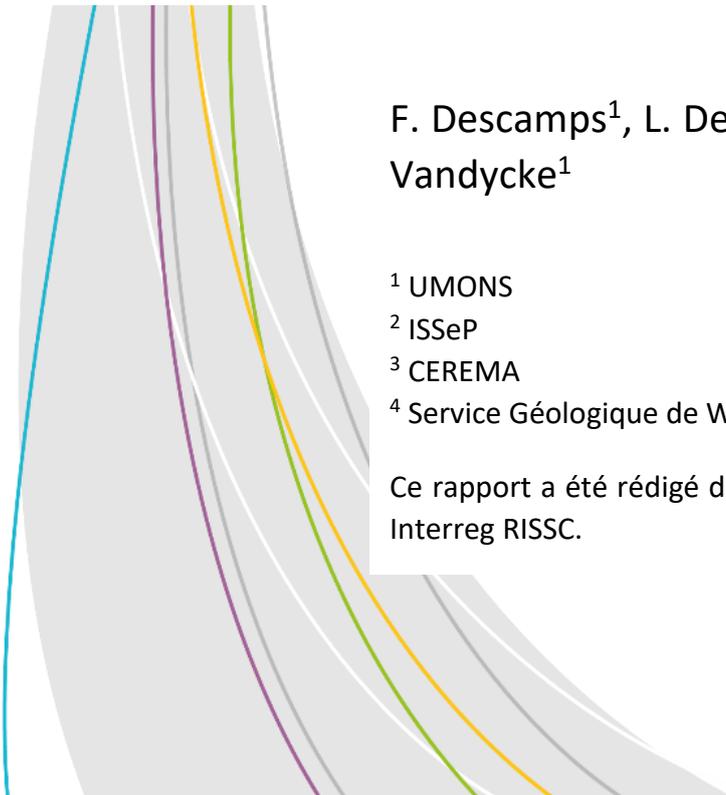


# Les cavités souterraines en Wallonie et en Hauts-de-France

## Rapport de synthèse

Novembre 2022



F. Descamps<sup>1</sup>, L. Dewaide<sup>2</sup>, C. Lefebvre<sup>3</sup>, D. Pacyna<sup>4</sup>, S.  
Vandycke<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UMONS

<sup>2</sup> ISSeP

<sup>3</sup> CEREMA

<sup>4</sup> Service Géologique de Wallonie

Ce rapport a été rédigé dans le cadre du module 3, activité 1, du projet  
Interreg RISSC.

## PREAMBULE

Le présent document a été réalisé dans le cadre du projet INTERREG RISSC, soutenu financièrement par le Fonds Européen de Développement Régional, la Région Wallonne, et les opérateurs<sup>1</sup> du projet.

Ce rapport a pour but de synthétiser les observations et actions menées en lien avec le module de travail concerné.

La responsabilité des auteurs ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, les auteurs ne peuvent pas être tenus responsables en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient proposés par les auteurs dans le cadre du projet, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur éventuel. Par conséquent, la responsabilité des auteurs ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective.

L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. Les auteurs dégagent également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet du projet.

---

1 Les opérateurs du projet sont : l'ISSEP, l'UMONS, l'Ineris, le CEREMA, l'ACOM France et l'Université de Lille

## Table des matières

Table des matières.....	3
1. Introduction.....	5
2. Brève histoire géologique du sous-sol des Hauts-de-France et de la Wallonie.....	6
3. Les cavités souterraines : inventaire et répartition sur les territoires.....	11
3.1. Les cavités minières .....	11
3.1.1. Exploitations de houille .....	13
3.1.2. Exploitations de fer.....	15
3.1.3. Autres exploitations minières.....	18
3.2. Les cavités non minières .....	19
3.2.1. Les cavités naturelles.....	19
3.2.2. Les carrières souterraines .....	20
3.2.3. Autres objets souterrains d’origine anthropique.....	30
4. Origine des mouvements de terrain : quels mécanismes d’instabilité pour quel type de cavité ? .....	37
4.1. Les puits.....	37
4.2. Exploitations en chambres et piliers .....	40
4.3. Puits en bouteille.....	45
4.4. Cavités karstiques.....	45
4.5. Sapes de guerre et souterrains refuges .....	45
5. Sources et diffusion cartographique des données « cavités », vision critique .....	47
5.1. En Hauts-de-France .....	47
5.1.1. Sources de données.....	47
5.1.2. Accès public et portail cartographique .....	48
5.1.3. Critiques et perspectives .....	49
5.2. En Wallonie .....	50
5.2.1. Sources de données.....	50
5.2.2. Accès public et portail cartographique .....	50
5.2.3. Critiques et perspectives .....	52
6. Conclusions.....	53
7. Références .....	55

LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE  
MODULE 3 – ACTIVITE 1

# 1. Introduction

Le module de travail numéro 3 du projet RISSC a pour objet principal de renforcer les connaissances au sujet du sous-sol, des cavités souterraines et des mécanismes de rupture liés à ces cavités sur le territoire transfrontalier concerné. Dans ce but, la première activité de ce module consiste à identifier, inventorier et décrire les cavités sur les deux territoires et à définir ceux qui représentent une menace pour les biens et les personnes.

Dans un premier temps, le rapport exposera les contextes géologiques des régions concernées, leurs points communs et leurs spécificités géologiques. Grâce à une vision simplifiée de la géologie, il sera plus aisé de comprendre la répartition des différents objets en fonction de la composition du sous-sol.

Ensuite, un inventaire des types de cavités existantes ou renseignées sur les deux territoires sera établi et accompagné d'une description de leurs caractéristiques principales. La répartition des cavités sur les deux versants sera également évoquée, en reflet du contexte géologique défini.

La présence de cavités souterraines peut générer un risque en surface si un mécanisme de rupture en sous-sol est initié. Ainsi, les mécanismes de rupture connus pour les principaux types de cavité seront également expliqués dans ce document.

Enfin, le rapport se conclura par une vision critique des sources de données disponibles. A cet effet, il constitue une clé de lecture de référence pour accompagner le portail cartographique transfrontalier créé dans le cadre du module 5 du projet RISSC. Ce portail permet de visualiser la répartition cartographique des différents types de cavités explicitées dans le présent rapport sur les territoires de la Wallonie et des Hauts-de-France. Le portail, interactif, permet d'obtenir les détails publics relatifs à une cavité particulière via l'ouverture d'une fenêtre « pop-up » en cliquant sur la cavité de son choix. Le portail est accessible via [ce lien](#).

## 2. Brève histoire géologique du sous-sol des Hauts-de-France et de la Wallonie

Parcourir le Nord de la France et le Sud de la Belgique permet étonnamment d'observer toutes les roches de la colonne stratigraphique, depuis le début du Paléozoïque jusqu'au Quaternaire. Il est possible ainsi d'y rencontrer des roches de constitution très variée, principalement d'origine sédimentaire, mais aussi d'origine plus profonde, sous forme le plus souvent d'intrusions volcaniques ou de filons magmatiques. Les formations calcaires et gréseuses sont ainsi relativement dominantes. Leur dureté est très variable, selon leur origine et leur âge géologique. Cette grande diversité est la conséquence d'une histoire géologique conjuguant dépôts sédimentaires de bassin ou continentaux, des phases d'orogénèse avec érection de montagnes et de tectonique active. Chacune de ces phases d'activité va engendrer des structures géométriques qui affectent les massifs rocheux, et qui conditionnent leur exploitation.

L'Homme ne s'y est pas trompé, au sein de la plaque Europe, et s'installe pour diverses activités minières, sur une large plateforme continentale, dont le paysage est aplani et accueillant, et dont le sous-sol regorge de matériaux utiles (Lorenz & Pomerol, 1989).

Les roches du Paléozoïque (Figure 1, Tableau 1) sont principalement observables dans les vallées de l'Ardenne, en Wallonie et dans l'Avesnois, mais aussi en bordure du Massif du Brabant et en son sein, et par exploitation dans la Boutonnière du Boulonnais. Il faut distinguer trois grands ensembles :

- les roches du Paléozoïque inférieur qui s'observent dans le Massif du Brabant, en Haute Ardenne et dans les massifs de Rocroi et de Stavelot ;
- les roches très variées de la plateforme du Dévonien ;
- les roches du Paléozoïque supérieur, du Carbonifère en particulier, avec de grands bassins aquifères calcaires, et les riches formations houillères grésopélitiques, peu observables en surface, mais grandement exploitées en profondeur au cours des siècles derniers.

Les grès et les calcaires paléozoïques sont surtout exploités en carrières à ciel ouvert, sauf lorsqu'ils présentent un intérêt ornemental (Calcaire de Mazy) ou pour ses filons hydrothermaux (galène-plomb-zinc), ferreux ou avec une minéralogie particulière comme le coticule de la région de Vielsam-Lierneux.

Les craies sont définitivement les reines des cavités souterraines. Ces formations mésocénozoïques recouvrent presque l'entièreté du territoire des Hauts-de-France, et en Wallonie, se retrouvent dans le Bassin de Mons et dans le Nord-Est, au Nord de Liège (Figure 2, Tableau 1). Leur composition va de la craie pure constituée presque entièrement de carbonate de calcium sous forme de coccolithes, à des calcarénites micritiques contenant parfois une proportion de phosphates (La Malogne) ou d'argiles (Amédéo & Robaszynski 2000, Mortimore 1990, 2014, Vandycke et al. 1991). Peu indurées et d'une grande porosité, ce fut

## LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE

### MODULE 3 – ACTIVITE 1

un matériel phare du bâti ancien. Ces roches crayeuses servaient notamment aux fondations ou aux remparts, utilisées pour leurs propriétés plastiques. Les craies sont souvent accompagnées de bancs de silex stratiformes. Les silex de la craie furent exploités en souterrain, notamment au Néolithique pour le façonnage d'outils, ou encore par après comme moellons de construction.

Les calcaires du Lutétien, dans le Sud-Ouest des Hauts-de-France, sont également une roche très emblématique, puisqu'elle fut largement exploitée, notamment sous de nombreuses villes, comme Paris ou Laon. Ces formations mésocénozoïques appartiennent au large Bassin de Paris (Gély & Hanot, 2014), en sa partie septentrionale, en connexion aussi avec les champs crayeux de la Manche et de la Mer du Nord. Si les sables, loess, limons et autres formations terrigènes vont venir recouvrir l'ensemble du territoire, il s'agit de sédiments peu enclins à être exploités en souterrain, parce qu'ils sont souvent très meubles, sans tenue mécanique, mais aussi parce qu'ils affleurent le plus souvent directement en surface. On note néanmoins l'existence de carrières souterraines de sables cuisiens (Yprésien Supérieur) situé sous la craie dans le sud des Hauts-de-France.

Il va sans dire que les roches carbonatées sont soumises à l'altération karstique, surtout en période d'émersion continentale (Quinif 2010, Quinif et al. 1997, Havron et al. 2004). De grandes cavités remarquables se sont ainsi développées principalement dans les roches calcaires du Dévonien et du Carbonifère, dont certaines sont visitables et même touristiques, surtout en Wallonie (Quinif 1989). L'altération de surface va aussi engendrer localement des masses résiduelles d'argile, parfois exploitées en cavité.

Le paysage du territoire des Hauts-de-France et de Wallonie est façonné par la composition des roches, mais aussi bien encore par son histoire géodynamique (Laurent et al. 2021, Robaszynski & Guyétant 2009, Vandycke 2002 ; Tableau 1). Le Paléozoïque est marqué par deux phases de plissement, entrecoupant des périodes de sédimentation de plateforme ou de bassin (Boulvain & Pingot 2015). Le plissement calédonien est assez tenu et marque les formations grésopélitiques du Paléozoïque inférieur. La phase hercynienne, à la fin du Paléozoïque affecte l'ensemble du territoire. Cette poussée tectonique qui vient du Sud, engendre des plis cylindriques qui façonnent notamment les vallées de l'Ardenne et de l'Avesnois (Lacquement 2001). Sa limite septentrionale est marquée par un front de chevauchement qui s'observe dans la boutonnière du Boulonnais, et le long d'un axe Douai-Mons-Namur-Liège (Figure 1). Cette structure crustale majeure porte plusieurs noms selon sa localisation : Faille du Midi, Front Varisque, Faille Eifélienne vers l'Est. Ce front est accompagné aussi par une série d'écaillés qui modèlent le Condroz en Belgique, mais plus encore la structure des champs houillers en profondeur (Belanger et al. 2012, Laurent et al. 2021). Vers le Nord, au-delà de ce front varisque, les roches paléozoïques seront moins déformées, avec parfois un léger pendage ou quelques flexures d'accommodation. C'est ainsi dans ce contexte très particulier (et compliqué !) de haute déformation que seront exploitées les mines de charbon. Une schistosité très marquée accompagne également les roches pélitiques et terrigènes. Cette surface de discontinuité façonne les ardoises.

# LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE

## MODULE 3 – ACTIVITE 1

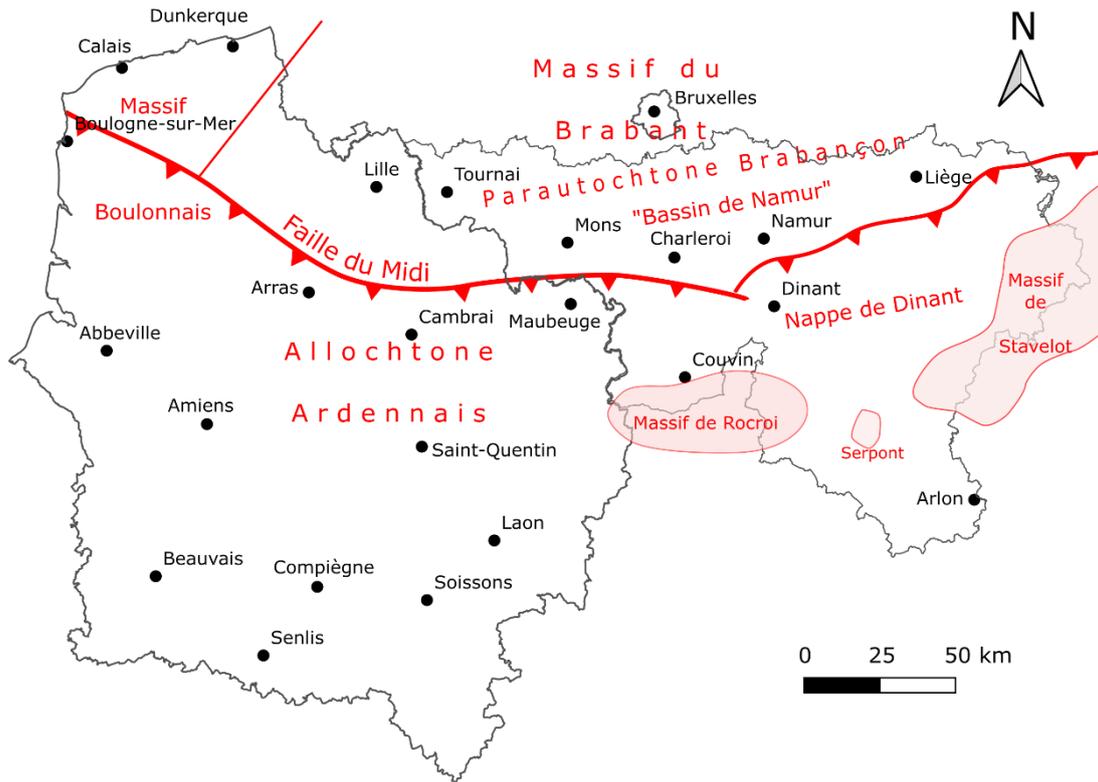


Figure 1 : Principaux ensembles du socle paléozoïque en Wallonie et en Hauts-de-France.

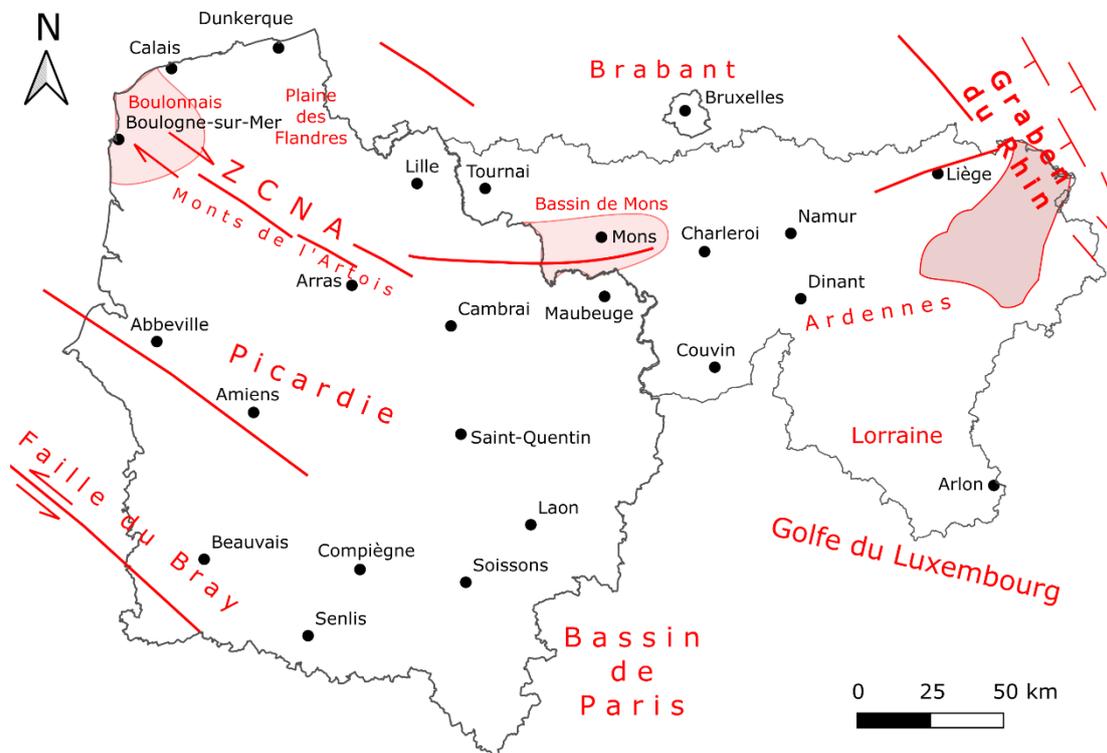


Figure 2 : Grandes structures mésocénozoïques en Wallonie et Hauts-de-France. ZCNA, Zone de Cisaillement Nord-Artois.

## LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE

### MODULE 3 – ACTIVITE 1

Au cours de la poussée hercynienne, les roches du Paléozoïque supérieur progressent ainsi vers le Nord, et sont stoppées par les roches du Paléozoïque inférieur du Massif du Brabant, mais sans doute aussi par un massif batholithique ou granitique reconnu en profondeur (Mansy et al. 1999). L'Ardenne est une large nappe de charriage, héritage d'une montagne réduite à de simples collines. Suite à l'orogénèse hercynienne, suivra une longue période de démantèlement, d'érosion et d'altération, avec quelques dépôts au Sud du territoire au cours du Jurassique, dont résultera les paysages de plateaux, et une ligne d'horizon à l'infini.

Vers 100 millions d'années, toutes les régions des Hauts-de-France et de la Wallonie sont recouvertes par la mer de la craie. Cette région est alors largement en distension, avec ponctuellement des inversions tectoniques dues à des soubresauts sur la plateforme nord-européenne liés à la dynamique des Alpes et des Pyrénées, mais aussi du Graben du Rhin et de la Mer du Nord (Vandycke 2002, Figure 2). Les marqueurs tectoniques sont des failles, mais surtout des joints et des fractures qui conditionnent souvent la géométrie des galeries souterraines (Bergerat et al. 2015, Vandycke et al. 1991). Les orientations principales de la fracturation sont NW-SE, E-W et NE-SW (Vandycke 2002). Ensuite, après le Crétacé, la dynamique viendra du Nord de l'Europe, influencée par l'émersion des massifs scandinaves, l'apport massif de sédiments terrigènes et aussi éoliens (loess), qui mènera notamment à de grandes plaines fertiles, comme la Plaine des Flandres. Encore aujourd'hui, il existe une géodynamique crustale, reconnue par géophysique profonde, qui montre que ce territoire est sujet à une sismicité faible à modérée, parfois accentuée par le tassement des zones minières, et aussi influencée de nos jours, par la disparition des calottes glaciaires (Camelbeeck et al. 2007).

## LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE

### MODULE 3 – ACTIVITE 1

Tableau 1 : Synthèse des principales phases géologiques, paysages et structures associés ainsi que des exploitations et cavités remarquables en Wallonie et Hauts-de-France.

