

Urbanisme souterrain

Panorama historique et géographique

par **Pierre DUFFAUT**

Président d'honneur, Espace souterrain (Association française des tunnels et de l'espace souterrain)

1. Depuis l'Antiquité	C 3 061 – 2
2. De Londres à Paris, des égouts aux métros, de Belgrand à Hénard.....	— 2
2.1 L'assainissement	— 2
2.2 Le transport des personnes	— 3
2.2.1 Transports sur rail	— 3
2.2.2 Transports routiers	— 4
2.2.3 Autres moyens de transports	— 5
2.3 Transport de fret	— 5
3. Kansas City et la Scandinavie	— 5
3.1 Kansas City	— 5
3.2 Scandinavie	— 7
4. Paris, des Halles à la Défense et au Grand Louvre.....	— 8
4.1 Les Halles	— 8
4.2 La Défense.....	— 8
4.3 Le Grand Louvre	— 10
5. Toronto, Montréal, Minneapolis, et l'Earth shelter	— 10
5.1 Toronto	— 10
5.2 Montréal, la ville intérieure.....	— 10
5.3 Minneapolis et l'« Earth shelter »	— 11
6. L'Extrême-Orient : Japon, Singapour et Chine.....	— 11
7. Applications stratégiques et de sécurité	— 11
8. Projets utopiques ou prémonitoires ?.....	— 12
Pour en savoir plus	Doc. C 3 061

L'urbanisme souterrain ne se conçoit pas en dehors de l'urbanisme « général ». Il est seulement, depuis sa définition par Édouard Utudjian, au début des années 1930, une part méconnue de l'urbanisme. Si, pour le grand public, l'urbanisme a d'abord une dimension esthétique, porteuse de majesté et de puissance, cette dimension disparaît dès lors que les ouvrages sont invisibles. Mais l'urbanisme comprend surtout la satisfaction des fonctions urbaines majeures (desserte, mobilité, hygiène, convivialité). Hier la sécurité a justifié les fortifications, les tours de guet, les portes gardées. La première mission de la ville d'aujourd'hui est toujours de satisfaire les demandes de ses habitants, ensuite seulement celles des visiteurs. Entre l'architecture et l'urbanisme, il n'y a pas de frontière nette, c'est plutôt une question d'échelle, du bâtiment à la ville, en passant par la rue, l'îlot et le quartier.

Plus généralement, le sous-sol apparaît comme la « face cachée » du territoire, un volume en vérité. Si la plupart des auteurs s'accordent pour réserver la surface à l'homme, un urbanisme durable doit mettre à profit le sous-sol afin de créer, pour l'homme, le meilleur environnement. Par leur position, le sol et le

sous-sol fournissent à la ville une infrastructure naturelle, peu à peu complétée par des ouvrages construits, voiries et réseaux associés. Or le sous-sol peut faire bien davantage en accueillant une part significative des fonctions et services urbains. Encore faut-il planifier les utilisations de l'espace souterrain, considéré comme partie intégrante de l'espace urbain global, dans l'espace et dans le temps.

Après ce panorama historique et géographique de réalisations souterraines, insuffisamment connues des ingénieurs (et moins encore des élus et de la société civile tout entière), parce que moins visibles qu'en surface ou pas du tout, un second dossier [C 3 062] abordera les conditions de la pratique, le **pour-quoi** des usages du sous-sol : les demandes et les offres, et le **comment** : les contraintes géologiques et juridiques. Il s'agit en effet d'expliquer pourquoi le recours au sous-sol permet de résoudre beaucoup de problèmes, puis comment le faire entrer dans la pratique de l'urbanisme. Au-delà, l'aménagement du territoire peut aussi profiter de ce dossier, car la « campagne » aussi a son sous-sol, avec ses usages classiques et futurs.

Ce dossier ouvre à l'urbanisme souterrain un champ d'avenir plus large que celui connu jusqu'ici, un champ qui mobilise et mobilisera de plus en plus d'innovations techniques, lesquelles en retour élargiront la gamme des usages possibles du sous-sol au service de l'homme.

1. Depuis l'Antiquité

Depuis la préhistoire et l'homme « des cavernes », toutes les civilisations ont fait plus ou moins usage du sous-sol, soit pour en retirer des ressources (l'eau, le silex pour les outils, les minerais et les matériaux de construction), soit comme abri et cache, tant pour les familles que pour leurs biens.

Sans remonter aux Étrusques et à la Rome antique (l'égout du Forum est attribué à Tarquin le Superbe, quatre siècles avant notre ère, et l'essentiel des aqueducs était en souterrain), il faut constater que les usages du sous-sol urbain sont restés modestes jusqu'au milieu du XIX^e siècle (voir tableau 1) ; le XX^e voit la croissance simultanée des villes et de la circulation automobile, celle-ci permettant celle-là et celle-ci exigeant celle-ci en un cercle éminemment vicieux, ce qui change l'échelle des problèmes à résoudre. L'urbaniste a dû recourir de plus en plus à la troisième dimension vers le bas, d'autant que l'extension vers le haut connaissait peu à peu une désaffection certaine après un bref âge d'or dans les pays occidentaux (un stade pas encore atteint, il s'en faut, dans les pays qui se développent, en Amérique latine et surtout en Extrême-Orient).

Si le sous-sol est mis au service de l'urbanisme, il n'en fait partie qu'à son humble échelle, *sutor ne supra crepidam*, a écrit Pliny l'Ancien (« cordonnier, pas plus haut que la cheville ») : sans chaussées et sans égouts, pas de piétons ni de villes. Le rôle des réseaux est capital dans l'organisation de la ville, les réseaux souterrains y apparaissent comme le germe de l'urbanisme souterrain [1]. D'après Sabine Barles [2] et [3], cette fonction **d'assise technique** que peut remplir le sous-sol urbain apparaît déjà dans un texte de P. Patte en 1769 et la nécessité de coordonner les réseaux est soulignée, dès 1836, par Emmerly des Sept Fontaines.

Ce dossier n'a pas prétention à l'exhaustivité, son objet étant surtout de balayer le champ des applications : par exemple, les antiques villes souterraines de Cappadoce, comme les réalisations modernes d'Europe de l'Est seront évoquées seulement dans le dossier suivant (cf. [C 3 062]).

2. De Londres à Paris, des égouts aux métros, de Belgrand à Hénard

2.1 L'assainissement

On sait que c'est l'insalubrité et ses répercussions épidémiques (le choléra, ...) qui sont à l'origine des premiers réseaux d'égouts (d'où le mot assainissement). Les premiers égouts seront déversés dans la Seine au cours des années 1830. Deux ingénieurs contemporains, Eugène Belgrand à Paris (recruté par le baron Haussmann) et Sir Joseph Bazalgette à Londres vont concevoir et faire réaliser les ouvrages souterrains de collecte des eaux usées des deux villes (dès 1854 à Paris, 1856 à Londres). C'est l'adoption d'un principe selon lequel tout ce qui est désagréable aux sens est placé en sous-sol.

Pour la plupart, ces canalisations seront construites en tranchées à une profondeur modeste. À Paris les 600 km de galeries sont visibles. À Londres, seulement les axes principaux, sur environ 150 km. Le grand diamètre des égouts de Paris permet deux innovations majeures :

- le curage par des « bateaux-vannes » spécialisés, toujours en service ;
- l'hébergement des autres réseaux de service public, en plein développement à l'époque, d'abord l'eau potable et les eaux ménagères, puis le gaz de ville, l'électricité, l'air comprimé, le téléphone ; ainsi l'égout devient multifonctionnel et apporte peu à peu, à chaque immeuble, tous les services alors disponibles (sauf l'évacuation des eaux-vannes, car l'apparition du tout-à-l'égout attendra une loi de 1894).

Non seulement l'assainissement fait son entrée dans le programme des grands travaux d'aménagement urbain, mais en outre la « ville souterraine » de Belgrand va de pair avec les travaux d'urbanisme, au-dessus du sol, de Haussmann et de ses deux autres adjoints : Alphand et Davioud.

