

## Fascicule 1

# Les puits

## **(puits de mines, puits de carrières souterraines, puits à eau, puits perdants)**

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

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

## 1. PRÉAMBULE

### 1.1. Définitions principales

- *Puits* : conduit vertical ou sub-vertical destiné à puiser de l'eau, à rejeter des eaux usées en sous-sol ou mettant les travaux d'une exploitation souterraine (mine, minière ou carrière) en relation avec la surface. Synonymes dans le domaine minier : *bure* (province de Liège et de Namur, occasionnel dans le Hainaut) : Il s'agit d'un synonyme exact de « puits » en wallon liégeois. Introduit en France, il y désigne les puits intérieurs (« burquins »).
- *Puits à phosphate* : dénomination populaire des exploitations de phosphate, dont seuls les puits d'accès aux carrières souterraines étaient visibles et se manifestent en surface. Cette dénomination a été étendue à tout effondrement, y compris ceux présentant des caractéristiques très différentes car associés à d'autres types de carrières souterraines (marnières, carrières de silex). Elle s'est même étendue hors de la zone où existe la couche de phosphate.
- *Débourrage* : descente plus ou moins rapide de la partie supérieure des remblais d'un puits, sous l'effet d'une remontée de fontis ou d'un soutirage progressif en pied de remblai. Il génère un fontis cylindrique ayant la même section que le puits.
- *Eboulement* : chute de blocs et de matériaux meubles depuis le toit d'une excavation ou d'une paroi rocheuse. Les blocs et matériaux tombés au sol constituent les éboulis.
- *Effondrement* : déformation de la surface du sol marquée par des bords présentant un abrupt périphérique (surface de rupture).
- *Affaissement* : déformation progressive de la surface du sol, sans surface de rupture périphérique notable.
- *Fontis* : effondrement local du sol en forme d'entonnoir à bords raides, provoqué par l'éboulement progressif des terrains surmontant un vide souterrain. La remontée de vide laisse derrière elle une cheminée de fontis, parfois appelée « cloche ». La cinétique de remontée du fontis peut être plus ou moins lente. Le phénomène semble rapide vu depuis la surface, où le fontis se manifeste brutalement suite à l'effondrement de la voûte « en cloche » de la cheminée, au moment où elle arrive au raz de la surface du sol : c'est alors qu'on découvre le phénomène. Vu d'en dessous, il est souvent assez lent.
- *Carrière* : exploitation, à ciel ouvert ou par travaux souterrains de toute substance non listée comme « mine ». Selon le Code civil, les carrières étaient et sont à la libre disposition des propriétaires de surface. Une déclaration d'exploitation n'est nécessaire que depuis 1852 (par galeries) et 1899 (ciel ouvert) et un permis que depuis 1988. Elles appartiennent aux propriétaires de surface à leur aplomb et sont sous leur garde et leur responsabilité. Inactives, elles ne sont pas soumises à une surveillance administrative.
- *Concession (mine)* : une concession minière est le périmètre dans lequel un « concessionnaire » a le droit exclusif de rechercher et d'exploiter les substances listées à l'acte de concession (décret, arrêté royal). Il s'agit de substances à caractère économique stratégique (combustibles fossiles, minerais métalliques). L'acte de concession lui donne la propriété perpétuelle des substances listées et des ouvrages et travaux d'exploitation (l'ensemble constitue la « mine »). Une mine peut être souterraine ou à ciel ouvert. Elle constitue une propriété distincte de la surface. Les propriétaires de surface conservent la propriété de leur sous-sol sans limite de profondeur, à l'exception de la mine (gisement, chantiers et ouvrages). Les mines sont sous surveillance administrative spéciale. La concession peut être radiée au terme d'une procédure impliquant la sécurisation des ouvrages miniers, dont les puits. Les ouvrages traités sont couverts d'un « dispositif de sécurisation » (dalle de béton armé, grille, borne d'identification).

## 2. CONTEXTE TECHNIQUE ET HISTORIQUE (POUR INFORMATION).

### 2.1. Pourquoi exploiter par puits ?

Dès le néolithique, partout dans le monde, le creusement de puits est la règle. On estime à plus de 20.000 le nombre de puits à silex à Spiennes. On trouve également de ces puits en Hesbaye (Avennes). Les « puits à marne », pour l'amendement des terres, sont attestés dans le nord de la Gaule il y a 2.000 ans. Les agriculteurs de Hesbaye en ont creusé des centaines, sinon des milliers. Des puits à eau de 20 à 40 m de profondeur étaient innombrables partout en Wallonie.

Le creusement de puits est le moyen le plus direct et le plus économique d'accéder à un gisement non altéré sans évacuer des volumes importants de stériles, à une époque où la brouette remplaçait le camion. L'opération est très simple techniquement, à faible profondeur. Par ailleurs, creuser un accès en roche coûte cher, sans rapporter : il fallait aller donc au plus court jusqu'au gisement à exploiter.

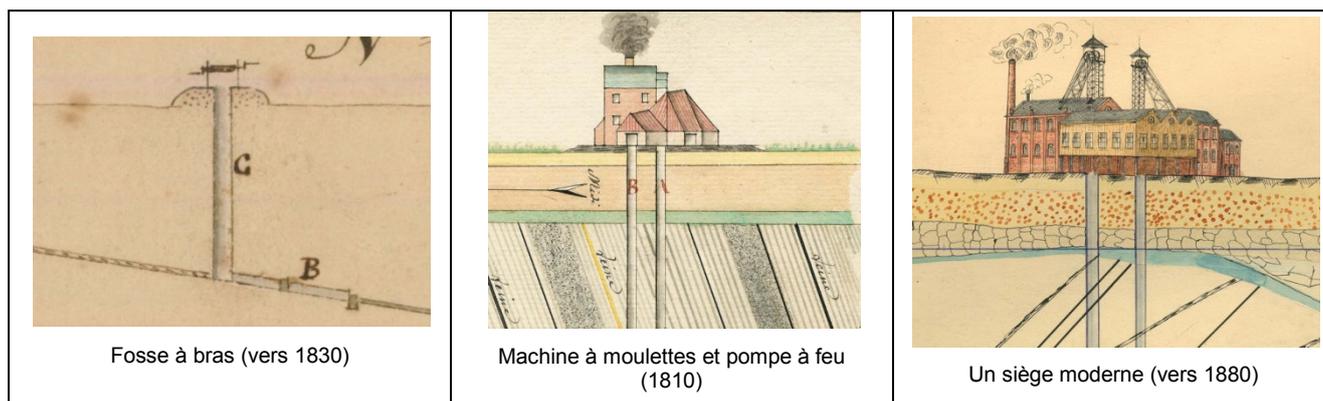
Les exploitations à flanc de coteau restent marginales, y compris à Liège (le droit d'exploiter la houille y étant limité à sa propriété, on ne pouvait y accéder que par puits si on ne se trouvait pas en bord de vallée). Dans le Couchant de Mons, les règlements de 1248 et 1251 limitent déjà le nombre de puits à charbon en activité sur chaque seigneurie et ne font pas état d'accès par galeries.

## 2.2. « Exploitations artisanales » vs « exploitations modernes ».

Les exploitations anciennes ne doivent pas être considérées trop vite comme "artisanales" et sous-estimées en importance. Jusque vers 1880, le choix de concentrer l'exploitation sur quelques grands sièges ou de la répartir sur de nombreux ouvrages plus modestes était motivé par les conditions de gisement, les investissements à consentir et une volonté de souplesse face à la demande.

Ainsi, les premiers charbonnages modernes, vers 1850, côtoyaient des dizaines de fosses actionnées par des machines à chevaux (« baritels » ou « machines à moulettes ») et des centaines d'autres équipées de simples treuils (« fosses à bras »). Ces fosses faisaient aussi partie d'ensembles à caractère industriel.

L'exploitation par fosses à bras est restée la règle pour les minières de fer jusque vers 1890. Sur de nombreuses concessions houillères, de Tamines à Engis, elles sont restées courantes jusque vers 1870. Les treuils mécaniques mais toujours manuels ont servi pour les phosphates, les marnières et les terres plastiques jusqu'à la dernière guerre.



## 2.3. « Exploitations clandestines » vs « exploitations officielles »

On oppose souvent les exploitations officielles connues à toutes celles, plus modestes, qui auraient été réalisées « sans autorisation », « clandestinement », « dans la cave », « pendant la guerre »,... Rien n'est plus faux. Il en existe mais il s'agit d'une situation marginale.

