

Etude multidisciplinaire d'un développement durable du sous-sol urbain. Aspects socio-économiques, juridiques et de politique urbaine

THÈSE N° 4987 (2011)

PRÉSENTÉE LE 15 JUIN 2011

À LA FACULTÉ ENVIRONNEMENT NATUREL, ARCHITECTURAL ET CONSTRUIT
LABORATOIRE DE SOCIOLOGIE URBAINE
PROGRAMME DOCTORAL EN ENVIRONNEMENT

ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE

POUR L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES

PAR

Pierrick MAIRE

acceptée sur proposition du jury:

Prof. A. Parriaux, président du jury
Prof. V. Kaufmann, Prof. Ph. Thalmann, directeurs de thèse
Prof. S. Barles, rapporteur
Prof. M. Boisvert, rapporteur
Prof. P.-A. Rumley, rapporteur



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Suisse
2011

Résumé

Une pression démographique croissante crée les conditions de l'étalement urbain. Cette forme urbanistique ne respecte pas les principes du développement durable. Elle favorise le développement galopant des réseaux et, de fait, la perte inéluctable de zones naturelles. Les urbanistes doivent donc planifier l'espace en le densifiant. Les friches urbaines et la hauteur sont les espaces utilisés usuellement pour le faire. Le sous-sol peut aussi contribuer à atteindre une densité de qualité, mais il est généralement sous-exploité. Cette étude s'interroge sur les raisons de la non-intégration du sous-sol dans la planification urbaine. Elle se concentre particulièrement sur quatre domaines :

1. Le droit : le cadre déterminé par la loi suisse impose des limites de propriété et d'utilisation du sous-sol. Ces limites sont dépendantes des quatre ressources qui composent celui-ci : l'espace, l'eau, la géothermie et les géomatériaux. Elles peuvent définir le cadre de la planification du sous-sol.
2. La sociologie : elle permet d'étudier les perceptions et la peur de l'espace souterrain par la population. Ces informations doivent amener à améliorer celui-ci. Elle permet également d'étudier les utilisations de cet espace à prioriser par le planificateur.
3. L'économie : la construction souterraine semble plus coûteuse que la construction en surface. Cette étude teste cette hypothèse. Pour pouvoir connaître la faisabilité économique d'un investissement dans un ouvrage souterrain, il est important de connaître la différence de coûts, mais aussi quels sont les facteurs qui influencent cette différence.
4. En Suisse, le droit d'opposition à la construction d'un ouvrage peut empêcher ou ralentir fortement toute construction. L'avis de la population n'est donc pas à négliger dans le cadre de l'implantation d'un ouvrage souterrain. Une étude de cas démontrera les répercussions d'une telle opposition.

Enfin, les résultats de ces différentes études seront synthétisés et confrontés afin de pouvoir conseiller les autorités désirant utiliser le sous-sol sur les écueils à éviter et les opportunités à saisir.

MOTS CLÉS : sous-sol, planification urbaine, droit de la propriété, coûts de construction, NIMBY, perception du sous-sol, transdisciplinarité

Abstract

Increasing demographic pressure can lead to an increase in urban sprawl, which challenges the principles of sustained development. It enhances both displacement and loss of green space. Urban planners have to design space while allowing for increases in population density. Most of the time this is achieved by using space above the ground or in urban wastelands. Underground development can contribute but is rarely used to its full potential. This study investigates the reasons for the absence of underground development in urban planning and focuses on three aspects :

1. Law : Swiss law defines property limits and underground usage. These limits depend on the underground's four resources : space, water, geothermal power and geomaterials. These resources define to what extent underground space can be used.
2. Sociology : Understanding and analyzing perceptions and fears caused by underground space will help in ameliorating problems with space design and setting up priorities to be observed by urban planners.
3. Economy : building underground seems more expensive than above the ground. This study will test this hypothesis. To investigate economic feasibility, it is important to know differences of costs as well as to identify factors accounting for increased costs.

In Switzerland, building opposition significantly delays or prevents construction. Therefore, public opinion is a key factor in the planning of underground space. A case study will demonstrate consequences of such oppositions.

Finally, results of different studies will be compiled and analyzed in order to help authorities identify rules to observe, opportunities to seize and pitfalls to avoid.

KEY WORDS : underground, urban planning, law property, construction costs, NIMBY, underground perceptions, transdisciplinarity

Remerciements

Une thèse, bien qu'elle n'aie qu'un seul auteur, ne peut s'édifier en solitaire. Je tiens dès lors à exprimer ici ma gratitude à l'ensemble des personnes qui ont, de près ou de loin, contribué à sa réalisation.

En tout premier lieu, je tiens à remercier mes directeurs de thèse, les professeurs Philippe Thalmann et Vincent Kaufmann, qui m'ont suivi et conseillé au cours de ces années. Ainsi que le professeur Aurèle Parriaux qui a initié et dirigé le projet Deep City, au sein duquel cette thèse s'est inscrite.

Je remercie également pour l'avoir lue, jugée et critiquée les membre de mon jury de thèse : la professeure Sabine Barles, les professeurs Michel Boisvert, Pierre-Alain Rumley, Aurèle Parriaux, Vincent Kaufmann et Philippe Thalmann. Leurs remarques pertinentes lors de mon examen de thèse m'ont permis d'approfondir et d'apporter une touche finale à mon travail.

Les institutions du FNS et de l'EPFL m'ont amené un précieux soutien financier et logistique, tout comme les laboratoires du LaSUR, Geolep et du REME.

Grâce aux membres du projet Deep City : François Golay, Pierre VonMeiss, Vincent Labiouse, Claude Risch, Claude-Alain Roulet, Jean-louis Scartezzini, Martin Schuler, Marcel Arnould, Michel Boisvert, Michel Agassiz, Michel Meyer, Guillaume Dekkil, Pascal Blunier, Laurent Tacher, Philippe Thalmann, Vincent Kaufmann et Aurèle Parriaux, j'ai eu l'occasion de bénéficier d'échanges et de débats aussi précieux qu'enrichissants.

Plusieurs étudiants ont, au travers de leurs travaux, apporté informations et idées aussi diverses que stimulantes. Merci à Adeline Poux, Marlen Bigler, Roman Nägeli et Fabian Jabas.

Je remercie toutes les personnes ou institutions qui m'ont permis de réunir des données pour des recherches, notamment toutes les personnes qui ont répondu aux enquêtes et interviews, mais aussi l'Etat de Genève, les SITG, la fondation des parkings de Genève, IEC S.A, E4Tech, Emch+Berger SA, ainsi que les personnes en charge du projet CEVA.

Un grand merci à Mathieu Habegger, Benoît Dagon et Lionel Beerens pour leur soutien informatique.

J'adresse ma reconnaissance au Professeur Etienne Poltier et à Baptiste Viredaz pour leur regard pertinent sur mes recherches sur le droit du sous-sol.

Bruno, Gil et Marie-Paule m'ont permis d'y voir plus clair dans les analyses statistiques, merci.

Plusieurs personnes ont eu la gentillesse et la patience de relire des passages plus ou moins importants de ma thèse. Je leur transmets toute ma gratitude : Séverine, Laetitia, Adeline, Ali, Bruno, Marc et Valérie, Kim, Pascal et Guillaume.

J'ai eu la chance de partager de très bon moments et des moments de doute avec mes collègues. Merci à Diana, Cornelia, Séverine, Clémentine, Hanja, Marie-Paule, Stéphanie, Regi, Amy, Pascal, Dani, Greg, Pierre, Marco, Julien et Julien, David, Guillaume, Thomas, Yannick, Alain, Hossam, Karl, Etienne, Gil, Jérôme, Marc, Benoît, Nicolas, Fabien, André et tout ceux avec qui j'ai partagé des moments à l'EPFL.

Merci à tout mes amis, à ma famille, plus particulièrement mes parents, et Laetitia qui m'ont supporté, soutenu, écouté, diverti,... tout au long de ces années. Merci pour tous ces moments partagés qui m'ont permis de traverser cette épreuve.

Merci aussi à tous ceux qui m'ont proposé leur aide sans que je ne la sollicite ou que je n'aie l'occasion d'en profiter.

Enfin, je tiens à particulièrement remercier Pascal, Bruno et mon papa sans lesquels je n'aurais sans doute pas atteint l'objectif.

Avant-Propos

Le Professeur de géologie Aurèle Parriaux a observé que la planification urbaine contemporaine en Suisse n'intègre pas dans sa réflexion les données géologiques et l'exploitation du sous-sol. L'introduction du souterrain dans le processus de planification urbaine permettrait d'optimiser l'utilisation des ressources du sous-sol que sont l'espace, la géothermie, les eaux souterraines et les géomatériaux. Une utilisation réfléchie de ces ressources tend à prioriser leurs synergies plutôt que leurs conflits, mais aussi à intégrer cette dimension afin de contribuer favorablement au développement de l'urbanisme "de surface".

Une approche uniquement technocratique de cette problématique ne permettant pas d'appréhender la globalité des réalités de l'aménagement du territoire, un groupe de recherche transdisciplinaire a été formé et nommé *Deep City*. Il a été constitué de deux doctorants : Pascal Blunier axé sur la planification des ressources géologiques du sous-sol encadré par le Professeur Parriaux ; Pierrick Maire axé sur les problématiques sociologiques, économiques, juridiques et de politique urbaine encadré par les Professeurs Philippe Thalmann (économiste de l'environnement et de la construction) et Vincent Kaufmann (sociologue urbain). Ce groupe opérationnel a été conseillé par les Professeurs François Golay (géomaticien), Pierre von Meiss (architecte), Jean-Louis Scartezzini et Claude-Alain Roulet (physiciens du bâtiment), Vincent Labiouse (géotechnicien), Michel Boisvert (institut d'urbanisme de l'Université de Montréal) ainsi que par les Docteurs Laurent Tacher (géologue), Michel Meyer (géologue cantonal de Genève), Marco Keiner (urbaniste) et de Messieurs Claude Risch (ingénieur civil chez Emch+Berger) et Jean-Christophe Hadorn. Cette recherche a été effectuée dans le cadre du Programme National de Recherche 54 (PNR54) sur le développement durable de l'environnement construit. La publication Parriaux *et al.* (2010) est issue de cette recherche. L'équipe *Deep City* a également formulé des propositions pour intégrer les ressources souterraines dans la loi sur l'Aménagement du Territoire (LAT) lors de sa révision par l'Office Fédéral du développement territorial (ARE)

Cette thèse est le fruit de mes recherches menées durant ce projet. Elle a pour but d'étudier l'acceptabilité sociétale de l'intégration du sous-sol dans la planification urbaine. Ce type de recherche est une première en Suisse. Il est donc impossible d'y intégrer l'entier des paramètres de chacune des disciplines que sont l'urbanisme, la sociologie urbaine, l'économie de la construction et de l'environnement, le droit, l'architecture ou la politique urbaine. Cette étude a été élaborée comme une première approche prospective et exploratoire de ces différents sujets en Suisse.

Table des matières

Table des matières	9
1 Introduction	13
1.1 La ville compacte, une forme urbaine durable	16
1.2 Le sous-sol, une dimension oubliée	16
1.3 La planification souterraine	18
1.4 Le concept Deep City	19
1.5 En Suisse, l'exemple de Genève	20
1.6 Synthèse et perspective	24
2 Législation suisse et souterrain	27
2.1 L'aménagement du territoire en Suisse	27
Le sous-sol et l'aménagement du territoire	28
2.2 Propriété et usage du sous-sol	32
L'espace souterrain	32
Définition	32
Propriété	32
Usage	36
Les eaux souterraines	36
Définition	36
Propriété	37
Usage	38
La géothermie	38
Définition	38
Propriété	39
Usage	39
Géomatériaux	41
Définition	41

	Propriété	41
	Usage	42
2.3	Comparaison internationale	43
2.4	Risques de conflits entre les différents acteurs	44
2.5	Synthèse et perspectives	45
3	Perceptions, usages et formes de l'espace souterrain	51
3.1	Problématique	51
3.2	Méthodologie	53
3.3	Enquête quantitative sur les ouvrages de type flux	54
	Présentation de l'échantillon	54
	Traitement des résultats	57
	La perception	59
	Les usages	63
	Les formes	66
3.4	Enquête quantitative sur les ouvrages de type lieux	69
	Présentation de l'échantillon	69
	Traitement des résultats	71
	La Perception	72
	Les usages	76
	Les formes	78
3.5	Enquête qualitative : La phobie du milieu souterrain	82
	La claustrophobie	83
	La peur de l'agression	84
3.6	Synthèse et perspectives	87
4	Evaluation économique du souterrain	95
4.1	La problématique économique à l'échelle de l'urbain	96
4.2	La problématique économique à l'échelle du projet	100
	Aperçu du savoir	100
	Les coûts de construction	100
	Les charges d'exploitation	105
	Les coûts du terrain	108
	Enseignements pour la recherche	108
	Méthodologie	110
	Comparaison des coûts de construction	118
	Analyse par macroélément	118
	Prise en considération de la consommation énergétique	122

	Prise en considération du prix du terrain	125
	Synthèse de cette étude de cas	127
	Une densification grâce au sous-sol	127
4.3	Synthèse et perspectives	129
4.4	Discussion et pistes de recherche	134
5	Influence de l'opinion publique dans les projets urbains	136
5.1	Description du cas CEVA	137
	Historique du CEVA	137
	Le contexte général	139
	Les acteurs	140
	Les processus de blocage subis par le CEVA	142
5.2	Analyse politique	143
	Méthodologie	143
	Résultats	144
	Le dépouillement de la presse	144
	Les oppositions	144
	Analyse	147
	Le syndrome NIMBY	152
	La communication du projet CEVA	154
	Les conséquences sur le projet CEVA	155
	Le souterrain un avantage surestimé ?	156
5.3	Synthèse et perspectives	156
5.4	Discussion et pistes de recherche	159
6	Les leçons du cas CEVA	160
6.1	CEVA et la méthode Deep City	160
6.2	CEVA et la législation du sous-sol	161
6.3	CEVA et les résultats des enquêtes sociologiques	161
6.4	CEVA et les aspects économiques	162
6.5	La politique urbaine dans le cas du CEVA	163
6.6	Conclusion	164
7	Synthèse, discussion et conclusion	165
7.1	Les obstacles au développement du souterrain	166
7.2	Le souterrain comme une opportunité	168
7.3	Les interactions entre les différentes dimensions	169
7.4	Pistes de recherche	169

<i>TABLE DES MATIÈRES</i>	12
7.5 Conclusion sur les raisons d'un manque de développement du sous-sol urbain	170
7.6 Un cadre à l'espace souterrain	172
Bibliographie	174
Table des figures	182
Liste des tableaux	183
A Synthèse des interactions entre les usages du sous-sol urbain	186
B Etude néerlandaise de comparaison des coûts entre la surface et le souterrain	189
C Plans du bâtiment de l'étude de cas	193
D Techniques de construction souterraine	196
E Introduction au CFE	200
F Synthèse de l'étude sur l'écobilan des trois variantes de bâtiment	203
G Exemple d'études hédoniques sur la valeur des espaces non-bâti	211
H Exemple d'évaluation contingente sur les espaces non-bâti	215

Chapitre 1

Le sous-sol, un élément pour un développement urbain durable

Souvenez-vous que les murs des villes ne se forment que du débris des maisons des champs.