Tableau 1 – Chronologie simplifiée des ouvrages souterrains

Époques	Types d'ouvrages	Dimensions
6000 Av. J.-C.	« Mines » de silex, pour l'outillage	–
5000 Av. J.-C.	Premières mines d'or, d'argent, de pierres précieuses	–
3000 Av. J.-C.	Premières hypogées (funéraires) en Égypte et en Inde	–
1300 Av. J.-C.	Mines de sel (Hallstatt, Autriche), temple d'Abou Simbel (Égypte)	–
≈ 50	Tunnel « routier » de Naples à Pozzuoli	1 500 m environ
1776	Tunnel du Malpas (canal du Midi) près de Béziers, Hérault	153 m
1813	Tunnel routier des Échelles (Savoie, sur la RN 6)	294 m
1829	Tunnel ferroviaire de Terrenoire, près de Saint-Étienne	1 506 m
1931	Passage souterrain à 4 voies, Paris, Porte-Dauphine	254 m
1945	Tunnel autoroutier de Saint Cloud, 5 voies (doublé en 1976)	813 m
1965	Tunnel routier du Mont Blanc	11,6 km
1994	Tunnel ferroviaire sous la Manche	50,5 km
2005	Tunnel ferroviaire transalpin de base (en cours), Suisse	54 km

Toutefois, plusieurs réseaux vont abandonner l'égout, les uns après les autres, pour éviter les conditions peu hygiéniques des visites et interventions. Ils préféreront s'isoler « en pleine terre », chacun dans son domaine ; ce qui constituera une sorte de grille à très faible profondeur, c'est-à-dire un obstacle compliquant l'utilisation des volumes plus profonds (figure 1). Avec le câble et l'eau réfrigérée, un mouvement de retour est aujourd'hui perceptible.

Les égouts de Paris (Extrait du Guide Joanne, Paris, 1870)

« ... En 1854, dans un mémoire présenté au conseil municipal sur les eaux de Paris, l'éminent Puget traça le programme du magnifique réseau qui se ramifie aujourd'hui sous la cité tout entière, inextricable méandre dont la longueur, supputée à 152 km en 1855, était en janvier 1870, de 560 km. Cela donne, en quinze ans, une augmentation de 408 km.

Dans les ramifications de ce vaste système, on distingue douze types depuis celui du grand collecteur de la rive droite jusqu'au branchement qui conduit à l'égout de la rue les eaux pluviales et ménagères de chaque maison. De ce dernier type, dont les dimensions sont suffisantes pour la visite et le nettoyage à bras d'homme, on s'élève à celui du grand collecteur, en passant par les types à simple banquette, à double banquette, et avec rigole centrale. Les types sont calculés surtout en raison du volume de liquide sale à écouler, mais aussi en vue des conduites de distribution d'eau propre qui doivent y trouver place. Dans quelques galeries passent des fils de télégraphie électrique. Mais les conduites de gaz en ont toujours été exclues, eu égard aux risques d'accidents graves qu'elles y introduiraient.

Là, les conduites d'eau sont à l'abri des accidents, et constamment exposées à la vue des agents préposés à leur conservation. En outre, on prévient par là les graves avaries que les infiltrations souterraines peuvent causer au sol et aux maisons riveraines quand les tuyaux sont posés en pleine terre. Enfin les travaux de pose et de réparation sont faits sans ouverture de tranchées et sans apporter d'entraves à la circulation... »

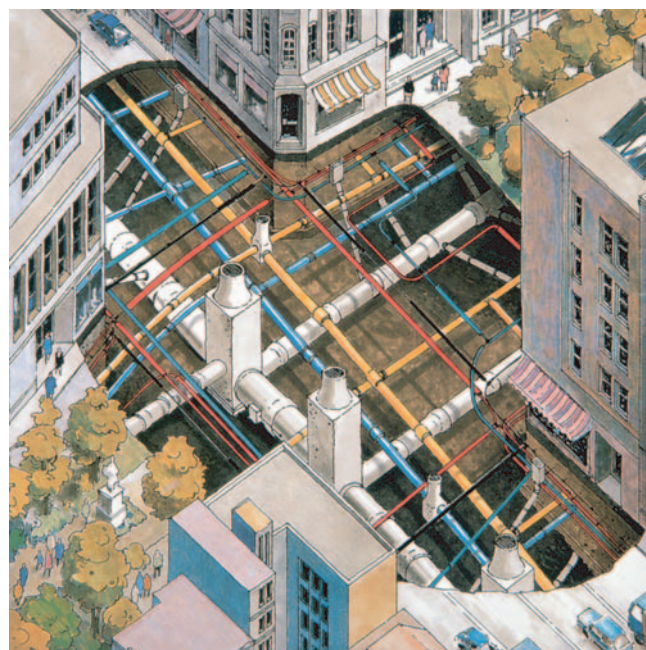


Figure 1 – Image idéale des réseaux enterrés sous les rues d'une ville
(David Macaulay, *Sous la Ville, Les deux Coqs d'or* (1985))

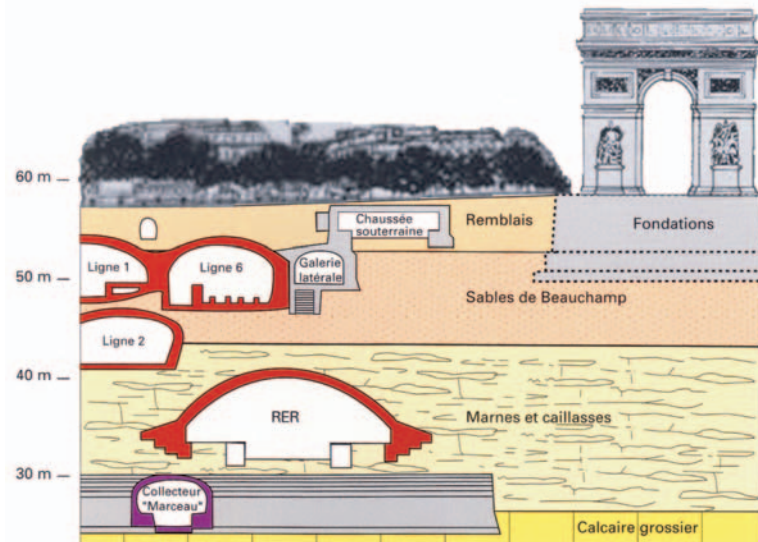
2.2 Le transport des personnes

2.2.1 Transports sur rail

Le tunnel sous la Tamise construit à Londres par Brunel, de 1825 à 1843, pour les piétons et charrettes, ouvre une ère nouvelle pour le franchissement d'un obstacle linéaire en centre ville, là où les ponts sont incompatibles avec la circulation fluviale ; il sera plus tard intégré au réseau du métro. Mais ce sont les premiers chemins de fer

qui pénètrent les reliefs urbains, pour éviter les rampes, à Liverpool en 1828, à peine plus tard à Paris sous la butte de l'Europe (pas encore ouverte d'une large tranchée) et en plusieurs tronçons de la Petite ceinture (un périphérique ferroviaire pour relier les réseaux et leurs gares terminales).

Toujours à Londres, la première ligne de métro au monde, la *Metropolitan*, est ouverte en 1863. Elle va donner son nom (sauf à Londres d'ailleurs) à ce type de transport urbain sur rail, majoritairement souterrain. Jusqu'en 1884, cinq lignes sont construites en tranchées couvertes sous de larges avenues, puis, à partir de 1898, les suivantes sont construites plus profond, en souterrain vrai, dans la *London clay*, l'argile de Londres, avec un gabarit circulaire, d'où le



Trois stations de métro construites ensemble et ouvertes en 1900 (lignes 1, 2, 6) :

- station RER située au-dessous, en terrain favorable et hors nappe ;
- tunnel routier à gabarit réduit situé au-dessus (dans le seul sens Paris-province), à côté des fondations de l'Arc de triomphe ;
- collecteur Marceau (une galerie a été ajoutée plus bas encore pour le réseau de chauffage urbain).

Figure 2 – Coupe des tunnels successifs sous la place de l'Étoile à Paris

nom familier de « tube » donné au réseau (le nom officiel étant *the Underground*). Les premiers trains étaient à vapeur, puis le tramway souterrain (1899) de Budapest inaugure la traction électrique en sous-sol. Elle sera adoptée aussitôt à Paris, où les travaux ont commencé l'année précédente, sous la direction de Fulgence Bienvenüe (qui allait y consacrer quarante ans de sa vie).

Longtemps disputé entre la Ville et l'État, le métro de Paris se caractérise par son indépendance par rapport aux chemins de fer « nationaux » (même écartement des rails, mais gabarit des tunnels inférieur) et par l'indépendance de chaque ligne, du moins en service normal (elles sont en effet réunies par des embranchements ignorés du public). Il est remarquable que trois lignes aient été inaugurées en cette même année 1900, trois lignes en correspondance à la place de l'Étoile (figure 2) grâce à la superposition de deux étages de stations, dont les deux supérieures accolées, un ensemble ramassé procurant un minimum de couloirs et d'escaliers. Mais il a fallu attendre le RER, réseau express régional (au gabarit SNCF), pour voir améliorer les correspondances avec les gares de banlieue et grandes lignes, sous l'impulsion du préfet Doublet. Il reste néanmoins beaucoup de stations où les correspondances sont malaisées.

