

De l'occupation du sous-sol urbain à l'urbanisme souterrain

Daniel J. Boivin

Volume 33, numéro 88, 1989

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/021998ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/021998ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Département de géographie de l'Université Laval

ISSN

0007-9766 (imprimé)

1708-8968 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Boivin, D. J. (1989). De l'occupation du sous-sol urbain à l'urbanisme souterrain. *Cahiers de géographie du Québec*, 33(88), 37–49.
<https://doi.org/10.7202/021998ar>

Résumé de l'article

Dans cet article, l'auteur jette les bases d'une réflexion sur l'utilisation de l'espace souterrain en milieu urbain, établissant ainsi une problématique non pas bidimensionnelle (surface) mais bien tridimensionnelle de l'espace. Divers aspects tels que les modifications éventuelles de la trame et de la forme urbaines sont considérés à la lumière des préoccupations d'aménagement qui sont intimement liées aux questions d'utilisation du sol. Plusieurs exemples québécois serviront d'ailleurs à illustrer ce propos. Enfin, une méthodologie est proposée afin de guider les aménagistes et urbanistes dans ce nouveau territoire à occuper. Plusieurs propositions sont en outre formulées afin de mieux gérer l'espace urbain.

DE L'OCCUPATION DU SOUS-SOL URBAIN À L'URBANISME SOUTERRAIN

par

Daniel J. BOIVIN

*Centre de recherches en aménagement et développement
Université Laval, Sainte-Foy (Québec), G1K 7P4*

RÉSUMÉ

Dans cet article, l'auteur jette les bases d'une réflexion sur l'utilisation de l'espace souterrain en milieu urbain, établissant ainsi une problématique non pas bidimensionnelle (surface) mais bien tridimensionnelle de l'espace. Divers aspects tels que les modifications éventuelles de la trame et de la forme urbaines sont considérés à la lumière des préoccupations d'aménagement qui sont intimement liées aux questions d'utilisation du sol. Plusieurs exemples québécois serviront d'ailleurs à illustrer ce propos. Enfin, une méthodologie est proposée afin de guider les aménagistes et urbanistes dans ce nouveau territoire à occuper. Plusieurs propositions sont en outre formulées afin de mieux gérer l'espace urbain.

MOTS-CLÉS : Urbanisme, urbanisme souterrain, espace souterrain, aménagement du territoire, sous-sol.

ABSTRACT

From the Occupance and Use of Underground Space to Underground Space Planning

The purpose of this paper is to establish a basis for discussion regarding underground space planning and its implementation in urban areas. More specifically, the intention is to document and analyse the overall space available instead of the two-dimensional surface traditional to urban planning. Several Québec examples are used to illustrate the relevance of the issue. This eventually leads to a proposal for a general methodology that will help urban and regional planners to take into account this new available urban space. These fundamental questions should help us manage urban space more adequately.

KEY WORDS : Urban planning, underground urbanism, underground space, regional planning.

*
* *

L'intérêt croissant porté aux installations souterraines en milieu urbain a fait naître un domaine de recherches que l'on appelle urbanisme souterrain. Plusieurs auteurs ont insisté sur l'importance, pour les villes, de tenir compte des possibilités de

développement urbain que présente le sous-sol. Sterling *et al.* signalent à ce sujet que : « Few cities, however, have approached the subsurface as a valuable resource that should be documented and planned for optimal utilization as are other elements of the urban infrastructure » (1982, p. 3). De façon plus avant-gardiste, Jansson et Winqvist (1977) font d'abord remarquer que l'identification et la localisation des projets souterrains souhaitables par la communauté et la recherche des conditions géologiques et géotechniques requises pour la réalisation de ces projets devraient rendre possible une certaine forme de zonage de l'espace souterrain dans un processus à long terme. Ces auteurs mentionnent généralement que la coordination de l'offre et de la demande en espaces souterrains et sa mise en relation avec l'utilisation actuelle du sol en surface devraient mener à l'élaboration de schémas et plans d'urbanisme considérant à la fois la surface et le sous-sol urbains.

L'intérêt qui est désormais porté à l'espace souterrain urbain a poussé certain chercheurs à développer différentes méthodologies d'approche. Mentionnons que toutes découpent le sous-sol en trois strates : le proche-espace (espace immédiatement sous nos pieds, généralement de quelques mètres d'épaisseur seulement), le moyen-espace (espace situé entre 10 et 200 mètres) et le lointain-espace (grandes profondeurs). Ce découpage est basé sur une notion d'accessibilité par l'homme et tient compte des moyens techniques mis à sa disposition pour l'excavation et l'étagage des cavités souterraines.

ESPACE SOUTERRAIN ET VILLES TRIDIMENSIONNELLES

L'usage de plus en plus répandu de l'espace souterrain dans les villes invite à considérer l'ensemble de la composante verticale du développement. Jusqu'à récemment, en effet, seule la construction en hauteur témoignait de cette verticalité. Il est intéressant de souligner toutefois que le développement en hauteur provoque en même temps un certain développement en profondeur. Ainsi, les espaces de stationnement requis et l'accroissement du nombre d'étages souterrains ont incité les promoteurs à relier ces complexes entre eux par des galeries utilitaires (fils électriques, câbles téléphoniques, aqueduc et égoûts), puis par des passages piétonniers. Ce fut le cas par exemple à Montréal autour de la gare centrale et de la place Ville-Marie et à Québec sur la colline parlementaire.

