

Possibilités de réutilisation et de réaménagement de mines abandonnées souterraines; considérations géologiques et environnementales ¹

Geological and environmental considerations in abandoned underground mine reuse and rehabilitation

par/by:

Dr. Daniel J. Boivin ²

Résumé. Jusqu'à maintenant, beaucoup de recherche et de projets de restauration de sites miniers abandonnés partout à travers le monde ont été réalisés et la plupart d'entre eux portent en fait sur la récupération des terrains et la revégétation des sites dégradés. Or, cet article documente un aspect négligé de la réhabilitation de ces sites soit celui de leur reconversion en une autre vocation en étudiant les possibilités des excavations en tant que telles. Puisque les activités minières ont laissé en place de vastes espaces souterrains disponibles, ceux-ci peuvent vraisemblablement offrir un certain intérêt pour d'autres usages. Nous insisterons plus spécifiquement sur les possibilités et les contraintes reliées à ces excavations en matière de géologie et d'environnement. Parmi les réalisations rencontrées un peu partout dans le monde figurent par exemple la reconversion en réservoirs d'eau et d'hydrocarbures, en pépinières, en cultures de légumes et de champignons, en entrepôts de matières en vrac, en attraction touristique et même en installations industrielles.

Mots-clés: Réaménagement, mines abandonnées, conversion, excavations souterraines.

Abstract. Up to now, much attention has been devoted to the restoration of abandoned mining sites all over the world, with great emphasis on reclamation and revegetation techniques to restore the land to environmentally acceptable standards. In this paper, the reconversion possibilities of underground excavations are documented. With the availability of an underground empty space left at the end of the mining operations, the cavities might very well be of great interest for certain reuses. This paper describes the possibilities and the constraints offered by these excavations, with specific attention to geological and environmental considerations. Among the possibilities in use across the world are the conversion of old mines into water or oil reservoirs, dry goods storage, plant nurseries, vegetable and mushroom farms, tourist attractions and even industrial facilities.

Key-words: Rehabilitation, abandoned mines, conversion, reuse, underground excavations.

Problématique de la sécurisation et de la réhabilitation des sites

"...the alternative of converting disused mines into underground storage plants seems to have been dismissed and the possibilities of the system have not been given the consideration that they deserve."

WETTLEGREN, G. 1978, p.9

La problématique de la réhabilitation des terrains miniers abandonnés ou en voie de l'être passe nécessairement par une analyse de la valeur de ces terrains. Cette valeur doit tenir compte de la localisation du site, de la superficie et de la topographie des lieux et des contraintes laissées sur place après l'abandon des travaux miniers. Au Québec, l'analyse des possibilités offertes pour ces sites a été faite brièvement pour environ 90% des sites miniers abandonnés. Seules les régions de la Côte-Nord et du Saguenay Lac St-Jean de même que quelques sites dispersés dans l'Outaouais n'ont pas encore été visités et évalués. Parmi les données et paramètres qui sont consignés dans la fiche d'évaluation ne figure pas une détermination précise des options qui s'offrent pour la reconversion éventuelle de ces terrains en une nouvelle vocation. Dans la plupart des cas éloignés géographiquement, la restauration s'impose comme mesure pour les parties en surface des terrains impliqués. Ce facteur d'éloignement jus-

¹ Paper presented at the conference Reclamation, A Global Perspective, held in Calgary, Alberta, Canada, August 27-31, 1989.

² géographe-aménagiste, Centre de Recherches en Aménagement et en Développement, Pavillon F.-A. Savard, #1624, Université Laval, Ste-Foy, Québec, Canada, G1K 7P4.

Il est bien souvent cette option unique. Cependant, pour quelques sites situés plus près d'agglomérations urbaines, il est possible de considérer une véritable réhabilitation du site et plus spécifiquement de songer à utiliser les volumes souterrains laissés à l'abandon à d'autres usages. Nous croyons que cette alternative est souvent négligée par simple manque d'expérience ou d'imagination (voir tableau 1). Plusieurs réalisations à l'étranger nous porte à croire que nous sous-estimons le potentiel de reconversion de ces sites. Nous croyons donc utile de rappeler quelles sont ces options et quelles contraintes y sont associées.

Forme des excavations

Un des facteurs les plus importants à analyser en matière de réutilisation concerne d'abord la forme des excavations souterraines. On connaît deux types de travaux en souterrains soit les cavités minées et les réseaux de tunnels, galeries et puits.

Les possibilités offertes par chacun de ces types dépendent en premier lieu de la stabilité de ces ouvrages. Il va sans dire que des travaux partiellement effondrés ou dont le risque d'effondrement est élevé seront d'un faible intérêt. Ceci est lié tout d'abord aux risques élevés d'accidents lors de la remise en état, mais aussi au cours de la période d'utilisation de l'excavation. Mais surtout, l'instabilité des parois et plafonds entraîne des coûts exorbitants de soutènement et de rénova-

tion qui nécessitent par ailleurs une expertise précise en génie minier. Le but recherché ici est de localiser et d'identifier des cavités ou des ouvrages encore solides qui pourront être aménagées au minimum de coûts.

Il est utile ici de remarquer que certaines utilisations du sous-sol ne se préoccupent pas autant de la forme des cavités que du volume impliqué (WETTLEGREN, 1978). Ainsi, dans certains cas, la forme des galeries et corridors souterrains peut représenter une contrainte alors que dans d'autres, il en est autrement. C'est le cas par exemple du stockage de liquides où la forme n'est pas un critère très important par rapport au volume. A ce moment, la présence d'obstacles dans les galeries pourraient nuire au libre écoulement et circulation des liquides dans les galeries. Aussi, la viscosité du liquide peut être retenue comme un paramètre à ne pas négliger; dans le cas de stockage de pétrole brut par exemple où la masse liquide est très visqueuse, il est possible que la circulation latérale ou verticale soit plus difficile dans d'étroites galeries alors que l'eau circule sans problème. De tels exemples de cavités souterraines sont présentes au Québec dans l'Abitibi, en Estrie, dans la région de Chibougamau et dans l'Outaouais.

