terrains, le sommet de la colonne d'éboulis rattrapera plus ou moins rapidement le sommet de la cheminée de fontis. Le vide cessera alors d'exister par auto-comblement et aucun fontis n'apparaîtra à surface. Si le foisonnement est nul (matériaux meubles, sur le long terme), il ne peut y avoir auto-comblement mais migration de la totalité du volume de vide vers la surface : ce sera souvent le cas au travers d'une poche karstique.

Si l'auto-comblement de la cheminée de fontis n'est pas possible, il apparaîtra en surface un effondrement primaire, d'allure cylindrique (le *fontis initial*), dont le volume sera le volume résiduel qui aura migré en surface. Si ce volume de vide résiduel est très faible, la surface ne sera qu'à peine déformée par un affaissement (« pseudo-doline ») et le sous-sol en-dessous se présentera comme déconsolidé en profondeur, au sein de la cheminée du fontis.

En l'absence de traitement du *fontis initial* (remblayage rapide), il évoluera vers un *cratère secondaire* ayant l'allure d'un cône ou d'un tronc de cône renversé. Le volume et la pente des talus de ce *cratère secondaire* dépendront du volume du *fontis initial* ainsi que de l'épaisseur et des caractéristiques géotechniques des terrains meubles superficiels (en première approximation, on peut prendre pour pente du talus de ce cratère, l'angle de pente de talus d'équilibre naturel des terrains superficiels).

La cinétique d'évolution d'un effondrement depuis le *fontis initial* jusqu'au *cratère secondaire* peut être très variable. Elle dépendra essentiellement des caractéristiques géotechniques des terrains meubles et du contexte (saturation de ces terrains, infiltrations, écoulement d'eau, durée de l'exposition aux intempéries, vibrations, ...). En milieu urbanisé, cette évolution est très rare. En effet, le *fontis initial* est rapidement traité pour empêcher son extension. Il s'agit de cas limites rencontrés en terrain agricole ou forestier.

### **Interactions entre le karst dans les craies et les carrières souterraines**

En recoupant des cheminées et poches karstiques, les galeries ont provoqué et peuvent encore provoquer la vidange des matériaux meubles de remplissage dans les vides souterrains. Il est probable qu'un nombre non négligeable d'effondrements sur carrière de craie soit à attribuer à la vidange de poches karstiques, souvent sous l'effet d'infiltrations d'eau (chemin préférentiel).

Pour les poches larges, la chute des matériaux meubles commence par une remontée de fontis classique, jusqu'à ce que les parois de ce fontis s'élargissent sous terre comme le feraient celles d'une excavation en surface. Les matériaux peuvent alors s'écouler assez vite dans la galerie. La voûte, d'une largeur plurimétrique, entièrement dans les sables et limons, finit par s'effondrer, créant un cratère au jour, en donnant une impression de soudaineté de l'évènement. Les matériaux sableux vont alors s'écouler jusqu'à atteindre leur pente de talus naturel. Plusieurs cratères de ce type peuvent être coalescents (Cuesmes, réserve naturelle de la Malogne). Pour les cheminées du type « tuyau d'orgue », la remontée du fontis reste canalisée dans le « puits naturel ».

### **Description des effets en surface liés aux carrières de craie - Les constats de terrain**

Aujourd'hui, on n'aperçoit peu de traces en surface des effondrements et affaissements passés. En zone agricole, la plupart d'entre eux sont remblayés assez rapidement par les agriculteurs. En milieu urbanisé, l'intervention suit de très près l'accident. Malgré ces accidents, ces terrains sont, en général, assez rapidement urbanisés.

En pratique, le *fontis initial* est d'allure cylindrique/elliptique, légèrement évasée vers le sommet (selon la cohésion des terrains et leur état de saturation). On observe des fontis d'environ 3 à 6 m de diamètre pour les marnières agricoles en Hesbaye liégeoise (dont une majorité entre 4 et 5 m) et de 2 à 6 m de diamètre pour les carrières de craie du Hainaut. La profondeur du fontis peut varier de quelques mètres à 10-15 m, selon le volume des galeries, leur hauteur et l'épaisseur des terrains de recouvrement.