Il faut reconnaître avec Fairhurst que : « ... two-dimensional thinking, wherein it is assumed that all human activities and life-support systems must be accommodated on the surface, is a constraint that is self-imposed, unnecessary and damagingly restrictive » (1976b, p. 72). Ainsi, l'utilisation de plus en plus fréquente de l'espace souterrain modifie considérablement la façon de pratiquer l'urbanisme. Ceci n'est d'ailleurs pas surprenant lorsqu'on songe que la construction en hauteur a obligé les urbanistes et autres spécialistes à créer des moyens de contrôle pour régler la hauteur des bâtiments, les zones de retrait, la protection contre les incendies et les séismes, l'accessibilité aux handicapés et autres normes diverses.

« Dans le plan horizontal, l'urbanisme souterrain diffère peu, quant à ses principes, de la surface. Il n'en est pas de même pour la répartition des diverses fonctions dans le plan vertical. L'urbaniste de la surface a rarement l'occasion de superposer les diverses fonctions urbaines et de les répartir verticalement en zones : c'est ce que devra faire l'urbaniste souterrain » (Utudjian, 1972, p. 29). Contrairement à l'habitude, le « plan vertical » concerne l'affectation de l'espace plutôt que celle du sol. Le terme espace

réfère ici à un volume et non à une superficie. En fait, le terme sol utilisé jusqu'à présent comprend le volume d'air situé au-dessus; la composante verticale étant définie par l'adoption d'un règlement de zonage restreignant la hauteur permise d'un édifice. Utudjian constate également, avec raison, que l'urbaniste n'a pas fait usage d'ingéniosité et de créativité en matière d'affectation verticale des fonctions urbaines dans l'espace aérien. Au Québec, quelques réalisations spécifiques réfutent cette affirmation tels les stationnements localisés sous des voies routières surélevées (autoroute Métropolitaine à Montréal par exemple) ou encore des édifices construits au-dessus de voies de communication (Palais des congrès à Montréal). D'ailleurs, il suffit d'examiner l'utilisation des superficies de planchers de la majorité des édifices des centres-villes pour conclure que seules les parties souterraines de ces tours présentent une véritable différenciation verticale. Tous les étages en hauteur sont consacrés aux bureaux et le rez-de-chaussée est utilisé pour l'accès (cages d'ascenseurs, escaliers mobiles et escaliers), pour la sécurité (surveillance et contrôle de l'accès) et occasionnellement pour quelques services commerciaux ou bancaires. Dans l'espace souterrain par contre, on retrouve, de haut en bas, les espaces commerciaux et voies piétonnes, les services de courrier et de livraison/réception, les salles d'ordinateurs, les services de polycopie, les espaces de rangement et ceux nécessaires à l'entretien de l'édifice, lesquels sont concentrés dans les premier et deuxième sous-sols, puis les salles des machines, les stationnements et les abris, ces derniers étant situés plus bas¹.

Certains bâtiments font exception comme c'est le cas de la place Bonaventure à Montréal. Cette mégastructure possède un véritable zonage vertical des fonctions. On trouve l'hôtel Bonaventure au sommet, des bureaux, commerces et autres services sur les étages intermédiaires, des salles d'exposition, des commerces et cinémas au rez-de-chaussée et au premier sous-sol, puis finalement des stationnements, voies de métro, de chemin de fer et tunnels piétonniers dans sa partie souterraine. Cet exemple incite donc à comprendre la ville en tant que mégastructure; ceci n'est d'ailleurs réalisable que si « le domaine urbain utilise au mieux les trois dimensions de l'espace » (*Ibid.*, p. 28). Il semble par ailleurs que l'accroissement de la population mondiale et la concentration de cette population dans les villes nous obligent à construire de telles mégastructures urbaines (Leveson, 1980), surtout si l'on désire protéger les terres agricoles en périphérie (Selmer-Olsen et Broch, 1977). Ceci pose bien sûr d'autres problèmes tels que la viabilité de ces « monstres urbains » et la qualité de vie qui y régnera.

L'affectation des fonctions urbaines dans un plan vertical nécessite que l'on s'intéresse de façon beaucoup plus détaillée à la compatibilité de ces diverses fonctions avec l'espace souterrain. Essentiellement, le principe général consiste à inverser l'affectation actuelle dans les édifices; c'est-à-dire de loger les services et espaces publics au sommet de l'édifice souterrain, incluant les espaces de stationnement, et d'assigner aux étages inférieurs des fonctions plus privées ou à trafic réduit (Minnesota University, 1975, p. 18). Ainsi, l'affectation verticale des fonctions serait essentiellement liée à la mobilité. Plus un espace est public et effectivement occupé par un grand nombre de personnes, plus cet espace devrait se localiser près de la surface. C'est le cas, par exemple, des centres commerciaux, cinémas et théâtres. La notion de mobilité concerne également les marchandises. Ainsi, les commerces ou industries qui manipulent des objets lourds ou de grandes dimensions devront se localiser près de la surface. À titre d'exemple, un marchand d'automobiles sera classé dans cette catégorie. Les notions de proche-espace, moyen-espace et lointain-espace évoquées plus haut serviront donc à établir non seulement la compatibilité de certaines activités et fonctions avec l'environnement souterrain mais également leur position verticale selon le principe de la mobilité. Le tableau 1 regroupe les principales activités et fonctions

