



HAL
open science

Valorisation des anciens sites d'exploitation souterraine : exemples, retours d'expérience et perspectives

Frédéric Poulard

► To cite this version:

Frédéric Poulard. Valorisation des anciens sites d'exploitation souterraine : exemples, retours d'expérience et perspectives. Congrès de la société de l'industrie minérale (SIM), Oct 2019, Montpellier, France. ineris-03319927

HAL Id: ineris-03319927

<https://ineris.hal.science/ineris-03319927>

Submitted on 13 Aug 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Valorisation des anciens sites d'exploitation souterraine : exemples, retours d'expérience et perspectives

Frédéric Poulard, Catherine Pinon et Amélie Lecomte

Direction des Risques du Sol et du sous-sol de l'Ineris

1. Chapeau

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 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'État (cas des mines). Bien des anciens sites d'exploitation souterraine sont aujourd'hui perçus par les collectivités et le public comme sources de risques résiduels et de nuisances potentielles (mouvements de terrain, pollutions, risques corporels...) plutôt que comme des potentialités de développement et d'aménagement du territoire.

Le présent article vise à changer cette vision en montrant que, sous certaines conditions, ces anciens sites souterrains peuvent connaître une seconde vie et être réutilisés à des fins patrimoniales ou industrielles. Plusieurs points sont développés en lien avec la réalisation et la potentielle généralisation de tels projets : les critères de faisabilité technique, les aspects réglementaires, les intérêts et les pièges à éviter.

Un dernier point est consacré à l'ouverture sur l'avenir en s'interrogeant sur les possibilités de dimensionner les exploitations souterraines de demain, dès l'ouverture des travaux, en vue de leur réutilisation ultérieure (en version C2C – « Berceau au berceau ») pour notamment répondre aux enjeux de la transition énergétique.

2. Contexte

La France a eu une activité d'extraction passée importante. Ainsi sur le territoire métropolitain, environ 5000 titres miniers ont été octroyés (dont une grande partie a donné lieu à la réalisation de travaux souterrains) et, sans pour autant être totalement exhaustif, l'inventaire des anciennes carrières recense un peu de plus de 5000 communes concernées par la présence d'une ancienne exploitation souterraine (<https://www.georisques.gouv.fr/dossiers/cavites-souterraines/donnees#/>), Figure 1. Ce sont ainsi, plusieurs milliers de cavités issues du passé extractif qui jalonne le sous-sol français. En outre, en raison des contraintes qu'elles peuvent induire (mouvements de terrain ou aux pollutions), les cavités souterraines sont encore souvent perçues 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 anciens sites d'exploitation, [4]. Ces cavités peuvent devenir source d'attractivité, voire d'activité économique. 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.

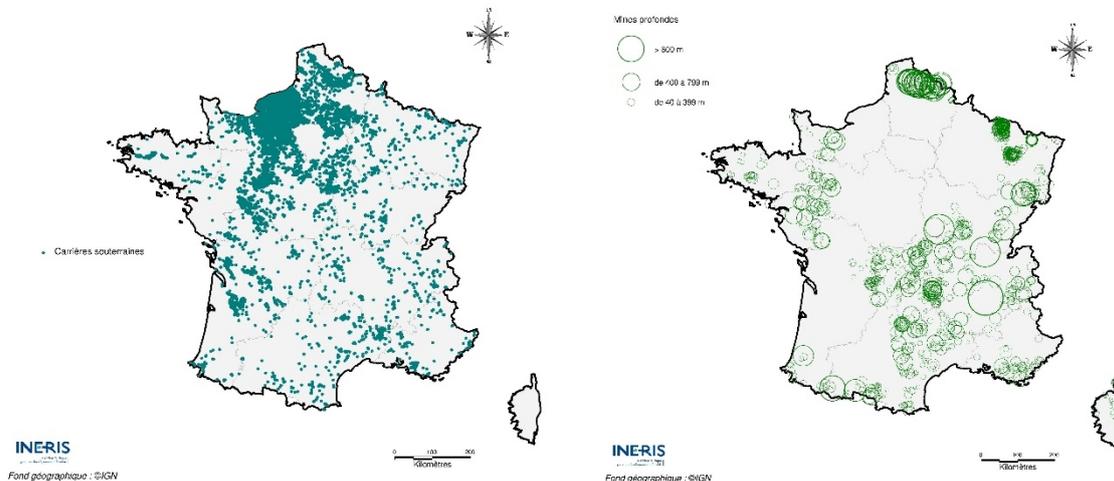


Figure 1 : Représentation des anciennes carrières souterraines (1a) et des anciennes mines souterraines (1b), Crédit Ineris