ERE	SYSTEME	GEODYNAMIQUE	PAYSAGES	STRUCTURES TECTONIQUES	ROCHES/MINERAIS EXPLOITES	CAVITES REMARQUABLES
CENOZOÏQUE	QUATERNAIRE	Sismicité Eustatisme Incision vallées	Plateforme continentale	Joint NW-SE	Limons (Argiles !) Grès	Saint-Quentin
	NEOGENE	Loess-Karst Volcanisme (Nord-Est)	Erection	Joint NE-SW E-W	Calcaire lutétien	Laon      Soissons Senlis    Saint-Maximin
	PALEOGENE	Inversion tertiaire Z.C.N.A.	Apport éolien terrigène Monts de l'Artois		Calcarénite Sables	Laon, Sud de l'Aisne
MESOZOÏQUE	CRETACE	Inversion alpine Extension	Mer de la craie Marécages	Cisaillement Extension NE-SW Failles normales synsédimentaires	Craie phosphatée Craie blanche + silex (Argiles)	Malogne Spiennes, Arras, Mimoyecques, Lille
	JURASSIQUE	Karst		Diaclases Flexure		
	TRIAS	Pénéplanation-érosion	Début Bassin de Paris	Fracturation hydroplastique		
PALEOZOÏQUE	PERMIEN	Front varisque Raccourcissement hercynien	Montagne hercynienne	Plis varisques cylindriques		
	CARBONIFERE	Dépôt houiller (grès, schistes, charbon) Dépôt calcaire	Mer épicontinentale	Failles régionales + filons	Charbon-houille-grès Calcaire Pierres ornementales	Bassin Houiller (Béthune, Lens, Douai, Valenciennes, Borinage, Centre, Charleroi, Liège) Mazy, Soignies, Tournai
	DEVONIEN	Plateforme en extension	Mer dévonienne	Failles normales, diaclases	Plomb-zinc-galène-fer	Calestienne
	SILURIEN	Raccourcissement calédonien	« Monts calédoniens »	Schistosité	Ardoises	Karst (Han-sur-Lesse) Vielsalm-Lierneux
	ORDOVIEN	Dépôt terrigène	Océan	Clivage + filons	Coticule	
	CAMBRIEN			Discordance		

### 3. Les cavités souterraines : inventaire et répartition sur les territoires

Le présent chapitre vise à inventorier les différents types de cavités qui sont renseignées sur les territoires transfrontaliers et qui sont susceptibles d'engendrer des mouvements de terrain. Alors que la France inventorie une liste très large d'objets souterrains, la Wallonie répertorie uniquement les cavités associées à une exploitation du sous-sol et les cavités d'origine naturelle. Ces dernières sont liées à la dissolution des roches de nature carbonatée qui provoque des morphologies, en surface ou en sous-sol, appelées « karst ». En sous-sol, des cavités peuvent résulter de ces processus de dissolution qui se déroulent à des échelles de temps géologiques.

Sur les deux territoires, par ailleurs, une distinction est faite entre les cavités minières et les autres objets non miniers. En effet, le régime juridique associé aux vides souterrains est différent s'ils sont d'origine minière (relevant du Code Minier en France et de la Loi Minière et du Décret des Mines en Wallonie) ou non (relevant alors du Code Civil – en termes de responsabilité – sur les deux territoires). Les mines sont définies comme des exploitations de matériaux dits concessibles. Les listes de ces matériaux sont légèrement différentes en France et en Wallonie (voir ci-après). L'exploitation de ces substances ne peut se faire que par un acte de concession qui octroie à un exploitant (concessionnaire) la propriété d'une mine et le droit de l'exploiter. Le terme de « concession » définit également le périmètre du terrain à l'intérieur duquel s'exercent les droits d'un concessionnaire.

Les cavités seront donc, dans un premier temps, catégorisées en minier/non minier. Il faut néanmoins préciser que le projet RISSC a pour objet principal les cavités hors mine. Dès lors, bien qu'il soit important de considérer les mines dans l'inventaire des objets souterrains, celles-ci seront peu prises en compte dans les chapitres ultérieurs.

#### 3.1. Les cavités minières

En France et en Belgique, la liste des principaux matériaux considérés comme concessibles est à peu près semblable. Ainsi, des deux côtés de la frontière, sont considérés comme concessibles :

- les métaux,
- les hydrocarbures et combustibles liquides ou solides,
- les sels,
- l'alun et les sulfates à base métallique,
- le soufre,
- la bauxite et la fluorine.

## LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE MODULE 3 – ACTIVITE 1

Les phosphates sont considérés comme concessibles en France alors qu'ils ne le sont pas en Belgique. Dans le projet de Code de gestion des ressources du sous-sol en préparation en Wallonie (De Fru et al., 2021), il est néanmoins prévu d'intégrer les phosphates dans les matériaux concessibles. Toutefois, les exploitations souterraines de phosphate en Hauts-de-France ont été menées au sein de carrières souterraines exploitant par ailleurs des craies ou des argiles). C'est pourquoi, dans le présent rapport, ces exploitations seront abordées dans la section dédiée aux cavités non-minières.

Les mines ouvertes en Wallonie concernent majoritairement l'exploitation de houille, de certains métaux (plomb, zinc, cuivre et manganèse essentiellement), du fer et de l'or. De manière très anecdotique, il existe également des mines d'alun, de graphite et de lignite. Environ 200 concessions ont fait l'objet de travaux souterrains sur le territoire wallon (Pacyna 2019). Si toute activité minière a cessé en Wallonie depuis la fin du 20<sup>ème</sup> siècle, toutes les concessions n'ont pas été sécurisées pour autant et des risques résiduels persistent. La majorité des mines exploitées en Belgique sont localisées le long du sillon Sambre et Meuse (surtout les mines de houille) comme le montre la Figure 3.

En Hauts-de-France, les matériaux concessibles qui ont fait ou font l'objet d'exploitations minières sont le fer, le charbon et les hydrocarbures. 61 concessions (échues ou valides) sont répertoriées dans le cadastre minier français (Figure 4).

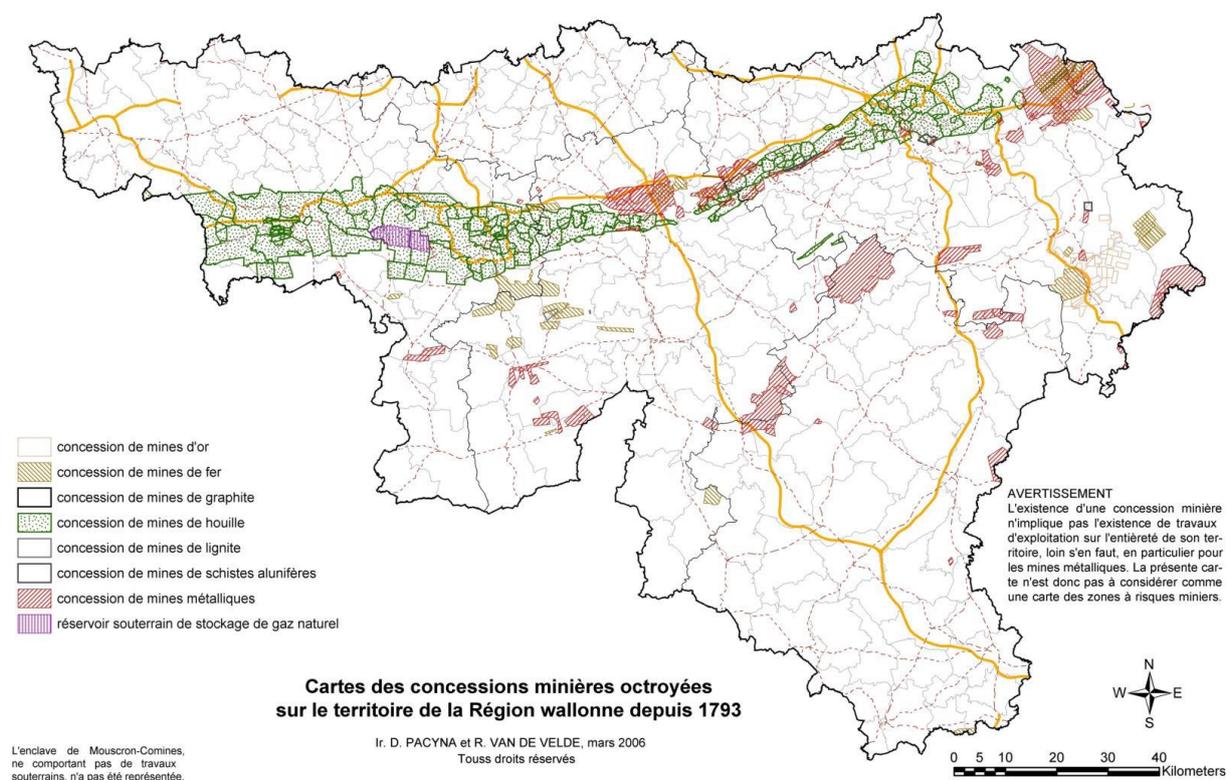


Figure 3. Carte localisant les concessions minières de Wallonie. Sur l'ensemble des concessions octroyées, environ 200 sont concernées par des travaux souterrains.

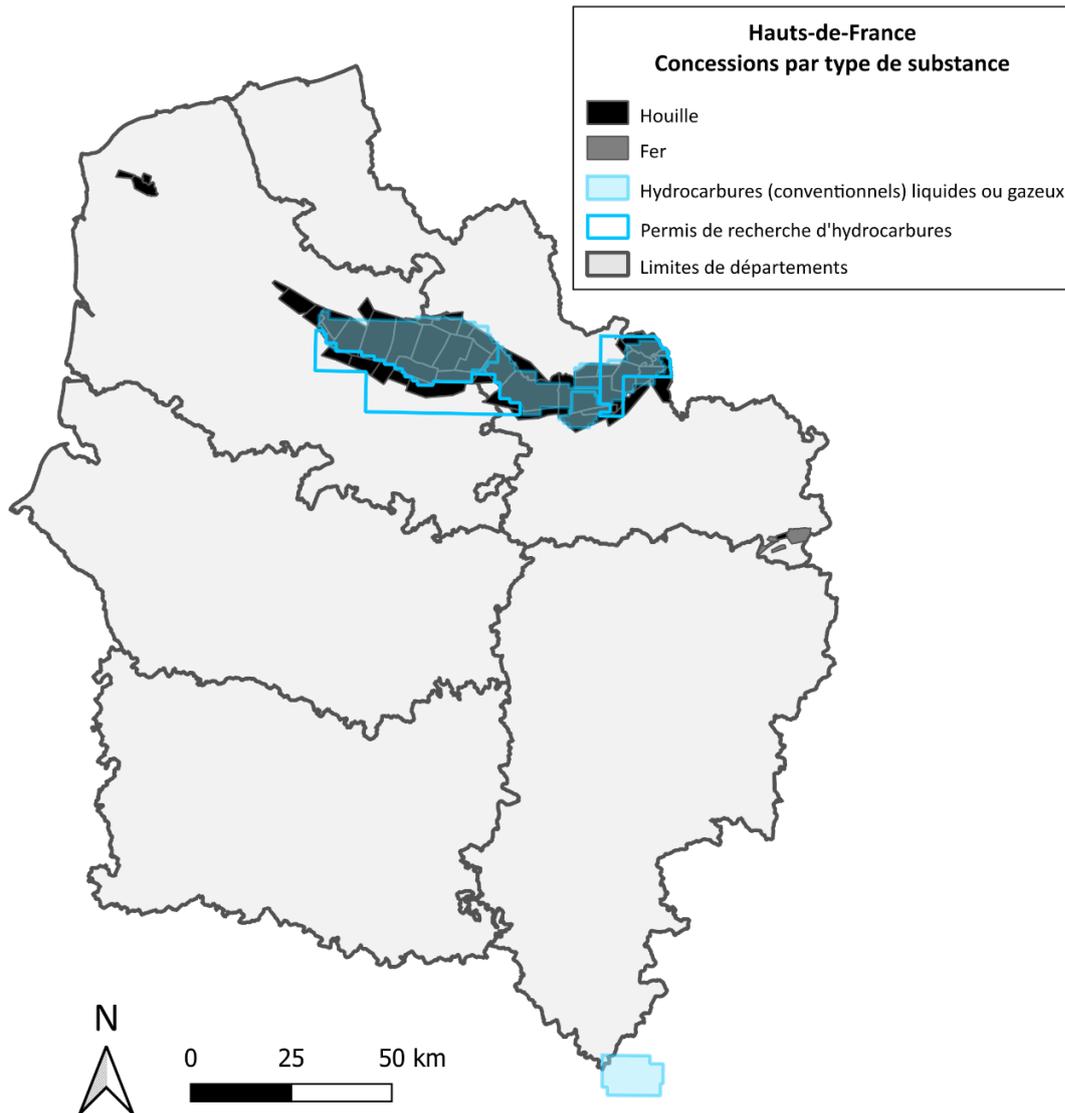


Figure 4 : Cartographie des concessions minières en Hauts-de-France par type de substance (d'après les données de Camino). Il s'agit essentiellement des concessions de houille du bassin du Nord-Pas-de-Calais (échues) qui correspondent aux actuelles concessions d'hydrocarbures octroyées pour la production de gaz de mine. Le bassin houiller se prolonge jusqu'au Boulonnais. La concession d'hydrocarbures de Villeperdue (Champagne principalement) déborde légèrement au sud de l'Aisne.

### 3.1.1. Exploitations de houille

Pour les deux régions, la plupart des exploitations minières concernaient la houille. Les gisements se caractérisent par des couches nombreuses et peu puissantes : de 0.5 à 1 m en Wallonie, de 0.8 à 2.9 m (pour une épaisseur moyenne de 1 m) en Hauts-de-France. Les veines sont séparées par des intercalaires stériles schisto-gréseux plus ou moins épais. En Wallonie, le nombre de veines reconnues passe de 120, à l'ouest de Mons, à zéro, un peu à l'ouest d'Andenne. Elles réapparaissent, quelques kilomètres plus loin à l'est, pour finir par atteindre 80 veines sous Liège. La majorité des veines s'étendent sur des superficies très importantes (jusqu'à plusieurs dizaines de km<sup>2</sup>). En Hauts-de-France, plusieurs dizaines de veines ont été exploitées, jusqu'à 240 veines de charbon dans la concession d'Anzin (Lambert 2011). Le

## LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE MODULE 3 – ACTIVITE 1

gisement est en plateaux à l'ouest et au centre du bassin, puis se redresse vers l'est jusqu'à 40-50°. La présence de grisou est une autre caractéristique commune de ces gisements. De plus, en raison d'une géologie complexe (plissements, charriages, failles), les travaux miniers, qui suivent les veines de charbon, ont des géométries très variables.

L'exploitation du charbon a commencé en Wallonie dès le X<sup>ème</sup> siècle et n'a démarré en Hauts-de-France qu'au XVIII<sup>ème</sup> siècle. En Wallonie, on dénombre actuellement 154 concessions de mine de houille (indépendamment de leur statut) contre 51 en Hauts-de-France. Les concessions sont donc moins nombreuses en Hauts-de-France qu'en Wallonie mais elles sont généralement plus grandes. Toutes n'ont pas fait l'objet d'une exploitation.

Dans le Boulonnais, comme les formations du Houiller affleurent, elles ont été exploitées par des mines à ciel ouvert ou des galeries peu profondes (entre 10 m et 270 m) et de faible extension (de l'ordre de 60 m autour du puits). A cette exception près, une méthode d'exploitation similaire s'est développée dans le reste des bassins houillers du Nord-Pas-de-Calais (NPC) et de Wallonie : la technique de la longue taille, adaptée à ce type de gisement. Les exploitations pouvaient dépasser 1000 m de profondeur. En Wallonie, on estime qu'il y a environ 15 000 accès comprenant des puits, des descenderies, etc., pour 852 en Hauts-de-France. En général, les puits ont été remblayés après l'exploitation mais l'état du remblayage n'est généralement pas bien connu et peut évoluer dans le temps. L'inventaire des puits de mines est donc une préoccupation, particulièrement en Wallonie, d'autant que les ouvrages anciens (avant 1802 et l'obligation de tenue de plans) sont peu documentés.

En Wallonie, dans les chantiers d'exploitation, les vides créés étaient remblayés dans la majorité des cas, par des pierres brutes ou préparées venant du creusement des galeries. A partir du XX<sup>ème</sup> siècle, le foudroyage de l'arrière-taille a été utilisé. Les exploitations anciennes laissaient des piliers de houille en place pour assurer la stabilité des ouvrages, alors peu profonds. Ces piliers ont souvent été repris par des exploitations plus récentes. Ainsi, les gisements (même autres que la houille) étaient souvent exploités totalement jusqu'en surface ou la base des morts-terrains. En Hauts-de-France, l'exploitation du charbon s'est principalement faite par des ouvrages souterrains également. Globalement, les exploitations étaient aussi totales (déhouillement complet des panneaux). En France, le règlement général des Mines (1911) obligeait à remblayer les travaux jusqu'en 1933. Les études d'aléas menées par Ineris et GEODERIS (Lambert 2008, 2010, 2011, Lambert & Salmon 2010, 2011) considèrent que les exploitations étaient remblayées, dans leur grande majorité, jusqu'en 1945. Ensuite, avec la mécanisation, le foudroyage de l'arrière-taille est devenu la règle. Par contre, les voies d'accès au gisement n'ont pas été remblayées, laissant des vides résiduels. Il est communément admis que les vides à faible profondeur (moins de 50 m) sont plus à même de provoquer des effondrements alors que les vides plus profonds occasionneront plutôt des tassements en surface en cas d'accident.

La production cumulée de houille est comparable en Wallonie et en Hauts-de-France, de l'ordre de 2 milliards de tonnes sur chaque versant. Le bassin du NPC représente 2/3 de la production de houille en France. Aujourd'hui, il fait l'objet de concessions d'hydrocarbures dans le cadre de l'exploitation de gaz de mine (Figure 4). Une démarche similaire commence à se développer en Wallonie (Anderlues).

### 3.1.2. Exploitations de fer

En Hauts-de-France, le fer a été exploité dans l'Avesnois (Nord) à proximité de la frontière belge (secteur de Maubeuge, Avesnes-sur-Helpe et Fourmies ; 62 communes concernées). La date de début d'exploitation n'est pas connue. Certaines étaient déjà actives en 1733. L'extraction a cessé vers 1880. Deux types d'exploitations ont coexisté, les mines jaunes et les mines rouges (Figure 5).

Les mines jaunes (régime des minières ; pas de concession) ont permis d'extraire le minerai de fer des dépôts alluvionnaires lenticulaires situés au contact calcaire-schiste du Wealdien. 250 à 300 amas, plus ou moins irréguliers, ont été exploités à ciel ouvert ou en souterrain (Martinet 2006). Lorsque la couverture ne dépassait pas 3 m, l'exploitation était menée à ciel ouvert (minière) avec une ouverture de 10 à 15 m pour une profondeur de 15 à 20 m. La production variait de quelques mètres cubes à 300-400 m<sup>3</sup>. Pour les gisements plus profonds, l'accès se faisait par des puits dits « non-permanents » avec un diamètre d'1 m environ, boisés sommairement, et disposés régulièrement (tous les 20 m) le long des galeries. Ces galeries d'1,50 m à 2 m de hauteur sur 1,50 m de largeur étaient boisées. La méthode des tranches montantes remblayées (Figure 6) était utilisée, avec une profondeur typique de 10 à 30 m, 50 m maximum. Le remblai employé était un mélange de stériles d'exploitation et de minerai. Ces cavités ont été généralement remblayées à l'issue de l'exploitation et présentent par conséquent peu de risque en surface.

Les concessions de mines rouges ont permis d'exploiter le fer des calcaires du Couvinien, disposés en couches régulières et avec un fort pendage. La méthode des tranches montantes remblayées était utilisée, accompagnée par le creusement de rangées de puits, de 2 à 2,5 m de diamètre et 30 à 60 m de profondeur. Les exploitations peuvent dépasser 50 m de profondeur même si certaines ne comportent pas de travaux souterrains. Les puits étaient plus rares (17 puits alignés dans les bois de Trélon et Ohain). L'exploitation débutait en profondeur pour remonter vers la surface en suivant le filon. Les galeries inférieures étaient alors remblayées. La principale couche ferreuse a une puissance de 1 à 2,5 m. Les autres couches, d'environ 30 cm d'épaisseur n'ont pas été exploitées.

Pour le bassin ferrifère de l'Avesnois, une étude détaillée a été menée par Geoderis en termes d'aléas miniers (Vuidart et al., 2009). Cette étude est disponible en libre téléchargement ([lien](#)).

LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE  
 MODULE 3 – ACTIVITE 1

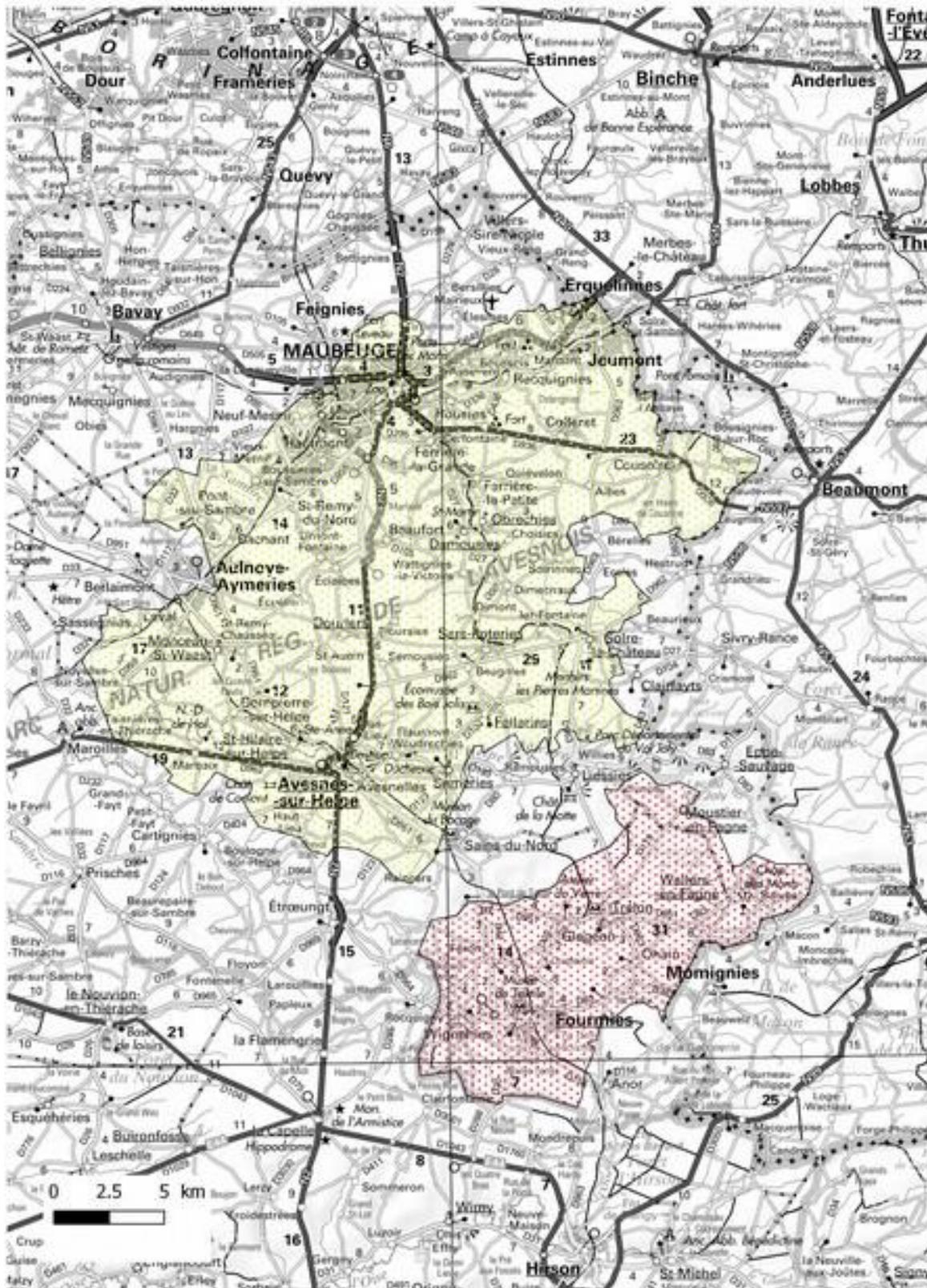


Figure 5 : Localisation des secteurs d'extraction du fer à la fin du XIXe siècle. Les communes du polygone jaune abritaient des mines jaunes tandis que les communes du polygone rouge abritaient à la fois des mines rouges et des mines jaunes.

## LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE MODULE 3 – ACTIVITE 1

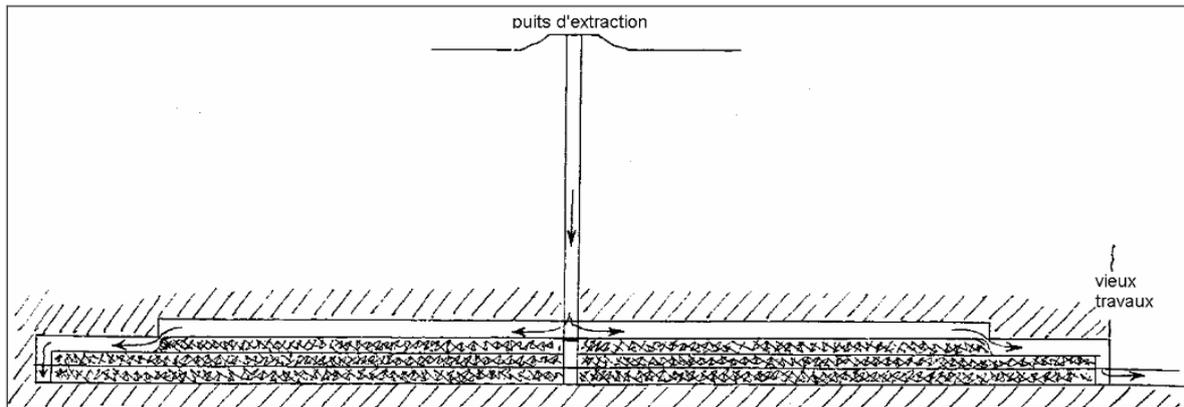


Figure 6 : Coupe verticale type d'une exploitation de fer en Hauts-de-France par tranches montantes remblayées, extrait du rapport de Geoderis sur l'étude des aléas miniers dans le bassin ferrifère de l'Avesnois (Vuidart et al. 2009).

En Wallonie, l'exploitation du fer a joué un rôle essentiel dans le développement industriel. La région a été un des premiers producteurs au monde, avec un pic de production au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle. Près de 3 000 sites ont ainsi été exploités, conduisant à une production globale de 20 000 000 tonnes de minerai (Denayer et al. 2010). Une particularité des exploitations est liée à leur régime juridique et à son évolution. Peu de concessions ont été déclarées (Figure 7), la plupart des exploitations étant ouvertes sous le régime des minières. Ces exploitations n'étant pas soumises à un acte de concession, elles pouvaient donc être exploitées par le propriétaire de surface ou avec son accord. Il s'agit d'exploitations en surface ou à faible profondeur (minerais alluvionnaires, chapeaux de fer) ne nécessitant a priori pas d'ouvrage relevant de l'art des mines.

Des mines de fer ont été ouvertes en Wallonie, essentiellement durant la deuxième moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle et concentrées sur les secteurs de la Gaume, les cantons de l'Est, la région de Couvin et de Huy. Ces gisements de fer exploités au sein de concessions se présentaient soit sous forme de couches minces (maximum 2 m d'épaisseur ; oligiste oolithique du Famennien, du Couvinien), soit en couches épaisses. Les gisements en couches minces ont été exploités par des systèmes de puits verticaux et de tailles semblables aux modes d'exploitation du charbon. La profondeur était comprise entre 20 et 200 m. Les gisements en couches épaisses, eux, ont plutôt été exploités par la technique des chambres et piliers ou par sous-cavage et foudroyage/soutirage de blocs de minerais.

En réalité, le nombre de mines de fer concédées est anecdotique par rapport au nombre d'exploitations de fer dans les minières et les exploitations libres de minerais de fer. Si les minières concernent en principe des exploitations à ciel ouvert (en surface), les exploitations de minerais filoniens du Bassin de Namur ont surtout été réalisées par paires de puits, jusqu'à 70 m de profondeur pour moins d'un mètre de diamètre, d'où rayonnaient, sur la hauteur du gisement, de très courtes galeries (quelques mètres à une vingtaine de mètres) servant de chantiers d'exploitation.

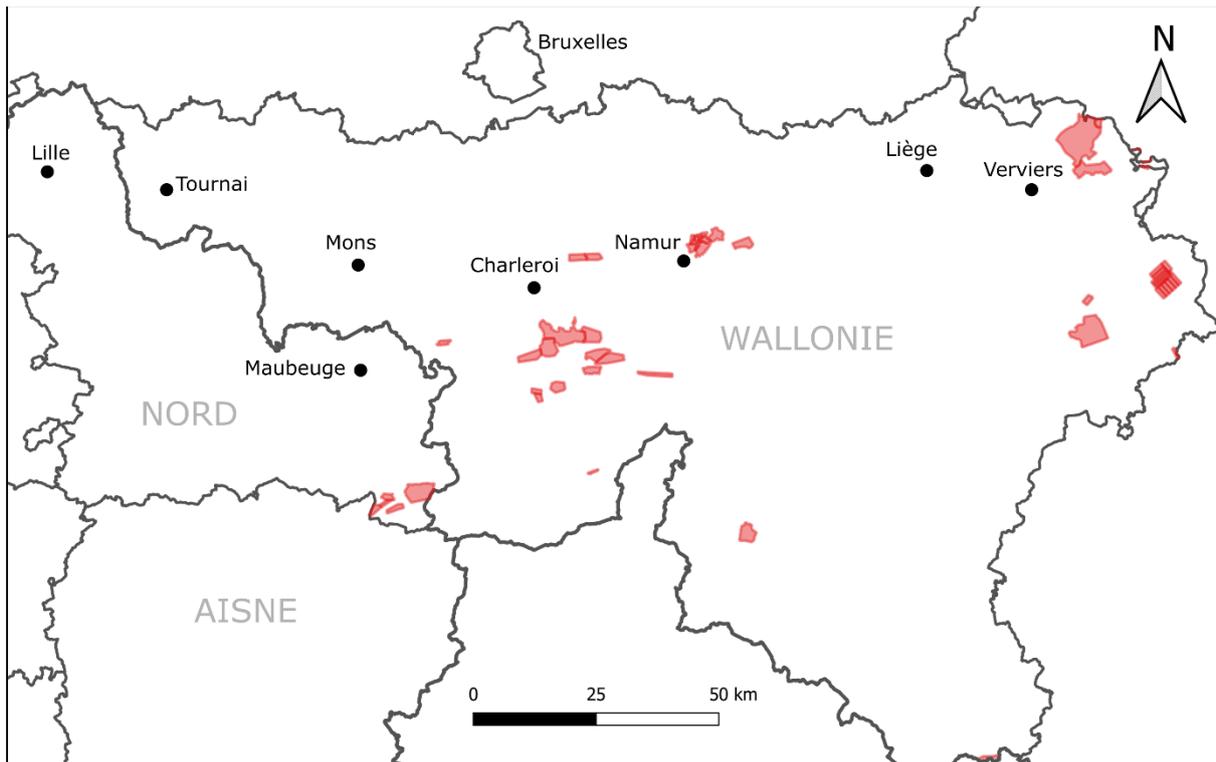


Figure 7 : Concessions de mine de fer en Wallonie et Hauts-de-France (sources : SPW, Camino).

Ces chantiers étaient plus ou moins remblayés au moyen des déchets de l'exploitation. On peut ainsi trouver plusieurs centaines de puits sur l'alignement d'un filon ou l'épanchement d'un amas qui y est lié. Il en résulte, aujourd'hui, des zones plus ou moins importantes, présentant de mauvaises caractéristiques géotechniques (risques de tassements, voire d'affaissements). Nous ne développons pas davantage l'exploitation des minières de fer en Wallonie mais le lecteur peut se référer à la littérature pour plus de détails à propos des différentes régions ayant fait l'objet d'une exploitation ([site](#) du Service Géologique de Wallonie, Denayer et al. 2010).

### 3.1.3. Autres exploitations minières

Les gisements métalliques wallons se concentrent dans l'est et le sud-est du territoire. Ils se présentent généralement sous forme de filons subverticaux d'une longueur de quelques dizaines de mètres à plus de deux kilomètres et d'une épaisseur variant de quelques centimètres à plusieurs mètres, ou en amas plurimétriques ou pluridécimétriques. On exploitait par tranches horizontales superposées, chaque tranche exploitée étant remblayée plus ou moins totalement avant la reprise de la suivante, au-dessus ou en dessous, selon la méthode utilisée.

## 3.2. Les cavités non minières

Parmi les cavités non minières, il y a lieu de distinguer les cavités naturelles (issues de la dissolution des carbonates) et les cavités creusées par l'homme en vue de l'exploitation du sous-sol (carrières souterraines). De plus, la France inventorie aussi les vides souterrains anthropiques qui ne sont pas liés à l'exploitation des matériaux du sous-sol.

### 3.2.1. Les cavités naturelles

En Hauts-de-France, il y a très peu de réelles cavités karstiques connues. Elles peuvent se développer dans les formations calcaires du Dévonien et du Carbonifère affleurant essentiellement dans la région de Maubeuge. La plupart des cavités sont de petite taille (non pénétrables) et donc non ou peu documentées. Quelques effondrements liés à ces vides karstiques ont été rapportés dans la région, entre Avesnes-sur-Helpe et Maubeuge. La zone étant très rurale, et les effondrements d'intensité faible, il est probable que très peu soient déclarés. Dans les autres formations carbonatées du Nord de la France (calcaire du Secondaire et du Tertiaire), le karst se manifeste essentiellement par des élargissements de fractures par dissolution.

En dehors de ce secteur, la BD cavités recense des cavités naturelles mais les sources sont peu fiables. Il peut s'agir d'affaissements ou d'effondrements inexplicables et par défaut attribués à des poches de dissolution comme c'est le cas à Petite-Forêt ou Le Cateau-Cambrésis. A proximité de Cambrai, deux cavités de type naturelle se trouvent proches d'ouvrages de la Première Guerre mondiale. A Villers-Carbonnel, l'une d'elle est située sur le tracé d'une ancienne tranchée.

Dans l'Aisne, de nombreuses cavités dites « naturelles » ont pour source les cartes au 25/0000 de l'IGN mais pour certaines, ces cartes indiquent qu'il s'agit de carrières souterraines ou sont situées dans des lieux-dits « Carrières » ou « au-dessus de carrières » comme c'est le cas à Bagneux.

En Wallonie, par contre, les cavités karstiques sont un phénomène très important (Figure 8). En effet, plus de 30 % du territoire est établi sur une assise de roches carbonatées et plus de la moitié des communes wallonnes sont concernées par des phénomènes karstiques sur leur territoire. La forte densité de ces phénomènes est donc une contrainte naturelle indéniable à l'égard de l'aménagement du territoire. De ce constat, et étant donné la vulnérabilité du milieu karstique et des ressources qu'il contient, des inventaires très précis des phénomènes karstiques sont tenus à jour en Région Wallonne, grâce notamment à la Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains (CWEPS). Plus de 6000 phénomènes karstiques ont été répertoriés parmi lesquels environ un millier de cavités (grottes pénétrables) et conduits ouverts. Le volume de vides associé à ces phénomènes karstiques est donc très important en Wallonie.

# LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE

## MODULE 3 – ACTIVITE 1

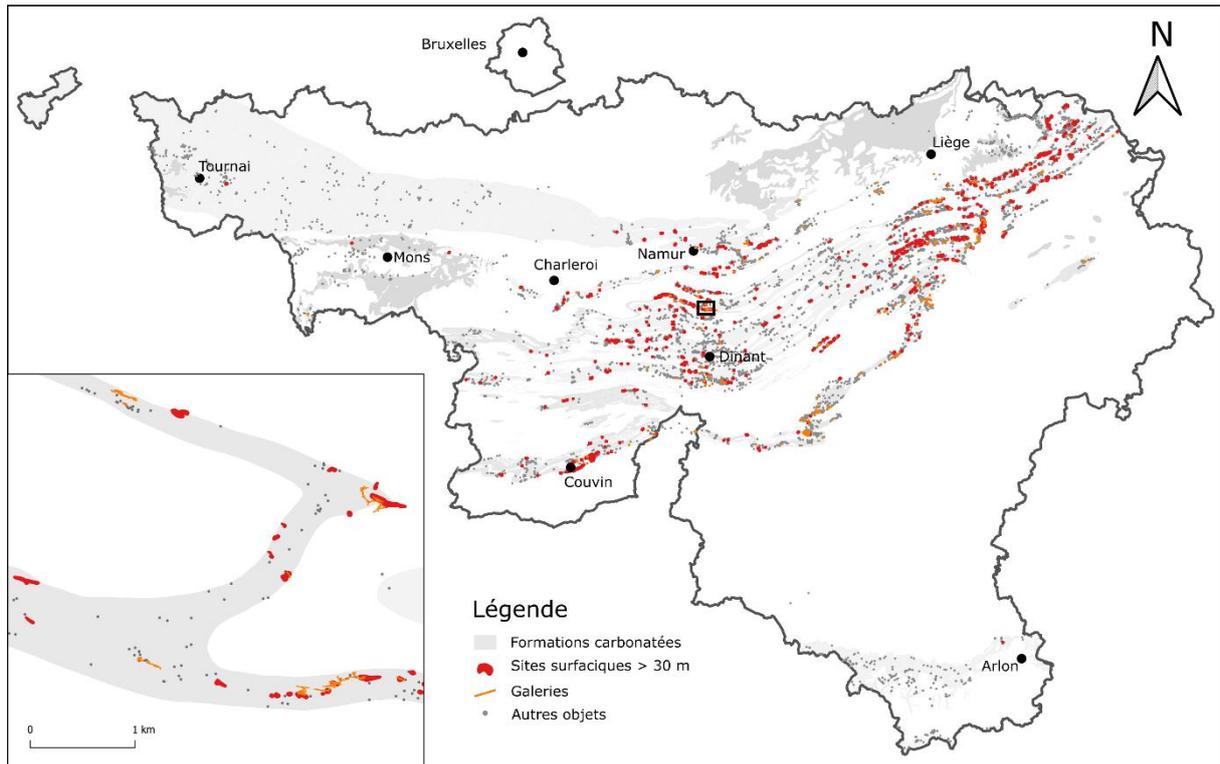


Figure 8 : Vue générale des phénomènes karstiques en Wallonie avec les formations carbonatées en fond de plan. L'accent est mis sur les galeries et sur les sites karstiques dont le diamètre dépasse 30 m en surface. L'encadré présente un détail d'une zone située entre Namur et Dinant, marquée par un rectangle noir (source : Atlas du Karst Wallon).

### 3.2.2. Les carrières souterraines

En Hauts-de-France comme en Wallonie, des carrières souterraines, de taille variable, ont été creusées pour extraire différentes ressources du sous-sol. Comme l'indique le

## LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE

### MODULE 3 – ACTIVITE 1

Tableau 2, certaines similitudes existent (argiles, calcaires, craies, sables et silex) en lien avec le contexte géologique commun des deux régions (Figure 9). Mais on trouve en Wallonie des ardoisières, des carrières de phosphate ou de tuffeau qui sont spécifiques au territoire. Le type d'exploitation est variable en fonction du matériau.

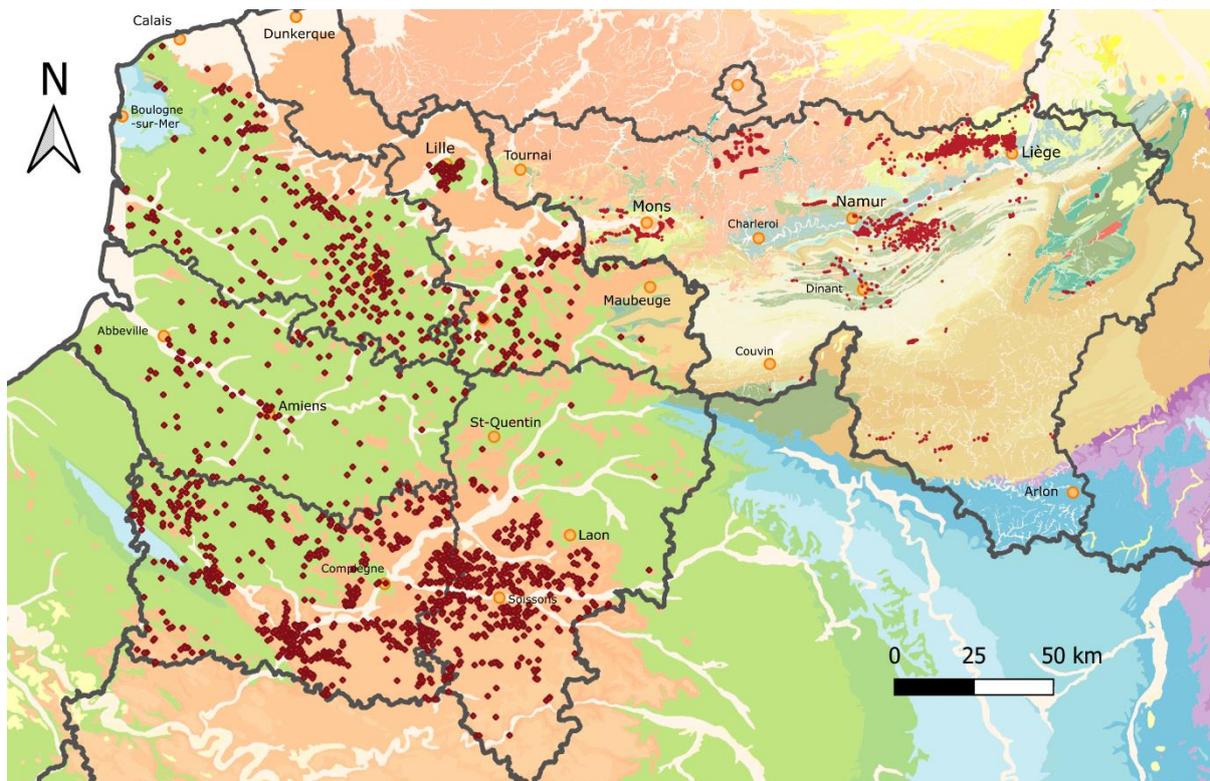
En Wallonie comme en Hauts-de-France, les réglementations de l'exploitation de carrières ont évolué au cours du temps (De Fru et al., 2021). Apparues au cours du XIX<sup>ème</sup> siècle, ces lois ont abouti notamment à une surveillance administrative et à la tenue de plans d'exploitation (1852 en Wallonie, 1880 en France). Néanmoins, pour des exploitations plus anciennes, peu d'archives permettent donc de connaître la présence de ces carrières. Leur existence est donc souvent révélée par des indices (accidents, histoire locale, accès possible, etc.).

# LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE

## MODULE 3 – ACTIVITE 1

*Tableau 2 : Matériaux exploités par des carrières souterraines en Hauts-de-France et en Wallonie.*

	Hauts-de-France	Wallonie
Ardoise		✓
Argile	✓	✓
Calcaire	✓	✓
Craie (phosphatée)	✓	✓
Phosphate		✓
Sable (et grès)	✓	✓
Silex	✓	✓
Tuffeau maastrichtien		✓



*Figure 9 : Cartographie des carrières souterraines en Hauts-de-France et Wallonie sur fond de plan chronostratigraphique (sources : SPW, Géorisques et EGD).*

### **Carrières souterraines de craie (y compris craie phosphatée et marne)**

Sur les deux territoires, la craie est très présente. En Hauts-de-France, on trouve essentiellement la craie blanche du Sénonien, la craie grise du Turonien, plus rarement la craie du Cénomani. En Wallonie, la craie blanche (formations de Saint-Vaast, de Trivières et d’Obourg-Nouvelles) est datée du Coniacien au Campanien supérieur.

La craie a été très largement exploitée dans les deux régions pour la production de chaux, pour l’amendement des cultures ou pour l’industrie. La présence de cavités souterraines liées à son exploitation est très courante à proximité des grandes villes (typiquement le cas de Lille

## LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE MODULE 3 – ACTIVITE 1

mais aussi Cambrai, Valenciennes, Arras, Amiens, Saint-Quentin<sup>2</sup>) et également dans les zones plus rurales. En Wallonie, les carrières souterraines de craie blanche se situent essentiellement dans le bassin de Mons (Mons, Obourg, Borinage, Saint-Ghislain), ainsi que dans la région du centre (Binche, La Louvière) et au nord de Liège.

Différents modes d'exploitation ont été utilisés :

- Exploitations en chambres et piliers :

Des réseaux de galeries (chambres) sont creusés depuis une entrée (descenderie ou puits) avec des piliers laissés en place pour soutenir les terrains sus-jacents. Les dimensions des chambres et des piliers sont typiquement de quelques mètres en largeur et hauteur (2 à 5 m) pour une profondeur de l'ordre de 30 m maximum en Wallonie, jusqu'à 40 m en Hauts-de-France. Ces cavités ont généralement été laissées telles quelles, sans remblayage. Du fait de leur implantation à faible profondeur, elles présentent un risque important d'occasionner des mouvements en surface. Dans la région de Mons (Wallonie), de nombreuses carrières souterraines de craie phosphatée ont ainsi été exploitées en chambres et piliers (Figure 10 ; voir point sur les phosphates). Il est important de remarquer ici que certaines carrières de craie (celles du bassin de Mons) sont directement sus-jacentes ou adjacentes à des zones d'exploitation souterraine de la houille. L'influence de l'activité minière passée sur la stabilité des carrières souterraines peut être un facteur important à prendre en compte.

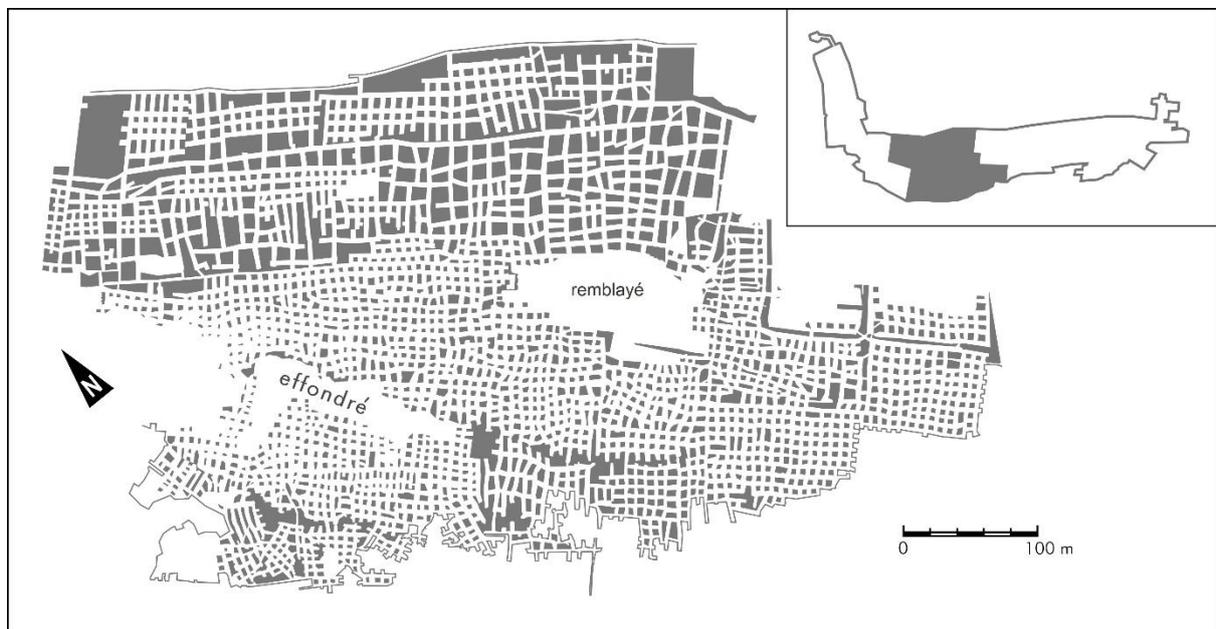


Figure 10 : Exemple d'une exploitation de craie phosphatée par chambres et piliers aux carrières de la Malogne (Mons, Belgique ; d'après les données du SPW). Le secteur détaillé représente une surface de 25 ha.

2 Pour Saint-Quentin, les carrières de craie sont supposées mais non avérées. En centre-ville, les souterrains se trouvent dans les limons.

LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE  
MODULE 3 – ACTIVITE 1

- Exploitations par galeries filantes : à partir d'une galerie principale, creusement de galeries annexes perpendiculaires ;
- Exploitations en « catiches » ou puits-bouteille (Figure 11):

Ce type d'exploitation, utilisée uniquement dans les zones où le terrain de recouvrement est peu épais, consiste à creuser de petites salles d'exploitation, chacune dotée de son propre puits d'accès. Les salles ont alors une forme de bouteille où le puits s'apparente au goulot. A l'issue de l'exploitation, les puits ont été refermés par un encorbellement de blocs de craie non cimentés. Ces exploitations sont pour la plupart localisées en région lilloise mais également à Arras et Cambrai.

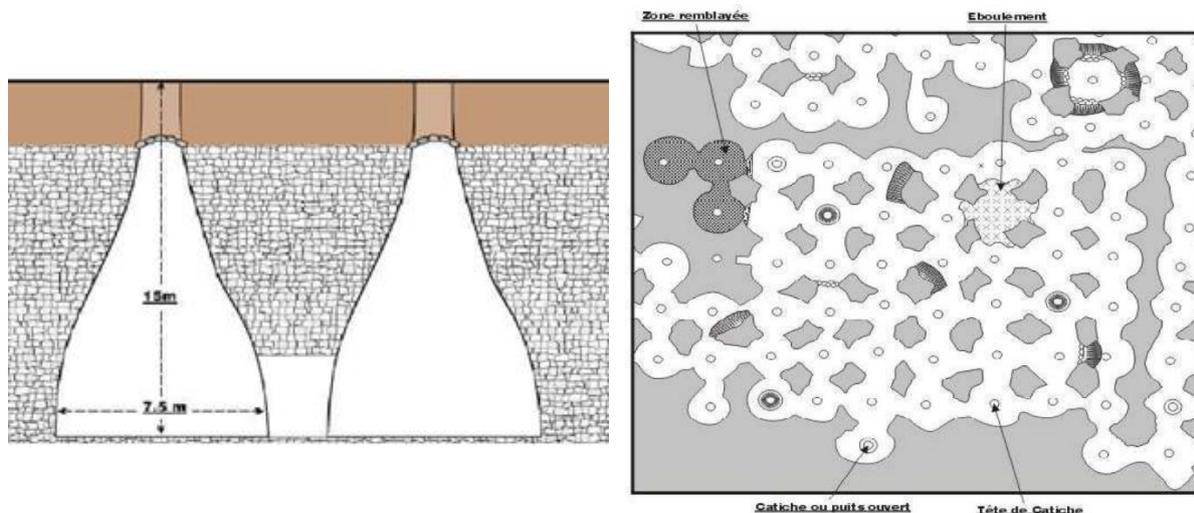


Figure 11 : Exemple d'une exploitation en catiche en région lilloise. A gauche, coupe verticale conceptuelle. A droite, vue en plan d'un réseau de catiches (Berrehouc G. et Lefebvre C. 2013).

- « Boves » : petites exploitations en centre-ville historique qui sont ou étaient accessibles par les caves dont elles peuvent aujourd'hui servir d'extension. Les boves sont très nombreuses à Arras, mais il en existe également à Cambrai et au Cateau-Cambrésis par exemple. Une fois creusés, ces souterrains étaient utilisés comme cave pour stocker des biens ou même comme atelier. Le terme « bove » est une appellation locale ; dans d'autres secteurs, des souterrains du même type sont connus et parfois dans d'autres matériaux que la craie (Senlis, Amiens, Douai, Saint-Quentin, etc.);

LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE  
MODULE 3 – ACTIVITE 1

- Marnières :

Les marnes sont des roches issues de la diagenèse de sédiments calcaires et argileux en proportions relativement équivalentes (35 à 65% d'argile ; Parriaux 2009). En conséquence, leurs propriétés sont intermédiaires entre celles des calcaires et des argilites : plus résistantes que les argilites mais avec une certaine plasticité, moins solubles que les calcaires et réputées peu perméables. En-dessous de 35% d'argile, on parle de calcaire argileux (ou de craie argileuse); au-dessus de 65% d'argile, on parle d'argilite calcaire. Les marnières désignent à la fois la méthode d'exploitation (on peut trouver des marnières dans des craies) et leur utilisation (amendement de champs). Les exploitations consistent en quelques galeries et chambres (2 m de largeur pour 2 à 4 m de hauteur) qui rayonnent à partir d'un puits central. Ces cavités se retrouvent dans les zones rurales du Vimeu et du Vexin à proximité de la Normandie (sud-ouest de la Somme et de l'Oise en Hauts-de-France) ainsi qu'en Hesbaye liégeoise et dans l'est du Brabant Wallon. Les marnières de Hesbaye pouvaient par ailleurs être associées à l'exploitation d'une couche de phosphate éventuellement présente au sommet des marnes (Figure 12) à des profondeurs variables (7 à 30 m). Des petits « puits à phosphate » étroits (de l'ordre d'1 m de diamètre) reliés par des petites galeries (1 à 2 m de hauteur pour 1 m de large) étaient alors creusés pour l'extraction de cette couche de quelques décimètres d'épaisseur. Alors que les galeries étaient généralement remblayées, les puits à phosphate sont générateurs d'effondrements assez fréquents suite à leur déboufrage.

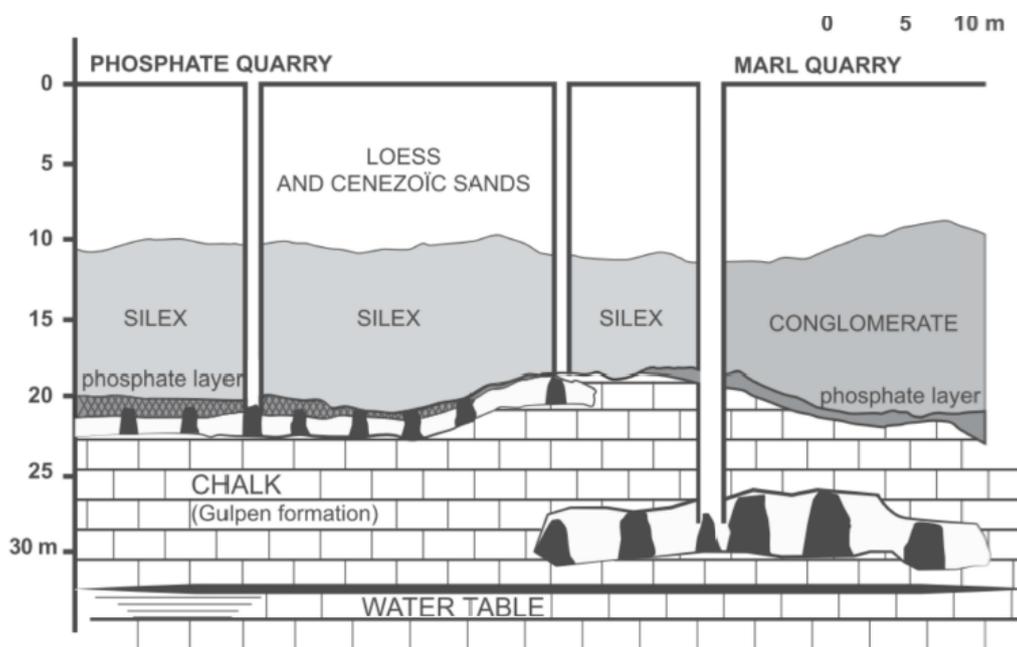


Figure 12 : Configuration typique d'une marnière en Hesbaye associée à une exploitation de phosphate (Kheffi et Pacyna 2018).

### **Cas particulier des exploitations de phosphate**

Comme évoqué précédemment, les phosphates sont des matériaux concessibles en France. Néanmoins, en Hauts-de-France, leur exploitation souterraine est toujours associée à l'exploitation de carrières de craie (principalement du Turonien) ou d'argile dans lesquelles les phosphates (argile du Gault) sont présents. Dès lors, et étant donné l'extension des carrières en question par rapport au volume de phosphate exploité, ces exploitations ont été assimilées à des carrières.

En Hauts-de-France, une seule exploitation souterraine de phosphate a été ouverte dans une carrière de craie : la carrière de craie de Lezennes (département du Nord). Il s'agit d'une exploitation mixte de chambres et piliers et de catiches, à 12-15 m de profondeur. Elle couvre environ 70% du territoire de la commune. Principalement utilisée comme pierre de construction, la craie de Lezennes a été employée ponctuellement pour la production de chaux à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle. L'exploitation de phosphate concerne les bancs de tun situés au mur de la carrière. D'autres exploitations souterraines ouvertes dans des argiles ont été rapportées dans le Boulonnais (12 carrières dans l'argile du Gault).

En Wallonie, les exploitations de phosphate entrent dans le régime des carrières souterraines. On les trouve principalement en Hesbaye liégeoise sous la forme d'une couche irrégulière de phosphate de chaux de quelques décimètres d'épaisseur, à des profondeurs variant de 7 à 30 m (Figure 12). 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 1 m à 1,5 m de diamètre étaient creusés en ligne, à 20 ou 30 m les uns des autres. Ces puits étaient rarement boisés. Au pied de ces puits courait une "maîtresse galerie", de moins de 2 m<sup>2</sup> de section, de laquelle partaient, perpendiculairement, tous les trois mètres environ, des galeries secondaires d'une dizaine de mètres de long. De part et d'autre de ces galeries, des tailles étaient ouvertes dans l'épaisseur de la couche de phosphate. Le toit, constitué du banc de silex, était soutenu par des massifs laissés en place et un boisage. Les vides en arrière du front de taille étaient remblayés au moyen des déchets d'exploitation et de la craie du pied des galeries. A l'issue de l'exploitation, les puits étaient remblayés, parfois après avoir barré l'accès à la galerie avec des murs de silex. Durant l'ensemble de la période d'activité, plus de 2 000 carrières auront été exploitées, laissant entre 10 et 20 000 puits. 37 entités sont concernées.

Des exploitations de craie phosphatée se sont développées à Baudour et au sud et à l'est de Mons, entre quelques mètres et plus de 40 m de profondeur (localement 60 m), sur des superficies parfois importantes, localement sur deux niveaux (Saint-Symphorien, Baudour). Ces carrières ont été exploitées par chambres et piliers abandonnés. Tant les chambres que les piliers laissés en place mesurent 4 à 5 m de côté pour 2 à 12 m de hauteur. La plupart des carrières sont aujourd'hui noyées mais certaines sont encore accessibles au sud de Mons

(notamment les carrières de La Malogne, à Cuesmes

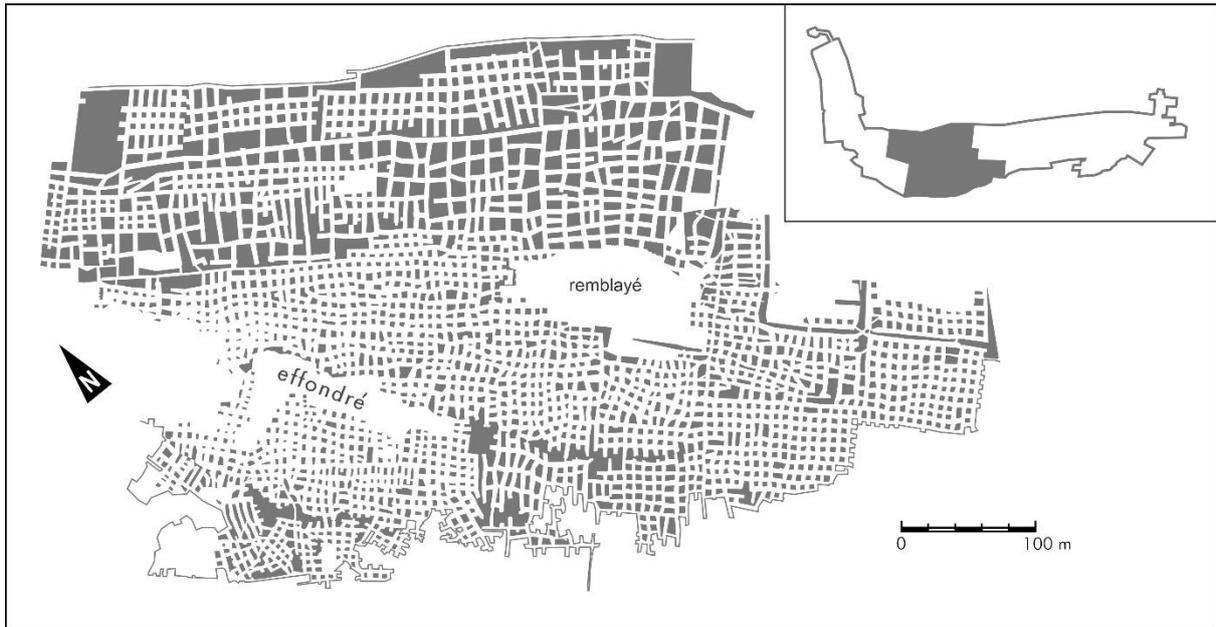


Figure 10). L'exploitation se faisait sur un seul ou deux niveaux et nécessitait souvent le rabattement de la nappe (d'où l'effondrement des carrières à l'arrêt de l'exploitation). Les chambres, de 4 à 5 m de large, atteignent des hauteurs plus importantes que pour les exploitations de craie blanche, jusqu'à près de 10 m de haut.

### Carrières souterraines de calcaire

En Hauts-de-France, les calcaires primaires ont été exploités essentiellement dans l'Avesnois et le Boulonnais dans des carrières à ciel ouvert, à quelques exceptions près (ancienne carrière souterraine de Rinxent). En Wallonie, les calcaires viséens, tournaisiens et frasniens ont été exploités en souterrain, généralement par chambres et piliers « abandonnés » avec des dimensions impressionnantes, certaines chambres pouvant atteindre 50 m de long, 20 m de large et 10 m de haut. Le toit de ces exploitations est souvent peu profond (moins de 30 m) et les exploitations pouvaient parfois s'approfondir jusqu'à une centaine de mètres. Des puits de section pluri-métrique pouvaient parfois desservir ces carrières et leur sécurisation éventuelle n'est que peu documentée. De manière générale, ce type de cavité constitue une potentielle menace en termes d'instabilité et de mouvements de terrain en surface. Aujourd'hui, en Wallonie, il reste une carrière de ce type en exploitation : la carrière de Golzinne qui exploite le Noir de Mazy (calcaire frasnien).

En Hauts-de-France, ce sont surtout les calcaires tertiaires qui ont été exploités, au sud de la Picardie, par des carrières souterraines parfois sur plusieurs niveaux :

- par chambres et piliers ;
- par la méthode de hagues et bourrages (exemple de Senlis): le principe était d'utiliser du bourrage (les déchets de taille et les moins bons bancs) pour remblayer au fur et à mesure les galeries souterraines creusées à partir de puits d'exploitation. Les remblais étaient retenus par des murets (appelés hagues) ;

- par des petites cavités accessibles par des caves sous les agglomérations (comme les boves).

Certaines carrières sont accessibles en bouche de cavage c'est-à-dire que leur entrée est creusée directement à flanc de coteau ou de falaise.

La succession des formations de l'Éocène rend possible l'exploitation du calcaire sur plusieurs niveaux. Parfois, un niveau sableux peut également être exploité sous la carrière de calcaire. C'est le cas à Laon où deux niveaux de calcaire sont exploités ainsi que le niveau de sable.

### **Carrières souterraines de sable et de grès**

Pour que le sable puisse être exploité en carrière souterraine, il faut qu'il soit sous un niveau rocheux formant le toit de la cavité. En Hauts-de-France, le plus grand nombre des exploitations souterraines de sable se situent au sud de la Picardie dans les sables du Cuisien, sous les calcaires lutétiens.

En Wallonie, les exploitations souterraines de ces matériaux ont été ouvertes dans le Brabant Wallon (Figure 13). Les sables calcaires du Lutétien étaient utilisés surtout pour l'amendement et contenaient des pierres de grès extraites pour la production de pierres à pavés ou moellons essentiellement. L'exploitation était menée par courtes galeries divagantes ou tournantes (1,5 à 2 m de hauteur pour 1 à 1,5 m de largeur) autour d'un puits (diamètre de 1 à 1,5 m). Les effondrements liés à ces cavités sont assez fréquents.