Pour ce qui est des *cratères secondaires*, évolution du *fontis initial*, les plus grands cônes d'effondrement décrits, dont aucun ne paraît avoir eu le temps d'évoluer vers son plein développement, auraient mesuré de 7 à 10 m de diamètre. Encore s'agit-il d'effondrements abandonnés un certain temps aux intempéries, en terres agricoles. Un affaissement (déformation « douce » de la surface du sol) de 45 m de diamètre est mentionné à Jemappes (Avenue du Champ de Bataille), vers 1885 : il est sans doute dû à la vidange dans les carrières, sur une longue période, d'un ou plusieurs poches karstiques à proximité d'une faille connue. Plusieurs cas d'effondrements sur poche karstique sont connus dans ce secteur.

Lors de l'évolution entre les deux situations, il faut se rappeler que les terrains autour de l'excavation ont subi une décompression et présentent souvent des crevasses périphériques marquant cette évolution.

**Note importante :** les informations relatives à la dimension des effondrements sont sujettes à caution comme a pu le montrer l'expérience de l'Administration. Les dimensions fournies par les riverains, les autorités locales, voire les professionnels de la sécurité publique, sont presque toujours surestimées, parfois d'un facteur 2 à 5. Depuis 2000 environ, les dimensions sont mesurées avec rigueur par l'Administration. Les données anciennes précisent, quant à elles, rarement le stade d'évolution de l'excavation décrite depuis sa survenance.

Lorsqu'aucun fontis ne s'est encore manifesté en surface, on peut toutefois en trouver la trace dans les essais géotechniques, dans des forages ou dans les résultats d'une campagne géophysique, sous forme d'une zone de décompression déconsolidée. Celle-ci marque la présence de la cheminée de fontis auto-comblée ou en progression. L'interprétation des résultats reste toutefois délicate.

Seuls sont connus quelques accidents sur carrières de craie ayant entraîné la ruine ou la démolition d'un immeuble (non exhaustif) :

- Jemappes, entre deux-guerres (un banquet de mariage disparu sous terre avec la cuisine ; l'habitation a été conservée) ;
- Jemappes 1937 (la moitié d'une habitation sous terre, abattue) ;
- Jemappes, 1984-85 (une salle de spectacle d'un complexe scolaire, avec sa bibliothèque, lézardés et abattus) ;
- Jemappes, 2003 (un immeuble lézardé, exproprié et abattu).

La dangerosité à court et moyen terme de ces effondrements pour les infrastructures est liée à leur section et non à leur profondeur. En effet, c'est la plus grande dimension au sol de l'excavation qui conditionne la réaction des fondations et des assises des immeubles et infrastructures. La véritable menace accidentelle est donc celle de l'apparition du *fontis initial*. Le *cratère secondaire* n'apparaîtra qu'après quelques temps, sauf en présence de terrains superficiels sans cohésion. Le remblayage rapide du *fontis initial* est donc primordial pour limiter les effets latéraux d'un effondrement.

### **Pour les techniciens : estimation des effets en surface et gestion des risques.**

Il est tout à fait possible d'estimer par calcul les dimensions d'un cratère effondrement dans un contexte géologique (et donc géotechnique) donné. Pour cela, il convient de retenir :

