

La valorisation des cavités souterraines : une solution alternative de mise en sécurité

22 septembre 2023

Catherine PINON



Ce rapport a été rédigé dans le cadre du module 4, activité 3,
du projet Interreg RISSC.

**LA VALORISATION DES CAVITÉS SOUTERRAINES :
UNE SOLUTION ALTERNATIVE DE MISE EN SÉCURITÉ
MODULE 4 – ACTIVITE 3**

PRÉAMBULE

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 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.

**LA VALORISATION DES CAVITÉS SOUTERRAINES :
UNE SOLUTION ALTERNATIVE DE MISE EN SÉCURITÉ
MODULE 4 – ACTIVITE 3**

TABLE DES MATIÈRES

1	Contexte et objectifs	5
A.	Le projet Interreg RISSC	5
B.	La valorisation des cavités souterraines	6
2	Types d'utilisation d'anciennes cavités souterraines	7
A.	Activités d'entreposage ou de stockage	7
B.	Activités touristiques et de mise en valeur du patrimoine	8
C.	Autres valorisations	10
3	Caractéristiques des cavités valorisées	11
A.	Généralités	11
B.	Etablissements recevant du public	11
C.	Locaux de stockage	12
D.	Caves vinicoles	12
4	Réglementations, contraintes et responsabilités	13
A.	Généralités	13
B.	En Hauts-de-France	13
C.	En Wallonie	16
5	Intérêts d'une valorisation	17
6	Freins à la valorisation d'un ouvrage souterrain	19
7	Recommandations pour l'ouverture d'un site souterrain	20
8	Synthèse et perspectives	22
9	Pour aller plus loin	23

TABLE DES FIGURES

Figure 1	: Cartographie des carrières souterraines en Hauts-de-France et Wallonie sur fond de plan chronostratigraphique (sources : SPW, Géorisques et EGDI)	6
Figure 2	: Champignonnière (Oise)	8
Figure 3	: Stockage civil	8
Figure 4	: Grottes du Folx-les-Caves (province du Brabant wallon)	8
Figure 5	: Minières de Spiennes (province du Hainaut)	8
Figure 6	: Carrière Wellington - mémorial militaire (Pas-de-Calais)	9
Figure 7	: Plateforme expérimentale et pédagogique de l'Ineris pour l'étude des risques du sous-sol (Oise)	9
Figures 8	: Exemples de fermeture d'entrée de cavité avec accès spécifique pour chiroptères	10
Figure 9	: Entrée principale en flanc de falaise d'une cavité ouverte au public	11
Figures 10	: Exemples de travaux de mise en sécurité (boulons, pilier maçonné...) dans le cadre d'une valorisation de cavité	18
Figure 11	: Exemple d'un plan obtenu par coupe horizontale d'un nuage de points 3D	21

**LA VALORISATION DES CAVITÉS SOUTERRAINES :
UNE SOLUTION ALTERNATIVE DE MISE EN SÉCURITÉ
MODULE 4 – ACTIVITE 3**

Résumé :

Le module 4 du projet RISSC a pour objectifs d'analyser et de développer des solutions adaptées pour réduire le risque lié aux cavités souterraines, à l'échelle transfrontalière France-Belgique (Hauts de France – Wallonie). Dans ce cadre, l'activité 3, intitulée « Solutions alternatives de mise en sécurité », pilotée par l'Ineris, a consisté à mener des entretiens et une analyse bibliographique de sites souterrains valorisés (stockage, tourisme, réserve naturelle...) en Wallonie et dans les Hauts-de-France ; la valorisation pouvant être vue comme une solution alternative de gestion du risque lié aux cavités.

Ainsi, il apparaît que sous certaines conditions, les anciens sites d'extraction en souterrain, comme les mines ou les carrières, peuvent connaître une seconde vie et être réutilisés à des fins patrimoniales ou industrielles tout en contribuant à la sécurité du site. Dans ce cadre, plusieurs points sont développés dans ce document : les critères de faisabilité technique, les aspects réglementaires, les intérêts et les pièges à éviter.

Mots-clés :

Cavités souterraines, Etablissements Recevant du Public, Mouvements de terrain.

Pour citer ce document :

La valorisation des cavités souterraines : une solution alternative de mise en sécurité - module 4, activité 3 du projet Interreg RISSC, Ineris-174384-2748995-v2.0.

1 Contexte et objectifs

A. Le projet Interreg RISSC

En raison d'une géologie et d'une histoire industrielle similaire, les régions de Wallonie et des Hauts-de-France comptent sur leur territoire de nombreuses cavités souterraines, qu'elles soient d'origine anthropique (mines, carrières, etc.) ou naturelles (karst, etc.). De ce fait, des problèmes de mouvements de terrain se rencontrent localement de part et d'autre de la frontière franco-belge, tant en zone habitée que constructible. Ils touchent aussi certaines grandes infrastructures publiques transfrontalières (routes, voies ferrées, réseaux d'énergie, pipelines, etc.) avec des conséquences importantes sur l'implantation de leur tracé et leur coût de réalisation. Ces phénomènes potentiels induisent une menace à l'égard de la sécurité des personnes, des biens immobiliers, des projets d'aménagement et de l'attractivité socio-économique de certains territoires.

Des deux côtés de la frontière, les politiques publiques de prévention et de gestion des risques du sous-sol visent des objectifs communs. Elles déploient néanmoins des outils différents et perfectibles. Ainsi, le projet Interreg RISSC a été pensé pour apporter une réponse coordonnée au bénéfice de la sécurité des populations dans une perspective transnationale et européenne. Réalisé avec le soutien du Fonds Européen de Développement Régional, il réunit des partenaires actifs en Wallonie et Hauts-de-France en matière de caractérisation, prévention et gestion des risques du sous-sol.

Le projet RISSC est organisé en trois modules techniques dont le module 4, coordonné par l'Ineris, qui a pour objectifs d'analyser et de développer des solutions adaptées pour réduire le risque lié aux cavités souterraines, à l'échelle transfrontalière.

Dans le cadre du module 4, l'Ineris a ainsi mené un retour d'expériences sur plusieurs secteurs exposés au risque de mouvements de terrain, de part et d'autre de la frontière, pour lister les différentes techniques de gestion du risque cavité.

Pour la démarche de réduction, voire de suppression, de l'aléa à l'origine du risque, les techniques classiques par comblement sont onéreuses et parfois difficilement supportables par le propriétaire de la surface. Si l'utilisation de produits particuliers (injection de mousses, billes d'argile...) pour des cas spécifiques (traitements d'urgence, cavités difficiles d'accès, réalisation de barrages) ou encore les méthodes de protection passive (sans agir sur l'aléa) peuvent remplacer les techniques de comblement traditionnelles pour certaines configurations [11], l'activité 3 du module 4 a pour but de présenter une dernière solution alternative, applicable aux cavités de Wallonie et des Hauts-de-France, lorsqu'elles sont accessibles (après confortement) : la conservation et la valorisation des cavités. Des exemples ont été cherchés dans les régions transfrontalières et analysés dans le cadre de ce rapport.

A terme, les travaux de ce module 4 visent à fournir des exemples et des solutions, utilisables de part et d'autre de la frontière, pour que les acteurs du risque puissent choisir et adapter leur gestion du risque cavité en fonction du contexte.

**LA VALORISATION DES CAVITÉS SOUTERRAINES :
UNE SOLUTION ALTERNATIVE DE MISE EN SÉCURITÉ
MODULE 4 – ACTIVITE 3**

Nous remercions Mme DE FRU, chargée d'études mouvements de terrain et cavités souterraines à la DDT¹ du Pas-de-Calais ; Mme VALENTINO, Conservateur des patrimoines UNESCO au Pôle muséal de Mons ; M. WIART, directeur du Patrimoine, de l'archéologie et du tourisme de la Ville d'Arras ; Mme NICOLAS-BERTHE, Directrice de la Maison de la Pierre à St-Maximin et M. VAN DIJCK, Assistant principal à la Cellule Aménagement-Environnement du SPW², pour leur participation à cette étude.