En pratique, depuis plus de 1000 ans, l'exploitation des mines de minerais métalliques nécessitent un octroi royal (« concession »). Celle des mines de houille dans les terres nécessitait un « octroi » (concession) du seigneur haut-justicier, qui en avait seul la prérogative. C'était le cas des comtés de Hainaut, de Namur et du Duché de Brabant ou du Domaine royal (le souverain agissant en qualité de haut-justicier sur son domaine).

Dans les terres relevant de la principauté de Liège (y compris les enclaves externes, comme Jumet), le droit d'exploiter la houille appartenait jusqu'en 1793 aux propriétaires de surface. Ceci y explique le nombre impressionnant de puits peu développés (moyens financiers limités et impossibilité d'extension chez les voisins). Sous le régime de la loi sur les mines de 1791 (en vigueur de 1793/4 à 1810), les propriétaires de surface pouvaient exploiter librement les mines, même en territoire concédé, jusqu'à 100 pieds de profondeur.

Partout, l'exploitation des ressources du sous-sol « non mines » était à la libre disposition des propriétaires de surface, moyennant parfois une simple autorisation locale ou le respect d'usages, de coutumes et de lois. Ce fut le cas pour les carrières souterraines jusqu'en 1852. Et encore, il ne s'agissait, jusqu'en 1935, que d'en déclarer l'existence en vue d'y surveiller les travailleurs. Des conditions d'exploiter et la tenue de plans n'y ont été imposées qu'en 1935. Un permis n'est requis que depuis 1988.

De tous temps, les gîtes de minerais de fer exploitables à ciel ouvert ou par travaux souterrains sans développement étaient à la libre disposition des propriétaires de surface. C'était le régime des « minières (1793 – 1988).

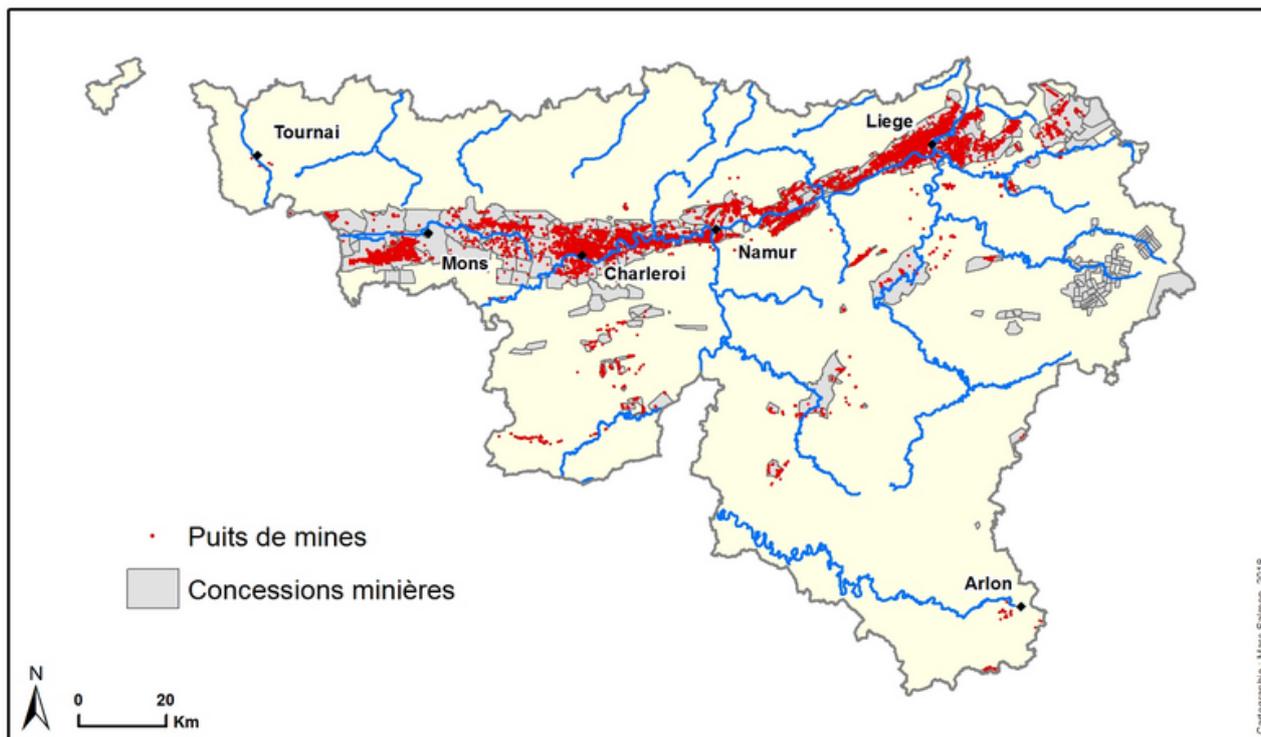
Toutes ces exploitations, tant de mines que de carrières étaient donc « officielles » mais sans laisser de traces administratives.

## 2.4. Aperçu de l'importance du champ d'application

### 2.4.1 Puits de mines (houille, minerais métalliques, schistes alunifères, fer)

Près de 15.000 puits et issues de mines ont déjà été recensés en Wallonie, pour la période 1780–1984. Si on considère la période écoulée depuis le milieu du 10ème siècle, leur nombre est largement supérieur à 50.000. Pour le seul Couchant de Mons, on connaît plus de 1.100 puits postérieurs à 1780 et G. Descamp en relevait autant dans les archives pour les sept siècles précédents.

L'analyse des images LIDAR (SPW, 2014) montre des milliers, sinon plus, de petits puits, dont les entonnoirs de tête sont toujours visibles dans les zones boisées, depuis Bernissart jusqu'à la frontière allemande, ainsi qu'au sud de la Meuse et de la Sambre.



Carte montrant la densité et la localisation des puits et ouvrages miniers en Wallonie (Service géologique de Wallonie, 2018)

### 2.4.2 Puits sur carrières souterraines.

La majorité des carrières souterraines n'était accessible que par puits. C'est le cas pour presque toutes les marnières (types « Hesbaye » et « Brabant wallon »), carrières de craie à chaux, carrières de silex néolithiques (20.000 puits à Spiennes) ou modernes (type « Hesbaye » pour l'empierrement et la construction), carrières de grès tertiaires du Brabant wallon (plus de 200 puits autour de Gobertange), carrières de « marbres », de calcaires, de grès ou d'ardoises ou pour les carrières de terres plastiques du Condroz.

Le cas des « puits à phosphate » de Hesbaye est particulier : il s'agit des puits d'extraction de carrières souterraines étendues de phosphate de chaux. Ces exploitations, menées par parcelles, étaient desservies par des puits de faible section disposés selon une maille régulière (20 à 30 m d'écart). Les 3.800 parcelles recensées doivent représenter plus de 20.000 puits.

Dans le Hainaut, on a exploité des couches de terres plastiques au moyen de puits droits ou de puits-bouteilles (base élargie) de 3 à 5 m de diamètre. Le puits était en fait une sorte de carrière à ciel ouvert de faible superficie et de 10 à 20 m de profondeur.

### 2.4.3 Puits sur gîtes de surface de minerais de fer

Nous considérons ici les gîtes de minerais de fer de surface (minerais oxydés et hydroxydes, présents comme « chapeau de fer » de gîtes métalliques, comme gîtes de substitution au contact karstifié de formations calcaires et détritiques ou comme partie altérée superficielles de couches de minerais de fer sédimentaires). Ces gîtes ont en général été exploités sous le régime des « minières ».

L'exploitation était menée par des excavations à ciel ouvert et/ou par des puits de très faible section, situés à quelques mètres les uns des autres. De très courtes galeries permettaient d'extraire le minerai valorisable dans un rayon de quelques mètres. Un gîte pouvait être mis à fruit par des dizaines, voire des centaines de ces petits puits. Leur nombre total en Wallonie doit être supérieur à 10.000.

## 2.5. Sources et précision de la localisation.

### 2.5.1 Puits de mines.

Les mines sont soumises à tenue de plans (1/1.000) depuis 1802. Ces plans sont dressés sur fond cadastral corrigé par des cheminements topographiques. Depuis 1823 environ dans le Couchant de Mons et 1884 dans toute la Belgique, ces plans étaient référencés dans un système de coordonnées « mines » (origine au Beffroi de Mons, axe des Y vers l'ouest et axe des X vers le nord). A partir de 1884, la projection Bonne est utilisée, puis, à partir de 1940-47, la projection Lambert.