3. Caractérisation des valorisations

3.1. Typologie

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. En France et dans le monde [1], la valorisation de sites souterrains abandonnés se traduit par :

- une activité d'entreposage ou de stockage :
 - produits alimentaires : caves à vin (Figure 2), champignonnières (Figure 3), caves à fromage... ;
 - civil (Figure 4) ou militaire (Figure 5);
 - archives ou données numériques ;
 - matériaux énergétiques ou ressources en eau ;
 - déchets : stériles d'exploitation, hydrocarbures, radioactifs... ;
 - récemment, le CO₂ dans le sous-sol pour réduire le risque d'échauffement de la terre ;
- une activité touristique et une mise en valeur du patrimoine (aussi appelée géotourisme) :
 - musées de toutes sortes (décrivant une activité passée, l'histoire locale...), parcours découvertes, sites à vocation pédagogique (Figure 7)... La plupart de ces aménagements est à l'initiative d'une collectivité mais a parfois été rétrocédée à un mandataire privé pour la gestion du site ;
 - restaurants, hôtels (souvent troglodytes, comme par exemple à Matera, capitale européenne de la culture en 2019), salles de spectacle ou d'exposition (Figure 6, 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 ;

- centre de soins.

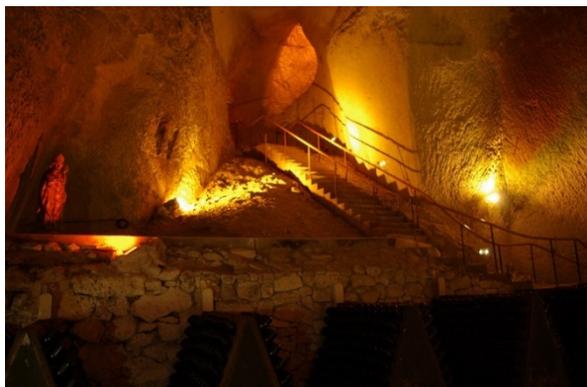


Figure 2 : Caves à vin dans les crayères de Champagne, Crédit Ineris



Figure 3 : Champignonnière en activité, Crédit Ineris



Figure 4 : Stockage civil, Crédit Ineris



Figure 5 : Stockage militaire, Crédit defense.gouv.fr



Figure 6 : Carrière des Lumières des Baux de Provence, Crédit carrieres-lumieres.com



Figure 7 : Plate-forme d'expérimentation pour l'étude des risques du sous-sol, Crédit Ineris

En France, l'utilisation des cavités souterraines comme lieu à vocation touristique, au sens large, est la plus répandue : de la simple visite ponctuelle d'une ancienne carrière jusqu'au développement complet du site intégrant des investissements importants (Tableau 1).

Type d'utilisation	Ratio
Stockage	47%
France Tourisme, loisirs, soins	24 % (16%, 4% et 4%)
Agriculture	13%
Recherche	6%
Industrie	5%
Ressources naturelles	4%
Bureaux	2%

Tableau 1 : Répartition des cas de valorisation (102 cas recensés en France et dans le monde), [1]

3.2. Caractéristiques

Les anciens sites d'exploitation les plus souvent valorisés sont ceux 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. Les sites ayant été exploités de manière totale (tailles foudroyées, piliers torpillés (dépilage), tranches remblayées, etc...) ne sont pas facilement valorisables du fait de l'absence de vides aménageables.

Les valorisations recensées concernent le plus souvent des sites peu profonds (généralement à moins de 80 m de profondeur). 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.

Enfin, on constate une légère prédominance des anciennes carrières parmi les sites valorisés, au regard des mines. Les carrières sont généralement moins profondes que les mines, mais les différents contextes des responsabilités des dommages « post-exploitation » en mines, d'une part, et en carrières, d'autre part peuvent également expliquer ce léger décalage (voir plus avant).