Tableau 1**Activités et installations compatibles
avec l'environnement souterrain selon la profondeur****dans le proche-espace**

canalisations, fils électriques et téléphoniques, conduites de gaz, pipelines et tunnels utilitaires
 accès au moyen-espace et au lointain-espace
 maisons enterrées et autres édifices enfouis à faible profondeur
 étages en sous-sol d'édifices en surface
 installations commerciales telles que supermarchés, magasins à rayons, centre d'achats, discothèques, cinémas, restaurants, etc.
 installations publiques telles que musées, bibliothèques, théâtres
 tunnels piétonniers
 stationnements souterrains
 voies routières excavées en tranchée

dans le moyen-espace

installations industrielles dont l'équipement et les marchandises sont de dimensions et de poids peu importants (industrie légère)
 abris nucléaires et autres installations militaires
 accès au lointain-espace
 réservoirs d'eau, d'hydrocarbures et autres liquides ou gaz
 métro
 voies routières
 salles d'archives, voûtes
 stationnements souterrains
 entrepôts divers
 intercepteurs, collecteurs et tunnels d'eaux usées
 usines de traitement des eaux
 centrales hydro-électriques ou nucléaires
 laboratoires et centres de recherche
 studios d'enregistrement, de radio et de télévision
 installations de chauffage urbain

dans le lointain-espace

mines
 centrales hydro-électriques ou nucléaires
 centrales énergétiques à air comprimé
 stockage de déchets industriels ou radioactifs
 réservoirs d'hydrocarbures ou de liquides divers

Sources : Labs (1975), Jansson et Winqvist (1977).

citées antérieurement et suggèrent une certaine forme de zonage de l'espace disponible en réservant à chaque tranche de profondeur des fonctions spécifiques. Ainsi, « le principe majeur est d'enfouir sous terre tous les organes utilitaires de la cité ; circulation des liquides, énergie, véhicules, réserves, évacuation des ordures. La surface des villes sera réservée à la vie, à l'activité urbaine et aux échanges de toutes sortes » (Utudjian, 1972, p. 41).

ESPACE SOUTERRAIN ET FORMES URBAINES

Le développement urbain vertical entraîne des changements dans la forme urbaine et la répartition horizontale des fonctions et activités. On constate en effet que la

construction en hauteur et en profondeur est en partie causée par l'accroissement de la valeur des terrains au centre-ville, ce qui a comme effet d'accroître la densité d'occupation du sol. L'idée même de la mégastructure urbaine laisse supposer que l'accroissement de la densité d'occupation de l'espace au centre de la ville permet de freiner l'étalement urbain et ainsi de modifier à long terme la forme de la ville. D'un modèle dispersé à faible densité, l'occupation de l'espace souterrain entraîne plutôt un modèle concentré à haute densité: «... the use of sub-surface space can help to protect the total land resource from urban sprawl by providing more efficient use of already built-up areas » (Minnesota University, 1975, p. 6).

Il faut néanmoins considérer que l'utilisation de l'espace souterrain dans des zones déjà urbanisées ou situées à l'intérieur d'un périmètre d'urbanisation ne saurait stopper entièrement le phénomène de l'étalement urbain. Comme le soulignent Sterling *et al*, on peut espérer un certain ralentissement de la construction en périphérie urbaine, et ceci surtout pour les fonctions autres que résidentielles. De plus, « coordinated use of the surface and underground space provides an opportunity to develop compact, low-energy land-use patterns while avoiding many of the negative effects of high density development » (Sterling *et al*, 1982, p. 11). Dans un contexte où le périmètre urbain est fixé (topographie spécifique, zonage agricole) et que le remplissage des espaces vacants est de rigueur, on devrait constater à moyen terme une certaine forme de rénovation urbaine. En effet, « l'occupation du sous-sol permet également d'aérer le tissu urbain en libérant la surface des équipements consommateurs d'espace ou générateurs d'un effet de coupure perturbant le bon ordre de la ville. En outre, l'espace libéré en surface par l'implantation souterraine des équipements encombrants et disgracieux peut être affecté aux usages les plus nobles, c'est-à-dire l'habitat et les espaces verts. Par conséquent, l'occupation du sous-sol urbain induit une valorisation certaine de la surface et participe ainsi à l'amélioration du cadre de vie » (Brégeon, 1983, p. 181). L'utilisation de l'espace urbain souterrain contribue donc à densifier le territoire dont on dispose, sans présenter les inconvénients liés à la réduction de l'espace disponible. Cette nouvelle avenue qui s'offre à l'urbaniste remet même en question les traditions établies telles que l'urbanisation de la banlieue et la ségrégation industries-résidences (Muir-Wood, 1980).

La question des inconvénients en soulève une autre, soit le confort du citoyen qui utilise de telles infrastructures souterraines. La notion de confort englobe divers aspects psychologiques et physiologiques qui déterminent si le milieu créé est acceptable voire même agréable. Ainsi, une attention particulière doit être accordée à la pénétration de la lumière naturelle (par l'aménagement de puits à cet effet par exemple), au renouvellement de l'air dans les endroits clos (pourcentage d'air frais plus élevé que la moyenne), à l'aménagement de grandes salles et de corridors de largeur et hauteur acceptables (pour éviter le phénomène de claustrophobie), à la disposition des corridors en lignes droites et à la pose de panneaux de signalisation appropriés pour éviter la confusion et la désorientation, etc. Jusqu'à aujourd'hui, les mesures adoptées dans le Montréal souterrain se sont avérées très efficaces en matière de confort. Certaines des mesures choisies furent par exemple la pose de miroirs (effet d'agrandissement de l'espace réel), l'aménagement de « zones vertes » (les atriums), une signalisation très efficace et le choix de couleurs vives et de matériaux agréables à l'œil. En matière de sécurité, la présence de caméras de surveillance a pour effet de reconforter les usagers qui fréquentent ces lieux en dehors des heures d'affluence.

