



HAL
open science

Le souterrain partie intégrante et indispensable à la ville durable

Émeric Simon

► **To cite this version:**

Émeric Simon. Le souterrain partie intégrante et indispensable à la ville durable. Architecture, aménagement de l'espace. 2017. dumas-01582978

HAL Id: dumas-01582978

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01582978>

Submitted on 6 Sep 2017

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

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

LE SOUTERRAIN PARTIE INTEGRANTE ET INDISPENSABLE A LA VILLE DURABLE.



Sommaire

Introduction.....	5
1. Penser la ville avec son sous-sol.....	7
1.1 Un peu d’histoire.....	7
1.2 Le souterrain dans les villes à partir du 19ème siècle.....	11
Entre utopies et « pragmatisme ».....	11
1.4 La prise en compte du sous-sol dans les opérations d’aménagements globales.	25
1.5 Elargir la planification urbaine à la dimension souterraine	27
2. Les enjeux d’une Ville Durable	30
2.1 Connaitre l’espace souterrain pour mieux l’aménager.....	30
2.2 L’aménagement du territoire	32
2.3 L’utilisation de l’espace	35
3. Les ressources du sous-sol et leur contribution à la ville durable	38
3.1 L’eau : gestion des nappes	38
3.2 L’énergie : géothermie et énergies fossiles.....	39
3.3 Les matériaux	40
3.4 La Recherche et l’Innovation au service de la Ville Durable.....	41
4. Le sous-sol au service de l’Urbanité.	46
4.1 Le métro un sous-sol urbain indispensable à la structure de la ville.	48
4.2 Le Souterrain un espace d’échange à reconquérir.....	51
4.3 La qualité architecturale au cœur du métro.	52
4.4 La dimension psychosociale.	53
5. L’exemple du Grand Paris Express interview de Pascal Hamet à propos l’extension de la ligne 14.	56
CONCLUSION	58
ANNEXES	59

Notice analytique

Projet de Fin d'Etudes Master Urbanisme et Projet Urbain

Auteur : SIMON Emeric

Titre du Projet de Fin d'Etudes : LE SOUTERRAIN PARTIE INTEGRANTE ET INDISPENSABLE A LA VILLE DURABLE.

Date de soutenance : 10/07/2017

Organisme d'affiliation : Institut d'Urbanisme de l'Université Grenoble Alpes

Directeur du Projet de Fin d'Etudes : AMBROSINO Charles

Collation : Nombre de pages : 58 / Nombre d'annexes : 03 /
Nombre de références bibliographiques : 10

Mots-clés analytiques : Souterrain ; Ville durable ; Sous-sol ; Urbanité

Mots-clés géographiques : Paris ; Montréal ; Singapour

1er résumé dans la langue principale du mémoire :

Nous sommes entrés dans l'ère où la nécessité de penser la ville de manière économe en espace et en énergie est indispensable. Que ça soit dans un apport technique, ou d'urbanité avec l'appropriation par les habitants, le souterrain doit participer à cette évolution. Nous chercherons à comprendre dans quelle mesure le sous-sol des villes peut contribuer au développement et à la création de Villes Durables.

2ème résumé dans une autre langue :

Hemos entrado en la era donde la necesidad de pensar la ciudad de manera económica de espacio y de energía es esencial. Si se trata de una contribución técnica o la urbanidad con la apropiación por parte de los habitantes el subterráneo debe participar en este desarrollo. Vamos a tratar de entender cómo el sótano de las ciudades puede contribuir al desarrollo y la creación de Ciudades Sostenibles.

Remerciements

J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.

En premier lieu, je remercie M. Ambrosino, professeur à Institut d'Urbanisme de l'Université Grenoble Alpes. En tant que Directeur de mémoire, il m'a guidé dans mon travail et m'a aidé à trouver des voies pour avancer.

Je remercie aussi Mme Roux, directeur l'Institut d'Urbanisme de Grenoble et membre du jury.

Je souhaite particulièrement remercier Mr Hamet pour sa précieuse aide et le temps qu'il m'a accordé pour son interview.

Introduction

LE SOUTERRAIN PARTIE INTEGRANTE ET INDISPENSABLE A LA VILLE DURABLE.

Faire cohabiter les 9 milliards d'humains qui peupleront la Terre, d'ici à 2050 et dont les 2/3 vivront dans de grandes Métropoles, est une des problématiques principales du futur proche, voir même immédiat.

Une Urbanisation efficace et pérenne, pour des villes toujours plus nombreuses, plus peuplées, plus denses est nécessaire et constitue l'un des grands défis à traiter.

Pour cela penser la ville, améliorer l'utilisation des ressources, le développement durable et concerté, est capital. Il faut également prendre en compte la communication et les déplacements des habitants dans l'équation. Ces fonctions ont pour objectif d'assurer une Urbanité des Métropoles tout en limitant l'étalement urbain et ses impacts environnementaux.

Lors des pages qui vont suivre je me suis attaché à mettre en lumière un espace qui à mon sens est structurant de la ville, mais aussi assez méconnu : le Sous-Sol des Métropoles.

Il faut ici voir la prise en compte des espaces non seulement de surface, mais bien en 3 dimensions et dont le souterrain est l'une de ces composantes.

Au-delà des aspects techniques et d'ingénieries qui font mon quotidien professionnel, je souhaite ici m'attacher à rendre compte ce en quoi le Souterrain, qu'il serve d'espace de vie, de transport ou encore de stockage est lieu structurant des villes, mais aussi un réservoir de solutions pour l'Urbanisme.

Loin de nous cantonner à la surface visible des choses nous chercherons à exposer pourquoi le Souterrain des Métropoles est un lieu important voir même indispensable d'un système de Villes Durables.

Commençant par l'évolution de la pensée Urbanistique au cours des siècles, nous nous arrêterons sur les courants de pensée principaux, qui ont organisés nos villes au cours du temps et comment a été abordé le domaine du souterrain. Puis l'accélération

de la programmation Urbaine notamment par des personnalités comme le Baron Haussmann puis par le précurseur de l'Urbanisme Souterrain, Edouard Utudjian.

Ensuite nous nous attacherons à spécifier les évolutions nécessaires aux villes du futur et la valorisation des territoires souterrains dans une idée de Ville Durable. Nous nous appuierons pour cela sur un volet plus technique. Il s'agira de faire ressortir entre autre des exemples concrets d'évolution des technologies et par extension des approches du souterrain dans le cadre d'une Ville Durable.

Enfin nous tenterons de comprendre en quoi l'espace souterrain des villes est une partie structurante de l'Urbanité des Métropoles. Et dans quelle mesure sa présence et son utilisation en font une base nécessaire et à la vie des millions d'habitant de ces Métropoles d'aujourd'hui et de demain. Notamment à travers les « mangroves urbaines » décrites par David Mangin et Marion Girodo, qui se sont créés au fil des constructions et des besoins d'extension de celles-ci. Pour cela nous prendrons comme point de référence les divers métros qui en sont issus.

1. Penser la ville avec son sous-sol

1.1 Un peu d'histoire

L'utilisation des sous-sols par l'homme à travers les civilisations et les époques a pris de multiples formes. Par quelques exemples historiques nous allons voir que de tout temps ces espaces ont été occupés sous différentes formes.

L'utilisation du sous-sol à des fins d'habitation est répandue depuis les périodes anciennes jusqu'à aujourd'hui dans certaines régions du globe. D'un point de vue occidental cela peut paraître marginale ou momentanée.

Au commencement l'Homme a investi les grottes. L'utilisation des anfractuosités naturelles est apparue comme un moyen de protection contre les éléments (vent, pluie, neige...) mais aussi les animaux sauvages, ou encore contre d'autres tribus hostiles. Les régions riches en cavernes nous ont laissé de témoignage de ces habitations troglodytiques au travers notamment des peintures rupestres ou des ossements retrouvés à l'intérieur.

En Chine les « Yaodong » sont des fosses, carrées ou rectangulaires, faisant en général de 10 à 12 m de côté pour une profondeur de 6 à 7 mètres. Les techniques d'affouillement des fosses qui sont employées sont assez simples et n'ont pas changé depuis des siècles. Cet habitat est en même temps très moderne, car il correspond aux nouvelles exigences environnementales. En effet les matériaux utilisés sont prélevés sur place, les déblais sont employés pour faire les enduits nécessaires à l'ensemble de la cour et des grottes. Très efficaces au niveau énergétique, les yaodong restent frais en été quand il fait si chaud dehors, et en hiver la température est de 10 degrés quand à l'extérieur il fait 7 ou 8 degrés en dessous de zéro. Un tel complexe est habité par une ou plusieurs familles.

La cour fait office de jardin souvent agrémenté d'arbres ou de fleurs. Certaines de ces fosses ont un acrotère de protection de trente à quarante centimètres autour du trou pour éviter une chute dans la nuit et protéger des ruissèlements des pluies. Ces habitats situés en zones rurales servent aussi d'abris pour le bétail et au stockage des récoltes qui ont auparavant séchées en surface sur la terre afin d'être rentrées facilement par des trous ouverts dans le

sol au-dessus des grottes. Même si aujourd'hui on estime que près de 20 à 30 Million de Chinois occupent ce type d'habitation, depuis les années 1990, les familles chinoises ont tendance à abandonner ces habitats traditionnels pour un confort plus moderne. Cependant même s'ils les ont quittés, ils en ont gardé la propriété et souvent souhaitent y revenir pour leur retraite. En effet, les propriétaires exilés en ville disent des yaodong que « c'est comme vivre dans une villa ». Aujourd'hui encore on construit des yaodong, pour des utilisations en hôtel notamment.



Figure 1.Yaodong.Source www.axisdream.fr

Un autre exemple remarquable de l'utilisation historique du sous-sol se trouve en Turquie avec ses « Cappadoce ». La Cappadoce, une région au paysage unique marqué par l'éruption il y a des milliers d'années de trois imposants volcans qui ont laissé derrière eux une roche particulière, le tuf. Cette roche volcanique tendre et friable a été façonnée au fil du temps par l'érosion et l'infiltration des eaux, donnant naissance à un paysage parsemé de roches en forme de cheminées mais aussi à des constructions troglodytes, creusées par la main de l'homme pouvant former de gigantesques villes souterraines. Ces villes auraient été progressivement construites par les Hittites, un peuple venu du Caucase qui arriva en Anatolie vers 2000 ans avant J.C., pour se protéger des invasions. La Cappadoce était en effet une zone

stratégique. Très convoitée, elle était située au carrefour des routes commerciales reliant les plus importantes régions du monde de l'époque : la Chine, l'Inde, l'Egypte et Rome. Détenir la Cappadoce signifiait le contrôle des richesses qui y transitaient. Nombreux ont été les peuples qui ont tenté de s'en emparer : Romains, Perses, Mongols etc... Ces invasions progressives auraient conduit les habitants à creuser des villes sous la surface puis à construire des forteresses pour se protéger. Plus de 200 villes ont été dénombrées et des centaines d'autres seraient encore à découvrir.



Figure 2. Un village Cappadoce. Source www.maison-monde.com

L'Egypte, elle a exploité des falaises pour aménager des sanctuaires dédiés aux divinités ou aux pharaons à des fins de protections des sépultures mais aussi de symbolique. Ces sanctuaires faisaient partie de villes funéraires ou de temples. Leur accès était pourvu de colonnades ou sculptures monumentales. Le temps d'Abou Simbel est probablement le plus connu. On peut aussi citer les temples perses, les églises rupestres d'Ethiopie ou encore les sanctuaires indouistes.

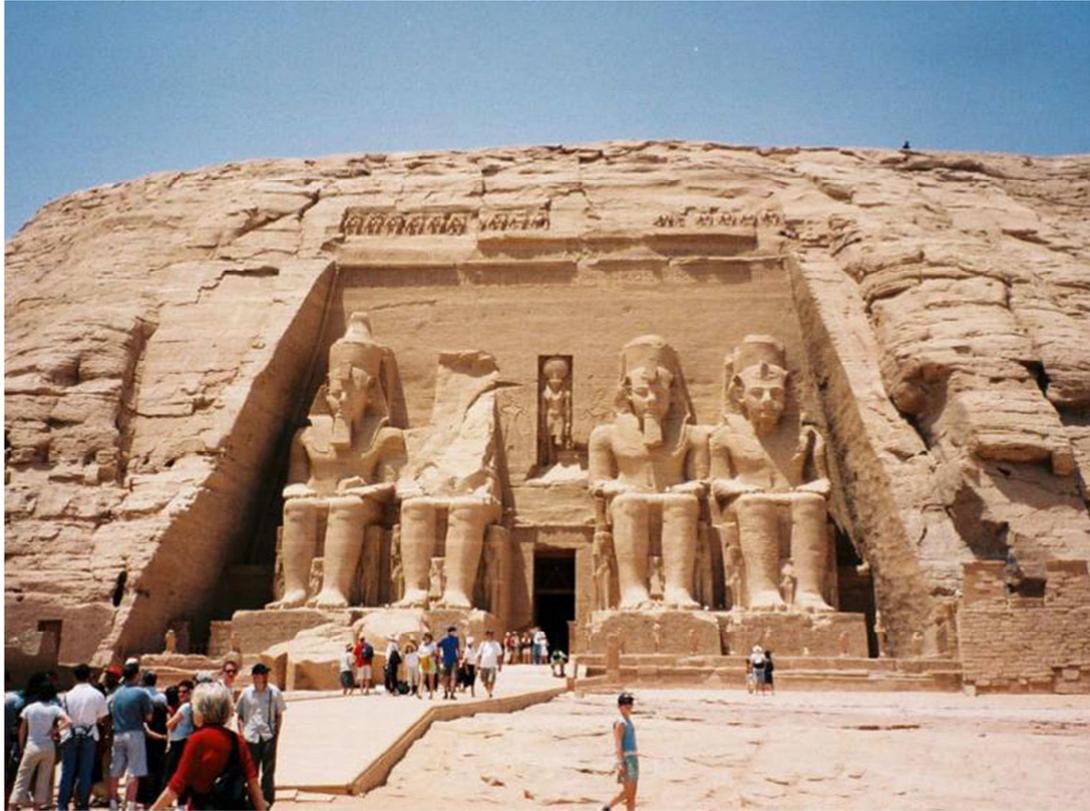


Figure 3. Temple d'Abou Simbel. Source www.geo.fr

En Europe le sous-sol était surtout lié aux repos des morts, notamment à Rome, Palerme ou encore Paris avec des catacombes. A Paris c'est un réseau de près de 4 kilomètres de long, d'où l'on a extrait les pierres servant aux constructions en surface qui a été réutilisé sous forme de catacombes. Dans ces espaces libres du souterrain parisien a été enfoui à une vingtaine de mètres sous terre, les restes humains déplacés lors de l'évacuation des anciens cimetières du centre-ville. Ces catacombes sont aujourd'hui une attraction touristique visitable. Les Romains ont aussi utilisés la grande stabilité climatique et une température quasiment constante des espaces creusés dans le sol pour y stocker des marchandises. Ces constructions nommées cryptoportiques étaient réalisées selon un plan en fer à cheval.

Le stockage de denrées alimentaires à toujours su profiter des vertus des lieux souterrains, les caves à vin par exemple ou les champignonnières sous Paris.