B. La valorisation des cavités souterraines

La Wallonie et les Hauts-de-France ont connu une activité d'extraction importante par le passé. Ainsi sur ces territoires, plus de 200 titres miniers ont été octroyés³ (dont une grande partie a donné lieu à la réalisation de travaux souterrains) et, sans pour autant être exhaustif, l'inventaire des anciennes carrières recense plusieurs centaines de communes concernées par la présence d'une ancienne exploitation souterraine de part et d'autre de la frontière (Figure 1).

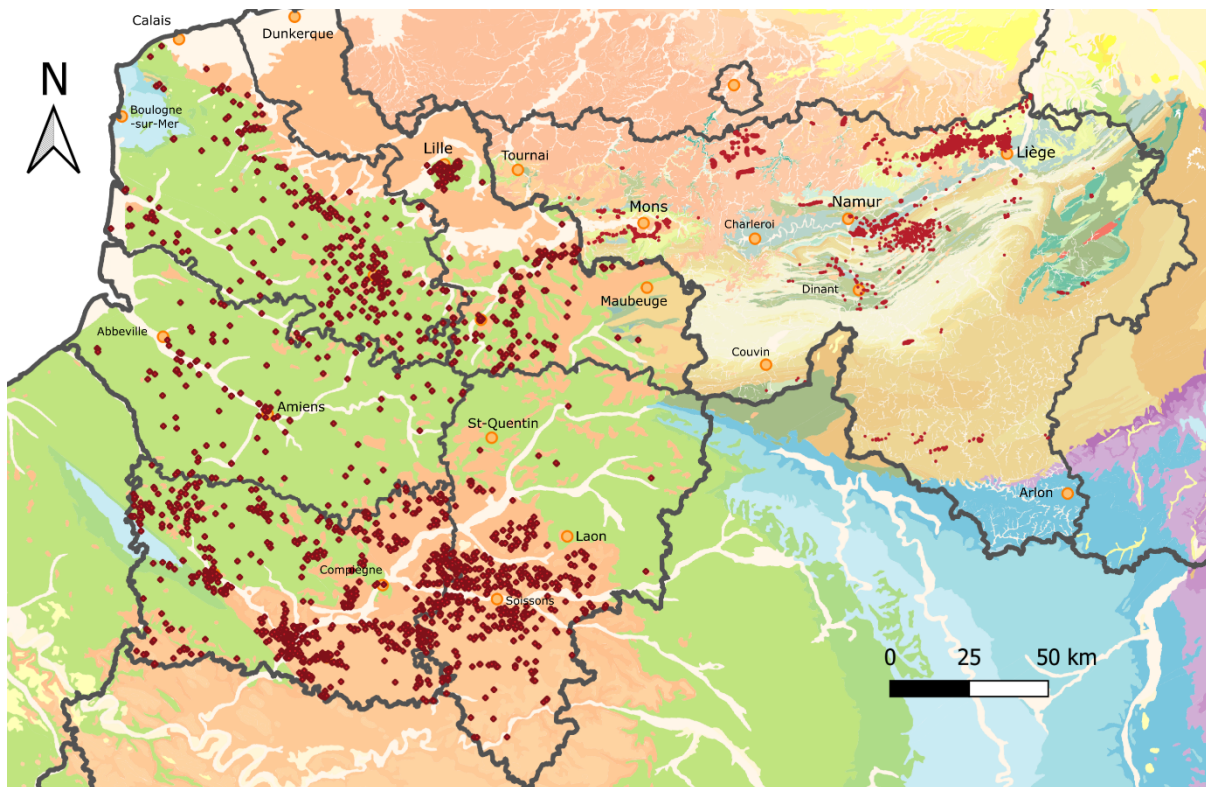


Figure 1 : Cartographie des carrières souterraines en Hauts-de-France et Wallonie sur fond de plan chronostratigraphique (sources : SPW, Géorisques et EGDI)

Qu'ils s'agissent de carrières ou de mines souterraines, ces ouvrages ont par nature une durée d'activité extractive limitée (extension des gisements exploitables, autorisation administrative, modification du cours des minerais exploités...). De fait, après 10, 20 ou

¹ Direction Départementale des Territoires (France).

² Service Public de Wallonie.

³ Voir module 3, activité 1 du projet Interreg RISSC [8].

**LA VALORISATION DES CAVITÉS SOUTERRAINES :
UNE SOLUTION ALTERNATIVE DE MISE EN SÉCURITÉ
MODULE 4 – ACTIVITE 3**

50 ans, selon la méthode d'exploitation mise en œuvre et à l'issue des traitements requis lors de l'arrêt des travaux, ces différents sites souterrains sont « abandonnés » les livrant à une gestion, parfois complexe, des propriétaires du sol, des anciens exploitants ou de l'administration (notamment pour les mines en France).

En parallèle, notamment en Wallonie, environ un millier de cavités et conduits ouverts liés à des phénomènes karstiques (grottes pénétrables) a été répertorié³ grâce notamment à la Commission Wallonne d'Etude et de Protection des Sites Souterrains (CWEPSS).

Ce sont ainsi, plusieurs milliers de cavités artificielles ou naturelles qui jalonnent le sous-sol de ce territoire transfrontalier.

En outre, en raison des contraintes qu'elles peuvent induire (mouvements de terrain ou pollutions), les cavités souterraines sont encore souvent perçues, par les collectivités et le public, comme des freins à l'aménagement du territoire.

Néanmoins, les grands enjeux climatiques, énergétiques, écologiques conduisent à des révisions de l'organisation et de la physiologie de l'urbanisation et du développement économique afin d'aller vers un modèle durable. Dans cette mutation, aucune solution ne peut être négligée.

C'est l'occasion de valoriser, sous certaines conditions, une ressource peu utilisée et plus ou moins méconnue : l'espace souterrain, notamment celui des cavités souterraines. En tant que patrimoine et témoignage de pratiques traditionnelles et architecturales qui remontent parfois à l'Antiquité, ces cavités peuvent devenir source d'attractivité, voire d'activité économique et développer le tourisme.

L'attention dont elles font alors l'objet, notamment en termes de stabilité, pourraient en outre être un bon moyen de prévention du risque qu'elles génèrent lorsqu'elles sont laissées à l'abandon.

2 Types d'utilisation d'anciennes cavités souterraines

La réutilisation et la conversion des cavités souterraines abandonnées présentent une initiative originale et donnent une dimension de continuité et de dynamisme aux anciens chantiers d'extraction en souterrain. La valorisation de sites souterrains abandonnés peut prendre diverses formes [1][2][10][18][14].

A. Activités d'entreposage ou de stockage

Certains sites souterrains sont utilisés pour stocker des :

- produits alimentaires : caves à vin, champignonnières (Figure 2), caves à fromage... nécessitant des conditions particulières en termes de température, d'humidité, etc. ;
- matériels civils (Figure 3) ou militaires ;
- archives ou centres de données numériques ;
- matériaux énergétiques (gaz, hydrocarbures, géothermie...) ou ressources en eau ;
- etc.

**LA VALORISATION DES CAVITÉS SOUTERRAINES :
UNE SOLUTION ALTERNATIVE DE MISE EN SÉCURITÉ
MODULE 4 – ACTIVITE 3**



Figure 2 : Champignonnière (Oise)



Figure 3 : Stockage civil

Ces sites restent peu nombreux, souvent artisanaux (exceptés pour les stockages liés à l'énergie) et répondent à un besoin d'espace qui est souvent non disponible en surface. Ces sites souterrains permettent aussi de limiter l'impact visuel que les espaces de stockage en surface peuvent engendrer.