Enfin, notons qu'il est encore et toujours dans les habitudes des urbanistes d'exclure les terrains à pentes forte et moyenne et le relief (collines, affleurements importants) de l'urbanisation. Ces secteurs représentent en réalité une réserve d'espace

qui prend d'autant plus de valeur que l'espace urbain est saturé (Brégeon, 1983, p. 219). Le manque d'espace et le coût de la ressource sol en zone densément bâtie justifient d'ailleurs aujourd'hui la construction des stationnements et des infrastructures de transport en commun souterrains ; la raréfaction de l'espace et l'augmentation du coût du terrain entraînant une augmentation parallèle de l'utilisation du sous-sol, et ceci pour des fonctions plus diversifiées.

AMÉNAGEMENT DU SOUS-SOL ET AMÉNAGEMENT URBAIN

Considérer le sous-sol dans le processus global de l'aménagement implique non seulement un travail de recherche et d'inventaire supplémentaire, mais aussi une analyse qui tient compte à la fois du potentiel de l'espace souterrain et de l'impact de son éventuelle utilisation sur la surface. Comme le mentionne Brégeon (1983, p. 200), ces études doivent viser à :

- 1) préserver autant que possible le potentiel d'utilisation ou du moins éviter de le gaspiller ;
- 2) contrôler le développement des différentes utilisations du sous-sol et concéder à chacune les structures géologiques les mieux adaptées à leurs besoins ;
- 3) veiller à la compatibilité des utilisations entre elles et avec la surface et rechercher leur complémentarité ;
- 4) prendre en considération les contraintes d'une planification à long terme (réservation d'espaces pour accéder aux profondeurs, zonage restrictif).

Tout comme en surface, l'urbaniste préoccupé par la gestion ordonnée du sous-sol doit veiller à maîtriser le développement dans cet espace et « éviter que d'éventuelles concurrences ne se déclarent entre elles pour l'occupation de l'espace souterrain. De même, faudrait-il éviter que les utilisations du sous-sol ne viennent perturber ou entraver les activités de la surface » (*Ibid.*, p. 19). Car, « ... le développement non planifié du sous-sol apporte les mêmes difficultés que l'absence de zonage en surface. De plus, l'« encombrement » dont on parle déjà résulte plus de l'enchevêtrement des multiples utilités que d'une réelle surutilisation du sous-sol » (Durand, 1981, p. 13).

Dans l'espace souterrain, l'affectation des volumes disponibles repose essentiellement sur l'inventaire des structures géologiques. Ce n'est qu'après avoir déterminé un site potentiel, par souci de réduction des coûts et de protection de l'environnement, que l'on s'attarde ensuite à l'implantation d'une activité quelconque dans le tissu urbain, représentant ainsi un prolongement de la surface en profondeur. La démarche privilégiée consiste donc à déterminer et à cartographier le potentiel offert. Correspondant à l'inventaire des différentes structures géologiques d'un espace donné, celui-ci doit permettre d'attirer des activités compatibles. Une autre démarche privilégie plutôt un processus inverse et consiste à rechercher des structures géologiques spécifiques pour une fonction précise. Ainsi, dans la première démarche, l'offre précède la demande alors que l'inverse s'applique pour la deuxième.

L'affectation de fonctions et d'activités dans l'espace souterrain doit nécessairement correspondre au potentiel naturel. L'aménagiste ou l'urbaniste joue cependant un autre rôle, soit celui d'un arbitre qui évalue d'éventuels conflits entre deux utilisateurs désirant occuper un même espace. Jansson (1974) rapporte à ce propos qu'à Stockholm : « Due to the topographic situation and the land-use on the surface, some parts of the

subsurface space become so attractive that crowding occurs» (p. 8). Des conflits peuvent aussi survenir entre un utilisateur de l'espace souterrain et un utilisateur d'une ressource souterraine. Ainsi, dans une région minière, urbaine ou non, les structures géologiques peuvent contenir des richesses minérales nécessaires à l'homme. La cartographie du potentiel devra donc tenir compte de ces ressources éventuelles et donner la priorité à leur exploitation. On devra également veiller à ce que l'aménagement d'une cavité souterraine ne nuise pas à l'exploitation minière. Les conflits peuvent également éclater pour l'exploitation d'une nappe d'eau souterraine à des fins de consommation locale. Là encore, l'eau est considérée comme une ressource de plus en plus rare et la priorité doit lui être accordée. Enfin, l'aménagiste ou l'urbaniste doit également veiller à la compatibilité des activités voisines. Cela exige que des utilisateurs différents du sous-sol (pour les richesses minérales, l'eau, la géothermie, ou l'espace) ne se nuisent pas mutuellement. Des problèmes comme la modification du régime de circulation des eaux souterraines, la pollution éventuelle des nappes, les vibrations indésirables, etc. peuvent apparaître et doivent être prévenus au plus tôt.