En Wallonie, on trouve aussi des exploitations souterraines de grès houillers et famenniens. Leur typologie est semblable à celle des carrières de calcaires primaires évoquée précédemment.

LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE  
MODULE 3 – ACTIVITE 1

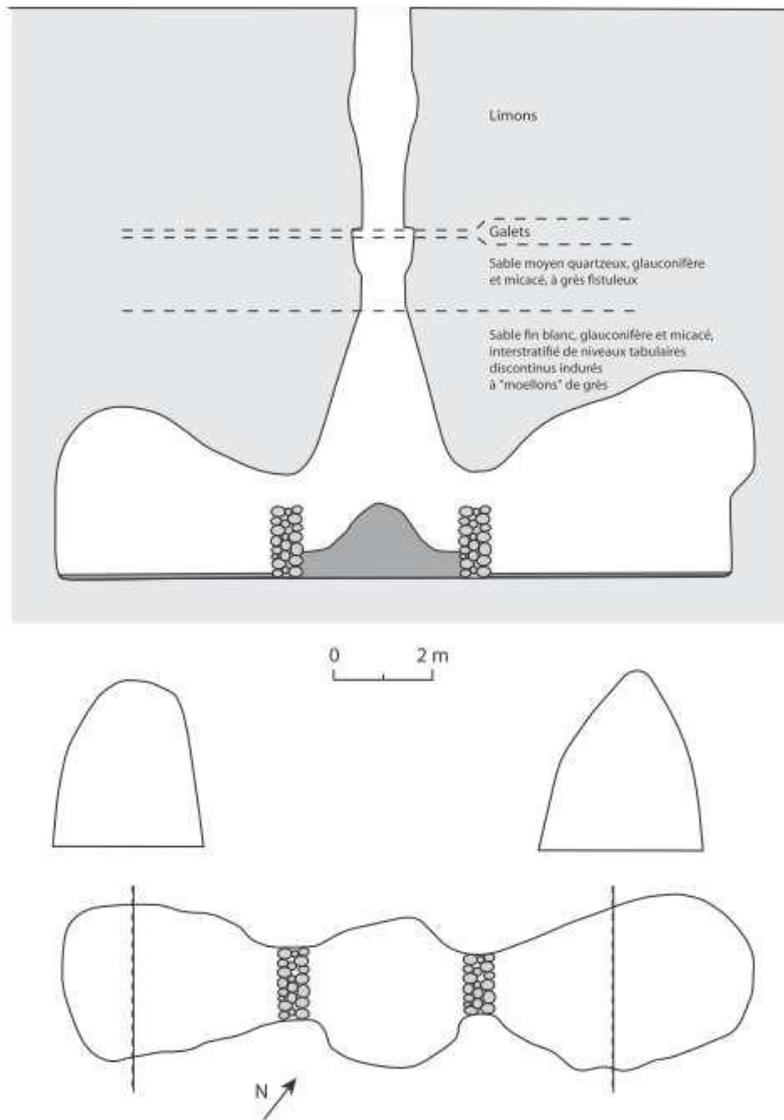


Figure 13 : Coupe et plan d'une carrière souterraine de sables calcaires lutétiens à Waterloo (Funcken et Vrielynck, SPW).

### **Carrières souterraines d'ardoises**

Les ardoisières comptent parmi les plus vastes carrières souterraines de Wallonie. Elles ont été ouvertes pour exploiter les épaisses veines de phyllades ardoisières du sud de la Belgique (province du Luxembourg). Les carrières étaient atteintes par des larges puits d'où partaient de larges galeries inclinées qui débouchaient sur les chambres d'exploitation. Les couches étant parfois fortement inclinées, les chambres pouvaient atteindre des hauteurs de plusieurs dizaines de mètres. Les blocs extraits étaient débités à même la carrière et les déchets laissés sur place, pouvant servir au remblayage des chambres.

Les volumes de vide importants laissés par ces exploitations peuvent être à l'origine d'instabilités à large échelle. Aujourd'hui, un grand nombre de ces exploitations sont noyées (situées sous le niveau de la nappe).

En particulier, dans le Massif de Stavelot, la pierre à coticule a été exploitée en souterrain dans la région de Vielsalm où elle est associée à des phyllades (ardoises). Il s'agit d'une roche métamorphique, finement grenue et très riche en manganèse. Elle se présente sous forme de couches centimétriques à pluricentimétriques interstratifiées dans les séries sédimentaires (phyllades) de l'Ordovicien du massif de Stavelot (Devleeschouwer et al. 2006). Elle se compose de grenat spessartine (en taille microscopique) de micas et de quartz. Le coticule est très abrasif et traditionnellement utilisé pour affûter les lames de couteaux, rasoirs, etc. Les exploitations sont essentiellement réparties à proximité des villages de Ottré, Bihain, Joubiéval, La Comté, Lierneux sur les flancs des collines Thier de Regné, Thier du Mont et Thier del Preu. Le coticule y est présent en lits jaunes et blancs de 1 à 15 cm d'épaisseur au sein de phyllades rouges.

### **Carrières souterraines de silex**

De nombreuses exploitations peu profondes de silex datant du Néolithique ont été découvertes dans les couches de craies des Hauts-de-France et en Wallonie. Des puits (maximum 25 m de profondeur) ont été creusés à partir desquels des galeries ont exploité les niveaux de silex (Figure 14). Si la plupart ont été remblayées par la craie non utilisée ou déjà effondrée du fait de leur vétusté, il persiste encore certains vides résiduels à faible profondeur liés à ces exploitations anciennes.

Ce type d'exploitation existe par exemple à Flavacourt, Nointel, Velennes, Hardivillers, Lamécourt, Hallencourt, Ressons-sur-Matz dans l'Oise, Ayencourt-le-Monchel, Froncourt, Lahaye Saint-Romain dans la Somme. En Wallonie, ces sites préhistoriques ont été découverts essentiellement au sud de Mons (site Unesco de Spiennes notamment), dans l'est du Brabant Wallon et en Hesbaye.

Dans certaines marnières, les niveaux de silex ont également été exploités pour empierrer les chemins, à Hermies (Pas-de-Calais) par exemple. Dans ce cas, les marnières ont simplement été prolongées à hauteur des niveaux de silex.

En Wallonie, le silex a également été exploité bien plus tard pour la fabrication de pierre à fusil, de pavés ou encore de pierres de revêtement pour broyeurs. Dans la région de Mons et la vallée de la Meuse, les bancs de silex ont été exploités le long de galeries aux dimensions réduites. En Hesbaye, les carrières, peu profondes, peuvent s'étendre sur de vastes superficies au moyen de chambres d'exploitation pluri-métriques reliées par des galeries. Ces exploitations n'ont généralement pas été remblayées.

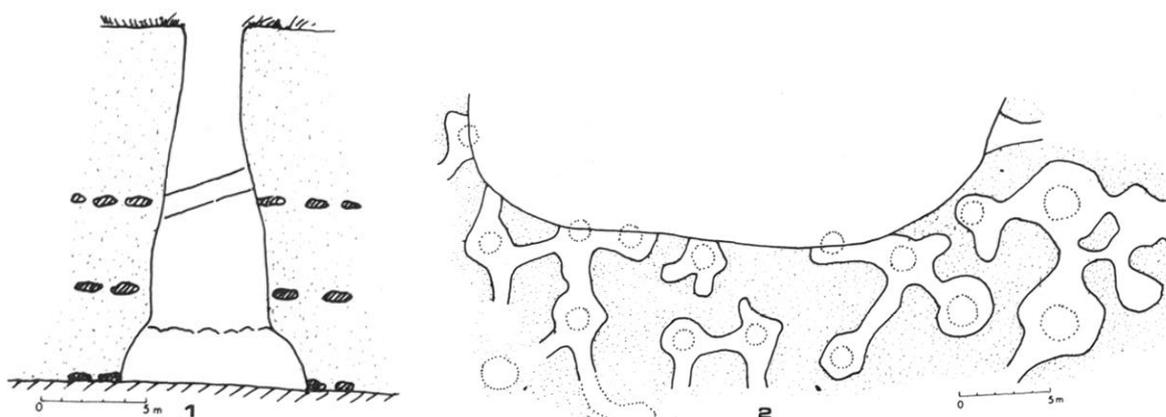


Figure 14 : Coupe schématique d'un puits à silex (à gauche) et plan de l'ensemble des puits à silex de Flavacourt (Bailloud 1982).

### Carrières souterraines d'argile

Quelques carrières d'argile sont recensées dans le secteur d'Avesnes-sur-Helpe où des fabriques de poteries ont longtemps existé. Dans le Boulonnais, des documents attestent l'existence de 12 carrières souterraines d'argile du Gault exploitées pour le phosphate qu'elles contiennent. Pour le reste du territoire des Hauts-de-France, les exploitations souterraines d'argile sont très rares. Il s'agit plutôt d'un mode d'extraction « opportuniste ». Lors d'exploitation d'autres matériaux, l'argile sous-jacente ou sus-jacente a été prélevée. C'est le cas du niveau d'argile de Laon ponctuellement exploité au toit du niveau de sable.

Les argiles (ou « terres plastiques ») ont été exploitées essentiellement dans le Condroz (argiles tertiaires emprisonnés dans des paléo-karsts) et dans le Hainaut (argiles du Wealdien) pour la fabrication de céramique et de produits réfractaires.

Dans le Condroz, les poches d'argile pouvaient être très vastes (jusqu'à 2 à 3 ha) et descendre jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de profondeur. L'exploitation se faisait par l'installation de puits en périphérie de la poche s'ouvrant sur des galeries d'exploitation sur plusieurs niveaux. Une fois abandonnées, les galeries se sont auto-affaissées étant donné la plasticité du matériau. Dès lors, les anciennes exploitations laissent des formes de cuvettes très marquées dans le paysage, souvent remblayées par des matériaux divers. Ces cuvettes présentent toujours aujourd'hui des risques de tassement résiduel.

Dans le Hainaut, les argiles du Wealdien (Crétacé) ont été exploitées, la plupart du temps, par des carrières à ciel ouvert mais également par des puits (droits ou en bouteille) de plusieurs mètres de section. Des petites galeries courtes pouvaient éventuellement partir de ces puits. Les puits ont souvent été remblayés, du moins partiellement, avec les matériaux disponibles.

### Carrières souterraines de gypse

Le gypse est présent dans certains niveaux du Bartonien où 2 niveaux d'environ 5 m de gypse sont séparés par un banc métrique de marne. Il est utilisé pour la fabrication de plâtre. Le gypse proche de la surface se dégradant rapidement sous l'effet des précipitations, il a été exploité systématiquement en carrières souterraines dans une quinzaine de communes dans la région de Château-Thierry (Marigny-en-Orxois, Essômes-su-Marne et Crouettes-sur-Marne...). La première mention de plâtriers dans la région date de 1612. Les dernières exploitations ont été abandonnées au cours du XXe siècle. Si le nombre d'exploitations est peu important, elles génèrent de nombreux désordres en surface. En effet le gypse est beaucoup moins résistant que les calcaires et la stabilité des galeries est souvent aléatoire d'autant que les volumes des galeries pouvaient être importants (hauteur 3,5 à 5 m – largeur 5 à 6 m (De Massary, 1995).

### **3.2.3. Autres objets souterrains d'origine anthropique**

D'autres types de vides souterrains sont pris en compte dans l'inventaire français. Ces vides ont été creusés par l'homme en raison de conflits (guerres) ou pour répondre à certains besoins spécifiques (habitat, stockage, acheminement d'eau, etc.). Ces objets souterrains peuvent être regroupés en trois catégories principales : (i) les ouvrages militaires, (ii) les ouvrages civils et (iii) les habitats troglodytes et les caves.

#### Les ouvrages militaires et refuges

Les Hauts-de-France ont été le théâtre de nombreux conflits. De l'occupation romaine à la seconde guerre mondiale, chacun d'entre eux a laissé des traces dans le paysage de la région. Pourtant, certains témoignages du passé ne sont pas visibles. Les souterrains se rappellent aux hommes lors de mouvements en surface ou lors de découvertes dans le cadre d'études spécifiques ou de chantiers.

Différents ouvrages ont été réalisés à des fins de stratégie militaire (abri des troupes, pénétration des lignes ennemies) : les sapes de guerre, les abris souterrains et les galeries et tranchées. Leur localisation est peu connue, bien que les archives permettent d'en situer certains, du moins en partie.

## LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE MODULE 3 – ACTIVITE 1

Ainsi, lors de la première guerre mondiale, les militaires ont creusé des tranchées pour fortifier leur ligne. A partir de ces tranchées, ils ont également creusé des galeries ou des abris. Ces souterrains sont dénommés « sapes » (Figure 15), ils servaient à :

- s'abriter des obus, et dans ce cas ils étaient localisés dans les lignes de défense,
- accéder sous les tranchées ennemies pour y déposer des mines et rompre la première ligne avant l'attaque, ces galeries partaient des lignes d'un belligérant, passaient sous le « no man's land » pour arriver sous les tranchées adverses,
- repérer l'approche de sares ennemies ; ces postes d'écoute se situaient à l'avant de la première ligne de défense.

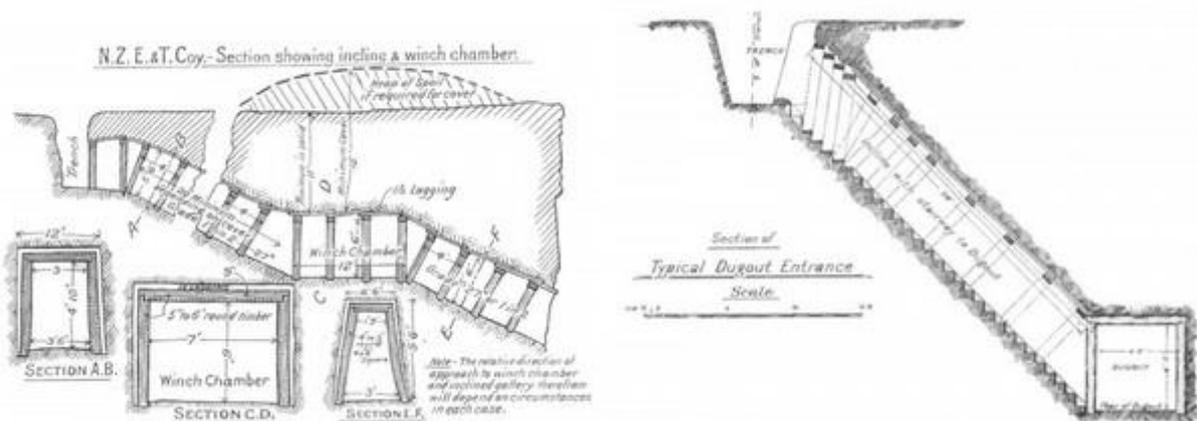


Figure 15 : Schéma de départ d'une sape (à gauche) et d'un abri souterrain (à droite).

Toute la zone de conflit est susceptible d'avoir été le siège de terrassements par les unités de génie. Ainsi au Nord Est de la ligne d'avancée extrême des Allemands (6 septembre 1914 ; Figure 16), il est possible de trouver des sares de guerre. La densité sera toutefois variable. Dans les secteurs où le conflit s'est enlisé comme dans les zones de grandes offensives préparées par le minage des lignes ennemies, la densité sera plus forte (Artois, Vermandois, Santerre...). A noter également quelques particularités, comme des sares de guerre recensées à Etaples qui ont servi de refuge ou d'entraînement à des troupes situées à l'arrière.

A l'issue du conflit, les tranchées ont été remblayées pour que les terrains puissent être réutilisés, mais la plupart du temps les souterrains ont simplement été obstrués. Plus d'un siècle plus tard, les bouchons lâchent, les étais des galeries pourrissent et ces ouvrages militaires provoquent régulièrement l'apparition de désordres en surface. Ce type de cavité peut être trouvé aussi bien dans les roches calcaires de la région que dans les terrains meubles.

## LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE MODULE 3 – ACTIVITE 1

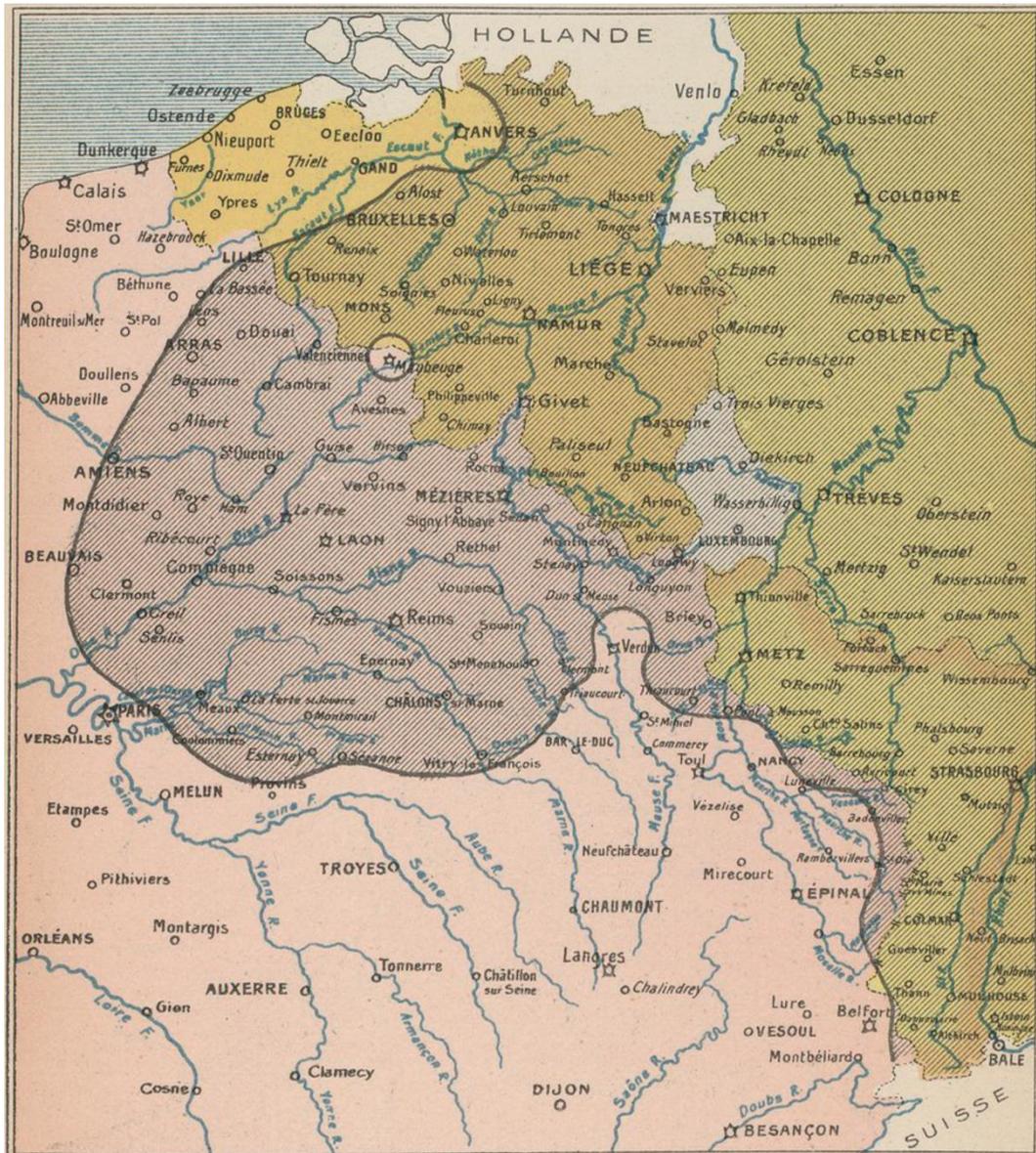


Figure 16 : Avancée extrême des Allemands en septembre 1914. Tout le territoire au nord-est peut abriter des sapes de guerre (source : Bibliothèque Nationale de France, 1915).

La guerre des mines a vu son apogée lors de la première guerre mondiale, mais, tenter de faire exploser des défenses en y accédant par des galeries est une stratégie plus ancienne. Pour se prémunir de ce type d'attaque, les bâtisseurs de places fortes incorporaient dans leur défense des galeries de contre mine sous les remparts (Figure 17). Pour certaines cités, ces galeries existent toujours (Cambrai, Maubeuge). Pour d'autres cas, les remparts ont été démantelés mais des vides résiduels peuvent rester. L'inventaire des cavités souterraines d'Arras montre que des cavités subsistent au droit des anciens remparts. Ces cavités ne sont ni des boves qui étaient situées intra-muros, ni des carrières en chambres et piliers localisées en périphérie. Des contre-mines existent également à Ardres, à Doullens, à Avesnes-sur-Helpe, à Bapaume, à Bouchain, à Guise...



Figure 17 : Galerie de contre-mine à Cambrai (à gauche ; photo C. Lefebvre) et plan des contre-mines de Guise en gris clair (Aisne ; gallica.bnf.fr)

Des souterrains refuges ont également été creusés en vue de protéger la population des pilleurs en période de conflit. Ces refuges, appelés *muches*, sont donc majoritairement trouvés dans des zones habitées. Ils peuvent être relativement étendus avec, généralement, un système de galerie principale qui donne accès à des petites salles annexes. Des puits d'aération étaient également créés. Classiquement, ces souterrains sont constitués par une ou des galeries « couloirs » permettant d'accéder aux cellules réparties de part et d'autre. Le ou les accès historiques se faisaient par descenderie ou escalier. Des puits d'aération étaient aménagés. Le plan du souterrain du Quesnel (Figure 18) illustre la configuration de ces « *muches* ».

