

De l'exploitation à l'aménagement du sous-sol

Y a-t-il une seconde vie après la mine ? Peut-on envisager, après l'exploitation des ressources minérales du sous-sol, une valorisation de ses ressources spatiales ? La réponse, exemples à l'appui. Et l'affirmation d'une conviction : une gestion à long terme du sol et du sous-sol suppose, dès l'origine, des choix d'exploitation qui ménagent un usage ultérieur.

par Pierre Duffaut
Espace souterrain

Faute d'avoir organisé l'exploitation des substances minérales avec le souci du long terme (préoccupation renouvelée aujourd'hui par les impératifs du développement durable), la société se trouve confrontée à un ensemble de problèmes liés à « l'après-mine » et, de façon plus générale, à « l'après-exploitation » : cicatrices des carrières, terrils et remblais parfois combustibles, affaissements tardifs, zones inondées, endommagements d'infrastructures et de bâtiments...

Bien entendu cette constatation n'est pas nouvelle et elle n'est pas spécifique aux activités industrielles : aux échelons

supérieurs, la gestion des eaux, des déchets ou même de l'air et, au niveau international, celle de l'effet de serre, montrent les mêmes déficiences.

Si cette constatation n'est pas nouvelle, force est de noter, décennie après décennie, l'apparition de conséquences dommageables que la disparition des sociétés exploitantes rend parfois difficiles à gérer.

D'une manière très générale, on doit s'attendre à ce que les conséquences différées de maintes activités humaines pèsent de plus en plus lourd sur la biosphère. Sont en cause, non seulement les

industries, notamment la chimie et les transports, mais aussi l'agriculture, l'urbanisation et certains modes de vie. Notre propos est de montrer, à travers une série d'exemples, l'intérêt qu'il y aurait à « amé-

nager » le sous-sol, c'est-à-dire à promouvoir une gestion à long terme de ses ressources minérales et spatiales, notamment afin de valoriser les situations créées à la suite d'une exploitation extractive.

L'idée dominante est que c'est dès l'origine qu'il faudrait mieux envisager l'utilisation éventuelle des volumes souterrains résultant de l'exploitation.

La réutilisation des espaces souterrains est une façon d'assurer une meilleure sécurité ; il peut être plus sûr et plus économique de réutiliser plutôt que de condamner ou de remblayer.

Les conséquences des activités extractives

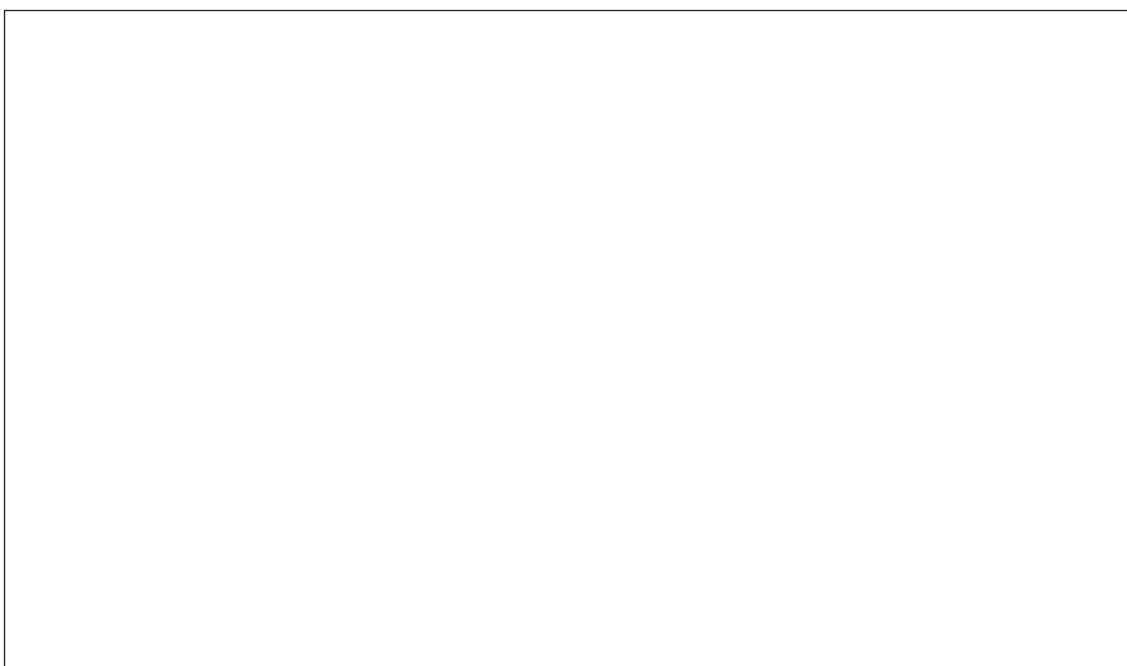
Les conséquences de l'extraction des ressources selon qu'elles sont fluides ou solides sont bien différentes : le départ des fluides s'accompagne d'affaissements en surface, mais ne laisse pas de cavités dans le sous-sol, contrairement à l'extraction des solides. Ce constat vaut, avec quelques variantes, pour les minéraux concessibles comme pour les autres, pour les exploitations à ciel ouvert comme pour les souterraines, pour les grandes sociétés minières comme pour les plus petites carrières arti-