MÉTHODOLOGIE

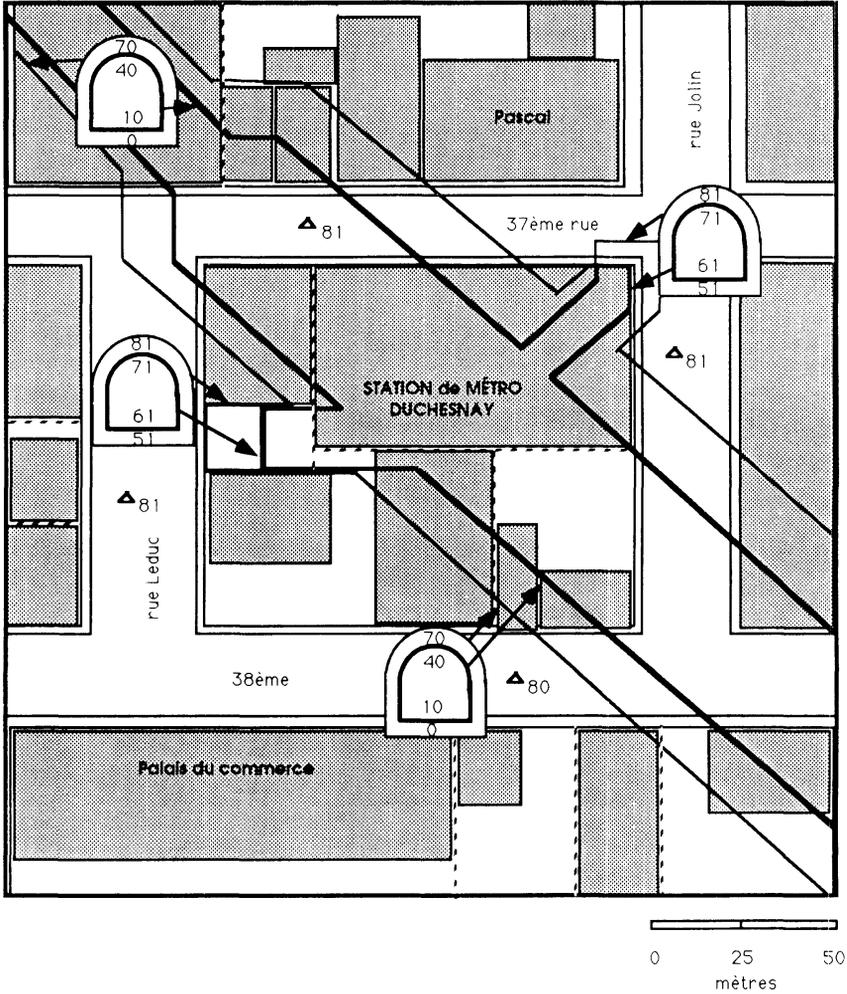
Intégrer le sous-sol dans le processus d'affectation des sols urbains implique en premier de connaître la position géographique et la profondeur des installations déjà construites. De très grandes échelles sont recommandées (1 : 1 000 et 1 : 2 000) pour la cartographie détaillée de chacune des installations de même qu'une carte-index au 1 : 20 000 pour faciliter un repérage rapide. Puisque l'ensemble du territoire est relativement vaste et que seule une fraction de ce territoire possède des installations souterraines, seules les cartes nécessaires seront établies ; ainsi la construction éventuelle d'un projet souterrain dans un nouveau secteur entraînera l'établissement de la carte correspondante. De cette façon, l'organisme municipal pourra répartir le coût total de la cartographie sur une très longue période.

Les fonds de cartes utilisés devront indiquer le tracé des rues et la forme des édifices, les limites de propriété et les éléments toponymiques comme le nom des rues et des grands ensembles immobiliers ou des grands terrains (espaces verts, zone portuaire ou industrielle, etc.). À défaut de dessiner les courbes de niveau, il faudra à tout le moins indiquer des repères d'altitude ou points cotés. Les figures 1 et 2 illustrent notre propos et précisent le contenu des cartes de ce genre². On notera que la profondeur du radier et du plafond ainsi que la zone de protection en-dessous, au-dessus et sur les côtés de l'installation est indiquée.

L'organisme responsable de l'aménagement du territoire doit également mettre sur pied et tenir à jour une banque de données sur chacune des installations existantes. Le tableau 2 dresse la liste des données qui doivent figurer dans cette banque. Tous ces renseignements sont extrêmement précieux et doivent être accessibles à toute personne chargée d'un projet quelconque (en surface ou en souterrain) qui avoisine une installation existante. Ceci contribuera non seulement à éviter des accidents regrettables mais aussi et surtout à mieux connaître le milieu géologique hôte et ainsi réduire les coûts de façon importante. Notons en dernier lieu que la banque doit également contenir tous les projets à l'étude ou « morts-nés » ainsi que les renseignements disponibles sur chacun d'eux.