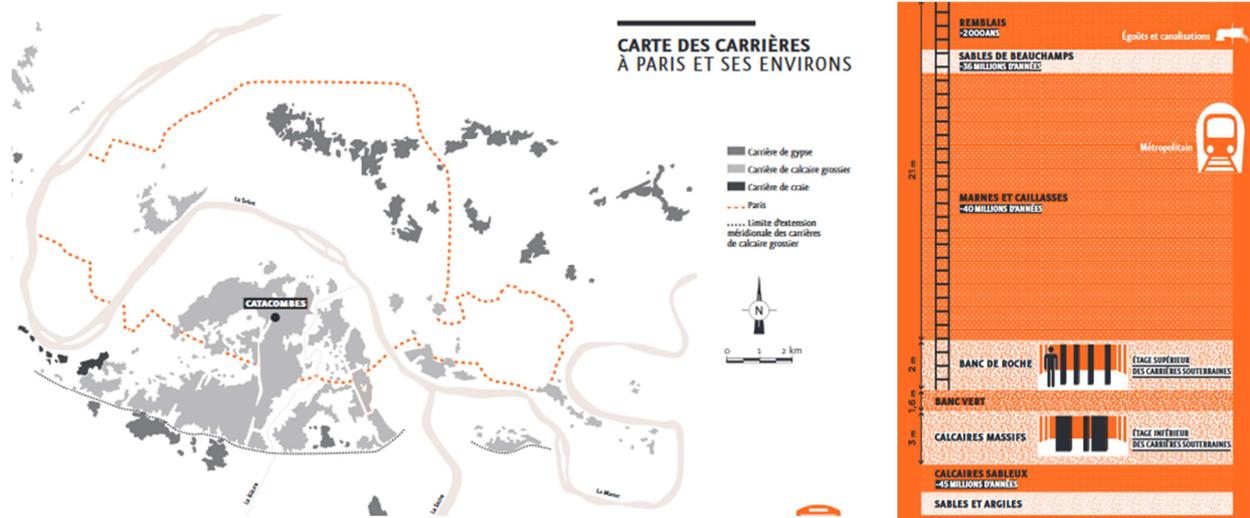


Figure 4. Plan des Catacombes de la ville de Paris. Source www.catacombes.paris.fr

1.2 Le souterrain dans les villes à partir du 19ème siècle Entre utopies et « pragmatisme »

Les passages couverts notamment à Paris, mais également en Europe, sont les précurseurs d'une Urbanisation Souterraine. Ils constituent dans un premier temps une facilité de cheminement à l'intérieur des îlots parisiens des Grands Boulevards à la Seine. Ils permettent l'apparition d'un nouveau type de mixité urbaine comprenant commerce, bureaux, habitations, ceci de créé un système complet et complexe dans la ville. Ces passages regroupent une grande partie des fonctions qui composent la ville : économique, habitat mais aussi circulation.

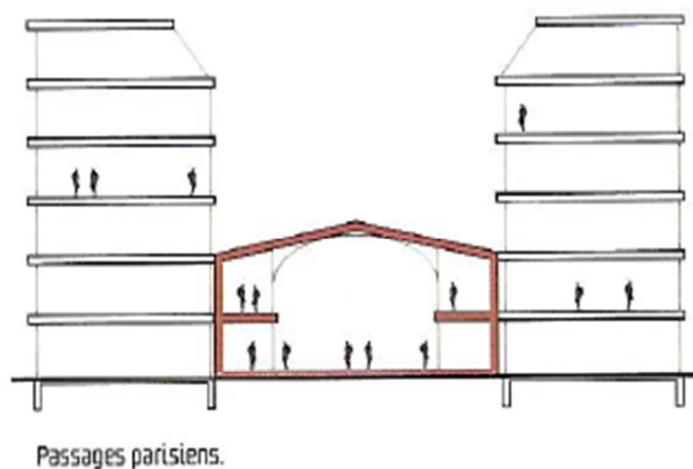


Figure 5. Dessin Passages Parisiens. Source Mangroves Urbaines. David Mangin. Ed Carré



Figure 6. Passage Parisien datant du XIX emesiècle. Source Wikimedia

Dès le Second Empire, en France et grâce à la volonté du Baron Haussmann, les réseaux techniques sont progressivement installés sous les rues, profitant ainsi des travaux colossaux engagés pour traiter l'aménagement des rues en strates. Egout, électricité, gaz suivent le tracé des nouvelles rues, créant un fort imbroglio de réseaux aujourd'hui encore contraignant pour l'aménagement du sous-sol. Dès 1900 les lignes de métro commencent à être implanté dans des tissus urbains constitués et forts. C'est l'apparition des premiers espaces souterrain accessibles à tous donnant ainsi un nouveau domaine à apprivoiser pour les déplacements publics.

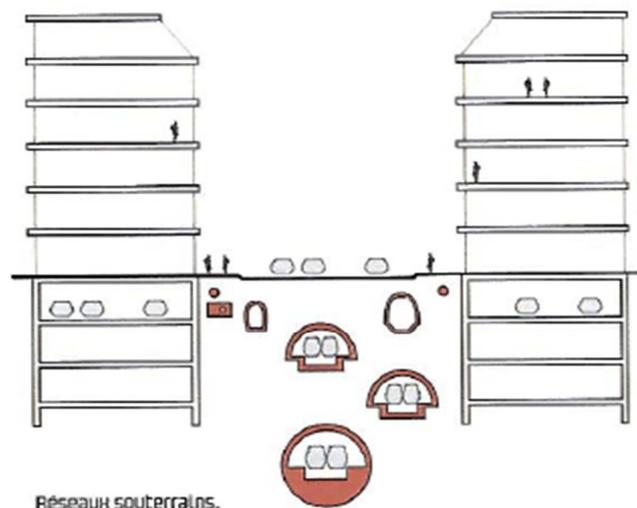
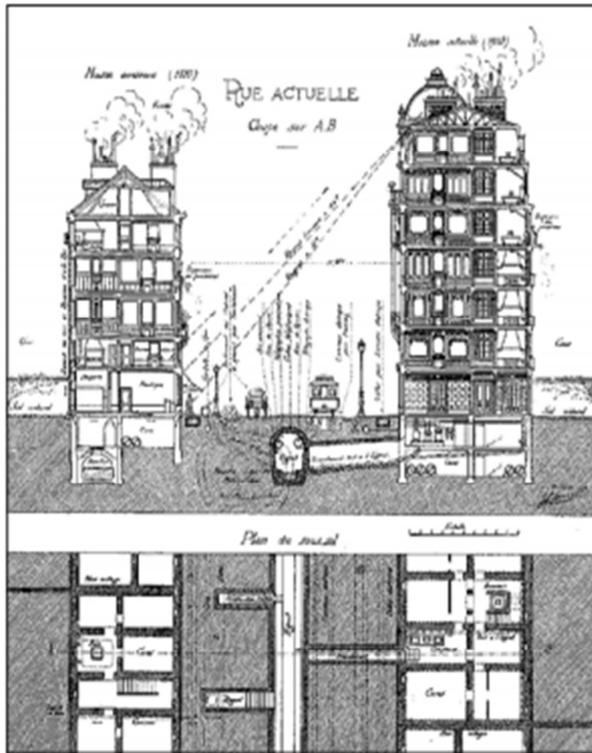


Figure 7. Dessin Réseaux Souterrains. Source Mangroves Urbaines. David Mangin. Ed Carré

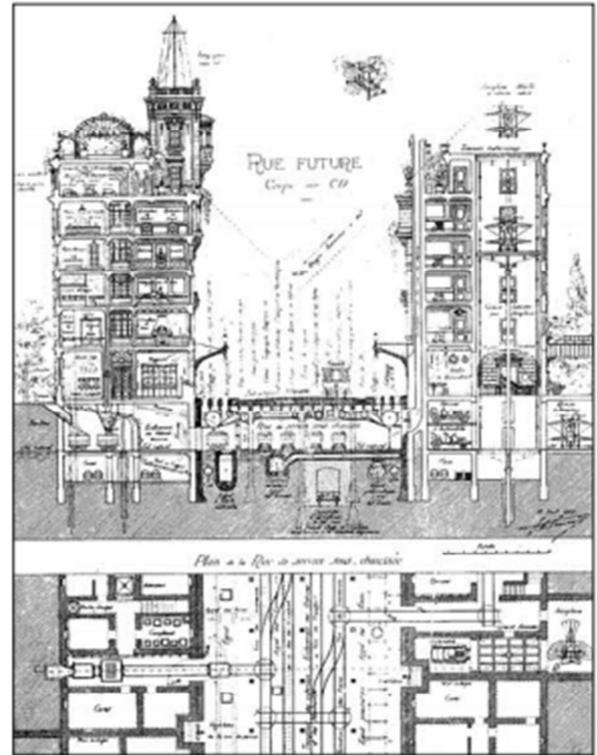


Figure 8. Tranché Rue de Rivoli Paris. Ici la réfection de la rue passe par l'ouverture de tranchées qui accueilleront les réseaux tels que l'eau, le gaz ou les égouts. Ce fut la source d'un grand progrès sanitaire pour la ville reprenant l'idée de la Maxima Cloaca de Rome. Source www.cultivoo.com

Suite à ces aménagements haussmanniens d'envergures naît une certaine forme de scepticisme quant au bienfondé et à l'organisation des réseaux sous terrains qui ont vu le jour. Il est alors pointé du doigt le manque de concertation et l'absence de coopération dans l'organisation de ceux-ci. Cela entraînera l'apparition d'une nouvelle vision de l'organisation de l'espace urbain, toujours sous forme de strate cette vision préconise l'utilisation du sol naturel comme cheminement des réseaux tout en créant des « rue à étages ». Cette vision est notamment portée par Eugène Hénard. Le principe est de surélever de 5 mètres le niveau de la rue pour y installer la circulation des véhicules légers, les piétons mais aussi les accès des habitations. Bien que resté au stade utopique cette vision va être le point de départ d'un grand mouvement urbanistique qui a suivi : l'urbanisme de dalle.

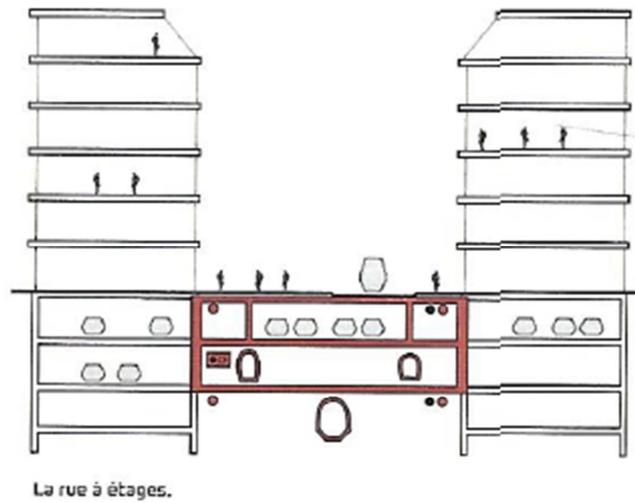


Eugène Hénard (1910), la rue actuelle



Eugène Hénard (1910), la rue future

Figure 9. Dessin d'orientation et de programmation de la « rue du future » en 1910 par Eugène Hénard. La création d'une rue à étage est ici dessinée laissant place au sous-sol et sur le terrain naturel aux réseaux de circulation et des réseaux de distributions d'eau, de gaz... . Source <https://scenarijournal.com/article/the-performative-ground/>



La rue à étages.

Figure 10. Dessin Rue à étages. Source Mangroves Urbaines. David Mangin. Ed Carré

Au début du XXème siècle avec l'essor grandissant de la voiture les concepteurs de villes développent des théories autour de celle-ci. On en arrive à la séparation radicale des flux piétons/voitures. C'est principalement la « Charte d'Athènes » en 1933 qui en expose les grands principes et développe une nouvelle fonction dans la ville : la circulation. L'urbanisme de dalle notamment mené par Le Corbusier préconise une multiplication des niveaux et des strates de circulation. Tout d'abord resté au stade de projet les premières réalisations de ce genre voient le jour en Angleterre au milieu des années 1950, puis plus tard à Paris grâce au plan d'Urbanisme Directeur de 1959. Les principes d'urbanisme de dalle sont alors utilisés dans les villes nouvelles mais aussi dans le centre de Paris puis d'autres villes françaises et européennes.

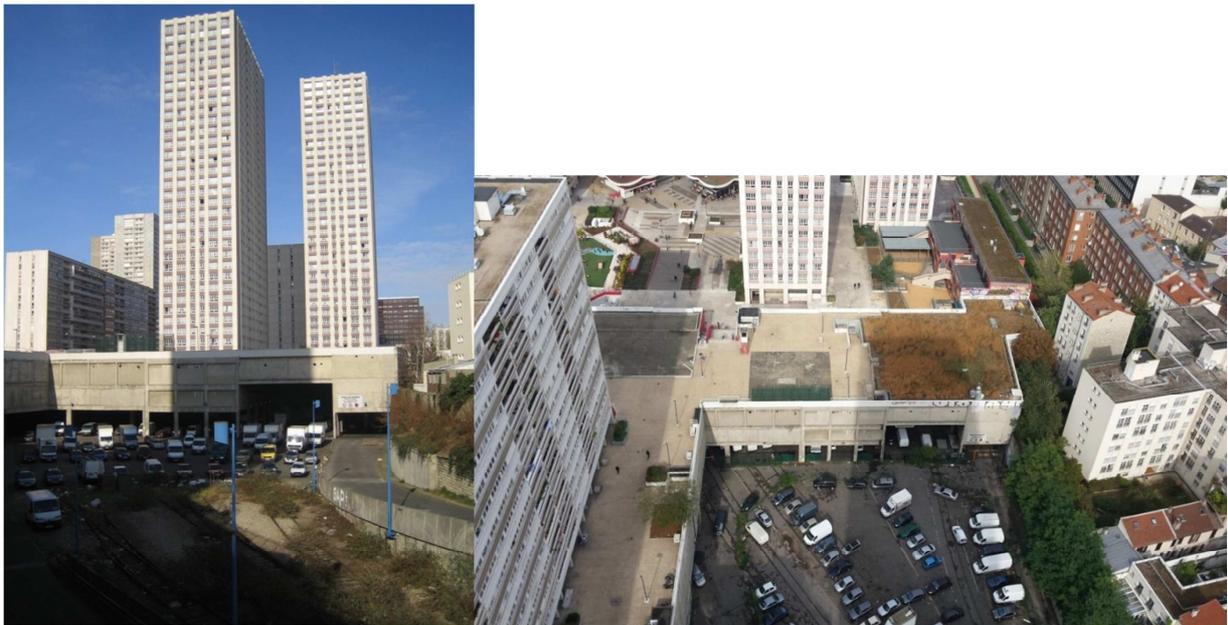


Figure 11. La « gare des Gobelins » approvisionne le quartier asiatique de Paris sous la dalle des Olympiades. Source Wikimedia

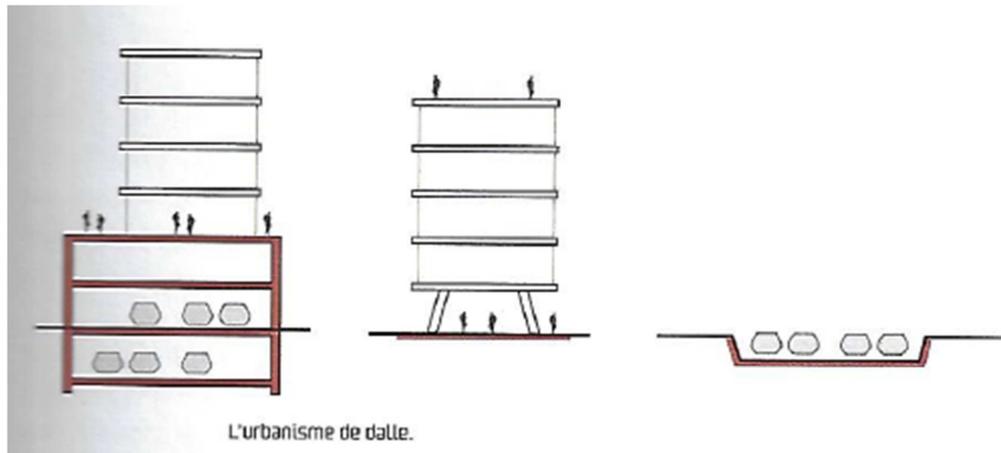


Figure 12. Dessin Urbanisme de Dalle. Source Mangroves Urbaines. David Mangin. Ed Carré

Pour l'idée de la conquête du sous-sol et de son urbanisation, un homme en a été le visionnaire dès les années 30 : Edouard Utudjian. En 1933, âgé de 28 ans, Utudjian fréquentait l'atelier d'Auguste Perret et suivait assidûment les conférences de Le Corbusier. Des constructions souterraines existaient bien, mais isolées, sans aucune continuité.

Utudjian envisagea alors de former un groupe qui étudierait spécialement les principes d'une architecture souterraine, qui s'efforceraient de prouver qu'en coordonnant des différents travaux souterrains un véritable Urbanisme Souterrain pouvait naître. Ainsi naquit le GECUS - Groupe d'Etude et de Coordination de l'Urbanisme Souterrain qui a compté près de 400 membres dans le monde entier: ingénieurs, architectes, géologues, juristes, biologistes, chimistes, géotechniciens, etc... Pour relier ces spécialistes de la construction souterraine, le CPITUS, Comité Permanent International des Techniques et de l'Urbanisme Souterrains, a organisé des congrès à partir de 1937. Quatre congrès ont lieu ensuite à Rotterdam en 1948, en Scandinavie en 1959, à Varsovie en 1965 et à Madrid en 1968.