sanales... Et, en ce qui concerne les fluides, le problème concerne aussi bien les exploitations étendues des pompages d'eau et d'hydrocarbures, que les drainages localisés et parfois accidentels.

Observons le cas singulier des terrils, dont le volume est souvent du même ordre que celui des cavités. Ceux-ci n'échappent pas à une problématique d'aménagement du sous-sol, puisqu'on peut valoriser leurs volumes : en effet, à la différence des reliefs naturels, les terrils peuvent offrir un espace intérieur qu'il n'est pas nécessaire de creuser pourvu qu'on ait pensé à réserver et bâtir à l'avance les volumes à « enterer ». Dans certains sites, une « couverture de terre » peut

créer des espaces souterrains artificiels à forte valeur foncière (situation bien illustrée par l'exemple de Monaco et de ses territoires gagnés sur la mer).

Autre observation : on sait que les carrières souterraines les plus petites sont aussi les plus menaçantes à terme, tant en raison d'un manque de connaissances techniques à l'origine que, plus tard, en raison d'un manque de repérage et de surveillance (marnières de Normandie et de Picardie, argilières de Provins, catiches du pays lillois, etc.). La réutilisation des espaces souterrains correspondants est une façon d'assurer une meilleure sécurité ; il peut être plus sûr et plus économique de réutiliser



CIF

En 1997, un concours international a été lancé pour valoriser le site de Carmaux à travers un complexe de loisirs sportifs et culturels. L'ensemble du site est destiné à attirer plus d'un demi-million de visiteurs par an.

plutôt que de condamner ou de remblayer.

Les fonctions à satisfaire

Si le sous-sol offre, sans doute, des ressources minérales et des ressources en espace, sa fonction première est de « porter le sol » et de supporter ce qui s'y trouve. Il faut donc s'efforcer de concilier ces trois « fonctions ».

Donnons ici un exemple intéressant d'interaction entre la fonction « ressource » et la fonction « support » ; il concerne l'équilibre des eaux superficielles, les cours d'eaux et les canaux ne tolérant guère de modification de l'altimétrie. A Duisburg (Allemagne), le niveau de la Ruhr s'étant abaissé à la suite de la correction du lit du Rhin, le port était devenu inutilisable au milieu du vingtième siècle ; le remède a consisté à abaisser le niveau du sol en exploitant deux couches de charbon jusque-là préservées, justement pour éviter de nuire aux installations portuaires (Legget, 1978). Le niveau relatif des quais et des bassins a ainsi été

ramené aux environs du niveau initial par un affaissement volontaire de 2 à 2,2 m. C'est la démonstration qu'une contrainte peut devenir opportunité.

Autre cas bien connu d'interaction entre sol et sous-sol, les effets sur les structures et bâtiments des affaissements et remontées de nappe ; les pompes pour maintenir hors d'eau les cuvettes d'affaissement sans écoulement naturel sont une sujétion durable bien connue.

En matière de stabilisation du sol et du sous-sol, on sait que le foudroyage peut être une réponse là où l'affaissement de la surface n'empêche pas l'évacuation des eaux par gravité (ainsi, à Paris, la surface chaotique du parc des Buttes-Chaumont tient à ce foudroyage des carrières souterraines de gypse).