2.2.2 Transports routiers

Le premier tunnel « routier » semble celui creusé entre Naples et Pouzzoles (voir tableau 1), en 40 av. J.-C., long de 1 500 m, et où deux charrettes pouvaient se croiser. Fermé depuis longtemps à la circulation, il est doublé aujourd'hui par un tunnel moderne (et deux tunnels ferroviaires). En vérité, si ses successeurs sont urbains, il était autrefois à la campagne. Ce modèle sera suivi dans beaucoup de villes autour de reliefs urbains : Buda en Hongrie, la colline royale de Budapest sur l'autre rive du Danube, Lyon (tunnels de

Fourvière et de la Croix Rousse), Le Havre (tunnel Jenner) et, récemment, Marseille (le tunnel Prado-Carénage réutilise un vieux tunnel ferroviaire).

L'idée d'un réseau de voiries autoroutières sous la ville (et ses faubourgs) est apparue dès les années 1920. Elle a pris forme avec le GECUS (Groupe d'études et de coordination de l'urbanisme souterrain, fondé par Édouard Utudjian en 1932), sous forme d'un réseau associant un losange à une croix nord-sud et est-ouest. Mais c'est seulement le projet LASER (liaison autoroutière souterraine express régionale, par référence au RER), présenté en 1987 par l'entreprise Grands travaux de Marseille, qui appliquera les principes de base suivants (figure 3) :

- un tunnel à deux étages, permettant trois voies de circulation dans chaque sens, est réservé aux voitures légères (ce schéma sera appliqué vingt ans plus tard sur l'autoroute A 86 entre Rueil et Versailles) ;
- un anneau central desservant cinq ou six branches radiales dirigées vers les autoroutes en service ;
- une quinzaine d'accès dans Paris, moins d'un par arrondissement.

La ville de Paris a rejeté le projet, en partie pour éviter des rampes d'accès qu'elle jugeait trop encombrantes et, devant les craintes des Parisiens de voir Paris envahi par les voitures des banlieusards. La ville a aussi refusé à son métro des puits de lumière pour éclairer les stations, à la manière de celui de Lille, par exemple.

En l'absence de relief, les tunnels urbains ont commencé par des longueurs modestes comme simples « passages souterrains », pour franchir par-dessous une voie ferrée (en supprimant un « passage à niveau ») ou un carrefour. Le premier à Paris, en 1931, a été suivi depuis par plusieurs dizaines d'autres, au point que Paris a le record mondial pour le nombre de ses passages souterrains (la plupart le long des « Boulevards extérieurs » de Paris, puis sur quelques

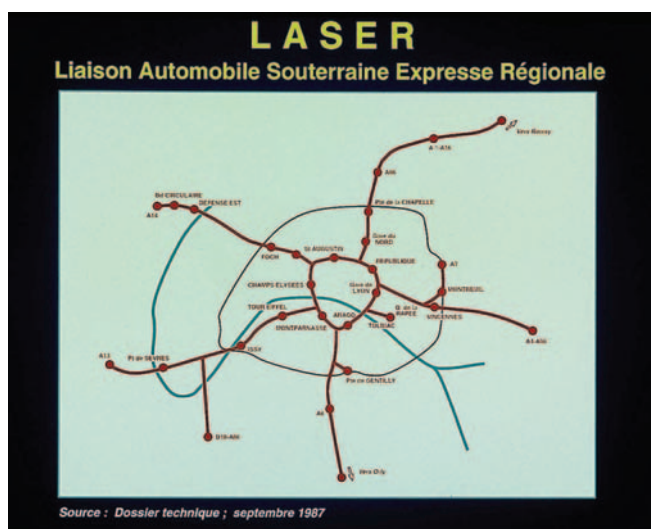


Figure 3 – Le projet LASER d'autoroutes souterraines sous Paris, présenté en 1987 par l'entreprise « Grands travaux de Marseille » ; tracé de principe et points d'échange avec la surface

grands axes de banlieue). À Neuilly sur Seine, un long passage souterrain simplifie le carrefour de l'avenue ; son prolongement vers Paris jusqu'au Boulevard périphérique (un supplément de 1 200 m) est au stade de l'enquête de « débat public ». Le passage sous le Quai du Louvre a une fonction esthétique. Beaucoup de ces passages n'acceptent pas les poids lourds, leur gabarit étant limité en hauteur (et parfois en largeur).

Quelques tunnels franchissent les nappes et cours d'eau par-dessous. En France sous le Vieux Port de Marseille et sous le port de Bastia. À l'étranger, les tunnels sont plus anciens et plus nombreux, notamment sous les estuaires (en concurrence avec les ponts à New York, mais en exclusivité à Rotterdam ou Hambourg). Les nombreux tunnels récents sous les fjords de Norvège ne sont pas des tunnels urbains, même lorsqu'il s'agit de « boucler » un anneau périphérique (comme à Oslo), à la manière de ce qu'on vient de faire sous la baie de Tokyo (et en cours d'étude à Genève, sous le lac Léman).

2.2.3 Autres moyens de transports

Certaines villes à reliefs escarpés se sont dotées d'escaliers mécaniques ou d'ascenseurs, ainsi la Butte Montmartre à Paris, les abords du parc Güell à Barcelone ; en général en surface, mais parfois en souterrain à Monaco, une ville à flanc de coteau. En terrain plat ou presque, les transports mécanisés (dits *hectométriques*), tapis roulants ou téléphériques, ne sont pas encore répandus, sinon à l'intérieur de rares stations de métro et donc en souterrain (bien qu'ils soient souvent prônés, comme pour relier les gares de Lyon et d'Austerlitz à Paris, en passant sur le nouveau pont).

2.3 Transport de fret

Londres ouvre en 1853 un tube pneumatique pour le transport du courrier de la gare Euston à la Poste centrale. Après l'arrêt du service en 1874, ce tunnel hébergera des câbles (électricité et téléphone). En 1908 après une visite des responsables à Chicago (voir ci-après), un tunnel de 10,5 km achemine lettres et paquets par rail entre les principaux bureaux de distribution (*Rail mail*, de Paddington à

Whitechapel, en 26 min, 9 arrêts compris). En dépit de modernisations, dont la commande automatisée par ordinateur depuis 1993, ce service a été fermé en 2003 (après abandon de la conversion au transport d'un fret non postal). Des systèmes de courriers « pneumatiques » ont été mis en service aussi à Berlin et à Paris. Ce dernier, apparu en 1866, reliait les bureaux télégraphiques en passant par les égouts. Sa longueur atteignait 400 km en 1957 et il cessera de fonctionner en 1984.

Chicago, la première ville à avoir multiplié les gratte-ciel, établit, à la fin du XIX^e siècle, un réseau de 64 km de galeries à 12 m sous les rues, pour le transport de fret sur voies *Decauville* (essentiellement le combustible pour les chaufferies). Comme ces petits wagons sont aussitôt concurrencés par l'invention du camion automobile, ils disparaissent rapidement et la ville loue alors les galeries aux compagnies de télécommunications qui desservent à leur tour tous les gratte-ciel. Une partie sera agrandie dans les années 1950 lorsque le métro aérien du centre-ville (l'*Elevated*) devient souterrain. Le 23 avril 1992, le réseau est subitement inondé à la suite d'un chantier de pieux au bord de la rivière : les systèmes électriques et télématiques de 90 tours de bureaux sont mis hors service (15 de ces immeubles sont restés fermés plus d'une semaine) et les deux lignes de métro du quartier ont été arrêtées pour inspection et travaux. Au total, une catastrophe financière d'une dizaine de milliards de dollars, simplement parce que le plan des galeries n'était pas publié !

Les prémisses de l'urbanisme souterrain

L'urbaniste français Hénard [4] et [5] (1903 et 1910) va s'inspirer pour ses projets (figure 4) de cette même réalisation sans faire d'abord appel au sous-sol, puisqu'il propose en 1903 de surélever la chaussée et de ménager au-dessous un étage technique, dédié aux voies *Decauville* et à tous les câbles et canalisations (figure 4 a).

Dans un second temps au contraire, en 1910, il dote une artère majeure de quatre étages souterrains (figure 4 b), superposant de haut en bas le tramway, le métro, le train de voyageurs et un transport de marchandises sur rail. Son discours, prononcé en anglais, lors d'un congrès d'urbanisme à Londres :

«... We should thus have a many-storied street, as we have a many storied house ; and the general problem of traffic could be solved, however heavy it might be...» [5].

