

## Annexe 1.

# Les carrières souterraines de phosphate de Hesbaye

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

D. Pacyna (Service géologique de Wallonie) et A. Kheffi (Institut scientifique de Service public). Namur, 2018

### 1. PRÉAMBULE

#### 1.1. 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. Synonymes dans le domaine minier : *bure* (province de Liège et de Namur, occasionnel dans le Hainaut) : Il s'agit d'un synonyme exact de « puits » en wallon liégeois. Introduit en France, il y désigne les puits intérieurs (« burquins »).
- *Puits à phosphate* : dénomination populaire des exploitations de phosphate, dont seuls les puits d'accès aux carrières souterraines étaient visibles et se manifestent en surface. Cette dénomination a été étendue à tout effondrement, y compris ceux présentant des caractéristiques très différentes car associés à d'autres types de carrières souterraines (marnières, carrières de silex). Elle s'est même étendue hors de la zone où existe la couche de phosphate.
- *Marne* : dénomination populaire de la craie blanche (anciennement, on trouve aussi « *marle* »). Cette définition ne correspond pas à la définition lithologique des géologues (craie argileuse). La marne altérée, argileuse et mêlée de limon, sous les formations meubles de surface, est appelée « *marlette* » dans le Hainaut.
- *Marnière (marlière)* : exploitation de marne, à ciel ouvert ou par travaux souterrains. On trouve aussi, plus rarement, les dénominations de « *trou à marne* » ou de « *puits à marne* ».
- *Débourrage* : descente plus ou moins rapide de la partie supérieure des remblais d'un puits, sous l'effet d'une remontée de fontis ou d'un soutirage progressif en pied de remblai. Il génère un fontis cylindrique ayant la même section que le puits.
- *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.
- *Concession (mine)* : une concession minière est le périmètre dans lequel un « concessionnaire » a le droit exclusif de rechercher et d'exploiter les substances listées à l'acte de concession (décret, arrêté royal). Il s'agit de substances à caractère économique stratégique (combustibles fossiles, minerais métalliques). L'acte de concession lui donne la propriété perpétuelle des substances listées et des ouvrages et travaux d'exploitation (l'ensemble constitue la « mine »). Une mine peut être souterraine ou à ciel ouvert. Elle constitue une propriété distincte de la surface. Les propriétaires de surface conservent la propriété de leur sous-sol sans limite de profondeur, à l'exception de la mine (gisement, chantiers et ouvrages). Les mines sont sous surveillance administrative spéciale. La concession peut être radiée au terme d'une procédure impliquant la sécurisation des ouvrages miniers, dont les puits. Les ouvrages traités sont couverts d'un « dispositif de sécurisation » (dalle de béton armé, grille, borne d'indentification).

### 2. DESCRIPTION DES OBJETS ET DE LEUR CONTEXTE

#### 2.1. Contexte technique et historique

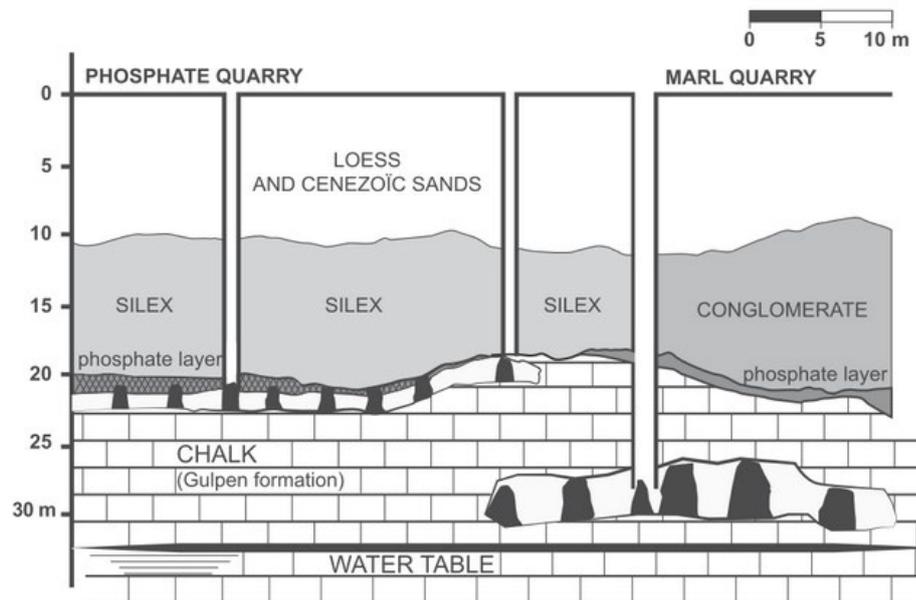
##### 2.1.1 – Importance du contexte géologique

Il n'existe d'exploitations de phosphate que là où la couche de phosphate existe et présente une épaisseur économiquement exploitable. Il n'existe pas de « puits à phosphate » hors de cette zone, mais il peut y exister des marnières ou des carrières de silex. La géologie du plateau de Hesbaye explique également pourquoi toutes les exploitations de phosphates sont souterraines.

## 1. Géologie du plateau de Hesbaye.

Entre Hannut et Herstal, la géologie des terrains peut être résumée schématiquement comme suit :