En souterrain, les cavités sont peu réutilisables lorsque des précautions n'ont pas été prises en cours d'exploitation : face à des exemples réussis, il faut reconnaître que les carrières de pierre à bâtir sont souvent trop basses de plafond pour accueillir des activités nouvelles.

Le remblayage des cavités souterraines est une autre solution, qui peut compliquer, voire interdire, une exploitation ultérieure (dans les mines à plusieurs couches, l'ordre des exploitations n'est pas indifférent).

Constatons toutefois que ni le foudroyage ni le remblayage ne rétablissent l'intégrité origi-

nelle du terrain ; l'un comme l'autre sont, suivant le cas, des méthodes d'exploitation ou seulement des interventions tardives visant à réduire les conséquences dommageables de l'exploitation.

Dans la mesure du possible, la réutilisation des cavités est une meilleure réponse.

Réaménagement du sol et du sous-sol

En matière de réaménagement, on sait qu'il est plus satisfaisant de chercher de façon concertée à tirer avantage de l'état du site en fonction des objectifs d'aménagement du territoire exprimés par la collectivité concernée, plutôt que de le décider sans son avis. La loi ne le permet d'ailleurs plus. Appliquons le principe à notre sujet et cherchons donc à tirer un meilleur profit des cavités laissées par l'exploitation.

Trop souvent dans le passé, on s'est contenté de pallier les inconvénients les plus visibles des exploitations, en affectant les zones dégradées à des activités peu exigeantes, ce qui ne constitue qu'un pis-aller plus ou moins satisfaisant.

Ne peut-on mieux faire ?

En souterrain, les cavités sont peu réutilisables lorsque des

précautions n'ont pas été prises en cours d'exploitation : face à des exemples réussis (stockages souterrains de produits pétroliers en Suède, en France à May-sur-Orne, stockage d'eau dans les mines de fer de Lorraine, stocks militaires en carrières, etc.), il faut reconnaître que les carrières de pierre à bâtir sont souvent trop basses de plafond pour accueillir des activités nouvelles.

Rappelons le cas des carrières parisiennes du « calcaire grossier ». Hormis des utilisations temporaires comme PC et standard téléphonique pendant l'occupation allemande, il n'y a guère d'activités notables malgré quelques chambres fortes de banques dans le 16^e arrondissement. En revanche, certaines carrières de craie et surtout les carrières de gypse offrent des volumes plus utilisables (ainsi le centre de surveillance de l'espace aérien à Taverny dans le Val-d'Oise). On trouvera plus loin quelques indications sur un cas exceptionnel, celui des mines de Kansas City.

En ce qui concerne l'exploitation à ciel ouvert, on peut noter que toute excavation ouvre un accès au sous-sol profond comme au sous-sol « latéral » (volumes souterrains accessibles de niveau). En y apportant la lumière du jour et l'atmosphère, l'exploit-

ation les désenclave et permet de les valoriser.

Cela peut présenter un grand intérêt pour la gestion du sous-sol environnant en créant un relief nouveau.

Donnons ici deux exemples de sites dont le réaménagement a été mis au concours à la fin du XX^e siècle : il s'agit de Falkenberg aux Pays-Bas et de Carmaux en France. Dans le premier cas (ensemble mixte de carrières en surface et en souterrain), il n'y a pas eu jusqu'alors de suite, dans le second la mine à ciel ouvert a été réaménagée.

Falkenberg

Les collines crayeuses entre la vallée de la Meuse à Maastricht et en Allemagne ont, pendant des siècles, donné lieu à des carrières souterraines. Seule région des Pays-Bas à relief accidenté, elle attire beaucoup de touristes et pourrait peut-être en attirer davantage en mettant en valeur son patrimoine souterrain, comme la région de Saumur a su le faire.