B. Activités touristiques et de mise en valeur du patrimoine

Aussi appelée géo-tourisme [10], cette activité en souterrain comprend les :

- musées de toutes sortes (décrivant une activité passée, l'histoire locale..., Figure 4, Figure 5, Figure 6), parcours découvertes, sites à vocation pédagogique (Figure 7)... La plupart de ces aménagements sont à l'initiative d'une (et soutenue par une) collectivité mais a parfois été rétrocédée à un mandataire privé pour la gestion du site ;
- restaurants, hôtels (souvent troglodytes), salles de spectacle ou d'exposition, parcours/activités sportives, Escape Game... Il s'agit d'initiatives de particuliers concernant souvent des sites souterrains de faible emprise et dont le nombre a tendance à s'accroître ces dernières années.



Figure 4 : Grottes du Folx-les-Caves (province du Brabant wallon)



Figure 5 : Minières de Spiennes (province du Hainaut)

**LA VALORISATION DES CAVITÉS SOUTERRAINES :
UNE SOLUTION ALTERNATIVE DE MISE EN SÉCURITÉ
MODULE 4 – ACTIVITE 3**



Figure 6 : Carrière Wellington - mémorial militaire (Pas-de-Calais)



Figure 7 : Plateforme expérimentale et pédagogique de l'Ineris pour l'étude des risques du sous-sol (Oise)

En Wallonie et Hauts-de-France, l'utilisation des cavités souterraines comme lieu touristique est le type de valorisation le plus répandu. En France, elles peuvent prendre alors le statut d'Établissement Recevant du Public (ERP). Ces sites de géo-tourisme peuvent être classés en 3 familles :

1. les sites souterrains ouverts ponctuellement aux visites (visites guidées sur réservation). Ce mode de fonctionnement est le plus simple et le plus réduit. L'investissement est basé uniquement sur la mise en sécurité et en lumière du souterrain ;
2. les sites souterrains permettant l'accueil continu du public ;
3. les sites qui offrent, en plus de la visite des cavités, un espace interprétatif extérieur. Ces sites bénéficient d'un dimensionnement souvent plus important et forment des produits touristiques complets avec la découverte du site, de la restauration et des espaces boutiques.

En Wallonie et en Hauts-de-France, quelques belles réussites de valorisation de cavités semblent montrer la voie à suivre [10][14][15][18][17][30] : carrière Wellington et les Boves d'Arras [22] (Figure 6, 62 - France), souterrains de Laon [23] (02 - France), souterrains de Cambrai [24] (59 - France), Maison de la Pierre [25] et plateforme expérimentale et pédagogique pour risques du sous-sol à Saint-Maximin (Figure 7, 60 - France), Minières de Spiennes [27] (Figure 5, Mons – Belgique), Grottes de Han [28] (Han-sur-Lesse - Belgique), Grotte Scladina à Andenne [26] (Belgique), Grottes⁴ de Folx-les-Caves [30] (Figure 4, Orp-Jauche – Belgique), Mines de Blegny-Mine [30] (Belgique), Ardoisières du domaine de Morepire [30] (Bertrix – Belgique), Grotte de Lorette-Rochefort [29] (Belgique)...

⁴ Contrairement à ce que laisse supposer son nom, il s'agit d'une ancienne carrière de Tuffeau (craie) où ont aussi été cultivés des champignons.

C. Autres valorisations

Certaines cavités, à l'abandon depuis de nombreuses années, sont maintenant entièrement vouées à la protection de la nature, bénéficiant du statut de réserve naturelle. C'est le cas de l'ancienne carrière de craie phosphatée dite de « Ronveaux » à Ciply (au sud de Mons) en Wallonie [19][21]. Cette vieille carrière ressemble fortement à la carrière de craie de la Malogne à Cuesmes, très connue aussi pour ses populations de chauve-souris [5]. Les anciennes ardoisières de l'Ardenne belge sont également listées pour leur intérêt biologique (faune et flore [20]). Dans les Hauts-de-France, il n'est pas rare de trouver des chiroptères dans les carrières de calcaire du sud de l'Oise.

En effet, les galeries souterraines constituent un milieu favorable pour l'hibernation des chauves-souris. Dans ces conditions, pour garantir tant la sécurité du public que la protection des chauves-souris et autres espèces animales, les entrées des galeries et conduits d'aération doivent impérativement être fermées et sécurisées de façon adéquate. Là où nécessaire, des systèmes qui permettent l'accès de la faune et des gestionnaires doivent être mis en place. Les autres accès peuvent être fermés de façon hermétique. Selon les endroits, on utilisera donc des portes ou des grilles métalliques, placées sur des structures en béton, en briques ou en pierres. Pour prévenir les dangers liés aux risques d'effondrement de galeries, la consolidation de certaines galeries peut être envisagée.



Figures 8 : Exemples de fermeture d'entrée de cavité avec accès spécifique pour chiroptères

De fait, le suivi régulier des espèces animales (campagne de comptage notamment) dans le cadre de leur sauvegarde constitue une valorisation des cavités souterraines abandonnées. Il contribue aussi à la mémoire et au suivi de l'état des cavités elles-mêmes.

3 Caractéristiques des cavités valorisées

A. Généralités

Hormis les grottes naturelles, les ouvrages souterrains les plus souvent valorisés sont les anciens sites exploités par la méthode des chambres et piliers abandonnés ou par d'autres méthodes ayant laissé des vides résiduels. Ces sites offrent en effet des volumes de « vides » conséquents (anciennes galeries ou chambres d'exploitation) qui peuvent accueillir de nouvelles activités sans nécessiter des travaux de creusement complémentaires [14][10].

Les valorisations recensées concernent le plus souvent des sites souterrains peu profonds (généralement à moins de 80 m de profondeur), situés en bordure de vallées avec des entrées à flanc de coteau ou de falaise (Figure 9). Les conditions d'accès et d'exploitation de tels sites sont plus simples et plus économiques (aéragé simplifié, absence d'exhaure, pressions modérées des terrains) que celles qui encadrent les sites plus profonds. Toutefois, des réutilisations spécifiques peuvent viser des sites profonds, comme des sites de stockage souterrain et de déchets notamment.



Figure 9 : Entrée principale en flanc de falaise d'une cavité ouverte au public

Enfin, on constate une légère prédominance des anciennes carrières parmi les sites valorisés, au regard des mines. Ceci s'explique notamment par les profondeurs souvent moins importantes des carrières et leur contexte réglementaire en termes de dommages « post-exploitation ».

B. Etablissements recevant du public

Qu'il s'agisse de commerces habituels (restaurants, caveaux de dégustation...) ou d'activités moins classiques (galerie d'art, centre thermal...), le point commun de ces établissements souterrains est d'accueillir un public nombreux, attiré par un cadre inhabituel.

**LA VALORISATION DES CAVITÉS SOUTERRAINES :
UNE SOLUTION ALTERNATIVE DE MISE EN SÉCURITÉ
MODULE 4 – ACTIVITE 3**

En ce qui concerne les établissements souterrains recevant du public, la sécurité vis-à-vis de la stabilité des cavités et de leur parfaite aération intervient en premier chef. La prévention doit interdire tout risque éventuellement lié à des dégradations locales du toit ou du massif, telles que des chutes d'écaillés ou de plaquettes.