- *limons quaternaires*, d'origine éolienne ou éluviale, sous forme d'importants dépôts recouvrant tout le plateau de Hesbaye. Leur épaisseur varie de 2 à 18 m. Calembert a montré que l'épaisseur moyenne des limons diminue avec l'altitude ; on trouve des colluvions sur les versants de vallées ;
- *sables et cailloux roulés d'âge tertiaire*, présents localement, sous les limons, sous forme de lambeaux plus ou moins étendus ou préservés dans des dépressions paléokarstiques. Leur répartition n'obéit à aucune règle particulière. Au nord et à l'ouest de la Ville de Liège, ils peuvent atteindre 8 à 10 m d'épaisseur ;
- *craie blanche*. Au sud de la bordure sud de la vallée du Geer, on trouve la vaste surface d'affleurement de la craie blanche de la Formation de Gulpen, qui s'étend au sud et à l'est jusqu'au sommet du versant de la vallée de la Meuse. Au nord, elle plonge vers la Flandre et est recouverte par la Formation de Maastricht. La Formation de Gulpen présente des lits de silex noirs au sommet. Elle mesure de 30 à 40 m d'épaisseur (cette épaisseur diminue du nord-ouest vers le sud-est). Dans la région de Chapon-Seraing/Verlaine, elle est presque affleurante. Elle repose sur les argiles de la Formation de Vaals (« *smectite* »). Elle renferme la nappe de la craie, où s'alimentaient et s'alimentent toujours les puits domestiques, agricoles et industriels. C'est en son sein que sont établies les galeries de captage alimentant la ville de Liège en eau de distribution. Là où la Formation de Gulpen est recouverte par le conglomérat à silex et/ou la couche de phosphate, sa surface supérieure est très irrégulière, affectée par les phénomènes d'altération qui ont donné naissance à cette couche et au conglomérat à silex ;



Coupe schématique du Crétacé de la Hesbaye (Kheffi et Pacyna, 2018)

- *conglomérat à silex*. Sous le sommet du plateau de Hesbaye, sous les limons et les dépôts tertiaires, existe une couche parfois importante d'argile à silex recouvrant la Formation de Gulpen ou, plus au nord, la Formation de Maastricht : il s'agit de blocs de silex de toutes tailles, intacts ou cassés, enrobés dans une gangue argileuse et sableuse. D'une manière générale, les silex sont beaucoup plus gros vers le sommet de la couche qu'à la base, où ils sont brisés mais non roulés. L'épaisseur de ce conglomérat varie de quelques dizaines de centimètres à plus de 15 m. L'épaisseur augmente dans la partie nord de la Hesbaye, jusqu'au sommet du versant de la vallée du Geer, où elle atteint de 4 à 19 m. Cette épaisseur est irrégulière. Elle augmente au sein des poches et dépressions paléokarstiques qui marquent la surface des craies. L'argile à silex n'est pas présente à l'ouest et au sud-ouest de la Hesbaye ou y est très peu épaisse. Les craies y sont recouvertes par des formations sableuses (Formation de Hannut et Formation de Sint-Huysbrecht-Heern), surmontées de limons quaternaires. C'est dans ce conglomérat que sont ouvertes les carrières de silex de Hesbaye, exploitées pour la construction et l'empierrement des routes et des chemins. Les essais de sol, type CPT, et les forages à la tarière légère atteignent généralement le refus au sommet de la couche, en buttant sur les blocs de silex. La couche se reconnaît bien en forage ;
- *couche de phosphate* : elle apparaît juste sous le conglomérat à silex. Elle est constituée d'une matrice argilo-sableuse englobant des grains ou des nodules de phosphate de chaux. L'épaisseur, la composition, l'allure sont variables : la gangue peut être argileuse, sableuse, calcaireuse, de diverses couleurs. 2 à 5 niveaux à concrétions phosphatées alternent avec des lentilles stériles. Localement le phosphate se présente comme une roche zonaire grise, avec l'aspect d'une roche d'origine chimique. La couche moule la surface karstifiée et altérée de la Formation de Gulpen. Calembert décrit cette surface comme moutonnée et découpée en chenaux et en crêtes, en poches et en bosses de toutes dimensions, sans direction ni disposition privilégiée.

Certains entonnoirs de dissolution atteignent plusieurs mètres de profondeur, avec des parois très raides et peuvent renfermer des poches (amas) de « phosphate riche ».

La couche est d'épaisseur assez faible : de quelques décimètres à un mètre. Elle gît à une profondeur de 5 à 27 m, en général de 10 à 20 m. Calembert a constaté que les zones dans lesquelles l'épaisseur de la couche était maximale correspondait à la surface topographique comprise entre les cotes 150 à 170 m ;

- *phénomènes karstiques*. D'une manière générale, la partie supérieure de la craie et du tuffeau est affectée de phénomènes karstiques (poches et cheminées de dissolution, intercalations dans les bancs de craie de poches lenticulaires horizontales, présence de vides centimétriques à métriques suivant les bancs, diaclases et failles de la craie). La densité de ces phénomènes peut parfois être très importante, particulièrement en bordure de vallée. Ces poches et cheminées (« tuyaux d'orgues ») renferment des matériaux sablo-limoneux d'âge plus récent descendus au fur et à mesure du développement des phénomènes karstiques. On y trouve, presque partout en Wallonie, des sables verts d'âge Thanétien. Ces matériaux peuvent migrer vers les vides du massif ou des cavités souterraines sous l'effet d'infiltrations d'eau (chemin préférentiel) et générer des mouvements de terrain en surface.

### **2.1.2 – Historique du développement et de la fin de l'exploitation du phosphate en Hesbaye**

L'exploitation du phosphate en Hesbaye n'a pas l'ancienneté de celle des marnières. En effet, si le bénéfice du marnage des terres est connu depuis 2.000 ans, l'utilité des phosphates pour l'agriculture ne date que du milieu du 19<sup>ème</sup> siècle. Encore faut-il savoir que le phosphate extrait n'est pas directement assimilable par les plantes. Il doit d'abord être transformé en engrais chimique phosphoré en usine, au moyen de traitements acides.

Les légendes rurales évoquant des gamins qu'on descendait prendre des seaux de phosphate au fond des puits pour engraisser des dizaines d'hectares sont non fondées : il s'agit d'un mélange des réminiscences de l'exploitation des marnières par les fermiers et de celles des carrières de phosphate, dont les puits ont marqué les campagnes pendant 60 ans.