Le GECUS formule de nombreux projets pour la circulation automobile sous la capitale. Ces projets sont le résultat d'un constat et d'une interrogation sur la faible utilisation du sous-sol et sur l'état de la circulation automobile à Paris. Lors du premier congrès international d'urbanisme à Paris en 1937, le GECUS présente un projet proposant des voies souterraines pour la capitale par Jean Tschumi et Edouard Utudjian. Le projet installe à grande profondeur un quadrillage d'autoroutes tracé en fonctions des principaux carrefours de surface. La rigidité du plan se veut l'antithèse des

ceintures radioconcentriques. Ce réseau de voies constitue une trame souterraine faite de nœuds, points névralgiques reliés à la surface. Pour fluidifier le trafic des boulevards extérieurs, on dissocie les croisements avec les voies radiales. Les architectes présentent une maquette lumineuse du Paris Souterrain. Trois couches sont superposées : la grille profonde du CEGUS, les infrastructures achevées (métro, égouts), et la surface de la ville. Les esquisses du projet montrent l'usage d'une polychromie qui distingue ces différents niveaux. La maquette est interactive et permet des jeux de mixages ou d'effacements à l'aide d'interrupteurs. La maquette du CEGUS prend la vigueur d'un manifeste.



Figure 13. Maquette, Les réseaux acquis dans le sous-sol, 1937 et Maquette, Effet radiographique de la nouvelle grille souterraine, 1937. Source : <https://souslesjupesdelametropole.wordpress.com>

Les idées d'Edouard Utudjian et les projets défendus par le GECUS ont joué un rôle de conseil dans la conception du RER et de parkings souterrains à Paris. Le rôle du GECUS ne se limite pas à Paris. En dehors des projets de métros dans différentes capitales européennes, on trouve la trace d'un projet nommé le « Tunnel sous le Pas de Calais ». Jean Tschumi participe à ce projet de tunnel sous la manche dès 1937.

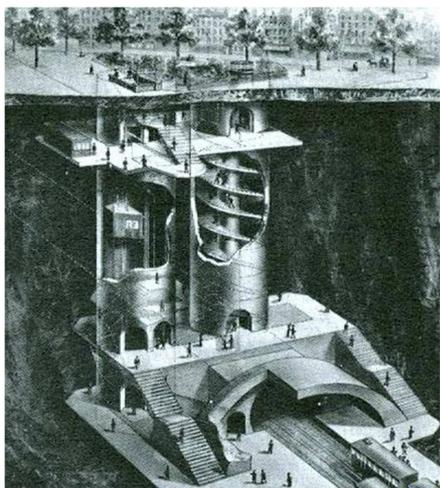


Figure 14. Le métro parisien, premier exemple de véritable urbanisme souterrain. Source <https://souslesjupesdelametropole.wordpress.com>

Eduard Utudjian ne cessera d'expliquer la nécessité de penser le développement de la ville dans son épaisseur et en 3 dimensions, le sous-sol, la surface et la hauteur étant par essence liés et interdépendants. Il veut enterrer les fonctions utilitaires de la cité. Il considère que nombre d'équipement, qui par leur objet ne nécessitent pas d'apport de lumière naturelle, peuvent idéalement être enterrés, libérant ainsi de l'espace en surface pour d'autres usages. Il cite cinémas, piscines, auditoriums, salles de spectacles. C'est de ces réflexions que naît le concept de la ville épaisse. Il estime qu'un plan d'urbanisme ne doit pas se contenter de projeter ce qui va se passer en surface mais qu'il faut travailler dans l'épaisseur et prévoir en même temps l'avenir du sous-sol. De nos jours une ville ne peut se concevoir que dans l'interaction des différents niveaux, les uns agissant sur les autres. Il dénonce d'ailleurs le chaos du sous-sol, surtout entre la surface et -10m, qui résulte d'une juxtaposition informelle due à l'absence de sa prise en compte. Il expose dans son livre « Architecture et Urbanisme Souterrain » des propositions de zoning de l'espace souterrain en fonction de la typologie des espaces.

« On voit déjà l'avantage de cet enfouissement concerté. Si l'on supprime de la surface les édifices qui n'ont rien à y faire, ou qui enlaidissent le paysage ou nuisent à la pureté de l'atmosphère, on peut multiplier les espaces verts en traçant des parcs, des jardins, des stades dans les lieux qu'ils occupaient précédemment. Les monuments historiques, les anciens quartiers dignes d'être conservés, libérés des surplus qui les défiguraient ou les masquaient, reprennent vie et beauté dans un cadre enfin à leur mesure. La circulation est aussitôt dégelée puisque les voies de surface, réservées aux déplacements courts, sont doublées par des voies en profon-

deur ou s'étagent trains, bus, cars et voitures particulières. On peut noter aussi que ce qui est enterré est défendu contre les atteintes extérieures et qu'on n'a plus à y redouter les attaques aériennes, ni les incendies, ni le vol, ni même le bruit ou les variations atmosphériques. On remarquera enfin, que la mise en œuvre est immédiate et qu'avec les procédés actuels de forage on peut construire de vastes locaux souterrains sans avoir besoin d'interrompre l'activité en surface et sans détériorer le cadre urbain. » (Architecture et Urbanisme Souterrains par Edouard Utudjian, Paris, Robert Laffont, 1966)

Le GECUS s'attacha d'abord à des objectifs limités en préconisant, par exemple, la construction en sous-sol des cinémas, parkings et ouvrages pour la protection civile. Puis, par la voix d'Utudjian, le groupe reconsidéra entièrement le principe de la ville et préconisa **une cité en trois dimensions**. Si les architectures souterraines se multiplient, l'urbanisme qui devrait guider et réunir ces différents travaux souterrains est encore de la prospective.

Si, dans sa première vision, Edouard Utudjian concevait une gigantesque ville souterraine, il ne préconise plus l'habitat en sous-sol et ne conçoit la vie souterraine que temporaire. Mais en revanche les éléments urbains qu'il voit en sous-sol sont considérables.

La peur habite ces lieux, peur sensuelle qui est une réaction toute physique de l'homme prenant pied dans un milieu qui n'est pas le sien.

Il est tout à fait probable que le retard pris par l'urbanisme souterrain par rapport à l'urbanisme aérien, et cela alors qu'il fait son apparition au même moment et que sa tradition était peut-être plus ancienne, provient de cette peur de l'homme et de sa répulsion. Dès l'origine, il s'est produit une rupture. L'adaptation au monde extérieur s'est faite aux dépens de son adaptation au monde souterrain dont la conquête lui répugnait.

La peur du monde souterrain sera dominée lorsqu'on s'apercevra que les progrès du conditionnement de l'air, comme son coût modique et son bon rendement, que les progrès de l'éclairage, de l'étanchéité et de l'isolement peuvent donner à l'habitat souterrain une supériorité que les habitations au sol, bruyantes et situées dans une atmosphère polluée. (Architecture et Urbanisme Souterrains par Edouard Utudjian, Paris, Robert Laffont, 1966)

Devant les besoins de parking, de circulations souterraines, de protections d'usines ou d'ouvrages militaires, une véritable conquête du sous-sol est commencée. Les tunnels et les passages souterrains sous les villes et sous les fleuves se multiplient et toutes les grandes villes du monde possèdent aujourd'hui de nombreux garages enterrés. De plus, des millions de travailleurs et d'usagers passent actuellement une partie de leur vie dans des gares souterraines, des cinémas souterrains, des sous-sols de banques ou d'imprimerie, ou de grands magasins.

A notre insu, la vie souterraine est déjà née, mais il s'agit dans tous ces cas d'Architecture Souterraine et non pas d'Urbanisme Souterrain. Restent bien sûr à éliminer la claustrophobie et cette peur de la vie souterraine qui doit être aussi ancienne que l'homme.

On conçoit combien une ville libérée au sol de toutes ses servitudes pourrait être aérée, claire, saine. Par contre, l'Architecture Souterraine devrait présenter elle aussi des garanties d'hygiène aussi morales que physiques. C'est-à-dire que l'esthétique de l'architecture souterraine devrait rassurer l'occupant en accusant la solidité de la structure et, d'autre part, évoquer la légèreté et l'élancement des constructions en surface pour éviter la claustrophobie. Des maquettes judicieusement placées pourraient remédier au manque de vision des volumes de l'architecture. Enfin, les couleurs joueraient un rôle important en modifiant les ambiances et les proportions des salles. Une ville souterraine a failli être réalisée à Pittsburgh aux Etats-Unis, et, si ce projet a été abandonné, il n'en a pas moins été étudié dans tous ses détails.

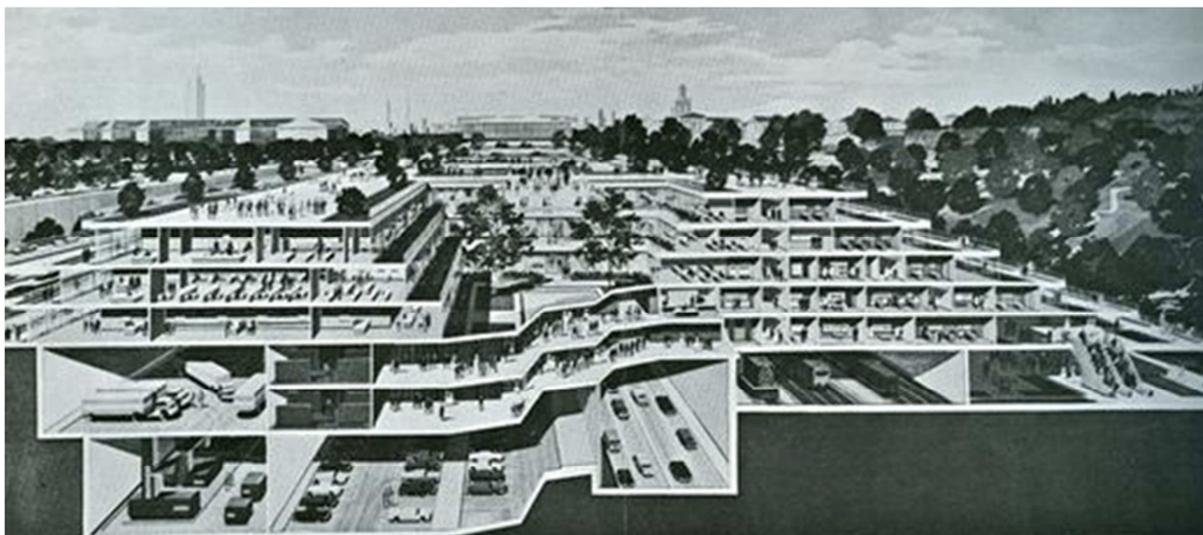


Figure 15. Max Abramovitz: projet de ville souterraine pour Pittsburg. Source <https://souslesjupesdelametropole.wordpress.com>

Ce projet était d'autant plus facilement réalisable qu'il s'agissait moins de creuser une ville que de remplir une vallée. Les 300.000 m² de cette vallée auraient été transformés en un centre de recherche comprenant des laboratoires, des bureaux, des magasins, des appartements, des autoroutes, des parkings, des théâtres, des restaurants, des lieux de récréations diverses, etc...

Dans la structure totale de l'ensemble auraient pu prendre place de nombreux bâtiments privés, de toutes tailles, mais leur fonctionnement et leur architecture seraient dépendant d'une seule structure unifiant toutes les parties. Quant au "plafond" de la ville souterraine, il aurait été utilisé comme parc public réservé aux piétons. Deux bâtiments seulement seraient sortis de terre, tous les autres s'arrêtant au niveau du sol. Par ailleurs, des patios auraient donné la lumière et la ventilation nécessaires aux habitations de la ville souterraine.

Les bâtiments souterrains de l'UNESCO à Paris et le projet de musée des Tuileries procèdent du même principe que la ville souterraine de Pittsburgh. Si les extensions souterraines de l'UNESCO réalisées en 1965 par Bernard Zehruss se composent en effet de bâtiments souterrains, les deux niveaux supérieurs sont éclairés naturellement par six patios plantés de gazon et d'arbres à six mètres de profondeur. Autour de ces six patios s'ouvrent les bureaux et les salles de conférences. N'est en fait complètement enterré que le troisième niveau occupé par le parking.

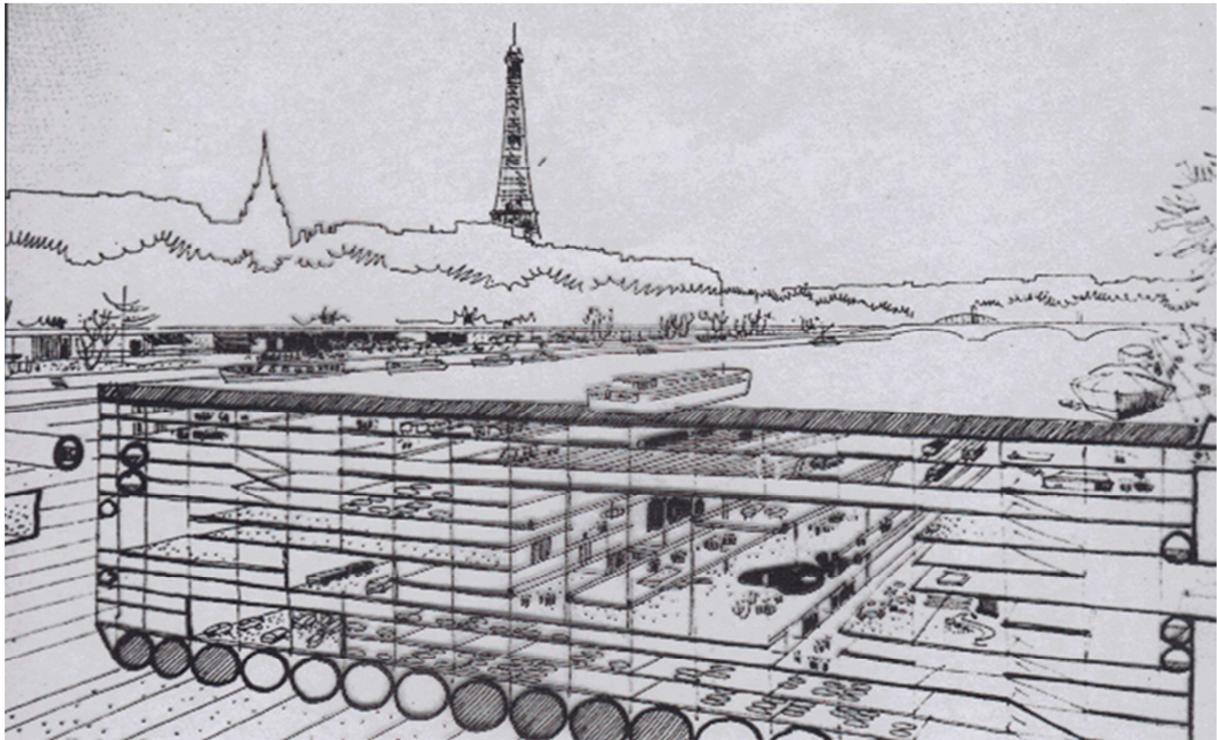


Figure 16. Paul Maymont. Projet de ville souterraine sous la Seine. Source <https://souslesjupesdelametropole.wordpress.com>

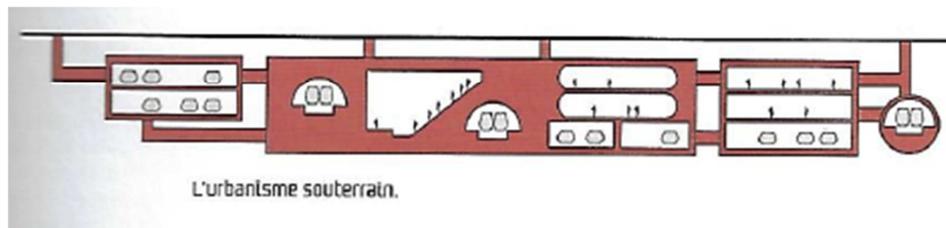


Figure 17. Dessin Urbanisme Souterrain. Source Mangroves Urbaines. David Mangin. Ed Carré

A partir des années 60-70 on voit l'apparition des « mangroves urbaines ». Ce sont des systèmes de grandes envergures complexes qui regroupent grâce aux souterrains de nombreux espaces et fonctions. Ces opérations souvent situées entre aérien et souterrains sont qualifiées également des « villes intérieures », c'est notamment le cas à Montréal, Toronto ou encore les Halles de Paris. Ces mangroves offrent aux utilisateurs de celles-ci, des espaces de transport qui sont souvent les points centraux et structurants, ou s'articulent également des bâtiments de bureaux, de commerce ou encore d'éducation le tout en restant sous la surface de la ville. Suivant l'historique de la ville, mais aussi sa disposition structurelle de surface les mangroves urbaines peuvent prendre différentes formes.