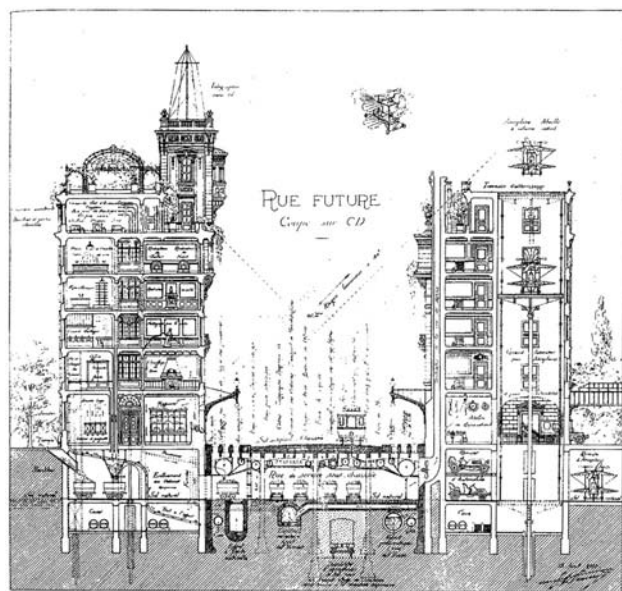
Cette figure apparaît comme la première tentative d'urbanisme souterrain.

Un peu plus tard, Le Corbusier prônera lui aussi les livraisons en sous-sol par des voiries souterraines, une solution qui trouvera sa pleine application à l'occasion des quartiers sur dalles (dont celui de La Défense à Paris).

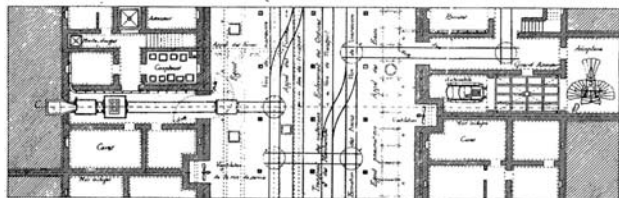
3. Kansas City et la Scandinavie

3.1 Kansas City

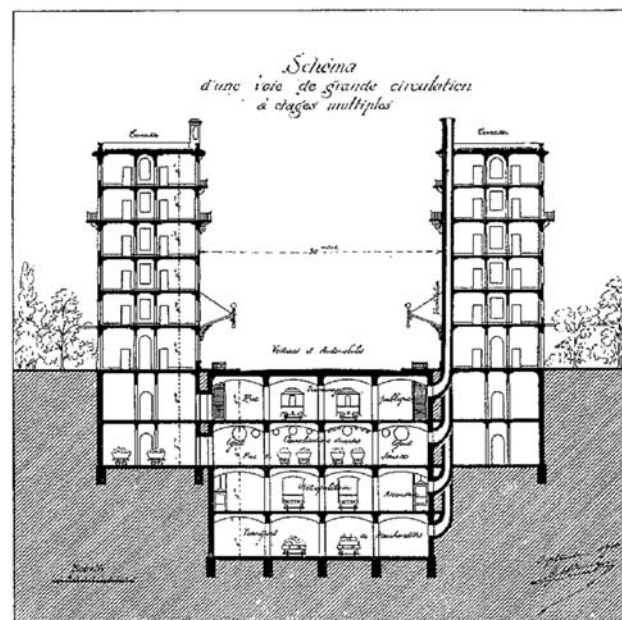
Site du premier pont de chemin de fer sur le Missouri, la ville est idéalement placée pour centraliser la récolte et le stockage de grains du centre des États-Unis. Elle se développe sur un plateau incisé par le Missouri et son affluent le Kansas. Les versants raides laissent paraître une couche horizontale de calcaire, épaisse de 6 m, un excellent matériau pour moellons, granulats et ballast, exploité de façon intensive dès l'origine de la ville, entre deux couches plus argileuses qui protègent les carrières contre les infiltrations d'eau. Dès 1928, apparaît l'idée d'une double utilisation, d'abord exploiter le matériau puis placer les artères et les parkings de la ville entière dans les vides créés. Mais la dépression économique en empêche la mise en œuvre. En 1944, un promoteur loue quelques hectares de



Plan de la Rue de service sous chaussée



(a) La rue future (1903)



(b) La voie de grande circulation (1910)

Le tramway règne sur la chaussée. Les cours, derrière les immeubles sont surélevés, ainsi que la chaussée entre deux immeubles modernes et les larges trottoirs sont protégés des intempéries. Au niveau du sol naturel, la « rue de service sous chaussée » est un véritable étage technique, qui abrite des câbles et conduite déjà nombreux, accrochés au plafond, alors que le sol porte un faisceau de quatre voies ferrées *decauville*, dont les deux latérales desservent le premier niveau de caves (sinon de sous-sol) grâce à des plaques tournantes. L'immeuble de droite recèle des remises pour automobiles et avions, ainsi qu'un atelier de réparations ; un ascenseur central assure l'accès à la chaussée et à la plateforme d'envol ; l'immeuble porte aussi les conduits de ventilation de l'étage technique. Plus bas encore que les égouts (dont un « aspire » les fumées !) le tunnel de chemin de fer est en attente (en tirets).

Avec quatre étages sous le terrain naturel, c'est le premier dessin connu d'urbanisme souterrain limité aux transports et petits réseaux : la chaussée est redescendue au niveau du sol et dessous, de haut en bas, le tramway a été mis en souterrain (les quais étant accessibles par des escaliers) ; l'étage suivant reproduit la rue de service avec ses *decauville*, ses conduites et ses câbles ; puis on trouve le Métropolitain, accessible par des ascenseurs ; enfin le quatrième étage est réservé au transport de marchandises (sans accès aux riverains ni à la surface). On note les conduits de ventilation des sous-sols.

Figure 4 – Dessins de Eugène Hénard (très réduits ici, d'après [4] et [5])

carrières déjà exploitées pour y installer des entrepôts dont la constance de la température leur vaut le nom de « *Natural cooler* » et un succès retentissant. Puis en 1955, un industriel place dans une carrière un atelier de mécanique de précision pour échapper aux vibrations dues à la circulation urbaine.

Vingt ans plus tard, Kansas City pouvait annoncer 1,5 million de mètres carrés en souterrain (en 2005 le nombre dépasse 5 millions), l'essentiel en entrepôts de grains, agrumes et autres marchandises périssables (dont une partie sous douane). Dans la foulée, des ateliers et même quelques bureaux seront aménagés, car le développeur fournit à la demande tous les raccordements de services et de confort. Plus récemment une salle de *paintball* souterraine est offerte aux amateurs ! La ville a adapté ses réglementations à ce type d'installations souterraines, dès la décennie 1980, avec un cadastre souterrain distinct du cadastre en surface (le problème étant simple puisqu'il n'y a qu'un étage aménagé en sous-sol). Dans quelques cas, une zone industrielle ou commerciale en surface est associée à la zone souterraine d'une même entreprise.

Ce type d'emploi du sous-sol apparaît étroitement dépendant d'un site où l'unique étage souterrain aménagé est inscrit dans la coupe géologique.

Truman Stauffer est indissociable de l'aventure de Kansas City : il a soutenu une thèse en 1969, à l'université du Missouri, sur les usages du sous-sol dans le « Grand » Kansas City et il a accueilli en 1975 le premier symposium sur ce thème. Les sites comparables ne sont pas nombreux, du moins au voisinage immédiat d'une grande métropole régionale. Si beaucoup d'autres sites présentent quelques unes des conditions favorables trouvées à Kansas City, peu de sites les présentent toutes au même degré : roche compacte, résistante et valorisable, formant une couche de qualité régulière, épaisseur de l'ordre de 5 m, comprise entre deux couches étanches, pendage très faible, et accès de niveau avec les voies de communication routières (figure 5), ferroviaires, et même fluviales.

3.2 Scandinavie

Les ingénieurs scandinaves ont acquis dans les mines une excellente maîtrise du creusement à l'explosif et ils en usent largement puisque le sous-sol de leurs villes est largement rocheux. On sait la Norvège en tête pour le nombre d'ouvrages souterrains de toutes catégories, par exemple les usines de production d'électricité (dont la première centrale nucléaire dès 1958 à Halden, à vrai dire de taille modeste, 20 MW, toujours en service) et les tunnels routiers, y compris aujourd'hui, sous la mer). On ne s'étonnera donc pas de trouver à Oslo, comme d'ailleurs à Stockholm et dans bien d'autres villes, des stations de traitement des eaux en cavernes, tant en amont qu'en aval des usagers, ainsi que des entrepôts, certains frigorifiques, des piscines et salles de sports, une église à Helsinki, une centrale thermique à Göteborg, et, moins urbain à vrai dire, un arsenal de la marine royale suédoise abritant des sous-marins



Figure 5 – Photo d'un camion sortant d'un des entrepôts souterrains de Kansas City (cliché Hunt Midwest)

L'avance prise en Suède dans ce domaine s'est concrétisée par l'envoi aux États-Unis en 1976 d'une mission composée de spécialistes de travaux et d'urbanisme souterrains, présentant chaque soir ses thèses dans des villes différentes d'une côte à l'autre. Lors de la fondation de l'AITES (Association internationale des travaux en souterrain) en 1974, c'est l'architecte suédois Birger Jansson qui crée et anime le groupe de travail sur l'utilisation du sous-sol, relayé plus tard par l'ingénieur norvégien Annika Nordmark. En Finlande, dans les années 1980, le taux de croissance des constructions souterraines était le double de celui à la surface. Oslo et Helsinki étaient, à cette époque, les deux villes d'Europe les plus riches, à la fois en espaces verts et en espaces souterrains, ce qui montre que la préservation de l'environnement était pour elles une motivation essentielle.