Figure 1

CARTOGRAPHIE D'UNE STATION DE MÉTRO



ALTITUDE PAR RAPPORT AU NIVEAU DE LA MER (EN MÈTRES)

	<p>plafond de la zone de sécurité</p> <p>plafond de la cavité</p> <p>plancher de la cavité</p> <p>plancher de la zone de sécurité</p>
<p>----</p>	<p>limites des propriétés</p>
<p>▲ 70</p>	<p>Point coté</p>

Figure 2

CARTOGRAPHIE D'UN TUNNEL PASSANT SOUS UN QUARTIER RÉSIDENTIEL

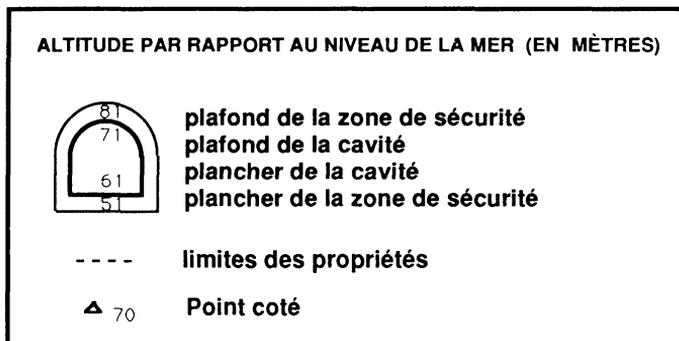
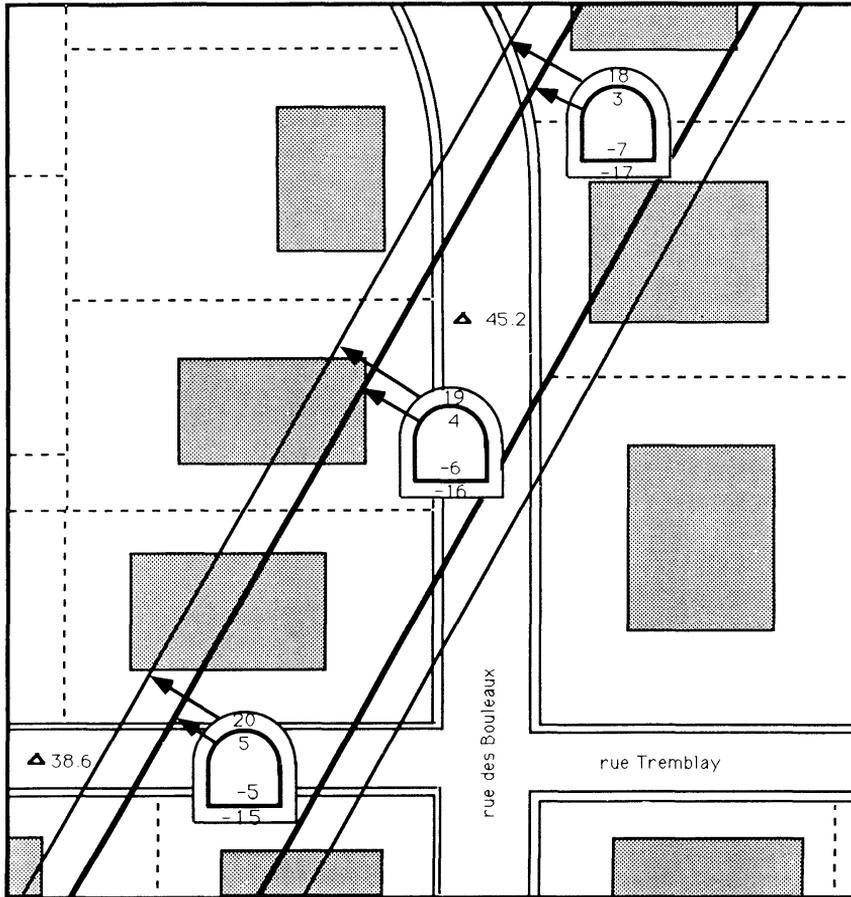


Tableau 2**Liste des renseignements qui devraient figurer dans une banque de données des installations souterraines existantes***A. Identification*

- n° de référence (position sur cartes et fichiers)
- nom de l'installation
- usage
- nom et adresse du propriétaire et du locataire (le cas échéant)
- adresse civique de l'installation
- cadastre

B. Description de l'installation

- dimensions de l'excavation, volume total
- dimensions de l'installation construite, superficie de plancher
- profondeur
- entrées (escaliers roulants, ascenseurs, tunnels, rampes, etc.)
- matériaux utilisés
- plans architecturaux

C. Descriptions géologique et géotechnique

- unité(s) géologique(s) impliquée(s)
- position et description des forages
- analyses in situ
- analyses en laboratoire
- données hydrogéologiques (régimes, niveaux, qualité)
- observations et relevés (failles, zones altérées, systèmes de joints et fractures, minéralogie)

D. Travaux de construction

- début, étapes et fin des travaux
- durée des travaux
- équipement utilisé
- firmer engagées
- problèmes rencontrés
- soutènement requis

E. Systèmes installés

- système électrique
- système de ventilation
- système de chauffage
- système de climatisation
- système d'éclairage
- systèmes de protection et de lutte contre les incendies
- sorties de secours

F. Coûts

- coûts de construction détaillés
- coûts financiers
- coûts d'opération annuels
- coûts énergétiques
- subventions reçues
- évaluation municipale de la structure et du terrain (le cas échéant)

G. Documents légaux

- expropriation et compensations
- autorisations municipales et permis de construction
- zonage en surface/zonage souterrain

H. Autres documents

- études d'impact
- études psychologiques
- plans divers
- photographies des lieux
- entretien, réparations et modifications de l'installation