Une ancienne mine souterraine de chromite située dans la municipalité de Black Lake (Estrie) fut transformée en réservoir d'eau. Ce réservoir sert comme volume d'eau disponible en cas d'incendie. En effet, il y a plusieurs années, la mine Bell a connu un incendie à son moulin. Cet événement a éveillé les industriels locaux au risque de tout perdre leur investissement

TABLEAU 1
USAGES ACTUELS DE MINES OU CARRIERES
SOUTERRAINES ABANDONNEES

FONCTION

caves à vin
caves à fromages
champignonnières

réservoir d'eau
réservoir d'hydrocarbures

archives (films, rubans magnétiques, livres, dossiers, disques, vidéos,...)

entrepôts
usines
bureaux
ossuaires
habitats troglodytiques
abris nucléaires

EXEMPLES

carrières de Meudon (banlieue parisienne)
carrières de Meudon (banlieue parisienne)
carrières de Meudon (banlieue parisienne)
carrières West Winfield (Pennsylvania)

Trondheim (Norvège)
Flaxenvik (Suède)
May-sur-Ome (France)

Hudson (New York)
Kansas City (Kansas)
Kansas City (Kansas)
Kansas City (Kansas)
catacombes de Paris (France)
Vallée de la Loire (France)
très répandu à travers le monde

sources: AUGHENBAUGH, N.B. (1974) et BREGEON, J. (1987)

et de menace de fermeture éventuelle de leur mine s'il ne prévoyait pas des mesures contre les incendies. Or, cette ancienne mine se situait à quelques centaines de mètres du moulin de la compagnie Lac d'amiante du Québec située en bordure de la route 112. A cause également de la différence d'altitude entre cette ancienne mine et le moulin situé plus bas, on s'est rapidement aperçu que la pression d'eau serait alors plus que suffisante pour alimenter le système de lutte contre les incendies du moulin.

Dans le cas du stockage d'hydrocarbures dans d'anciennes cavités minées, l'exemple de Flaxövik en Suède retient tout particulièrement l'attention de même que l'ancienne mine de fer de May-sur-Orne près de Caen en France (voir figures 1 et 2). Dans les deux cas, des cavités laissées à l'abandon furent inspectées et jugées capables de recevoir des hydrocarbures.

En matière de forme des ouvertures, un intérêt particulier est également centré autour des mines souterraines dont les galeries et tunnels sont sub-horizontaux. Ces vastes espaces de passages et de piliers peuvent présenter des avantages pour plusieurs. La figure 3 montre justement une carrière souterraine convertie en usine.

Ainsi, à partir de galeries rectilignes abandonnées comme c'est le cas sous Paris (voir figure 4), on peut installer différents usagers dans les galeries. Les facteurs à retenir sont la stabilité des ouvrages, la hauteur des plafonds, la largeur des galeries, l'absence d'eau ainsi qu'une température ambiante acceptable.

Stabilité des ouvrages

L'intégrité des parois et des plafonds constitue une première exigence pour le réaménagement d'une cavité quelconque. Plusieurs méthodes éprouvées peuvent être envisagées pour corriger des problèmes locaux. Citons par exemple l'usage de gunnite ("shotcrete"), la pose de boulons d'ancrage ou de piliers additionnels, de cintres en acier et de grillages pour contrôler les chutes de blocs.

Un des problèmes rencontrés dans certains types de roches concerne le gonflement de minéraux argileux lorsque les parois sont exposées à l'oxygène de l'air. Ainsi, les roches contenant de la montmorillonite (argile) peuvent provoquer des éclatements et déstabilisation de parois. Certaines roches argileuses comme les shales peuvent également se déstructurer et s'effriter au simple contact de l'air. Dans ces deux cas, l'usage de gunnite projetée sur les parois fraîchement écaillées ou dénudées permet de régler ce problème de façon permanente.

Hauteur des plafonds

En matière de hauteur des plafonds, un minimum de 2.44m est requis lorsque l'homme doit circuler dans ces cavités. Ceci est nécessaire afin de disposer de suffisamment de dégagement pour la pose du système d'éclairage. Il est préférable cependant (pour des questions d'ordre psychologique surtout) de privilégier des plafonds plus hauts.

Largeur des galeries

En ce qui concerne la largeur des corridors, on recherche des galeries larges et rectilignes. Ainsi, les pièces créées offriront plus de flexibilité pour l'aménagement comme cela est le cas actuellement à l'usine souterraine Brunson à Kansas City. Cet aspect prend plus ou moins d'importance selon l'usage. Ainsi dans le cas des caves à vin, le stockage des bouteilles se fait directement dans les galeries en laissant simplement un passage au centre. La largeur des corridors sera aussi déterminante si l'on utilise des véhicules motorisés comme dans le cas des fermes de champignons où toutes les étapes de préparation exigent un transport de matières premières, du produit de la récolte ou de l'équipement d'entretien des lieux.

Absence d'eau

L'absence de venues d'eau dans les galeries est primordiale à plusieurs points de vue. D'abord, les galeries doivent être à sec pour permettre l'installation de machines et d'équipement à l'abri de la rouille et de l'inondation. Puisque beaucoup de ces appareils fonctionneront à l'électricité (tout combustible inflammable est à proscrire à cause du danger d'explosion), il est nécessaire que les conditions d'implantation soient sans eau. En deuxième lieu, le taux d'humidité doit être le plus bas possible à la fois pour le confort des usagers que pour les denrées et équipements qui y trouvent place. Un taux d'humidité trop élevé est d'ailleurs fort difficile à abaisser et impliquerait des coûts trop élevés en termes d'équipement de ventilation et de déshumidification.

Enfin, la présence d'eau peut endommager les aménagements intérieurs tels que murs intérieurs, parois, équipement de bureau et nuire au bon fonctionnement d'appareils tels que photocopieuses, dactylos, ordinateurs, téléphones et autres appareils électriques et/ou électroniques. La situation optimale à rechercher consiste d'une part à pomper l'eau qui s'infiltré et de la diriger dans le système d'égoûts installé; dans le cas toutefois où la quantité d'eau impliquée est très impor-

Figure no. 1
Coupe du dépôt d'hydrocarbures de Flaxenvik, Suède
Cross-section of the Flaxenvik oil depot, Sweden