Méthodes d'exploitation	Profondeur	Matériaux
Vides résiduels	Faible profondeur (< 80 m)	de « carrière » (calcaire)
Traitement des vides (en phase exploitation)	Profondes	de « mine » (sel, fer, potasse, polymétallique... charbon)

Tableau 2 : Caractéristiques des sites valorisés (en vert les conditions les plus rencontrées)

3.3. Intérêts

Le principal intérêt des cas recensés est la valorisation et la conservation du patrimoine que représentent ces anciens sites d'exploitation. 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 communautés de communes concernées à qui ce devoir incombe en premier lieu.

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

- température limitée et quasi-constante toute l'année (de l'ordre de 13°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) ;
- à un besoin d'isolement à l'extérieur des zones densément urbanisées.

Enfin, ces cas de valorisation sont également source de soutien à une activité économique locale souvent déclinante après l'arrêt de l'extraction.

3.4. Deux exemples particuliers

Parmi tout le panel de valorisations possibles, deux exemples concrets sont ici particulièrement détaillés, du fait, soit de leur réussite, soit de leur potentiel de développement :

- le centre de soins thermal de Jonzac (Figure 8 et Tableau 3) ;
- le centre de stockage de données numériques (datacenter) du Saumurois (Figure 9 et tableau 4).



Extraction initiale	Fin 19 ^{ème} siècle (période principale) Calcaire (Turonien)
Valorisation	(Champignonnière, distillerie, stockage militaire (39-45)) Centre thérapeutique (ERP classe 3)
Superficie (au fond)	1 ha (sur 8 ha au total)
Profondeur	20-25 m
Date début activité	1988
Effectifs employés	85 personnes
Activité	13 000 curistes / an (1000 curistes / j en haute saison)
Budget	n.c
Sécurité, maintenance	Commission de sécurité tous les deux ans Inspection géotechnique semestrielle par experts externes Télé-surveillance (convergence) Travaux de confortement : piliers maçonnés et boulonnage Aération et réseaux électriques surdimensionnés

Figure 8 et Tableau 3 : photographies et caractéristiques du site du Jonzac, Crédit Ineris



Extraction initiale	12 -19 ^{ème} siècle Tuffeau (calcaire fin, Turonien)
Valorisation	(Champignonnaise années 1950) Data center, installation de Deeppdata
Superficie (au fond)	~2000 m ²
Profondeur	10 – 20 m
Date début activité	Projet initié en 2013, fonctionnel depuis l'été 2016
Effectifs employés	n.r
Activité / efficacité	Capacité de stockage de 3 200 téraoctets, soit 160 serveurs Efficacité énergétique de refroidissement d'environ 1,10 sans optimisation (optimum de 1 jamais atteint internationalement)
Budget	500 k€ d'investissement
Sécurité, maintenance	Accompagnement technique d'un exploitant carrier local Travaux d'aménagement de section de galeries

Figure 9 et Tableau 4 : photographies, Crédit Enia, et caractéristiques du datacenter du Saumurois

4. Responsabilités et aspects réglementaires

Sans pour autant constituer une référence réglementaire complète, les paragraphes suivants mettent l'accent sur quelques éléments clés en lien avec les différents niveaux de responsabilités quant aux activités de valorisation et de réutilisation d'anciens sites d'extraction souterraine.

4.1. A l'origine, l'exploitation des mines et des carrières

Il faut savoir qu'en France, un propriétaire possède un terrain et son sous-sol (article 552 du Code civil, « *La propriété du sol emporte la propriété du dessus et du dessous* ») sauf dans le cas, prévu par le Code Minier, où des ressources minières ou pétrolifères se trouvent dans ce sous-sol, auquel cas elles appartiennent à l'Etat français et non au propriétaire du terrain.

En synthèse, cela signifie que suivant la nature de la substance exploitée :

- 1) pour les carrières (toute substance minérale exceptée celles listées à l'article 1 du Code Minier), l'extraction ne peut pas être entreprise sans l'accord du propriétaire du terrain (à noter toutefois que la propriété du dessous peut être dissociée juridiquement de celle du dessus. Le propriétaire du sol peut vendre, donner ou louer le sous-sol de son terrain) ;
- 2) pour les mines (substances listées à l'article 1 du Code Minier), l'exploitation ne peut être entreprise sans l'accord du propriétaire du terrain et est justifiée par le fait que « l'utilité publique » prime.