Jusqu'en 1993, il n'existait que quelques travaux et recensements de puits dans certains arrondissements miniers (listes et cartes de G. Burton pour les bassins du Couchant et du Centre, avec les puits officiellement mis hors service de Charleroi, liste et cartes d'Adant pour Namur), toutes en coordonnées mines.

La procédure de retrait des concessions, dès 1992, a permis d'obtenir des listes « exhaustives » pour une quarantaine de concessions. Les données étaient extraites des plans miniers par les concessionnaires et converties en coordonnées Lambert 72/50. Parfois ces coordonnées, non listées, ont dû être lues sur les plans à 1/10.000 annexés aux dossiers. A partir de 1999/2000, des relevés au GPS ont accompagné les travaux de terrain.

L'importance d'une politique de prévention des risques résiduels « post-retrait » est apparue évidente dès 1994. Elle nécessitait aussi des données complètes et précises. Un programme en ce sens a été lancé en 1997. Après une première phase de test en 2001-2, une mission a été confiée, de 2006 à 2011, à l'Institut scientifique de Service public (Colfontaine). Elle visait à numériser un lot de 9 à 10.000 plans miniers et à en extraire les positions des puits et issues par géoréférencement local (une position par plan : un même puits peut ainsi avoir plusieurs occurrences). En pratique, environ 12.000 plans ont été numérisés.

En 2011, 2016 et 2017, l'ISSEP a été chargé de valider les positions relevées. Il est impossible, hors repérage et mesurage (10% des 15.000 puits et issues), de déterminer quel est la position exacte et même si elle existe. C'est pourquoi, en fonction de la qualité des plans et du géoréférencement, les occurrences des ouvrages ont été classées en occurrences :

- acceptées (positions équiprobables, cohérentes sur plan ou position mesurée sur terrain) ;
- archivées (positions cohérentes sur plan mais redondantes au sein d'un lot d'occurrences dense et compact, position d'un plan moins précis que les autres ou suite à la découverte du puits et à son levé GPS) ;
- refusées (plans aberrants, géoréférencements impossibles, objets autres qu'un puits,...).

Les résultats de ce travail ont été comparés aux listes d'avant 2005. Les occurrences liées à ces listes ont été classées de la même manière, avec en outre un « archivage technique » pour les doublons manifestes de mêmes sources.

Chaque occurrence est également caractérisée par sa précision, liée à l'échelle d'origine du plan, à sa qualité, à la qualité du géoréférencement ou du relevé sur terrain. Ces précisions sont, à la base, de 1 m pour les puits levés, 5 m pour les puits issus de plans à 1/1.000, de 20 m pour ceux issus des plans de demande et mutations de concession à 1/10 000 et de 50 à 100 m pour d'autres sources. Des variantes ont parfois été fixées par l'opérateur pour s'ajuster au mieux à la source.

Chaque puits et issue a reçu un numéro d'identification unique (six chiffres significatifs : les trois premiers étant le numéro de la concession, les trois derniers un numéro d'ordre). Chaque objet numéroté peut avoir une ou plusieurs positions.

En parallèle, la Région a mandaté l'ASBL Service d'Etude et de Recherches des Ouvrages souterrains, de 2005 à 2012, pour compléter la base de données géographiques de l'ISSEP en y associant les données techniques, administratives, géologiques et historiques à chaque ouvrage pour lequel de telles données étaient disponibles dans les sources consultées.

L'ensemble de ces données constituent la BD PIM (Base de Données Issues et Puits e Mines). Cette base de données évolue au fur et à mesure de travaux de terrain (retrait des concessions, découvertes en cours de travaux, accidents,...).

Seuls les puits validés comme « acceptés » sont utilisés pour la cartographie des aléas associés à ces ouvrages.

Cette cartographie a été traduite en « zones de consultation » reprenant les zones présentant un aléa de mouvement de terrain et où est fortement conseillée la consultation de la Direction des Risques industriels géologiques et miniers de la DGO3 (risques miniers et géologiques) ou de la Cellule Environnement – Aménagement de la DGO4 (risques naturels et contraintes géotechniques).

Elle est accessible en ligne sur le site du Service géologique de Wallonie (<http://geologie.wallonie.be>), sous l'application cartographique « Thématiques Sous-sol » et sur le Géoportail de Wallonie (<http://geoportail.wallonie.be/walonmap>), couche « Zones de consultation sous-sol ».

### 2.5.2 Zone de présence possible d'anciens puits de mines

Il apparaît des données anciennes disponibles et des constats de terrains que les puits et issues repris sur les plans d'après 1802 (1822-23 en pratique), ne sont qu'une partie de ceux percés depuis au moins le milieu du 10<sup>ème</sup> siècle (pour la houille).

Dans les bassins du Couchant de Mons et du Centre (Descamp, 1878), on décompte environ 1.100 puits antérieurs à 1800, soit autant que pour la période qui suit. Dans le bassin de Charleroi, on doit aussi compter 2 à 3 fois plus de puits que ceux connus. Enfin, dans la Basse-Sambre, à Namur, Andenne et surtout dans le Bassin de Liège, ce ratio passe à 3 à 5 : il y est parfois impossible de retrouver le puits mentionné sur un plan au milieu de ses semblables.

Il a donc été suggéré, en 2010, de considérer des « zones de présence possible d'anciens puits non connus sur plans », sur base des données géologiques (affleurement des veines et des couches et gîtes métallique et recouvrement par des formations difficiles à traverser par les Anciens). La présence d'un puits est partout possible dans ces zones.

Ces puits anciens ont moins de 2 m<sup>2</sup> de section, sauf dans les bassins du Couchant de Mons et du Centre, où ils atteignent 3 m<sup>2</sup> de section depuis le 17<sup>ème</sup> siècle (puits rectangulaire). Leur profondeur, sauf dans ces derniers bassins, est limitée par le niveau des galeries d'exhaure prises au niveau des plaines alluviales voisines (Sambre, Piéton, Meuse, Vesdre, Hoegne,...), soit 30 à 120 m.

### **2.5.3 Puits de carrières souterraines**

La tenue des plans de carrières souterraines n'est obligatoire que depuis 1935. Les carrières de ce type étaient déjà très peu nombreuses à cette époque.

Une cartographie des puits des carrières pour lesquels des plans d'exploitation ou des topographies existent a été réalisée, parallèlement au géoréférencement par le Service géologique de Wallonie de ces plans et topographies. La précision, comme celle des calages est de 1 à 5 m en général, parfois jusqu'à 10 m.

Il existe de très nombreux puits de forte section sur des carrières de « marbres » ou d'ardoises, qui ne sont pas connus mais peuvent encore être visibles sur terrain.

### **2.5.4 Puits d'exploitations superficielles de minerais oxydés.**

Les puits – chantiers d'exploitation des gîtes superficiels de minerais de fer oxydés sont très nombreux, généralement groupés par paires, avec un champ d'action de quelques mètres autour. Leur section est très faible (1 à 1,5 m<sup>2</sup>).

Il existe des plans de concessions les mentionnant (Bolozy-Grancelles, Boninne) mais il est peu probable qu'ils aient été reportés avec précision. Dans certains cas (Fraire), il est manifeste qu'ils ont été dessinés à la volée pour montrer le style d'exploitation. En outre, ces gîtes, exploités depuis des siècles, présentent des traces de très nombreux puits visiblement antérieurs aux plans du 19<sup>ème</sup> siècle.

C'est pourquoi il est proposé de considérer la présence de ces puits non pas individuellement mais au travers de l'extension de l'enveloppe de l'exploitation dans le gîte, répondant à une zone de caractéristiques géotechniques médiocres. En effet, le gîte, hétérogène au départ, souvent d'origine karstique, a été troué et remué dans la masse, avec des remblais pris in-situ. Les puits, remblayés et affaissés, ne sont qu'un aspect de cette masse déconsolidée.