Mais d'autres impératifs sont également à prendre en compte, comme l'agrément du cadre, résultant de plusieurs facteurs tels que la température ambiante, l'éclairage, l'équilibre des volumes... le souci d'originalité exige, par ailleurs, de conserver le caractère souterrain du milieu : accès descendants, stratification ou anciennes traces d'exploitation bien visibles...

Dans le même esprit, il est recommandé d'isoler efficacement les secteurs souterrains non accessibles au public, pour éviter notamment le risque d'égarement.

Ces exigences diverses peuvent être satisfaites par la mise en place de soutènement à la fois dense et discret : soutènement suspendu, à base de boulons, plutôt que porteur. Dans les parties superficiellement dégradées, on emploie également la technique du béton projeté sur grillage épinglé au massif, en utilisant des mortiers dont la couleur est en harmonie avec celle de la pierre naturelle.

C. Locaux de stockage

On demande en général aux entrepôts de stockage souterrains de fonctionner dans des conditions identiques à celle d'un local jour : nombreux accès, larges et faciles, volume disponible important, sécurité des produits stockés vis-à-vis de leur bonne conservation mais également vis-à-vis des vols ou malveillance. Par exemple, le mode de stockage actuel sur palettes exige souvent des hauteurs disponibles assez importantes.

L'aménagement de ces entrepôts doit donc se baser sur une étude de stabilité préalable, d'un calcul de soutènement et bien souvent d'une étude d'aéragé plus ou moins approfondie, en fonction notamment de l'étendue des vides réutilisés : si la conservation des produits stockés ne requiert pas forcément de besoins en air neuf considérables, la sécurité du personnel et l'utilisation d'engins de manutention exigent une circulation d'air continue et importante.

D. Caves vinicoles

La conservation des vins courants ou à cycle de commercialisation rapide (fûts ou bouteilles) s'accommode de conditions relativement rustiques et les exigences de sécurité et de manutention s'apparentent assez bien à celles déjà citées à propos des stockages classiques. Mais dès lors qu'on s'intéresse aux vins de grande qualité ou nécessitant un long vieillissement, un certain nombre de contraintes spécifiques viennent s'ajouter aux exigences déjà évoquées ci-dessus.

Pour bien vieillir, le vin doit en effet être conservé dans l'obscurité, à l'abri des vibrations et avec une bonne régularité des conditions de température et d'humidité afin d'éviter la dégradation des caisses en bois, l'altération des étiquettes, des bouteilles et la moisissure des bouchons.

4 Réglementations, contraintes et responsabilités

A. Généralités

En Hauts-de-France, comme en Wallonie, le régime juridique des cavités souterraines abandonnées hors mine (carrières souterraines abandonnées, cavités anthropiques de type habitations troglodytiques, caves, souterrains ou encore cavités naturelles) est régi par le Code Civil.

Toutefois, il est important de préciser que les textes réglementaires sont en pleine évolution en Wallonie [11]. En effet, le régime de responsabilité prévu par le Code Civil a changé depuis le 1^{er} septembre 2021, en matière de propriété du sous-sol surtout. Par ailleurs, un décret instituant un nouveau code de gestion des ressources du sous-sol est en préparation. Ces deux évolutions réglementaires auront des conséquences sur la gestion du risque et la valorisation des cavités en Wallonie même s'il est difficile de projeter leurs effets concrets.

B. En Hauts-de-France

C'est principalement le type d'activités implantées dans le site souterrain qui fixe les responsabilités et le cadre réglementaire de la valorisation :

- les activités industrielles sont régies par le Code de l'Environnement et la réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) ; elles sont placées sous le contrôle direct de l'Etat via notamment les inspecteurs des installations classées ;
- les autres activités touristiques ou écotouristique relèvent de la réglementation des Établissements Recevant du Public (ERP) du Code de la construction et de l'habitation.

En France, les cavités souterraines sont régies par les dispositions de l'article 552 du Code civil qui stipule que : « *La propriété du sol emporte la propriété du dessus et du dessous*⁵ ». La propriété souterraine est donc délimitée, par projection dans le sous-sol, suivant la limite séparative des parcelles se trouvant en surface. Cela signifie que le propriétaire du sol est également propriétaire des ouvrages souterrains qui se trouvent à l'aplomb de son terrain, même s'il ne les a jamais explorées ou exploitées lui-même⁶. Par conséquent, cela suppose que le propriétaire du sol bénéficie des produits de l'exploitation des cavités⁵, notamment si une activité y est ouverte au public (ERP en particulier) [14][4][18].

Toutefois, la propriété du dessous peut être dissociée juridiquement de celle du dessus (par copropriété ou par division en volume [4]). Le propriétaire du sol peut vendre, donner ou louer le sous-sol de son terrain. Il n'est pas rare, dans le cas d'ERP souterrain, que le gestionnaire du site ouvert au public ne soit pas le propriétaire des galeries, ni celui des terrains de surface.

⁵ Sauf, en France, pour les ressources relevant des « mines » régies par les des lois et règlements du Code Minier, auquel cas elles appartiennent à l'Etat français et non au propriétaire du terrain.

⁶ La limite en profondeur n'est pas déterminée par le Code civil.

**LA VALORISATION DES CAVITÉS SOUTERRAINES :
UNE SOLUTION ALTERNATIVE DE MISE EN SÉCURITÉ
MODULE 4 – ACTIVITE 3**

Quel que soit le propriétaire du terrain sous lequel s'étend la cavité (un particulier, une commune, l'État, etc.), sa responsabilité vis-à-vis de tiers peut donc être engagée au titre de l'article 1384 du Code civil selon lequel « *on est responsable des choses que l'on a sous sa garde* ». Appliqué aux cavités souterraines, cet article implique que le « gardien » d'un terrain (donc son propriétaire ou le locataire s'il en a le plein usage et qu'il a signé un bail) est responsable de tout dommage aux biens et personnes, que celui-ci se produise à l'intérieur de la cavité valorisée et ouverte au public (par exemple, un bloc de toit se détachant et tombant sur une personne) ou sur le terrain lui-même (par exemple, chute d'une personne dans un effondrement en surface) [4].

Pour les terrains de surface, la connaissance du risque est théoriquement traduite dans les documents d'urbanisme ou par le porter à connaissance⁷, le maire délivrant les autorisations d'occupation, permis de construire et autorisation de lotir en application de ces documents. Pour rappel, l'article R111-2 du code de l'urbanisme permet au maire de refuser un permis de construire ou de ne l'accorder que sous réserve de l'observation de prescriptions d'urbanisme spéciales si les constructions, par leur situation ou leurs dimensions, sont de nature à porter atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique. [14].

Dépendant du code de la construction et de l'habitation⁸, les établissements recevant du public (ERP) « *sont constitués de tous bâtiments, locaux et enceintes dans lesquels des personnes extérieures sont admises, en plus du personnel. Peu importe que l'accès soit payant ou gratuit, qu'il soit libre, restreint ou sur invitation. Les ERP sont classés en types et en catégories⁹ qui définissent les exigences réglementaires applicables (type d'autorisation de travaux ou règles de sécurité par exemple) en fonction des risques* ». Ces établissements sont soumis à des obligations en matière de sécurité, de lutte contre l'incendie et de panique. Les cavités étant chronologiquement préexistantes, elles sont de fait un établissement ancien et non pas une « création ». Il faut donc les adapter pour permettre l'accueil d'un public. Leur ancienneté et leur valeur patrimoniale conduisent souvent à les apparenter (et donc à envisager les prescriptions en rapport) à la catégorie des musées. Ce concept et cette dénomination permettent très souvent un rattachement spécifique de l'ERP souterrain au classement de type Y (musée), en 5^{ème} catégorie.

⁷ articles R. 111-2 et R. 442-6 du Code de l'urbanisme.