Jean-Jacques Rousseau (Extrait *Du Contrat social*)

Les ressources de notre planète sont mises à forte contribution. Le mode de consommation des pays industrialisés, l'augmentation de la mobilité, l'accession de nouvelles nations au statut de pays industrialisé tout comme la démographie croissante sont parmi les principales raisons d'une utilisation de plus en plus effrénée des matières premières. L'écologie est un sujet qui inquiète beaucoup la population. En Suisse, le changement climatique est ce qui préoccupe le plus les gens selon le baromètre 2010 des préoccupations publié par l'Institut gfs-Zürich¹. Des solutions sont cherchées pour ne pas épuiser ces ressources. Par exemple, différentes techniques de recyclage ont été élaborées afin de réintroduire les déchets dans le cycle de production. Si certaines de ces techniques se révèlent plutôt prometteuses, il s'agit néanmoins de reconnaître qu'elles ne sont pas pour autant des solutions miracles. Elles demandent une certaine dépense en énergie, souvent d'origine non-renouvelable. De plus, après plusieurs traitements de recyclage, le produit deviendra inexorablement un déchet. Les théories bioéconomiques de Nicholas Georgescu-Roegen utilisent la Loi de l'Entropie

1. www.gfs-zh.ch; étude menée auprès d'un échantillon représentatif de 1004 habitants de Suisse, questionnaire basé sur une échelle allant de 1 (aucune crainte) à 10 (crainte maximale).

Les changements climatiques devancent les craintes sur la santé ou d'autres socio-économiques.

(physique thermodynamique) pour démontrer que le processus économique tend à utiliser les matières premières pour les transformer en des déchets inutilisables. Pour Georgescu-Roegen, les ressources naturelles sont à fort potentiel d'utilisation, état qu'il qualifie de basse entropie. A chaque transformation ou recyclage, le potentiel d'utilisation diminue. En fin de cycle, un déchet inutilisable n'a plus de potentiel d'utilisation, l'auteur qualifie son état de haute entropie (Georgescu-Roegen, 2008). Par exemple, le pétrole (basse entropie) se transforme en essence (moyenne entropie) pour finir en gaz d'échappement inutilisable (haute entropie). Il est donc important de réfléchir avant l'utilisation d'une ressource afin d'éviter l'augmentation du niveau d'entropie ou l'utilisation d'énergie pour de multiples transformations de cette ressource. Eviter de gâcher des ressources permettrait de garder des stocks pour les générations futures.

La démographie croissante est une source d'augmentation de l'utilisation des ressources. Plus il y aura de personnes sur notre planète, plus il faudra de nourriture, d'eau, d'énergie. Une population de plus en plus nombreuse a besoin d'un espace "humanisé" de plus en plus important. Cela se traduit par un gain des surfaces construites au détriment des surfaces vertes. Selon les chiffres de l'Office Fédéral de la Statistique (OFS), la surface d'habitat et d'infrastructure a augmenté de 13,3% entre la période de 79/85 et la période 92/97. Ce phénomène d'imperméabilisation du sol favorise les inondations, perturbe le cycle des eaux souterraines et favorise leur pollution, mais a aussi des conséquences sur les biotopes (Parriaux, 2009). Wada *et al.* (2010) ont démontré une surexploitation des eaux souterraines au niveau mondial. Cette consommation non durable épuise l'eau souterraine plus vite qu'elle ne se renouvelle.

Une partie de plus en plus grande de la population mondiale se concentre en ville (cf Figure 1.1). Depuis 2007, 50% de la population mondiale y habite, alors qu'en 1910 cette proportion était de seulement 10%. Pour les pays développés, la croissance semble s'être ralentie à environ un taux de 0,5% annuel. Alors que pour les pays en voie de développement, ce taux est de 3% (UN-Habitat, 2008). Il est donc primordial de réfléchir sur l'interface qu'est la ville entre l'être humain et son environnement. Comment la ville peut-elle utiliser ces ressources au mieux pour le bien-être de ses citoyens ? Comment ne pas gâcher ces ressources afin d'en avoir une utilisation qui soit la plus durable possible ?

L'augmentation de la population urbaine cause un étalement des villes. On peut ainsi remarquer un développement des zones périurbaines. Cet étalement urbain n'est pas sans conséquence. D'une part, il a un certain coût de construction pour l'équipement de ces zones, par exemple pour les réseaux d'eau, de gaz, d'électricité ou routier (Am-

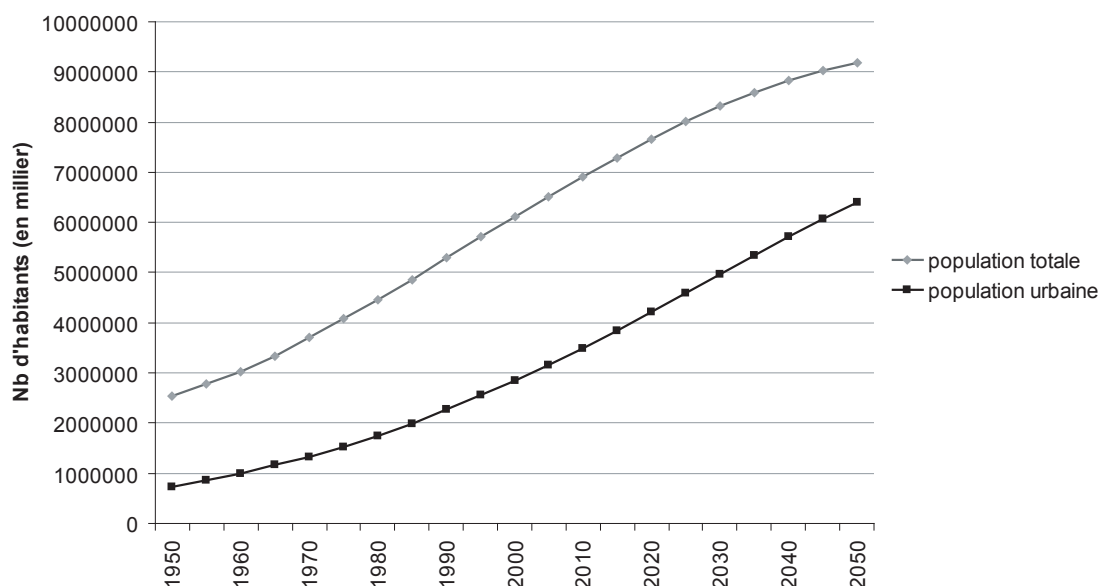


FIGURE 1.1 – Population mondiale et population urbaine de 1950 à 2050 (données : Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations ; The 2007 Revision and World Urbanization Prospects)

phoux *et al.*, 1999). D'autre part, il a d'importantes conséquences environnementales, telles que l'augmentation du trafic, l'augmentation de la pollution de l'air et les problèmes de manque d'approvisionnement en eau. Ce phénomène de périurbanisation est apparu dans les années 60, en même temps que la démocratisation de la voiture. Cette périurbanisation s'est généralement faite de manière désorganisée et en désaccord avec les principes du développement durable². Et plus précisément, elle est en opposition à un développement urbain durable³. Comment éviter un gaspillage des ressources lié à l'étalement urbain ?

2. Définition selon le rapport Brundtland de la commission mondiale sur l'environnement et le développement (1987) : "un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs".

L'objectif du développement durable est de concilier de manière cohérente et viable à long terme les trois piliers que sont l'économie, l'écologie et la dimension sociale.

3. Selon Camagni et Gibelli (1997), le développement urbain durable se définit comme l'intégration entre les trois sphères du développement urbain : économique, social et écologique

1.1 La ville compacte, une forme urbaine durable

Afin de remédier à ces problèmes, les chercheurs se sont mis en quête de solutions. La littérature nous montre que le concept de « compact city » est une piste qui a plusieurs avantages. La ville compacte structure des réseaux de transports publics et s'appuie sur une densification des zones bâties. Le choix de cette forme urbaine permettrait de favoriser des trajets courts, donc réalisables par des moyens de mobilité douce, et des trajets en transports publics pour les transports les plus longs. Les pouvoirs politiques s'intéressent à cette solution.

Bien que tout le monde soit d'accord pour dire qu'il faut combattre l'étalement urbain, le concept de "compact city" nourrit toujours le débat quant à son adéquation avec les principes du développement durable (Breheny, 1992; Frey, 1999; Hayt, 1989; Pouyanne, 2004). En Suisse, les autorités semblent se diriger vers un développement territorial favorisant les villes compactes.⁴

La densification urbaine présente dans tous les cas des avantages indéniables dans les trois piliers du développement durable. D'un point de vue environnemental, elle réduit la consommation du sol et elle favorise les trajets à pied. L'enjeu social de la densification est d'éviter la ségrégation urbaine entre les différentes couches sociales et donc de favoriser la mixité. Cependant, cela ne se fera probablement pas uniquement par le biais de la densification. Les pouvoirs publics devront prendre des mesures afin de favoriser cette tendance. Les avantages économiques de la densification sont prioritairement la baisse des coûts en infrastructures.

1.2 Le sous-sol, une dimension oubliée

Dans la pratique, les préoccupations actuelles des urbanistes sont tournées vers une densification de la ville. Les architectes travaillent beaucoup sur des projets de densités qualifiées. En Suisse, beaucoup de projets sont en cours pour requalifier des friches industrielles ou ferroviaires, afin de redensifier ces zones "mortes" de l'espace urbain. Le débat sur les tours a ressurgi alors que la population semble attachée aux villes à hauteur humaine. Si il y a tout intérêt à combler les trous du tissu urbain,

4. En 2009, l'article 6 al. a. de révision de la loi sur le développement territorial (LDTer) proposait de créer des aires urbanisées compactes. Finalement, la LDTer n'est pas entrée en vigueur. Une révision partielle de la LAT a été préférée. Actuellement, les travaux sont en cours.

à lui donner de la hauteur afin d'éviter un trop important débordement sur la campagne, n'y a-t-il pas malgré tout l'oubli constant d'une dimension qui pourrait aider à favoriser la densification des villes ?

L'espace souterrain semble généralement ne pas être intégré au débat des praticiens. Xavier Fischer (Responsable de la section romande de la fédération Suisse des Urbanistes) nous le confirme en disant que cet espace est essentiellement le domaine des ingénieurs. Il ajoute que son utilisation est actuellement anecdotique et n'est pas perçue comme un outil de la densification qualifiée. Pourtant, plusieurs auteurs défendent d'ailleurs cette idée pour un développement urbain durable (Roberts, 1996; Ray, 1998; Oreste et Soldo, 2002; Parker, 2004).

L'utilisation du sous-sol n'est pas une idée nouvelle. A travers les âges, il est déjà utilisé dans de multiples fonctions au service de l'homme :

- comme habitat, en témoigne l'emploi de cavernes ou d'habitats troglodytes ;
- comme refuge, que ce soit pour éviter d'être vu comme dans les catacombes qui servaient de refuge aux chrétiens ou pour se protéger d'attaques aériennes comme les abris antiatomiques ;
- comme local "technique" permettant à une ville d'enfouir pour des raisons sanitaires, pratiques ou esthétiques les réseaux techniques par exemple l'eau, le gaz ou les télécommunications ;
- comme lieu de stockage comme sont les caves ou les parkings ;
- comme vecteur de transport. Il permet de gagner du temps, les métros évitant les congestions du trafic de surface et empruntant un itinéraire beaucoup plus direct. Actuellement, l'utilisation du sous-sol est faite selon les besoins, de manière sectorielle et sans planification. Il est étonnant de remarquer que, bien que la planification de surface soit un outil très apprécié et qui n'est pas remis en cause, une planification tenant compte du souterrain n'a que très rarement été mise en place. Pourtant, plusieurs exemples peuvent déjà nous prouver son utilité. Par exemple, l'espace souterrain de la place de l'opéra de Paris aurait coûté trois fois moins cher si un plan préétabli avait prévu le croisement de trois lignes de métro à cet endroit (Utudjian, 1966). Messieurs Daucourt et Moggia, du service de l'affectation du canton de Genève, ont souligné que la construction d'un métro à Genève serait très difficile. Le sous-sol est tellement encombré que son tracé serait très sinueux, donc plus cher à la construction et plus lent à l'exploitation. Une planification aurait sans doute permis de réserver des couloirs pour une telle infrastructure.