## **2.6 Description des objets**

### **2.6.1 Fonction**

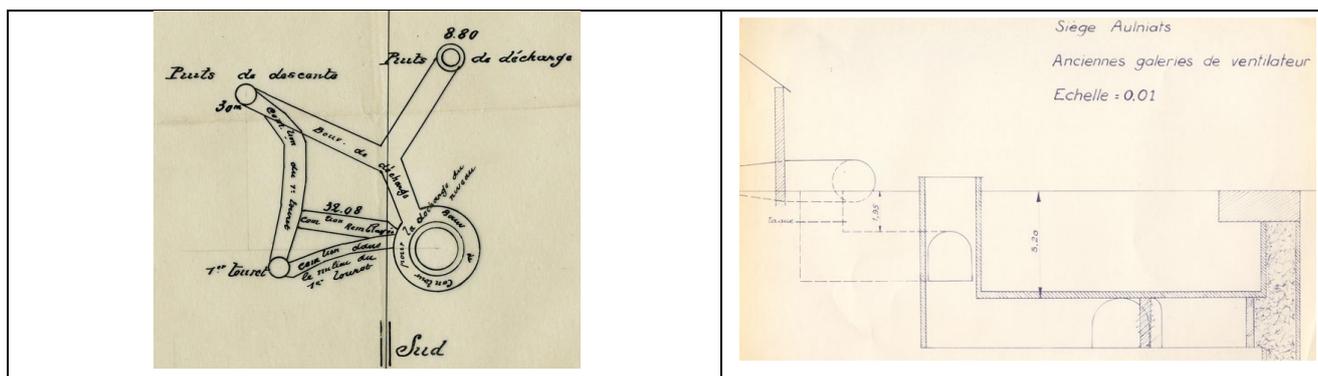
Les puits à eau servent à puiser ou pomper l'eau d'une nappe souterraine. Ils sont fréquemment équipés de galeries de drainage plus ou moins longues à leur pied. Ils sont extrêmement nombreux en zone habitée avant la généralisation de l'adduction d'eau au 20<sup>ème</sup> siècle.

Les puits perdants, aujourd'hui interdits, sont des ouvrages de petites dimensions destinés à évacuer, par infiltration, les eaux usées ou pluviales en sous-sol. Ils étaient très nombreux hors des zones disposant d'un réseau d'égouttage.

Les puits des exploitations souterraines pouvaient remplir plusieurs fonctions : extraction, translation du personnel (« puits aux échelles »), exhaure (puits de « pompe à feu »), aérage (« airage » avant 1860). Certains de ces puits n'avaient que des fonctions techniques limitées (descente de matériaux de remblais, puits de cliquage sur galerie d'exhaure, creusement et entretien de galeries d'exhaure ..).

Parfois, un puits unique remplissait les fonctions principales, alors que certains sièges pouvaient compter plusieurs puits ayant une fonction propre. Un même puits peut parfois être divisé par des cloisons en bois ou en maçonnerie (« partibures ») en deux ou trois "sous-puits" à usage particulier. Il s'agit alors souvent de puits rectangulaires fort allongés. On les retrouve surtout en région liégeoise.

Le puits de retour d'air (« puits d'aérage » ou « puits d'airage ») est fréquemment raccordé, via une courte galerie et un touret à une cheminée en surface. Celle-ci était destinée à créer le tirage par différence de niveau avec le puits d'entrée d'air (en général le puits d'extraction). A partir de l'utilisation des ventilateurs mécaniques (1840), l'entrée de celui-ci (aspiration) est raccordée au puits de retour d'air via une courte galerie profilée (galerie de ventilateur). L'orifice du puits était alors couvert d'un plancher ou d'une voûte maçonnée pour forcer l'air vers la cheminée ou le ventilateur. Des trappes dans le plancher permettaient de l'utiliser pour l'extraction.



Système de galeries de liaison autour d'un puits de retour d'air (à touretts à gauche, avec ventilateur mécanique à droite)

### 2.6.2 Profondeur

La profondeur des puits à eau est liée à celle de la nappe (le plus souvent phréatique) et au débit à extraire. Pour les puits creusés de main d'homme, on connaît des profondeurs de quelques mètres à une centaine de mètres. Des puits de 20 à 40 m sont très courants.

La profondeur des puits perdants est assez modeste (quelques mètres).

La profondeur des puits de mine varie de quelques mètres à plus de 1.450 mètres. Elle était liée au gisement et aux moyens techniques : les puits atteignaient déjà 200 m de profondeur dans le Borinage à la fin du 17<sup>ème</sup> siècle (usage de machines à chevaux depuis le 16<sup>ème</sup> siècle), mais rarement plus de 50 m, 150 ans plus tard, entre Tamines et Huy/Engis.

La profondeur des puits de carrières souterraines varie de quelques mètres à 35-40 m dans la majorité des cas. En effet, ces carrières n'exploitaient qu'au-dessus du niveau de la nappe phréatique, l'exhaure étant trop coûteuse. Toutefois, pour des exploitations plus avec exhaure, elle peut être plus importante (jusqu'à 190 m dans les ardoisières ou 80-90 m pour des carrières de marbres). Dans les exploitations de terres plastiques du Condroz, ils peuvent atteindre près de 100 m de profondeur, allant chercher le pied de la poche.

Les puits de minières de fer, desservi par un treuil à bras (« bourriquet ») font de quelques mètres à 90 m de profondeur. Ils ont souvent moins de 50 m.

D'une manière générale, la profondeur limite avec un treuil à bras de 1 m de long et 0,3 à 0,4 m de diamètre est d'une cinquantaine de mètres. Elle est liée au fait que la corde de 2 cm de diamètre, enroulée sur un seul lit, va passer, avec le panier suspendu, d'un bord à l'autre du puits au cours de l'enroulement/déroulement. Le seul moyen d'approfondir est d'augmenter le diamètre du puits ou d'augmenter le diamètre du tambour, ce qui augmente l'effort à fournir par le ou les tourneurs à la manoeuvre.

**Note :** pour les puits anciens dont la profondeur n'est pas connue, y compris pour les puits non repris sur plans des « zones de présence possible d'anciens puits », il est possible de fixer une profondeur maximale liée à la profondeur du gisement exploité ou à la cote probable de la ou des galeries d'exhaure qui asséchaient cette tranche du gisement.

### 2.6.3 Section

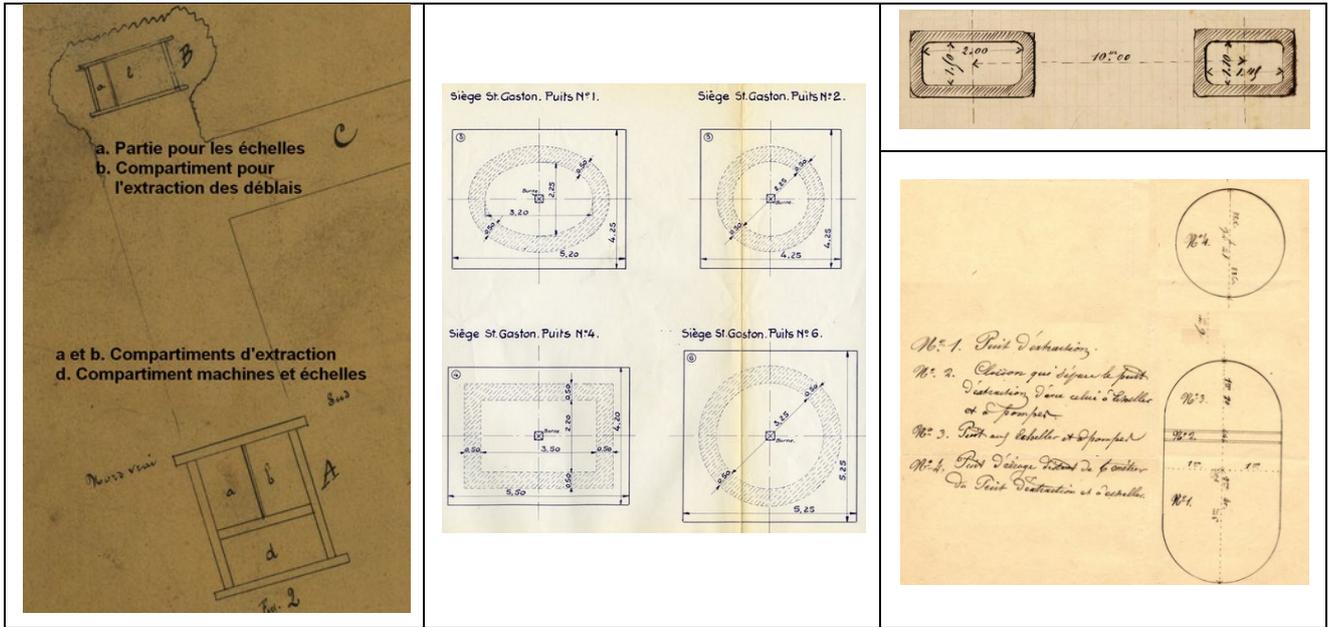
Les puits à eau ou perdants sont souvent de section circulaire ou carrée, comprise entre 0,4 et 2 m<sup>2</sup> (0,7 à 1,5 m de diamètre).