Dans ce deuxième cas, c'est l'Etat qui autorise une société à exploiter une mine par l'intermédiaire d'un titre minier qui se subroge au droit du sol. « *Ce titre est attribué par décret en Conseil d'État après une procédure spécifique. Il mentionne un périmètre,*

une superficie, une société titulaire, le ou les produits concernés. Il donne un droit d'exclusivité au titulaire pour la recherche et l'exploitation de ce ou ces produits dans le périmètre défini dans le texte du décret et, s'il est attribué à l'origine à perpétuité, sa durée est limitée depuis 1919 ».

Ainsi, en France, le contenu des dossiers d'ouverture et de fermeture ainsi que l'exploitation des carrières souterraines sont régis par le Code de L'Environnement et la réglementation des ICPE (rubrique 2510) ; ils sont portés par le propriétaire du sol (ou par une société ayant contracté un accord spécifique avec le propriétaire du sol). Les dossiers (ouverture et fermeture) et les travaux miniers sont régis par le Code Minier ; ils sont portés par le titulaire d'un titre minier valide (titulaire qui n'est généralement pas propriétaire du terrain).

4.2. La post-exploitation

Une fois l'exploitation des mines ou des carrières terminée et validée par les services de l'Etat en charge de leur suivi (le plus souvent après la réalisation d'études et de travaux spécifiques), le site entre dans la phase dite de post-exploitation. Cette phase englobe deux phases :

- la prévention des risques et l'aménagement durable des zones concernées ;
- la gestion des dommages éventuels.

4.2.1. Les dommages

Qu'il s'agisse de mines ou de carrières, lors de la fermeture des travaux et de l'arrêt de l'exploitation, l'Etat contraint les exploitants à mettre « *tout en œuvre* » pour :

- cas des mines (article 43 du décret n°2006-649), faire cesser les « *risques importants susceptibles de mettre en cause la sécurité des personnes ou des biens, notamment ceux de mouvements de terrain et d'accumulation de gaz dangereux mentionnés à l'article L.174-1 du code minier* », ou à défaut à définir les moyens pour les surveiller ou les prévenir ;
- cas des carrières (article 34-1 du décret n° 77-1133 et Arrêté du 22/09/94 relatif aux exploitations de carrières), « *remettre en état le site de manière à garantir les intérêts mentionnés à l'article L. 511-1 du Code de l'environnement et en particulier ceux liés à la sécurité des biens et des personnes* ».

Toutefois, dans certains cas, notamment les exploitations les plus anciennes, arrêtées antérieurement à la constitution des dossiers d'arrêt contemporains et complets, les sites d'exploitation souterraine peuvent être la cause de dommages notamment aux bâtis, aux infrastructures et aux biens. La réparation de ces dommages diffère une nouvelle fois pour les mines, d'une part, et pour les carrières, d'autre part, du fait des différences réglementaires en phase d'exploitation.

Dans le cas de dommages imputables à une carrière souterraine, c'est au propriétaire du terrain « seul » d'assumer les réparations et les coûts (NB : dans le cas d'un arrêté Catastrophe Naturelle Mouvement de terrain ou d'un Plan de Prévention de Risques Naturels Cavités, certaines assurances habitations ou le fond Barnier peuvent prendre en charge une partie du financement de ces réparations).

Dans le cas de dommages miniers, le Code Minier précise que leur réparation est supportée, en premier lieu, par l'exploitant ou le titulaire du titre minier (même après arrêt des travaux et renonciation de titre minier) puis, en second lieu, par l'Etat, dans le cas où l'exploitant n'existerait plus ou ne serait pas solvable.

4.2.2. La prévention des risques

La prévention des risques est une des missions régaliennes de l'Etat français pilotée par la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du Ministère de l'Ecologie.