L'idée de la planification souterraine et de son utilité pour régler des problèmes de surface date déjà d'un siècle. C'est l'architecte français Eugène Hénard qui le premier a mis sur papier le potentiel du souterrain pour organiser les différents types

de trafics en différents étages souterrains libérant ainsi la surface pour les piétons. Ensuite, c'est l'urbaniste et architecte français Edouard Utudjian qui s'investit le plus sur cette problématique. Il fonda le GECUS (groupe d'études du centre urbain souterrain). Utudjian proposa en 1936 de planifier le souterrain de la ville de Paris en le quadrillant d'autoroutes souterraines liées à des parkings souterrains afin d'éviter une congestion en surface (Utudjian, 1972). Mais cette proposition, comme bien d'autres, fut refusée. Malheureusement, cette association n'a pas survécu à son fondateur et disparut en 1975, sans avoir réussi à implémenter des programmes de planification du souterrain. Actuellement, d'autres organismes tels que l'ITA (International Tunneling Association) ou l'ACUUS (Association des centres de recherches pour l'utilisation urbaine du sous-sol) essaient de promouvoir l'utilisation du sous-sol urbain et sa planification.

1.3 La planification souterraine

A Montréal, deux plans de développement du sous-sol ont été mis en place, le premier par Vincent Ponte dans les années cinquante et le deuxième par Clément Demers en 1982, mais aucun des deux n'était légalement reconnu (Barles et Jardel, 2005). En Finlande, une loi oblige à considérer le choix du souterrain pour certaines infrastructures, mais il n'y a pas encore de plan d'urbanisme souterrain (Ronka *et al.*, 1998). A Tokyo, la ville a un développement souterrain assez important dû à la grande densité en surface. Ce développement a atteint un tel stade que les projets publics devenaient difficiles à réaliser. Pour cette raison, une loi limitant la propriété individuelle a été votée en 2001 (Barles et Jardel, 2005). Il faut donc constater qu'aucune stratégie aboutie de planification du souterrain n'a été à ce jour réalisée. D'autre part, la planification du souterrain devrait se faire en tenant compte des préceptes du développement durable qui pourraient être adaptés au souterrain (Besner, 2002).

Bien que différentes raisons, telles que le prix du terrain foncier, le manque de place en surface ou les problèmes de trafic aient naturellement poussé à une utilisation accrue du sous-sol urbain, aucun plan d'urbanisation souterrain légal n'est jamais entré en vigueur. Une revue de la littérature fournit plusieurs raisons qui peuvent expliquer ce phénomène :

- l'outil de l'urbaniste est le plan. Cet outil est mal adapté à la planification du souterrain et à l'heure actuelle les outils SIG 3D ne sont pas encore assez efficaces (Vahaaho et Korpi, 2004; Barles, 2006);

- les solutions souterraines sont opposées aux solutions de surface et sont implicitement disqualifiées (Chow *et al.*, 2002; Barles, 2006);
- le sous-sol souffre de sa dimension irrationnelle et de sa mauvaise perception du public (Carmody et Sterling, 1993; ACU, 1997; Duffaut et Labbé, 2002; Barles, 2006);
- les espaces sont mal considérés par les architectes (Von Meiss et Radu, 2004);
- le souterrain est un espace complexe qui demande une approche pluri- et interdisciplinaire et souvent les différents acteurs manquent de contact et de coordination (Barles, 2006; Parriaux *et al.*, 2006);
- la construction d’infrastructures en souterrain est généralement vue comme plus coûteuse qu’une solution de surface (Carmody et Sterling, 1993; ACU, 1997; Monnikhof, 1999; Chow *et al.*, 2002);
- les différents droits nationaux peuvent générer des conflits entre intérêts publics et privés (Barker, 1991; Ita, 2000).

1.4 Le concept Deep City

Le sous-sol doit être vu comme un ensemble de quatre ressources qui peuvent servir à un développement urbain durable : l’espace, l’eau, la géothermie et les géomatériaux (Figure 1.2).

- L’espace permet l’enfouissement de divers ouvrages réduisant l’étalement de surface ou la construction de transports collectifs;
- L’eau répond aux besoins en eau de boisson de la population si sa qualité est suffisante ou peut servir aux besoins industriels;
- La géothermie et la capacité de stockage thermique du sol sont utiles au chauffage et à la climatisation de manière durable;
- Certains géomatériaux peuvent être valorisés en matériaux de construction. En termes de masse, 75% de l’ensemble des flux de matières (l’eau, les hydrocarbures et la nourriture exclus) aux États-Unis sont des granulats minéraux (Decker *et al.* (2000)). En valorisant plus de géomatériaux issus des excavations indigènes, il est possible de réduire les transports et ainsi réduire les émissions de CO₂.

Jusqu’à aujourd’hui, ces ressources ont été gérées au coup par coup et de manière sectorielle. Leur manque de gestion et de planification peut amener à les dilapider, car l’usage d’une ressource peut en spolier une autre. Par exemple, l’utilisation de la ressource espace par le percement d’un tunnel dans une zone aquifère peut polluer celle-ci et porter préjudice à la ressource en eau potable (Figure 1.3). La méthode

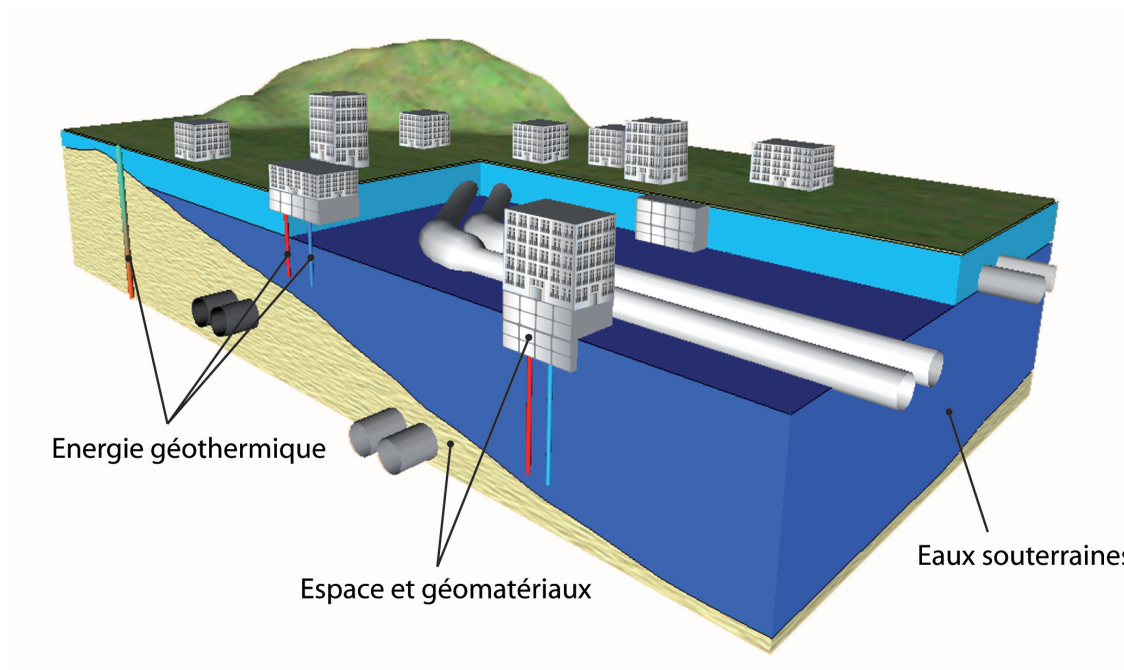


FIGURE 1.2 – Les quatre ressources du sous-sol (©Deep City/GEOLEP)

Deep City propose une approche systémique du sous-sol dans une fin de planification. Elle se décompose en deux phases principales :

1. la construction d'un modèle 3D de la géologie et du milieu bâti
2. la définition des potentialités à long terme du sous-sol en tenant compte du potentiel d'usages multiples et des interactions entre les quatre ressources selon la méthodologie "Deep City ". Ces interactions de type conflit ou synergie sont étudiées dans Blunier (2009); Parriaux (2009) (tableau récapitulatif de Blunier 2009 présenté en Annexe A).

1.5 En Suisse, l'exemple de Genève

La Suisse éprouve un mitage de plus en plus important (Jaeger *et al.*, 2008). L'ARE⁵ souhaite limiter la croissance de cette expansion. Il désire développer l'urbain vers

5. ARE : Office Fédéral du territoire

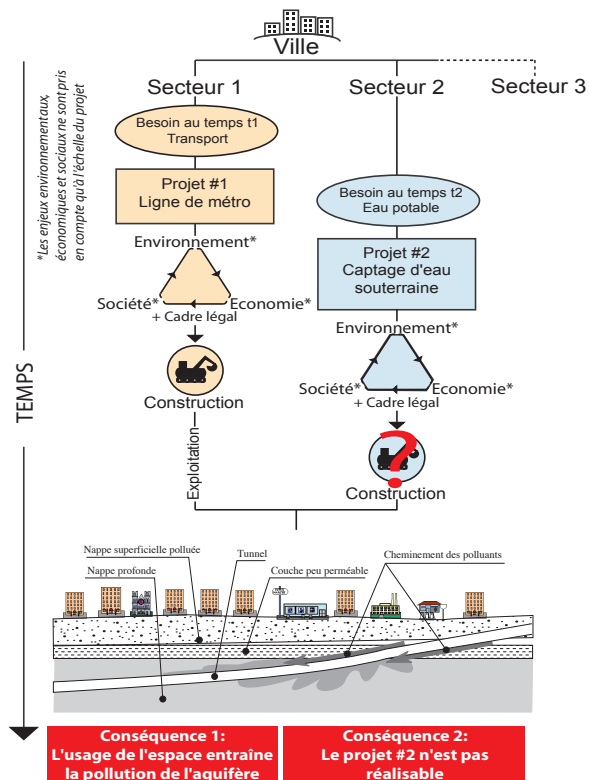


FIGURE 1.3 – Illustration d’un conflit entre deux ressources résultant d’une démarche sectorielle et du manque de planification (©Deep City/GEOLEP)

l’intérieur en densifiant les centres urbains (Menzi *et al.*, 2010). Les habitants souhaitent également préserver les espaces naturels, comme le démontrent les 14’000 signatures récoltées pour éviter le déclassement du site des Cherpines-Charrotons (canton de Genève) de zone agricole en zone constructible. Dans le même temps, les grands centres urbains font face à une pénurie de logements et de surfaces commerciales. A Genève, le taux de vacance de bureaux se situe à 0.9% (source : OCSTAT⁶). Il s’agit du plus bas taux d’Europe. Genève se situe ainsi à la deuxième place mondiale derrière Rio de Janeiro (Colliers-Ami, 2010). Depuis 2003, le taux de vacants de logements fluctue autour du 0,2%. Si l’on prend l’exemple de Genève, la demande de surface est importante, mais les possibilités de le faire en utilisant du terrain non-bâti sont fortement combattues. Les friches urbaines, la hauteur et la profondeur sont les derniers espaces à conquérir. La ville se retrouve dans une situation quasi-insulaire.

6. Office Cantonal de la Statistique genevois (OCSTSAT)

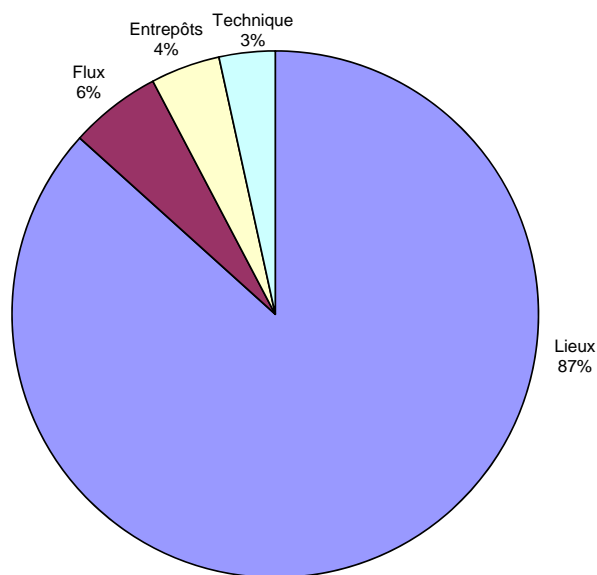
Blunier (2009) a observé que les villes de Tokyo, Helsinki et Montréal, ayant développé leurs espaces souterrains, sont situées sur des îles ou des presqu'îles accentuant la pression sur le foncier.

Si la Suisse a construit de nombreuses infrastructures souterraines telles que des tunnels, des bunkers ou des abris antiatomiques, il faut constater que jusqu'à aujourd'hui l'utilisation du sous-sol urbain est restée moindre et la planification inexistante. Depuis quelques années, la tendance a commencé à changer avec la construction d'un métro à Lausanne, de nombreuses voies ferrées à Zürich, de gares abritant des espaces commerciaux à Berne ou Zürich ou des galeries commerciales comme à Fribourg. Néanmoins, il n'existe pas encore de volonté de planifier le sous-sol à une autre échelle que le plan de quartier.