Ce souterrain ne fait pas partie des premières *muches* creusées dans la région. En effet, les premières présentaient des salles sans géométrie particulière. Or, les *muches* du Quesnel présentent une géométrie plus régulière, correspondant aux évolutions classiques de ce type de souterrain, à savoir :

- un creusement avec des salles en vis-à-vis possédant une entrée étroite pour pouvoir fermer par une porte. Parfois à la salle principale s'ajoute une salle plus petite au fond,
- puis un creusement en quinconce de part et d'autre de la galerie pour gagner en stabilité, en évitant les carrefours où la portée est plus grande, et moins subir les nuisances dues aux stabulations qui étaient situées en général dans les salles juste en face de celles habitées.

Les parties les plus anciennes du souterrain se situeraient vers l'ancienne église à l'est (petites salles simples) et les plus récentes vers la rue Blanche à l'ouest et au sud (grandes salles doubles).

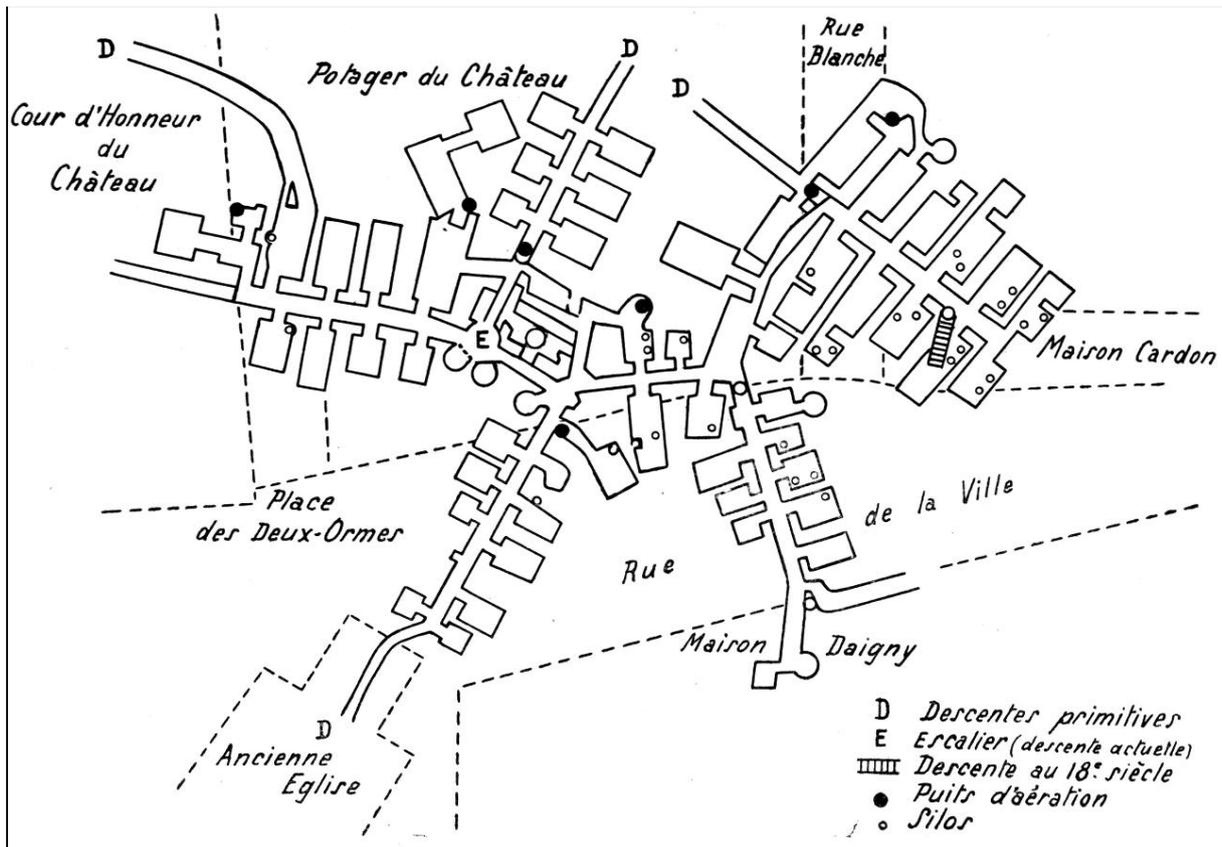


Figure 18 : Plan du souterrain refuge du Quesnel (Somme ; Demaisons 1932).

### Les ouvrages civils

En Hauts-de-France, la base de données Géorisques désigne par « ouvrages civils » les cavités à usage d'adduction et de transport (aqueducs, tunnels routiers, tunnels ferroviaires, souterrains pour les piétons...). Les dimensions de ces cavités diffèrent en fonction de leur usage et peuvent atteindre jusqu'à 100 m<sup>2</sup>. En Wallonie, un tel inventaire n'existe pas pour le moment en dehors des relevés d'impétrants.

En réalité, la plupart des souterrains répertoriés, pour les Hauts-de-France du moins, ne sont pas abandonnés et n'entrent dès lors pas dans le cadre d'une gestion de risque naturel. Si nous nous intéressons aux ouvrages civils abandonnés, quelques cas méritent d'être évoqués.

En Hauts-de-France, les villes de Lille (Figure 19), Arras et Senlis sont connues en particulier pour la présence de nombreux canaux couverts. Des recouvrements très anciens sont aujourd'hui oubliés et peuvent être la source d'effondrements dus à des ruptures de voûte. Ces cavités se situent dans des zones d'alluvions avec des nappes d'eau peu profondes c'est-à-dire dans des zones dépourvues d'autres cavités souterraines.



Figure 19 : Canal recouvert puis ré-ouvert sous la préfecture de Lille

### Les habitats et les caves

Pour des besoins d'habitat, de stockage, d'activité agricole ou industrielle, des cavités peu profondes ont pu être creusées dans le passé. C'est le cas des habitats troglodytes, des hypogées (grottes aménagées pour des sépultures notamment), des caves vinicoles ou autres anciennes caves de stockage.

En Hauts-de-France, les habitats troglodytes sont connus aux flancs des plateaux calcaires dans l'Aisne et l'Oise ou encore ouverts à partir de front de taille de carrières à ciel ouvert (Saint-Maximin notamment). Les maisons troglodytiques encore habitées sont rares car souvent exiguës, elles sont le plus souvent utilisées comme dépendance. Si leur répartition n'est pas homogène en Hauts-de-France, leur densité peut être considérable dans certaines communes.

La présence d'anciennes caves est très commune dans les zones urbanisées. Il s'agit de caves abandonnées liées aux occupations successives des terrains. Beaucoup de communes de la région ont été partiellement ou entièrement détruites lors de la première guerre mondiale et peuvent présenter des caves mal remblayées comportant des vides résiduels. Des exemples marquants sont identifiés au Quesnel, Senlis, Compiègne, Saint-Quentin et plus particulièrement leur quartier historique, mais aussi des secteurs plus ruraux comme Tricot (Oise).

Enfin, des hypogées sont des cavités naturelles aménagées en sépultures (Figure 20). Souvent à flanc de certains coteaux calcaires dans l'Oise ou encore dans des sables lutétiens dans l'Aisne.

LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE  
MODULE 3 – ACTIVITE 1

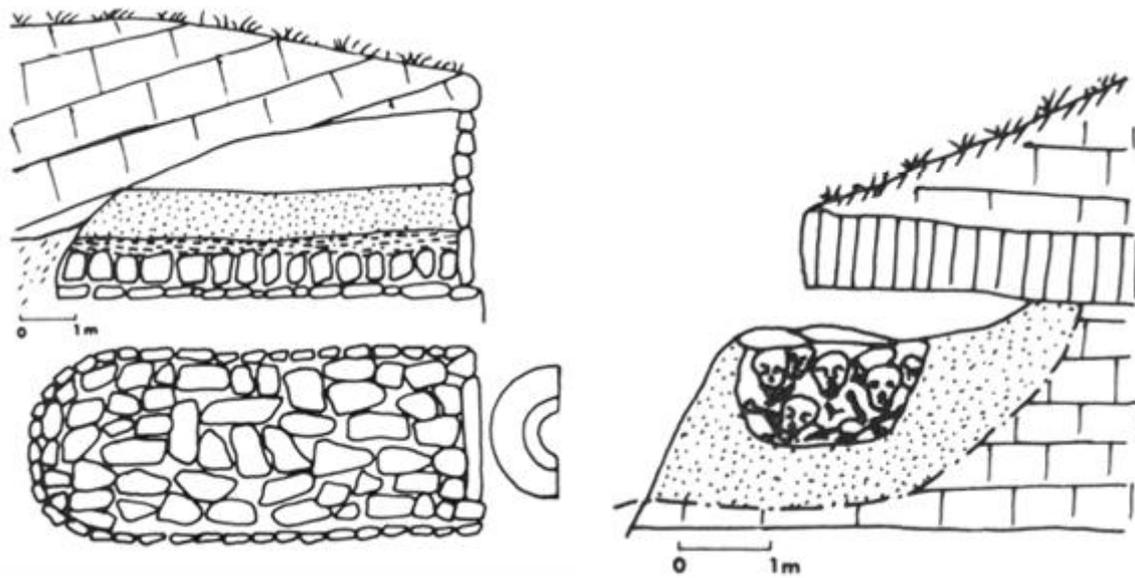


Figure 20 : Coupe et plan de l'hypogée de Séry-Magneval (à gauche) et coupe de l'hypogée d'Orrouy (à droite) (d'après Bailloud 1982).

## 4. Origine des mouvements de terrain : quels mécanismes d'instabilité pour quel type de cavité ?

Le travail d'inventaire a mis en évidence plusieurs catégories de cavités souterraines auxquelles se rattachent différents mécanismes d'instabilité pouvant, selon les cas, induire des effets en surface (tassement, affaissement, effondrement localisé ou généralisé).

### 4.1. Les puits

Les ouvrages de type « puits » concernent tant les exploitations minières que les carrières souterraines. Par essence, ces voies d'accès aux ouvrages souterrains constituent une connexion entre la cavité souterraine et la surface et méritent donc une attention particulière.

En Hauts-de-France, 852 puits de mines sont recensés sur le bassin du Nord-Pas-de-Calais (Paquette 2018). Les études d'aléas menées par Geoderis et Ineris évaluent notamment l'aléa d'effondrement localisé par rupture d'une tête de puits ainsi que l'aléa d'émission de gaz de mine à travers les puits et avaleresses (Lambert 2008, 2011a, 2011b, Lambert et Salmon 2011, 2012). En Wallonie, un recensement systématique réalisé au début des années 2000 a comptabilisé 15 000 puits et issues de mines sur base des plans miniers, ce qui est considérable. Environ 10% d'entre eux sont identifiés précisément par repérage et mesurage. Il faut y ajouter les puits anciens (du X<sup>ème</sup> siècle jusqu'au début XIX<sup>ème</sup> siècle) dont la profondeur peut atteindre 120 m mais qui sont très peu documentés. Vu leur nombre, la problématique des puits de mines a donc fait l'objet d'une attention particulière en Wallonie : zones de consultation de la DRIGM (puits de mines et présence possible d'anciens puits de mines), base de données PIM (Puits et Issues de Mines) et études d'aléas inspirées des méthodologies françaises (Kheffi & Pacyna 2018).

Au niveau des carrières souterraines, des ouvrages de types puits se rencontrent comme voies d'accès ou d'aération dans différentes configurations : carrières en chambres et piliers, catiches, marnières. Après l'exploitation, différentes méthodes de fermeture et d'abandon se distinguent (Poulard et al., 2017):

- l'abandon définitif avec remplissage total du puits : dans ce cas, si le comblement est bien réalisé, le vide est supprimé mais on observe souvent une instabilité du remblai avec débouillage dans les galeries adjacentes et ouverture du puits ;
- l'abandon définitif avec remplissage partiel, accompagné par la mise en place d'un bouchon au niveau de la tête de puits ;
- l'abandon en l'état avec mise en place d'un bouchon en surface ou subsurface.

Le type de bouchon mis en œuvre varie fortement en fonction des régions et des époques. L'installation peut aller d'un enchevêtrement de poutres en bois (cas des marnières) jusqu'à

## LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE MODULE 3 – ACTIVITE 1

une construction maçonnée (cas des catiches du Nord avec des voûtes en encorbellement faites de moellons de craie non cimentés), voire même une dalle en béton (Figure 21 et Figure 22).

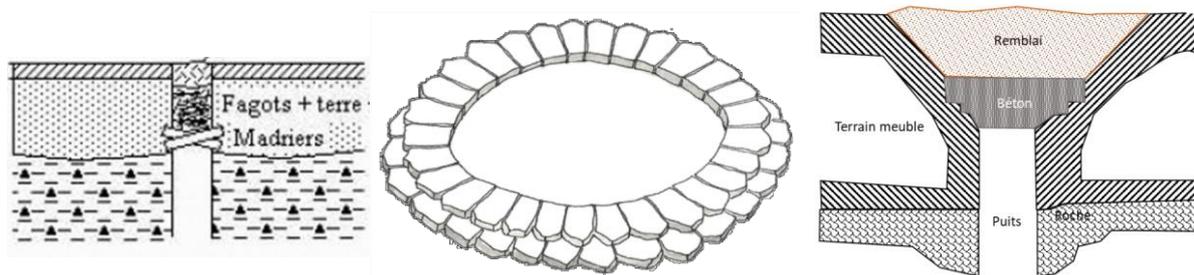


Figure 21 : Exemples de bouchon rencontrés en carrières souterraines. A gauche, des poutres en bois (LCPC 2008). Au centre, une voûte en encorbellement faite de moellons ([www.parc-causses-du-quercy.fr](http://www.parc-causses-du-quercy.fr)). A droite, une dalle de béton (National Coal Board 1982 in Coal Authority).

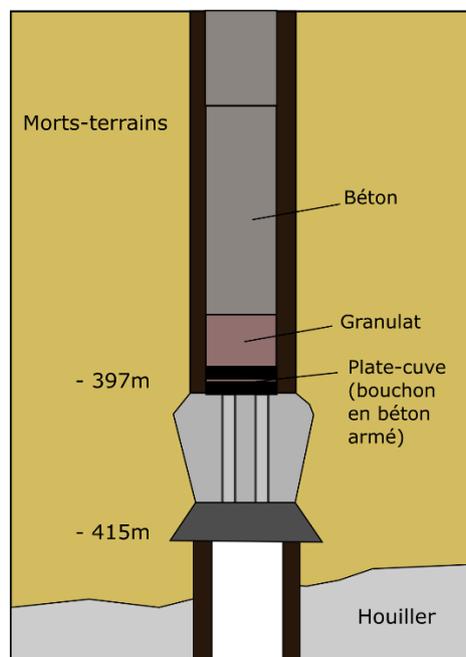


Figure 22 : Exemple de plate-cuve de charbonnage, cas du puits Saint-Marguerite à Péronnes (BE). (Modifié d'après « Tunnels et ouvrages souterrains, n°180, 2003 »)

Physiquement, la formation d'un effondrement localisé à l'aplomb de la tête d'un puits nécessite deux conditions :

- la colonne du puits doit être vide : soit parce que l'ouvrage n'a pas été traité, soit à la suite d'un débouillage du remblai ;
- le revêtement du puits doit se rompre, entraînant la formation d'un cône d'effondrement dans les terrains meubles de surface.

Les mécanismes de ruine possibles pour les puits sont la rupture de la tête de puits et le débouillage des remblais.

### **Rupture de tête de puits**

Plusieurs causes peuvent être à l'origine d'une rupture de tête de puits (MISSTER 2014, Ineris 2015):

- la rupture du bouchon ou de ses appuis ;
- la dégradation du puits sans ou avec revêtement ;
- une rupture des terrains de subsurface qui s'écoulent dans le puits après effondrement (la rupture des parements entraîne la déstabilisation du bouchon et provoque la formation d'un fontis).

Le phénomène peut être brutal ; il peut aussi évoluer dans le temps. Il est favorisé par l'état de dégradation du puits et la faible résistance du terrain de surface. En outre, différents facteurs sont à considérer :

- des facteurs internes à l'ouvrage et au massif :
  - la géométrie de la fermeture et le matériau utilisé;
  - la méthode de construction et/ou les dimensions des éléments constitutifs de la maçonnerie : les bouchons construits avec des blocs de grande dimension constitués de roche saine sont plus stables que ceux construits avec des petits blocs ;
  - la nature du sol d'appui : l'effondrement est plus probable lorsque l'assise est constituée par un sol limoneux que dans le cas d'une roche saine ;
  - les dégradations des parties supérieures des parements d'appui qui peuvent également contribuer à la dégradation du bouchon ;
  - la variation du niveau hydrogéologique.
- des facteurs extérieurs :
  - les intempéries : ces ouvrages se situent souvent au contact des zones de percolations d'eau en subsurface et sont donc sensibles aux ruissellements. Il y a classiquement toujours plus d'effondrements de puits lors des périodes de forte pluie ;
  - le développement racinaire qui peut dégrader les parois ou le bouchons du puits ;
  - les enjeux de surface : bien que plus difficiles à évaluer, les vibrations et les surcharges statiques et/ou dynamiques jouent également un rôle dans la déstabilisation des têtes de puits.

Tous ces éléments sont autant de paramètres à prendre en compte dans le cadre de l'élaboration d'une base de données transfrontalière sur les effondrements (Descamps et Dewaide, 2022).

### **Débouillage des remblais**

Le débouillage des remblais correspond au coulissage des remblais dans la colonne de l'ouvrage. Ce phénomène peut être causé par un entraînement gravitaire dans les galeries et cavités connectées au puits (e.g. lorsque les remblais sont remobilisés par l'eau, ce qui en modifie le comportement) ou un mauvais remblayage du puits. Les vibrations générées par des engins de chantier ou le trafic routier sont souvent un facteur aggravant.

Au niveau des effets en surface, un débouillage des remblais induit souvent un effondrement localisé de type fontis et parfois un affaissement. Dans le cas des fontis, l'extension initiale de l'effondrement est limitée au diamètre du puits. Elle évolue ensuite en formant un entonnoir et le diamètre en surface dépend de l'épaisseur de terrain meuble ou peu résistant. La formation d'une cuvette d'affaissement à la place de l'ouvrage débouchant au jour est plutôt un phénomène lent et progressif, dont l'amplitude varie typiquement entre 0 et 0,5 m. Ce type de mouvement n'est pas grave dans les zones peu urbanisées mais peut avoir des conséquences importantes pour une route ou un bâtiment.

Selon une étude menée par l'Ineris (2015), sur 423 cas d'instabilités liées à des puits de mines, 35% sont liés au débouillage, 28% à l'effondrement de la tête de puits et 14% à des tassements en surface.

## 4.2. Exploitations en chambres et piliers

Ce type de cavités souterraines fait l'objet d'une attention particulière dans le cadre du projet RISSC en raison notamment de l'empreinte importante qu'elles peuvent avoir sur le territoire. En Wallonie, on dénombre 4700 carrières (ou équivalent) sur une superficie de 6291 ha et 94 communes sont concernées par la problématique. Par exemple, les carrières de la Malogne couvrent une superficie de 67 ha et ont fait l'objet d'une étude spécifique dans le cadre d'une thèse de doctorat de l'UMONS (Georgieva, 2022 à venir). Sur le versant français, en métropole lilloise, plus de 160 carrières sont recensées pour une surface de 181 ha, ce qui représente 4,5 M m<sup>3</sup> de vides, 130 km de voirie concernés, 70 000 citoyens exposés et 5 à 10 effondrements par an (Cheppe 2019). Une bonne partie de ces carrières sont en chambres et piliers ou impliquent des méthodes d'exploitation mixtes avec des catiches.

La méthode d'exploitation en chambres et piliers est une technique par soutènement naturel qui laisse des chambres vides dans le sous-sol, séparées par des piliers qui supportent l'ouvrage pour en assurer la stabilité à long terme (Figure 23). Après l'exploitation, on peut décider d'abandonner, de remblayer ou de foudroyer les piliers. Cette méthode est généralement employée dans les gisements horizontaux ou à faible pendage ( $\leq 30^\circ$ ), typiquement les dépôts lités sédimentaires, le charbon, le sel, la potasse, les shales cuprifères, les craies, et sur des étendues très variables.

LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE  
 MODULE 3 – ACTIVITE 1

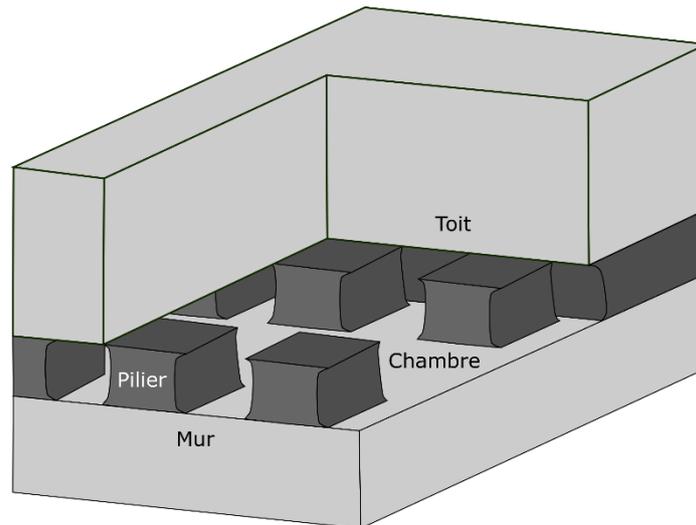


Figure 23 : Configuration d'une exploitation en chambres et piliers.