⁸ articles R123-2 à R123-17 et R123-18 à R123-21 ; arrêté du 25 juin 1980 sur les règles de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public.

⁹ Les ERP sont classés par types en fonction de la nature de leur exploitation et par catégories en fonction du nombre de personnes accueillies à l'intérieur des établissements (1^{ère} catégorie : au-dessus de 1500 personnes, 2^{ème} catégorie : de 701 à 1500 personnes, 3^{ème} catégorie : de 301 à 700 personnes, 4^{ème} catégorie : au-dessous de 300 personnes à l'exception des établissements compris dans la 5^{ème} catégorie (établissements dans lesquels l'effectif du public n'atteint pas le nombre minimum fixé par le règlement de sécurité pour chaque type d'exploitation)).

**LA VALORISATION DES CAVITÉS SOUTERRAINES :
UNE SOLUTION ALTERNATIVE DE MISE EN SÉCURITÉ
MODULE 4 – ACTIVITE 3**

C'est le maire qui autorise l'ouverture¹⁰ d'un ERP par arrêté municipal après éventuellement avis de la commission de sécurité¹¹¹²¹³. Par la suite, il autorise les travaux d'aménagement en souterrain (soumis ou non à Permis de Construire) et fait assurer le suivi administratif des prescriptions énoncées.

La demande d'ouverture d'un ERP doit notamment comprendre une « attestation de solidité » et une « attestation d'accessibilité ». Dans le cadre d'un ERP souterrain, la commission de sécurité se déclare souvent non-compétente sur la notion de solidité. Dès lors, il faut lui apporter les éléments attestant de la stabilité du sous-sol. L'« attestation de solidité » pourrait correspondre logiquement à une étude géotechnique de la cavité¹⁴ réalisée par une équipe d'experts géotechniciens.

Le classement d'un établissement ERP est validé par la commission de sécurité à partir des informations transmises par le propriétaire (ou l'exploitant) de l'établissement dans le dossier de sécurité déposé en mairie. Puis l'ERP est soumis à des contrôles dont la nature et la périodicité dépendent tant du type d'activité que de la catégorie de l'établissement. Dans le cas d'ERP de type Y (musée), les visites de contrôle sont programmées tous les 3 ans (1^{er} et 2^e catégorie) ou tous les 5 ans (3^e et 4^e catégorie). Pour les établissements de 5^e catégorie, sans locaux à sommeil, ce qui est souvent le cas des ERP souterrains, ni la visite de réception de l'ERP par une commission de sécurité, ni les visites de contrôle ne sont obligatoires. Il appartient au maire de veiller au respect de la périodicité des visites de contrôle et d'organiser, si nécessaire, des visites inopinées (parfois à la demande du Préfet).

En cas d'avis défavorable de la commission de sécurité, le maire peut ordonner la fermeture de l'établissement au public.

Enfin, en vertu de son pouvoir de police générale, le maire peut mettre en œuvre des réquisitions sur le territoire de sa commune¹⁵. Pour des faits liés à un ERP souterrain (désordre en surface, risque d'effondrement...), la réalisation de travaux de mise en sécurité d'urgence peut être un cas de réquisition. Il se substitue alors au propriétaire de l'ERP souterrain (en carence). Dans ce cas, les frais des travaux sont à la charge de la commune.

¹⁰ Après la délivrance du permis de construire, l'autorisation de travaux ou avant la réouverture d'un établissement fermé depuis plus de dix mois.

¹¹ La commission de sécurité donne un avis aux autorités administratives pour les aider à faire respecter la réglementation en matière de sécurité dans les établissements recevant du public, tant en phase d'étude, que durant leur fonctionnement.

¹² Les établissements de 5^e catégorie (petits établissements), sans locaux à sommeil, sont dispensés de visite de réception de la commission de sécurité.

¹³ Si l'ERP est destiné à recevoir des manifestations sportives, une homologation préfectorale est nécessaire.

¹⁴ selon la norme NF94-500 définissant les différentes missions et études géotechniques.

¹⁵ La légalité de la réquisition impose la réunion de trois conditions au moment de sa décision : 1. Une urgence avérée ; 2. Une atteinte constatée ou un risque sérieux d'atteinte à l'ordre public au sens large (ordre, salubrité, tranquillité et sécurité publics) ; 3. L'échec de la mesure de police traditionnelle et des moyens conventionnels.

C. En Wallonie

Le législateur belge a entrepris de modifier en profondeur l'ancien Code civil de 1804 pour créer un nouveau Code composé de 8 livres dont la plupart sont entrés en vigueur en 2021 [11].

Parmi les réformes, il y a une modification importante du droit de propriété. Dans l'ancien Code Civil, l'article 552 prévoyait, comme en France, que le propriétaire de la surface était, par défaut, également propriétaire du sous-sol sur une étendue verticale de profondeur absolue. Ce droit n'est désormais plus aussi absolu puisque le livre 3 du nouveau Code civil (« *les biens* », entré en vigueur le 1^{er} septembre 2021) prévoit des dispositions spécifiques pour la propriété du sous-sol profond. Ainsi, la propriété est limitée à une hauteur au-dessus et à une profondeur en dessous du sol (les valeurs de profondeur et de hauteur, ne sont, à ce jour, pas précisées !), utiles à l'exercice des prérogatives du propriétaire. Au-delà de cette profondeur, le propriétaire est, par défaut, l'Etat.

Par ailleurs, le livre consacre également, au travers du droit de superficie, la propriété des volumes. Le droit de superficie est défini comme « *un droit réel d'usage qui confère la propriété des volumes, bâtis ou non, en tout ou en partie, sur, au-dessus ou en-dessous du fonds d'autrui, aux fins d'y avoir tous ouvrages ou plantations* ». C'est-à-dire que les volumes au droit d'un terrain (sur, au-dessus ou en-dessous) peuvent être dissociés verticalement, de sorte que plusieurs droits de propriété puissent coexister.

En Wallonie, il n'existe pas de statut spécifique de type « établissement souterrain recevant du public ». Actuellement, il n'y a pas de réglementation particulière pour l'ouverture au public de cavités souterraines non aménagées et non équipées. Mais, l'acquisition d'un permis d'environnement est nécessaire en cas d'installation d'équipements éventuels liés à l'aménagement du site ou « établissement¹⁶ ». En général, il s'agit d'un permis de classe 3¹⁷ ; c'est-à-dire qu'il est basé sur une simple déclaration. Cette déclaration de classe 3 a une durée de validité de 10 ans maximum et la demande se fait auprès de la commune. A noter que l'ouverture au public d'une cavité reste soumise à l'autorisation des services de secours (sécurité, prévention incendie) mais, aucune analyse de la stabilité de l'ouvrage souterrain n'est explicitement demandée.

Toutefois, un futur Code de gestion des ressources du sous-sol est en projet au Gouvernement Wallon. Il a pour objet de donner un cadre législatif pour toute activité d'exploitation du sous-sol et se substitue aux législations antérieures éparses et dépassées. En particulier, les matières suivantes, non encore régies par la législation, ont été ajoutées :

- activités de visites sportives, récréatives et culturelles en milieu souterrain, qu'il s'agisse de cavités naturelles ou artificielles (grottes, anciennes mines ou carrières souterraines) ;

¹⁶ La notion d'"établissement" couvre les activités et les installations de production, de service, de fabrication, de recherche & développement, de transport, de divertissement...

¹⁷ En Wallonie, les installations et activités sont regroupées en trois classes suivant l'importance de leurs impacts potentiels sur l'environnement, l'homme et les animaux : importante = Classe 1 ; moyenne = Classe 2 ; peu importante = Classe 3.