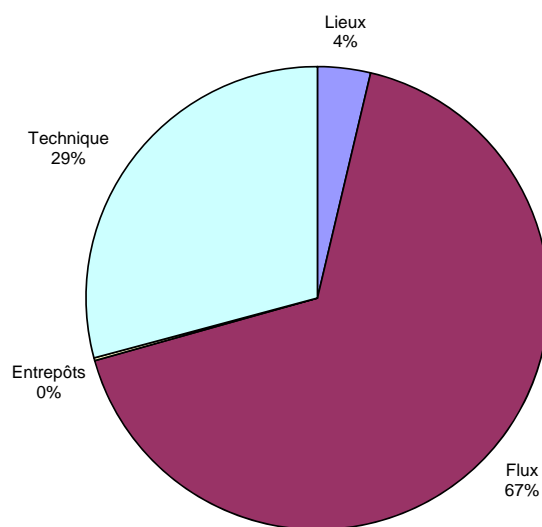
Afin de mieux connaître l'utilisation du sous-sol et quelle est l'ampleur de cette dernière, un recensement du bâti en surface et en souterrain a été effectué. Ce recensement est basé sur les données du service des systèmes d'information et de géomatique du département du territoire du canton de Genève (SITG). Le nombre des ouvrages hors-sol représente une proportion de 88%, pour 12% d'ouvrages en sous-sol. En termes de surface au sol, le pourcentage est de 70%-30%. Les ouvrages ont été classés en quatre types :

- les lieux : pour les endroits où les gens exercent une activité (travail, commerce, loisir),
- les flux : lieux liés à la circulation (parking, gare, dépôt de transports publics),
- les entrepôts,
- technique : communications, approvisionnement, autres bâtiments (principalement technique).

Cette nouvelle classification nous permet de constater que la plupart des activités en souterrain sont liées aux flux (fréquence : 54,6%, surface au sol : 66,9%), ceci surtout grâce aux parkings et aux installations techniques (fréquence : 43,1%, surface au sol : 29,2%). Alors que les lieux sont plutôt basés en surface (fréquence : 66,5%, surface au sol : 86,7%)(Figure 1.4). Cette tendance se confirme lorsque l'on observe que 83,7% de la surface des bâtiments type flux se trouvent en sous-sol et que cette proportion est de 78,6% pour les ouvrages de type technique. Ces chiffres laissent penser qu'un nombre non négligeable d'ouvrages de type lieux pourraient se situer en sous-sol afin de pouvoir densifier les centres urbains.



(a) Proportion de surface au sol de chaque type d'ouvrage hors-sol



(b) Proportion de surface au sol d'ouvrages sous-sol

FIGURE 1.4 – Comparaison de l'implantation des ouvrages hors-sol/sous-sol sur le territoire genevois

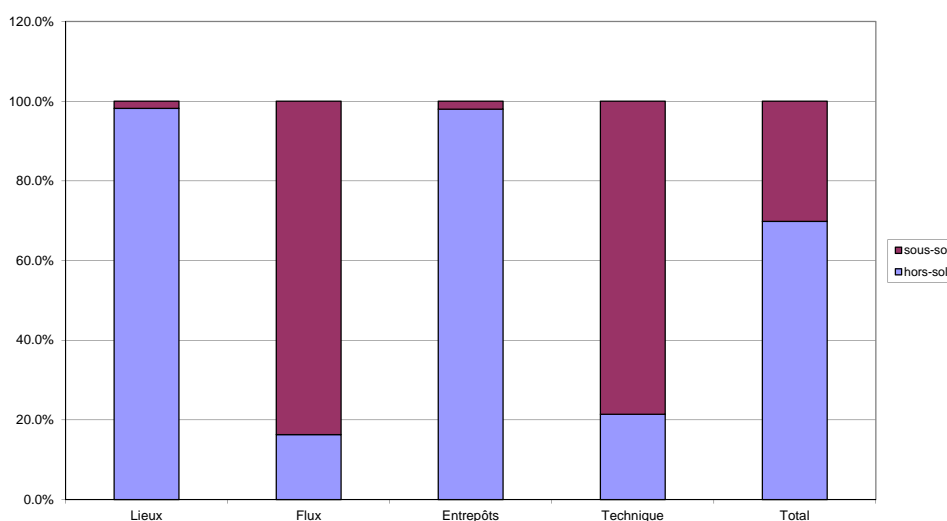


FIGURE 1.5 – Répartition hors-sol/sous-sol par type de bâtiment sur le territoire genevois

1.6 Synthèse et perspective

Les villes doivent faire face à un accroissement constant de leur population, mais l'étalement urbain n'est pas compatible avec un développement urbain durable. Elles doivent se densifier et adopter une forme compacte. Le souterrain peut être un outil parmi d'autres pour atteindre cette densité qualifiée. Son intégration à la planification urbaine fait défaut, malgré l'existence de théories sur l'urbanisme souterrain existant depuis le début du 20ème siècle. Il est donc sous-utilisé et son utilisation n'est pas optimale. Cette dernière peut générer des conflits entre les quatre ressources (espace, eau, géothermie et géomatériaux) que contient le sous-sol et léser l'une ou l'autre. La méthode Deep City propose une démarche visant à optimiser les interactions entre ces ressources. Cette démarche ne peut se contenter d'une étude purement technocratique sur l'optimisation des quatre ressources. Il est nécessaire d'étudier les facteurs humains agissant sur une intégration du sous-sol dans la planification urbaine.

En Suisse, la pression foncière dans les centres urbains est de plus en plus forte. Le sous-sol est pour l'instant sous-utilisé, la pression sur le souterrain devrait donc également augmenter. Il serait souhaitable d'intégrer le sous-sol à la planification

urbaine avant que de nombreuses activités l'investissent, ceci dans la perspective de gérer au mieux les ressources qu'il représente. Il est donc important d'améliorer la compréhension des facteurs humains qui freinent le développement du sous-sol et de chercher à donner quelques clés aux acteurs désirant l'intégrer à la planification urbaine. Cette étude a été définie comme l'acceptabilité humaine du sous-sol. La littérature sur l'urbanisme souterrain nous a permis de distinguer quatre domaines d'études principaux de cette acceptabilité humaine : le droit, la sociologie, l'économie et la politique.

1. Le droit : comment le sous-sol est-il régi ? Est-ce suffisant à une pour une intégration du sous-sol dans la planification urbaine ? Que faudrait-il améliorer ? ...
2. La sociologie : comment le sous-sol est-il perçu ? Quels pourcentages de personne ont peur du souterrain ? Quelles qualités les espaces souterrains devraient-ils avoir pour être confortables à leurs utilisateurs ? Combien de temps une personne peut-elle accepter de passer en souterrain ? ...
3. L'économie : combien coûtent la construction et l'exploitation du sous-sol ? Une plus grande implantation en sous-sol permet-elle de réduire la pression sur les prix du foncier ? La capacité géothermique d'un terrain peut-elle influencer son prix ? ...
4. La politique : La planification du sous-sol est-elle une préoccupation du monde politique ? Le sous-sol peut-il aider le monde politique à faire réaliser des projets d'infrastructure ? ...

Les sujets d'étude proposés peuvent être nombreux. L'étude d'une discipline représente déjà en soi un important travail. Mais une étude disciplinaire ne peut fournir une vision générale de la problématique de l'acceptabilité humaine du sous-sol. Il manque également les interactions entre ces diverses disciplines. Dans cette étude, il a été privilégié une approche multidisciplinaire et prospective afin de mieux connaître la problématique générale des freins et des leviers d'actions à la possibilité d'intégrer une méthodologie telle que "Deep City" dans les processus de planification. Ne pouvant couvrir l'ensemble des problématiques et des champs disciplinaires, il a été décidé de sélectionner des questions et des cas emblématiques dans chaque discipline. En se basant sur la littérature, il a été également été choisi des champs encore peu documentés ou quantifiés. Voici un aperçu des thèmes traité dans les chapitres suivants :

1. *Législation suisse et souterrain* : une étude bibliographique décrit la situation légale de la propriété en sous-sol en Suisse.

2. *Perceptions, usages et formes de l'espace souterrain* : Il s'agit d'évaluer la perception l'espace souterrain par la population, d'évaluer les phobies liées au souterrain, de déterminer le type d'activité qu'il serait acceptable de transférer en sous-sol. Ces résultats ont été obtenus grâce à des enquêtes qualitatives et quantitatives.
3. *Evaluation économique du souterrain* : cette étude compare les différences de coûts entre un ouvrage réalisé en souterrain et un ouvrage réalisé en surface. Elle est suivie d'exemples tirés de la littérature sur l'évaluation des biens environnementaux pour illustrer les macro-intérêts d'une plus grande utilisation du sous-sol dans une ville.
4. *Influence de l'opinion publique dans les projets urbains : Etude de cas du CEVA* : En Suisse, la population a la possibilité de s'opposer à la réalisation d'ouvrages que cela soit à titre privé ou à travers une association. L'avis de la population doit être pris en considération, si le maître d'ouvrage ne veut pas faire face à de longues et coûteuses démarches juridiques. Le sous-sol peut paraître avantageux pour s'éviter ce type de conflit. En effet, un ouvrage souterrain étant enterré, il ne crée pas de nuisance visuelle, sonore ou olfactive. Une étude de cas a été réalisée pour vérifier cette hypothèse.

Chaque chapitre peut permettre d'aider le décideur dans ses choix. Le croisement des résultats disciplinaires permet d'observer les interactions entre ces différents domaines et d'en tirer des recommandations pour la planification du souterrain. Le terrain d'étude principal est la Suisse qui n'a encore jamais étudié sur ces questions, mais les cas étrangers ont inspiré nos recherches. La littérature a montré que l'habitat est généralement mal adapté au sous-sol. Lorsque nous évoquons les ouvrages souterrains, l'habitat en est exclu.

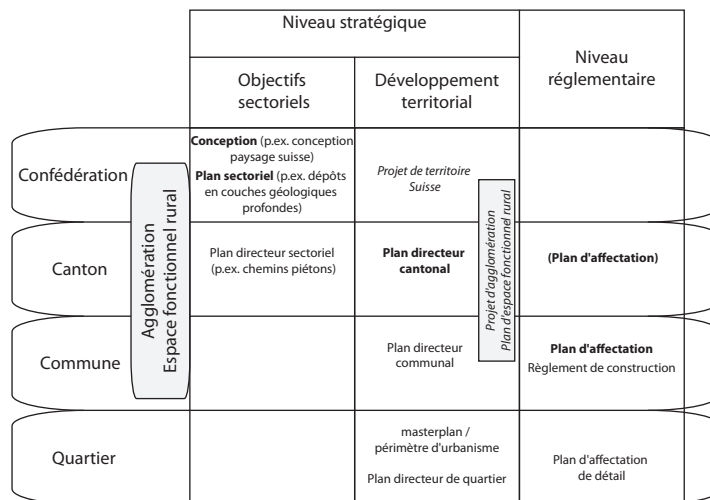
Chapitre 2

Législation suisse et souterrain

Dans la perspective de la promotion d'une planification du sous-sol ou de la mise en place la méthodologie *Deep City* (Blunier, 2009; Parriaux et al., 2010), il est primordial de s'intéresser au cadre juridique régissant cet espace. Ceci d'autant plus qu'il n'existe pas de loi propre aux ressources souterraines. Il faudra donc chercher les régimes régissant le sous-sol dans diverses lois, aussi bien à l'échelon cantonal que fédéral. Au niveau fédéral, il peut s'agir des lois telles que l'aménagement du territoire, la protection des eaux souterraines, le Code civil. Alors qu'à l'échelon cantonal, cela peut se trouver dans la police des constructions, la régle des mines ou dans la législation sur le domaine public. Certains traités internationaux concernent également le sous-sol. Ils ont principalement court dans le domaine de la protection des sols et des lois sur les eaux souterraines. Cela peut s'avérer utile par exemple lorsqu'une nappe phréatique s'étend sur deux pays.

2.1 L'aménagement du territoire en Suisse

L'aménagement du territoire suisse est régi en trois niveaux pyramidaux. Le niveau le plus élevé est celui de la confédération, puis viennent les cantons et enfin les communes. Les plans et règlements des échelons supérieurs prévalent sur ceux des échelons inférieurs. Les échelons supérieurs valident les plans et les outils d'aménagement pris à l'échelon inférieur. La confédération édicte les principes de l'aménagement du territoire à travers la loi sur l'aménagement du territoire (LAT) qui cherche à coordonner la répartition des activités humaines sur le territoire en visant une utilisation



Outils définis par la Loi sur l'Aménagement du Territoire
Outils complémentaires définis dans la Loi sur le Développement Territorial

FIGURE 2.1 – Principaux outils d’aménagement du territoire et échelle de réalisation (Blunier, 2009)

mesurée du sol (art. 1 LAT). La confédération utilise également les plans sectoriels afin de planifier des secteurs nationaux comme le transport ou la défense. Les cantons développent un plan directeur cantonal qui est un instrument stratégique de pilotage et d’affectation. Au niveau communal, les plans d’affectation vont déterminer les zones urbanisées et leurs types et les zones non-urbanisées, alors que les règlements sur les constructions ont un impact sur l’esthétique et les gabarits des bâtiments (Figure 2.1).

Le sous-sol et l’aménagement du territoire

Dans les faits, le système confédéral utilise les trois niveaux administratifs et légaux que sont la confédération, les cantons et les communes. Blunier (2009); Parriaux *et al.* (2010) définissent trois niveaux dans la planification du territoire : le niveau stratégique, le niveau réglementaire et le niveau opérationnel. Blunier (2009); Parriaux *et al.* (2010) constatent que la planification du territoire suisse ne présente à aucun niveau institutionnel, ni à aucun niveau stratégique une appréhension du sous-sol suffisante. Afin d’avoir un impact national, il est important de pouvoir intégrer le sous-sol dans les lois fédérales. Fort de ce constat, le groupe de recherche

Deep City a profité de la révision de la LAT en 2008 (projet de nouvelle loi fédérale sur le développement territorial, la LDTer) pour formuler diverses propositions afin d'intégrer le sous-sol dans cette loi. L'intégration du sous-sol a bien été accueillie par l'Office Fédéral du Territoire. Lors de la mise en consultation, auprès des cantons, des services et de commissions de la confédération, d'experts et d'associations professionnels, le projet de loi sur le développement territorial (LDTer) proposé par le Conseil fédéral a suscité plus de 250 prises de position. La majorité s'est déclarée favorable à une révision de la loi sur l'aménagement du territoire (LAT). Par contre, elle rejette une révision totale. Les cantons, en particulier, considèrent que la révision totale proposée est trop vaste. Ils souhaitent être associés plus étroitement aux travaux de révision. Le 15 mai 2009, le conseiller fédéral Moritz Leuenberger annonce renoncer au projet de LDTer et favoriser une révision partielle de la LAT. Cette dernière est actuellement en cours.