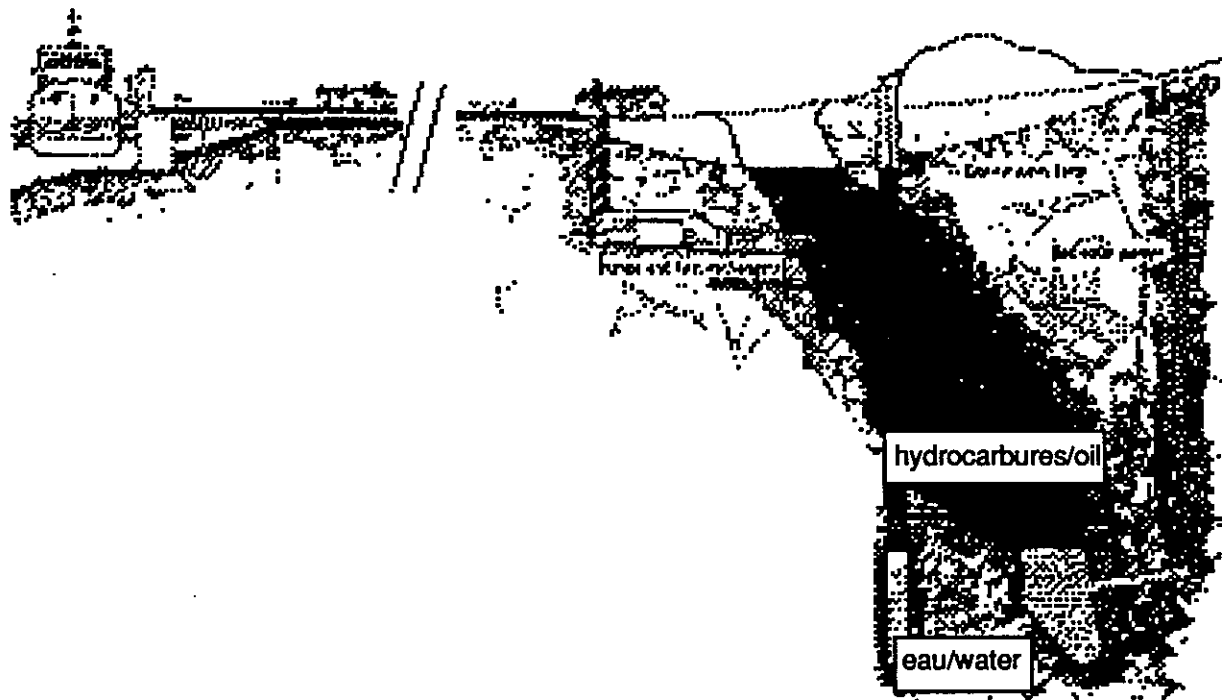


Figure no. 2
Vue en coupe de la mine de fer de May-sur-Orne, France
Cross-section of the May-sur-Orne iron mine

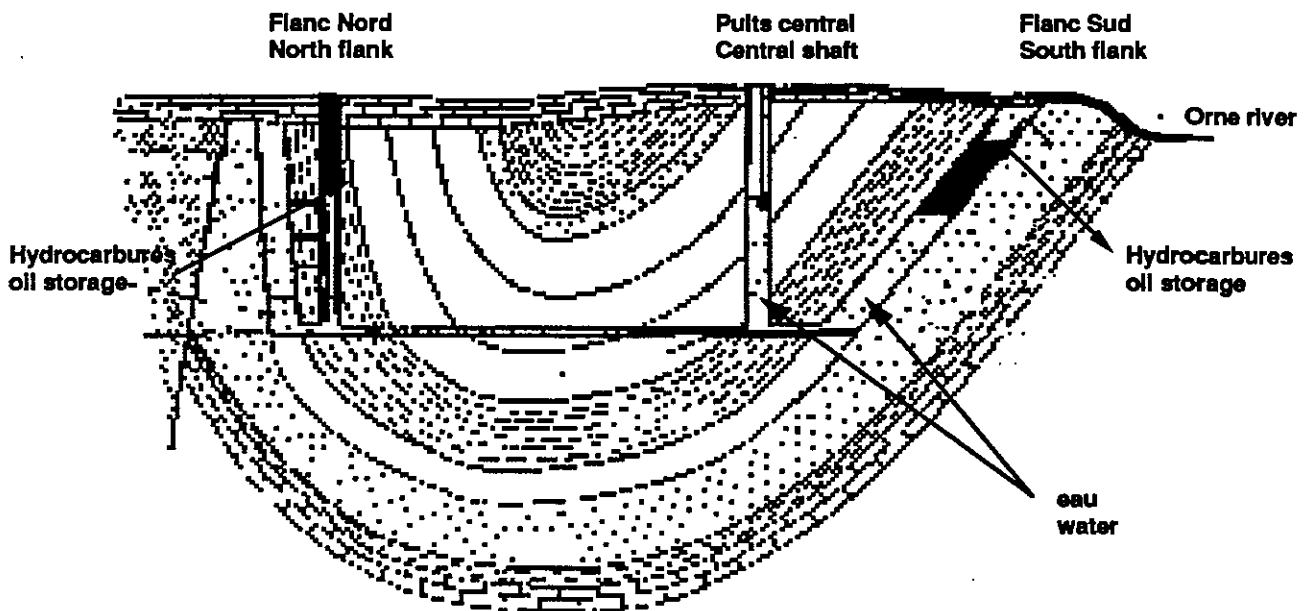


Figure no. 3

Vue générale de l'usine souterraine Brunson, Kansas City, USA
General view of the Brunson underground plant in Kansas City, USA.

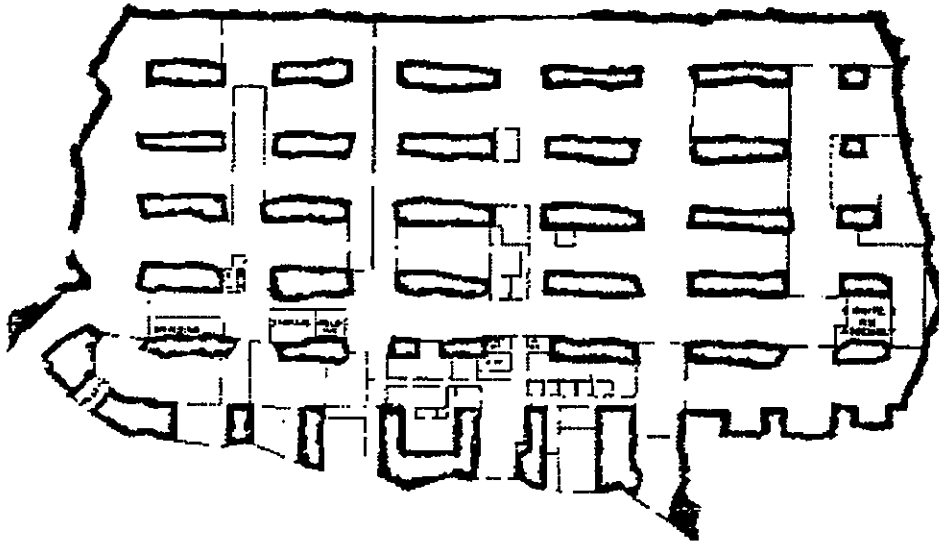
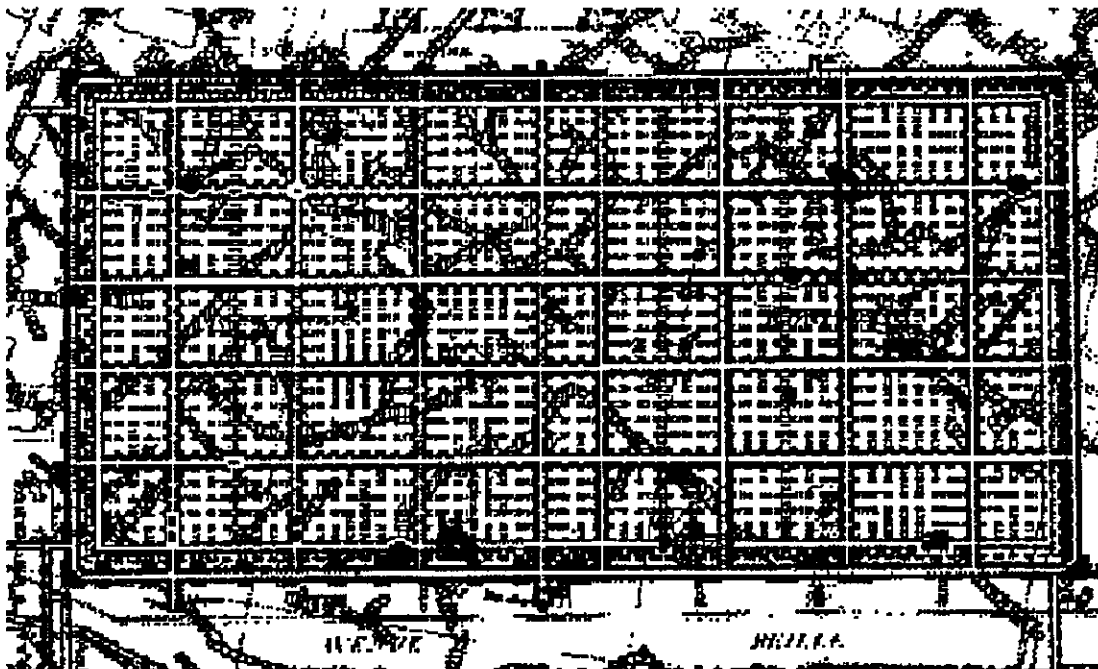