Paris est l'exemple typique d'une ville européenne organisée radioconcentriquement. Les premières lignes sont donc situées sous les tracés des principales rues et l'espace public. Aujourd'hui c'est le projet du Grand Paris Express qui va refaçonner le visage de la ville ainsi que sont appréhensions par les habitants de la région parisienne. Il y a un phénomène de convergence vers le centre-ville qui engorge les transports et ralenti certains cheminements. Cette centralisation est héritée de l'organisation bonnapartienne mise en place à l'époque.

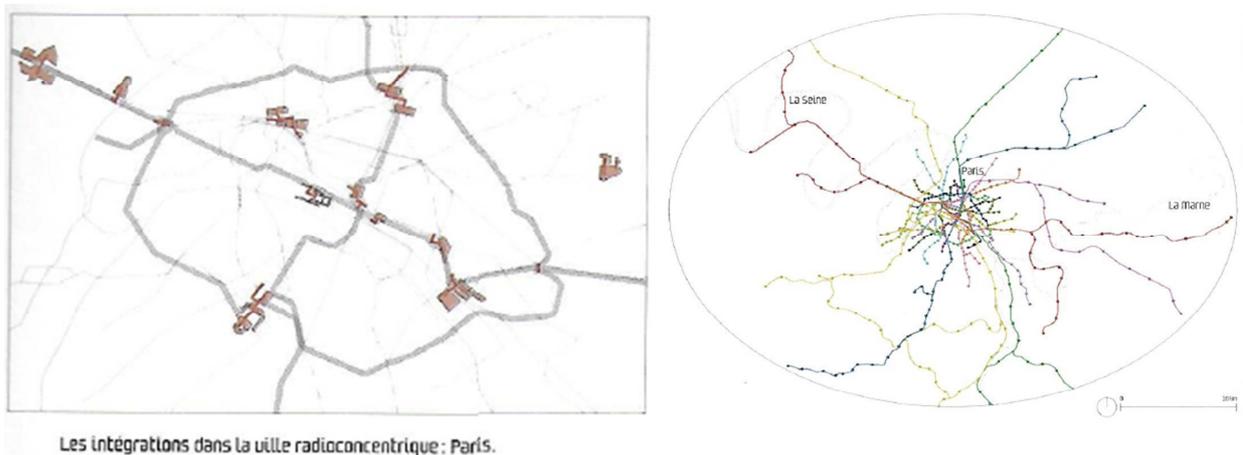
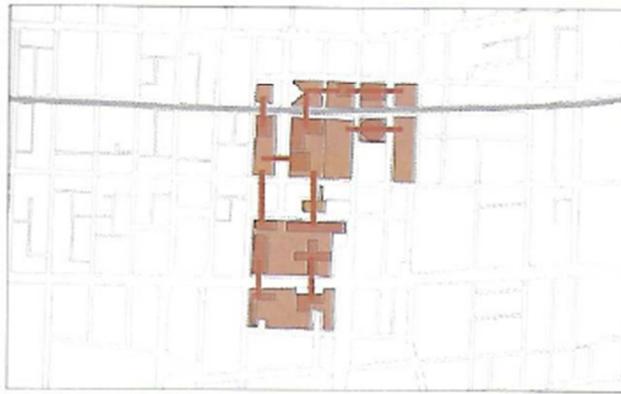


Figure 18. Dessin Mangrove parisienne. Source Mangroves Urbaines. David Mangin. Ed Carré

Pour le cas de Montréal les lignes de métro structures la mangrove suivant un système de grille, ce qui facilite leurs mises en place. Les lignes sont situés sous des voies secondaires pour ménagers la commercialité des voies principales en surface. Autour de ces lignes ce sont des ensembles complexes de bâtiments interconnectés par le sous-sol qui s'étendent, sur plusieurs blocs aux alentours.



Les régénérations dans la ville en grille : Montréal.

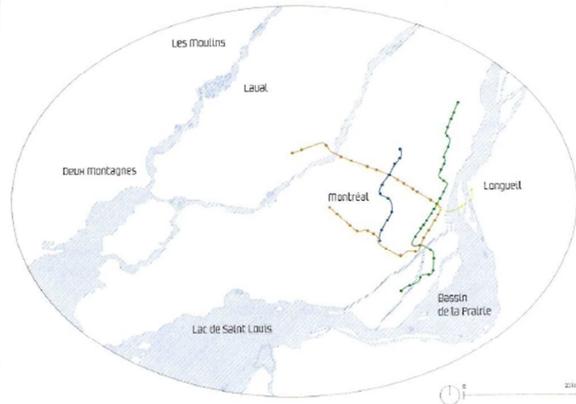
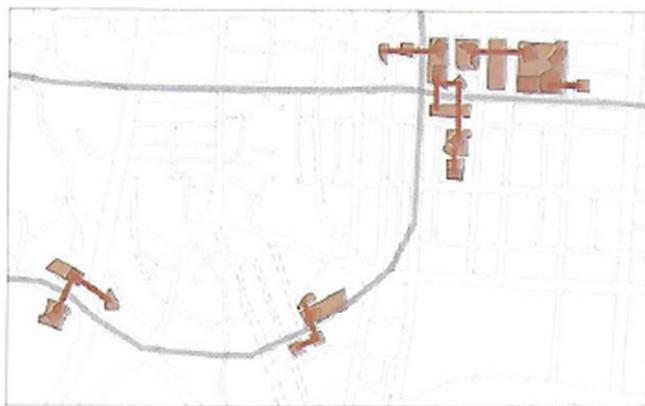


Figure 19. Dessin Mangrove montréalaise. Source Mangroves Urbaines. David Mangin. Ed Carré

Une troisième forme de mangrove urbaine est plus récente et apparut notamment en Asie, à Singapour. Devant un manque de place, il a été très vite question d'optimisation de la place ou même de création de nouveaux espaces avec l'aménagement de polders. Le système de Singapour s'articule autour de réseaux de transport complexe connectant au fur et à mesure les villes nouvelles et les quartiers au centre-ville. Aujourd'hui en saturation le réseau de Singapour est amené à doubler dans les années à venir. Mais c'est également les cheminements piétonniers nombreux reliant les bâtiments entre eux et créant des parcours alternatifs à ceux de la surface, qui font particularité de la mangrove singapourienne.



Les galeries des nouveaux mondes : Singapour.

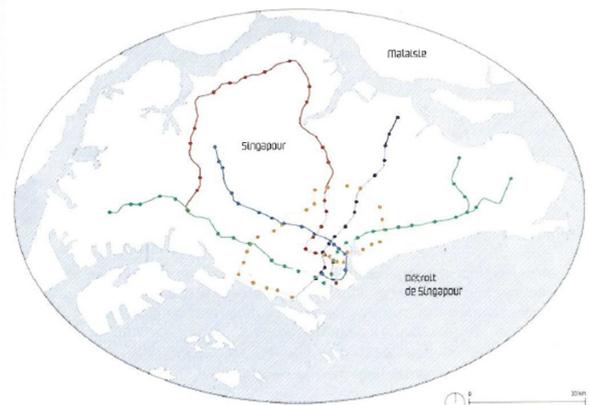


Figure 20. Dessin Mangrove montréalaise. Source Mangroves Urbaines. David Mangin. Ed Carré

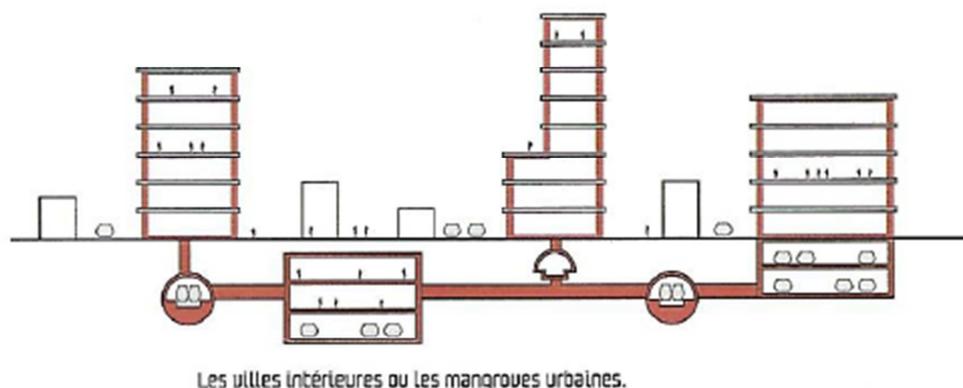


Figure 21. Dessin Urbanisme Souterrain. Source Mangroves Urbaines. David Mangin. Ed Carré

1.4 La prise en compte du sous-sol dans les opérations d'aménagements globales.

Les métropoles mondiales ont compris que leur sous-sol pouvait contribuer au développement urbain. Certaines, comme au Canada ou au Japon, ont développé de véritables quartiers de ville souterrains. D'autres, en Suisse ou en Finlande, ont mis en œuvre une planification urbaine efficace de leur sous-sol. A Moscou, Singapour ou New-York, les projets de développement et de valorisation urbaine du sous-sol se multiplient.

Les métropoles françaises sont, comme les autres, en quête d'intensification urbaine et s'intéressent aussi à leur sous-sol. Le Grand Paris a déjà une pratique importante de l'aménagement souterrain autour de nœuds de transport, de pôles culturels et touristiques ou économiques comme le Louvre, les Halles ou la Défense. Aujourd'hui, avec le projet engagé du métro automatique du Grand Paris Express qui entraîne la création de nombreuses gares souterraines, s'ouvrent des opportunités exceptionnelles de valorisation de l'espace souterrain mais aussi en surface, opportunités qu'il ne faut pas manquer d'exploiter. Les métropoles régionales, comme le Grand Lyon ou Marseille, ne sont pas en reste qu'il s'agisse de mieux intégrer leurs tunnels à la Ville ou d'étendre leurs pôles urbains en exploitant l'espace souterrain. La valorisation urbaine du sous-sol s'est faite d'abord en utilisant des cavités naturelles puis les volumes creusés pour l'exploitation des matériaux. Cet urbanisme troglodytique est, en France, resté assez limité et exceptionnel. Au XIX^{ème} siècle l'aménagement urbain haussmannien a eu largement recours au sous-sol mais en limitant son usage aux infrastructures techniques, adduction d'eau, assainissement, notamment. La fin du siècle a vu l'implantation sous la ville du réseau de transport métropolitain puis au XX^{ème} siècle celui de tunnels routiers et de parkings pour faire face à

l'explosion de l'automobile. Aujourd'hui la compacité de la ville et les techniques de creusement conduisent à diversifier ses usages.

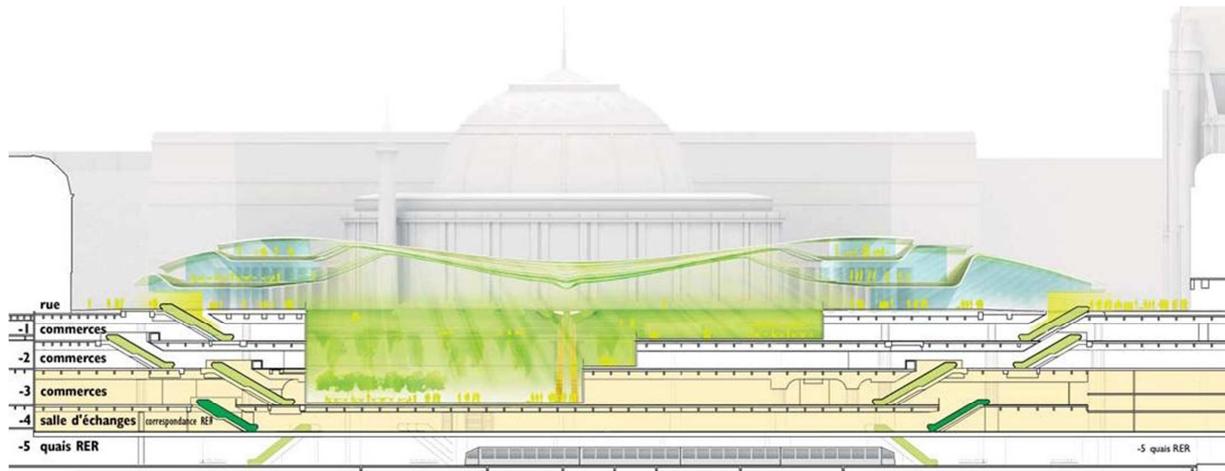


Figure 22. Les Halles de Paris. C'est ici un exemple marquant de l'utilisation du sous-sol pour cette mégastructure qui regroupe toutes les... Source Wikimedia

En ce XXIème siècle toutes les grandes villes doivent faire face à un processus mondial de métropolisation qui en fait les lieux de focalisation du développement économique et social et par conséquent de concentration urbaine. Dans ce contexte, leur stratégie urbaine doit répondre à une exigence paradoxale. Elles doivent intensifier l'usage des villes par la densification de leur tissu, la concentration de leurs services, le maillage de leurs réseaux. Mais elles doivent en même temps économiser l'espace et les ressources naturelles, préserver la qualité de leur environnement et l'équilibre de leur écosystème. Pour consommer moins d'espaces ouverts, elles doivent mieux exploiter la dimension verticale pour éviter l'étalement urbain. Elles peuvent aménager en hauteur à condition de ne pas étouffer la ville et dégrader un paysage qui fait l'attractivité de son espace urbain mais aussi, aménager leur sous-sol pour économiser l'espace ouvert et valoriser ses ressources. Le sujet n'est pas tant de créer un ouvrage emblématique que de créer une ville pluridimensionnelle en utilisant aussi l'espace souterrain, en le faisant participer pleinement à l'espace urbain.

1.5 Elargir la planification urbaine à la dimension souterraine

Dans tous les cas le potentiel d'aménagement urbain du sous-sol est extrêmement variable selon l'environnement urbain. La nature géologique et l'état d'occupation du sous-sol ont un impact considérable, sur la faisabilité et sur le coût de réalisation d'un projet. Les techniques de construction ne sont pas les mêmes dans un sol rocheux homogène et solide que dans des couches alluviales et la géométrie des ouvrages est grandement compliquée, par la présence d'infrastructures anciennes, mais toujours en service. La densité d'occupation du site urbain environnant justifie en proportion le recours au potentiel souterrain, d'autant plus que la situation dans les Métropoles et la proximité de pôles entraînent des niveaux de valeurs foncières et immobilières très élevés qui peuvent rendre acceptable des coûts de construction très importants dans la mesure où le gain de surface utile est significatif. L'ambition du projet urbain auquel participe l'aménagement souterrain est aussi à prendre en compte. Dans le cadre d'opération d'aménagement urbain stratégique, comme par exemple le site de la Défense, la contribution du sous-sol doit être évaluée au regard de la globalité de l'opération conçu comme un ensemble urbain en trois dimensions, s'étendant vers le bas autant que vers le haut. L'origine d'un projet d'aménagement du sous-sol est donc variable, qu'il s'agisse de répondre à un besoin en espace urbanisable (Carrousel du Louvre), de profiter du potentiel de développement urbain offert par un pôle d'échange (Hausmann Saint-Lazare) ou de trouver une utilité et une rentabilité à une cavité existante (SubTropolis à Kansas City).

Par ailleurs la conception, les techniques de mise en œuvre et le fonctionnement des ouvrages d'aménagement sont très dépendants de la profondeur du projet. A une dizaine de mètres sous la surface, une réalisation en tranchée avec des parois moulées sera la solution la plus économique, les interfaces dessus dessous pourront être traitées en continuité et la mise en sécurité sera facilitée par des accès directs sur l'extérieur. Aux alentours de trente mètres sous la surface, il s'agit de creuser, de consolider et de cuveler des cavités, avec des tunneliers réalisant les percements linéaires. Les liaisons avec la surface doivent être assurées par des puits recevant les ascenseurs et les escaliers ou escalators et la mise en sécurité impose de pouvoir compartimenter les volumes.