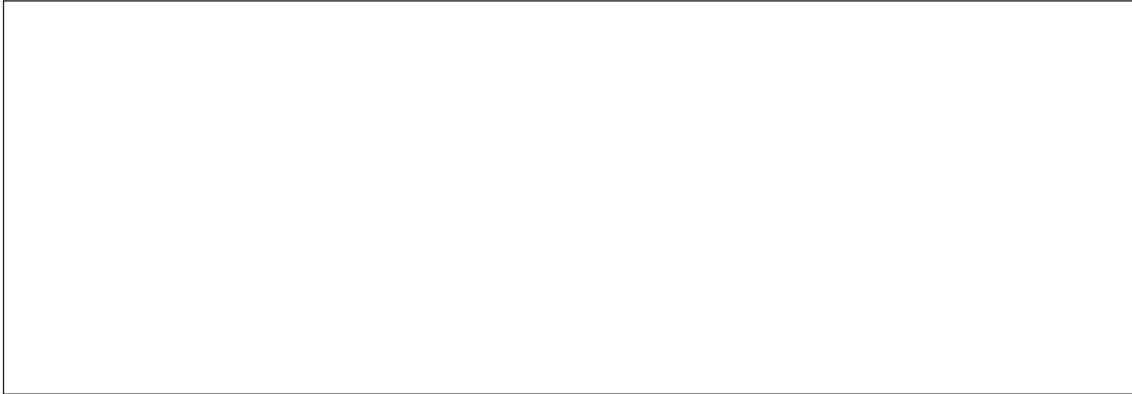
Il y a pourtant eu des tentatives. Ainsi, en 1999, un concours international d'architecture a-t-il été lancé sous le nom d'« Atlantis 2000 » pour réaménager le site de Falkenberg sur la vallée du Geul. Il a suscité une centaine

de réponses, mais aucune suite n'a été donnée ; une équipe française y a reçu le troisième prix en catégorie professionnelle (Duffaut, Labbé et Bertholon, 1999).

La découverte de Carmaux

Le bassin houiller de Carmaux, au sud d'Albi (Tarn) a été exploité en souterrain pendant plus d'un siècle. Entre 100 et 300 m de profondeur, six à huit couches de charbon étaient accessibles par les puits Sainte Marie. Afin de préserver la stabilité de ces puits, un stot de protection a été abandonné tout autour, stérilisant un tonnage de charbon d'environ 5 Mt. Après la fermeture de la mine en 1980, et grâce au développement de la capacité des engins de terrassement, il est devenu possible d'exploiter le charbon du stot à partir de la surface, comme on l'avait fait, à plus petite échelle, dans d'autres bassins français (Blanzay, Decazeville, Buxières-les-Mines, le Serre-des-Andats, près d'Alès, etc.).

La « découverte » de Carmaux a ainsi été la mine de charbon à ciel ouvert la plus importante de France. La géométrie de la fosse finale est approximativement tronconique, de surface circulaire de 1 200 mètres de



JK/Magnum photos

Trop souvent dans le passé, on s'est contenté de pallier les inconvénients les plus visibles des exploitations, en affectant les zones dégradées à des activités peu exigeantes, ce qui ne constitue qu'un pis-aller plus ou moins satisfaisant. Mais on peut mieux faire.

diamètre moyen, avec une profondeur maximale d'environ 250 mètres dégageant un volume approximatif 100 hm³... Un modèle géologique informatisé du gisement a servi à définir des pentes stables (Cojean, 2000). Ainsi, dans les terrains tertiaires, compte tenu des conditions hydrauliques régnant dans le massif, un angle de talus uniforme de 37° a été retenu.

Après l'arrêt de l'exploitation, en 1995, les autorités locales et régionales ont lancé, en 1997, un concours international pour valoriser le site. C'est ainsi qu'un complexe de loisirs sportifs et culturels a ouvert en 2002 (inauguration officielle le 25 juin 2003). Il comporte, en partie basse, un lac permanent pour baignade et sports nautiques (plage et baignade en accès libre et gra-

tuit) ; sur les pentes, divers circuits pour VTT et ski sur piste artificielle (en partie gratuits, le remonte-pente étant payant) et des amphithéâtres naturels pour événements musicaux, culturels et sportifs. Sur les bords, des parcs de stationnement, des restaurants et

autres salles de réunions.

L'ensemble du site est destiné à attirer plus d'un demi-million de visiteurs par an.

L'avenir dira si le pari est raisonnable, mais il aurait d'autant plus de chances d'être gagné si une dimension, jusque-là inexplorée, était prise en compte : les volumes souterrains « latéraux » entourant la fosse (inutilisés à l'exception d'un modeste musée minier dans des galeries de mine réaménagées).