Figure no. 4

Pattern régulier de certaines carrières sous Paris, France
Regular patterns of certain quarries under Paris, France



tante, il est alors préférable d'installer des évacuateurs de type pluviaux qui seront distincts du réseau d'égoûts. Localement, il peut être avantageux de traiter les fissures et venues d'eau à l'aide de ciment ou de résines ("grouts"). Le traitement de l'ensemble des parois des cavités est par ailleurs souvent trop coûteux en soi et c'est l'usage de la cavité qui dictera les sommes économiquement acceptables qui devront être dépensés à ce chapitre (JACOBY, 1973, p. 98).

Stockage des hydrocarbures et principe de captation des eaux souterraines

Le principe de base qui autorise le stockage d'hydrocarbures dans le roc c'est-à-dire sans revêtement de béton ou d'acier dans les cavités repose sur le fait que les hydrocarbures sont plus légers que l'eau et ne se mélangent donc pas. La cavité doit donc d'abord se situer totalement en-dessous de la surface libre de manière à empêcher que les produits pétroliers ne migrent dans la nappe près de la surface (WETTLEGREN, 1978 et KELSALL, P.C. et al., 1973).

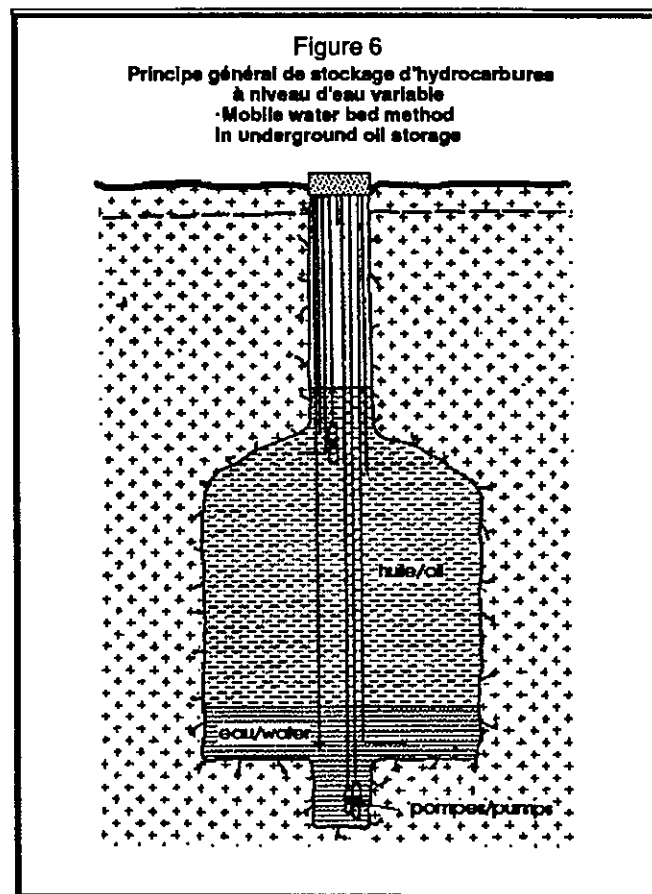
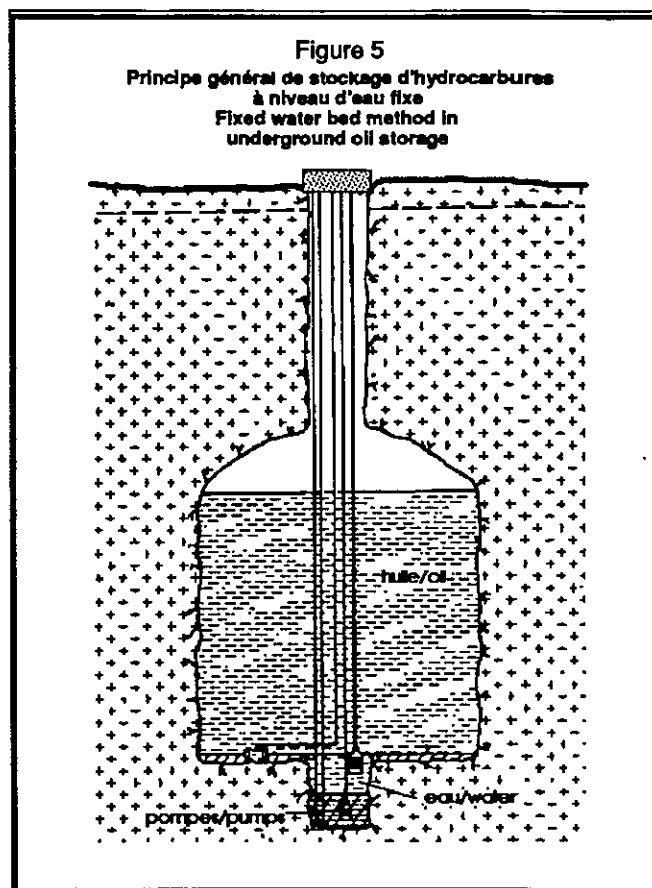
"C'est ainsi que le stockage des produits à tension de vapeur se fait à une profondeur telle qu'en tout point de la cavité la pression hydrostatique soit supérieure à cette tension de vapeur. De cette façon, les seuls mouvements de fluides possibles sont ceux de l'eau interstitielle de la roche encaissante vers la cavité, éliminant ainsi tout risque de fuite du produit à l'extérieur de la cavité vers les nappes".