A partir du milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, des géologues avaient mis en évidence l'existence de gisements de phosphate de chaux exploitables sur le territoire belge. L'exploitation commence dans la région de Mons en 1874, dans une couche de craie d'âge maastrichtien. De 1883 à 1890, on y exploite en outre des poches de « phosphate riche », à teneur nettement plus élevée, résultant de la dissolution de la matrice crayeuse au cours du temps. Vers 1884, un horizon quasi-continu de « phosphate riche » est découvert en Hesbaye liégeoise. De même âge géologique qu'à Mons, le gisement s'y étend en couche, et non en poches, sur près de 150 km<sup>2</sup>.

Après les premières recherches et les premiers essais d'exploitation dans le courant des années 1880, on assiste à une véritable ruée vers les phosphates à partir de 1889, qui va en s'accroissant jusque vers 1900. C'est ainsi que, parmi les quelques 700 carrières souterraines en activité en 1899 sur le territoire belge, plus de la moitié sont certainement des carrières de phosphate. Les prix des phosphates traités, d'abords élevés dans les années 1880, vont en diminuant, au point d'entraîner une crise de l'industrie phosphatière au début du 20<sup>ème</sup> siècle. Une reprise s'amorce, du fait des circonstances, après la Première Guerre. Vers 1923-24, l'exploitation s'arrête totalement. L'activité reprend, assez intensivement en 1941 pour cesser définitivement fin 1944-début 1945. Durant l'ensemble de la période d'activité, plus de 2.000 carrières ont été exploitées sous plus de 3.500 parcelles, dans 12 communes (34 anciennes communes). Bien que de nombreux exploitants soient répertoriés, on constate que seule une vingtaine d'entre eux occupait la majorité des parcelles. 4.500.000 T ont été extraits sur 45 années, soit 1.700.000 m<sup>3</sup> de phosphate en place.

### **2.1.3 – Pourquoi exploiter par puits ?**

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 trouve également de ces puits en Hesbaye (Avennes). Les « puits à marne », pour l'amendement des terres, sont attestés dans le nord de la Gaule il y a 2.000 ans. Les agriculteurs de Hesbaye en ont creusé des centaines, sinon des milliers. Des puits à eau de 20 à 40 m de profondeur étaient innombrables partout en Wallonie.

Le creusement de puits est le moyen le plus court et le plus économique d'accéder à un gisement non affleurant sans évacuer des volumes importants de stériles, à une époque où la brouette remplaçait le camion. L'opération est très simple techniquement, à faible profondeur.

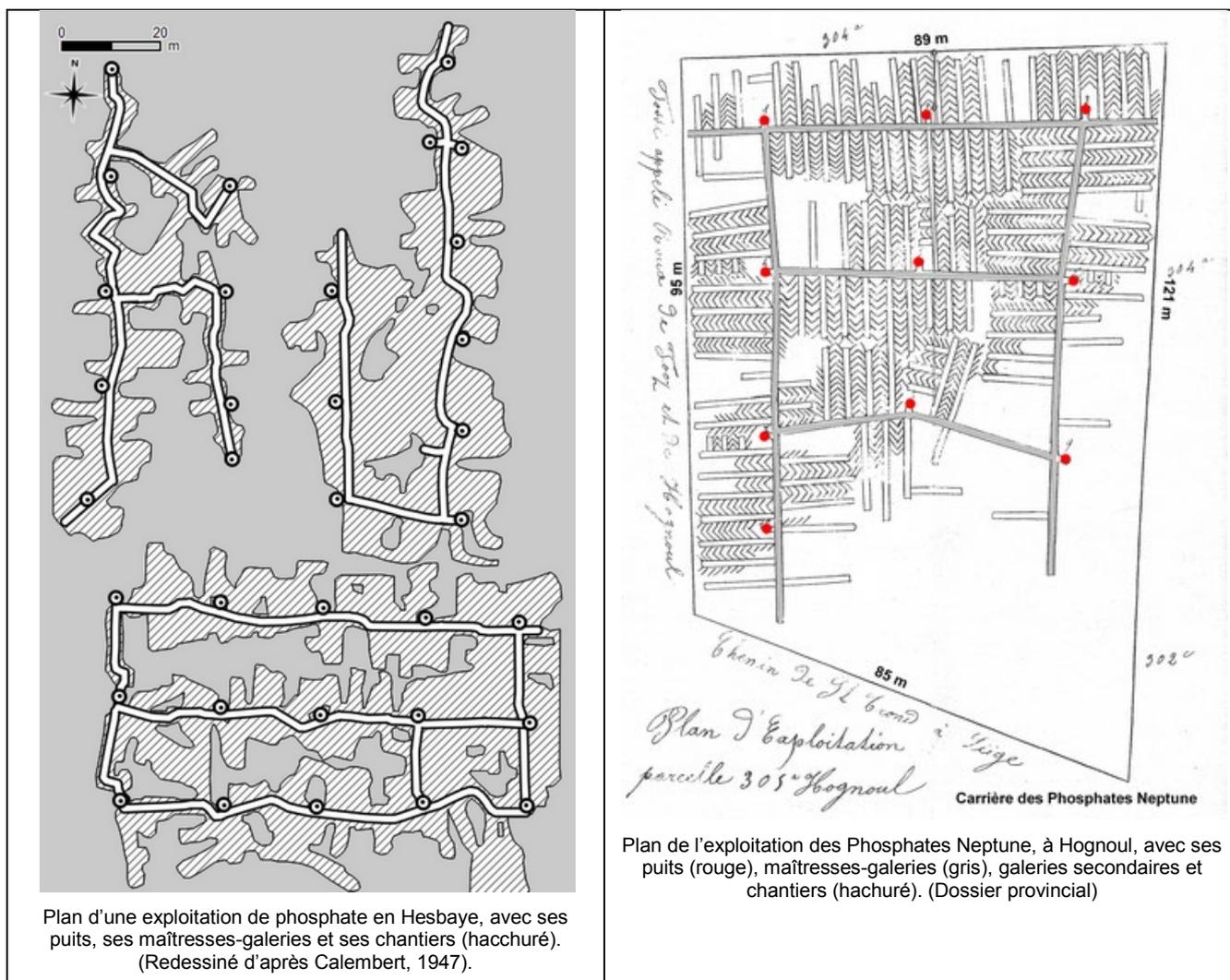
### **2.1.4 – Contexte historique et technique : méthode d'exploitation**

Sous le régime de l'arrêté royal du 29 février 1852 sur les carrières souterraines, le candidat exploitant devait d'abord obtenir la permission du propriétaire de la parcelle. Ensuite, tout en commençant les travaux, il adressait simplement la déclaration d'ouverture de la carrière 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 ou de l'Inspection du Travail. La tenue de plans n'était pas exigée. Après l'entrée en vigueur de l'arrêté royal du 2 avril 1935 sur la police des carrières souterraines, il était procédé à une instruction plus complète et la carrière était autorisée par arrêté de la Députation permanente. La tenue de plans devient alors obligatoire.