Les puits de mines présentent des sections variables : circulaires, mais plus souvent rectangulaires à angles arrondis, ou ovales. L'importance de la section varie surtout selon le type d'exploitation :

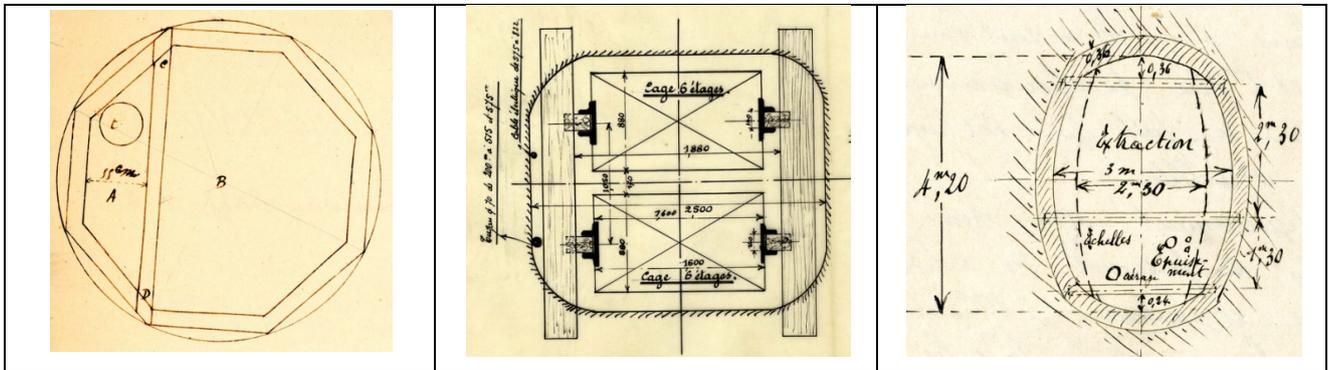
- mines de houille : de 1,5 m<sup>2</sup> à 30 m<sup>2</sup> (moyenne : 3 à 12 m<sup>2</sup>) ; en Pays de Liège, avant 1800, la section des puits est circulaire, carrée ou rectangulaire et de 2 à 3 m<sup>2</sup> ; dans le Couchant de Mons et le Centre, elle est rectangulaire à coins arrondis (2,3 x 1,4 m) ou circulaire et de 3 m<sup>2</sup> (utilisation de manège à chevaux pour l'extraction).
- mines métalliques : de 1 m<sup>2</sup> à 5 m<sup>2</sup> (mais jusqu'à plus de 50 m<sup>2</sup> parfois pour les puits de la fin du 19<sup>ème</sup> siècle) ;
- mines et exploitations libres de fer oligiste, entre Les Isnes et Huy, les sections sont assez importantes (9 à 30 m<sup>2</sup>) ;
- mines (et minières) de fer oxydé, elle est de moins de 1 m<sup>2</sup>.

**Note : section par défaut.** En l'absence de données, pour des puits antérieurs au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, y compris pour les puits non connus sur plans (« zones d'anciens puits »), on considérera les sections suivantes par défaut, d'après la typologie de terrain :

- mines de houille des bassins du Couchant de Mons et du Centre : 3 m<sup>2</sup> ;
- mines de houille des bassins de Charleroi, Basse-Sambre, Namur, Huy-Andenne, Liège, Herve et Condroz : 2 m<sup>2</sup> ;
- mines métalliques : 2 m<sup>2</sup>.



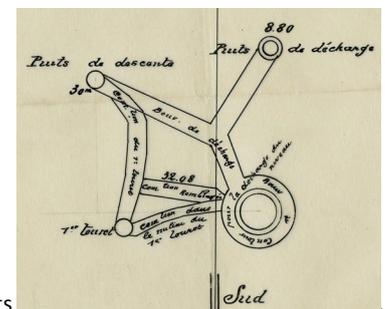
Diverses sections de puits de mines d'après des documents d'archives



Diverses sections de puits de mines d'après des documents d'archives

Tous les puits ne sont pas des conduits verticaux ou d'une seule section :

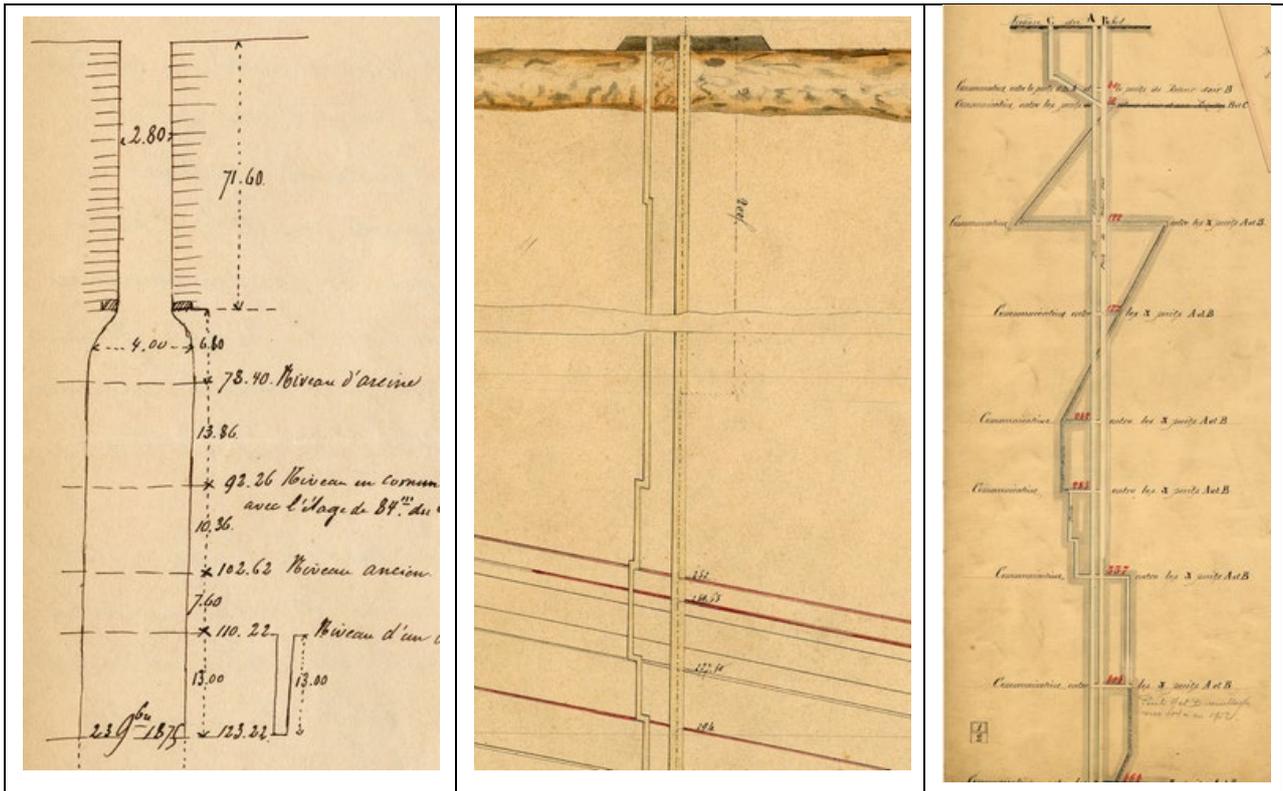
- un puits peut avoir des sections différentes par tronçons : ovale en surface, circulaire à partir d'une certaine profondeur, puis encore plus bas, circulaire avec un plus grand diamètre ;
- on trouve des puits inclinés ménagés en veine ou dans les remblais d'une veine (puits de retour d'air : Liège et Pays de Herve) ;
- dans le Couchant de Mons, il est fréquent que les puits de retour d'air ou aux échelles soient constitués de sections décalées les une par rapport aux autres et jointes par de courtes galeries ou des chambres (« puits à marteaux »), chacune des sections s'appelle un touret (1er touret, 2ème touret, ...). Parfois, la liaison entre deux tourets est assurée par un conduit laissé dans les remblais d'une veine exploitée ou par une galerie inclinée en veine (« montage »).



Liaisons entre puits et tourets

Pour les carrières souterraines, on peut considérer les sections suivantes :

- type « marnières » de Hesbaye ou du Brabant wallon, « pierres de sables » : circulaires, de 1 à 2 m<sup>2</sup> de section ;
- type « phosphate de Hesbaye » circulaires, parfois carrés, de 1 à 1,5 m de section ;
- type « carrières de craie à chaux », circulaires (Hainaut), de l'ordre de 2 m<sup>2</sup> de section ;
- type « craie phosphatée », circulaires de 3 à 5 m<sup>2</sup> de section (moins de 1 m<sup>2</sup> pour les puits d'aérage naturel) ;
- type « terres plastiques du Condroz », circulaires ou carrés, de 2 à 3 m<sup>2</sup> de section ;
- type « puits à terres plastiques » du Hainaut, circulaires, de 7 à 20 m<sup>2</sup> de section ;
- type « carrières de marbres », carrés ou rectangulaires, de 9 à 30 m<sup>2</sup> de section (extraction des blocs).