Le 3 décembre 2009, le conseiller aux Etats Felix Gutzwiller a déposé une motion au parlement nommé "*Chaos en sous-sol. Nécessité de compléter la loi sur l'aménagement du territoire*". Cette motion propose d'intégrer le sous-sol dans la notion de territoire et d'assurer une utilisation ordonnée du sous-sol et sa coordination. Bien que le gouvernement reconnaisse l'utilité de la prise en compte des données du sous-sol, elle a été refusée par le parlement le 30 septembre 2010, car cela engendrerait aussi bien de du travail administratif que des coûts supplémentaires.

Le 11 février 2009, la conseillère nationale Kathy Riklin a également déposé une motion. Elle est intitulée "*Elaboration d'une loi sur l'exploitation durable du sous-sol*". Elle propose notamment de sécuriser l'approvisionnement en ressources et la prévention des conflits d'utilisation de ces ressources en donnant la compétence à la confédération et aux cantons de planifier les possibilités d'exploitation futures et l'accès aux données géologiques. Bien que reconnaissant l'intérêt de cette problématique, le Conseil Fédéral la juge prématurée et a évalué cette proposition comme étant trop détaillée.

Ces différents exemples démontrent que le monde politique fédéral est pour l'heure encore peu concerné et peu sensibilisé aux problématiques liées à la planification du souterrain. Il est donc important de sensibiliser et renseigner les décideurs politiques à ces problèmes afin qu'ils promulguent des lois qui favorisent cette démarche. Il est intéressant de remarquer que ce manque d'impulsion créé par le haut de la pyramide de l'aménagement du territoire en Suisse se propage jusqu'à la base de cette dernière. En effet, les responsables de l'affectation de Genève avouent que la prise en compte du souterrain se fait toujours en aval des projets. Les services administratifs vérifient

que les projets n'ont pas de conséquence négative sur la protection du sous-sol. Cela reste une démarche sectorielle ne permettant pas une réflexion à large échelle et tenant compte des potentiels de synergie entre les quatre ressources du sous-sol. Pour le service de l'affectation, la planification du sous-sol ou une réflexion sur la volumétrie construite en sous-sol peuvent-être envisagées dans de nombreuses années ou si les demandes de construction en sous-sol venaient à se multiplier. Ils concèdent néanmoins que ce manque de planification a déjà des conséquences à l'heure actuelle. En effet, le centre-ville de Genève contient de nombreux bâtiments, notamment des banques qui ont d'importants volumes souterrains. La construction d'un métro serait extrêmement compliquée, voire impossible, car il devrait serpenter entre ces ouvrages.

Dans l'aménagement du territoire, la prise en compte du sous-sol peut se faire au niveau communal par le biais de plans localisés ou de plans de quartiers. Ils définissent généralement la planification des réseaux techniques, des caves et des garages. Ils se font en bonne entente entre les services administratifs et les promoteurs. Le service de l'affectation de Genève précise que généralement, ils négocient pour l'étalement du souterrain plutôt que de creuser plus en profondeur pour une question de coûts. Les négociations portent sur l'emprise du sous-sol au-delà des bâtiments en surface. La problématique des coûts de construction est donc primordiale pour les promoteurs. Cette thématique sera abordée au chapitre 4.

Les constructions en sous-sol sont régies par les lois sur les constructions cantonales. En général, ces règles ne définissent pas de gabarits comme c'est le cas en surface. Elles édictent plutôt des règles générales qui permettent une discussion entre les promoteurs et les services administratifs. Dans le cas de Genève, la *loi sur les constructions et les installations diverses* précise que l'habitat est interdit en sous-sol. Par contre, les lois n'interdisent pas de travailler en souterrain. Le souterrain peut donc développer d'autres activités que des réseaux techniques ou des zones de parkings. Le chapitre 3 étudie quelles activités sont les mieux acceptées par la société. Néanmoins, la loi sur le travail exige une source de lumière naturelle dans les locaux (art 15, al.2, Ordonnance 3 relative à la loi sur le travail) et d'avoir une vue sur l'extérieur (art 24, al.3, OLT3) à moins de prendre des mesures particulières, notamment en offrant aux travailleurs un local de pause respectant ces normes. Les employés doivent donc remonter plusieurs étages pour prendre leur pause. Cela peut paraître comme un inconvénient pour les employeurs.

La réglementation n'étant pas fixée pour le sous-sol, les promoteurs doivent négocier avec l'administration. Les promoteurs sont donc soumis à un certain bon vouloir de cette dernière. Les négociations vont ralentir le projet. Le coût de ces contraintes ad-

ministratives est un frein au développement de l'espace souterrain. Les exigences des services administratifs peuvent provoquer des surcoûts de construction. Par exemple, lors de la construction de la zone commerciale souterraine du Flon à Lausanne, le canton a exigé de modifier les plans afin d'amener plus de lumière naturelle. Ces modifications ont eu un impact sur les coûts. Dans les faits, le puits de lumière construit sert à être en conformité avec la loi, mais n'assure aucun confort supplémentaire aux travailleurs. En effet, comme il s'agit d'un espace de vente, la lumière y est extrêmement étudiée pour mettre en valeur les produits, tout comme dans un supermarché de surface. Le promoteur de ce projet a d'ailleurs cité les locaux de pause hors-sol et les puits de lumière naturelle comme des freins administratifs et législatifs au développement de projets souterrains.

Si une planification du sous-sol ou la méthodologie Deep City devait être mise en place, cela nécessiterait de bien connaître cet espace. Il est donc nécessaire de récolter ces données pour pouvoir les représenter et les analyser grâce à un *Système d'Information Géographique* (logiciel SIG), comme cela se fait avec la surface. A ce sujet, la conseillère nationale Kathy Ricklin a interpellé le Conseil Fédéral le 23 novembre 2009. Ce dernier a répondu en ces termes : *“Les données sur la structure et la constitution du sous-sol sont collectées aujourd'hui déjà sous diverses formes : le service géologique national collecte des informations sur l'utilisation durable du sous-sol, l'Office fédéral de l'environnement et les cantons des informations sur la constitution du sol, sur l'hydrologie et l'hydrogéologie ainsi que sur les pollutions chimiques du sol et du sous-sol, tandis que la loi sur la géoinformation et l'OCRDP visent à ce que toutes ces données sur la constitution et sur les propriétés du sous-sol soient mises à la disposition de la collectivité pour être largement utilisées. En revanche, il n'existe aucune base légale de droit fédéral qui régisse la publication de données provenant des activités de l'économie privée. En dépit des progrès qui ont été accomplis ces dernières années, il subsiste encore des lacunes qui devront être progressivement comblées”*. Il existe donc un grand nombre de données aux mains du privé dont l'état ne pourrait pas se servir s'il désirait intégrer le sous-sol dans la planification urbaine.

2.2 Propriété et usage du sous-sol

L'espace souterrain

Définition

Dans les textes de lois suisses, il ne figure aucune définition du sous-sol, ni même de différenciation avec le sol. En fait, on y parle indifféremment de sous-sol pour des profondeurs très variables et de sol pour toutes les différentes couches de l'espace souterrain. On peut encore remarquer des différences dans les textes en allemand et en français, où "Untergrund" sera parfois traduit par "sol". Cela démontre une méconnaissance par les hommes de loi de ce domaine, mais également la sous-estimation de son potentiel.

Propriété

En droit romain, le législateur n'avait pas fixé de limite en hauteur et en profondeur à la propriété : "cujus est solum, ejus est usque ad sidera, usque ad inferos". Le droit suisse propose une solution plus adaptée à l'évolution des techniques et au développement souterrain. En effet, le principal article du droit suisse régissant la propriété du sous-sol, l'art. 667 du Code civil introduit la notion d'intérêt du propriétaire : "al.1 : La propriété du sol emporte celle du dessus et du dessous, dans toute la hauteur et la profondeur utile à son exercice ; al.2 : Elle comprend, sous réserve de restrictions légales, les constructions, les plantations et les sources". L'auteur de cette loi, Eugène Huber, justifie ainsi ce choix délibéré : "Des expropriations de terrain pour le percement de tunnels à quelques centaines de mètres de profondeur, ne peuvent s'étendre à toute la hauteur, jusqu'au sommet de la montagne, et ce n'est pas le seul cas dans lequel la solution admise rendra des services".

La question centrale est donc de savoir où s'arrête l'intérêt du propriétaire. Les principes de base de l'interprétation de l'intérêt du propriétaire peuvent se résumer en ceci selon Thorens (1970) : "La propriété du sol emporte celle du dessous et du dessus pour autant d'une part que la maîtrise en soit réellement possible au propriétaire et serve à l'utilisation de l'immeuble (aspect positif) et pour autant d'autre part que l'activité du tiers au dessus et au dessous du sol puisse porter effectivement préjudice à cette utilisation (aspect négatif)". Son résumé se base sur la jurisprudence et la doctrine dont il a tiré huit critères :

1. L'intérêt du propriétaire du sol ne peut pas consister dans le simple fait qu'il a intérêt à recevoir une indemnité et qu'il aurait donc intérêt à s'opposer à une construction à quelque profondeur qu'elle soit dans le but d'obtenir une prestation (confirmé récemment par ATF 132 III 353).
2. La distance, plus ou moins grande, en profondeur est un élément déterminant pour l'appréciation de l'intérêt du propriétaire.
3. L'intérêt qui doit être pris en considération n'est pas seulement l'utilisation du sol exercée lors de la demande ou qui est déjà exercée mais toute possibilité de jouissance, d'utilisation avec la réalisation desquelles le propriétaire foncier peut compter dans un avenir prochain d'après le cours ordinaire des choses et d'après l'expérience de la vie.
4. Il doit exister une possibilité d'utilisation, d'exploitation par le propriétaire du sol ; il faut donc la maîtrise, c'est-à-dire la possibilité réelle d'utilisation.
5. L'intérêt doit être en rapport avec le droit de propriété comme tel.
6. L'intérêt du propriétaire peut varier dans le temps suivant les circonstances :
 - a) Il existe aujourd'hui ou existera demain telle possibilité pratique de construire qui n'existait pas hier ou n'existe pas aujourd'hui, ex. une zone destinée primitivement à des constructions basses va recevoir de grands immeubles.
 - b) Ensuite de l'évolution technique et économique des constructions nouvelles deviennent possibles qui n'étaient que difficilement ou même pas concevables auparavant.
7. L'intérêt peut consister dans le fait que l'activité du tiers, bien que se faisant à une profondeur telle que l'immeuble en cet endroit échappe à la maîtrise du propriétaire, est de nature à nuire à sa propriété et à lui porter effectivement préjudice (éboulement, tarissement de sources, bruits, odeurs, etc.).
8. Enfin et surtout pour décider de l'existence d'un intérêt dans un cas déterminé il faut examiner les circonstances du cas concret, avant tout la nature de l'activité.

Enfin, pour se faire un ordre d'idée de cette profondeur, on remarque que, dans la pratique, à plus de cinq mètres de profondeur, les maîtres d'ouvrage creusant des tunnels ne font pas de démarche particulière. On peut également citer la réponse du conseil fédéral du 8 mars 2002 au conseiller national Rémy Scheurer : "Sur la base de l'ATF 122 II 427, on peut conclure que la propriété foncière s'étend jusqu'à une profondeur de 7 à 8 mètres au moins".

Les techniques et les intérêts actuels ont considérablement approfondi la maîtrise que les propriétaires peuvent avoir de leur espace souterrain. L'exemple type est

l'installation de pompes à chaleur, comme l'explique Matthey (1986) : "il est permis de considérer l'exploitation de la chaleur souterraine comme un attribut servant à la pleine utilisation de l'immeuble. Le propriétaire y a un double intérêt. D'une part, elle lui permet de chauffer sa maison. D'autre part, cette utilisation, pour demeurer efficace, doit rester l'apanage du propriétaire. A défaut, la rentabilité de l'installation risque d'être diminuée". Une pompe à chaleur pouvant atteindre les 100 mètres (voire 200 à 300 mètres), il est imaginable de bloquer n'importe quel projet jusqu'à cette profondeur. En milieu urbain, cela équivaut à pouvoir paralyser la plupart des projets souterrains. Il existe cependant certaines conditions à cela, elles seront exposées dans la partie de ce texte sur la géothermie.

Le régime hors propriété définit légalement l'espace au-delà de l'intérêt du propriétaire. En Suisse, la doctrine, notamment Meier-Hayoz (1975), a qualifié la partie du sous-sol hors intérêt du propriétaire du sol, comme chose sans maître ou du domaine public. Or selon l'art. 664 al 1 du CC : "Les choses sans maître et les biens du domaine public sont soumis à la haute police de l'état sur le territoire duquel ils se trouvent". Donc le sous-sol hors propriété peut être considéré comme soumis à la souveraineté de l'état. De plus, l'al 3 art 664 CC prévoit : "La législation cantonale règle l'occupation des choses sans maître, ainsi que l'exploitation et le commun usage des biens du domaine public, tels que routes, places, cours d'eau et lits de rivières". On peut en déduire que c'est le canton qui détient la souveraineté de cette partie du sous-sol. Toute personne qui voudrait utiliser cette partie du sous-sol devra demander une concession au canton. Généralement, les cantons réglementent ces remises de concession à travers une régie des mines. La suprématie du canton sur la partie du sous-sol inférieure à la partie privée a été approuvée par la jurisprudence, notamment par l'ATF 119 Ia 390 qui a confirmé que la Landsgemeinde de Nidwald pouvait empêcher l'octroi d'une concession pour la construction d'un dépôt de déchets radioactifs.