Vu leur géométrie particulière, les carrières souterraines en chambres et piliers sont sujettes à différents types de ruptures localisées, qui peuvent survenir au niveau du toit, des piliers ou au mur de l'exploitation.

Le comportement du toit peut être assimilé à une poutre bi-encastée. En fonction de la qualité mécanique du massif rocheux et de la présence de diaclases, on peut observer des décollements du toit qui évoluent en chute de dalles ou de blocs du toit. Ces ruptures sont souvent localisées à l'intersection des galeries où les portées sont les plus importantes ; elles peuvent évoluer en montées de voûte et générer un fontis (Figure 24).

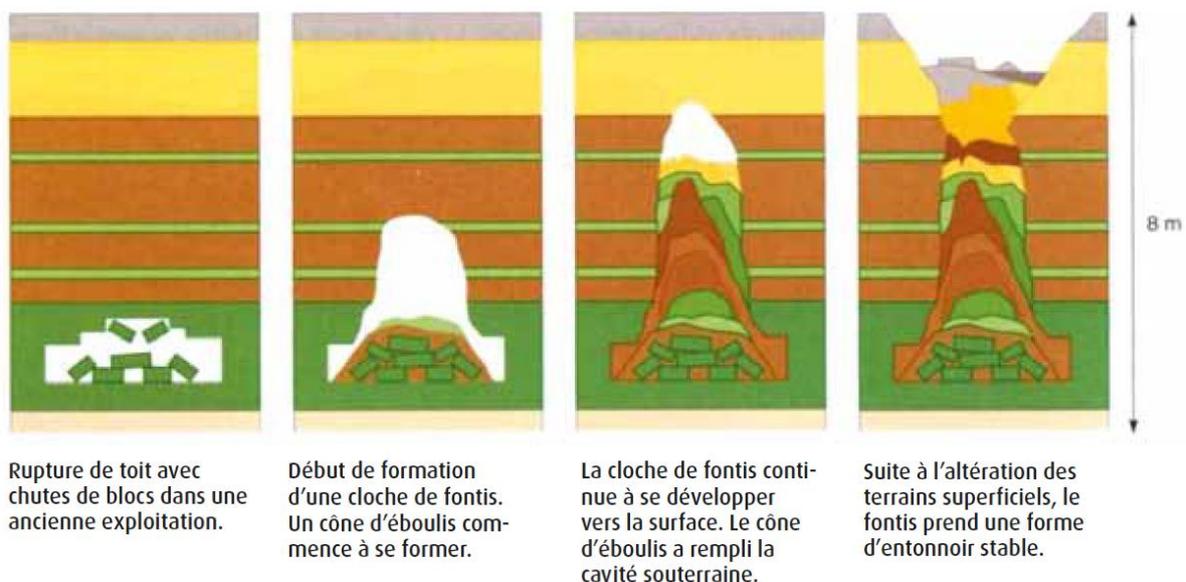


Figure 24 : Mécanisme de formation d'un fontis (Didier et Watelet 2012).

Au niveau des piliers, 4 principaux modes de rupture sont généralement admis (Figure 25 ; Brady & Brown 2005, Rafah 2015) : l'écaillage, le cisaillement, la fracturation et le flambage. Certains mécanismes sont liés aux conditions géologiques (Figure 25 d et e).

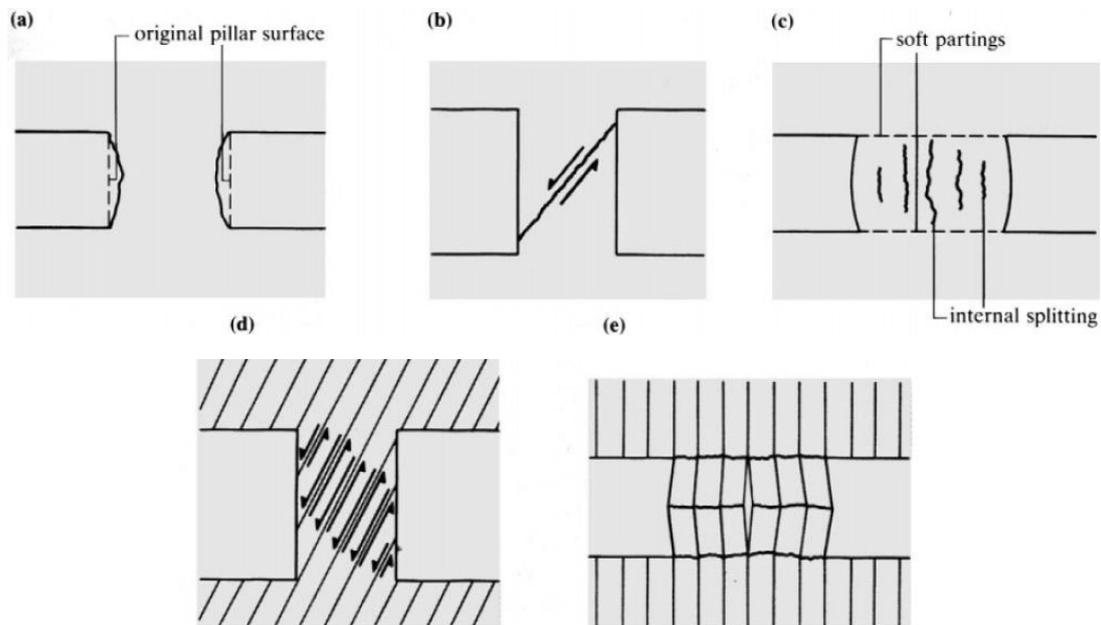


Figure 25 : Modes de déformation des piliers. (a) Ecaillage. (b) Fracture en cisaillement. (c) Eclatement en présence de plans de stratification peu résistants au toit et au mur. (d) selon l'inclinaison des fractures par rapport à l'angle de frottement. (e) Flambage dans le cas d'une schistosité parallèle à la mise en charge (selon Brady & Brown 2005).

L'écaillage est un des signes les plus évidents de l'effet des contraintes dans des roches relativement massives. Ce mode de rupture est lié à des contraintes de traction qui ne sont pas compensées en périphérie du pilier et provoquent des détachements de plaques de roche. La réduction progressive de la section du pilier à mi-hauteur, en formant un diabolo (Figure 26), peut conduire à sa rupture complète. Le processus d'écaillage s'amorce par l'apparition de fissures locales aux coins des piliers (Lunder & Pakalnis 1997, Diederichs 2002). Ces fissures se développent ensuite pour former une surface en écaille qui se démarque des fractures internes : l'état de contraintes dans le pilier satisfait les conditions d'initiation de la fracturation et d'endommagement de la roche dans un volume significatif du pilier. A ce stade, le pilier a partiellement rompu mais son cœur reste intact. Si les contraintes continuent d'évoluer, des fractures internes se développent en formant un réseau qui peut conduire à la rupture totale du pilier.



Figure 26 : Exemple de pilier écaillé dans les carrières souterraines de la Malogne (Mons, Belgique).

Le développement d'une rupture en cisaillement sur un pilier est fréquent dans les massifs rocheux contenant des discontinuités ou des plans de rupture pré-existants. Généralement, la rupture se produit lorsque le pilier est orienté défavorablement par rapport aux discontinuités. En particulier, en cours d'exploitation, l'orientation des contraintes principales est modifiée et des ruptures en cisaillement ou en traction peuvent se produire pour des niveaux de contraintes nettement inférieurs à la résistance en compression du massif (Rafeh 2015).

Dans le cas d'un mur peu épais ou suffisamment déformable, voire d'une mauvaise superposition des piliers en cas de présence d'un niveau d'exploitation inférieur, une rupture peut aussi se produire. Elle provient d'un poinçonnement du mur par les piliers, ce qui conduit à un gonflement ou un « soufflage » de ce mur.

Les effondrements généralisés (ou en masse) se manifestent lorsqu'une charge trop importante n'est plus supportée par un pilier affaibli ou déjà en ruine. En l'absence de masses vierges pouvant bloquer la dynamique d'extension, la charge se reporte alors sur les piliers voisins qui, à leur tour, sont en surcharge. La rupture des piliers produit un effet de souffle, avec des secousses sismiques. L'ensemble du recouvrement peut s'effondrer en bloc (Figure 27). Un tel effondrement s'est produit en 2015 sur une zone située au Sud des carrières de la Malogne (Figure 28).

LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE  
MODULE 3 – ACTIVITE 1

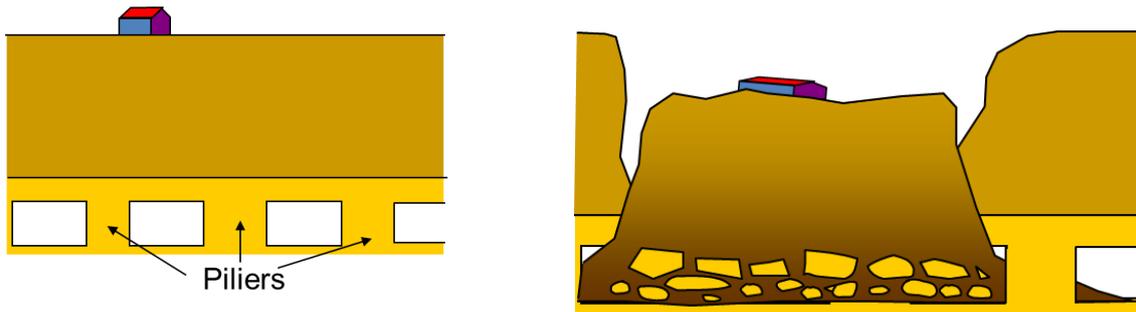


Figure 27 : Mécanisme d'effondrement généralisé dans une exploitation en chambres et piliers (Dubois, 2019).



Figure 28 : Vue aérienne montrant les effets en surface de l'effondrement généralisé survenu en 2015 aux carrières de la Malogne (modifié d'après CACEff, 2015).

Dans le cas d'une carrière ouverte en falaise ou à flanc de coteau, la décompression du versant peut induire des fractures et contribuer à l'instabilité. C'est le cas ponctuellement aux carrières de la Malogne (Mons) ou des carrières accessibles par bouche de cage dans les calcaires du sud des Hauts-de-France.

### 4.3. Puits en bouteille

Les mécanismes de ruine rencontrés dans les puits en bouteille s'assimilent en grande partie à la problématique des puits de carrière souterraine. Une attention toute particulière est portée à la stabilité de la tête de catiche, constituée d'une voûte en encorbellement de moellons (Figure 11 et Figure 21). Ces exploitations sont souvent organisées en ensemble de plusieurs catiches, parfois très proches (Figure 11, à droite). Dès lors, la stabilité des piliers de roche laissés entre les cavités est aussi une préoccupation.

### 4.4. Cavités karstiques

Le développement de fontis à partir d'une cavité karstique est généralement associé à la désaturation du massif rocheux et à l'abaissement du niveau d'eau (Brady et Brown 2005). L'abaissement du niveau d'eau produit plusieurs effets :

- agrandissement des cavités existantes et développement de nouvelles cavités,
- suppression du soutènement apporté par la pression de l'eau,
- création d'un mouvement descendant dans l'eau qui peut entraîner les matériaux non consolidés.

Bien que les risques de mouvements de terrain directement associés au karst sont à relativiser par rapport à ceux liés aux cavités artificielles, des accidents liés au karst sont régulièrement signalés en Wallonie (dans la région de Tournai notamment) et souvent liés au décolmatage de cavités karstiques remplies par des terrains meubles (couverture, poches de sable, matériaux d'altération, ...), généralement suite à la circulation d'eau (naturelle ou influencée par les activités humaines).

### 4.5. Sapes de guerre et souterrains refuges

A l'issue du conflit, les tranchées ont été remblayées pour que les terrains puissent être réutilisés, mais la plupart du temps les souterrains ont simplement été obstrués. Plus d'un siècle plus tard, les bouchons lâchent, les étais des galeries pourrissent et ces ouvrages militaires provoquent régulièrement l'apparition de désordres en surface. Ce type de cavité peut être trouvé aussi bien dans les roches calcaires de la région que dans les terrains meubles.

En juin 2016, de fortes précipitations au sud-ouest de Lille ont provoqué une série d'effondrements. A Auchy-les-Mines, plusieurs parcelles ont été impactées, certaines touchées par des séries linéaires de fontis (Figure 29). Les cartes de la première guerre mondiale permettent d'attribuer ces mouvements de terrains à des sapes de guerre. Ils sont situés dans le « No man's land » et dans un secteur où la présence de cratères de mine montre que des sapes ont été creusées.

LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE  
MODULE 3 – ACTIVITE 1



Figure 29 : A gauche, effondrements le long d'une sape à Auchy-les-Mines en 2016. A droite, carte du secteur du 04 mai 1917 précisant la zone des effondrements en vert.

## 5. Sources et diffusion cartographique des données « cavités », vision critique

L'information au public est fournie, sur les deux territoires, sur base d'une diffusion cartographique en consultation libre via des portails web. Les données « cavités » diffusées appartiennent à des bases de données gérées au niveau national en France (par le BRGM), et au niveau régional en Belgique (par le SPW en Wallonie).

En Wallonie, toute l'information est centralisée et détenue par le SPW qui représente l'interlocuteur unique pour le public en recherche d'information. En France, la situation est plus complexe car certaines informations (notamment des archives papiers) sont détenues par différents niveaux de pouvoir, et pas forcément publiques.

### 5.1. En Hauts-de-France

#### 5.1.1. Sources de données

##### Les bases de données nationales

Les bases de données nationales gérées par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) apportent des informations directes ou indirectes quant à la présence de cavités souterraines. Il s'agit principalement de :

- la « BD cavités » qui recense et localise les cavités souterraines abandonnées hors mine. Tous les types de cavités présentées au chapitre III sont présents dans cette BD ;
- la « BD mouvements de terrains » qui recense et localise tout type de mouvement de terrains dont les effondrements de sol. Parmi ces effondrements, certains peuvent être liés à la présence d'une cavité.

En complément, la « banque de données du sous-sol » met à la disposition du public toutes les fiches de sondages de reconnaissance de sol (normalement de plus de 10 m de profondeur), dont ceux qui ont traversé des vides souterrains. Ainsi, dans certains secteurs où la « BD cavités » ne recense aucune cavité, la BDSS apporte parfois des informations précieuses lorsque les sondages ont recoupé des vides souterrains.

Ces trois bases de données couvrent l'ensemble du territoire des Hauts-de-France. Jusqu'à présent, c'est le BRGM uniquement qui alimente cette base de données, notamment sur base de ce qui lui est rapporté par des autorités départementales ou régionales.

### **Les bases de données des DDT**

Les Directions Départementales des Territoires sont des services décentralisés de l'Etat. A ce titre chaque DDT, en fonction de la stratégie locale et de ses moyens s'implique dans l'amélioration de la connaissance du risque cavité et dispose d'archives plus ou moins fournies traitant de la thématique. Certaines études sont publiques ; c'est le cas, par exemple, des inventaires cavités territoriaux (communaux, d'arrondissement ou départementaux), et des études d'aléas. D'autres données alimentent les archives des services sans être rendues publiques.

### **Les bases de données des collectivités territoriales**

Les communes sont concernées par la gestion du risque cavités et à ce titre, certaines d'entre elles ont créé un service communal ou intercommunal pour prendre en charge cette problématique (Amiens, Cambrai, Laon, Saint Quentin et Métropole Européenne de Lille). Chacun de ces services possède une base de données propre qui n'est pas publique.

## **5.1.2. Accès public et portail cartographique**

Les BD nationales citées ci-dessus sont publiques. Ces données peuvent être téléchargées et/ou visualisées via un portail cartographique sur le site « Géorisques » (<https://www.georisques.gouv.fr/>) du BRGM. En plus de la visualisation cartographique et du téléchargement des données (voir ci-après), le site donne également de nombreuses informations généralistes sur les risques naturels.

La BD « cavités » est celle qui intéresse en priorité le public en recherche d'informations sur les cavités d'un certain secteur. Elle est consultable, téléchargeable et visualisable sur un portail cartographique du site « Géorisques » géré par le BRGM. Le téléchargement (par département) fournit des tableaux de données reprenant les caractéristiques principales des cavités localisées. La localisation de ces cavités est visualisable via des cartes interactives. Les cavités y sont représentées sous forme ponctuelle uniquement, et le point de localisation peut correspondre au centre de la cavité, à un orifice supposé.... Via la carte, il est également possible d'accéder à la fiche de données de la cavité sélectionnée ; cette fiche reprend les mêmes données que celles fournies par le téléchargement. Enfin, la BD cavités reprend aussi certains effondrements qui ont été attribués à des cavités (souvent indéterminées). Tous les effondrements liés à une cavité ne sont cependant pas systématiquement repris dans la BD cavités.

La BD « mouvements de terrain » est également téléchargeable et visualisable sur carte via le site « Géorisques ». Les effondrements sont un des types de mouvements de terrain inventoriés. Certains de ces effondrements peuvent être indicateurs de la présence d'une cavité. Pour avoir cette information, il est nécessaire de consulter la fiche détaillée de

l'effondrement (ou de télécharger la donnée). Le lien avec une cavité sous-jacente n'est cependant pas toujours connu ou renseigné.

La Banque de données Sous-Sol est téléchargeable, par département, via le site du BRGM (<https://infoterre.brgm.fr>). Le contenu du téléchargement correspond aux fiches de forage et autres informations brutes géologiques et techniques relatives à des ouvrages souterrains : localisation, objet, description géologique, équipement technique des forages. La visualisation cartographique des points de forage n'est pas proposée. Si l'on suspecte la présence de cavités dans une zone où elles ne sont pas forcément renseignées, les fiches de forages peuvent être un outil intéressant, à condition que les forages traversent les cavités suspectées...

### 5.1.3. Critiques et perspectives

La consultation des BD nationales doit toujours être faite en ayant en tête la non exhaustivité des inventaires. Ceci peut venir du fait que, d'une part, certaines cavités ne sont pas connues. Certaines sont découvertes au grès de travaux ou d'accidents, ce qui explique parfois la densité de données dans certaines zones et l'absence de données dans d'autres zones. D'autre part, certaines cavités, pourtant connues, ne sont pas reprises dans l'inventaire national. En effet, le BRGM est à ce jour le seul à alimenter les BD. Si le BRGM n'est pas informé par d'autres instances de la présence de cavités, ces dernières ne seront pas renseignées au niveau national.

Les différentes sources de données offrent des niveaux de lecture et de détail de l'information très variables. Les BD nationales donnent l'avantage d'offrir beaucoup d'information sur un large territoire et de se rendre compte de la vulnérabilité d'une zone au risque cavités (attention à la non exhaustivité). Cependant, ces BD ne permettent pas toujours la consultation des documents bruts (sauf pour les sondages du sous-sol ou si une référence de rapport BRGM est spécifiée) qui sont nécessaires dans des démarches d'expertise notamment. De plus, les documents-sources pour des projets très spécifiques ne sont pas publics (exemple : recherches de cavités le long de la ligne TGV Paris-Lille). Quant aux BD des DDT, elles renferment beaucoup de données de détails très utiles à des études plus poussées mais peu de données sont accessibles, ni même renseignées.

Une évolution intéressante des BD nationales est le fait que le système de saisie des données est en cours de ré-évaluation. Il est ainsi prévu que d'autres acteurs de la gestion du risque puissent encoder des données en plus du BRGM, ce qui permettra d'éviter les problèmes de transmissions de données à l'échelle de la France, qui peuvent expliquer l'absence de cavités parfaitement connues.

En perspective, il pourrait être adéquat de proposer différents niveaux de lecture de l'information « cavités » (et « effondrements ») avec un niveau « grand public » et un niveau « expert ». L'information « grand public » serait assez semblable à ce qui est déjà en place mais ajouterait certaines clés de lecture expliquant notamment la non exhaustivité des données et les éventuelles disparités entre départements (dû à des différences de saisie entre

les services par exemple). Quant au niveau expert, il s'agirait d'augmenter l'information de base en y ajoutant des données brutes (plans détaillés, données sources...).

## 5.2. En Wallonie

L'ensemble des données cavités disponibles sur le territoire wallon est rassemblé au sein du Service Public de Wallonie (SPW) – DGARNE (Direction Générale Agriculture, Ressources Naturelles et Environnement) et plus particulièrement de la DRIGM (Direction des Risques Industriels, Géologiques et Miniers).

Depuis 2010, les données ont été recensées et organisées en bases de données par le Service Géologique de Wallonie (cellule de la DRIGM). C'est également ce service qui s'occupe de la digitalisation des données et de la production de SIG en vue de la publication cartographique des données.

### 5.2.1. Sources de données

Le SPW a centralisé et créé lui-même ses propres bases de données (publiques et privées) à partir de toute une série de documents (archives, rapports d'intervention, ouvrages de références, etc.). Dans la BD du sous-sol wallon, l'accent a été mis sur la construction de la donnée : complète, précise et délimitée dans l'espace. La base de données sous-sol rassemble différents jeux de données, à savoir :

- la BD Puits et Issues de mines (PIM) ;
- la BD carrières souterraines ;
- la BD gîte de minerais de fer et de minerais métalliques ;
- l'atlas du karst wallon et contraintes karstiques ;
- la BD effondrements ;
- la BD terrils.