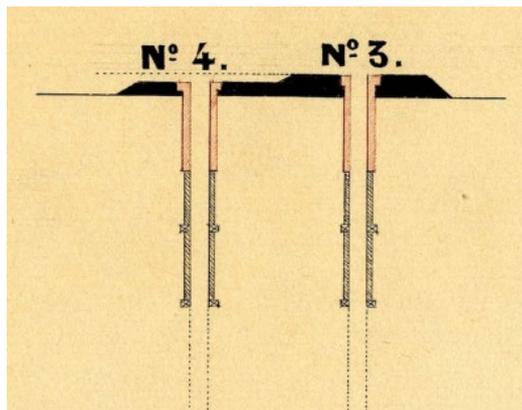


Puits avec changement de section

Puits à marteaux (à tourets et à tourets et montages en veine)

#### 2.6.4 Revêtement

Les puits étaient fréquemment laissés à parois nues dans les roches cohérentes. Dans les terrains meubles, ils étaient boisés ou revêtus de maçonnerie. La maçonnerie est de rigueur dès les années 1830-40 sur les sièges d'exploitation centralisés afin de pérenniser l'investissement. Très souvent, et parfois jusqu'à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, les puits de faible section n'étaient revêtus que de paille ou de fascines plaquées contre la roche par des anneaux de bois élastiques (« aires »). Au passage des niveaux aquifères, on réalisait un revêtement solide et étanche (« cuvelage », en bois, maçonnerie, béton ou fonte), destiné à retenir les eaux sous pression hydrostatique.



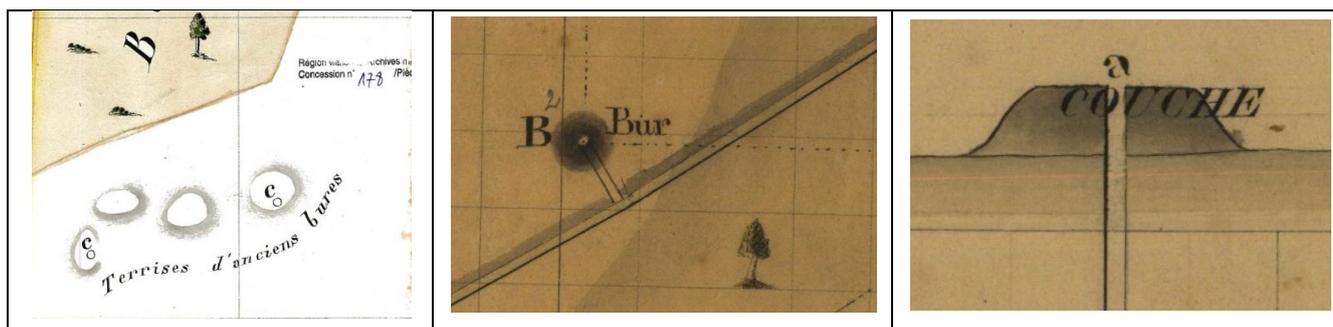
Cuvelage sous un revêtement de maçonnerie

#### 2.6.5 Comportement dans le temps et sécurisation.

Hormis les plus récents et les plus importants, les puits étaient rarement conçus pour durer et nécessitaient un entretien quasi quotidien. Dès leur abandon, ils n'ont cessé de se dégrader rapidement (un boilage pourrit totalement en moins de quelques années).

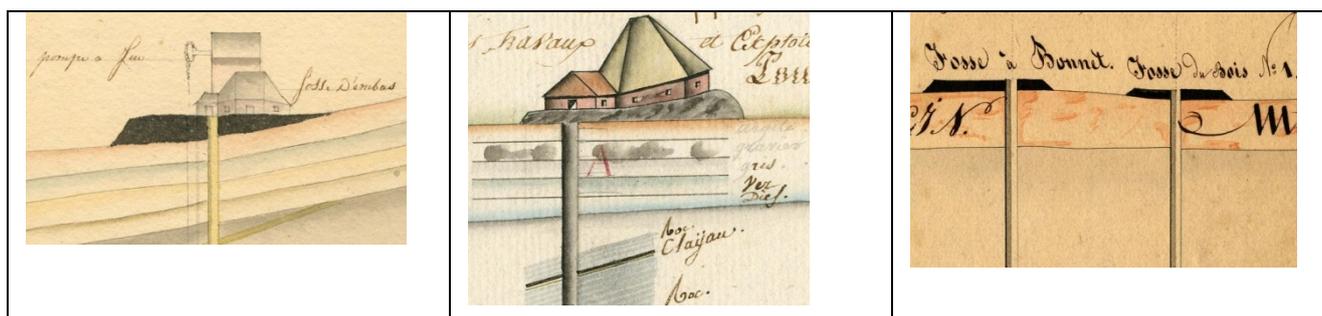
Il est à noter que les puits anciens s'ouvrent au milieu ou au pied d'un terrisse (« terrisse à Liège et Namur, « terrÿ », « terris » ou « terrie » dans le Hainaut, qui donnera « terril », attesté dès 1837 à Mons). Ce terrisse est constitué des pierres de fonçage du puits et du peu de pierres du fond inutilisées dans les remblais des chantiers souterrains (« tailles »).

Les règlements et les contrats avec les propriétaires des terrains, sous l'Ancien Régime ou après, imposaient généralement de remblayer les puits et d'aplanir les terrisses pour remettre les terrains en état.



Diverses représentations de terrisses sur des plans anciens, avec le puits au centre ou en bordure.

Les petits monticules de « fosses à bras » sont souvent bien conservés en milieu forestier, avec l'entonnoir de tassement à l'aplomb du puits. Les terrisses-plateaux qui supportaient les manèges à chevaux (« baritels », « machines à moulottes ») sont plus rares.



Terrys plateaux du Hainaut portant une machine à moulottes (manège)

Terrys plateaux d'anciennes fosses

Le volume d'un terrisse informe sur l'importance du puits et des travaux. Il indique aussi si le puits a été remblayé ou non avec les pierres de son terrisse (terrisse intact ou entamé). La présence d'un terrisse est l'indice sérieux de la présence d'un puits : une dépression en entonnoir en marque l'emplacement.

### 3 MANIFESTATIONS EN SURFACE DES PUIITS

Aujourd'hui, on n'aperçoit plus aucune trace en surface de la majorité de ces puits, hormis :

- les puits de mines qui ont fait l'objet de mesures de sécurisation (remblayage, dalle de béton armé avec regards de contrôle et de complément de remblai et borne d'identification). Ces travaux ont été réalisés, depuis le début du 20ème siècle environ, à l'initiative des concessionnaires miniers ou sur ordre de l'Administration (au travers d'un arrêté de la Députation permanente provinciale ou à l'occasion de la sécurisation de la concession préalablement à son retrait). Il s'agit de 1.500 à 2.000 puits ;
- les puits de mines anciens (antérieurs à 1860-70 et remontant parfois au milieu du Moyen-Âge) et les puits de minières de fer dont on voit les traces en entonnoir, au centre ou non de leurs petits terrisses, dans les endroits préservés depuis des interventions humaines (bois, forêts, friches « naturelles »). Leur alignement sur les veines de houille ou les filons métalliques ou de fer les fait généralement désigner par le public comme « trous de bombes ». L'entonnoir correspond au tassement des remblais au cours du temps.

Dans les zones remaniées par l'activité humaine (zones agricoles, urbaines), ces puits ne se rappellent à nous que par des effondrements souvent après des périodes de fortes précipitations ou suite à des infiltrations d'eau d'origine anthropiques (de la fuite aux réseaux d'adduction ou d'évacuation des eaux usées ou pluviales jusqu'au déversement au sol de descentes de gouttières, même d'abris de jardin, en passant par le déversement au sol de trop-plein de citernes...). Ces infiltrations, régulières ou accidentelles provoquent l'évolution rapide de débousses ou de remontées de fontis au sein de la colonne de remblai.