Dans ce cadre et en matière d'anciennes mines et carrières, l'Etat prescrit notamment, par l'intermédiaire des préfets, et finance la mise en œuvre de :

- Plan de Prévention des Risques Naturels Cavités (PPRN-Cavités) pour gérer les risques liés aux anciennes carrières souterraines ;
- Plan de Prévention des Risques Miniers pour gérer les risques liés aux anciennes mines souterraines (et à ciel ouvert).

Un PPR (Cavité ou Minier) se scinde en 3 phases, [2], [5] :

- Phase informative. L'ensemble des données disponibles sur les anciens travaux étudiés est consulté afin de recueillir les informations relatives aux caractéristiques des travaux et à leur historique (Dossier d'arrêt de travaux ou de remise en état, plans, Procès-Verbaux de visites, rapports sur les exploitations...). Les plans de travaux sont ensuite géoréférencés afin de localiser les zones exploitées et les éventuels ouvrages débouchant en surface. Une inspection sur le terrain est effectuée. Les indices miniers, localisés par GPS, permettent de valider les données d'archives et de réduire les incertitudes de localisation liées au géoréférencement des plans. C'est également lors de cette visite que toute personne ayant une bonne connaissance des travaux est rencontrée. Une carte informative est établie à l'issue de ces différentes phases et intègre l'ensemble des informations nécessaires à la réalisation de la phase d'aléa ;
- Phase d'évaluation et de cartographie des aléas. L'analyse de chacun des aléas retenus est fondée sur une évaluation du niveau d'aléa par type de désordre ou phénomène attendu et par zone homogène. L'évaluation est menée en croisant l'intensité des désordres en surface et la sensibilité du site à leur apparition (déterminée à partir de critères de prédisposition ou des facteurs aggravants). Cette évaluation n'intègre pas la nature de l'occupation de la surface. Une carte d'aléa est établie à l'issue de cette analyse ;
- Phase réglementaire. Il s'agit d'établir un règlement qui précise les mesures définies pour s'appliquer à chacun des secteurs du zonage réglementaire associé :
 - les mesures sur les biens et activités existants ;
 - la réglementation relative aux projets nouveaux ;
 - les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde.

Le choix des différentes mesures édictées doit notamment s'appuyer sur leur facilité de mise en œuvre technique, leur coût, leur applicabilité réglementaire au regard des autres codes et, surtout, leur efficacité au regard des objectifs fixés.

Le PPR a valeur de servitude d'utilité publique ; à ce titre il doit être annexé aux documents d'urbanisme (article L 126-1 du code de l'urbanisme) ; ses dispositions sont opposables à toute personne physique ou morale réalisant des travaux sur le territoire concerné. Un PPR comporte des prescriptions d'urbanisme mais également des règles particulières de construction en application de l'article R 126-1 du Code de la construction et de l'habitation ; la responsabilité de l'application de ces règles incombe au maître d'ouvrage ainsi qu'aux professionnels chargés de la construction.

Le PPR est un outil réglementaire puissant, d'autres outils de gestion du risque existent mais ils ne comportent que des recommandations (non opposables) ou des prescriptions d'urbanisme (elles concernent notamment l'implantation, le volume et les dimensions des ouvertures des bâtiments), seul le PPR peut opposer des règles constructives. On citera pour mémoire, [6] :

- les Secteurs d'Information sur les Sols (SIS) ;
- le Porter à Connaissance (PAC) de l'Etat vers les collectivités ou le TIM (Transmission des Informations aux Maires), permettant aux communes d'établir :
 - leur DICRIM (Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs) ;
 - leurs documents de planification et d'urbanisme (Schéma de COhérence Territoriale - SCoT, Plan Local d'Urbanisme – PLU ou PLUI (intercommunal), cartes communales) ;
- le Projet d'Intérêt Général (PIG).

Ces outils sont complémentaires et permettent d'agir à différents niveaux (prévention, orientations d'aménagement, prescriptions d'urbanisme et/ou prescriptions constructives). Ils sont à utiliser en fonction des enjeux du territoire. Le Programme d'Actions de Prévention des Risques Cavités ([PAPRICA](#)) propose des pistes de planification et d'organisation entre ces outils.