- que le volume du *fontis initial* en surface ne dépassera jamais le *volume de vide disponible* dans la cheminée de fontis. Ce dernier est lui-même inférieur au *volume de vide disponible primaire* dans la cavité souterraine. Ce *volume de vide disponible primaire* est le volume de vides souterrains pouvant accueillir les éboulis provenant du toit et de la remontée de fontis (« volume mobilisable »). Il prend en compte : la géométrie des chambres et galeries et celle du cône d'éboulis qui y prendra place. La géométrie des galeries est connue ou basée sur la typologie locale. La géométrie du cône d'éboulis est fonction de leur facteur de foisonnement (1,1 à 1,4 selon le matériau et la granulométrie) et de leur pente de talus naturel (35° à 45° sur l'horizontale, selon la granulométrie) ;
- que le *cratère d'effondrement maximal* (évolution maximale du *fontis initial*) n'aura jamais plus de profondeur que l'épaisseur des terrains meubles superficiels. Le rayon de ce *cratère d'effondrement maximal* est lié à sa profondeur, par les caractéristiques géotechniques des terrains meubles superficiels, et au rayon du *fontis initial* ;

- que, si le volume du *cratère final d'effondrement* (évolution du *fontis initial*) est entièrement contenu dans l'épaisseur des terrains meubles superficiels, il s'agira alors d'un cône sur pointe de volume égal à celui du *fontis initial*. Le rayon et la profondeur de ce cône sont liés par les caractéristiques géotechniques des terrains meubles superficiels.  
Le volume du *cratère final d'effondrement* restera inférieur à celui du *cratère d'effondrement maximal* qui aurait pu se développer si le vide disponible en souterrain avait permis aux terrains meubles d'y descendre sur toute leur épaisseur.

**Important :** si la cheminée de fontis se développe en grande partie au sein du remplissage d'une poche karstique, le volume de terrains meubles mobilisable dépendra des dimensions de cette poche. Il ne sera, a priori, limité que par le volume de vide disponible primaire au fond et par le volume du cône d'éboulis sableux dans les galeries ! C'est la raison pour laquelle il est important d'évaluer la présence et les dimensions de telles poches à l'occasion de projets à l'aplomb de carrières souterraines.

Le tableau suivant donne une idée de l'ordre de grandeur des dimensions des effondrements en surface liés à la ruine de galeries en craie, telle que prédictibles après calculs, suivant les données et hypothèses formulées.

Foisonnement des éboulis au fond : 1,2. – Angle de talus naturel des éboulis au fond : 40° sur l'horizontale.

Angle de talus naturel des terrains superficiels : 35° sur l'horizontale (limons, sables thanétiens). L'épaisseur de ces terrains est de 5 m.

Pour le cas du carrefour de galeries, on suppose le pied de fontis de même section que le carrefour. Pour celui de la galerie linéaire, avec une section de part et d'autre du pied de fontis, on suppose une section allongée (largeur de galerie x 1,5 largeur de galerie), proche des observations *in situ*.

Le *fontis initial* s'évasant légèrement vers la surface dans la traversée des terrains meubles, le diamètre en surface est majoré de 10%. L'augmentation légère du volume du *fontis initial* est négligée en première approche. Le fontis est supposé circulaire au sommet.

Caractéristiques de la cavité	Volume primaire disponible dans la cavité	Volume secondaire de la cheminée de fontis	Section fontis à la base	Rayon de base (diam. Majoré en surface) du fontis initial	Profondeur du fontis initial depuis la surface	Rayon (diamètre) du cratère secondaire en surface	Profondeur du cratère secondaire en surface
Carrefour de 4 galeries : largeur 3,5 m ; hauteur 5 m	269,5 m <sup>3</sup>	224,6 m <sup>3</sup>	12,2 m <sup>2</sup>	2,0 m (4,4 m)	18,3 m	6,75 m (13,5 m)	4,7 m
Carrefour de 4 galeries : largeur 2 m ; hauteur 3,5 m	72 m <sup>3</sup>	60 m <sup>3</sup>	4 m <sup>2</sup>	1,15 m (2,5 m)	15,0 m	4,35 m (8,7 m)	3,0 m
Galerie linéaire : largeur 3,5 m ; hauteur 5 m	196 m <sup>3</sup>	163,3 m <sup>3</sup>	21 m <sup>2</sup>	2,6 m (5,7 m)	7,8 m	6,1 m (12,2 m)	4,2 m
Galerie linéaire : largeur 2 m ; hauteur 3,5 m	50,2 m <sup>3</sup>	41,8 m <sup>3</sup>	6 m <sup>2</sup>	1,4 m (3,1 m)	7,0 m	3,85 m (6,7 m)	2,7 m