Si les accidents sur puits restent peu nombreux (8% des 130 interventions archivées depuis 2015 par la CACEff, Cellule Avis et Conseils Effondrements du Service public de Wallonie), on peut considérer qu'un nombre équivalent de puits sont découverts à l'occasion de terrassements, fortuitement ou suite à des recherches imposées dans un permis d'urbanisme, en application d'un avis remis par la Cellule Mines de la Direction des Risques industriels, géologiques et miniers du SPW.

La plupart des effondrements et des puits découverts sont remblayés très rapidement, avant de pouvoir évoluer vers un cratère secondaire d'allure conique sur pointe et de plus large extension que le cratère primaire, quasi cylindrique.

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

L'aléa de mouvement de terrain à l'aplomb d'un puits peut aller de l'aléa de tassement léger des remblais à l'aléa d'affaissement mais surtout d'effondrement. Il est lié à la présence d'un volume de vide franc ou diffus dans les remblais du puits ou à leur base.

Ce volume de vide peut être préexistant ou résulter lui-même de la migration des remblais vers un vide situé hors de la colonne du puits.

### 3.2 Origine possible du vide disponible

Dans un puits, le volume de vide disponible à l'origine d'un mouvement de terrain en surface peut résulter :

1. du tassement progressif des remblais du puits sous l'effet de leur propre poids et/ou d'infiltrations d'eau. Il s'agit alors de micro-vides qui vont progressivement s'écraser jusqu'à ce que l'effet se fasse sentir en tête de la colonne de remblais. Il en résultera une descente plus ou moins importante de ces remblais au sein de la colonne du puits. Cet effet se manifestera en surface soit par un entonnoir de tassement, soit par un effondrement cylindrique ou prismatique, à parois verticales, plus ou moins marqué. Ce tassement cesse dès que la colonne de remblai est compactée ;
2. de la remontée (remontée de fontis canalisée dans la colonne du puits) d'un vide préexistant vers la surface :
  - suite à la ruine et à la rupture d'un plancher établi en profondeur dans un puits et couvert d'une colonne de remblais ;
  - suite à l'écroulement d'un « ancrage » ayant retenu les remblais lors de la phase de remblayage (puits non déséquipés au préalable : des éléments de guidonnage ou des tuyauteries s'arrachent et créent un bouchon) ;
  - suite à l'écoulement des remblais au niveau d'une galerie, créant une « bulle de vide » qui remontera dans le puits. La quantité de remblais qui peut s'écouler dans la galerie est imitée par la section de celle-ci, par leur pente de talus naturelle et par leur foisonnement ;
  - suite au soutirage des remblais vers la galerie de pied par des infiltrations d'eau au travers de la colonne de remblai (le cas d'un soutirage sous l'effet du battement de la nappe dans les carrières de phosphate reste marginal, du fait de leur position au-dessus du niveau de la nappe) ;
3. d'un vide préexistant à la partie supérieure d'un puits (puits non remblayés, volontairement ou « par oubli », remblais incomplets ou remblais descendus dans le passé suite à un des phénomènes visés aux points 1 et 2).

**Note :** contrairement aux simples planchers ou « hours », les plate-cuves sont des bouchons de maçonnerie et de béton très solides et soignés destinés à retenir les eaux pouvant s'écouler de la partie supérieure de la mine ou des morts-terrains vers les travaux en cours plus bas, via un puits mis hors service. La plate-cuve est conçue pour résister à la pression hydrostatique des eaux qui pourraient s'accumuler à la partie supérieure de puits. Le poids de la colonne de remblais n'est repris que partiellement par la plate-cuve, une partie étant reprise par le frottement de la colonne de remblais contre le revêtement. Ces plates-cuves peuvent donc être considérées comme très solides à long terme.

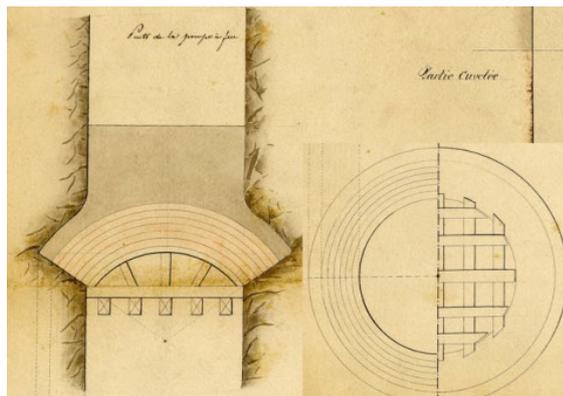


Plate-cuve du puits n°19 de Fosse du Bois, à Flénu (1869, SPW)

### 3.3 Allure des cratères d'effondrement primaire et secondaire

En pratique, l'effondrement primaire reste circonscrit à la section du puits dans ses parties en pleine roche ou revêtues. En pratique, lorsque la partie supérieure du puits n'est pas revêtue et traverse des terrains meubles, les quelques mètres supérieurs (on considérera en général 3 m) peuvent présenter un léger évasement (pente d'environ 85°) dû à l'arrachage des terrains lors de l'accident. Il peut se maintenir tel quel plus ou moins longtemps, selon la cohésion des terrains meubles superficiels et l'exposition ou non à l'eau (infiltrations, ruissellement, accumulation) et aux intempéries.

Le cratère secondaire résultera de l'absence de traitement du cratère primaire. En effet, s'il n'est pas remblayé rapidement, il évoluera vers un cône ou un tronc de cône renversé dont le volume et la pente des talus dépendront du volume du cratère primaire et de l'épaisseur et des caractéristiques géotechniques des formations meubles superficielles (en première approximation, on peut prendre pour pente du talus l'angle de pente de talus naturel).

La cinétique d'évolution d'un effondrement depuis l'effondrement prismatique initial jusqu'au cône ou tronc de cône renversé final, peut être très variable. Elle dépendra essentiellement des caractéristiques géotechniques des formations meubles et du contexte (infiltrations, écoulement d'eau, exposition aux intempéries, vibrations, ...).

En milieu urbanisé, cette évolution est très rare. En effet, le premier mouvement de sol est rapidement traité pour empêcher son extension. Il s'agit de cas limites rencontrés en terrain agricole ou forestier.

En cas de descente continue de la colonne de remblais (tassement, soutirage), l'effet en surface se manifesterait progressivement, en commençant par un affaissement qui s'approfondirait pour éventuellement passer à un effondrement franc progressif de section équivalente. Ici aussi, le problème sera sans doute traité bien avant d'évoluer vers un effondrement...

### 3.4 La « zone non aedificandi » de 25 m de rayon

Depuis 1973, l'Administration des Mines puis la Région ont recommandé une zone *non-aedificandi* de 25 m de rayon autour des puits de mines. Pour un cône d'effondrement de ce rayon, avec une pente de talus naturel de 35°, on trouve un volume de 11.454 m<sup>3</sup>, pour une profondeur au centre de 17,5 m. Le cône d'effondrement n'atteindra cette taille que :

- si le volume de matériaux, foisonnés, peut trouver de la place pour se déverser dans le puits ;
- si l'épaisseur des terrains meubles de recouvrement est d'au moins 17,5 m.

On calculera aisément que, dans le cadre d'un puits de 2 m<sup>2</sup> de section, il faudrait que le puits soit vide sur 6.300 m de profondeur ou, pour un puits de 3 m<sup>2</sup> de section (type Borinage-Centre) sur 4.200 m. Cette zone *non-aedificandi* était donc largement sécuritaire.

### 3.5 Les constats de terrain

La majorité des effondrements rencontrés le sont après coup, lors de la découverte de puits de mines couverts dans des travaux. Il s'agit de descente des remblais à l'intérieur du puits. Les vides constatés mesurent de quelques mètres à une centaine de mètres.

Les profondeurs maximum les plus courantes sont néanmoins de l'ordre d'une dizaine à une trentaine de mètres (influence de la nappe souterraine ?). Il est en général impossible de savoir s'il s'agit d'un débouillage brutal des remblais suite à une remontée de fontis au sein de la colonne du puits ou d'une descente progressive de ces remblais, par tassement ou écoulement latéral dans des galeries, sous l'influence d'infiltrations d'eau dans la colonne de remblais.

En pratique, les effondrements de puits avec extensions latérales les plus importantes connus mesurent 12 à 13 m de diamètre pour 3 à 4 m de profondeur au centre (cas notamment d'un puits laissé longtemps tel quel à son évolution en terres agricoles, concession de Tramaka, 2015-16). Ceci représente des volumes de vides de l'ordre de 120 à 140 m<sup>3</sup> (135 à 155 m<sup>3</sup> foisonnés). Un tel volume trouve sa place dans un puits de 2 m<sup>2</sup> de section et vide sur de 67,5 à 77,5 m de profondeur ou dans un puits de 3 m<sup>2</sup> de section vide sur 45 à 52 m. Dans le cas de notre puits en zone agricole, ces chiffres apparaissent comme compatibles avec les données des plans.