UTILISATION DU SOL, DU SOUS-SOL ET ZONAGE SOUTERRAIN

Recourir à une certaine forme de zonage du sous-sol peut s'avérer très utile pour encourager et contrôler le développement urbain souterrain. Comme on l'a vu jusqu'ici, toute construction souterraine occasionne un impact sur la surface et sur l'utilisation du sol. Le premier objectif vise à réduire les impacts négatifs ; c'est donc en termes de nuisances que doit être défini le zonage d'un espace souterrain. Ainsi, par exemple, la circulation de camions associée à une activité industrielle est difficilement compatible avec un environnement résidentiel. Le bruit peut également constituer une source de nuisance de même que la présence de cheminées de ventilation (pollution de l'air et agression visuelle). En aucun cas cependant les nuisances associées à la construction d'une installation ne sauraient être retenues comme restrictives car celles-ci sont temporaires. Des mesures spéciales comme la diminution des charges explosives lors de l'excavation, le respect des heures de tranquillité, l'installation obligatoire de bâches pour les camions transportant les déblais, etc. doivent néanmoins être prises pour en diminuer les impacts négatifs.

C'est d'ailleurs ce principe de nuisance qui a forcé les autorités de Kansas City à zoner leur sous-sol d'une façon innovatrice et ce depuis plus de 25 ans : « So Kansas City introduced a new concept in the zoning field — two level zoning. The surface area remains zoned for residence, and the entire cavern is zoned for light industry, subject to the requirement that all entrances to it shall be from surface areas also zoned for light industry » (Mitchell, 1962, p. 76). Cette méthode, fort simple et intéressante, établit donc la relation qui doit exister entre l'utilisation du sol et du sous-sol. C'est aux points d'accès que le zonage prend sa véritable signification ; le zonage en surface se prolonge sous terre tant et aussi profondément que l'espace est disponible et utilisable. Ceci implique également qu'une simple projection vers le bas du zonage de surface limite sans raison les possibilités du sous-sol. Ces remarques concernent bien sûr les cavités minées qui, de par leur relative profondeur et absence en surface, sont considérées comme indépendantes du schéma d'aménagement et de l'utilisation du sol. Dans ce cas, ce sont surtout les caractéristiques géotechniques des massifs qui serviront à l'établissement du zonage.

En ce qui concerne les édifices enterrés qui occupent une partie du territoire urbain en surface, l'approche la plus fréquemment utilisée consiste à juger si un projet de construction ou un plan de lotissement se conforme au schéma d'aménagement ou au plan d'urbanisme (Sterling *et al*, 1982). Ainsi, une maison enterrée doit être érigée dans une zone où la construction résidentielle est permise ; un centre commercial enterré doit être localisé en zone commerciale et ainsi de suite... Ainsi l'arrivée de ce genre de constructions ne risque pas de modifier le type d'activités dans le secteur. Un des points à considérer concerne toutefois la hauteur permise pour construire les édifices conventionnels qui voisinent les édifices enterrés. Puisque l'ensoleillement constitue un besoin réel, aucun édifice voisin ne doit faire ombre. Ceci suppose soit

une restriction de la hauteur des constructions soit un regroupement d'unités enterrées sur un terrain spécifique.

La bonne gestion du domaine urbain souterrain repose donc sur une planification à long terme de l'espace. On a vu que les volumes situés dans les moyen et lointain espaces doivent surtout être zonés sur la base des caractéristiques géotechniques. Quant aux édifices enterrés, le zonage ne diffère pas des méthodes actuelles. Ce qui importe probablement le plus concerne la protection des points d'accès ; il faut voir à identifier et à réserver ces zones pour les constructions futures. La reconnaissance des points d'accès éventuels doit d'abord s'appuyer sur des critères topographiques et sur la cartographie des différentes pentes existantes. En deuxième lieu, il faut retenir les sites non urbanisés ou dont l'utilisation du sol et le zonage sont de type industriel ou public. L'exclusion des zones résidentielles est une pratique souhaitable si l'on applique le principe du zonage souterrain qui correspond au zonage du point d'accès. Finalement, il faut exclure les zones où l'accès éventuel est entravé par un obstacle existant (autoroute, hangars, quais, marina ou autres constructions).

CONCLUSION

L'urbanisme souterrain peut désormais apporter une contribution importante à la solution de certains problèmes urbains. Entre autres, il permet : 1) de restreindre la croissance spatiale de la ville ; 2) de protéger les zones agricoles et le milieu naturel environnant ; 3) de poursuivre le développement des villes entièrement urbanisées ; 4) de soulager la ville d'infrastructures inesthétiques ou encombrantes ; 5) d'envisager des économies d'énergie appréciables en matière de chauffage et de climatisation (cf. Labs, 1975). Comme le souligne Horsbrugh (1978), l'urbanisme souterrain (et l'utilisation du sous-sol en général) permet d'offrir une option supplémentaire dans les scénarios d'aménagement, option qui implique non seulement une réduction de la demande de terrains en surface mais entraîne également une répartition des fonctions qui sont compatibles avec le sous-sol ou la surface. On cherchera à accentuer l'importance du soleil, de la lumière naturelle, des espaces verts et de la vue sur l'extérieur pour les utilisateurs de la surface qui sont les véritables bénéficiaires d'une politique de « mise sous terre » des organes utilitaires de la ville. L'espace souterrain est désormais considéré comme un volume urbain utilisable.