Enfin, les Jeux olympiques d'hiver 1992 ont permis à la Norvège de réaliser en souterrain la patinoire de Gjøvik (figure 6), dans une caverne dont la portée de 61 m est un record mondial, très au-dessus de tout précédent connu (hors des mines). Le projet avait été conçu trente ans plus tôt, afin de valider la possibilité de placer en souterrain des centrales nucléaires de grande puissance, et il était resté dans les cartons après l'abandon du programme nucléaire (cette portée n'est pas dépassée 15 ans après).

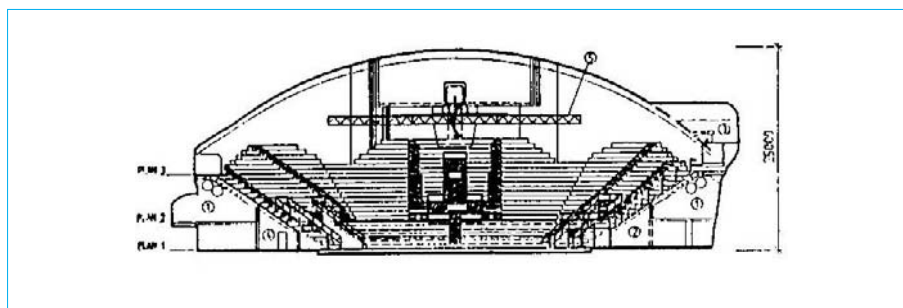


Figure 6 – Coupe de la caverne creusée à Gjøvik (Norvège) pour la patinoire des Jeux olympiques d'hiver 1992 (record de portée en génie civil souterrain)

4. Paris, des Halles à la Défense et au Grand Louvre

4.1 Les Halles

L'opération des Halles est le premier des trois projets d'aménagement (voir tableau 2) à fort contenu souterrain qui se sont enchaînés à Paris dans la seconde moitié du XX^e siècle. Elle naît d'un projet du GECUS, le Groupe d'études et de coordination de l'urbanisme souterrain, fondé par Édouard Utudjian en 1932. S'il ressuscite le concept, cher à beaucoup d'urbanistes, d'une gare centrale pour l'ensemble du réseau national, il vise surtout, à l'époque, à réduire le développement de la circulation automobile grâce au croisement de deux nouvelles lignes d'un métro plus rapide et plus étendu (rappe- lons qu'à Paris, comme à Londres, les gares terminales des lignes radiales ont été établies individuellement à la périphérie de la ville d'alors, où des terrains étaient encore disponibles à prix modérés sans trop de démolitions).

Ce projet est repris par les services de la Ville, dès la fin de la Seconde Guerre mondiale, afin surtout de desservir les « villes nouvelles » alors projetées. L'occasion de le mettre en œuvre est donnée par le déménagement du marché de gros en proche ban- lieue, un déménagement justifié par les difficultés de circulation mais aussi par des considérations hygiéniques, tout comme autre- fois le creusement des égouts. L'espace libéré par la démolition des « pavillons » de Baltard permet en effet de construire, à ciel ouvert, une gare souterraine pour sept voies et quatre quais, un rectangle de 400 m sur 60 à 17 m de profondeur, dont aucun effet de voûte n'aurait pu supporter le toit (des files de poteaux remplissent cet office).

La « délibération Capitant » (24 octobre 1968) est l'acte de nais- sance du projet actuel :

« ... le sous-sol de cette zone sera intégralement utilisé jusqu'au banc de calcaire grossier qui en constitue le soubassement. Il com- prendra un vaste forum souterrain auquel on accèdera soit par les stations du RER et du métro, soit par les issues conduisant à l'exté- rieur et sur lesquelles donneront des équipements commerciaux, culturels, sportifs et de loisirs, qui composeront une ville souterraine... ».

Ce projet embrassait 1 500 ha, depuis la Bourse du Commerce jusqu'au plateau Beaubourg, plantant, devant l'église Saint-Eusta- che, un grand espace vert franchi par des liaisons routières souter- raines. Il sera réalisé en deux phases (figure 7) :

- le RER ouvre en 1977 ;
- le Forum est inauguré en 1979 ;
- la Galerie est inaugurée en 1985 ;
- la zone « de loisirs » est achevée en 1989.

Les Halles hébergent alors le centre commercial urbain record de France, riche des trois cents boutiques du Forum, dynamisées par la FNAC (chaîne de magasins spécialisés en photographie, informati- que, musique et librairie) qui en assume la moitié du chiffre d'affai- res en 1986. Elles accueillent 800 000 usagers par jour, franciliens et parisiens, touristes et riverains, aux attentes contradictoires, et elles offrent une grande variété de services publics et privés, avec une accessibilité exceptionnelle. La municipalité élue en 2001 tirera motif de son vieillissement pour lancer un concours de renouvelle- ment. L'objectif est de repenser la circulation, le stationnement, l'insécurité et de remédier à la dégradation trop rapide de certains bâtiments. Le défi est de traiter à la fois le niveau souterrain (le pôle d'échanges transports, le centre commercial et les grands équipe- ments) et le niveau du sol et des liens avec les quartiers, pour en faire une synthèse. Le réseau routier est inadapté au franchissement nord-sud indispensable, car trop étriqué, sinueux, ramifié, avec un point bas. La salle d'échanges du RER, où les plus habitués se sont perdus au moins une fois, faute d'un allongement visible suivant un axe identifiable, doit devenir un pôle fort de l'aménagement. En 2005, le concours a été jugé et l'un des quatre partis choisi. On n'attend plus que la réalisation !

4.2 La Défense

Contrairement au cas précédent, il s'agit ici de construire un quar- tier de bureaux (tableau 2), autour d'une station du RER, dans le prolongement vers l'ouest de l'axe triomphal des Champs-Élysées. De nombreux projets d'urbanisme ont été dessinés successivement, de 1958 à 1964, autour d'une avenue montant vers la statue de la Défense et avant que la forte dénivellation ne suscite le projet d'un quartier sur dalle, ménageant ainsi d'immenses espaces souterrains artificiels. La séparation des flux de trafic, édictée par la Charte d'Athènes, est ici la règle.

Tableau 2 – Éléments de comparaison entre les trois grands aménagements de Paris à composante souterraine (1)

	Les Halles	La Défense	Le Louvre
Objectif premier	Métro express	Quartier de bureaux	Accès au musée
Emprise totale	14,8 ha	160 ha	40 ha
Profondeur totale	30 m	max. 25 m	max. 15 m
Bureaux	17 400 m ²	3 000 000 m ²	–
Commerces	92 000 m ²	210 000 m ²	10 000m ²
Parkings	4 000 places	20 000 places (2)	600 + 80 bus
Voiries	4,2 km	90 000 m ²	–
Transports publics	3 RER	SNCF, RER, métro, tram	métro
Nombre d'étages	6	–	–
Espaces verts	5 ha	11 ha	30 ha
(1) source	Paris Projet 1985	Site web	Site web
(2) hors parkings privés			

La Charte d'Athènes, proposée par Le Corbusier en 1933 (extraits)

« ... L'urbanisme est une science à trois dimensions et non pas à deux dimensions. C'est en faisant intervenir l'élément de hauteur que solution sera donnée aux circulations modernes ainsi qu'aux loisirs, par l'exploitation des espaces libres ainsi créés... »

« ... Le piéton doit pouvoir suivre d'autres chemins que l'automobile : piétons en surface avec une variété de jardins et bassins, voitures et camions invisibles... ».

La desserte automobile a longtemps été assurée par un anneau périphérique. Mais depuis la mise en service de l'échangeur en Y vers Saint Germain et Pontoise, puis du passage direct de l'autoroute A 14, une partie de l'anneau, devenue inutile, va être reconverte en terrain à bâtir. La surface de la voirie est de 90 000 m², dont

Parmi les immeubles du tout début, le plus ancien, le CNIT (Centre des nouvelles industries et technologies) a subi une transformation considérable. C'est maintenant une coque abritant des bâtiments intérieurs, hôtel, restaurants et commerces, ainsi qu'un centre de congrès en sous-sol. Deux tours ont été démolies, dont celle d'Esso, après 40 ans de service. Une extension à l'ouest jusqu'à la Seine est programmée, accompagnée d'une future gare TGV (le contournement de Paris par ligne à grande vitesse a été réalisé à l'est pour desservir l'aéroport CDG et Disneyland, alors qu'il serait plus court par l'ouest (mais les hauteurs de Rueil et Versailles, qui ont accepté à grand peine le tunnel de l'autoroute A 86, ne sont pas prêtes à le laisser passer).