Encore s'agit-il d'effondrements abandonnés un certain temps aux intempéries, en terres agricoles, leur permettant d'évoluer depuis l'effondrement cylindrique primaire. En pratique, en zone urbanisée, on remblaie rapidement cette excavation initiale, ce qui l'empêche de s'agrandir.

### 3.6 Prévision des dimensions maximales d'un effondrement

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

- de retenir que le volume du cratère d'effondrement primaire ne dépassera jamais le *volume de vide disponible* dans le puits pouvant migrer vers la surface ;
- que le cratère d'effondrement secondaire maximal n'aura jamais plus de profondeur que celle des terrains meubles superficiels ;

- que le diamètre de ce cratère d'effondrement secondaire maximal est lié à sa profondeur (caractéristiques géotechniques des formations meubles superficielles) ;
- que si le volume du cratère d'effondrement secondaire est entièrement contenu dans l'épaisseur des terrains meubles de recouvrement, alors il sera d'un volume plus petit ou égal au cratère secondaire maximal et il s'agira d'un cône sur pointe de volume égal à celui du cratère primaire; le diamètre et la profondeur de ce cône sont liés (caractéristiques géotechniques des formations meubles superficielles).

### 3.7 Quelques ordres de grandeur

Les résultats des calculs sont basés sur la méthode développée dans le rapport et sur les hypothèses fixées pour chaque exemple.

#### Exemple 1. Effondrement au droit d'un puits de phosphate (Hesbaye).

Hypothèses :

- le puits se trouve sur la maîtresse galerie (2 galeries de pied, de 1,7 m de hauteur et 1 m de largeur, cas maximaliste) ;
- le puits mesure 1,5 m de diamètre ( $S = 1,77 \text{ m}^2$ ) et est remblayé jusqu'au pied ;
- les remblais (limons sableux) ont un talus de pente naturelle de  $35^\circ$  et un coefficient de foisonnement de 1,1 ;
- les terrains de recouvrement sont limoneux et mesurent 8 m d'épaisseur ;

Le volume de vide disponible pour l'écoulement en talus des remblais du puits dans les deux galeries de pied sera de  $4,12 \text{ m}^2$ .

La descente progressive de la colonne de remblai, par remontée de fontis depuis le vide ainsi créé au pied de la colonne du puits, foisonnement intégré, générera un cratère primaire d'effondrement de 1,5 m de diamètre (en pratique 2 m pour prendre en compte un léger évasement au moment du percement du fontis en surface) et 4,7 m de profondeur.

Vu l'épaisseur des limons supérieure à la profondeur des cratères primaires et même secondaire, ce dernier se présentera comme un cône sur pointe de même volume que le cratère primaire. Ce cône mesurera environ 3,5 m de diamètre pour 1,21 m de profondeur. On notera que cette allure en cône sur pointe, avec des dimensions constantes (ou peu s'en fat), se retrouvera partout en Hesbaye, vu l'épaisseur notable des limons, partout supérieure à 1,21 m.

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

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

#### Exemple 2. Effondrement au droit d'un puits de mine de houille supposé présenter 30 m de vide.

Hypothèses :

- le puits mesure 4,6 m de diamètre ( $S = 16,6 \text{ m}^2$ ) et est remblayé jusqu'au pied ;
- il est maçonné jusqu'en surface mais le sol a été remonté de 2,5 m de remblais suite à la réhabilitation du site ;
- dans le doute, on suppose que ce puits, dont on sait qu'il a été remblayé en 1923, pourrait présenter 30 m de vide, soit un volume de vide de  $498 \text{ m}^3$  ;
- les terrains meubles de recouvrement en surface (remblais de schistes de terrils fins) ont un talus de pente naturelle de  $40^\circ$  et un coefficient de foisonnement de 1,2.

Si on considère un angle de talus stable de  $85^\circ$ , sur les 2,5 m de hauteur, dans les jours qui suivent l'accident, avant que le cratère primaire n'évolue vers le cratère secondaire (talus de pente naturelle de  $40^\circ$ ), ce cratère primaire mesurera 5,1 m de diamètre au sol, 4,6 m de diamètre vers 2,5 m de profondeur et 30 m de profondeur (on néglige les quelques éboulis issus de l'évasement supérieur).

Le cratère secondaire aura pour volume celui du cratère maximum d'effondrement que permet la pseudo-base des terrains meubles mobilisables que constitue le sommet du parement du puits, soit  $35,34 \text{ m}^3$ . Malgré le volume important de vide disponible, du fait de la présence de la maçonnerie, le cratère secondaire se présentera donc comme un cône tronqué inversé de 10,6 m de diamètre et 2,5 m de profondeur. Au fond, il sera prolongé par un cratère cylindrique de 4,6 m de diamètre et d'environ 27,5 m de profondeur sous la surface (reste du puits, dont le fond a été partiellement comblé par les éboulis).

### Exemple 3. Effondrement au droit d'un puits de mine de houille sans données, quelque part sur les hauteurs de Flémalle.

Hypothèses :

- le puits mesure 2 m<sup>2</sup> de section, soit 0,8 m de rayon (1,6 m de diamètre) ;
- il est supposé en pleine roche, sauf sa partie supérieure, qui traverse 7 m de limons et colluvions (angle de talus naturel de 35°) ; le boisage en est certainement pourri, voire disparu ;
- sa profondeur est estimée à 70 m au maximum (cote de l'orifice à 145 m et cote de la Meuse, niveau d'exhaure, à 75 m) ;
- il est supposé pouvoir renfermer 15 m de vide, soit un volume de vide de 30 m<sup>3</sup>.

Si on considère un angle de talus stable de 85°, sur les 3 m supérieur, dans les jours qui suivent l'accident, avant que le cratère primaire n'évolue vers le cratère secondaire, le cratère primaire mesurera environ 2,1 m de diamètre au sol et 1,6 m de diamètre en dessous de 3 m sous la surface, et 30m de profondeur (on néglige les quelques éboulis issus de l'évasement supérieur).

Le cratère secondaire mesurera 8,7 m de diamètre pour 3 m de profondeur. La profondeur étant inférieure à l'épaisseur des terrains meubles de recouvrement et le faible volume de vide du puits ne permettant pas au cratère secondaire de se développer à son maximum (limité uniquement par l'épaisseur des terrains meubles), ce cratère secondaire se présentera donc comme un cône sur pointe totalement compris dans les terrains meubles.

## **4 BIBLIOGRAPHIE**

- DIDIER C. & SALMON R. 2010. Un modèle de calcul des hauteurs prévisibles de remontée de fontis à l'aplomb d'exploitations souterraines peu profondes, *Revue française de Géotechnique* **113**, pp.21-36.
- KHEFFI A., PACYNA D. 2016. A new tool for underground risk prevention in Wallonia (Belgium) – Case of abandoned underground quarries named “La Malogne”. Journées nationales de la Géotechnique et de la Géologie de l'Ingénieur, 6-8 July 2016, Nancy, France.
- KHEFFI A. & PACYNA D. 2018. Elaboration de cartographies de zones d'aléas de mouvement de terrain engendrés par les objets souterrains connus de Wallonie. Rapport de mission 0326/2018.
- LAMBERT C. & SALMON R. 2007. Evaluation et traitement du risque de fontis lié à l'exploitation minières. INERIS Rapport DRS-07-86090-05803A.
- SALMON R. 2015. Retour d'expérience sur les effondrements localisés miniers. INERIS Rapport DRS-15-149489-10509A.

Crédits images :

- Extraits des dossiers et plans hérités de l'Administration des Mines et conservés à la Direction des Risques industriels, géologiques et miniers, numérisés par le Service d'Etude et de Recherches des Ouvrages souterraines (SEROS, ASBL, 2005-12), par l'Institut scientifique de Service public (ISSEP, 2006-2011) et le Service géologique de Wallonie (2013-2018) ;
- Extraits des dossiers et plans des concessionnaires miniers, numérisés par le Service d'Etude et de Recherches des Ouvrages souterraines (SEROS, ASBL, 2005-12) et par l'Institut scientifique de Service public (ISSEP, 2006-2011) ;
- Extraits dossiers et plans de la collection privée de M. B. Delcambre numérisés par le Service d'Etude et de Recherches des Ouvrages souterraines (SEROS, ASBL, 2005-12).