PANTIN (1979), p.909

A partir de ces observations, il faut également noter qu'il existe à l'heure actuelle deux méthodes de stockage l'une appelée "à niveau d'eau fixe" (figure 5) et l'autre "à niveau d'eau mobile" (figure 6) (JANSSON, 1977). La méthode de stockage à niveau d'eau fixe implique que ce niveau est maintenu constant au fond de la cavité à l'aide d'un petit mur de béton autour d'un puits excavé dans le plancher de la cavité. Les eaux souterraines sont ainsi collectées dans ce puits puis pompées régulièrement en surface. L'espace inoccupé au-dessus du produit stocké est rempli d'un mélange d'air et de gaz. Cette méthode présente les avantages suivants:

- équipement de pompage et de nettoyage de dimensions réduites et donc moins coûteux;
- peu d'eau et d'émulsions eau/pétrole à pomper et à nettoyer.

Cette méthode est particulièrement indiquée pour les produits peu ou pas volatiles.



La méthode de stockage à niveau d'eau mobile implique que le produit stocké flotte au-dessus de l'eau. Le niveau supérieur du produit stocké est maintenu le plus près possible du plafond de la cavité pour restreindre la quantité de gaz produit. Ainsi, le niveau de l'eau varie selon le volume de pétrole dans la cavité. Cette méthode est de moins en moins utilisée aujourd'hui car elle requiert un équipement considérable pour pomper et nettoyer l'eau.

Des recherches récentes conduites par la firme GEO-STOCK ont également montré l'importance de reconstituer le niveau de la nappe au-dessus de la cavité. L'excavation et l'opération de cavités semblables provoque un rabattement localisé de la nappe; l'influence de ce rabattement peut même être importante si l'on considère que ces cavités sont situées en profondeur. Il faut donc réinjecter l'eau pompée au-dessus de la cavité afin de rétablir la pression hydrostatique et ainsi créer une boucle pompage-réinjection-captage. Ce système dont la pression requise se situe à 1 bar par tranche de 10 mètres, permet ainsi d'éliminer tout danger de contamination de la nappe.

Notons en dernier lieu que le stockage prolongé d'hydrocarbures tel le pétrole brut entraîne une certaine accumulation de matières visqueuses au fond des chambres. MOBERG (1977) rapporte une accumulation de 50 cm après 15 ans d'opération. Puisque l'enlèvement de cette boue est extrêmement coûteux, il est préférable de voir à ce que ceci ne gêne pas les opérations. Il en va de même pour les chutes potentielles de roc provenant des murs ou du plafond.

"At the present time, the excavation of new caverns (is) estimated to cost between \$U.S. 5.00 to \$U.S. 7.00 per barrel.....It is interesting to note that the provision of storage in surface-located steel tanks is currently estimated to cost approximately \$U.S. 11.00 per barrel".

MOBERG (1977), p. 151

Bien que ces chiffres fort éloquentes militent en faveur du stockage en souterrain, il existe encore bien peu d'installations de ce genre en dehors des pays scandinaves. JANSSON & SODERBERG (1981) se sont interrogés sur les raisons pour quoi certains projets ont été abandonnés ou reportés indéfiniment; ces renseignements nous sont particulièrement utiles, car ils permettent de bien identifier les obstacles à surmonter dans l'avenir. Ces raisons sont:

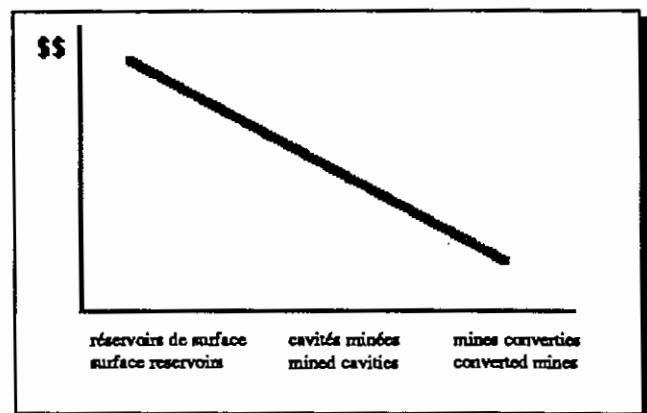
- le prix du pétrole trop élevé;
- des coûts de construction trop élevés;
- le manque de capital;

- des problèmes économiques dans le pays;
- des problèmes politiques dans le pays
- des raisons politiques diverses;
- la baisse de la demande en espaces d'entreposage;
- des oppositions locales au projet;
- en attente d'une décision quelconque;
- des investigations préliminaires mal conduites.

Les installations de stockage en souterrain présentent également des avantages en matière d'entretien. Ainsi, les coûts de chauffage des produits stockés l'hiver est évité et des économies importantes peuvent ainsi être réalisées à ce chapitre. Notons toutefois que les produits pétroliers stockés sont légèrement chauffés pour améliorer leur fluidité. L'exposition aux rigueurs du climat à l'extérieur entraîne également des coûts associés à l'usure, à l'oxydation, etc.: il faut par exemple remplacer du matériel (canalisations, pompes) et peindre les réservoirs. Sous terre, l'opération et l'entretien des cavités et de l'équipement associé représentent entre 1/3 et 1/5 des coûts d'installation de mêmes volumes situés en surface. Tous ces chiffres militent en faveur du souterrain surtout si l'on considère le coût du terrain requis pour l'entreposage en surface et l'inesthétisme de la plupart de ces installations de surface (voir figure 7). En guise de rappel, les critères les plus importants sont:

- la cavité doit être en-dessous du niveau de la nappe libre
- le projet de stockage n'est économiquement rentable que pour 100,000 m³
- l'excavation doit être située près des marchés ou d'installations portuaires
- les volumes disponibles ne doivent pas être situés à trop grande profondeur à cause des coûts de pompage requis.