Ces valeurs reflètent la plupart des situations connues dans le Bassin de Mons, où l'épaisseur des limons quaternaires et des sables tertiaires est de l'ordre de 2 à 8 m (y compris au sein des poches karstiques). Le *cratère secondaire* reste dans l'épaisseur des terrains meubles (facteur de foisonnement supposé égal à 1 lors de la transformation du volume du *fontis initial* cylindrique en volume égal d'un cône sur pointe). Sinon, ses dimensions, inférieures, seront fixées par l'épaisseur des terrains meubles.

Dès lors où la typologie locale des cavités et la géologie sont connues, que les mécanismes de ruine sont identifiés et que les dimensions maximales d'une déformation du sol à ponter ou à contenir sont estimées, il est possible :

- de procéder à des investigations ciblées (intégrant la recherche de la présence de poches karstiques) ;
- d'évaluer l'adéquation d'un projet à la menace et, le cas échéant, de proposer des mesures de maîtrise des risques identifiés, visant, au minimum, à éviter la ruine de la structure et à assurer la sécurité des personnes.

#### BIBLIOGRAPHIE.

- CALEMBERT L. & MONJOIE A. 1979. Observations sur les phénomènes karstiques en Belgique et bilan des recherches. *Annales de la Société géologique de Belgique* 102, 125-135.
- CAMERMAN C & al.. 1947. Les roches calcaires. *Centenaire de l'Association des Ingénieurs sortis de l'Ecole de Liège (A.I.Lg). Congrès 1947 Section Géologie*, A.I.Lg. Liège.
- DELABY S. & HENNEBERT M. 2014. Quiévrain–St-Ghislain, 45/5-6-5. *Carte géologique de Wallonie*. Serv. Publ. de Wallonie Namur (reviewing en cours)
- DELABY S. & HENNEBERT M. 2014. Mons - Givry, 45/7-8. *Carte géologique de Wallonie*. Service public de Wallonie Namur (reviewing en cours).
- KHEFFI A. & PACYNA D. 2016. A new tool for underground risk prevention in Wallonia (Belgium) – Case of abandoned underground quarries named "La Malogne". Journées nationales de la Géotechnique et de la Géologie de l'Ingénieur, 6-8 July 2016, Nancy, France.
- KHEFFI A. & PACYNA D. 2018. Elaboration de cartographies de zones d'aléas de mouvement de terrain engendrés par les objets souterrains connus de Wallonie. Rapport de mission 0326/2018.
- LAMBERT C. & SALMON R. 2007. Evaluation et traitement du risque de fontis lié à l'exploitation minières. INERIS Rapport DRS-07-86090-05803A.
- MARLIERE R. 1966. Carte géologique de Belgique à 1/25.000. Notice explicative de la feuille 151 Mons – Givry.
- RAEDSCHELDERS H., DELCOURT C., HANCE L. SIMON G. & THIMUS J.F. 1987 Mise en évidence de cavités souterraines sous le ring ouest de Mons. Cahiers du Ministère des Travaux publics de Belgique, n° 5. Institut géotechnique de l'Etat.
- SALMON R. 2015. Retour d'expérience sur les effondrements localisés miniers. INERIS Rapport DRS-15-149489-10509A.

#### CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES :

- Service public de Wallonie, Direction de la Géotechnique.
- Service public de Wallonie, Direction de l'Archéologie.
- Service public de Wallonie, Direction des Risques industriels, géologiques et miniers, Service géologique de Wallonie.