En considérant que, grâce à de meilleures techniques et à cause de prix fonciers croissants, l'intérêt des propriétaires et de l'état va aussi s'accroître, on peut en déduire que le nombre de conflits va inexorablement augmenter. Pour ce problème, il serait intéressant d'intégrer les propositions de Thorens (1970) qui propose d'objectiver l'intérêt en fonction du bien-fonds : "Cette détermination relativement objective de l'intérêt du propriétaire du sol permettrait aux juges appelés à trancher un litige d'appliquer les mêmes règles dans les mêmes zones en fonction des circonstances et des conditions locales. La limite en profondeur de la propriété foncière ne changerait donc pas selon les propriétaires mais selon ces circonstances et ces conditions. Si on admet cette théorie d'un intérêt objectivé on arrive à la conclusion que dans une zone

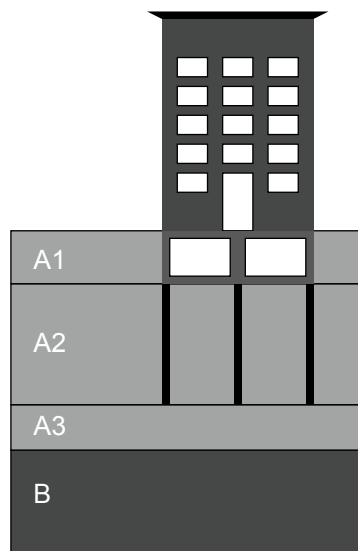


FIGURE 2.2 – Division de la propriété du sous-sol (adapté de Knapp, 1987) La couche susceptible de propriété et ses 3 strates : construite (A1), fondations (A2), prévention (A3) ; la couche hors propriété (B)

donnée, l'intérêt des propriétaires sera plus ou moins le même et qu'en conséquence la limite en profondeur de la propriété foncière sera également plus ou moins la même". Cela permettrait probablement d'offrir un cadre plus transparent à la propriété des tréfonds et donc de minimiser les conflits.

Pour se représenter ces différentes zones de propriété en sous-sol, on peut reprendre les schémas de Knapp (1987). Il les découpe en deux couches successives : la couche susceptible de propriété, puis la couche hors propriété : "la première couche comprend trois strates : la strate construite ou utilisée selon le régime de la zone ou susceptible de l'être ; la strate des fondations et autres constructions structurelles permettant la réalisation de la première strate ; la strate correspondant à l'exercice du droit d'interdiction ou de prévention envers les actes de tous les tiers" (Figure 2.2).

Il existe encore d'autres restrictions à la propriété de l'espace souterrain indépendamment de l'intérêt du propriétaire du fonds. Il s'agit notamment du cas des curiosités naturelles, des antiquités ou certaines conduites ou canaux (art. 691 al.1 CC). Mais cela peut aussi être le cas d'une partie des eaux souterraines et de l'exploitation de sites miniers, comme nous allons l'explicitier par la suite.

Usage

Tout comme en surface, le droit public de la construction limite le droit public du propriétaire du bien-fonds, notamment par le biais de législations relatives à la protection de l'environnement, à l'aménagement du territoire et à la police des constructions. Knapp (1987) utilise même ces droits pour définir l'intérêt du propriétaire : "En conclusion, nous pensons que l'étendue en profondeur du droit de propriété, dans la mesure où elle vise la sphère du pouvoir du propriétaire d'utiliser son droit de faire quelque chose, est définie par les droits qu'il reçoit du droit de l'aménagement du territoire, du droit des constructions et du droit civil. Au-delà, il n'y a pas de droit d'utilisation du sous-sol et, partant, pas d'intérêt digne de protection ni de propriété privée". Cette argumentation de Knapp recoupe l'avis de Thorens, dans le sens que la profondeur de la propriété ne dépend pas directement de l'intérêt du propriétaire. Knapp n'objectivise pas cet intérêt par rapport aux circonstances et conditions de la zone, mais il objectivise en fonction de la législation (droit public de l'aménagement du territoire et droit des constructions).

Si un particulier veut utiliser une partie du sous-sol revenant à l'état, deux cas peuvent se présenter. Soit il s'agit d'une propriété de l'Etat et le particulier devra obtenir une servitude. Soit il s'agit du domaine public, alors le particulier devra obtenir une permission ou une concession ; en effet on ne pourra envisager un usage collectif du tréfonds.

Si l'autorité publique désire utiliser le sous-sol d'un particulier, elle devra obtenir un titre de droit civil (servitude, contrat, accord) ou dans une autre mesure exproprier partiellement ou entièrement le propriétaire. Les critères qui définiront le montant d'indemnisation d'expropriation ou du contrat dépendront à la fois de l'utilisation du tréfonds lui-même, mais également des incidences en surface. En effet, les constructions futures en surface pourraient être affectées par la construction du sous-sol par des tiers, car les possibilités en superstructure souterraine seront plus limitées ou plus coûteuses.

Les eaux souterraines

Définition

Deschenaux et Jaggi (1959) définissent les eaux souterraines comme étant toutes les eaux qui occupent le sous-sol sous la forme d'une masse fluide et qui ne constituent

pas un cours d'eau, ou ne sont pas simplement des eaux de surface se trouvant fortuitement, et pour quelque temps, sous la terre.

Propriété

L'article 73 de la Constitution répartit les pouvoirs sur les ressources en eau entre la Confédération et les cantons. La Confédération assure une utilisation rationnelle de l'eau (p.ex. : art. 30-35 RS 814.20 Loi fédérale sur la protection des eaux, LEaux) et veille à sa protection en fixant les principes applicables aux interventions humaines dans le cycle hydrologique (p.ex. : annexe 1, 2, 4 Ordonnance sur la protection des eaux). Les cantons ont le pouvoir de disposer de l'eau dans le cadre légiféré par la Confédération. Le code civil spécifie notamment le régime auquel sont soumises les sources, notamment l'art. 667 al.2 (source comprise dans la propriété) et l'art. 704 : "Al.1 : Les sources sont une partie intégrante du fonds et la propriété n'en peut être acquise qu'avec celle du sol où elles jaillissent. Al.2 : Le droit à des sources jaillissant sur fonds d'autrui est constitué en servitude par son inscription au registre foncier. Al.3 : Les eaux souterraines sont assimilées aux sources". Ces deux articles laissent à penser que les sources et les eaux souterraines sont liées au bien-fonds si elles se trouvent à une profondeur correspondant aux critères de l'étendue en profondeur de la propriété (art. 667 CC). Le tribunal fédéral a tranché dans ce sens à deux reprises (ATF 43 II 152, ATF 93 II 170). Mais la doctrine a critiqué cette jurisprudence et a proposé de distinguer les sources privées des sources qui forment dès le départ un cours d'eau. La doctrine poursuit en proposant d'inclure les sources de ruisseau au cours d'eau lui-même plutôt qu'au bien-fonds (Guisan, 1942; Liver, 1963; Deschenaux et Jaggi, 1959). Dans ses décisions les plus récentes, le TF a suivi cette opinion de la doctrine (ATF 97 II 333, ATF 106 II 311, ATF 122 III 49), ceci afin de préserver des masses d'eau pouvant être utilisées par la collectivité. Dans ce cas, c'est l'art. 664 CC qui s'applique. Il revient donc aux cantons de déterminer ce qu'est un cours d'eau et donc la limite entre domaine public et domaine privé. On peut citer quelques exemples de législations cantonales, ainsi les cours d'eau souterraine et les nappes d'eau souterraines du canton de Vaud qui ont un débit supérieur à 300 litres/minute font partie du domaine public cantonal, tout comme dans le canton de Zürich et du Valais. A Genève, les eaux du domaine public sont les nappes souterraines principales, à savoir les nappes de forte capacité permettant une exploitation d'un débit moyen supérieur à 300 litres/minute et dont le bassin d'alimentation s'étend à une aire d'au moins un kilomètre carré et les nappes d'eau souterraine profondes, à savoir les nappes pouvant exister dans la molasse profonde

ou dans les formations géologiques plus anciennes. Alors que dans le canton de Berne, les eaux publiques sont les eaux souterraines présentes dans les roches meubles ou consolidées si elles s'étendent sur plusieurs biens-fonds ; ainsi que celles affleurant naturellement à la surface sous forme de source (de lac, de rivière ou de ruisseau) lorsqu'elles forment ou qu'elles alimentent de manière significative une eau de surface stagnante et courante pérenne ayant formé un lit qu'elles empruntent en permanence (le flux d'alimentation est considéré comme significatif s'il est en mesure de former à lui seul une eau de surface). Il est possible de concevoir ces lois sur les eaux souterraines comme un nouveau facteur d'objectivation de l'étendue de la propriété, limitant de facto l'intérêt du propriétaire. En effet, en fonction de la profondeur et de l'ampleur des eaux souterraines, la propriété sera limitée jusqu'à une profondeur qui permettra de protéger la source d'eau souterraine, en fonction des règles de la LEaux (Loi sur la protection des eaux), de l'OEaux (Ordonnance sur la protection des eaux) et des lois cantonales.

Usage

S'il s'agit d'eau privée, le particulier pourra profiter de son bien. Lorsqu'il s'agit d'eau publique, le particulier devra demander une permission au canton, généralement contre le paiement d'une redevance, afin d'exploiter ces eaux souterraines quelqu'en soit le type d'utilisation : pompage, force hydraulique ou utilisation hydrothermique. Dans beaucoup de cantons, un pompage inférieur à 300 litres/minute requiert une autorisation du canton, alors qu'un pompage supérieur requiert une concession. Dans tous les cas, l'utilisateur sera soumis aux lois de protection de l'eau.

Grâce aux lois fédérales (essentiellement : LEaux, OEaux, Opel), les limites d'utilisation des eaux souterraines viseront à protéger leur qualité en cherchant à éviter toute pollution, mais également à éviter le tarissement de ces sources par un pompage trop important.

La géothermie

Définition

Matthey (1986) a défini la géothermie comme ceci : "Par énergie géothermique, il faut entendre la chaleur de la terre. Cette dernière augmente avec la profondeur. La

chaleur de la terre, contenue dans des vecteurs pouvant être de l'eau ou des roches, augmente avec la profondeur. L'exploitation de l'énergie géothermique consiste à prélever la chaleur contenue dans ces vecteurs pour la transmettre à d'autres “

Propriété

Au sujet de la propriété de la géothermie, deux doctrines s'affrontent. La première se base sur le Code civil qui dit que la propriété de droit privé s'applique uniquement à des choses.

Une chose, dans le droit civil suisse, est un objet impersonnel, défini et physique, existant pour lui-même, et qui est humainement maîtrisable. La géothermie (la chaleur), n'étant pas une chose physique, ne peut pas être une chose au sens légal du terme. Elle serait donc soumise aux règles du droit public, et plus précisément soumise au droit régalien, comme le sont le pétrole ou le gaz.

La deuxième doctrine s'appuie sur l'art. 713 CC : “La propriété mobilière a pour objet les choses qui peuvent se transporter d'un lieu dans un autre, ainsi que les forces naturelles qui sont susceptibles d'appropriation et ne sont pas comprises dans les immeubles”. Cette doctrine comprend que la chaleur souterraine est une qualité du sol et non pas une chose comme les minéraux et les combustibles.

La deuxième doctrine est la plus communément acceptée. Matthey (1986) souligne que l'exploitation géothermique et l'exploitation minière sont si différentes qu'il n'est pas possible d'étendre le monopole cantonal sur les mines à la géothermie. Dans la pratique, l'énergie géothermique est considérée comme une force de la nature au sens de l'art. 713 CC et peut donc être l'objet de propriété privée. Étant donné que l'intérêt du propriétaire à la chaleur souterraine est indiscutable (comme montré au point 2.2), Matthey (1986) propose un intérêt objectivé selon les possibilités locales d'exploitation de chaleur, ce qui permettrait de déterminer l'étendue en profondeur de la propriété. Cet intérêt objectivé serait déterminé par les caractéristiques géologiques locales, l'état de la technique, et les nécessités de l'immeuble.

Usage

Il existe deux méthodes d'utilisation de la chaleur géothermique, soit par pompage de l'eau chaude, soit par injection d'eau dans des roches chaudes afin de la chauffer.

Pour ce dernier cas, tout dépendra de la profondeur de l'installation. De manière générale, le régime sera déterminé par les règles exposées dans le début de ce texte, en fonction des sous-sols que l'installation utilise. Pour le premier système, tout sera déterminé par les eaux que l'on va pomper. La législation sur les eaux, vue précédemment, va donc déterminer le régime légal auquel la pompe à chaleur sera soumise. Nous pourrions résumer que le droit va dépendre de la nature des ressources. L'autre facteur important sera la profondeur à laquelle se situera l'installation.

Pour commencer, nous allons traiter du cas le plus simple, celui des collecteurs installés en faible profondeur. Comme ces installations ne descendent généralement pas à plus de deux mètres, il n'y a aucun motif d'interdire l'exploitation de cette chaleur étant donné qu'elle est encore liée au bien-fonds. Elle ne dépend donc que de la volonté du propriétaire.

Nous pouvons ensuite étudier le cas de la géothermie descendant entre 50 et 200 mètres. Nous pouvons regrouper deux cas de figure. Premier cas de figure : l'installation est immergée dans des eaux relevant du domaine public ; dans cette situation, s'il pompe moins de 300 litres/minute, le propriétaire devra demander une autorisation au canton pour en bénéficier, alors que s'il pompe en plus grande quantité il devra demander une concession. Deuxième cas de figure : le propriétaire pompe dans une nappe d'eau privée, et dans cette situation il doit pouvoir bénéficier de cette chaleur indépendamment du canton.