En Hesbaye, l'exploitation d'une parcelle était précédée du creusement d'un puits de sondage en son centre. Si le gisement était intéressant, une série de puits de faible section étaient creusés en ligne, à 20 ou 30 m les uns des autres. Ils débouchaient en surface

au sommet d'un « terrisse », petit tertre constitué des terres de creusement du puits. Ce terrisse était surmonté d'un treuil à bras et d'un auvent ou d'une petite hutte de protection en chaume.

Au pied de ces puits courait une "maîtresse galerie", étroite, dont le pied était creusé dans la couche de craie sous-jacente afin de donner une hauteur suffisante à la circulation (galerie "bosseyée"). De cette maîtresse-galerie partaient, perpendiculairement, tous les trois mètres environ, des galeries secondaires, longues d'une dizaine de mètres. Des « tailles » (chantiers d'abattage) étaient menées dans la couche de phosphate de part et d'autre de ces galeries secondaires. Ces tailles avaient une hauteur limitée à l'épaisseur de la couche. Le toit, constitué du banc de silex, était soutenu par des massifs laissés en place et par un boisage plus ou moins bien réalisé. Les vides en arrière du front de taille étaient remblayés au moyen des déchets d'exploitation et de la craie issue du creusement du pied des galeries. Lorsque la parcelle était étendue, plusieurs lignes de puits étaient en activité.



Selon les dimensions de la parcelle, l'exploitation durait de quelques semaines à plusieurs mois, voire plus d'une année. La parcelle épuisée, l'équipe passait à une suivante.

En principe, la cessation de l'exploitation devait faire l'objet d'une déclaration au Gouverneur, par le biais du Bourgmestre. Suite à cette déclaration, l'Administration des Mines allait constater sur place le remblayage des puits et donnait un avis favorable à l'abandon. En pratique, on remblayait les puits avec les terres du terrisse, pour rendre les terres à la culture, sans déclaration d'abandon.

### 2.1.5 – « Exploitations artisanales » ou « exploitations industrielles » ?

Les exploitations de phosphate sont souvent présentées comme des exploitations artisanales, du fait des moyens très simples mis en œuvre : puits non maçonnés, extraction au moyen d'un treuil à bras, pas d'exhaure,...

Il s'agit, tout au contraire, à peu d'exceptions près, d'exploitations à caractère industriel. La majorité des 3.800 parcelles recensées a été exploitée par une vingtaine d'industriels, qui possédaient des carrières réparties dans de nombreux villages de Hesbaye. Certains exploitaient en outre les usines chimiques de transformation en engrais (Tessenderloo, Prayon, ...). Certains de ces industriels possédaient aussi des carrières de craie phosphatée et de phosphate dans la région de Mons et en France.

Le choix de répartir l'extraction sur de nombreux ouvrages modestes était motivé par les conditions de gisement, les investissements à consentir et la nécessité de négocier le droit d'extraire avec de très nombreux propriétaires de surface.

Le corollaire de ce nombre limité d'exploitant a été une uniformisation de la méthode d'exploitation à travers toute la Hesbaye.

Le phosphate n'étant pas listé parmi les substances « mines » en Belgique, leur exploitation relevait du régime des carrières et non des mines concédées. Actives ou abandonnées, elles appartiennent au propriétaire de surface à leur aplomb et sont sous leur responsabilité.

### **2.1.6 – « Exploitations clandestines » et « exploitations officielles »**

On considère souvent qu'une bonne partie des carrières de phosphate aurait été réalisée « sans autorisation » ou « clandestinement ». En fait, c'est tout le contraire : le développement de l'industrie des phosphates en province de Liège a été si rapide à partir de 1888 qu'un règlement provincial spécifique a été pris et qu'une surveillance toute particulière avait été mise en place.

Avant l'entrée en vigueur de l'arrêté royal du 29 février 1852 sur les carrières souterraines, 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,...). Ces carrières n'ont donc pas laissé de traces administratives, tout en étant parfaitement légales dans le contexte administratif de l'époque.

A dater de 1852, le candidat exploitant devait d'abord obtenir la permission du propriétaire de la parcelle. Ensuite, tout en commençant les travaux, il adressait 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 ou de l'Inspection du Travail, selon les cantons. La tenue de plans n'était pas exigée. Après l'entrée en vigueur de l'arrêté royal du 2 avril 1935 sur la police des carrières souterraines, il était procédé à une instruction plus complète et la carrière était autorisée par arrêté de la Députation permanente. La tenue de plans devient alors obligatoire, tout comme le remblayage des puits hors service.

Comme la déclaration d'ouverture d'une carrière était une démarche très simple (identifier l'exploitant demandeur, les parcelles visées et leurs propriétaires et décrire le plan d'exploitation envisagé), les exploitants s'y soumettaient. Ce sont près de 2.000 déclarations qui ont ainsi permis de cartographier les parcelles exploitées. En absence de déclaration, l'administration ne pouvait exercer la surveillance des travailleurs, ce qui pouvait aggraver la situation de l'exploitant en cas d'accident.