Figure 7
Coûts approximatifs comparés de construction de réservoirs d'hydrocarbures
Gross comparison of cost for large underground oil storage installations



Localisation des mines souterraines

Le facteur qui limite considérablement la réalisation des travaux de reconversion d'excavations souterraines est sans aucun doute l'éloignement des sites des centres urbains. Ce problème semble moins important lorsqu'on s'attarde cependant aux excavations minières qui sont encore en exploitation ou qui ont fermé depuis peu. En effet, dans ces cas-là, de petites villes se sont développées autour des gisements qui sont exploités depuis longtemps comme c'est le cas pour l'amiante dans la région de Thetford Mines/Black Lake. Le facteur éloignement peut constituer un facteur intéressant cependant dans le cas du stockage de produits toxiques, de déchets industriels ou encore de résidus radio-actifs. Il en est de même pour les stockages de haute sécurité comme c'est le cas dans l'état de New York où différentes archives sont entreposées sous terre. Dans ce dernier cas, c'est la fréquence à laquelle on doit accéder aux produits stockés qui influence sur la distance considérée acceptable entre ce produit et le client.

Aspects énergétiques

L'intérêt des cavités souterraines est particulièrement marqué pour les questions énergétiques. En effet, le sous-sol bénéficie de conditions doublement intéressantes à ce chapitre. En premier lieu, la masse rocheuse représente un "isolant" contre les basses températures l'hiver, mais aussi contre les chaleurs de l'été. La masse rocheuse connaît également une température et une humidité constantes durant toute l'année. Ainsi pour une cavité située à une cinquantaine de mètres sous la surface, la température intérieure sera de l'ordre de 4 à 10°C pour notre climat continental tempéré. L'humidité y variera de 50 à 90% selon les quantités d'eau qui s'y infiltreront et la période de l'année (pénétration de l'air chaud extérieur qui condense sur les parois froides de la roche). Ainsi, en matière de chauffage, les quatre thermomètres de la figure 8 comparent deux espaces l'un en surface et l'autre souterrain. La figure montre en premier lieu que, durant l'hiver, l'amplitude à chauffer n'est que de 10°C en souterrain alors qu'elle peut être de 25°C en surface. Durant l'été, la situation est identique sous terre et on doit chauffer les 10°C nécessaires au confort des usagers alors qu'il faudra climatiser un édifice en surface.

Plusieurs auteurs (SERBANESCU et al. (1982), BOIVIN (1985)) ont vérifié l'affirmation que la température du roc à quelques dizaines de mètres de la surface approchait la

température moyenne annuelle de l'air. La température qui règne à l'intérieur des cavités excavées est déterminée d'abord par le gradient géothermique qui est approximativement de 1°C/100 mètres (avec quelques variantes selon le type de roches traversé) et par l'apport d'air frais provenant de l'extérieur (ventilation). Afin de ne pas enrayer les avantages de chauffage naturel qu'offre le gradient géothermique, on doit prendre soin de réchauffer l'air extérieur. SERBANESCU et al. (1982) ont mesuré par exemple un accroissement adiabatique de la température qui descend dans le puits de l'ordre de 2.9°C pour 304.8 m ce qui s'apparente nettement aux données accumulées dans la littérature.

Discussion et conclusion

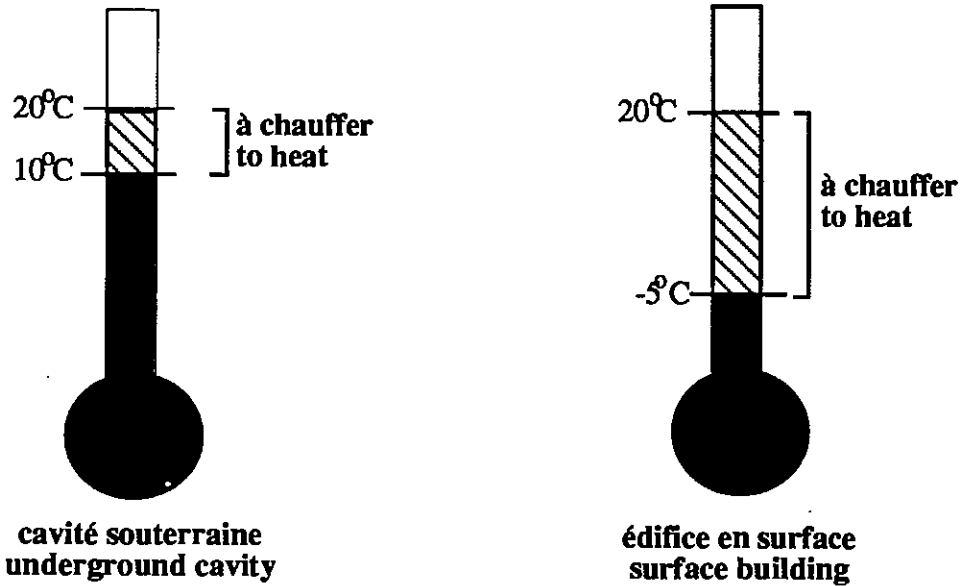
L'examen des différentes réalisations un peu partout à travers le monde a montré que la réhabilitation d'excavations souterraines est non seulement possible techniquement et économiquement, mais aussi souhaitable pour des questions environnementales. L'intérêt le plus marqué réside dans le fait que les travaux de réhabilitation ainsi que les sommes nécessaires afin de remettre en état des sites pollués et inesthétiques sont intégrés aux sommes investies pour l'aménagement d'un site productif. Ainsi, la conversion d'une carrière ou d'une mine dépasse la simple restauration qui doit suivre la fermeture d'un site semblable. On peut désormais envisager d'utiliser ces espaces pour leurs qualités intrinsèques. En 1973, JACOBY (1973 p. 92) écrivait déjà à cette époque:

"The time is rapidly approaching when the cavity created during mining operations will be of more value than the mineral extracted".

L'expérience des carrières souterraines de Kansas City qui fut si bien décrite par STAUFFER (1972) mérite une attention toute particulière puisque les exploitants se sont vite aperçus que les espaces qu'ils créaient au fur et à mesure de la progression souterraine prenaient une valeur indéniable. A tel point qu'on a constaté un changement radical dans la façon dont on disposait les chambres et piliers (voir figure 9). D'un pattern irrégulier, on a développé des alignements plus ordonnés permettant par la suite d'aménager et de louer ces espaces comme entrepôts, usines et mêmes bureaux. Les exploitants rapportent aujourd'hui qu'ils font plus d'argent en location qu'avec la vente des matériaux extraits. Et l'exploitation continue afin d'étendre les superficies souterraines disponibles.