Dans le cas d'un forage profond qui pourra soit chauffer un groupe d'habitations (chauffage à distance) ou produire de l'électricité, l'exploitant devra de toute façon demander une concession au canton, car à de telles profondeurs il paraît très difficile d'établir un lien de propriété avec la surface. Dans les droits régaliens les plus récents (Berne), la géothermie profonde a été incluse dans les monopoles de l'état.

Dans tous les cas, le propriétaire sera soumis aux lois de protection sur les eaux, ce qui peut aller jusqu'à l'empêcher de forer dans certains endroits. Il devra aussi se soumettre aux restrictions de l'OEaux annexe 2.21, c'est-à-dire :

- Al.2 : La qualité des eaux du sous-sol doit être telle que ces dernières ne polluent pas les eaux de surface lors de l'exfiltration.
- Al.3 : L'apport ou le prélèvement de chaleur ne doit pas modifier la température naturelle des eaux du sous-sol de plus de 3° C ; les fluctuations de température localement très limitées sont réservées.
- Al.4 : L'infiltration d'eaux à évacuer ne doit entraîner dans les eaux souterraines :
 1. aucune altération gênante de l'odeur de l'eau par rapport à l'état naturel ;
 - 2.

- aucun manque d'oxygène ni altération du pH de l'eau ; 3. aucune turbidité ni coloration de l'eau, sauf dans le cas des eaux présentes dans les roches compactes.
- Al.5 : Les installations d'infiltration, le prélèvement d'eau et les autres interventions liées à la construction doivent autant que possible ni endommager les couches de couverture protectrices ni modifier l'hydrodynamique au point d'entraîner des effets nuisibles sur la qualité de l'eau.

L'exploitation de telles installations devra également se soumettre à des réglementations techniques telles que l'Opel (ordonnance sur la protection des eaux contre les liquides pouvant les polluer) qui régleme le type de liquide caloporteur (cf. art. 8), la sécurité des installations (notamment les fuites, cf. art. 5-7), ceci en fonction des zones de protection des eaux (cf. art. 9). Finalement, l'utilisation d'une pompe à chaleur devra également suivre les lois cantonales (p.ex. RPCh du canton de Vaud).

Géomatériaux

Définition

Les géomatériaux sont formés par les roches et les sols. Dans les textes juridiques, il n'est jamais fait allusion aux géomatériaux. Les sols sont évoqués au niveau fédéral dans la loi sur la protection des sols ; les roches et les minerais le sont au niveau cantonal dans les différentes régales des mines. Dans notre cas, l'intérêt sera porté aux géomatériaux contenus dans le matériel d'excavation. Selon la directive sur les matériaux d'excavation de l'office fédéral de l'environnement, les matériaux d'excavation et les déblais sont les matériaux excavés lors des travaux de génie civil ou de construction telle que fouilles, tunnels, cavernes et galeries. Ils sont constitués de roches meubles (graviers, sables, limons et argiles), rochers concassés, matériaux provenant de constructions antérieures ou de sites pollués. Les progrès de la technique permettent désormais de recycler une partie de ce matériel (graviers, molasse) pour en faire du matériel de construction, ce qui leur confère une certaine valeur commerciale.

Propriété

Dans notre cas basé sur le milieu urbain, le but n'est pas d'exploiter des carrières en ville. Mais comme le système législatif suisse dissocie le régime de propriété qui pèse

sur un bien du sous-sol et la possibilité d'exploiter cette richesse, il serait légitime de chercher dans les régales minières pour savoir qui peut profiter de cette ressource. Les différents droits cantonaux ne font pas référence à ce genre de ressources ou uniquement pour les carrières à ciel ouvert. Seule la loi sur les mines genevoise parle de toutes les richesses du sous-sol, quelle qu'en soit la nature. Dans le canton de Vaud, la loi sur les carrières pourrait englober les matériaux d'excavation, selon l'article premier : *“Sont réputés carrières tous les gisements naturels, exondés ou immergés, de substances utilisées dans l'économie, existant dans le sein de la terre ou à sa surface et qui ne sont pas classés dans les lois sur les mines ou les hydrocarbures”* (par exemple les gisements de pierre, de gravier, de sable, de marne, de glaise ou de tourbe). Et comme selon l'article 2, les carrières appartiennent au propriétaire du sol, cela permet de penser que les géomatériaux appartiennent au propriétaire du terrain. Finalement, l'article 667 CC peut se suffire à lui-même pour déclarer le propriétaire des géomatériaux, étant donné qu'ils n'entrent pas sous l'influence de la régle des mines. Ceci d'autant plus que s'il effectue les travaux, il a la maîtrise de cette partie du sous-sol, on peut donc généraliser en disant que c'est la personne qui commande les travaux qui est propriétaire de ces géomatériaux, car elle détient la légitimité d'effectuer ces travaux. Dans la pratique, les bénéfices des éléments valorisables et les charges des éléments non-valorisables reviendront au propriétaire de l'espace excavé.

Usage

Il existe plusieurs obligations et sortes de valorisation dans la manière de traiter les matériaux d'excavation. Il faut tout d'abord sauvegarder la couche de terre arable qui peut être destinée à la revente. Ensuite, l'Ordonnance fédérale sur le Traitement des Déchets (OTD) ordonne de trier les matériaux d'excavation et déblais non pollués. Ils seront soumis aux plans de gestion cantonaux, qui suivent généralement la directive sur les matériaux d'excavation. Ces matériaux seront classés en fonction de leur teneur en pollution.

Les matériaux d'excavation non pollués pourront être valorisés :

- directement sur le chantier où ils sont produits (par exemple pour des remblayages) ;
- comme matériaux minéraux (par exemple pour la fabrication de ciment, béton, tuile, . . .) ;
- pour le comblement de sites d'extraction de matériaux (remise en culture des carrières, gravières et marnières) ;

- pour des modifications de terrains autorisées.

Pour les matériaux d'excavation tolérés (faible pollution, au maximum 5% d'anciens matériaux de construction), les possibilités de valorisation peuvent être comme :

- matériaux minéraux de substitution, sous forme liée (béton, tapis de route, stabilisations) ou pour la fabrication de ciment chaux, tuiles ou briques réfractaires ;
- matériaux d'assainissement d'un site contaminé ;
- valorisation dans la construction de routes.

Les matériaux d'excavation pollués doivent être traités de manière à pouvoir être valorisés comme :

- soit des matériaux d'excavation non pollués ou de matériaux d'excavation tolérés ;
- soit être stockés, le cas échéant après traitement préalable, conformément à l'article 6 de l'OTD.

2.3 Comparaison internationale

Comme pour toute législation, la manière de réglementer les choses varie d'un pays à l'autre, en fonction des situations, de l'histoire et des points de vue locaux. Il n'en va pas autrement des problèmes de la législation en souterrain. La propriété de l'espace souterrain peut-être classifiée en quatre catégories de régime légal :

- la propriété du fonds s'étend jusqu'au centre de la Terre sans restriction ; comme en Turquie, où l'état doit exproprier les propriétaires pour creuser des tunnels ;
- la propriété du fonds s'étend jusqu'au centre de la Terre avec restrictions ; empêchant les propriétaires de s'opposer à une utilisation de leur sous-terrain à une profondeur où ils n'ont aucun intérêt particulier. C'est le cas de l'Allemagne ou de l'Italie ;
- la propriété du fonds s'étend jusqu'à une limite fixée légalement ; par exemple au Japon, où la limite est fixée à quarante mètres auxquels s'ajoutent dix mètres pour les superstructures nécessaires ;
- la propriété privée n'existe pas comme en Chine ou à Cuba, généralement l'état donne des concessions pour les terrains et leur sous-terrain.

Si l'on compare les différentes législations, en excluant la dernière, on peut remarquer que la solution de l'expropriation est probablement la moins adéquate. En effet, elle va engendrer une frustration des propriétaires, coûter et prendre plus de temps à l'état pour développer des constructions souterraines qui bien souvent n'auraient pas d'incidence sur la propriété de surface. La limite fixée a l'avantage de clarifier les choses, en effet chacun des acteurs saura exactement à quoi s'attendre et pourra donc

planifier ces espaces sans s'attendre à de longues et coûteuses procédures judiciaires. Mais par contre, elle a le désavantage de rigidifier le système. Cela risque également de créer des problèmes dans la situation où le propriétaire voudrait construire jusqu'à la limite et le tiers construire directement depuis cette limite, à moins que comme au Japon, cette éventualité ait été prise en compte. La solution restante, soit la propriété jusqu'au centre de la Terre, mais avec des restrictions d'usage et d'opposition. Bien qu'ayant un principe de base différent elle aboutit dans la pratique à des résultats similaires à la solution helvétique. Ces options possèdent le grand avantage d'être plus flexibles, par contre elles laissent une grande place à l'interprétation et à l'opposition. Cet avantage donc peut aussi bien se retourner en inconvénient. Il est par conséquent difficile de savoir si ce flou encourage ou décourage les projets en souterrain. Finalement, il faut bien se rendre compte que dans les autres pays, ce qui définira réellement la profondeur de la propriété ce seront toutes les lois annexes comme les polices des constructions, les régales des mines (par exemple en Afrique du Sud, la régale des mines inclut le sable, la pierre, la roche, le gravier, l'argile et le sol calcaire) ou les lois sur les eaux, car même si le propriétaire possède le sous-sol jusqu'au centre de la Terre son usage sera limité par les lois. La Finlande est l'exemple type de ce phénomène. L'étendue verticale de la propriété va jusqu'où il en a la maîtrise, mais la police des constructions donne droit généralement à un étage sous-sol, souvent deux dans les villes, et dans des cas exceptionnels ce nombre peut augmenter. Les outils tels que les servitudes et les expropriations tendent également à diminuer les différences entre les différents systèmes.

2.4 Risques de conflits entre les différents acteurs

On peut se rendre compte qu'à l'heure actuelle beaucoup de conflits peuvent apparaître dans l'utilisation des ressources souterraines. Ceux-ci trouvent leur origine par le fait de situations qui ne se présentaient pas auparavant. Zufferey (2004) cite un certain nombre d'exemples :

- les propriétaires privés trouvent un intérêt à utiliser de plus en plus profondément leur sol et ils considèrent cela encore comme une prérogative inhérente à leur droit de propriété ; exemples : les pompes à chaleur qui se multiplient ; ou un vigneron-encaveur qui souhaite installer ses entrepôts en dessous de sa surface de vente ;
- une commune veut exploiter les eaux chaudes qui coulent dans son sol, elle craint que les propriétaires privés perturbent ce projet par l'utilisation de leur parcelle ;
- certains gisements traditionnellement trop petits pour être exploités gagnent à nouveau en intérêt pour la fabrication des composants électroniques ;

- les progrès scientifiques en matière de géothermie laissent entrevoir des possibilités prometteuses d'exploiter cette source de chaleur ;
- les grands travaux souterrains actuels en Suisse produisent de gigantesques quantités de matériaux réutilisables et qui ont donc une certaine valeur commerciale ; les collectivités et les entreprises impliquées s'en disputent la propriété ;
- la Confédération veut entreprendre des forages à un endroit où elle pense pouvoir installer un dépôt de déchets nucléaires ; la question se pose de savoir quelle procédure doit être suivie, dès lors que le sous-sol ne lui appartient pas.

Étant donné qu'au-delà de la propriété privée, le sous-sol devient du domaine public, les conflits concerneront surtout la limite entre le domaine public et le domaine privé. J.-B. Zufferey souligne ce problème et plus précisément les limites que l'état doit se fixer : « Pour la collectivité, la délimitation défensive et protectrice d'un domaine public devient difficile à justifier dès l'instant où son gérant ne se contente plus d'en être le gardien, mais qu'il se met à en exploiter les richesses matérielles (voire immatérielles), en d'autres termes à se comporter comme un propriétaire privé. ». Il serait donc intéressant pour les deux parties d'avoir une législation qui clarifie cette situation, d'autant plus si les progrès de la technique et la pression des prix fonciers favorisent une utilisation accrue du sous-sol.

2.5 Synthèse et perspectives

La pression sur le foncier de surface, la croissance des réseaux techniques et de transports, les nouvelles technologies de construction, de sondage géothermique, de recharge de CO₂, le stockage de déchets radioactifs, l'éventuelle mise en place d'une méthodologie de planification du souterrain sont autant de raisons d'accroître les intérêts des acteurs autant privés que publics sur le souterrain. Ces intérêts croissants peuvent être autant de sources de conflit entre les différents acteurs, car les droits de souveraineté ne sont que rarement réglés. Cette situation favorise une course à être le premier à utiliser cet espace. Ce phénomène va à l'encontre d'une utilisation raisonnée et donc durable du sous-sol.

Les limites de la propriété en profondeur sont principalement régies par l'article 667 du Code civil. La propriété s'étend en profondeur depuis la surface jusqu'où le bénéficiaire en a l'utilité et la maîtrise, au-delà le sous-sol appartient à l'état cantonal. Cette profondeur peut être limitée par la présence d'une zone aquifère protégée appartenant à l'état cantonal. La multiplication des sondes géothermiques descendant

profondément pourrait bloquer tout projet étatique tel qu'un métro. L'état peut exproprier les propriétaires de pompes à chaleur et les indemniser en conséquence des préjudices subis.