Il existe néanmoins des exploitations non déclarées, menées par des particuliers qui revendaient les produits extraits à un industriel exploitant dans le voisinage, ou par des industriels qui vidaient rapidement une parcelle. Déclarées ou non, ces carrières se trouvent toujours dans les secteurs où le couche de phosphate a été reconnue. On peut également trouver des carrières d'extension très réduite menées pour juger de l'exploitabilité de la parcelle (« puits de recherche » ou « sondages »).

### **2.1.7 – Sources et précision de la localisation**

La cartographie des carrières souterraines de phosphate est basée sur les listes de parcelles qui ont fait l'objet d'une déclaration d'ouverture d'une carrière souterraine de ce type, en application de l'arrêté royal du 29 février 1852 sur les carrières souterraines.

La majorité des parcelles a été relevées dans un lot d'archives mis à disposition de la Direction de la Prévention des Pollutions (Cellule Mines 1999-2003) par le Gouvernement provincial de Liège. Ce lot comprenait les dossiers de déclaration de carrières souterraines. Ces dossiers, très peu fournis, comprenaient :

- la déclaration d'ouverture par l'exploitant, avec son identité, l'identification des parcelles cadastrales et de leur(s) propriétaire(s) ;
- le donné-acte du Gouverneur ;
- pour quelques rares dossiers, un rapport de visite des travaux et/ou une déclaration d'abandon.

Un autre lot de données, plus marginal, provenait de listes partielles de l'ex-Administration des Mines, complétant parfois le premier lot. Il s'agit de simples listes de parcelles. Nous ignorons la source primaire qui a permis d'établir ces listes.

Enfin, pour la période correspondant à la reprise d'activité lors de la Deuxième Guerre, il existe, parmi les archives conservées à la Cellule Mines de la Direction des Risques industriels, géologiques et miniers, une série de plans parcellaires d'exploitation (obligatoires depuis 1935).

En 1999-2000, la Cellule Mines de la Direction de la Prévention des Pollutions a construit une première base de données dans laquelle toutes ces informations ont été introduites. Près de 5.000 parcelles y sont reprises, dont 3.800 pour les seuls phosphates de Hesbaye. La base de données a été restructurée en 2015 par le Service géologique de Wallonie.

Il est à noter que les archives de la Carte géologique de Belgique mentionnent quelques une de ces exploitations (avec une précision de l'ordre de 20 m).

### 2.1.8 – Cartographie des carrières souterraines de phosphate

En 2001, un marché a été confié à l'association momentanée Walphot-CIGER en vue d'établir une cartographie des carrières souterraines reprises dans la base de données, soit sur base des informations parcellaires.

En Hesbaye, faute de plans parcellaires d'époque (absence notamment des plans Popp), il a fallu se procurer auprès de l'Administration du Cadastre les feuilles du cadastre primitif. Leur géoréférencement sur le fond IGN des années 1970-80 n'a pas été sans difficultés, en particulier suite à la disparition de très nombreux chemins suite aux opérations de remembrement et aux grands travaux d'infrastructures depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle. Il existe donc une certaine imprécision. Celle-ci a été réduite en 2018 par le Service géologique de Wallonie en recalant localement certains lots de parcelles par rapport à des voiries. Un buffer d'imprécision de 5 m à 10 m a toutefois été conservé autour des parcelles pour tenir compte de la qualité du calage local.

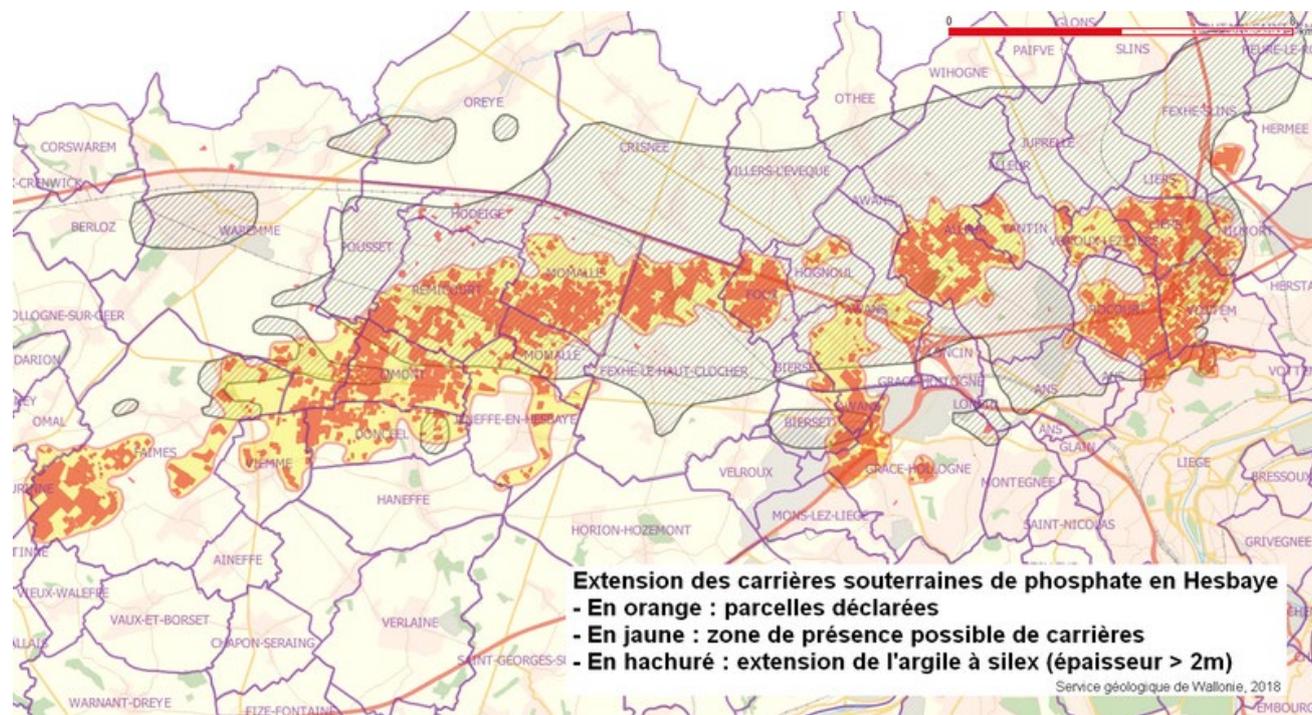
La cartographie globale retenue comprend deux types de zones :