« ... La Défense est un grand puzzle piriforme où se croisent chaque jour 150 000 salariés partageant 3,3 millions de mètres carrés de bureaux et 20 000 habitants occupant 9 000 logements. On s'y salue au gré des tours, des galeries, des passerelles, des jardins, des terrasses et des sculptures monumentales. Cette situation est unique au monde... » (discours en 2006 du directeur général Bernard Bled).

Une émission de télévision a dévoilé, toujours en 2006, les « cathédrales englouties » sous les parvis, dont une station de métro prévue dans les années 1970 pour accueillir la ligne 1 et qui a finalement abouti ailleurs, ainsi que le « Monstre » de Raymond Moretti, une sculpture de 30 mètres de long pesant 20 t (réalisée en 1965). Il est vrai que, à l'inverse de l'iceberg, la part immergée est peu de chose.

La gestion est assurée par l'EPAD (Établissement public pour l'aménagement de la Défense) dont le conseil d'administration paritaire est composé de représentants des ministères de tutelle et des collectivités locales, région, département, communes de Nanterre et Puteaux (celles-ci devant prendre un jour la relève). Les habitants de Puteaux espèrent la mise en souterrain de la RN 13 jusqu'au Rond-Point des Bergères, à l'image du prolongement envisagé à Neuilly du passage souterrain de 400 m actuellement en service jusqu'au boulevard périphérique.

4.3 Le Grand Louvre

Dernière en date, cette opération est beaucoup moins importante en surface que les précédentes, mais elle comporte quelques originalités marquantes dont l'introduction de la lumière du jour au cœur de la partie ouverte au public par la pyramide de Ieoh Ming Pei, et le parking pour 80 cars de tourisme. Le niveau social d'une fraction importante des visiteurs du musée a attiré une galerie de commerces de luxe, dans une extension jusqu'à l'arc de triomphe du Carrousel. Un important réseau de voirie souterraine (inconnu du public) assure les transports internes et permet d'acheminer aussi les petits réseaux.

L'archéologie urbaine n'est pas oubliée : la base du château fort de Philippe-Auguste, datant de 1190, a été mise en valeur sous la Cour carrée et de même, à l'ouest, un mur qui sépare le parking de la zone commerciale. En outre, une grande quantité d'objets de valeur a été récoltée. On notera que l'essentiel de l'aménagement souterrain est limité à un seul étage (au moins pour les visiteurs).

Commandé en 1981 par le président Mitterrand, le projet est approuvé sur une maquette, en 1985. La pyramide, entourée de jeux d'eau, qui marque l'entrée du nouveau musée, ne constitue donc qu'une toute petite partie d'une rénovation et d'agrandissements sans précédent : restauration des bâtiments, notamment de l'aile longtemps occupée par le ministère des Finances, parc de stationnement, galerie commerciale, amphithéâtre de l'École du Louvre, salles de présentation pour la mode, laboratoire de recherche des musées de France, équipements techniques et réserves.

5. Toronto, Montréal, Minneapolis et l'Earth shelter

5.1 Toronto

L'ouverture du métro de Toronto, en 1954, a donné l'idée de relier aux stations les immeubles de bureaux, les grands hôtels et les grands magasins, par des passages protégés, soit par-dessus les rues (comme il en existe aussi à Minneapolis, par exemple, au milieu des années 1960), soit ensuite et, surtout, par-dessous, en plus grand nombre. Ce réseau piétonnier, appelé *PATH*, « le chemin », atteint maintenant 27 km, autour de la boucle formée par le métro, à partir de la gare centrale reliant cinq stations de métro

avec plus de 50 immeubles. Il est assorti de 1 200 boutiques et de parkings dans les sous-sols d'immeubles.

Le coût des premiers tunnels et passerelles était partagé entre la ville et les riverains. Ils ne formaient pas un réseau facile à utiliser, faute de simplicité, d'homogénéité, de signalisation et d'interconnexion complète. En 1986, la ville a donc fédéré les propriétaires privés pour engager une réorganisation qui a fait disparaître les défauts.

5.2 Montréal, la ville intérieure

À Montréal, comme à Paris, c'est une occasion qui a créé le larron. Pour atteindre la gare de Montréal, le chemin de fer venant du nord passe en tunnel sous le mont Royal, aussi la compagnie avait-elle acquis le terrain d'une vaste tranchée au cœur de la vieille ville ; la gare est installée au cœur de la pente, vers le pont ferroviaire sur le Saint-Laurent, ce qui a permis de la surmonter par un grand hôtel au-dessus du niveau des rues. Dès 1960, la municipalité a demandé à une équipe d'architectes et d'urbanistes, autour de Ieoh Ming Pei, de proposer des utilisations à cette tranchée. Ils ont doté l'immeuble cruciforme Ville-Marie d'un ensemble commercial souterrain alors record mondial (en termes de surface), ouvert en 1962. En ajoutant les tunnels de liaison avec la gare, la surface piétonnière interconnectée ouverte au public atteint 465 000 m².

La mise en service du métro en 1966 a donné un nouvel élan, par le raccordement progressif d'un nombre croissant d'immeubles ; le réseau évolue vers le concept de « ville intérieure », *indoor city*, et passe de 11 km en 1984 à 21 en 1989. La station Mc Gill donne accès au plus grand centre commercial souterrain, réunissant les sous-sols de quatre immeubles de bureaux et trois grands magasins en surface, l'ensemble étant accessible, aussi, par la route et le rail.

Aujourd'hui, le réseau atteint 32 km, avec 155 points d'accès. Il relie 62 immeubles, 10 stations de métro appartenant à deux lignes parallèles traversant le centre ville, deux gares ferroviaires et deux routières, plus 31 parkings pour 14 500 places. À l'exception du métro, tout a été conçu et payé par le secteur privé et, puisque c'est rentable, il n'a pas fini de s'étendre.

Jacques Besner, alors urbaniste de la ville, donne les conditions d'application de ce concept :

- bien évidemment, la rigueur du climat hivernal joue en faveur d'espaces protégés (et l'argument vaut aussi pour les étés caniculaires) qui permettent l'accès aux commerces de détail toute l'année ;
- la densité d'occupation du sol (bureaux et habitat) est indispensable, ainsi qu'un schéma viable convenable. Les deux lignes de métro, parallèles à 750 m de distance, ont suivi des rues secondaires pour minimiser le coût des terrains. Elles les ont ensuite dynamisées ;
- enfin, la desserte par un métro performant est aussi une condition indispensable. Ce sont les stations qui génèrent le flux piétonnier, condition à son tour du succès des commerces qui donnent au réseau une vie animée.

Le statut du domaine public (au Québec, inaliénable et imprescriptible comme en France) a été modifié par une loi autorisant le passage sous la voirie de galeries privées « pour le plus grand bénéfice des citoyens », sous réserve d'un loyer pour le volume occupé. Réciproquement, la ville exige que le réseau soit accessible pendant les heures d'ouverture du métro, et fixe des règles, adaptées à chaque cas, pour la sécurité des accès, en particulier en cas d'incendie. D'autres règles obligent le propriétaire d'un tronçon à accepter le branchement d'un voisin, sans indemnités.

À cette occasion, des rues étroites ont été déclassées et vendues pour permettre la construction d'ensembles plus étendus que les îlots d'origine, avec une clause de raccordement obligatoire au réseau piétonnier. Enfin, si le réseau finit par devenir domaine public, c'est au secteur privé d'assurer la gestion et l'entretien.