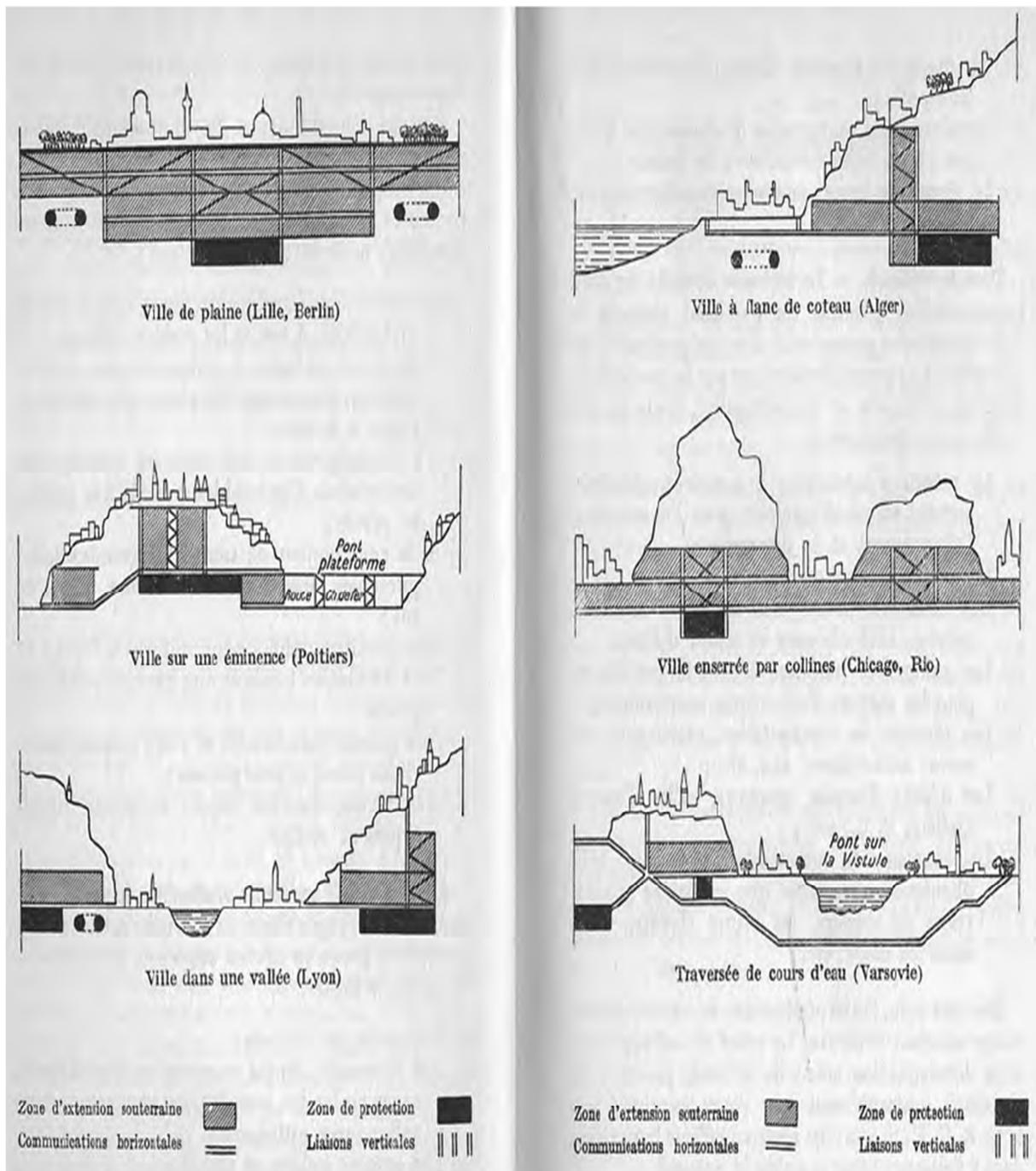


Figure 23. Le zoning souterrain selon Édouard Utudjian, années 1950. Source: É. Utudjian, *L'urbanisme souterrain*. Paris

Face aux problèmes de périurbanisation et d'empreinte écologique croissante, le modèle urbain classique semble avoir atteint ses limites. Deux tendances se présentent : le modifier radicalement pour produire des villes nouvelles écologiques (éco-villes), ou l'adapter par des mesures plus simples.

Une partie des conditions de la transition urbaine est de nature politique et culturelle, mais d'autres conditions sont scientifiques & techniques et pluridisciplinaires. Dans ces domaines, les tests, les certifications, les rédactions de normes prennent du temps et le monde de la formation et de la recherche scientifiques doit aussi répondre à de nouveaux besoins des acteurs de l'urbanisme, notamment de gestion sur des bases scientifiques, et d'approche écosystémique pour ce qui concerne l'arbre urbain et la nature en ville. On attend aussi des scientifiques qu'ils contribuent à l'évaluation de la soutenabilité ou durabilité de ces villes.

En Urbanisme et en Architecture, le pilier économique du développement durable conduit à penser le projet en termes de coût global : diminuer les ressources (énergie, matériaux, eau, sol...) nécessaires au projet durant toute la durée de vie du projet, tout en optimisant le budget de façon que les coûts ne deviennent pas excessifs et en conservant un objectif de haute qualité. Le volume souterrain permet, bien employé, de remodeler et d'alléger les villes. Dans la ville de demain, il faudra se résoudre à ne laisser en surface que les maisons d'habitation et les locaux commerciaux ou d'affaires. Les services constituent un secteur qui a sa place toute désignée en profondeur, et cela d'autant mieux qu'ils s'intégreront à tout un système de circulation verticale et horizontale qui en facilitera l'accès. Ils libèreront par conséquent des espaces pour le retour d'aménagement d'espace vert, plus en phase avec la nature.

2. Les enjeux d'une Ville Durable

2.1 Connaitre l'espace souterrain pour mieux l'aménager

Les enjeux sont très grands. Le sous-sol est un espace d'aménagement potentiel très important en milieu urbain et les risques liés à une méconnaissance du milieu sont d'autant plus sérieux. Outre l'exploitation anarchique et sans cohérence du milieu comme cela a pu être le cas pour le sursol à certaines époques. Une connaissance approximative du sous-sol pose des problèmes de d'intégrités, notamment la protection des nappes phréatiques, ou des couches géologiques qui ne se prêtent pas à telle ou telle activités. Cette sécurité concerne aussi celle les ouvriers du bâtiment liée à une imparfaite connaissance des réseaux dangereux comme le gaz. Pour aménager un espace il est indispensable de le connaître, de le dimensionner et de le représenter faute de pouvoir le voir, il faut pouvoir le structurer.

On trouve en effet dans l'espace proche, les canalisations et autres réseaux, les fondations des constructions, les premiers étages souterrains, des parkings. Plus éloignés, dans le moyen-espace, on trouve des moyens de transport tels que le métro mais aussi de nombreuses installations industrielles, des entrepôts... Enfin le lointain espace abrite des mines, ou lieux de stockage voir même, de déchets radioactifs (Projet Cigéo).

Les données nécessaires à la connaissance du sous-sol et de son potentiel sont extrêmement diverses. Elles sont produites et détenues par des intervenants de nature et de discipline très différentes. Par ailleurs la nature opaque du sous-sol complique la visualisation de ces données. Pourtant le croisement des disciplines, des champs de connaissance et projets entre de multiples acteurs sont des conditions incontournables pour concevoir et mettre en œuvre un projet urbain impliquant la dimension souterraine. Il faut donc être à la recherche des méthodes et des outils susceptibles de mettre à la disposition de tous les acteurs, les données nécessaires au récolement de l'environnement du projet et de donner à voir et comprendre les projets envisagés. Face aux évolutions majeures des métiers du BTP, telles que la complexification des projets, le développement de l'éco-conception et des nouveaux types de partenariats entre les

acteurs (PPP, concessions), l'obligation de maîtriser les risques (anticipation, identification, évaluation, répartition) ou encore le développement du BIM (Building Information Modelling), la maîtrise et le partage des informations sont des enjeux essentiels.

Dans l'environnement des aménagements souterrains il est encore plus nécessaire de donner à voir les sites urbains. Ce besoin de visualiser s'exprime de façons différentes selon les stades de développement d'un projet :

-Quel est l'état précis du site à aménager, sa géomorphologie et l'implantation d'ouvrages préexistants?

-Quelles sont les différentes variantes de l'implantation et de la géométrie du projet?

-Comment les aménagements futurs seront-ils perçus?

-Comment s'articulent les différentes composantes constructives du projet?

-Comment faciliter l'usage d'un site urbain souterrain (orientation des usagers, orientation des secours, gestion des dispositifs de régulation)?

Les outils informatiques permettant d'engranger les données dans des systèmes d'informations géographiques (SIG) et de les partager dans une visualisation en trois dimensions sont nombreux et diversifiés par leur structure, leur finesse et leur mode d'expression. L'utilisation croissante du BIM dans l'élaboration et la réalisation des ouvrages contribue à favoriser le développement d'outils, performants et adaptés à condition de dépasser le foisonnement des propositions, pour parvenir à des standards, permettant le croisement et le partage des données mais aussi une adaptation des produits, aux différents besoins évoqués ci-dessus.

Se repérer et se diriger en sous-sol impose des pratiques différentes de l'espace extérieur où la navigation se fait le plus souvent à vue avec des repères proches et des repères lointains et souvent des coordonnées géographiques repérable en deux dimensions.

-Premièrement le cerveau utilise différentes connexions selon la distance (proche, lointaine, environnemental) avec des conséquences sur les aides, la signalisation et l'architecture souterraine.

-Deuxièmement il y a une grande différence de stratégie cognitive selon les individus.

-Troisièmement la problématique d'un environnement à niveaux multiples et donc en 3D est cruciale pour la conception et l'habitabilité de l'architecture souterraine. Il apparaît préférable, dans la conception de réseaux souterrains, de favoriser la navigation dans la dimension horizontale et de libérer les parcours de contraintes strictes comme le font les couloirs. Il faut fixer un cadre géométrique reproduit sur différents étages, pour permettra aux usagers de confronter leurs différents parcours, pour se faire une représentation fiable et intuitive de leur espace. En revanche, il semble très difficile de maintenir le lien avec la surface en raison de la rupture trop radicale entre la géométrie respective de chaque espace.

De nos jours l'utilisation des avancées informatiques tel que la représentation 3D permet de créer un modèle numérique de la zone souhaitée. En effet, une connaissance des réseaux enterrés en 3D permet d'atteindre tous les plans souhaités : plan topographiques, coupe selon les axes souhaités, profils longitudinaux ou transversaux.

Le cadastre du sous-sol en 3D devient donc un outil nécessaire voir indispensable au bon aménagement futur du sous-sol des villes. Il permet de superposer les plans et de faire des analyses géographiques. Un milieu d'avenir tel que le sous-sol n'échappera pas à l'évolution de sa représentation qui seront la base de décisions économiques, scientifiques, administratives et politiques...

2.2 L'aménagement du territoire

Les villes sont confrontées à l'étalement urbain et aux phénomènes de fragmentation écologique et urbaine. La multiplication des périphériques, rocaes de contournement, couronnes urbaines, favorisées par le développement routier et des centres commerciaux périphériques, l'extension des zones d'activités, la recherche d'un habitat individuel à la campagne nous conduisent vers une ville dispersée, consommatrice de sol et génératrice de déplacements. L'appel aux énergies renouvelables n'est pas une réponse unique ni suffisante à tous les torts causés à l'environnement. L'aménagement du territoire doit être repensé dans les villes d'aujourd'hui et dans les éco-villes nouvelles, ainsi que la mobilité. Une certaine densification est souvent nécessaire, mais la ville durable refuse

le modèle de Hong Kong, tout comme celui de l'étalement de type Los Angeles. Ce phénomène est caractérisé par le développement des surfaces urbanisées en périphérie des grandes villes : la périurbanisation. Plus on s'éloigne du centre, plus la densité du bâti est faible. En effet, ces nouvelles zones urbaines (pour la plupart rurales auparavant) sont caractérisées par une urbanisation pavillonnaire, ce qui bien évidemment, compte tenu de la multiplication des maisons individuelles et des jardins privés, occupe une surface au sol bien plus importante que celle utilisée par des appartements en immeuble ou des maisons de ville. Et réduit la capacité de production agricole du pays. Ce mode d'habitat est à première vue alléchant. Il permet de rester près de la ville et de ses atouts, tout en bénéficiant d'un foncier à priori moins cher et plus disponible. Les ménages peuvent se permettre d'y devenir propriétaire d'une maison individuelle relativement vaste, accompagnée d'un grand jardin, pour le prix d'un appartement en ville. De plus, ils recherchent aussi un cadre de vie plus agréable, notamment pour leurs enfants, en étant plus proche de la campagne et en fuyant les gênes clichées occasionnées par le centre des villes (bruit, pollution, stress, agressivité...).

La question de l'environnement apparaît comme majeure et transversale. Elle est globale (lutte contre l'effet de serre et la pollution de la biosphère) et locale (recyclage de l'eau et des déchets (dont compostage/méthanisation), filières courtes et sobres, énergies douces, propres et sûres, économie d'énergie et de chauffage, voire ville à énergie positive, de recyclage, ville sans voiture, etc.

Cependant, la périurbanisation montre très vite ses limites, tant au niveau économique qu'au niveau de la qualité de vie, et devient même contraire aux principes du Développement Durable. Elle se traduit par la création de « villes dortoirs », ce qui, éloignant le lieu de travail du lieu d'habitation, augmente considérablement le phénomène de « migration pendulaire » et toutes les conséquences adjacentes à celui-ci (embouteillages, allongement du temps de trajet en voiture...) Le « taux de motorisation » par ménage est beaucoup plus élevé dans les zones péri-urbaines que pour la moyenne nationale. Les ménages possèdent presque tous deux voitures, même les moins favorisés. Ce fort taux est dû à l'augmentation des distances à parcourir, que ce soit pour le travail, pour les loisirs ou bien pour le ravitaillement, rendant les transports alternatifs (marche et vélo) moins crédibles. De plus, le réseau de transport en commun est dans ces cas-là, moins efficace également. Le maillage, réparti en fonction du nombre d'usagers, est par conséquent plus espacé que dans le centre-ville, augmentant la distance entre les arrêts et stations et le domicile des résidents. Les usagers sont donc obligés de marcher pendant un certain temps ou de prendre leur voiture pour se rabattre sur la station la plus proche, ce qui augmente significativement le temps

des transports et l'inconfort. Il n'existe pas aujourd'hui de mode de transport qui vienne concurrencer la voiture dans les banlieues pavillonnaires. Ces deux précédentes conséquences ajoutées à la faible densité, oblige à la construction d'infrastructures routières et de réseaux de communication beaucoup plus importantes en nombre par habitant que la moyenne, réduisant de plus en plus les espaces naturels, agricoles, forestiers ou pastoraux. L'urbanisation est responsable de la disparition de 60 000 hectares de terres naturelles et agricoles chaque année en France, selon l'IFEN¹. Cette augmentation des surfaces artificielles (routes, bâtiments, parkings...) représente un danger pour la diversité de la faune et de la flore, perturbe l'écosystème, et nuit à l'infiltration des eaux de pluies dans le sol, augmentant les risques d'inondation. L'étalement urbain, pourtant très à la mode aujourd'hui, et la faible densité qu'il induit, n'est donc en aucun cas une réponse valable dans l'élaboration d'un quartier durable. La solution se trouve dans une densité plus élevée.

Le modèle de la « ville durable » privilégie la densité urbaine dans un souci d'économie de l'espace et de limitation des déplacements. Cette conception s'appuie sur des notions de ville « courtes distances » ou « ville compacte ». Aucune densité urbaine « idéale » n'a aujourd'hui été définie, mais les chercheurs et les exemples de quartiers durables aujourd'hui déjà réalisés, tablent pour une densité relativement élevée. Les constructions sont soit des immeubles d'une hauteur raisonnable (entre 3 et 5 étages), soit des maisons petites, mitoyennes, avec un petit jardin.

Cette forte densité permet une plus grande mobilité ainsi qu'une meilleure accessibilité aux services. Une personne ne disposant pas de voiture dans une ville ou dans un quartier compact, pourra accéder à un nombre de services bien plus importants que dans une ville à faible densité.

Cela ne veut pas dire non plus une surenchère de l'occupation des sols, qui se traduirait par une suppression des places communes ou des espaces relativement vastes, non construits, qui permettent de « respirer », de ne pas se sentir étouffé par les constructions. Au contraire, les lieux dits « publics », sont très présents et font aussi preuve d'une re-conception pour les rendre plus agréables à vivre. Ces lieux publics, rues, zones piétonnières, jardins publics, places, jouent non seulement un rôle social favorisant les rencontres et le contact entre individus, mais ils permettent surtout aux personnes de pouvoir s'aérer, se changer les idées, en se promenant à l'extérieur. Ils compensent donc en partie les jardins individuels. Cette solution permet d'éviter l'étalement des villes, et donc la place prise par ces dernières sur la campagne, réduisant d'autant les surfaces artificielles.