**LA VALORISATION DES CAVITÉS SOUTERRAINES :
UNE SOLUTION ALTERNATIVE DE MISE EN SÉCURITÉ
MODULE 4 – ACTIVITE 3**

- activités d'exploitation des cavités souterraines (activités de stockage, champignonnières, etc.).

Le Code prévoit également que l'utilisation (pas uniquement l'aménagement) d'une cavité souterraine à certaines fins (notamment pour des visites touristiques ou des activités de stockage) fasse l'objet d'un permis d'environnement. C'est le Fonctionnaire technique du département « permis et autorisation » et le Fonctionnaire délégué de l'aménagement du territoire qui auront en charge de délivrer ces permis.

Si l'administration juge que le projet est susceptible d'avoir des incidences notables sur l'environnement, elle imposera également la réalisation d'une étude d'incidences sur l'environnement (EIE). Il s'agit d'une étude technique et scientifique approfondie des impacts du projet sur l'air, le sol, les eaux de surface et souterraines, la faune et la flore, la production de déchets, les émissions sonores...

S'il est encore difficile d'en définir les conséquences réelles, il est évident que ces changements législatifs pourront avoir un impact sur la gestion des cavités souterraines. L'Etat sera désormais propriétaire par défaut du sous-sol au-delà de la profondeur utile du propriétaire de surface, et donc des cavités qui s'y trouvent. De nombreuses questions peuvent être soulevées par cette réforme fondamentale et trouveront certainement des réponses dans les prochaines années.

5 Intérêts d'une valorisation

Le principal intérêt d'une réutilisation et d'une conversion des ouvrages souterrains abandonnés est la valorisation et la conservation du patrimoine qu'ils représentent. Ces sites sont pour la plupart à l'origine de développement urbain ou industriel de villes ou de régions et sont ancrés dans l'histoire locale voire nationale. Ce devoir de conservation patrimoniale revêt un caractère plus ou moins primordial et essentiel suivant la sensibilité des communes ou collectivités concernées à qui ce devoir incombe en premier lieu.

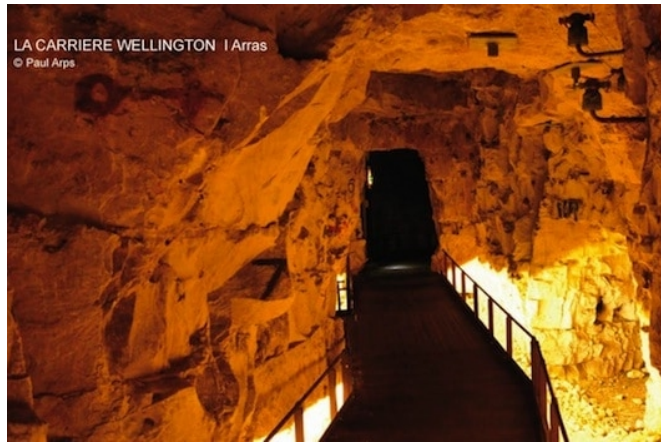
Mais l'ouverture au public d'une cavité souterraine est aussi un outil efficace pour suivre son évolution et limiter le risque de mouvements de terrain en surface et notamment pour :

- disposer d'une étude de stabilité de l'édifice en l'état ;
- suivre dans le temps l'apparition de désordres locaux (évolution d'une chute de toit, influence du gel-dégel...) et entretenir la cavité ;
- encadrer et suivre les travaux d'aménagement de l'espace (évolutions et/ou extensions, Figures 10).

Ces études et suivis précisent les caractéristiques (nature, intensité, marge d'incertitude...) des aléas¹⁸ de type mouvements de terrain et participent ainsi à la prévention des risques liés à la présence de cavités souterraines.

¹⁸ L'aléa correspond à la probabilité qu'un phénomène se produise sur un site donné, au cours d'une période de référence, en atteignant une intensité ou une gravité qualifiable ou quantifiable. Sa caractérisation repose classiquement sur le croisement de l'intensité prévisible du phénomène avec sa probabilité d'occurrence.

**LA VALORISATION DES CAVITÉS SOUTERRAINES :
UNE SOLUTION ALTERNATIVE DE MISE EN SÉCURITÉ
MODULE 4 – ACTIVITE 3**



Figures 10 : Exemples de travaux de mise en sécurité (boulons, pilier maçonné...) dans le cadre d'une valorisation de cavité

Toutefois, même si la surveillance est clairement organisée (visite régulière de géotechniciens, système de télésurveillance, procédure d'alerte...), la présence d'une activité régulière en souterrain n'est pas un gage d'une stabilité pérenne de la cavité (risque d'abandon de l'activité, mauvais entretien...). Rappelons l'exemple de l'effondrement en 1995 d'une champignonnière en activité dans les Hauts-de-France. De plus, le cycle de vie d'une cavité valorisée, depuis son aménagement à son abandon en passant par son exploitation, sera toujours plus court que le cycle de vie de la cavité. Il n'est pas possible de garantir la stabilité de l'ouvrage souterrain dans le long terme par la pérennité de ce processus de contrôle.

Les autres intérêts recherchés par les valorisations sont ceux des conditions spécifiques des sites souterrains :

- température limitée et quasi-constante toute l'année (entre 10°C et 14°C) ;
- hygrométrie et humidité élevées ;
- luminosité limitée ;
- imperméabilité des terrains environnants ;
- absence de visibilité externe ;
- caractère insolite.

La localisation de ces sites au regard de zones urbaines en surface est également source d'intérêt ; ainsi ces cavités peuvent répondre à un besoin d'espace en zones où la valeur des terrains en surface est très élevée ou fortement contrainte (voire non disponible) ou encore à un besoin d'isolement à l'extérieur des zones densément urbanisées.

Notons aussi que l'aménagement d'un ouvrage souterrain pour le rendre accessible au public peut permettre de sécuriser l'accès vers d'autres cavités souterraines, jusque-là inaccessibles !

6 Freins à la valorisation d'un ouvrage souterrain

Parmi les principaux obstacles à la valorisation de sites souterrains (en particulier des projets industriels) on peut citer :

- les conditions « de vie » et de confort en milieu confiné (humidité, lumière, aération, radioactivité¹⁹...);
- la nécessité d'investir pour assurer la sécurité des visiteurs et des terrains ;
- les contraintes réglementaires : site classé (monument historique, UNESCO...);
- la gestion complexe des différents propriétaires (exploitant/gérant de l'ouvrage souterrain, propriétaires du sol, propriétaires du sous-sol, propriétaires de la falaise/coteau...), qu'ils soient publics ou privés, surtout en milieu urbanisé. On pense notamment aux questions du type : qui paye les travaux de mise en sécurité ? qui est responsable en cas d'incident ou d'accident, en surface ? en souterrain ?
- les contraintes environnementales (chiroptères, préservation des ressources en eau...);
- les contraintes de sécurité : risques d'incendie, d'asphyxie, d'électrocution, de panique comprenant notamment balisage des cheminements, évacuation du public (sortie de secours ou refuges), intervention des secours...

Les contraintes telles que la mise en sécurité, l'accessibilité, les flux de circulation, la mise en valeur sont des points qui se révèlent beaucoup plus problématiques en souterrain qu'en extérieur. Par exemple, pour le géo-tourisme, la plupart des visites souterraines sont limitées à une vingtaine de visiteurs en simultané, ce qui réduit de manière mécanique la fréquentation et remédier à ce frein nécessiterait des investissements majeurs.

Notons aussi que les moyens financiers nécessaires sont décuplés lorsqu'il s'agit d'aménager un parcours souterrain (contraintes techniques, sécurité...).