- zone de présence certaine d'une carrière souterraine de phosphate (sous tout ou parties de la parcelle) :
  - parcelle pour laquelle existe un plan de travaux, dont on ignore s'il s'agit de l'état final ;
  - parcelle pour laquelle existe une déclaration d'ouverture ou une autorisation (partant du principe que si un exploitant a effectué cette démarche administrative, il est logique qu'il l'ait mise en œuvre) ;
- zone de présence possible de carrières souterraines de phosphate (courbe enveloppe des zones de parcelles connues).

### 2.1.9 – Aperçu de l'importance de la zone d'exploitation des phosphates

Durant l'ensemble de la période d'activité, près de 2.000 carrières ont été exploitées sous plus de 3.800 parcelles, dans 12 communes (34 anciennes communes).

Les seules entités concernées sont (avec le nombre de carrières recensées) : Omal (1), Lens-Saint-Remy (2), Waremme (3), Bleret (1), Bovenistier (102), Celles (58), Viemme (27), Les Waleffes (223), Kemexhe (25), Hodeige (9), Lamine (48), Remicourt (192), Limont (313), Donceel (112), Jeneffe (39), Freloux (78), Fexhe-le-Haut-Clocher (41), Noville (106), Momalle (356), Lantin (7), Voroux-les-Liers (118), Fexhe-Slins (21), Liers (348), Milmort (88), Vottem (347), Hognoul (19), Awans (162), Fooz (182), Bierset (48), Ans (2), Loncin (3), Alleur (146), Xhendremael (1), Grâce-Berleur (2), Hologne-aux-Pierres (70), Liège (Saint Walburge, 154), Rocourt (302).



On n'a pas tiré de phosphate en dehors de cette zone, mais bien de la marne ou du silex, selon des techniques différentes (Pacyna et Kheffi, 2018). Il n'existe donc pas de « puits à phosphate » hors de ces communes : l'assimilation des effondrements de marnières ou de carrières de silex à ces exploitations de phosphate conduit toujours à une sous-évaluation du risque (volume des vides très différents). On peut estimer le nombre total de puits entre 20.000 et 30.000.

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

En recoupant des cheminées et poches karstiques, les galeries des divers types de carrières souterraines ont provoqué et peuvent encore provoquer la vidange des matériaux meubles de remplissage dans les vides souterrains, provoquant des effondrements ou affaissements localisés en surface.

Pour les cheminées du type « tuyau d'orgue », la remontée du fontis se déroule comme pour un puits, restant canalisée dans le « puits naturel ». Etant donné la section de ces cheminées karstiques, le fontis peut présenter une allure semblable à celui résultant d'un débouillage de puits à phosphate. Dans les zones où le conglomérat à silex est suffisamment épais, il doit limiter les possibilités de remontée de ces cheminées de fontis de faible section vers la surface.

## **2.2. Description des objets**

### **2.2.1 – Les puits**

Les puits de sondage initiaux étaient de section circulaire, d'un diamètre d'un mètre, voire un peu moins.

Les puits d'extraction (paniers remontés par un treuil à bras), assurant également l'aération et la translation du personnel, présentaient une section circulaire, d'un diamètre de 1 à 1,5 m. Il s'agit parfois de puits de recherche élargis. Outre les puits circulaires, on trouve également des puits de section carrée (à Vottem, dans les années 1890) ou rectangulaires (puits de 1,2 m x 1 m, caractéristiques des exploitations de la société Rolland et De Roos).

Ces puits étaient creusés en ligne, à 20 ou 30 m les uns des autres, le champ d'exploitation autour d'un puits étant de 10 à 15 m. Leur profondeur variait de 5 m (à Momalle) à 27 m (à Rocourt), pour une moyenne de 10 à 20 m.

Les lignes de puits étaient en général parallèles au plus grand côté de la parcelle. Etant donné le rayon d'action des puits, ils étaient placés à une dizaine de mètres des limites parcellaires.

Ils n'étaient que rarement boisés, ou seulement au niveau des couches friables (sables et limons). Selon les exploitants, on trouve des revêtements réalisés au moyen de fortes branches flexibles disposées en cerceaux horizontaux ("aires") ou au moyen de branches plus longues disposées en hélice. Ces cadres élastiques pressaient contre les parois des branches verticales, plaquant, au besoin, des veloutes ou de la paille. Dans certains cas, on a utilisé des boisages solides (Rolland et De Roos), les parois les plus friables étant garnies de planches. En général, le revêtement, s'il n'était pas trop dégradé, était récupéré avant le remblayage du puits.

Une fois la parcelle épuisée, les puits étaient remblayés en y déversant les terres du terrisse. En effet, les conditions de location des terres aux phosphatiers mettaient à leur charge le remblayage des puits et l'aplanissement des terrisses, de sorte à rendre les terres à la culture.

Dans certaines exploitations, on prenait la précaution de barrer l'accès à la maîtresse-galerie au moyen de murs de silex empilés et de commencer le remblayage par des blocs de silex, pour le poursuivre au moyen de terres damées. Du limon terminait le remblayage en surface. Cette méthode sera imposée durant la Deuxième Guerre (l'arrêté royal du 2 avril 1935 sur les carrières souterraines imposait le remblayage d'office des puits hors service).

Toutefois, il arrivait que les exploitants vendent les silex et les parties dures de la couche de craie blanche (« tawes ») aux agriculteurs ou aux communes, pour servir à la réfection des chemins. De ce fait, ces pierres n'étaient plus disponibles pour renforcer le pied du remblayage.