4.3. L'exploitation des sites valorisés

C'est principalement le type d'activités implantées dans l'ancien site d'exploitation qui fixe les responsabilités et le cadre réglementaire de ces valorisations :

- les activités industrielles sont régies par le Code de l'Environnement et la réglementation des 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. Ce type de projet, entrepris le plus souvent dans le cadre d'ERP de 5^{ème} catégorie, est placé sous le « quasi-seul » contrôle de son gérant. En effet, sauf arrêté communal complémentaire, ce type d'établissement n'est pas soumis à contrôle à l'ouverture ni à contrôle périodique par la commission de sécurité. Les règles d'exploitation sont donc souvent disparates et peu homogènes d'un lieu à l'autre de la France.

NB : c'est le maire qui autorise l'ouverture d'un ERP par arrêté municipal ; ce dernier sollicite toutefois bien souvent l'avis de la commission de sécurité pour contrôler et fournir régulièrement une « *attestation d'accessibilité* » et « *attestation de solidité* ». Dans le cadre d'un ERP souterrain, la commission de sécurité se déclare généralement non-compétente sur la notion de solidité. L'attestation de solidité correspond logiquement à une étude de stabilité de la cavité (ou étude géotechnique) réalisée par une équipe d'experts.

Remarques :

Compte tenu de la responsabilité des dommages (voir précédemment, paragraphe 4.2.1), la mise en œuvre d'ERP au sein d'anciens sites miniers, dont les dommages sont théoriquement supportés « *ad-vitam aeternam* » par l'Etat, peut se révéler plus longue qu'au sein d'anciennes carrières souterraines, sous responsabilité des « seuls » propriétaires des terrains.

4.4. La prévention des risques et la valorisation des sites

Au vue des éléments précédents, il est logique de s'interroger sur l'interconnexion entre la valorisation d'anciens sites souterrains et la politique de prévention des risques (Figure 10) : comment les prescriptions et les recommandations préventives prennent-elles en compte les possibilités de valorisation ? Les réutilisations impactent-elles les niveaux d'aléa et de risque ?

L'axe 5 du programme d'actions du PAPRICA a identifié ces attentes : « Il existe des actions de réduction de la vulnérabilité qui peuvent être originales et pertinentes au regard de leur contenu et de la plus-value apportée au territoire, par exemple la valorisation patrimoniale ou environnementale de l'espace souterrain ».

Un travail a donc été entrepris en 2019 sur ces questions dans le cadre du programme d'appui « Risques gravitaires et aménagement du territoire » de l'Ineris pour la Direction Générale de la Prévention des Risques, il se poursuivra en 2020. Les premiers éléments notables de ces travaux sont synthétisés ci-après.

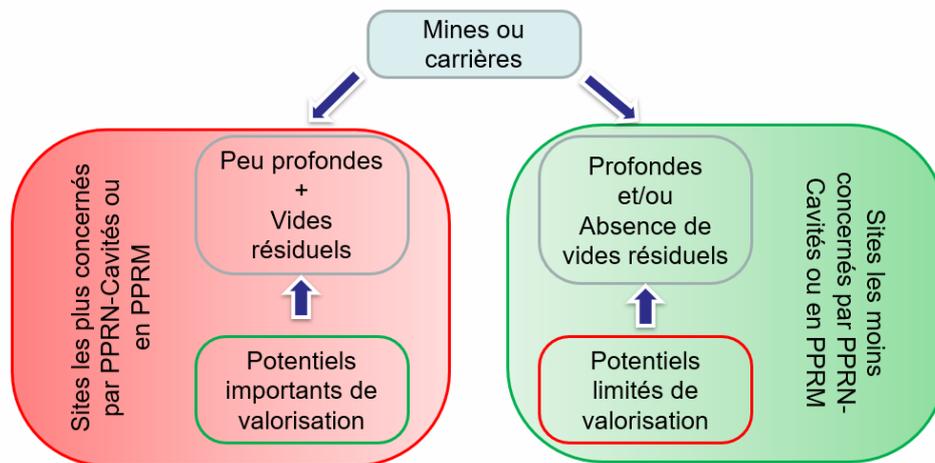


Figure 10 : Interconnexion des potentialités de valorisation des sites et des périmètres d'effet des outils de gestion du risque

1) Impact sur l'aléa et les risques :

- l'ouverture au public d'une cavité souterraine est un outil efficace 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) dans les cavités ouvertes au public ;
- ces études et suivis précisent la caractérisation des aléas de type mouvements de terrain liés à la présence de cavités souterraines (nature, intensité, marge d'incertitude...).