Pour les établissements souterrains recevant du public, les investissements de mise en sécurité et d'achat de matériel adapté aux conditions souterraines compliquent l'accès et la qualité de la visite. Les difficultés techniques et l'importance des investissements de mise en sécurité ne permettent pas l'investissement privé dans ce type d'opération et nécessitent un portage des acteurs publics (le plus souvent des collectivités). Les sites ayant une gestion totalement privée sont ceux dont les problématiques d'accès sont largement facilitées par des caractères morphologiques des cavités. Même si la gestion effective des sites est ensuite déléguée ou assurée en partenariat avec des privés, l'influence des partenaires publics reste marquée au travers des politiques d'animation et de la place accordée aux groupes scolaires.

Dans le cas des ouvrages souterrains valorisés, les pouvoirs publics, mais encore plus les collectivités, sont pris entre deux extrêmes l'« obligation de réduire le risque », en supprimant les vides résiduels ou la volonté de conserver les sites souterrains intacts pour les valoriser (mission de conservation du patrimoine notamment).

¹⁹ Pour le personnel de site souterrain, l'exposition aux rayonnements ionisants et en particulier au radon, doit être pris en compte [10] (cf. circulaire DGT/ASN n°4 du 24 avril 2010, <https://www.asn.fr/> et <https://www.irsn.fr/>).

7 Recommandations pour l'ouverture d'un site souterrain

Sur la base des informations collectées et des retours d'expérience, des précautions particulières vis-à-vis de la sécurité des biens et des personnes doivent être prises en cas de projet d'ouverture d'un site souterrain au public. Il s'agit notamment de définir précisément les conditions [10] :

- de stabilité géotechnique des ouvrages souterrains : stabilité générale des terrains pour laquelle il s'agit de vérifier qu'aucun effondrement en masse n'est susceptible d'affecter ou d'isoler les zones fréquentées par le public ; mais aussi les conditions de sécurité immédiate pour lesquelles les risques pris en compte sont ceux liés à des instabilités locales du massif (chutes de bancs, de blocs ou de plaquettes...) qui pourraient atteindre une ou plusieurs personnes dans le site souterrain ou à l'aplomb des entrées ;
- de circulation des eaux d'infiltration ou de remontées de nappes souterraines ;
- d'aération (ventilation naturelle et/ou mécanique) ;
- d'accès (fermer les ouvertures potentiellement accessibles par un public non autorisé) et d'issue de secours (dégagements ou cheminements afin de permettre une évacuation sûre, balisage de l'espace souterrain...).

Dans une moindre mesure, l'alimentation électrique, assurant notamment l'éclairage, revêt un caractère particulièrement sensible dans un espace souterrain et doit donc être particulièrement suivie.

En amont du projet de valorisation, chacun de ces points devra faire l'objet d'une étude et d'un dimensionnement spécifique par un expert reconnu dans ces domaines. En outre, plusieurs éléments, clés de réussite, seront à vérifier :

- identifier les éventuels risques générés par la nouvelle activité et la configuration de l'ancien site, en tenant compte des facteurs aggravants ;
- intégrer tous zonages et prescriptions réglementaires existants (risque cavité et autres) aux études ;
- disposer d'un plan ou d'un modèle géométrique/géologique tridimensionnel du site souterrain (Figure 11) ;
- établir un état géotechnique initial de la cavité par un expert ;
- anticiper et préparer l'intégration territoriale locale (environnement et société) ;
- définir les besoins du projet par rapport aux ressources locales (notamment énergie et autres infrastructures au regard des besoins spécifiques : ventilation, pompage, éclairage...) ;
- s'entourer de personnes compétentes (groupe technique piloté par un chargé de mission).

**LA VALORISATION DES CAVITÉS SOUTERRAINES :
UNE SOLUTION ALTERNATIVE DE MISE EN SÉCURITÉ
MODULE 4 – ACTIVITE 3**

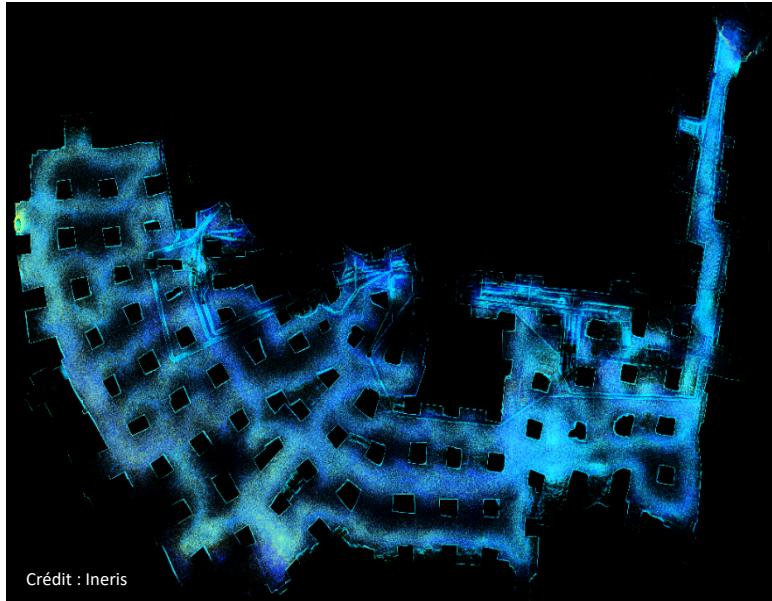


Figure 11 : Exemple d'un plan obtenu par coupe horizontale d'un nuage de points 3D

En phase d'exploitation, les quatre conditions précédentes (stabilité, venues d'eaux, aérage et accès) doivent être régulièrement suivies, contrôlées et maintenues afin de détecter toute dégradation et, éventuellement, de mettre en œuvre des mesures compensatoires (travaux de sécurisation, remplacement de matériels...).

La fin d'activité doit être prévue et dimensionnée dès les phases de conception afin de préserver les intérêts réglementaires définis notamment par le Code de l'Environnement et, dans la mesure du possible, être compatible avec une troisième vie potentielle du site !

Plus particulièrement pour les sites touristiques souterrains, à la lumière des exemples connus [10][14][15][18][17][30], les facteurs de réussite à la fois culturelle et commerciale semblent assez clairs :

- assurer un traitement aussi exhaustif que possible du thème choisi ;
- rechercher l'originalité dans la présentation ;
- bénéficier d'une certaine exclusivité régionale.

En outre, et surtout pour les établissements à l'écart des grandes régions touristiques, l'intégration à des circuits de visite multi-sites ou à des parcs de loisirs permet de transformer un simple point de passage éventuel en étape appréciée.

8 Synthèse et perspectives

L'activité 3, intitulée « Solutions alternatives de mise en sécurité » du module 4 du projet RISSC, pilotée par l'Ineris, a permis de mettre en lumière, à l'échelle transfrontalière, des solutions alternatives à celles proposées dans le livrable de l'activité 1 du module 4 du projet RISSC, à savoir les techniques de traitement (notamment par comblement) des cavités.

Tant pour les particuliers que pour les communes, les espaces souterrains peuvent présenter une alternative intéressante et lucrative. De plus en plus fréquemment, les cavités souterraines, situées en secteur urbain ou en périphérie immédiate des agglomérations, sont réutilisées à des fins de stockage ou d'élaboration de produits, notamment pour l'industrie agro-alimentaire. La multiplication des musées souterrains, de part et d'autre de la frontière, traduit un réel engouement du public pour le patrimoine industriel et historique.

Le projet RISSC a ainsi mis en évidence l'intérêt d'étudier les cavités, de mieux les connaître techniquement, pour pouvoir mieux les gérer, notamment par leur valorisation. Ces actions participent à la protection et la valorisation des sites et donc de la biodiversité qu'ils abritent.