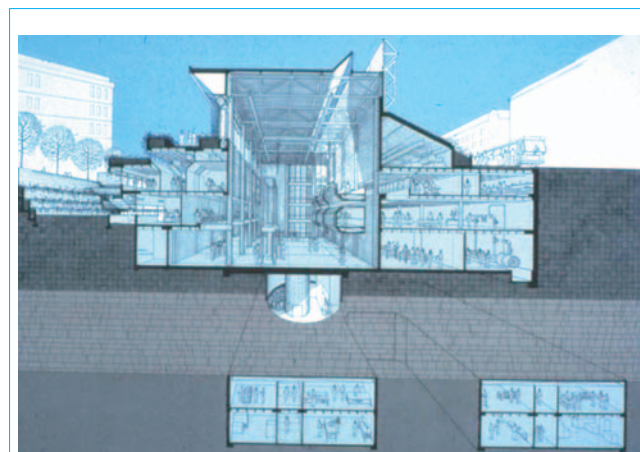
5.3 Minneapolis et l'« Earth shelter »

Le site et la coupe géologique des villes jumelles Minneapolis et Saint-Paul (Minnesota) ont en commun avec Kansas City, l'encaissement du fleuve dans un plateau et l'horizontalité des couches. Sous une couche de calcaire massif, qui procure d'excellentes fondations aux bâtiments, une couche d'un grès très poreux, donc très tendre, est reconnue de longue date favorable au creusement du réseau d'assainissement. C'est ici la nécessité d'ajouter des bâtiments au campus universitaire, sans en aggraver la densité ni en détruire l'harmonie, qui a conduit à utiliser le sous-sol. La spécialité du département de génie minier était bien venue pour concevoir un bâtiment largement souterrain qui porte le moins d'atteinte à un campus déjà encombré (figure 8, d'après [6]).

Le hall d'essais lourds est encastré pour prendre appui directement sur la couche calcaire (économie de fondations) et deux étages de bureaux prennent la lumière du jour depuis un cratère latéral dont la pente est végétalisée. À côté, une partie des amphis est encastrée dans une spirale à faible profondeur. Enfin et surtout, sous la couche calcaire, un étage entièrement souterrain abrite la bibliothèque, les bureaux de la direction et les ateliers. Ce volume, en forme de rectangle à grand pilier central, a été creusé au jet d'eau dans le grès tendre. Il reçoit le soleil par un lumiduc et il a vue sur l'extérieur par un périscope.

Aux États-Unis, plusieurs autres campus universitaires ont eu recours à des locaux enterrés pour ajouter des « bâtiments » sans altérer la physionomie héritée des années antérieures. Plusieurs architectes ont placé des écoles sous des buttes naturelles ou artificielles et conçu des habitations, plus ou moins encastrées dans des reliefs. Sous l'impulsion de Charles Fairhurst (l'homme clef du département de génie minier), l'État de Minnesota a fortement encouragé de nombreuses autres applications : on y trouve, en pleine ville, une bibliothèque sur deux étages de sous-sol et des immeubles d'habitation semi-enterrés, à la fois pour économiser l'énergie et pour limiter le bruit d'une voie rapide proche. Hors ville, on signale une prison partiellement enterrée aussi (en jouant avec le relief) et des bâtiments de service d'une aire d'autoroute.

Israël et l'Australie s'intéresseront, à leur tour, à la fraîcheur d'un habitat enterré ou souterrain.



On voit l'immeuble principal, en partie enterré, dont les bureaux donnent sur le cratère et l'étage entièrement souterrain qui abrite les bureaux et la bibliothèque de l'Underground Space Center.

Figure 8 – Coupe de l'immeuble du Department of Mineral Engineering à l'université du Minnesota (Minneapolis) [6]

6. L'Extrême-Orient : Japon, Singapour et Chine

En Chine, la ville de Beijing (Pékin) a développé d'importants réseaux d'abris souterrains contre les bombardements, longtemps avant de construire la première ligne de métro. Une partie a pu être réhabilitée en locaux sociaux (restauration populaire, etc.). Alors que Beijing et Shanghai sont des villes de plaines, beaucoup d'autres présentent des reliefs, parfois à fortes pentes ; les tunnels ferroviaires et routiers n'y sont pas rares, non plus que, dernièrement, les tunnels sous-fluviaux. La ville de Chongqing a su utiliser ses carrières souterraines et ses abris contre les bombardements (pendant la guerre contre le Japon, en 1940) comme source de climatisation estivale pour des édifices publics dont les cinémas. L'École d'architecture de la ville a beaucoup étudié les problèmes d'ambiance en souterrain, notamment la déshumidification de l'air tropical (pour éviter la condensation de l'eau sur la « paroi froide » des cavités).

Les grandes villes du Japon, qui ont développé des réseaux de métro très importants, ont associé aux stations de correspondance des centres commerciaux souterrains sur plusieurs étages. Leur exemple sera suivi à Taipei, Singapour et en Corée, en attendant les villes chinoises. En particulier, les galeries techniques ont été très développées à Taipei. Tokyo a multiplié les autoroutes en viaducs à l'époque où le creusement de tunnels dans des sols fins saturés paraissait un problème insoluble. Depuis que les constructeurs japonais ont développé des tunneliers étanches (utilisés depuis dans le monde entier), le transfert en sous-sol de ces voies rapides est à l'étude. Plus tard, Singapour choisira l'autoroute urbaine en tranchée couverte.

Concernant le projet du futur CBD (*central business district*) de Beijing, voici la traduction de quelques-uns de ses principes.

« ... Comme le terrain y est précieux, nous devons utiliser pleinement les fondations des immeubles de grande hauteur pour y placer des garages, des entrepôts et toutes autres installations de services et d'affaires, sachant que :

- l'emploi de l'espace souterrain doit répondre aux trois principes de nécessité, rationalité, et adéquation ;

- son exploitation doit être raisonnable, organisée et systématique... ».

Dans la partie la plus dense, il convient de relier les sous-sols des deux côtés du troisième « périphérique » (troisième anneau routier sur six), pour constituer un ensemble exclusivement piétonnier, susceptible d'être équipé de tapis roulants (l'extension en surface de la ville se traduit par des boulevards périphériques successifs numérotés, aujourd'hui jusqu'à six, dont la largeur introduit un effet de coupure, justement éliminé par l'aménagement d'un sous-sol [6]).

7. Applications stratégiques et de sécurité

Beaucoup de guerres ont fait jouer un rôle important au sous-sol : les sapeurs, c'est-à-dire les mineurs militaires (qui font partie en France de l'Arme du Génie), ont creusé sous les fortifications pour les détruire (saper les murs) et cette expérience les a conduits à creuser des galeries et des chambres cachées. La première motivation pour les installations stratégiques, tant civiles que militaires, est d'interdire non seulement l'entrée, mais aussi l'approche et si possible la vue. La seconde est d'abriter les canons destinés à commander un passage.

Beaucoup de promontoires ont été largement excavés pour cela, de la Bastille à Grenoble jusqu'au rocher de Gibraltar, deux exemples presque urbains, au contraire de la plupart des autres cités dans ce paragraphe. Plus superficielles, les tranchées sont des abris

contre les éclats d'obus (dont la trajectoire est plutôt horizontale), souvent associées à de petites chambres souterraines, sur le front de la Première Guerre mondiale. Les ouvrages souterrains ont pris de l'importance dans la Ligne Maginot construite entre les deux guerres face à la frontière allemande, cet ensemble de forts souterrains dont émergent, seules, les tourelles d'artillerie. Leurs locaux souterrains (cantonnements, entrepôts, etc.) étaient desservis par des voies ferrées capables d'assurer les transports lourds (munitions).

Les ports d'attache de la marine de guerre sont également dotés d'abris de sous-marins, creusés dans le rocher et recouverts de béton (sans atteindre l'ampleur des arsenaux vraiment souterrains de la marine royale de Suède). Entre autres locaux, l'arsenal de Brest a été muni d'une centrale thermique entièrement souterraine, comme d'ailleurs les installations nord-américaines du NORAD (ci-après, *North American Aerospace Defense Command*).

Dans les années 1960 et 1970, plusieurs kilomètres de galeries et de puits ont été creusés dans les calcaires du plateau d'Albion qui domine Apt, dans le Vaucluse, pour abriter les missiles nucléaires de la force de frappe française. Récemment abandonnée par l'armée, cette base est désormais gérée par l'université d'Avignon. Elle est en partie utilisée comme laboratoire « à bas bruit » pour des études de géophysique, de déformations lentes en milieu très peu perturbé et d'hydrogéologie. Cet usage est commun à divers laboratoires de recherches souterrains dont celui créé à Moulis (Ariège) en 1947, par le CNRS, pour étudier les faunes souterraines et les écoulements karstiques.

D'autres éléments de la force de frappe française sont les Postes souterrains de Taverny à l'intérieur des carrières de gypse du Val d'Oise et de Mont Verdun, dans le Mont d'Or lyonnais. Ces installations de surveillance de l'espace aérien sont relativement superficielles comparées à celles du NORAD dans le Colorado (Cheyenne Mountain) et au Canada (North Lake), chacune sous 300 m de granite.

Aux États-Unis, un projet non réalisé comportait une caverne creusée sous 800 m de granite pour abriter le super missile nucléaire de représailles, supposé définitivement dissuasif.