Jusqu'à aujourd'hui, recourir au sous-sol des villes pour des fonctions autres que les canalisations et fils électriques ou téléphoniques a soulevé bien des réactions. Les plus fréquentes sont l'indifférence et la moquerie, l'hostilité et la peur. Winqvist (1981) remarque à ce propos que le nombre de constructions souterraines dans une municipalité est directement lié au degré de familiarité des planificateurs et entrepreneurs locaux avec les techniques du travail souterrain. Ceci vient donc appuyer le fait que le nombre encore limité de réalisations souterraines dans le monde découle beaucoup plus du poids des habitudes que de véritables objections d'ordre économique ou psychologique.

NOTES

¹ De tels abris sont fréquents aux États-Unis, en Suisse et dans les pays scandinaves.

² Ces exemples sont fictifs mais reposent sur une technique cartographique utilisée actuellement en Suède.

BIBLIOGRAPHIE

- BOIVIN, Daniel J. (1982) Géographie, aménagement et espace souterrain. *L'espace géographique*, 2: 143-151.
- (1984) *Le réseau piétonnier souterrain de Montréal: inventaire des caractéristiques architecturales, de l'allocation des espaces disponibles et l'ambiance générale des lieux*. Service d'urbanisme, division de la planification urbaine, Ville de Montréal, Rapport préliminaire non publié.
- (1985) *Espace souterrain et aménagement urbain dans la Communauté Urbaine de Québec*. Université Laval, Département de géographie, thèse de doctorat non publiée, 380 p.
- BRÉGEON, Jacques (1983) *Introduction à l'aménagement du sous-sol*. Université de Provence (Aix-Marseille), thèse de doctorat non publiée, 2 vol., 326 p. et 179 p.
- DEMERS, Clément (1983) Le nouveau centre-ville de Montréal. *Cahiers de géographie du Québec*, 27(71): 209-235.
- DURAND, Marc (1981) *Utilisation de l'espace souterrain urbain à Montréal*. Communication présentée dans le cadre du colloque GERE le 13 février 1981, 19 p.
- HAGMAN, Donald G. (1973) Planning the Underground Uses, in *Legal, Economic and Energy Consideration in the Use of Underground Space*. South Berwick (Me), National Academy of Science, p. 52-67.
- FAIRHURST, Chales (1976a) Beneath the Surface. *Underground Space*, 1(1): III-IV.
- (1976b) Going Under to Stay on Top. *Underground Space*, 2(2): 71-86.
- HORSBRUGH, Patrick (1978) Geospace, Geotecture and Geopolitan Planning: the Inevitability of Subterranean Development, in Stauffer, Truman, ed., *Underground Utilization: a Reference Manual of Selected Works*. Vol. VII, p. 920-922.
- JANSSON, Birger (1974) Re-shaping Cities Using Underground Construction. *Australian Institution of Engineers*. Conference, Melbourne 1974, National Conference Publication, n° 74/5.
- JANSSON, Birger et WINQVIST, Torbjorn (1977) *Planning of Subsurface Use*. Stockholm, Pergamon Press, 166 p.
- LABS, Kenneth B. (1975) *The Architectural Use of Underground Space: Issues and Applications*. Thesis presented to the School of Architecture of Washington-Master Degree, Saint Louis, Missouri.
- LEVESON, David (1980) *Geology and the Urban Environment*. Oxford University Press, 386 p.
- MINNESOTA UNIVERSITY (1975). *Preliminary Design Information for Underground Space, Vol. II*. University of Minnesota, Dept. of Civil and Mineral Engineering, 93 p.
- MITCHELL, Ansel (1962) Operation and Maintenance of Underground Facilities in *Proceedings of the Corporate Officers Symposium on Underground Facilities*. Kansas City (Mo), p. 90-95.
- MOSENA, David R. (1980) Planners and the Underground. *Underground Space*, 4(5): III-IV.
- MUIR-WOOD, A.M. (1980) Urbanization and Protection of the City Environment, *Underground Space*, 4(5): IV-V.
- SELMER-OLSEN, Rolf et BROCH, Einar (1977) General Design Procedure for Underground Openings in Norway, in Bergman, Magnus, *Storage in Excavated Rock Caverns*. Proceedings of the 1st International Symposium Rockstore 77, p. 219-226.
- STAUFFER, Truman P. Sr (1978) Kansas City; A Center for Secondary Use of Mined-out Space, in Utgard, R.O. et al, *Geology in the Urban Environment*. Burgess Publishing, 176-186.
- (1981) Perspectives of Planned Two-tiered Use of Space in Kansas City, Norway and Sweden, in Holthusen, T. Lance, *The Potential of Earth-Sheltered and Underground Space: Today's Resource of Tomorrow's Space and Energy Viability*. Kansas City, Pergamon Press, Proceedings of the Underground Space Conference and Exposition, p. 421-432.
- STERLING, Raymond L. et al, (1982) *Planning for Underground Space a Technical Resource Guide*. Prepared by the University of Minnesota, Underground Space Center, 137 p.
- UTUDJIAN, Édouard (1972) *L'urbanisme souterrain*. Paris, Presses universitaires de France (Coll. Que sais-je?), 123 p.
- WINQVIST, Torbjorn (1981) How Can Society Encourage Use of Subsurface Space. *Underground Space*, 5(4): 219-223.

(Acceptation définitive en août 1988)