Une cavité valorisée ou ouverte au public, étant une cavité confortée et particulièrement surveillée, concilie ainsi patrimoine et sécurité ! La valorisation peut être vue comme un outil efficace pour, notamment, suivre l'évolution géotechnique des cavités et limiter le risque de mouvements de terrain en surface (au moins pendant la période d'activité de cette valorisation) ; différents exemples, tant français que wallons, l'ont montré.

Cependant, beaucoup de projets de valorisation de cavité se heurtent rapidement à des problèmes de financement. Si les conditions de départ sont parfois alléchantes, les exigences de la sécurité publique telles qu'elles ressortent de la réglementation entraînent rapidement des frais d'aménagement et de sécurisation qui peuvent « refroidir » les enthousiasmes.

Quelques belles réussites en Hauts-de-France et en Wallonie semblent pourtant montrer la voie à suivre : Maison de la Pierre dans l'Oise, souterrains de Laon, carrière Wellington à Arras, minière de Spiennes en Belgique...

La valorisation des carrières de La Malogne (Mons), en Belgique, a été évoqué à plusieurs reprises lors du projet RISSC et des discussions sont encore en cours avec la Ville de Mons.

9 Pour aller plus loin

- [1] AL HEIB M. (2014). *Valorisation des cavités souterraines abandonnées*. Rapport Ineris DRS-14-141880-11766A.
- [2] AL HEIB M. (2015). Ville 10-D - Valorisation des cavités souterraines anthropiques. Rapport Ineris DRS-15-149582-06400A.
- [3] BENNANI M., BOUFFIER C. & FRANCK C. (2016). *Guide de surveillance des cavités souterraines d'origine anthropique*. Rapport Ineris DRS-16-156834-00810B, 127p : <https://www.ineris.fr/fr/guide-surveillance-cavites-souterraines-origine-anthropique>
- [4] BERANGER N. (2017). *La gestion du risque cavités souterraines, Guide à l'usage des collectivités*. Collection Références, Cerema, 118p : <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/gestion-du-risque-cavites-souterraines>
- [5] CAUBERGS M. (1991). *Inventaire de quelques anciennes mines et carrières souterraines de Wallonie, essai d'archéologie minière*.
- [6] COLLET H. et COLLIN JP. (2022). *Carrières souterraines de Spiennes - Les premiers « mineurs » néolithiques qui exploitaient le silex*. ECO Karst n°127, pp. 14-18 : <https://www.cwepss.org/download/ecoKarst/ecokarst127.pdf>
- [7] 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. Module 3, activité 1 du projet Interreg RISSC* : https://www.rissc-interreg.eu/sites/rissc/files/fichiers/2022/11/RISSC-Inventaire%20et%20comparaison%20r%C3%A9glementaire_FINAL_nov22.pdf.
- [8] DESCAMPS F., DEWAIDE L., LEFEBVRE C., PACYNA D., VANDYCKE S. (2022). *Les cavités souterraines en Wallonie et en Hauts-de-France - Rapport de synthèse. Module 3, activité 1 du projet Interreg RISSC* : https://www.rissc-interreg.eu/sites/rissc/files/fichiers/2023/03/Synth%C3%A8se%20-%20les%20cavit%C3%A9s%20souterraines_FINAL.pdf.
- [9] MEDDE (2010). *Guide méthodologique. Plan de prévention des risques naturels. Cavités souterraines abandonnées* : <http://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/03/cavit%C3%A9s-abandonn%C3%A9es.pdf>
- [10] MONTAGNE D. (2015). *Guide pour la valorisation du caractère patrimonial des cavités souterraines*. Association pour le Développement de la Recherche et de l'Enseignement sur l'Environnement (ADREE).
- [11] PACYNA D. (2022). *Amélioration transfrontalière de la Prévention et de la Gestion des Risques du Sous Sol engendrés par les terrains sous Cavés – Réglementation en Wallonie*. Présentation lors du colloque final du projet RISSC, Mons : <https://www.rissc-interreg.eu/actualites/retour-sur-colloque-cloture-rissc>.
- [12] PINON C. (2022). *Amélioration transfrontalière de la Prévention et de la Gestion des Risques du Sous Sol engendrés par les terrains sous Cavés – Solutions face au risque*

**LA VALORISATION DES CAVITÉS SOUTERRAINES :
UNE SOLUTION ALTERNATIVE DE MISE EN SÉCURITÉ
MODULE 4 – ACTIVITE 3**

- cavités*. Présentation lors du colloque final du projet RISSC, Mons : <https://www.rissc-interreg.eu/actualites/retour-sur-colloque-cloture-rissc>.
- [13] PINON C. (2022). *Bilan des techniques de mise en sécurité des cavités souterraines - module 4, activité 1 du projet Interreg RISSC*. Rapport Ineris - 174384 – 214660 : <https://www.rissc-interreg.eu/sites/rissc/files/fichiers/2022/10/Synth%C3%A8se%20techniques%20traitement%20cavit%C3%A9s%20Pinon%20C. 0.pdf>.
- [14] PINON C. (2021). *Prise en compte de la valorisation des ERP souterrains dans l'analyse et l'affichage du risque cavités*. Rapport Ineris - 200976 - 2416983.
- [15] PINON C., LECOMTE G., VASSORT AS. (2018). *Consolidation et mise en valeur d'une ancienne carrière souterraine classée monument historique*. SolscopeMag n°11, pp. 26-31 : <https://www.solscope.fr/cavites-et-desordres-en-surface-ineris-consolidation-et-mise-en-valeur-d-une-ancienne-carriere-souterraine-classee-monument-historique,b28-485.htm>
- [16] POULARD F., PINON C. et LECOMTE A. (2019). *Valorisation des anciens sites d'exploitation souterraine : exemples, retours d'expérience et perspectives*. Congrès de la société de l'industrie minière (SIM), Montpellier : <https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-03319927/document>
- [17] WATELET JM. et FAVRE G. (2011). *Aménagement et valorisation d'une ancienne carrière souterraine - Les Thermes troglodytiques de Jonzac*. 13^e Congrès International de l'AFTES, Lyon : <https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00973648/document>
- [18] Webinaire du 25/11/2021, « Valorisation des cavités souterraines : combiner le patrimoine et la gestion du risque » : <https://www.ineris.fr/fr/ineris/actualites/cavites-souterraines-combiner-valorisation-patrimoine-gestion-risque-journee>
- [19] <https://www.natagora.be/reserves/ronveaux>
- [20] http://environnement.wallonie.be/publi/dnf/ardoisiere/Fiches%20sites/C_Fiches_Alle.pdf
- [21] <http://biodiversite.wallonie.be/fr/1855-ancienne-carriere-ronveaux.html?IDD=251660309&IDC=1881>
- [22] <https://www.carrierewellington.com/>
- [23] [https://www.tourisme-paysdelaon.com/Decouvrir/Les-incontournables/Et-si-vous-visitez-les-souterrains-de-Laon/\(language\)/fre-FR](https://www.tourisme-paysdelaon.com/Decouvrir/Les-incontournables/Et-si-vous-visitez-les-souterrains-de-Laon/(language)/fre-FR)
- [24] https://www.villedecambrai.com/fileadmin/Public/1_Nouvelle_arbo/6-Culture/1-Ville_d_art_et_d_histoire/4-Editions/Laissez_vous conter les souterrains.pdf
- [25] <https://maisondelapierre-oise.fr/activites/>
- [26] <https://www.scladina.be/>
- [27] <https://www.minesdespiennes.org/>
- [28] <https://grotte-de-han.be/grotte>
- [29] <https://www.grotte-de-lorette.be/>
- [30] <https://www.rtbf.be/article/tourisme-souterrain-visitez-les-caves-insolites-et-les-grottes-tenebreuses-de-belgique-10799009>