Il est vrai que l'exploitation des couches de charbon a pro-

fondément disloqué les terrains houillers et leur couverture, altérant en partie leur aptitude à accueillir des ouvrages souterrains nouveaux.

Kimberley

Cette ville minière d'Afrique du Sud s'est développée après la découverte, en 1871, de diamants au voisinage immédiat de la « cheminée » constituée d'une roche appelée depuis kimberlite. Une découverte s'est approfondie peu à peu, grossièrement circulaire, jusqu'à son remplacement en profondeur par une mine souterraine toujours en exploitation. Le diamètre de cette fosse, « *the big hole* », est d'environ 500 mètres, et le trou dépasse les 700 mètres de profondeur ! Sa partie inférieure, en forme de cheminée, est remplie d'éboulis, et le niveau de l'eau s'établit à 165 m ; sa

partie supérieure est évasée dans une formation schisteuse plus tendre ; après une succession d'années pluvieuses, elle est devenue sujette à glissements de terrain, menaçant l'existence des voiries et constructions sur le bord du plateau. Elle a été stabilisée par une galerie de drainage périmétrale, qui n'a pas d'autre fonction (Desurmont et al, 1979). Quel formidable potentiel d'aménagement souterrain ce site offre-t-il !

Kansas City

Venons-en au cas très pédagogique des carrières de calcaire de Kansas City (Etats-Unis). La ville occupe des plateaux dominant le confluent des vallées du Missouri et de la rivière Kansas. Les chemins de fer suivent le fond des vallées, et le soubassement fournit une pierre calcaire très utilisée pour la construction (pierre de taille, ballast, granulats) depuis la fondation de la ville. Comme en beaucoup d'endroits, les premiers carriers se souciaient peu de dessiner des piliers réguliers et les vides qu'ils laissaient présentaient des géométries peu propices à une réutilisation, malgré de

nombreux paramètres favorables : couches d'épaisseur régulière, pratiquement horizontales, faciles d'accès à par-

Ne peut-on s'étonner que l'aménagement du territoire ne se soit aussi peu préoccupé du sous-sol, qui constitue pourtant le socle du territoire et qui représente le plus vaste espace aménageable ?

tir des vallées et protégées des infiltrations par un « toit » argileux.

A partir des années 1950 le potentiel d'espace souterrain utile a été apprécié par certains industriels soucieux d'échapper aux bruits et vibrations de la ville perturbant leur activité (mécanique de précision). D'autres se sont intéressés à la stabilité thermique naturelle et à la facilité du contrôle climatique de l'espace souterrain. Peu à peu les rôles se sont trouvés inversés ; des aménageurs ont planifié l'usage de volumes souterrains toujours croissants à la géométrie régulière, bien desservis par des routes et voies ferrées : l'espace souterrain utile devenait la finalité de l'exploitation et les granulats n'étaient plus qu'un sous-produit du développement industriel.

Il y a aujourd'hui à Kansas City plusieurs dizaines de sites souterrains qui proposent plusieurs millions de mètres carrés utiles, en ateliers et bureaux dans les zones proches des entrées ou en entrepôts pour plus de 90 % de la surface, en partie sous douane (dont les alcools et

spiritueux), en partie réfrigérés (agrumes notamment).

Conclusion

L'espace souterrain dégagé par la production minérale est un sous-produit de l'activité du mineur ou du carrier ; c'est un espace nouveau, créé ou libéré, qui mérite d'être considéré de façon positive, comme une ressource. Encore faut-il lui trouver une utilité pour aujourd'hui ou pour demain.

Le sous-sol est un patrimoine, par nature difficile à appréhender et à observer, mais qui est mieux connu lorsqu'il a donné lieu à exploitation. Il faudrait appréhender le sous-sol non seulement comme le réceptacle de ressources minérales, minières, énergétiques... mais aussi comme un espace susceptible d'être aménagé.

Une approche qui suppose que les modes d'exploitation soient, parfois, en partie déterminés en fonction de l'usage ultérieur envisagé. L'exploitation participerait ainsi directement à la constitution de la valeur ajoutée de ces volumes. En outre, on peut considérer les cavités dégagées par l'exploitation comme des voies d'accès privilégiées à des volumes souterrains utiles, spécialement à proximité des zones urbaines.