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 de la champignonnière Notre Dame de Bonsecours à Senlis dans l'Oise.

2) Affichage du risque (à ce stade 70 exemples d'ERP souterrains ont été confrontés à l'affichage du risque établi sur le territoire concerné (PLU, PPRN...)) :

- peu de PLU mentionnent un zonage particulier lié à la présence de cavités souterraines. Il est même parfois précisé que les constructions et extensions sont autorisées notamment celles à caractère touristique (artisanat, commerce...), sportif ou de loisirs, sans prescription particulière ;
- quand les cavités sont signalées et prises en compte (PPRN-Cavité en particulier) :
 - les cavités valorisées en ERP peuvent se trouver dans une zone d'aléa de niveau variable : faible à très fort ;
 - il est rare que les cavités valorisées en ERP soient soumises à des prescriptions constructibles particulières. Les prescriptions visent en majorité l'aménagement et l'utilisation de la surface, à savoir une reconnaissance géotechnique permettant de s'assurer de leur stabilité vis-à-vis des cavités éventuelles. De rares recommandations traitent de la sécurité du public dans la cavité aménagée en ERP ;
 - les cavités valorisées en ERP permettent de réduire les emprises d'aléas et les zones réglementaires (exemple de Jonzac) ;
- il n'y a pas d'exemple de création d'un ERP souterrain postérieure à l'application d'un PPR.

5. Recommandations

Si les anciens sites souterrains peuvent être recherchés pour leurs spécificités (cf. paragraphe 3.3), ces dernières sont également sources de précautions particulières vis-à-vis de la sécurité des biens et des personnes, il s'agit notamment des conditions :

- de stabilité géotechnique des ouvrages souterrains ;
- de circulation des eaux d'infiltration ou de remontées de nappes souterraines ;
- d'aération ;
- d'accès et d'issue de secours (et de balisage de l'espace souterrain).

Dans une moindre mesure, l'alimentation électrique, assurant notamment l'éclairage, revêt un caractère particulièrement sensible dans une 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 ;
- établir un état géotechnique « 0 » 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 (un groupe technique piloté par un chargé de mission).

En phase d'exploitation, les quatre conditions précédentes (stabilité, venues d'eaux, aération 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 !

6. Les valorisations de demain

Plusieurs pistes de valorisation sont actuellement à l'étude et/ou en phase de démonstration. Elles prouvent tout le potentiel de ces anciens sites autrefois prospères et qui ne demandent qu'à le redevenir dans le contexte des attentes et des objectifs forts liés à la transition énergétique [7] :

- Stations de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP) en mines ou carrières souterraines. On citera le projet de la carrière de calcaire d'Elmhurst, Chicago, aux Etats-Unis ou celui de SMARTWATER en Belgique ;
- Stockage d'Énergie Thermique en Cavité Souterraine (SETCS). On citera notamment le projet Démosthène dans une carrière souterraine de l'Oise ;
- stockage d'hydrogène dans d'anciennes cavités exploitées (sel notamment) ;
- puits d'hydrocarbure abandonnés reconvertis en sondages géothermiques ;
- Datacenter de « grosses » capacités, avec le cas de la mine souterraine norvégienne de Lefdal (olivine) reconvertie en un datacenter de 120 000 m² de surface.

L'exemple ultime de type « Berceau au berceau » est le fameux site de Subtropolis au Minnesota. La carrière de calcaire exploite 13000 m² de surface par an qui sont « immédiatement » réutilisés et valorisés : zone de tri postal, datacenter, archivage (« papier », films), stockage de café, entreprise d'imprimerie, ateliers de peinture...*Figure 11.*