Le coût engendré par la densification des transports en commun et la hausse de la qualité des infrastructures en général, est réduit par la quantité plus faible de ces dernières. On privilégie

la qualité sur la quantité. Et cela permet de faire de nombreuses économies énergétiques, que ce soit pour les matériaux de construction, ou pour le fonctionnement. Prenons l'exemple de l'éclairage public : en considérant deux villes qui ont le même nombre d'habitants, la consommation d'électricité sera beaucoup moins importante pour une ville de haute densité que pour celle à faible densité. En effet, le réseau routier et la surface totale de la ville à éclairer seront beaucoup moins importants pour la première.

2.3 L'utilisation de l'espace

Le sous-sol apparaît dans le cadre d'une Ville Durable, comme une ressource en volume utilisable qui permet d'économiser l'espace situé en surface et de mieux le valoriser. Pour cela les volumes souterrains sont à creuser ou à convertir (s'agissant de cavité préexistante). La question est de savoir quels usages urbains peuvent être situés en sous-sol de manière alternative ou préférentielle ? Le projet Ville 10D a recensé les usages envisageables en souterrain et évalué la pertinence de l'implantation souterraine par rapport à une implantation en surface en prenant en compte les besoins en lumière et en aération naturelle, en accessibilité, en visibilité et en fonction de la complexité technique de l'usage. Il en ressort que si les usages les plus pertinents sont liés à la circulation de personnes ou d'objets, la palette des usages adaptés au milieu souterrain est large avec des fonctions très diverses qui sont généralement compatibles et parfois facilement mutualisables.

Traditionnellement le sous-sol urbain accueille la plupart des infrastructures urbaines telles que les réseaux d'eau potable, de télécommunication et d'énergie (électricité, gaz), les réseaux d'assainissement (évacuation des eaux pluviales, égouts), et des installations techniques nécessaires à leur fonctionnement (traitement d'eau usées, transformateurs, etc.). Il est sillonné de réseaux de circulation assurant le transport collectif des personnes et, plus rarement, des marchandises (réseau ferré de métro ou de RER), il est ponctué de gares et de stations. Des voies routières en tunnel assurent des liaisons rapides et allègent le trafic sur les voies en surface. Le sous-sol est également largement utilisé pour assurer le stationnement des véhicules mais aussi le stockage de marchandises.

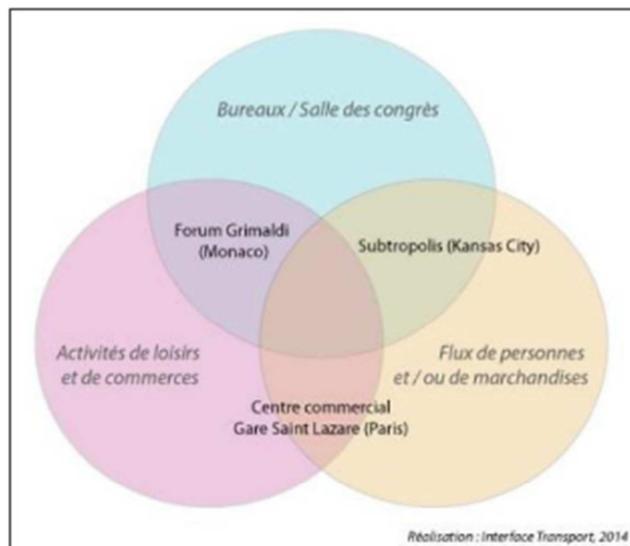
Beaucoup d'autres fonctions peuvent trouver place dans l'espace souterrain de manière à profiter de son accessibilité aux flux d'énergie, de données, de véhicules, de marchandises et de personnes transportées et en utilisant le potentiel de production et de régulation thermique propre au souterrain. Sans imposer un séjour

permanent en sous-sol, de nombreuses fonctions urbaines peuvent y être implantées et profiter des réseaux de desserte maillés qui le sillonnent. Il s'agit d'activité d'archivage, de stockage de marchandise, de logistique urbaine ou de traitement de données numériques («data center»)qui impliquent d'importants volumes clos pour une présence humaine assez réduite. Mais il s'agit aussi d'équipements, de commerces et de services recevant du public, de lieux de réunion, de lieux de spectacle ou d'exposition dont l'éclairage naturel n'est pas nécessaire ou est exclu.



Pionier Data Center de Stockholm

Figure 24. Réutilisation d'une carrière a des fins de DataCenter. Source Archidaily



Exemples d'ouvrages souterrains mutualisant différentes fonctions

Types d'avantages Ouvrages ou activités	Avantages environnementaux				Avantages pour la sécurité				Avantages économiques		
	Préservation du territoire	Pollution atmosph. et visuelle	Bruit	Explosion, incendie	Vol, sabotage, guerre	Risques météo	Séismes	Construction	Exploitation	Maintenance	
Routes											
Parkings											
Voies ferrées, métros											
Lieux publics (commerce, sport, spectacle, bibliothèque...)											
Réseaux de distribution (eau, gaz, électricité, télécoms...)											
Dépôts de ressources utiles											
Dépôts de déchets											
Centrales (électriques, téléphon., épuration, incinération)											
Installations nucléaires											
Installations militaires											

Avantage très net de la solution souterraine	Avantage net	Avantage léger	Neutre, ou sans objet	Inconvénient léger vis-à-vis d'une solution en surface	Inconvénient important
--	--------------	----------------	-----------------------	--	------------------------

Tableau présentant les avantages des solutions souterraines selon le type d'ouvrage ou d'activité
 (Source : « Utiliser et aménager l'espace souterrain », AFTES, 2009, p.105)

Figure 25. Tableau d'avantage présentant les avantages des solutions souterraines selon le type d'ouvrage ou d'activité.
 Source AFTES « Utiliser et aménager l'espace souterrain ». 2009. p105

3. Les ressources du sous-sol et leur contribution à la ville durable

Que peut produire et recevoir le sous-sol des métropoles et quelle peut-être la contribution du sous-sol à la réalisation d'un projet urbain dans le cadre d'une Métropole Durable? Le sous-sol peut contribuer au développement et à la vie urbaine. Il est une dimension importante de l'aménagement qui offre plusieurs types de ressources renouvelables ou non. Il doit être pris pleinement en compte dans le projet urbain et ne doit plus être cantonné à un rôle de service.

Pour le projet Suisse Deep-City, les ressources à exploiter et valoriser en sous-sol sont l'espace, l'eau, les matériaux, l'énergie. Pour le projet national Ville 10D ce sont aussi les fonctions urbaines, la contribution du sous-sol au fonctionnement et au vécu de la ville: une contribution aux échanges et liaisons de personnes et de marchandises, un accueil des services urbains, mais aussi bien d'autres usages à condition de raisonner en trois dimensions et de considérer le dessous autant que le dessus dans la conception de la ville. Une gestion coordonnée des quatre ressources essentielles apportées par le sous-sol à la ville, l'espace, les matériaux, la géothermie et l'eau, contribuera à un aménagement urbain économe, durable et résilient et permettra d'y accueillir des fonctions urbaines très diverses.

La Ville Durable prend tout son sens l'organisation, la gestion de ces ressources.

3.1 L'eau : gestion des nappes

Le sous-sol recèle l'eau, produit devenant rare, qui est une ressource vitale pour la ville. Les nappes phréatiques constituent les principaux réservoirs d'eau potable renouvelables à proximité immédiate des Métropoles. La préservation des nappes est indispensable. Cependant cela n'empêche pas l'implantation d'ouvrages à conditions qu'ils ne rompent pas la continuité de ces nappes et ne contribuent pas à les polluer. La prise en compte de la localisation de ces nappes dans la conception des projets souterrains et la mise en œuvre de dispositions de nature à empêcher

tout rejet d'eau non traitée vers ces nappes est donc indispensable. Inversement les installations souterraines et les volumes utilisés doivent être protégés des infiltrations ou inondations.

Par ailleurs, pour permettre l'exploitation du sous-sol et mettre hors d'eau les bâtiments et les infrastructures, les eaux souterraines sont pompées et évacuées, constituant les eaux d'exhaure. Aujourd'hui, ces eaux sont principalement rejetées en égout alors qu'elles pourraient alimenter un réseau d'eau non potable de la Métropole qui peut être consacré au lavage ou à l'arrosage.

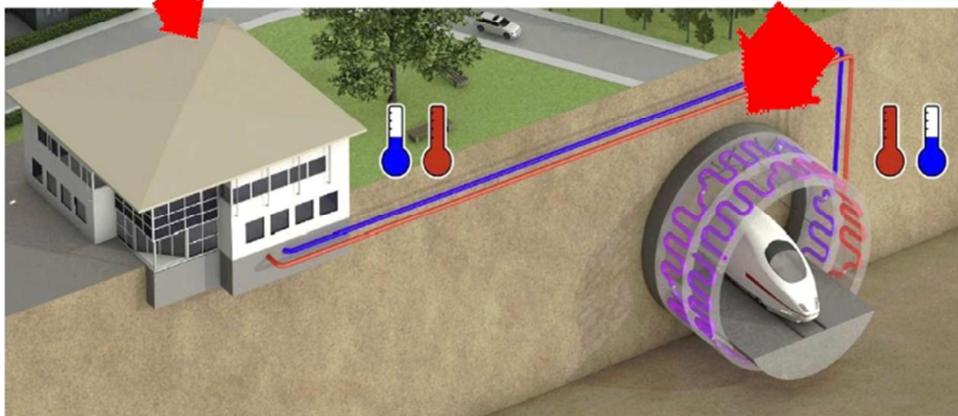
3.2 L'énergie : géothermie et énergies fossiles

En dehors des énergies fossiles recélées par le sous-sol, qui, sont souvent peu abondantes et situées dans des couches profondes, la ressource énergétique du sous-sol relève essentiellement de la géothermie, l'espace souterrain offrant une température stable grâce à un fort volant thermique. Cette stabilité thermique a été de longue date exploitée pour se protéger de la rigueur du climat ou pour la production, la conservation et l'affinement de produits alimentaires (champignons, vins, fromages, etc...). Elle permet de réguler la température des espaces souterrains humanisés en réduisant ou supprimant les coûts de chauffage ou de rafraîchissement. La capacité de stockage thermique du sous-sol permet aussi de capter, de stocker et d'exploiter les calories produites par les infrastructures qui le traversent et les installations qui y sont implantées («datacenters» par exemple) et de fournir ainsi à bon compte une énergie renouvelable.

En milieu urbain, suivant les conditions géologiques et hydrogéologiques, tous les modes d'exploitation sont envisageables. Cependant, dans le cadre de l'aménagement du sous-sol urbain, seuls les ouvrages de faible profondeur entrent en interaction directe avec les autres ressources du sous-sol urbain, c'est donc sur ces derniers que portera l'attention. Les usages de moyenne et grande profondeur sont beaucoup moins nombreux et leur interaction avec les autres ressources est principalement liée à leur emprise spatiale (des puits verticaux ou subverticaux qui traversent la ville souterraine).

Bâtiment à chauffer / refroidir

Tunnel à concevoir



Concept de la valorisation de la chaleur stockée dans la roche constituant le sous-sol, associée à la construction d'un tunnel.
Illustration empruntée au support de communication de la société allemande Rehaus concernant le démonstrateur du tunnel de Jenbach en Autriche.

Figure 26. Dessins de principe de la récupération de l'énergie géothermique autour d'un tunnel. Source Rehaus

3.3 Les matériaux

Par nature les matériaux extraits du sous-sol sont une ressource temporaire non renouvelable et à exploiter avec économie. Leur exploitation peut justifier à elle seule le creusement du sous-sol en vue notamment d'y récupérer des matériaux de construction. Faute de pouvoir renouveler cette ressource, l'enjeu est de permettre une utilisation ultérieure des nouvelles cavités en s'assurant que le creusement crée des volumes dont les dimensions, la solidité et l'accessibilité sont compatibles avec un aménagement utile. Les carrières de Kansas-City constituent l'un des exemples les plus aboutis, la poursuite de l'exploitation du calcaire étant organisée de manière à faciliter l'extension de la zone logistique de Subtropolis.



Figure 27. Subtropolis alliant extraction du calcaire et stockage industriel. Source <http://subtropolis.biz/>

Lorsque le sous-sol est creusé directement pour un usage urbain (un tunnel ou une gare par exemple), l'utilisation et la valorisation des matériaux extraits lors du chantier sont moins évidents et peuvent paraître secondaires au regard des ambitions du projet. Pourtant ces matériaux ne vont pas disparaître et dans la perspective d'un aménagement durable, il importe qu'ils soient utilisés de la manière la plus optimale, ce qui dépendra de leur nature et de la localisation de leur réimplantation et de leur transformation. La demande de granulats pour le secteur du BTP ne cessant d'augmenter alors que l'accès aux ressources naturelles est de plus en plus difficile, le recours aux matériaux extraits à l'occasion de travaux est un impératif. Un état de l'art sur la valorisation de ces matériaux a été établi en portant une attention particulière au béton comme piste de valorisation.

3.4 La Recherche et l'Innovation au service de la Ville Durable

Dans le cadre du stockage des déchets nucléaires français le projet CIGEO (Centre Industriel de Stockage Géologique) offre des similitudes avec un projet d'Urbanisme de Ville Durable. A savoir des installations de surface semblables à celles présente dans les Métropoles et pour sa partie souterraine un réseau de 120 kilomètres de tunnels reliant des zones d'échanges, de stockages et de travaux assimilable à une "Mangrove Urbaine". Toutefois la spécificité du projet à conduit à réaliser des recherches sur les creusements, les revêtements, les dimensionnements des zones souterraines. Ces recherches ayant aboutis à des solutions innovantes sur le sujet. Mon entreprise CMC a développée des solutions conduisant à des brevets sur des sujets et en particulier sur la valorisation des matériaux excavés, les méthodes de creusement, les structures résistantes, etc...

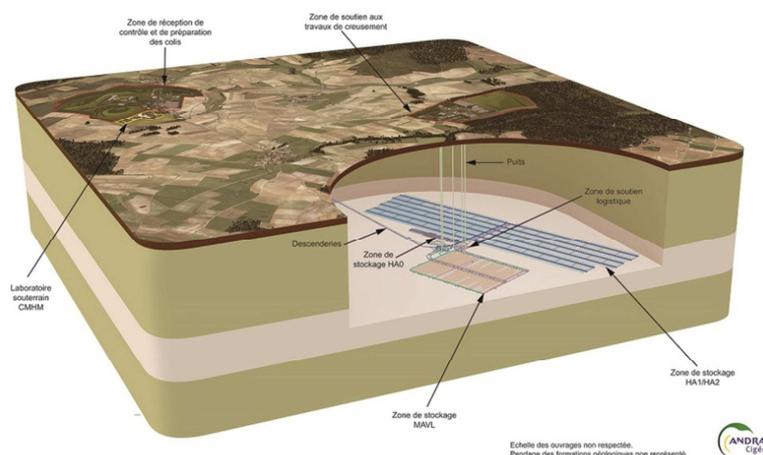


Figure 28 Plan ANDRA site de Bure. Source www.andra.fr

Lors du creusement du centre de stockage des déchets nucléaires situé à plus de 500 mètres sous terre la pression exercé par la roche et qui tend à refermer le trou effectué (phénomène appelé convergence) oblige les parois à être de plus de 1m50 d'épaisseurs. CMC à imaginer utiliser la roche excavé lors d'un creusement afin de limiter le volume à excaver et la quantité de béton à utiliser. Cette roche "l'Argilite" extraite une fois retraité sert à assurer le soutènement des galeries qui le compose. Le système d'amortissement de la convergence permet de diviser par 3 les épaisseurs des revêtements passant de 1,5 mètre à 45 centimètres.

Dans ce souci de recherche, de valorisation et d'innovation, CMC et ANDRA ont ensuite développé un nouveau produit. Le « Voussoir Monobloc Compressible ». Celui-ci est composé d'un voussoir classique auquel on vient appliquer une couche régulière du produit « coque » afin de créer une couche compressible solidaire du voussoir.