### **2.2.2 – Les galeries**

Au pied des puits courait une "maîtresse galerie". La couche de phosphate est irrégulière, tant en épaisseur qu'en allure (horizontale ou en pente sur le flanc des creux et des bosses qui affecte la surface de la craie blanche sous-jacente). Le pied de cette maîtresse-galerie était donc creusé dans la craie blanche afin de lui donner une hauteur suffisante à la circulation et au traînage des paniers de phosphate jusqu'au pied du puits, soit de l'ordre de 1 m de largeur pour 1,2 à 1,7 m de hauteur. Cette maîtresse galerie pouvait passer directement à côté du pied des puits ou, plus souvent, y être jointe par une courte galerie jouant le rôle de chambre d'accrochage. Ces galeries de circulation étaient fréquemment boisées au moyen de cadres plus ou moins espacés, avec, souvent, un garnissage des parois et du toit. Le toit de la galerie se trouvait normalement au niveau de la base du conglomérat à silex.

De cette maîtresse-galerie partaient, perpendiculairement, tous les trois mètres environ, des galeries dont le pied était également établi dans la craie blanche.

Dans quelques cas particuliers et notamment dans les parties fortement inclinées d'un gisement, la maîtresse-galerie et les perpendiculaires étaient entièrement établies dans la craie blanche. Les tailles étaient alors desservies par une galerie de faible hauteur (0,8 à 1 m), communiquant avec la galerie inférieure par un petit puits (« bouxhtay ») par lequel on déversait les produits abattus.

### 2.2.3 – Les chantiers d'exploitation

Au début de l'exploitation du gisement hesbignon, en 1884, on avait envisagé d'exploiter par chambres et piliers abandonnés, dans un rayon d'une dizaine de mètres autour du puits. Le rapport volume de phosphate extrait / volume de craie à creuser a vite amené à choisir un système plus rationnel. La méthode retenue était une combinaison de chambres et piliers abandonnés avec chambres minimalistes et d'exploitation totale de couche par panneaux réduits, massifs abandonnés et remblayage d'arrière-taille.

De part et d'autre des galeries secondaires, longues d'une dizaine de mètres, des « tailles » (chantiers d'abattage) étaient menées dans la couche de phosphate. Ces tailles, d'une largeur habituelle de 3 m, avaient une hauteur limitée à l'épaisseur de la couche, soit quelques dizaines de centimètres. Le toit, constitué du conglomérat à silex, était soutenu par des massifs laissés en place (« piliers ») et par un boisage plus ou moins bien réalisé. Les vides en arrière du front de taille étaient remblayés au moyen des déchets d'exploitation et de la craie provenant du creusement du pied des galeries ou des silex du toit.

Cette méthode minimisait les volumes locaux et globaux de vides souterrains, assurant en même temps la conservation de l'intégrité des riches terres agricoles en surface.

## 3. .MANIFESTATIONS EN SURFACE DE CES CARRIÈRES DE PHOSPHATE

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 au droit des puits, souvent en hiver ou après des périodes de fortes précipitations, qui provoquent l'évolution rapide de la phase finale de remontée du fontis. Il s'agit de débourrages, soit de remontées de fontis au sein de la colonne de remblai des puits. La plupart des effondrements sont remblayés directement par les agriculteurs, habitués à ce genre d'accidents. Ils provoquent cependant souvent l'inquiétude du public lorsqu'ils surviennent dans des zones aujourd'hui urbanisées.

### 3.1. Description des effets en surface liés aux carrières de phosphate - Les constats de terrain

L'aléa de mouvement de terrain à l'aplomb d'une carrière souterraine de phosphate est lié principalement à la présence des puits d'extraction des galeries de circulation et, dans une moindre mesure semble-t-il, à la présence des galeries de circulation.

En pratique, l'effondrement initial est d'allure cylindrique à légèrement évasée (selon la cohésion des terrains et leur état de saturation), d'environ 1 à 2 m de diamètre au niveau du sol, et de quelques mètres de profondeur (5 à 6 m au maximum).

Il ne semble pas exister de fontis pouvant être associés à la ruine du toit d'une maîtresse-galerie ou d'une galerie. Pour ce qui est des chantiers, c'est très peu probable au vu du volume de vide disponible primaire mis en jeu (faible ouverture des tailles, remblai partiel et présence de l'argile à silex au toit).

Si le cratère initial d'effondrement (le fontis) n'est pas rapidement remblayé, il évolue vers une excavation de forme conique au sein des limons et sables superficiels. Les plus grands cônes d'effondrement, visibles jusqu'en 2015, un peu au-delà de l'extrémité nord-est de la piste de l'aéroport de Bierset, mesuraient de 4 à 5 m de diamètre. Encore s'agit-il d'effondrements abandonnés au moins deux années aux intempéries, avec accumulation d'eau pluviale dans les entonnoirs. L'élargissement vers 5 m résulte sans doute d'une détérioration de la cohésion des limons dans les cuvettes régulièrement inondées et d'un soutirage continu des remblais vers les galeries sous l'effet de l'infiltration dans les remblais des eaux accumulées. Cf photos ci-dessous (SPW, Dir. De la géotechnique) et extrait d'une photo aérienne de 2015 (Google Map).





Crédit photo. S. Geenynckx,, SPW (DGO1, D.161. Direction de la Géotechnique, 2014)



Image Google Map modifiée (D. Pacyna, SPW ; DGO3, Direction des Risques industriels, géologiques et miniers, 2016)

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.

Lorsqu'aucun fontis ne s'est encore manifesté en surface, on peut toutefois en trouver la trace dans des essais géotechniques ou dans des forages, sous forme d'une zone de décompression déconsolidée, à l'aplomb d'une cheminée de fontis auto-comblé ou en progression.

On ne connaît pas d'accident sur un puits à phosphate ayant entraîné la ruine ou la démolition d'un immeuble.

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 dimension au sol de l'excavation qui conditionne la réaction des fondations et assises des immeubles et infrastructures. Dans le cas des puits à phosphate, les dimensions latérales du vide à enjamber restent faibles (1 à 2 m).