Ainsi, il apparaît que les activités extractives ont un rôle particulièrement important à jouer dans le cadre d'une gestion à long terme du sol et du sous-sol, de leurs ressources minérales comme spatiales.

On est ainsi conduit à l'idée d'un « aménagement du sous-sol » reposant sur des bases conceptuelles analogues à celles de l'aménagement du territoire.

Ne peut-on s'étonner que ses responsables se soient aussi peu préoccupés du sous-sol, qui constitue pourtant le socle du territoire et qui représente le plus vaste espace aménageable ?

L'une des raisons de cet oubli est probablement d'ordre culturel.

D'une part, les géographes-aménageurs et les géologues n'ont guère établi de plateformes permettant échanges et confrontations d'idées, d'autre part, le partage des compétences entre les divers ministères concernés par le sous-sol (Industrie pour l'exploitation, Equipement pour beaucoup d'usages de la surface, Environnement pour satisfaire aux contraintes écologiques, Intérieur pour le territoire, Défense...) n'est guère favorable aux approches transversales que requiert l'aménagement.

Notons également qu'il ne faudrait pas développer une

logique d'aménagement du sous-sol qui serait déconnectée de celle de la surface ; c'est l'ensemble (sol, sous-sol) qui doit être pris en compte dans une vision globale.

Ces idées, présentées dès 1982 (thèse de J. Brégeon), sont portées par l'association *Espace souterrain* qui a été créée par un grand préfet aménageur, Maurice Doublet et une géographe émérite, Jacqueline Beaujeu-Garnier, avec la collaboration d'experts de tous horizons professionnels.

Bibliographie

A l'attention des lecteurs intéressés, voici des indications bibliographiques qu'ils nous pardonneront d'avoir un peu ciblées sur nos travaux :

Brégeon J. et Duffaut P., 1987, Sous-sol et protection de l'environnement ; *Annales des Mines*, n° 10, oct., p 41-43.

Cojean R., 2001, Conception des talus de carrières et mines à ciel ouvert : approche géologique et géomécanique, modélisation et instrumentation, *Industrie Minérale, Les Techniques*, 10, p 51-60 ; 2001.

Desurmont M., Feuga B. et Vidal-Font J., 1979, *L'industrie minière*, juillet p 7-13.

Duffaut P., 1977, *Site reservation policies for large underground openings. Rockstore Symposium*, Bergman M. ed. Stockholm; & *Underground Space*, 3 (4), p 187-194.

Duffaut P. et Brégeon J., 1979, La variante souterraine comme solution aux problèmes d'environnement; *Journ. Géotechn. Nantes, Rev. Franç. Géotechnique*.

Duffaut P., 1981, *Prospectiva del uso del espacio subterráneo. Simp. sobre el uso industrial del subsuelo*, Madrid.

Duffaut P., 1987, L'espace souterrain ; *Annales des Mines*, n° 10, octobre, p 9-12.

Duffaut P. et Brégeon J., 1987, Le sous-sol et la maîtrise de l'énergie ; *Annales des Mines*, n°10, octobre, p 64-69.

Duffaut P., 1991, Le génie civil souterrain au service de l'environnement ; *Cong. Int. Innovation, progrès industriel et environnement*, Strasbourg, ISF.

Duffaut P., 1995, Espace souterrain et géologie ; *Ann. ITBTP*, 537, oct., p 28-32.

Duffaut P., 1997, Insertion des ouvrages souterrains dans un paysage géologique ; 7e Conf. Int. Espace Souterrain, villes intérieures de demain, Montréal, Besner éd (CDROM).

Duffaut P., Labbé M. et Bertholon P., 1999, Architecture souterraine et conception ; *CR. Journées de l'AFTES, Spécifique*, Caluire p 157-162.

Duffaut P., 2002, Les usines et dépôts souterrains comme réponse aux risques industriels ; *TOS 171*, p 177.

Duffaut P. coord., 2004, *Manuel de Mécanique des roches*, tome 2, Les applications ; *Presses Ec. Mines* 482 p.

Legget R., 1978, *Underground Space 1*, p 51-58.