Figure 8
Demandes d'énergie comparées en hiver et en été entre
des installations souterraines et de surface
Comparison of energy requirements in winter and summer
for underground and surface installations

Situation d'hiver
Winter conditions



Situation d'été
Summer conditions

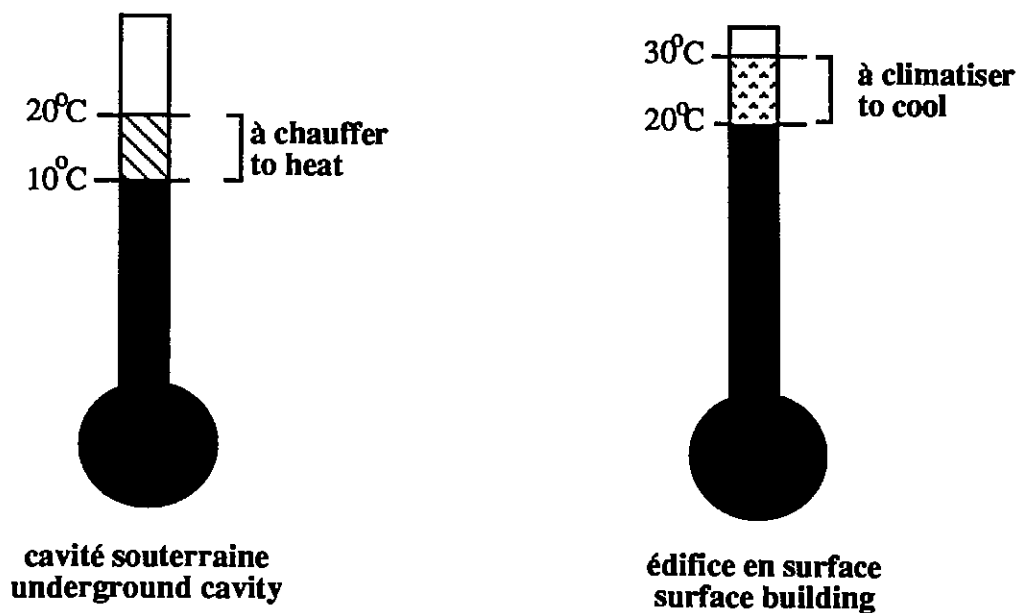


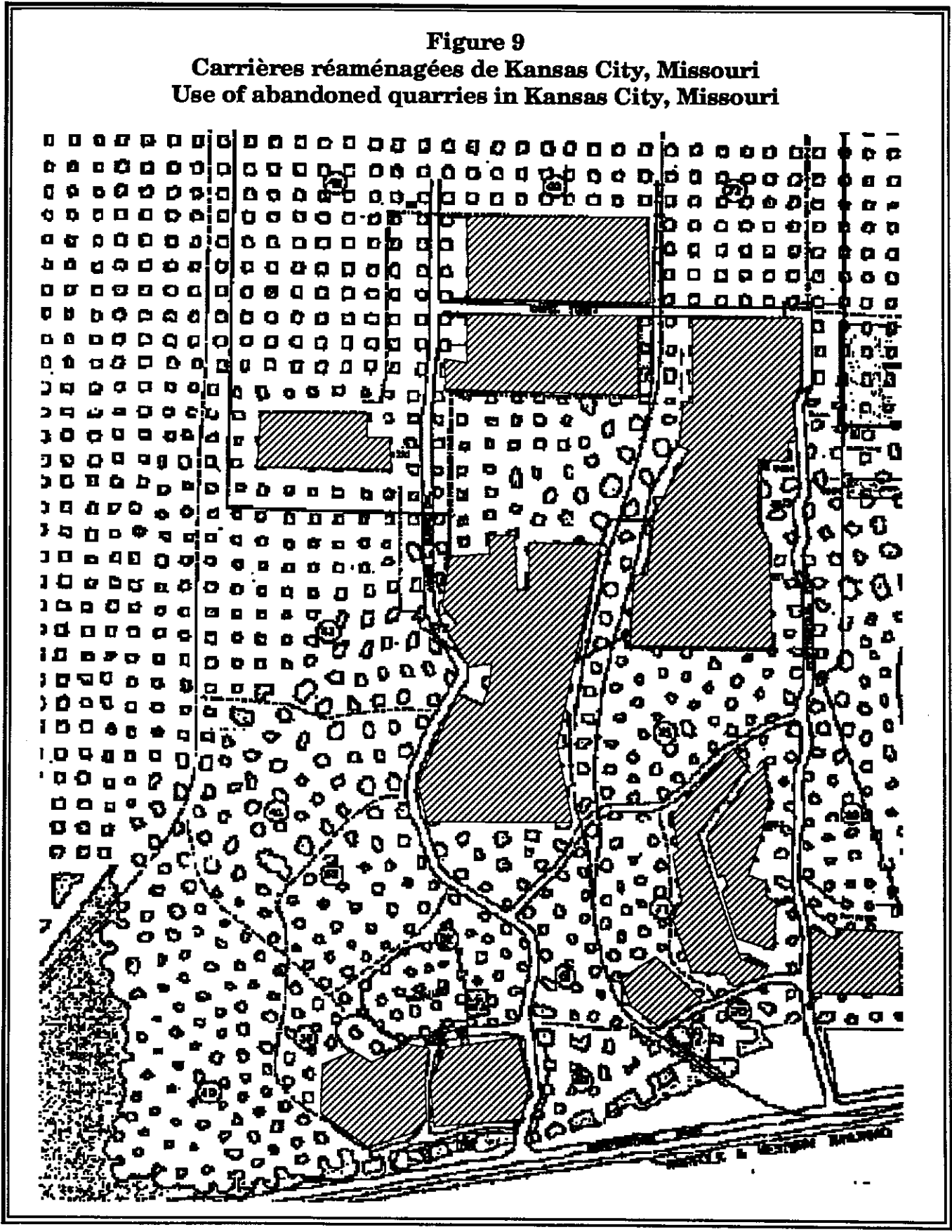
TABLEAU 2
QUELQUES CARRIERES ET MINES SOUTERRAINES RÉAMENAGÉES

<u>Installation</u>	<u>Superficie/volume</u>	<u>Mine/carrière</u>	<u>Lieu</u>
Inland Underground Facilities Inc.	2,640,500 pi. carrés entrepôts:2,550,000 pi. carrés usines: 86,400 pi. carrés archives:4,100 pi. carrés	carrière	Kansas City (Kansas)
Mid-continent Underground Storage Warehouse	860,000 pi. carrés entrepôts:860,000 pi. carrés	carrière	Loring (Kansas)
Downtown Industrial Park Co.	1,116,000 pi. carrés entrepôts:1,116,000 pi. carrés	carrière	Kansas City (Missouri)
Underground Storage Inc.	799 000 pi. carrés entrepôts:599,000 pi. carrés usines:200,000 pi. carrés	carrière	Kansas City (Missouri)
U.S. Cold storage Corporation	200,000 pi. carrés entrepôts:200,000 pi. carrés	carrière	Kansas City (Missouri)
Brunson Instrument Co.	140,000 pi. carrés usine:140,000 pi. carrés	carrière	Kansas City (Missouri)
J.C. Nichols Company	125,000 pi. carrés entrepôts, usines et bureaux:125,000 pi. carrés	carrière	Kansas City (Missouri)
U.S. Government warehouse	2,600,000 pi. carrés	carrière	Atchison (Kansas)
The Security Terminals Warehouse	n.d.	carrière	Springfield (Missouri)
The Ozark Terminal Warehouse	n.d.	carrière	Neosho (Missouri)
Butter County Mushroom Farm	n.d.	mine	West Winfield (Pennsylvanie)
Géomines/May-sur-Orne	5,000,000 m ³	mine	May-sur-Orne (France)
Anrok Materials	1,500,000 pi. carrés	carrière	Kansas City
Midwest Pre-Cote	6,000,000 pi. carrés	carrière	Kansas City
Pixley	n.d.	carrière	Overland
Pixley	4,500,000 pi. carrés	carrière	Champagne
Mine Greenshields	n.d.	mine	Black Lake (Québec)

n.d.: pas de données

source: BENNETH-SMITH, L. (1977), EARLEY, F. (1968), HUGHES, D.C. & V.J. RYAN (1980), PANTIN, C. (1979).

Figure 9
Carrières réaménagées de Kansas City, Missouri
Use of abandoned quarries in Kansas City, Missouri



La préparation d'une cavité pour son réaménagement doit passer par deux étapes préliminaires qu'il est bon de résumer ici.

1. Investigation géotechnique

Une visite des lieux doit d'abord être faite afin de déterminer la qualité et la stabilité des excavations abandonnées. Différents tests seront effectués pour quantifier la résistance des piliers. Des photographies seront prises afin de localiser les endroits qui nécessiteront des travaux de soutènement. De cette manière, l'ingénieur minier sera en mesure d'estimer correctement où et combien de boulons d'ancrage, de cintres d'acier, de béton projeté seront requis et les coûts associés à ces travaux de confortement.

2. Construction d'un modèle tridimensionnel

Plusieurs auteurs ont mentionné la nécessité sinon l'utilité de construire un modèle en trois dimensions des cavités abandonnées. Cette mesure permet entre autres de bien visualiser les volumes disponibles et leur position respectives, mais aussi de bien planifier le comportement et l'affectation des volumes. Il permettra de faire des choix plus éclairés et aussi d'économiser des sommes importantes en travaux supplémentaires. On oublie souvent aussi que le travail dans de telles excavations abandonnées présente un danger certain pour les mineurs qui y retourneront; c'est ainsi qu'une bonne connaissance des anciens puits, cheminées et chutes de minerais seront une mesure de sécurité très importante pour les futurs travaux.