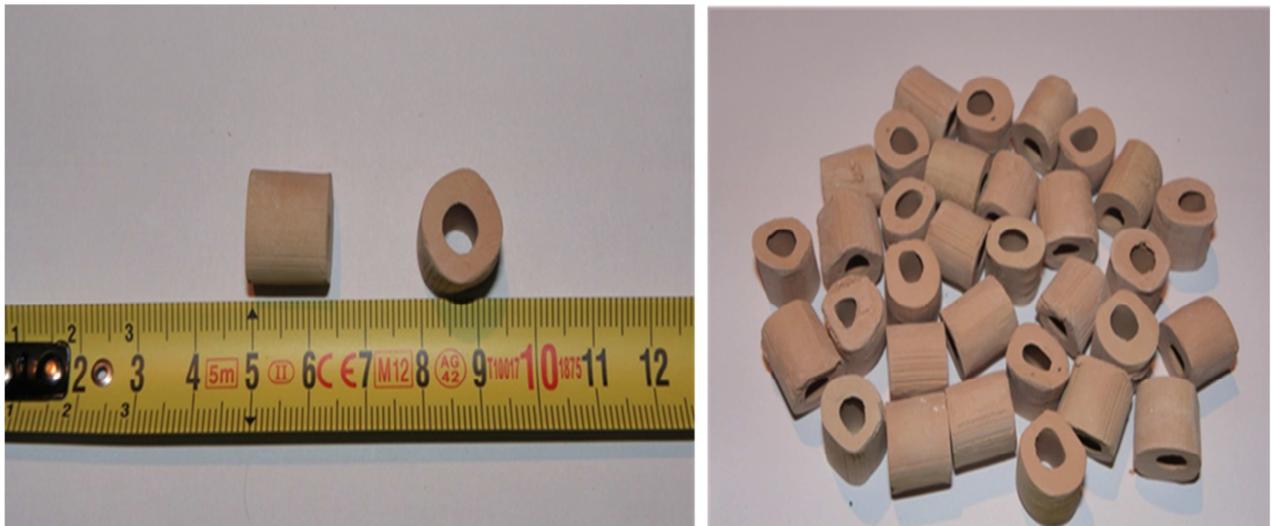


Figure 29. Obtenus par extrusion d'une pâte à base d'argile découpée puis cuite de façon à obtenir une céramique. Il peut aussi être obtenu à partir d'autres matières premières tel que ciment, verre, plastique, etc. Source Interne CMC



Figure 30. Prototypé de voussoir compressible. Source interne CMC

Cela apporte plusieurs avantages non négligeables :

- Les VMC peuvent être posés par un tunnelier d'un seul tenant comme un voussoir classique
- Ils réduisent de plus de moitié l'épaisseur nécessaire au soutènement du tunnel (Dans le cas de CIGEO le soutènement passe d'une épaisseur de 1m50 à 75 centimètres)
- Ils réduisent le volume de terre excavé
- Permet d'être justifié au niveau du dimensionnement auprès de l'Agence pour la Sécurité Nucléaire (ASN)
- Environnemental : Constitué à base d'argile le matériau est transformé en terre cuite, produit neutre et durable. Les « coques » ne perturbent en rien l'environnement dans lequel elles sont introduites.
- Mise en place : Les « coques » ou les « VMC » sont mises en place de la même manière que le gravier concassé, avec des machines déjà existantes.
- La mise en place se fait à sec et ne vient pas lixivier le terrain.

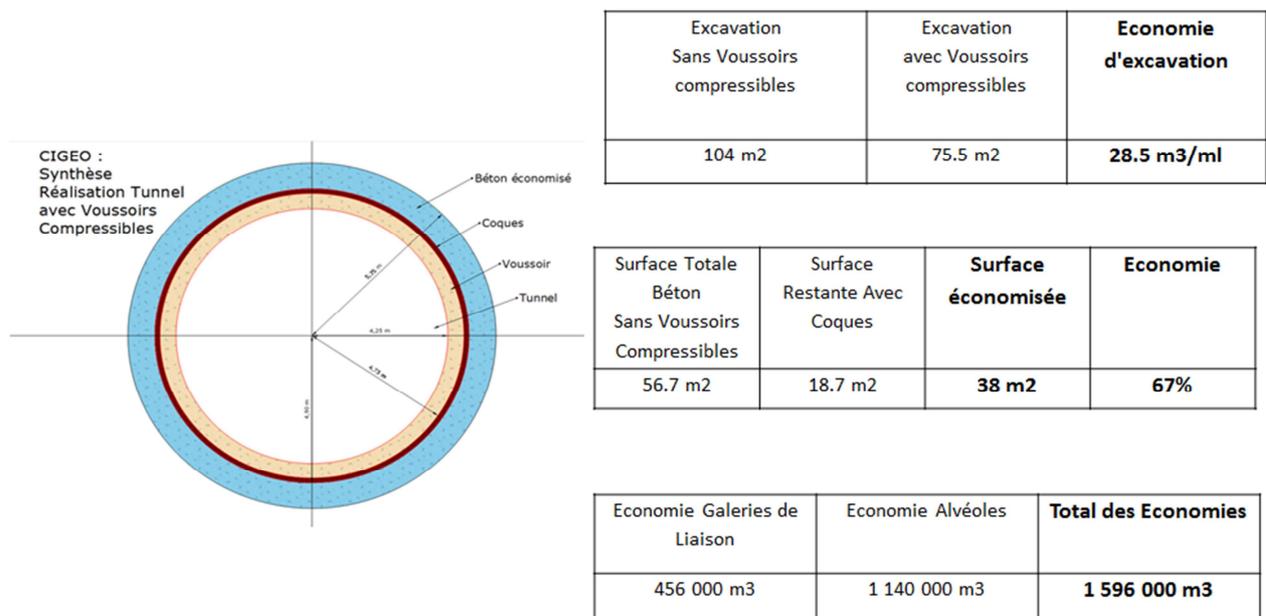


Figure 31. Synthèse des économies de béton sur le projet Cigéo. Source Interne CMC

Que ce soit le matériau « coque » ou son extension le VMC ce produit présente de fortes qualités au niveau environnemental et potentiellement utilisables dans l'idée d'une Ville Durable. D'une réponse technique au départ, amène un apport économique et écologique à la Ville Durable. En effet cette innovation est susceptible d'être transférée sur des réalisations urbaines présentant les mêmes contraintes géologiques. Aujourd'hui les villes d'Istanbul (Turquie), d'Ispahan (Iran) sont potentiellement susceptibles d'utiliser cette technologie. Ce qui permettra à ces deux Métropoles d'utiliser des espaces sub-urbains jusqu'ici non exploitables.

Nous venons de voir que la Ville Durable passe en partie par son sous-sol et par l'exploitation de ses ressources qu'il offre. En cela les avancées technologiques doivent se mettre au service de la Ville Durable. Mais les réponses techniques et les avancées technologiques doivent aller de pair avec une appropriation par les habitants des espaces créés.

Nous allons voir par la suite que l'urbanité de ces espaces n'est pas automatique et pose des problèmes d'appropriation et de gestion des ressentis des ambiances souterraines.

La réflexion passera en grande partie à travers la vision du métro qui est un lieu structurant et quotidien des enjeux de densification, de déplacement et d'urbanité des villes de demain.

Nous nous appuierons sur une série d'exemple de détail pour ne tirer par l'analyse que la substance utile à conforter l'urbanité de la Ville Durable.

4. Le sous-sol au service de l'Urbanité.

Les nombreux avantages de l'utilisation de l'espace souterrain sont reconnus dans le monde entier. Mais attendre qu'il n'y ait plus de place en surface pour réaliser des aménagements souterrains n'est pas une stratégie valable. La prise en compte de l'utilisation de l'espace souterrain dans les plans d'aménagements en cours et futurs relève du bon sens. Il a été démontré que cela conduit souvent à des combinaisons surprenantes et des solutions innovantes créant encore plus de valeur ajoutée.

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 et besoins 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, mais il est un volume bien réel 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.

Les "Mangroves Urbaines" tel que définies dans le livre « Mangroves Urbaines, (par David Mangin et Marion Girodo. Ed Carré) sont des structures à part entière, les mangroves urbaines n'en sont pas moins composées de parties et de sous-parties communes à toutes. Elles sont composées de trois catégories d'espaces : les lieux des

transports en commun, les lieux de destination (bureaux, musées, commerces, administration, universités...) et d'espace de transitions connectant les deux précédent. Elles ont pour point communs d'être une sorte de « Méccano » en cela qu'elles sont construites sur un temps long et par des adjonctions successives. Elles assurent plusieurs rôles au sein de ces systèmes urbains.

La fonction commerciale peut être à l'origine de segments de mangroves qui voient leur jonction direct entre une station de métro et un centre commercial. Les grands magasins et les commerces n'y sont pas étrangers à cela. En effet une continuité commerciale est alors souvent aménagée le long des flux de voyageurs sous de nombreuses formes : galeries, passages, centres commerciaux ou simple boutiques sur un quai ou un hall.

Le commerce et la mangrove ont comme fonction d'accompagner les usagers dans leurs cheminements quotidiens dans des espaces publics, et permettent dans un souci l'optimisation des déplacements la sécurisation des lieux et des cheminements.

La fonction commerciale n'est pas la seule à être assurée par les mangroves urbaines. A Montréal, les programmes principaux autour des stations Berri-UQAM et Guy-Concordia ont été pensés autour des universités qu'elles soient francophones ou anglophones. A Paris ce sont des équipements d'envergures et de divertissement qui sont accessibles par le sous-sol tel que le Louvre ou encore le Palais des Congrès.

Enfin ce sont de nombreux bureaux, logement ou hôtels qui sont accessibles par ces accès en souterrain. Pour l'économiste canadien Michel Boisvert, la présence de plusieurs opérateurs est la définition même de ce qu'il nomme « ville intérieure » :

« Ensemble d'immeubles raccordés par des liens piétonniers protégés, appartenant à plusieurs propriétaires, offrant une diversité de fonctions, notamment du transport collectif, du commerce de détail, des espaces de bureaux et des activités de divertissement » (Michel Boisvert, Montréal et Toronto. Villes intérieures, Presses de l'université de Montréal, 2011.)

Les mangroves sont souvent interprétées comme une réponse aux contraintes climatiques : le chaud et l'humidité à Singapour, le froid à Montréal. Si ces raisons ont une part de vérité notamment par les froids polaire à Montréal, elles doivent être relativisé car l'argument principal de leur utilisation qui est la connexion rapide et confortable au système de transport et aux services (commerce, centres médicaux, administrations...). Tout d'abord l'aménagement d'une connexion souterraine permet de clarifier les parcours et de donner accès directement à un certain nombre de lieux. Mais aussi les liens souterrains permettent de se soustraire souvent d'un

espace de surface (trop) dédié à la voiture et où le cheminement piétons y trouve difficilement sa place et de la sécurité. Le transport collectif n'est pas une fonction parmi d'autres, mais un élément indispensable qui dessert l'ensemble.

4.1 Le métro un sous-sol urbain indispensable à la structure de la ville.

Les flux de transport sont nombreux et pour partie inévitables. La ville durable cherche à limiter leurs impacts, par exemple par une disposition cohérente des centres nodaux, des axes de déplacements et par une offre équilibrée de services de proximité et de transports en commun. La question des flux de circulation et de la densité urbaine, est un critère déterminant dans l'aménagement des territoires. Pour pouvoir convaincre les populations de l'utilité et de la nécessité de prendre les transports en communs, cela passe par une réelle politique d'aménagement du territoire, étudiée spécialement pour l'amélioration du temps de trajet et de l'efficacité des transports en communs. Il est aussi nécessaire de freiner l'expansion des voitures.

En cela le métro apparaît comme une pièce essentielle du système des grandes villes et de la gestion de ses flux.

On peut définir les liens entre la ville et le métro par plusieurs aspects.

Tout d'abord le lien évident est celui physique. Il concerne les émergences fonctionnelles et techniques, traditionnellement implanté sur la voirie publique et se signalant en surface souvent comme du mobilier urbain.



290 - Le Métropolitain (XX^e) Station des Couronnes, Boulevard de Belleville C. P.

Figure 32. Datant du début du XX^e siècle cette entrée du métro parisien voit son insertion comme du mobilier urbain.
Source <http://www.cparama.com>

Le deuxième lien est celui culturel et structurant de l'urbanité. Pour le cas de Paris les lignes de métro s'inscrivent sous la voirie publique et suivent les percées haussmannienne. Ces tracés permettent de décongestionner la surface et participe ainsi à la « rue-spectacle » que cherche à offrir les rues parisiennes. Dans un souci de ville ou la promenade et le tourisme sont importants le métro permet d'assumer une logique de déplacement efficace, fonctionnel qui ne concurrence pas la surface mais au contraire la soulage.

Le lien architectural avec la population est également important. Dans les premiers temps, loin d'être un endroit austère et sombre le public découvre un paysage ou le métro offre un espace artificiel et lumineux. L'appréhension du sous-sol est au maximum limitée par sa disposition et ses formes. Le paysage fonctionnel lumineux et horizontal ne fait pas référence au sous-sol. En faisant oublier sa nature souterraine le métro n'exprime qu'un lieu dédié au déplacement et crée une sensation de prolongement avec la surface. Nous verrons que cette logique de séparation entre le sous-sol et la surface a tendance à se réduire dans les nouveaux programmes. Le métro étant rentré dans les mœurs la peur du sous-sol n'est plus vraiment présente ce qui permet aujourd'hui, de concevoir des lieux comme des stations de métro qui ne se limite plus à un simple escalier d'accès. Ce sont des bâtiments semi enterrés qui s'intègre architecturalement parlant dans leur environnement qui voient de plus en plus le jour.



Figure 33. Vue intérieure de la future gare de Vitry-Centre sur la ligne 15 du Grand Paris Express. Source <http://atelier.leparisien.fr/sites/grand-paris-express/interactif-les-futures-gares-du-grand-paris-express-se-devoient-enfin/>



Figure 34. Gare de Noisy-Grand. La gare s'insère ici dans le paysage et fait le lien entre extérieur et intérieur par de grandes ouvertures vitrées. Source <http://www.lexpress.fr>

Le métro permet également pour la population d'une ville d'être un véritable point de repère spatial. Ses formes urbaines ainsi que les noms de station sont entrés au fil du temps comme autant d'indication pour la population. Les noms des stations peuvent

s'apparenter aux noms des rues à la surface de la ville. Le métro permet de désigner et de découper la ville. Il permet également d'organiser la ville à l'échelle des quartiers qu'il dessert autour ne nouveau cheminement qu'il créé à l'intérieur de ceux-ci. Nous verrons plus tard l'importance, du métro dans la vie d'un quartier ainsi que la valorisation qu'apporte le métro à ce quartier.

Cependant les restrictions drastiques de l'utilisation de la voiture dans les grandes villes ont eu un impact fort sur la fréquentation du métro. Voyant son utilisation fortement augmenté, le métro se voit souvent être saturé. Cela a pour conséquence une certaine perte de la sociabilité des lieux qui devient un endroit, plutôt de transit, que de vie à proprement parlé.

4.2 Le Souterrain un espace d'échange à reconquérir.

L'utilisation du métro étant incontournable dans les grandes villes, ce lieu doit retrouver au maximum sa dimension d'espace public, propice à la sociabilité, l'échange et à la communication. Ici c'est la question du sens de cet espace souterrain qui est le plus difficile à maîtriser.

L'espace public du métro a besoin de par sa saturation de retrouver une capacité de « vacuité » indispensable à son appropriation par le public, comme un espace quotidien et le prolongement naturel de la ville. Le voyageur doit dans cet espace se sentir apaisé. La forte promiscuité sociale inhérente à un espace confiné de sous-sol créé une difficulté en cela. L'exiguïté des espaces souterrains face à l'importance croissante de la fréquentation laisse peu de marge pour y installer des équipements et des services. Cette difficulté a ancré des services capables de requalifier durablement les usages et de lui redonner de l'urbanité fragilise et menace la condition souterraine de façon permanente.

De plus le métro souffre d'une paupérisation naturelle et accélérée de ses ambiances. De par leurs usages quotidiens, denses et anonymes les espaces se dégradent naturellement vite. Soumis à une usure constante leurs ambiances et leurs aménagements ne font pas l'objet d'un entretien et d'une maintenance soutenue en capacité de garantir le maintien de leur qualité première.

Les capacités d'agir sur ce territoire étendu et disjoint sont complexes. On s'est aperçu que les solutions classiques d'embellissement restaient ponctuelles et ne pouvaient se déployer durablement sur un territoire aussi vaste. C'est la dimension même du temps qu'il faut savoir mieux intégrer dans la problématique de gestion de ces vastes espaces. c'est avec une approche urbanistique, sur la base de schémas directeurs d'aménagements capable de prendre

en compte, sur une période longue, le développement d'actions concertées et dont l'impact a été négocié et encadré, qu'il faudrait raisonner la gestion de ces lieux.