### 5.2.2. Accès public et portail cartographique

#### ➤ Portail cartographique

Pour le moment, les données publiques matérialisables cartographiquement sont diffusées par le SPW via la plate-forme cartographique « CIGALE » . Outre les données sous-sol, ce portail SIG permet de visualiser toute une série de données à caractère environnemental et directement géré par la DGARNE. Le portail CIGALE permet de choisir l'affichage de données en rapport avec certains thèmes environnementaux. Il propose ainsi la thématique « sous-sol » qui comporte toutes les couches de données publiques relatives au sous-sol et visualisables sur carte : <http://carto1.wallonie.be/CIGALE/viewer.htm?APPNAME=SSOL>

Concernant les cavités souterraines, les données sont diffusées en différentes couches :

LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE  
MODULE 3 – ACTIVITE 1

- **les carrières souterraines** : elles sont représentées sous forme surfacique. La surface digitalisée correspond aux limites des anciennes carrières souterraines selon le parcellaire cadastral, les plans disponibles en archives ou les levés topographiques effectués sur le terrain. Il intègre aussi des indices repérés sur le terrain. Sont renseignés le type et le nom de l'exploitation ;
- **les puits de mines et zones de déhouillement** : les puits et issues de mines ont été spécifiquement digitalisés (sous forme de points) sur tout le territoire du Hainaut. Dans la région de Mons par ailleurs, des « zones déhouillées » ont été digitalisées. Elles correspondent à des surfaces, identifiées sur base archives de la S.A charbonnage du borinage, au sein desquelles le charbon a été largement exploité ;
- **les concessions minières** : Les limites des concessions minières, cartographiées et informatisées entre 1999 et 2001 sur base des arrêtés royaux d'octroi et des plans y annexés, reprennent, pour tout le territoire wallon, la localisation de toutes les concessions, de toutes substances maintenues ou octroyées depuis 1793 (état actuel ou final, à la date du retrait), ainsi que la dénomination officielle, la nature du gisement exploité et le statut administratif des concessions ;
- **les phénomènes karstiques** : cette série de couches de données constitue un inventaire cartographique et descriptif des sites karstiques et des rivières souterraines en Wallonie. Les différentes données sont : (i) les sites karstiques (souterrains et surfaciques) représentés sous forme ponctuelle ou surfacique si leur superficie est supérieure à 30 m<sup>2</sup> ; (ii) les écoulements souterrains (tracé linéaire des circulations souterraines connues entre un point d'infiltration et un point d'émergence) ; (iii) les galeries (tracé linéaire d'axes de certaines galeries de réseaux souterrains) ; (iv) les failles (tracé linéaire des axes de failles) ; et enfin (v) la surface des formations carbonatées ;
- **les « zones de consultation et de contraintes »** : cette série de couches de données consiste en la délimitation de zones dans lesquelles il est nécessaire de consulter la Direction des Risques industriels, géologiques et miniers (DRIGM) de la DGARNE avant tout projet d'aménagement du territoire. Les couches présentes sont : (i) carrières souterraines, (ii) gisements et puits de mines (+ anciens puits potentiels), (iii) minières de fer, (iv) présence de karst. Elles correspondent en fait aux objets repris ci-dessus mais augmentés d'une zone tampon (qui prend en compte l'imprécision et l'impact d'un incident éventuel). Remarquons que, pour les objets miniers, ces zones de consultations existent sur tout le territoire wallon et non uniquement dans le Hainaut où les puits et issues de mines ont été digitalisés.

➤ La FISs

Les fiches Information Sous-Sol sont générées et transmises, sur demande de tout public, par le Service Géologique Wallon. Il s'agit d'un extrait papier de la BD sous-sol sur une parcelle ou territoire défini.

Elle signale les éléments qui pourraient affecter un périmètre, en précisant quelles sont les menaces potentielles ainsi que les contraintes administratives et techniques qui pourraient découler de la situation en cas de demande de permis d'urbanisme ou d'urbanisation. Elle

renseigne également les données cartographiques disponibles pour ce périmètre. Les principaux utilisateurs sont les notaires, les architectes et les bureaux d'études spécialisé

Une évolution prochaine de la FISS est la WEBFISs qui donnera directement les informations à l'utilisateur en ligne.

➤ Site internet du SGW

Enfin, le site internet du Service Géologique de Wallonie (<http://geologie.wallonie.be/home.html>) regorge d'informations précises couvrant toute la thématique sous-sol (et notamment sur les risques associés) et permet aussi de consulter les cartes géologiques de Wallonie qui ont fait l'objet d'un vaste programme de mise à jour entre 1990 et 2019.

### 5.2.3. Critiques et perspectives

L'information relative à la thématique sous-sol en Wallonie est très dense et présente l'avantage d'être centralisée et valorisée par un seul acteur : le SPW. A l'échelle de la Wallonie, il est en effet plus réalisable de s'assurer d'une certaine exhaustivité de l'information, en tout cas pour les cavités connues.

Les informations de détails concernant les cavités souterraines ne peuvent être obtenues (si elles sont publiques) que via une démarche supplémentaire de demande d'information spécifique auprès du SPW (via la FISs). Néanmoins, le service géologique de Wallonie envisage la création de la webFISs dans les prochaines années. Celle-ci permettra de télécharger directement les données détaillées disponibles sur un périmètre choisi par l'utilisateur.

Les zones de carrières souterraines devraient par ailleurs faire l'objet d'une révision dans un avenir proche. Il est en effet prévu que, là où c'est possible, la géométrie des exploitations sera digitalisée en détail (contour des galeries par exemple). Il est également prévu d'ajouter des champs de description complémentaires (mode d'exploitation, couche exploitée, objet représenté, etc.).

Enfin, l'information liée aux mouvements de terrain n'est pas disponible en ligne à ce jour. La CACEff (Cellule Avis et Conseil Effondrement) a été créée en 2014 au sein du service géologique de Wallonie. Elle est régulièrement appelée pour gérer et coordonner les situations de crise liées à des mouvements de terrain. Elle recense tous ces mouvements depuis sa création et met ses données à disposition des gestionnaires de bases de données de la DRIGM. Une base de données spécifiques aux mouvements de terrain existe déjà au sein de la DRIGM et elle devrait faire également l'objet d'une diffusion cartographique.

## 6. Conclusions

Les régions de Wallonie et Hauts-de-France connaissent un contexte géologique commun qui sert de point de départ à ce travail. Les grands ensembles de roches présentes dans nos régions sont évoqués depuis le Paléozoïque jusqu'au Quaternaire. L'importance des craies est soulignée par rapport au contexte des cavités souterraines des deux régions.

Un premier critère pour établir un inventaire des cavités souterraines se situe au niveau de leur origine : anthropique ou naturelle (Figure 30). Les cavités naturelles correspondent à des phénomènes karstiques. Ces cavités sont très fréquentes en Wallonie où elles font l'objet d'un inventaire spécifique (Atlas du Karst Wallon) mais beaucoup plus rares en Hauts-de-France (région de Maubeuge). Les cavités anthropiques ont été créées par l'Homme pour exploiter les ressources du sous-sol ou pour y aménager des ouvrages, à vocation civile ou militaire.

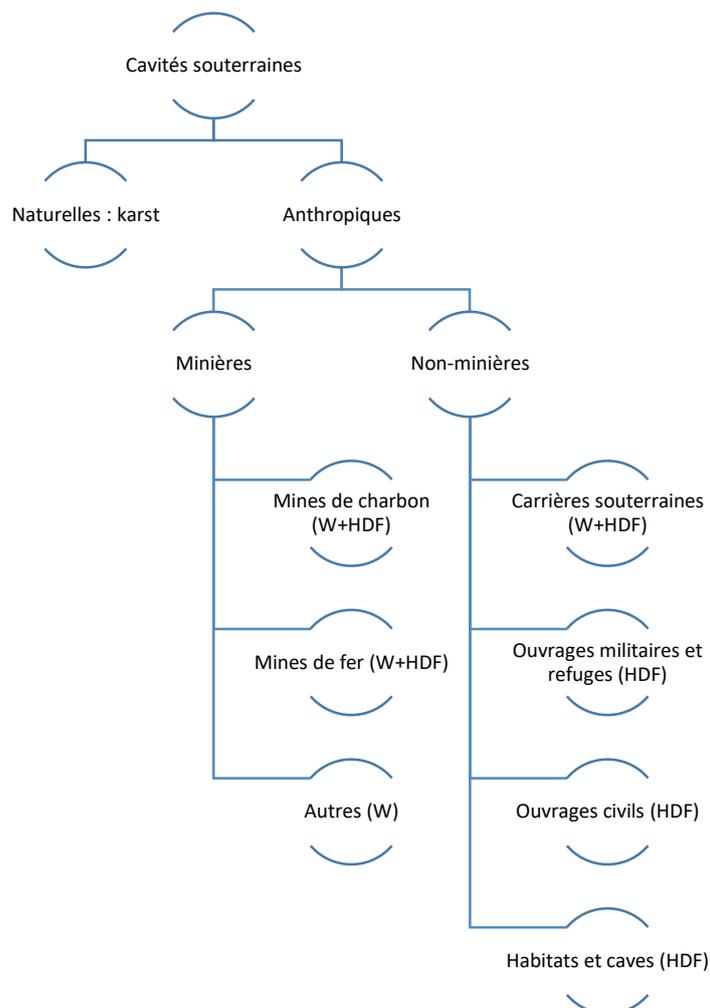


Figure 30: Récapitulatif des différents types de cavités souterraines en Wallonie et Hauts-de-France.

## LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE

### MODULE 3 – ACTIVITE 1

Au niveau des exploitations souterraines, la principale discrimination est liée à la réglementation (minier ou non-minier). Parmi les cavités minières, un rapide panorama des exploitations de houille dans le bassin du Nord-Pas-de-Calais (Hauts-de-France) et sur la dorsale wallonne est proposé. Les mines de fer sont assez bien représentées sur les deux versants : Avesnois pour les Hauts-de-France ; Gaume, Cantons de l'Est, régions de Couvin et de Huy pour la Wallonie.

Parmi les cavités anthropiques non-minières, les carrières souterraines focalisent l'attention. De taille variables, ces exploitations ont visé différentes ressources. Dans les deux régions, on a exploité des calcaires, des craies, des argiles, du sable et du silex. En Wallonie s'ajoutent les ardoisières et les carrières souterraines de phosphate et de tuffeau. Différentes techniques d'exploitation ont été mises en œuvre, certaines ayant une existence et/ou une dénomination très locale : chambres et piliers, galeries filantes, catiches, boves, marnières, hagues et bourrages.

Outre les carrières souterraines, d'autres types de cavités anthropiques sont aussi inventoriées en Hauts-de-France. Un intérêt particulier est porté aux ouvrages militaires et aux souterrains refuges, mais aussi aux ouvrages civils (adduction et transport), aux habitats et aux caves.

Au-delà de l'inventaire, la prévention et la gestion des risques du sous-sol impliquent aussi la compréhension des mécanismes d'instabilité associés à certaines typologies de cavités et qui peuvent induire des mouvements en surface. Ce rapport a traité en particulier des puits et des exploitations en chambres et piliers. Pour les puits, deux mécanismes sont décrits : la rupture de la tête de puits, et le débouillage des remblais. Pour les exploitations en chambres et piliers, des ruptures localisées peuvent survenir au toit, au niveau des piliers ou au mur de l'exploitation. Des effondrements généralisés peuvent aussi se développer.

Concernant la gestion des données, les deux territoires maintiennent des inventaires relativement complets et précis des cavités souterraines connues et des incidents passés. Les deux régions proposent une information au public via des portails cartographiques interactifs et accessibles. Les informations directement consultables restent généralistes mais des informations plus complètes et plus précises peuvent être consultables (si publiques) sur demande auprès des autorités compétentes. Alors que toute l'information présente l'avantage d'être centralisée par le SPW en Wallonie, elle est, en France, détenue par différents niveaux de pouvoirs (BRGM pour les données nationales, Direction Départementales des Territoires et communes/collectivités) ; ce qui peut compliquer son accès et/ou la cohérence des données. Les entités de gestion au niveau national/régional des deux côtés de la frontière prévoient des évolutions prochaines quant à l'accès aux données : le SPW prévoit d'étendre le type de données diffusées (données effondrements, redéfinition des contours des carrières souterraines, zonage d'aléa, webFISs, etc.) ; le BRGM vise lui à redéfinir l'accès au site géorisques en différents niveaux de profil (particulier, collectivité, expert).

## 7. Références

Amédéo F., Robaszynski F. (2000). Les craies cénomaniennes du Cap Blanc-Nez (France) au regard de la stratigraphie événementielle. Extension géographique de niveaux-repères du Bassin Anglo-Parisien (Boulonnais, Kent, Normandie) à l'Allemagne du Nord *Bulletin Trimestriel de la Société Géologique de Normandie et des Amis de Museum du Havre*, 87, 2-3, p. 9 – 29.

Bailloud Gérard. Le néolithique en Picardie. In: *Revue archéologique de l'Oise*, n°7, 1976. Les premiers agriculteurs et les Ages des Métaux en Picardie. pp. 10-28.

Bailloud G. (1982). Vue d'ensemble sur le Néolithique final de la Picardie. In: *Revue archéologique de Picardie*. N°4, 1982. pp. 5-35.

Belanger I., Delaby S., Delcambre B., Ghysel P., Hennebert M., Laloux M., Marion J.M., Mottequin B., Pingot J.L., 2012, Redéfinition des unités structurales du front varisque utilisées dans le cadre de la nouvelle Carte géologique de Wallonie (Belgique), *Geologica Belgica*, 15, 3, p. 169-175.

Bergerat F., Jacques A., Vandycke S., Amédéo F., Robaszynski F, Faÿ O. (2015). Les carrières souterraines d'Arras : géologie, archéologie et histoire. *Bulletin d'information des Géologues du Bassin de Paris*, 52, 3, 3-26.

Berrehouc G., Lefebvre C. (2013). La prévention des risques liés aux carrières souterraines abandonnées sur le territoire de Lille. Journées techniques transfrontalières CFGI-SBGIMR, 12-13 décembre 2013

Boulvain F. & Pingot J.L., (2015). Genèse du sous-sol de la Wallonie. *Classe des Sciences, Académie royale de Belgique*, 208 p.

Brady B.H.G., Brown E.T. (2005). *Rock mechanics for underground mining*, Kluwer Academic Publishers.

Camelbeeck T., Vanneste K., Alexandre P., Verbeeck K., Petermans T., Rosset P. Everaerts M., Warnant R., Van Camp M. (2007). Relevance of active faulting and seismicity studies to assess long term earthquake activity in Northwest Europe. In *Continental Intraplate Earthquakes : Science, Hazard, and Policy Issues*. Geological Society of America, Stein S.& Mazotti editors, Special Paper 425, p. 193-224.

Cheppe G. (2019). Service commun des carrières souterraines – La clef de voûte de la prévention du risque lié aux carrières souterraines : l'inspection des carrières, journée technique « Gestion transfrontalière du risque cavités », Lille, 14 novembre 2019.

De Fru M-L., Deudon A., Dewaide L., Lefebvre C., Pacyna D., Pinon C., Watelet J-M. (2021) Réglementations et pratiques en matière de prévention et de gestion des risques de mouvement de terrain en zones sous-cavées en Wallonie et dans les Hauts-de-France : Inventaire et comparaison. Rapport de synthèse du projet RISSC du Module 5 – Activité 1.

LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE  
MODULE 3 – ACTIVITE 1

De Massary X. (1995). L'extraction et la fabrication du plâtre dans la région de Château-Thierry. Histoire de l'Aisne, tome 40, 54 p.

Denayer J., Pacyna D., Boulvain F. (2011). Le minerai de fer en Wallonie – Cartographie, histoire et géologie. ISBN 978-2-8056-0037-1.

Descamps F. et Dewaide L. (2022). Les mouvements de terrain : accidentologie des données disponibles et balises pour une base de données idéale. Rapport de synthèse du projet RISSC du Module 3 – Activité 4.

Desmaisons H. (1932). Les Souterrains-refuges du Quesnel. In: Bulletin de la Société préhistorique de France, tome 29, n°5, 1932. pp. 240-244. DOI : <https://doi.org/10.3406/bspf.1932.6003>

Devleeschouwer X., Goemaere E., Mullard C. (2006). Les carrières souterraines abandonnées d'ardoise et de coticule à Vielsalm et Bertrix, Géologie de la France, n° 1-2, 2006, pp. 135-140

Didier C., Watelet JM (2012). Guide méthodologique – Plan de prévention des risques naturels - Cavités souterraines abandonnées. INERIS.

Gély J.P., Hanot F. (dir) & coll. ( 2014). Le Bassin Parisien, un nouveau regard sur la géologie, Bulletin d'Information des Géologues du Bassin de Paris , Mémoire hors série, n°9, 228 p. ISBN 978-2-9550042-0-3

Georgieva T., Descamps F., Ajdanlijsky G., Vandycke S., Tshibangu JP (2022). Influence des exploitations de charbon profondes sur la stabilité des cavités souterraines. 11emes Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, JNGG, Lyon, 28-30 juin 2022.

Havron C., Quinif Y., Vandycke S. (2004). Tectonique et karstification : le cas de la région de Han-Sur-Lesse (Belgique), Karstologia, 43, 19-26.

Ineris (2015). Retour d'expérience sur les effondrements localisés miniers. Rapport DRS-15-149489-10509A. 2015.

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 0326/201

Lacquement F. (2001). L'Ardenne varisque. Déformation progressive d'un prisme sédimentaire pré-structuré, de l'affleurement au modèle de chaîne. Société Géologique du Nord, publication 21, 285 p.

Laurent A., Averbush O., Beccaletto L., Graveleau F., Laquement F., Capar L., Marc S. (2021). 3-D structure of the Variscan Thrust Front in Northern France : New Insights From Seismic Reflection Profiles. Tectonics, 40, 7, doi.org/10.1029/2020TC006642

Lorenz C., Pomerol C. (1989). Les roches au service de l'Homme. Bulletin d'information des Géologues du Bassin de Paris, Mémoire hors -série n°7, 297 p.

LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE  
MODULE 3 – ACTIVITE 1

- Mansy J.L., Everaerts M., De Vos W. (1999). Structural analysis of the adjacent Acadian and Variscan fold belts in Belgium and northern France from geophysical and geological evidence. *Tectonophysics*, p.99-116.
- Martinet V. (2006). Phase informative concernant les mines de fer du Nord-Pas-de-Calais. Rapport Geoderis-Ineris DRS-06-80079/R01.
- Mortimore R. (1990). Chalk or chalk ? In : Burland, J. Editor, Chalk : Proceeding International Chalk Symposium, Telford editons, p. 15-45.
- Mortimore R. (2014). Logging the Chalk. Whittles publishing, 357 p.
- National Coal Board (1982). The Coal Authority: Land Inspection Guide - Mine Entries.
- Parriaux A. (2009). Géologie. Bases pour l'Ingénieur, 2<sup>ème</sup> édition, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- Poulard F., Gombert P., Didier C., Chevrel S., Bellenfant G., Cottard F. (2017). Fermeture, reconversion et gestion de l'après-mine, Tome 7, Février 2017.
- Quinif Y., (1989). La notion d'étages de grottes dans le karst belge. *Karstologia*, 13, 41-49.
- Quinif Y., (2010). Fantômes de roche et fantomisation. Essai sur un nouveau paradigme en karstogenèse. *Karstologia*, mémoire 18, 190 p.
- Quinif Y., Baele J.M., Charlet J.M., De Putter T., Dupuis C., Rorive A., Vandycke S. (1997). A la recherche du karst perdu des craies du Bassin de Mons (Belgique). *Annales de la Société Géologique du Nord*, 5, 361-371.
- Quinif Y., Vandycke S., Vergari A.,(1997). Chronologie et causalité entre tectonique et karstification- l'exemple des paléokarsts du Hainaut (Belgique). *Bulletin de la Société Géologique de France*, 168,4, 463-472.
- Rafah F. (2015). Three dimensional modelling for the long term stability analysis of underground cavities, thèse de doctorat, Université des Sciences et Technologies de Lille
- Robaszynski F., Guyétant G. (2009). Des roches aux paysages dans le Nord-Pas de Calais. Richesse de notre patrimoine géologique. Conservatoire des sites naturels du Nord et du Pays-de-Calais et Société Géologique du Nord, 152 p.
- Vandycke S. (2002). Paleostress records in Cretaceous formations in NW Europe : extensional and strike-slip events in relationships with Cretaceous-Tertiary inversion tectonics. *Tectonophysics*, 357, 119-136.
- Vandycke S., Bergerat F., Dupuis C. (1991). Meso-Cenozoic faulting and inferred paleostresses in the Mons Basin. *Tectonophysics*, 192, 261-271.
- Vervoort A., Declercq P.Y. (2018). Upward surface movement above deep coal mines after closure and flooding of underground workings. *International Journal of Mining Science and Technology* 28 : 53–59. Doi: 10.1016/j.ijmst.2017.11.008

LES CAVITES SOUTERRAINES EN WALLONIE ET EN HAUTS-DE-FRANCE  
MODULE 3 – ACTIVITE 1

Vuidart I., Lambert C. & Hadadou R., 2009. Bassin ferrifère de l'Avesnois : étude des aléas miniers. Pôle Après-Mine Est, GEODERIS.

<https://www.nord.gouv.fr/content/download/13406/80300/file/Le%20rapport%20g%C3%A9oderis.pdf>

Le petit patrimoine rural : guide et recommandation. Parc naturel régional des causes du Quercy. [www.parc-causses-du-quercy.fr](http://www.parc-causses-du-quercy.fr)

Mine shafts: improving security and new tools for the evaluation of Risks- Projet RFCS-MISSTER.