Le survol rapide des possibilités et des contraintes offertes par les cavités minées abandonnées (ou en voie de l'être) nous montre la voie à suivre pour faire face à la fois aux exigences environnementales de plus en plus sévères et les coûts faramineux des travaux requis. La seule véritable contrainte réside probablement uniquement dans notre vue trop restreinte des solutions envisageables.

Bibliographie

Aughenbaugh, N. B. et al. 1974. Conversion from quarrying to underground mining, Tenth forum on geology of industrial minerals, Miscellaneous report no. 1, Columbus, Ohio, pp.17-24.

Benneth-Smith, L. 1977. Examples of storage in mined space in the U.S. and Canada, in: Bergman, Magnus, Storage in excavated rock caverns, Rockstore 77, proceedings of the 1st international symposium, Stockholm, pp. 641-644.

Boivin, D.J. 1985. Espace souterrain et aménagement urbain dans la Communauté Urbaine de Québec, thèse de doctorat. Département de géographie de l'Université Laval, Janvier 1985, 424 p.

Brégeon, J. 1987. Réhabilitation de carrières souterraines et utilisation de l'espace souterrain, Collectivités territoriales et utilisation du sous-sol, comptes-rendus, Bordeaux, France, 21-23 Octobre 1987, pp. 57-61.

Earley, F. 1968. Mushrooms and mines: a study in horticulture. Journal of Geography, Vol. 68: 42-48.

Hughes, D.C. & V.J. Ryan. 1980. Possibilities for archives and other safe storage underground, in: Bergman, Magnus, Subsurface space, Proceedings of the international symposium, Rockstore 80, Stockholm, Vol. 1 pp.77-81.

Jacoby, C. H. 1973. Underground mining, mine storage, and other attendant uses. American Society of Civil Engineers, Need for national policy for the use of underground space, proceedings, 92-103.

Jansson, G. 1977. Storage of petroleum products in unlined caverns. Underground Space. Vol.2 no.1: 27-37

Jansson, G. & E. Soderberg. 1981. Obstacles to subsurface storage of oil: experiences in various countries. Underground Space. Vol. 5 no. 4: 209-212.

Kelsall, P.C., R.K. Dunham & R.D. Ellison. 1980. Geotechnical and containment aspects of oil storage in a limestone mine, in: Bergman, Magnus, Subsurface space, Proceedings of the international symposium, Rockstore 80, Stockholm, Vol. 1 pp. 295-302.

Maury, V. 1977. Environmental protection, monitoring and operation at the May-sur-Orne underground oil storage facility, in: Bergman, Magnus, Storage in excavated rock caverns, Rockstore 77, proceedings of the 1st international symposium, Stockholm, pp. 189-195.

Moberg, S.H. 1977. Storage of heavy fuel oil in rock caverns during three decades, in: Bergman, Magnus, Storage in excavated rock caverns, Rockstore 77, proceedings of the 1st international symposium, Stockholm, pp. 149-155.

Pantin, C. 1979. Geostock et l'aménagement de l'espace souterrain, in: BRGM, Connaître le sous-sol; un atout pour l'aménagement urbain-Colloquium 1979, tome 2, pp. 905-920.

Serbanescu, M.D., T.H. Peters and J.D. Shorthouse 1982. Environmental conditions within a northern Ontario mine converted for vegetable production, Canadian Journal of Plant Science, no. 62: 203-210.

<http://dx.doi.org/10.4141/cjps82-028>

Stauffer, T. Sr. 1972. Guidebook to the occupancy and use of underground space in the greater Kansas City area, Geographic publication no. 1, University of Missouri, Kansas city, Missouri, 56 p.

Wettlegren, G. 1978. Underground oil storage in disused mines, Underground Space, Vol. 3 no. 1: 9-17.