Dans le cas des abris de défense passive contre les bombardements, dont l'usage est loin d'être permanent, la double utilisation a été prévue de façon systématique en Scandinavie. Ils y sont reconvertis surtout en parkings souterrains et salles de sports, et réciproquement, il est prévu que les nouvelles salles de sport ou de théâtre puissent accueillir les habitants du quartier (grâce notamment à la capacité de leurs sanitaires).

En Chine au contraire, les abris n'ont été réutilisés à des fins civiles qu'une fois la menace considérée définitivement écartée.

On ne peut négliger de mentionner, après les tunnels de liaison des châteaux forts et abbayes du Moyen Âge, ceux que les prisonniers de guerre ont creusés pour s'évader, ni surtout, ceux qui passent sous les frontières : un grand nombre a été identifié entre les deux Corées et aurait pu servir à franchir la zone démilitarisée. Plus récemment, une quarantaine de tunnels ont été découverts sous la frontière des États-Unis avec le Mexique, servant notamment au passage illégal de marijuana.

8. Projets utopiques ou prémonitoires ?

Après Hénard [4] et [5], dont le projet de rue de service souterraine était parfaitement réalisable (comme le sera l'unité d'habita-

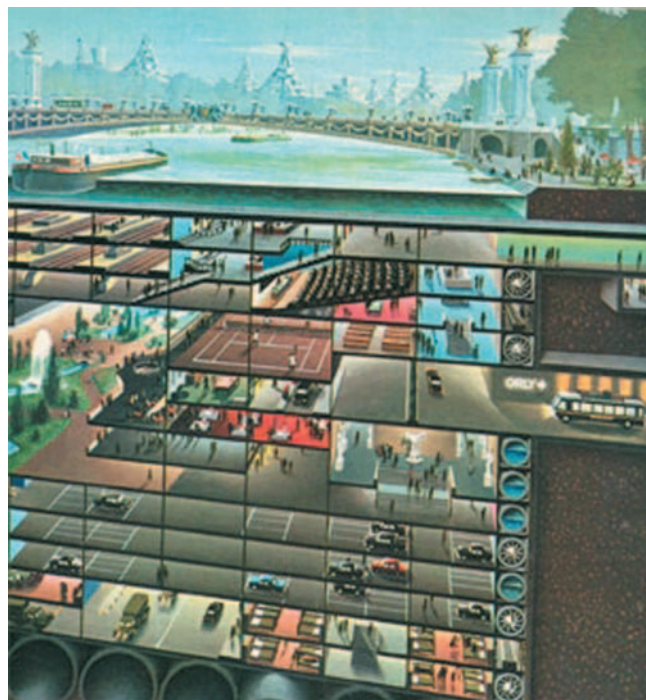


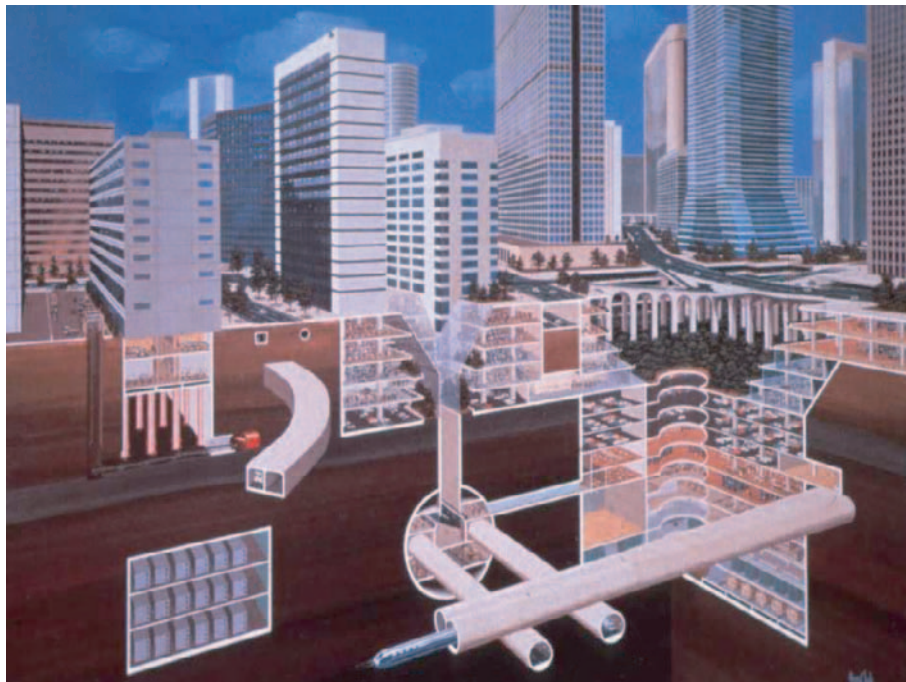
Figure 9 – Utopie ? L'utilisation systématique du sous-sol de la Seine dans la traversée de Paris (projet de Paul Maymont illustré par T. de Rémur, Unité pédagogique 7, Paris Match (1963))

tion de Le Corbusier), il faut citer l'architecte Paul Maymont. Outre plusieurs villes futuristes, il propose vers 1970 d'utiliser la totalité du sous-sol de la Seine dans la traversée de Paris, en y installant des voies rapides et des garages, les réseaux primaires de chaque service et aussi des ateliers, des salles de sport et de théâtre, etc. (figure 9). En effet (Labbé, [7]) il s'agit d'un domaine public pratiquement inoccupé qui traverse toute la ville, avec une largeur bien supérieure à celle des boulevards.

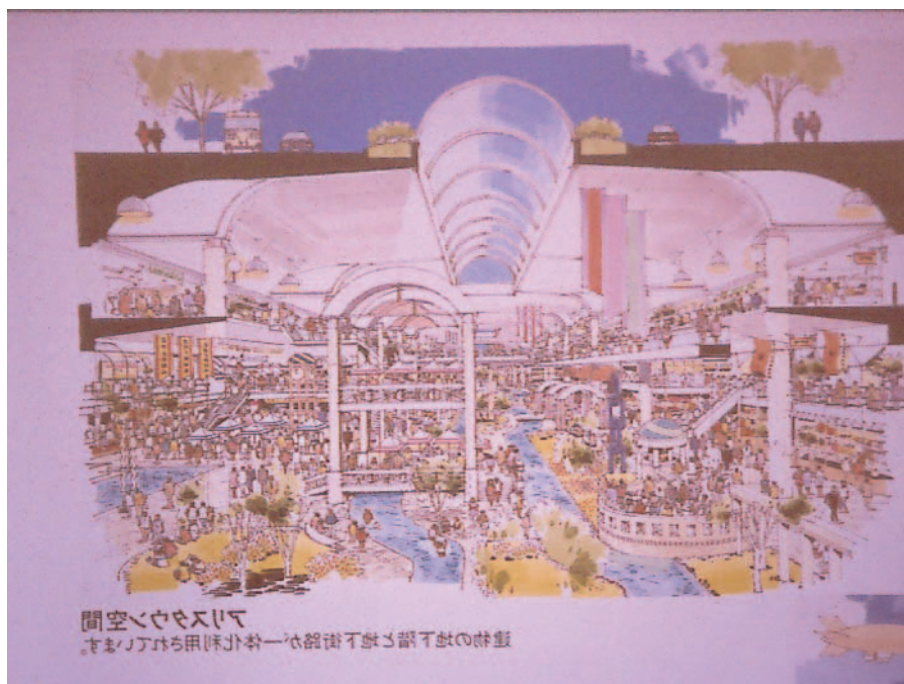
L'américain Birkerts [8] s'est penché sur l'infrastructure urbaine idéale. Il imagine une mégastructure linéaire, en caissons multiples, dont la surface supérieure sert de fondation aux immeubles et l'intérieur offre des voies routières et ferrées pour les déplacements des personnes et des marchandises, ainsi que nombre d'espaces de réunion, garages, entrepôts et même des usines. Cette structure peut se développer de façon linéaire en suivant un bord de lac ou une autre courbe de niveau, ou bien se refermer en boucles, ou encore bifurquer en deux ou plusieurs branches.

À la fin des années 1990, les entreprises japonaises ont rivalisé d'imagination pour proposer des schémas d'utilisation du sous-sol urbain profond (figure 10).

Les tubes de liaison, par route et rail, s'y entrecroisent entre des « bulles » et des « boîtes » accueillant diverses activités (figure 10 a). Un modèle différent propose un habitat multi-étages profond prenant la vue et l'air autour d'énormes puits verticaux ouverts en surface (figure 10 b). Qu'elles soient ou non japonaises, toutes les utopies ne seront pas réalisées, mais beaucoup d'idées nouvelles auront une suite, même si elle est souvent très éloignée de ce qu'envisageait leur auteur.



(a) Des cratères, des tubes et des boîtes.



(b) Une mégastructure de commerces et de loisirs sous une large avenue.

Figure 10 – Deux utopies japonaises des années 1990