**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.

### 3.2. Estimation des effets en surface associés aux carrières de phosphate - Quelques ordres de grandeur

Etant donné la constante du mode d'exploitation des phosphates en Hesbaye, il est possible de procéder à une généralisation de l'estimation de l'aléa de mouvement de terrain, sur base des hypothèses suivantes :

- le puits se trouve sur la maîtresse galerie (2 galeries de pied, cas maximaliste, de 1,7 m de hauteur et 1 m de largeur) ;
- le puits mesure 1,5 m de diamètre ( $S = 1,77 \text{ m}^2$ ) et est remblayé jusqu'au pied ;
- les remblais s'écoulant au fond (limons sableux) ont un talus de pente naturelle de  $35^\circ$  et un coefficient de foisonnement de 1,1 ;

- les terrains de recouvrement, limoneux, ont un talus de pente naturelle de 35° et le coefficient de foisonnement pris en compte dans le comblement de la cheminée de fontis qui se développe dans le puits est considéré égal à 1 (les paquets qui tombent se tassent dans le puits).

Pour un puits de 1,5 m de diamètre, on aura donc :

- pour le cratère initial d'effondrement (le fontis), un diamètre de 1,5 m (en pratique, avec l'arrachement des couches superficielle, il peut atteindre 2 m) et une profondeur maximale de l'ordre de 2,1 m ;
- pour le cratère final d'effondrement, un cône sur pointe de 3,5 m de diamètre pour 1,2 m de profondeur.

Pour un puits de 1,0 m de diamètre, on aura :

- pour le cratère initial d'effondrement (le fontis), un diamètre de 1,0 m (en pratique, avec l'arrachement des couches superficielle, il peut atteindre 1,5 m) et une profondeur maximale de l'ordre de 3,75 m ;
- pour le cratère final d'effondrement, un cône sur pointe de 3,5 m de diamètre pour 1,2 m de profondeur.

Pour les galeries de circulation, si on considère :

- un carrefour en « T » de 3 galeries de 1,7 m de hauteur et 1 m de largeur (cas maximaliste) ;
- des déblais en pied de fontis avec une pente de talus naturel de 40° et un coefficient de foisonnement de 1,2 (argile à silex) ;
- un coefficient de foisonnement de 1,1 pour les matériaux qui comblent la cheminée de fontis (limons sableux),

on aura, pour trois niveaux de profondeur d'exploitation représentatifs (15, 22 et 30 m) :

15 m :	cratère primaire de 1 m de diamètre et 3,23 m de profondeur ; cratère secondaire (cône sur pointe) de 3,02 m de diamètre et 1,06 m de profondeur
22 m :	cratère primaire de 1 m de diamètre et 1,95 m de profondeur ; cratère secondaire (cône sur pointe) de 2,56 m de diamètre et 0,90 m de profondeur
30 m :	cratère primaire de 1 m de diamètre et 0,50 m de profondeur ; cratère secondaire (cône sur pointe) de 1,62 m de diamètre et 0,57 m de profondeur

En pratique, dans les conditions géologiques moyennes, il sera difficile, sur site de savoir si on a affaire à un débouillage de puits ou à un fontis sur galerie. Les effets seront identiques. Vu l'épaisseur de l'argile à silex en de nombreux points de la zone des phosphate, on peut penser que les remontées de cheminées de fontis sur galerie s'y amortissent très vite, voire y reste bloquées. Les puits, par opposition, constitue un chemin meuble de remontée préformé au travers du conglomérat à silex, favorisant les fontis à leur tête.

Ce modèle répond aux dimensions des effondrements constatés sur le terrain, soit :

- des cratères cylindriques initiaux de 1 à 2 m de diamètre (selon la cohérence des formations superficielles) ;
- des cratères coniques finaux, résultant d'une évolution plus ou moins rapide du cratère initial, de 3,5 à 5 m.

#### 4. BIBLIOGRAPHIE.

- CALEMBERT L. 1947. Phosphates de la Hesbaye. *Centenaire de l'Association des Ingénieurs sortis de l'Ecole de Liège (A.I.Lg). Congrès 1947 Section Géologie*, A.I.Lg. Liège.
- 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.
- CAUBERGS M. 1991. *Inventaire de quelques anciennes mines et carrières souterraines de Wallonie. Essai d'archéologie minière*, Caubergs M. Bruxelles.
- DELCAMBRE B. & PINGOT J.-L. 2006. Perwez – Eghezée, 40/7-8. *Carte géologique de Wallonie*. Ministère de la Région wallonne Namur.
- DELCAMBRE B. & PINGOT J.-L. 2014. Wasseiges – Braives, 41/5-6. *Carte géologique de Wallonie*. Service public de Wallonie Namur.
- DIDIER C. & SALMON R. 2010. Un modèle de calcul des hauteurs prévisibles de remontée de fontis à l'aplomb d'exploitations souterraines peu profondes, *Revue française de Géotechnique* 113, pp.21-36.
- 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.
- LOHEST M. 1890. Des gisements de phosphate de Hesbaye. Etendue de la zone où on peut espérer les rencontrer. *Annales de la Société géologique de Belgique* XVIII, XLX-XXIII.
- PACYNA D. & MARCHE A. 2000. *Inventaire des exploitations souterraines de phosphates (et autres carrières souterraines). Anciennes communes d'Awans, Bierset, Grâce-Berleur et Hollogne-aux-Pierres*. Ministère de la Région wallonne Namur (inédit).
- PINGOT J.-L. 2015. Hannut - Montenaeken, 41/5-6. *Carte géologique de Wallonie*. Service public de Wallonie Namur.
- SALMON R. 2015. Retour d'expérience sur les effondrements localisés miniers. INERIS Rapport DRS-15-149489-10509A.

Crédits photo :

- Service public de Wallonie, Direction de la Géotechnique, 2014.
- Google Map, 2015