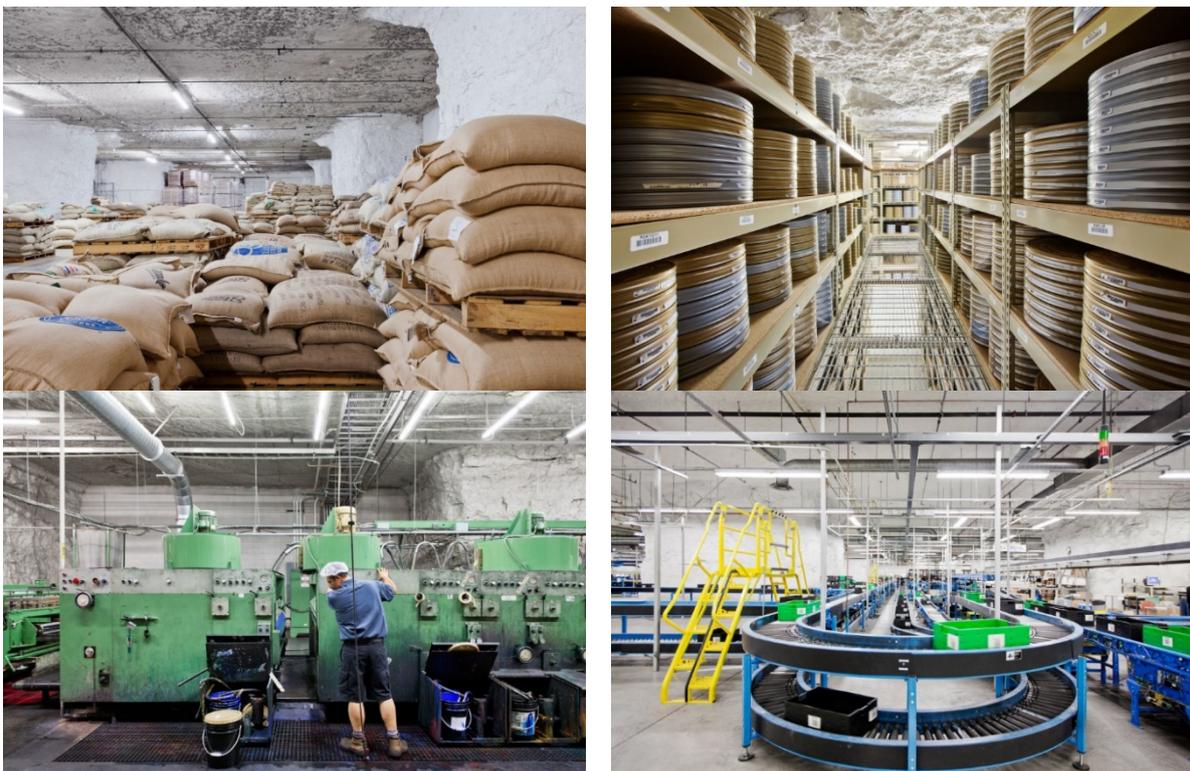


Figure 11 : Site de Subtropolis, Crédit phototrend.fr/

7. Références

- [1]. Al-Heib, 2014. Valorisation des cavités souterraines abandonnées. Rapport DRS-14-141880-11766
- [2]. MEDDE. Guide méthodologique. Plan de prévention des risques naturels. Cavités souterraines abandonnées
- [3]. Montagne, 2015. Valorisation du caractère patrimonial des cavités souterraines. Guide. Association pour le Développement de la Recherche et de l'Enseignement sur l'Environnement (ADREE)
- [4]. Palisse, 2017. VILLE10D – Ville d'idées. Projet National de Recherche. Rapport d'étape. R/17/V10D/035 - LC/16/V10D/84. https://www.ville10d.fr/wp-content/uploads/2017/04/VILLE10D_Rapport-etape_avril-2017.pdf
- [5]. Salmon, 2018. Guide d'évaluation des aléas miniers. Document Ineris-DRS-17-164640-01944A. <https://www.ineris.fr/fr/guide-evaluation-aleas-miniers>
- [6]. Salmon, 2017. Guide de gestion du risque minier post-exploitation. Document DRS-17-164640-01814A. <https://www.ineris.fr/fr/guide-gestion-risque-minier-post-exploitation>
- [7]. INERIS, 2016. Le stockage souterrain dans le contexte de la transition énergétique. Maîtrise des risques et impacts. INERIS références, août 2016, www.ineris.fr