La maîtrise du « système métro » est donc moins aujourd'hui, un enjeu de mobilité et de service qu'un enjeu sociétal de maîtrise urbaine. On sait la capacité des gestionnaires responsable de la fonction transport, de répondre aux nouveaux besoins techniques d'exploitation : automatisations des lignes, mise aux normes de sécurité, gestion en temps réel du trafic. Mais il semble que l'efficacité des espaces nécessaires au transport dans leur aspect sociétale soit bien moins prise en compte.

4.3 La qualité architecturale au cœur du métro.

Devant l'incapacité progressive de la seule dimension de transport à occuper légitimement les lieux, une mise en scène suffisamment efficace, doit répondre aux enjeux du public qui traversent les espaces du métro, l'approche architecturale est à même de réintroduire ces lieux dans une problématique politique et sociétale. L'enjeu est de proposer un travail alternatif de recomposition et de scénographies maîtrisées de l'espace. Si la question de l'architecture est bien celle de la maîtrise qualitative de projet, de la pérennité de l'investissement public, de l'adéquation entre le besoin et la forme construite, alors, l'espace souterrain du métro a généré et générera encore de l'architecture. C'est en ce sens que l'enjeu de la conception aujourd'hui pour les espaces du métro est celui de l'adéquation entre une maîtrise d'ouvrage transport, légitime et consciente de ses responsabilités urbaines.

Les stations nouvelles actuellement en conception doivent être susceptibles de valoriser leur impact, comme leur présence dans le paysage urbain qui se recompose. Deux dimensions pourraient être le support d'une valorisation.

Premièrement c'est au travers d'une dimension urbaine, avec un programme annexe permettant une densification en hauteur des parcelles occupées ou profitant des excavations liées aux travaux d'infrastructure qu'il apparait possible de valoriser. Il faut donc développer des partenariats et les désirs des uns et des autres pour créer une zone attractive et aux intérêts concomitants. Il manque aujourd'hui cruellement de maîtrise et de planification d'ensemble. Les communes qui accueillent ces nouvelles stations sont rarement en mesure de porter l'intérêt public métropolitain au-delà de leurs intérêts locaux. La nouvelle station est finalement comprise comme un objet de plus dans l'urbanisme, sans tenir compte de l'impact

majeur qu'elle induira sur les usages du territoire urbain en recomposition.

Deuxièmement, à partir de la dimension liée à l'espace public il est possible de valoriser les stations en conférant aux espaces transports une dynamique d'appropriation et d'accueil plus expressive. Faute d'ambition urbaine, l'expression architecturale devrait a minima être au service d'une mise en valeur de la simplicité fonctionnelle d'usage. Loin des évolutions à l'œuvre dans la métropole de surface, on risque de se sentir dans ces nouvelles stations, un peu seul, sans rien qui puisse exalter cette dynamique du mouvement spécifique au transport.

Dans le contexte où les enjeux d'amélioration d'une condition urbaine se généralisent, les espaces souterrains du métro sont à la fois un horizon et une opportunité exceptionnelle pour construire la ville de demain

4.4 La dimension psychosociale.

Il est assez fréquent que la perspective d'une plus grande utilisation de l'espace souterrain dans les projets d'aménagement soulève une certaine réticence au motif que les individus ne sont pas faits pour vivre sous terre. Ces espaces restent perçus comme sombres, risqués, inconfortables, générateurs d'anxiété... Certains avancent même que l'environnement souterrain est un espace négatif générateur de mal-être. Il faut dire que l'absence de fenêtres, le manque de lumière naturelle, la configuration même des espaces souterrains peuvent générer des effets physiologiques sur la santé de l'homme (dépression, fatigue...) et des craintes psychologiques (claustrophobie, angoisse, peur de ne pas pouvoir sortir en cas d'urgence...).

Cette réaction traduit assez bien d'une part le rapport psychologique complexe que l'homme entretient avec le sous-sol, et d'autre part la méconnaissance de la nature des réalisations qui peuvent y être entreprises. C'est pourquoi l'aménagement d'espaces souterrains ne peut être abordé sans chercher à comprendre les perceptions, les attitudes et les comportements des individus dans ces espaces.

L'intérêt de ces réflexions est de remédier aux effets et comportements négatifs des espaces fermés souterrains et de permettre aux usagers de s'y sentir en confiance. Il s'agit aussi d'illustrer les possibilités d'aménagements et de projets en sous-sol, en dépassant ainsi, par de nouvelles perspectives, les seuls exemples que les usagers connaissent aujourd'hui et dans lesquels ils ne sentent pas très bien.

Il ne faut pas oublier que ces espaces peuvent également présenter des avantages : calme, inertie thermique, résistance aux secousses et être porteurs de sens positif : protection, sécurité, mais aussi sens du mystère et de l'aventure...L'approche de la relation de l'homme avec le souterrain est une partie importante des projets (stations de métro, galeries de passage, parkings, centres commerciaux...)

En cela Jean-Paul Thibaud, Sociologue de formation, Doctorant d'Urbanisme et Aménagement et Chercheur au Cresson, a mis en lumière plusieurs paradoxes notables, concernant les ambiances souterraines. Celui-ci parle dans un premier temps de phénomène de « boîte dans la boîte », où des espaces clos, parfaitement délimité et tourné vers eux même sont mis bout à bout sans réel transition. On passe ainsi d'un endroit clos et exigü à une place volumineuse. Cette espace large de « respiration » vient trancher avec le caractère délimité et fini des espaces plus petit, en cela il crée selon lui un effet de dilatation et de relation fictive à l'extérieur...

Thibaud parle également des espaces souterrains à vocation commerciale qui doivent réussir à concilier une attraction forte et une captation durable et efficace du visiteur, tout en ne créant pas d'engorgement des lieux. Le paradoxe est notable entre un « appareil de capture et un lieu de transit ».

Ensuite Thibaud insiste sur le paradoxe qu'offrent les lieux souterrains au niveau de la perception de sécurité et de protection qu'offrent ces lieux. Il met ainsi en lumière le ressenti d'isolement, d'homogénéité et d'atténuation des variations sensibles (isolation du bruit de circulation routière, protection face aux intempéries, à la chaleur ou au froid...). Mais cela est contrebalancé par des changements de perceptions et de ressenti soutenu et fréquent. C'est le cas en terme sonore, à cause de la réverbération du bruit sur les parois, qui augmente le niveau sonore et installe une sorte de brouhaha continu. Mais aussi au niveau de la vision dans un espace où le manque de recul par rapport à ce qui nous entoure ne permet pas le repos du flux visuel continuellement limité par l'immédiat. La limitation de l'étendue du regard provient souvent des espaces très cadrés par des galeries au plafond bas, l'absence d'horizon lointain et également l'obstruction visuelle due à la foule. Les ambiances lumineuses fluctuant également fortement sans homogénéité sont source de désagrément vis-à-vis du ressenti des lieux car dans un périmètre plus restreint.

La perception et l'orientation dans ces lieux fait également l'objet de plusieurs facteurs qui ne sont pas forcément mis en place lors des déplacements en surface. Il s'agit ici de réussir au préalable d'appréhender, grâce à une représentation globale des lieux en intégrant la verticalité dans leur pensée. L'activité

cognitive lors du déplacement et donc plus importante afin de faire la transposition d'où l'on se trouve en bas par rapport à la surface et notre destination.

La vie souterraine offre en somme de nouvelles situations, engendrant des bouleversements sensoriels et cognitifs qu'il faut au fur et à mesure appréhender, pour permettre d'évoluer naturellement dans ce milieu souterrain. En cela l'appropriation des espaces souterrains passe par un apprentissage et une approche différente de celle des espaces en surface.

L'analyse de l'expérience de tous ces exemples va enrichir la réflexion sur les projets à venir dans la cadre d'une Métropole Durable. En cela que les projets futurs se nourriront des expériences antérieures. Le métro apparaissant comme l'un des rouages essentiels du système des Villes Durables

5. L'exemple du Grand Paris Express interview de Pascal Hamet à propos l'extension de la ligne 14.

Le Grand Paris Express

Cette partie plus informelle est basée à partir de l'interview de Mr Pascal HAMET : responsable pour l'entreprise Eiffage du prolongement de la ligne 14 du métro parisien. Directeur Régional Eiffage Infrastructures - Eiffage Génie Civil - Travaux Souterrains Grand Paris

Celui-ci m'a fait l'honneur et la gentillesse de m'accorder une partie de son temps afin d'expliquer l'approche autant technique qu'urbanistique du projet d'envergure, et qui changera le visage de Paris qu'est Le Grand Paris Express (GPE).

Le GPE se présente comme une extension du réseau de transport en commun de l'Ile-de-France destinée à améliorer les conditions de vie et de déplacements des Franciliens.

Ces lignes sont la retranscription de la conservation que nous avons eue :

Le tracé de ce futur réseau se compose de quatre lignes de métro automatique qui formeront, à terme, une double rocade de transport en commun autour de Paris, complétant le réseau actuel et créant un maillage global plus efficace. Cela représente plus de 200 kilomètres de métro qui vont ainsi être créés et devraient accueillir 2 millions de personnes depuis, vers et autour de Paris. Pour cela 68 stations seront rajoutées dont 48 qui permettront des correspondances avec les réseaux de transport déjà existant de RER, métro, tram, TGV, aéroport..

Il y a une recherche par ce projet d'envergure de facilité la vie et les cheminements par transport en commun des franciliens. Il y a un attachement à avoir un impact sur l'évolution des usages et des modes de déplacement dans la métropole et de contribuer à la réduction du CO2. En cela les concepteurs se sont attachés à créer des temps de correspondance qui soient le plus limités possible « moins de 5 minutes » afin d'inciter les utilisateurs à laisser leur voiture et privilégier ce mode de transport.

Un attachement particulier aux bâtiments émergents qui doivent être plus « soignés » qu'une simple gare entièrement enterrée est pris en compte par la Société du Grand Paris, mais se heurte à des contraintes de permis de construire et d'intégration dans le tissu urbain.

La particularité du tissu parisien explique en grande partie l'utilisation quasi exclusive du souterrain dans ce projet de transport, sauf sur certaines parties ponctuelles qui pour des

raisons de budget ou d'environnement doivent être en surface ou en aérien.

La loi SRU impose de limiter l'étalement urbain et prévoit donc une densification progressive de la ville. Pour faire face à cette densification il a fallu prendre en compte l'augmentation de la population sur un secteur. Pour cela il faut anticiper la future demande d'équipements, que ce soit en école, hôpitaux, mais aussi moyens de transports pour pouvoir se déplacer à l'intérieur de ce tissu plus dense. A partir du moment de cette densification les surfaces qui pourront être alloué au transport par exemple au tram vont se raréfier. Les solutions d'ouvrage de transport souterrain vont venir s'imposer d'elles-mêmes.

Il faut prendre en compte dans un contexte complexe que le temps de réalisation et de conception des projets est long et donc à prendre en compte. Il y a une forte attente de la population face à l'arrivée de ce réseaux de transport. La région de la Seine-St Denis sera quant à elle la mieux irriguée par les nouvelles installations et permettra de désenclaver une zone qui en ce moment est proche géographiquement de Paris mais éloignée en terme de transport. Le secteur de la Défense, haut lieu stratégique de Paris et de son économie bénéficiera lui aussi d'un meilleur maillage de transport. Il faut aussi prendre en compte l'attente forte de la part des entreprises. Grâce à des jonctions plus simples entre des Grandes Ecoles du secteur et un plateau regroupant des entreprises basées sur des technologies.

Au final l'objectif est grâce à une multitude de moyen de transport en commun et pas seulement le métro d'offrir une meilleure mobilité aux habitants de la région parisienne. Le prolongement ou la création de ligne a déjà des conséquences sur la rénovation globale des quartiers qui l'entoure. Par extension cela influe sur la valorisation de certains secteurs et la création de construction de bâtiments en surface, menant à l'augmentation des prix de l'habitation et des bureaux.

La valorisation des déchets excavés est un pôle important dans ce projet. Cet aspect est une partie essentielle dans les appels d'offre. Il faut ici caractériser la terre qui est extraite régulièrement et la faire analyser afin de connaître sa future destination de stockage définitif. Cela pose par extension des problèmes de capacité de stockage tampon. Pour cela est en train d'être mis au point une méthode de caractérisation rapide pour remédier à ce problème. Ici encore les problèmes rencontrés lors du creusement sont indissociables des réponses techniques qui leur seront apporté ou inventé. Tout ceci est l'aboutissement des idées Urbanistiques et Orientations émises.

CONCLUSION

Nous avons vu tout au long de ces pages que le sous-sol à toujours été pris en compte au cours des siècles pour la construction des villes. Tout d'abord profitant de ses anfractuosités naturelles, il est devenu ressource de pierre pour les constructions. Mais ce n'est que bien plus tard avec l'apparition des premières planifications des villes et des grands architectes de celles-ci, tel que le Baron Haussmann que la ville a commencé à être organisée non plus à plat en en 3 dimensions.

Tout d'abord destiné à recevoir les réseaux et les équipements le sous-sol s'est petit à petit transformé en lieu de vie et d'échange dans les Métropoles. Les évolutions techniques aidant, les souterrains sont devenus plus grands, mieux exploités et plus efficaces. Non seulement lieu de refuge pour des conditions climatiques parfois difficiles, ces lieux souterrains ont été appropriés au fil du temps par les habitants jusqu'à devenir leur quotidien.

Aujourd'hui dans un souci de limitation de l'extension des villes et de leur densification, le sous-sol va de nouveau être mis à contribution pour assurer l'avenir de la Ville Durable économe en ressource, en déplacement et en énergie. Si le sous-sol se résume souvent et à forte raison au métro et aux flux de déplacement c'est aujourd'hui tout un pan de l'exploitation des ressources disponible sous les pieds des villes qu'il faut connaître planifier et utiliser.

Alors « Le Souterrain partie Intégrante et Indispensable à la Ville Durable » on peut penser que oui, mais à la condition de bénéficier d'une connaissance précise et claire des orientations et objectif qu'on veut lui donner. Pour cela les avancées technologiques et l'appropriation des lieux qui en découlera par les habitants, sont des vecteurs indispensables à une Métropole d'Avenir et Durable.

ANNEXES

Bibliographie

- Edouard UTUDJIAN : Architecture et Urbanisme Souterrain.
Paru en 1966. Edition : R. Laffont.

- David MANGIN, Marion GIRODO : Mangroves Urbaines.
Paru en décembre 2016. Edition Carré.

- Fabien DEGLISE : Montréal souterrain : Sous le béton le mythe.
Paru en 2008. Edition : Heliotrope.

- Bruno Barroca, Youssef Diab, Damien Serre : Penser la ville et agir par le souterrain.
Paru en décembre 2014. Edition Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées.

- Vincent Callebaut : Paris 2050
Paru en 2015. Edition : Michel Lafon

- Divers : Grand Paris Express: Manifeste de la création
Paru en Avril 2017. Edition : Alternatives

- Pierre von Meiss, Florinel Radu : Vingt mille lieux sous les terres: Espaces publics souterrains
Paru en avril 2004. Edition : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes

- Jean-Paul Thibaud : Eprouver la ville en passant. En quête d'ambiances
Paru en 2015. Edition MétisPresses

Revues

- Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment, n° 5573,
2010 Foncier : valoriser le sous-sol des villes

Auteur (s): Malet, Frédéric Pagination : p. 58-60

- Infrastructures et formes urbains. Tome II :
architecture des réseaux dans Espaces et sociétés, n° 96

Editeur : Editions L'Harmattan, 1999 Pagination : pp. 11-122

Site Web

<http://www.aftes.asso.fr>

<https://motherboard.vice.com/fr/article/ezbn7p/que-reste-t-il-de-nos-reves-de-villes-souterraines>

<http://www.senat.fr/rap/r10-594-1/r10-594-1.html>

http://www.brgm.fr/sites/default/files/enjeux_geosciences_19.pdf

<http://www.metropolitiques.eu/La-ville-durable-nouveau-modele.html>

<http://www.metropolitiques.eu/Les-villes-en-transition-1.html>

<http://www.ville10d.fr/>

<http://www.irex.asso.fr/rapport-final-canopee/>

Emission de radio

Cultures Monde par Florian Delorme du lundi au vendredi
de 11h à 11h55

Dans les entrailles de la Terre (2/4) La ville souterraine, au cœur
du développement durable

Podcast: <https://www.franceculture.fr/emissions/culturesmonde/dans-les-entrailles-de-la-terre-24-la-ville-souterraine-au-coeur-du>

Interview

Interview de Pascal Hamet : Responsable pour l'entreprise Eiffage du prolongement de la ligne 14 du métro parisien. Directeur Régional Eiffage Infrastructures - Eiffage Génie Civil - Travaux Souterrains Grand Paris