Les faiblesses du souterrain sur le plan juridique et administratif

1. Le sous-sol apparaît à l'heure actuelle comme le parent pauvre de l'aménagement du territoire en Suisse. La LAT n'y fait pas référence et définir les règles qui le régissent ne bénéficie pas d'un règlement propre, mais se disperse dans la doctrine, les arrêtés du tribunal fédéral ou les règlements spécifiques. Le flou et l'état diffus de la législation sur le sous-sol n'aident pas à le promouvoir auprès des planificateurs et des promoteurs. Ils leur est plus facile de travailler sur les espaces de surface qu'ils connaissent bien et qui est bien légiféré. Afin de favoriser un développement du sous-sol urbain et sa planification, Parriaux *et al.* (2010) proposent d'affirmer le principe du caractère tridimensionnel de l'aménagement et garantir l'interdépendance entre ces deux dimensions.
2. Le monde politique semble encore peu concerné par la planification du sous-sol. Il manque de connaissance sur cette problématique. Une mission d'information et de lobbying serait nécessaire afin de faire évoluer les lois. Cette action devrait se faire échelon par échelon, en commençant par le parlement fédéral pour faire changer la loi. Une fois cette étape franchie, il s'agit de faire le même travail au niveau cantonal, puis communal. Parriaux *et al.* (2010) suggère de prendre en compte le sous-sol dans les mesures d'affectation dans les documents de planification.
3. Une planification du sous-sol nécessite de bien connaître cet espace. Il est donc nécessaire de récolter ces données pour pouvoir les représenter et les analyser grâce à un *Système d'Information Géographique* (logiciel SIG). La législation permettant de centraliser étatiquement ces données n'existe pas.
4. D'un point de vue opérationnel, les administrations le prennent peu en considération et connaissent mal ces spécificités. Ils ne l'intègrent donc pas dans leurs réflexions de planification.
5. Les lois du travail contraignant à un apport de lumière naturelle dans le lieu de travail et dans le lieu de pause peuvent engendrer des coûts de construction ou d'exploitation supplémentaires.

6. Les plans de quartiers devant être négociés avec l'autorité compétente, les promoteurs sont sujets à l'incertitude quant à la possibilité de réaliser certains projets souterrains.

La modification d'une loi est un processus long et qui peut parfaitement ne jamais aboutir. Il est donc important de réfléchir à ce que nous offre le cadre législatif actuel.

Le cadre juridique actuel et ses opportunités pour une planification du souterrain

L'approche par les quatre ressources du sous-sol de la propriété du sous-sol permet de définir un cadre à celle-ci. En effet, la doctrine permet d'objectiver la profondeur de la propriété d'une parcelle en fonction des caractéristiques physiques (hydrogéologie et géothermie) et du cadre juridique qui la régit. Il est donc déjà théoriquement possible d'utiliser ces arguments pour une planification et une clarification de l'espace souterrain.

Il s'agit dans un premier temps d'observer, analyser et cartographier les caractéristiques physiques du sol :

- *L'hydrogéologie* : la protection des eaux souterraines fixe une première limite en profondeur de la propriété privée. Cette limite agit comme un plancher de la propriété en profondeur. Ce plancher peut être représenté dans un SIG, ainsi les propriétaires ou les futurs acquéreurs peuvent connaître la profondeur maximale de leur terrain.
- *La géothermie* : les zones à fort potentiel géothermique seraient connues. Cela peut favoriser leur exploitation. L'urbaniste pourrait par exemple favoriser l'établissement d'un écoquartier sur ce type de zone.

Ensuite, il faut observer le cadre juridique et les facteurs d'objectivation définis par Knapp (1987) et Thorens (1970). Ils sont de deux catégories :

- la profondeur de la propriété se définit par les droits inhérents au terrain, tel que le droit de l'aménagement du territoire, le droit des constructions et le droit civil.
- les caractéristiques de la zone urbanistique du terrain, par exemple, une zone villa utilise généralement au plus un étage souterrain alors qu'une zone dense utilise deux à trois étages souterrains.

L'observation de ces critères permet déjà actuellement de déterminer les règles générales qui définissent le sous-sol des différents terrains. Il est donc déjà possible d'esquisser une carte de la limite de la propriété en profondeur communément admise.

Les autorités communales et cantonales ayant le pouvoir d'agir sur les règlements de l'aménagement du territoire, de construction et définir les différentes zones urbaines, il est également imaginable qu'elle puisse agir sur la planification du sous-sol via ces règles.

Il serait donc possible de décider de zones ayant des permissions de construire plus ou moins profondes comme cela se fait en hauteur. Si une ville prévoit de construire un métro, elle pourrait créer des zones où la limite de construction en profondeur se limite à six mètres.

Interaction entre le droit et les autres domaines de recherche

- La constitution du droit se fait principalement soit par le biais du législatif qui crée des lois, soit par les jugements des tribunaux qui créent la jurisprudence. L'aspect juridique est directement conditionné par le domaine politique, et plus précisément sur les hommes qui la font. L'intérêt, la connaissance et l'avis de ces derniers influencent la possibilité de créer les lois cadres qui favoriserait une planification urbaine intégrant le sous-sol. Une enquête sur le sujet permettrait d'évaluer cet intérêt, cette connaissance et leur position à ce sujet. Elle permettrait d'évaluer la possibilité de modifier les lois dans le but d'intégrer les préceptes de la méthode Deep City dans la loi.
- Le droit interagit avec lui-même en créant la jurisprudence. Il est possible d'imaginer que la problématique juridique se traite toute seule avec le temps si la pression sur l'espace souterrain crée tellement de conflits que la jurisprudence est amenée à traiter la plupart des conflits possibles. Néanmoins, cette jurisprudence donnerait un cadre d'utilisation du souterrain, mais ne permettrait pas une planification tenant compte des quatre ressources du souterrain. D'un point de vue durable, il serait plus souhaitable que le législateur crée des règles de planification.
- La législation actuelle influence les coûts de construction en exigeant des puits de lumière naturelle. L'évolution des lois pourraient également avoir un impact sur les coûts de construction. Si un règlement est édicté pour exiger que la hauteur de plafonds en sous-sol doive être de quatre mètres, cela aurait un fort impact au niveau des coûts de construction (voir chapitre 4).
- Actuellement, un promoteur qui désire avoir des gabarits plus étalés en sous-sol qu'en surface doit négocier avec l'administration. Cette négociation introduit une certaine incertitude dans la réussite d'un projet. Elle peut engendrer une augmentation du temps dédié à l'administration et aux négociations ou des demandes

de modification importantes et coûteuses par les services cantonaux . Les investisseurs préfèrent minimiser les risques. Ils peuvent donc renoncer à l'intégration d'importants espaces souterrains dans un projet pour minimiser les risques liés aux négociations avec le canton. Ce manque de clarté juridique peut donc nuire au développement de l'espace souterrain.

- Une loi permettant de réunir les données du sous-sol et ainsi une meilleure connaissance de ce milieu peut permettre une estimation beaucoup plus juste de la valeur d'un terrain. Les données géologiques peuvent permettre :
 - de connaître l'impact sur les coûts de construction (voir chapitre 4). Un terrain permettant une construction moins coûteuse pourrait être mieux valorisé.
 - de connaître les capacités géothermiques et donc la possibilité d'utiliser cette source de chaleur plutôt que le gaz, l'électricité ou le mazout. Cette information peut également être valorisée lors d'une vente.
 - de connaître si une zone de protection des eaux se situe en dessous d'une parcelle à une hauteur limitant la construction en profondeur, limitant par exemple la possibilité de construire un parking souterrain de plusieurs étages.
- Une loi permettant la planification du sous-sol peut permettre une meilleure évaluation du prix du terrain. La valeur d'un terrain ou d'un bien immobilier peut fluctuer en fonction des décisions de planification de l'état par exemple, si l'état décide de laisser des couloirs vides pour la création d'un éventuel métro, si l'état planifie une zone commerciale souterraine piétonnière sur le modèle de Montréal, si l'état planifie une zone permettant l'édification de plusieurs étages souterrains ou un seul.

Discussion et pistes de recherche

En matière juridique, il est toujours difficile de trouver le juste milieu entre le trop et le trop peu de lois. L'ajout de règles permet de rendre le système plus clair et plus transparent. Cela peut ainsi éviter de longs et coûteux conflits juridiques. Si ces derniers aboutissent à un jugement, cela enrichira de toute manière la jurisprudence et donc ajoutera inévitablement des règles. D'un autre côté, si l'état légifère, cela risque de rigidifier le système et peut aussi alourdir les démarches administratives. Il serait intéressant d'étudier l'impact d'une législation plus importante du souterrain.

Il conviendrait d'étudier les impacts juridiques d'une planification intégrant le sous-sol, en émettant l'hypothèse que la non-planification du sous-sol peut générer des

conflits. Un recensement de ces conflits durant les cinquante dernières années permettrait de connaître s'il existe une tendance en ce sens. Si elle existe, il faudrait en chercher la cause (par exemple, la corrélation avec la densité). Ensuite, en comparant avec l'histoire du zonage ou dézonage des parcelles (par exemple de zone agricole en zone d'habitat), il serait intéressant d'estimer le potentiel de conflit qu'un zonage du sous-sol pourrait générer. Le résultat des deux tendances, avec ou sans zonage, pourrait être comparé.

Chapitre 3

Perceptions, usages et formes de l'espace souterrain

3.1 Problématique

A priori, le milieu souterrain se caractérise par un déficit d'image. Les images associées à ce milieu sont généralement négatives. On peut l'illustrer par divers exemples. Dans la bible, le sous-sol est le lieu qui renferme l'enfer. Dans les films ou les romans, les sous-sols sont régulièrement dépeints comme des milieux sombres, dangereux et où les appels *au secours* restent comme une bouteille à la mer. Mais est-ce que cet a priori est vérifié ? En effet, des valeurs plus positives peuvent y être associées. Le souterrain peut-être dépeint comme un milieu refuge, les abris antiatomiques l'illustrent. Il possède aussi un côté fascinant comme l'atteste la pratique de la spéléologie urbaine. Faut-il réserver aux sous-sols le rôle de coulisses de la surface en y enfouissant uniquement les réseaux ou les parkings souterrains ? Ou peut-on au contraire profiter de cet espace pour y développer une nouvelle forme urbaine qui développe des synergies entre la surface et le sous-sol ? Il est important de comprendre quelles formes urbaines la population est prête à accepter, afin de pouvoir développer ces opportunités.

Dans la perspective optimiser le potentiel multi-usage du sous-sol urbain, il est nécessaire de comprendre les habitudes et les formes des usages du souterrain avec lesquels l'être humain peut se développer durablement. Il est donc essentiel de prendre en

compte le facteur humain et plus précisément son ressenti et ses perceptions vis-à-vis de ce milieu. Dans cette partie du projet Deep City, l'analyse du souterrain se focalise sur sa ressource espace. Les principales interrogations sociologiques et psychologiques sur le milieu souterrain concernent la perception, la forme et l'usage.

“La perception est plus que la simple sensation : c'est la sensation suivie de l'acte intellectuel qu'elle suscite immédiatement et par lequel elle est interprétée (Méd. Biol. t. 3 1972)”. Cette perception est donc propre à chaque individu. Il est nécessaire de s'interroger sur cette perception, afin de comprendre quelle est l'importance du déficit d'image du milieu en question et quelles sont les caractéristiques principales qui le génèrent. L'analyse explorera la perception de l'espace souterrain en général, ainsi que la perception des milieux souterrains spécifiquement utilisés par la population.

Les usages de la ressource espace du souterrain peuvent être multiples. Ils peuvent aller de l'habitat troglodyte, comme dans les mines d'opale de Cooper Pedy en Australie, aux réseaux de voies de communication, en passant par la piste de ski de fond à Leppävirta en Finlande. Néanmoins, la ressource espace et les opportunités de développement souterrain étant limitées, il est important de développer des usages du sous-sol qui soient le plus possible en adéquation avec les attentes de la population. Une partie de l'analyse portera sur l'évaluation de ces attentes et sur les différents usages du sous-sol.

Par définition, l'espace souterrain est un espace sombre, clôt et peu aéré. Ces adjectifs ne sont pas ceux que l'on utiliserait pour décrire un endroit convenable à des activités humaines. Cette image est renforcée par l'architecture minimaliste et fonctionnaliste qui a longtemps prévalu lors de la construction de parkings souterrains et de passages sous voies. Il est donc nécessaire, encore plus que dans d'autres milieux, de se préoccuper de la forme de l'espace souterrain. Les caractéristiques particulières de ce milieu ont un impact certain sur les personnes. En connaissant les qualités attendues de ce milieu par le public, il est possible de rendre à ce dernier un séjour plus agréable. On peut ainsi espérer développer un meilleur accueil aux espaces souterrains de la part de la population, et peut-être à terme faire changer l'image générale de cet environnement particulier.

Il existe peu d'études quantitatives sur ce sujet et aucune en Suisse. Les résultats de cette recherche doivent permettre :

- d'évaluer la perception de la population des espaces souterrains
- de déterminer si une partie assez importante de la population peut avoir des activités en sous-sol pour que son développement soit justifié

- d'étudier les types d'infrastructure qui peuvent être implantés en souterrain
- d'observer les qualités que doit posséder un espace aménagé en souterrain pour être bien accepté par la population
- de comprendre les raisons d'une phobie du souterrain

3.2 Méthodologie

La perception, la forme et l'usage des espaces sont traités de manière quantitative par le biais d'enquêtes. Ces enquêtes sont complétées par une étude qualitative qui a pour but d'appréhender la phobie du souterrain.

Le premier postulat de l'enquête qualitative est d'observer s'il existe une différence entre les espaces souterrains, les espaces de surface borgnes et les espaces de surface avec lumière naturelle. Il est intéressant de pouvoir observer les différences entre un espace borgne de surface et un espace souterrain. Si ces deux espaces sont perçus de manière identique, il devient alors possible de transférer les constructions de surface sans fenêtre en souterrain.

Après un recensement des diverses infrastructures souterraines que la population suisse pratique régulièrement, il est apparu qu'il était possible de les catégoriser en deux groupes. Les ouvrages de type flux et les ouvrages de type lieu. Les ouvrages de type flux sont des infrastructures où les personnes passent un court instant, des endroits de passage. Il peut s'agir de passages souterrains, de parkings, de tunnel, etc. Les ouvrages de type lieux sont des lieux de vie, par exemple, un cinéma, un supermarché ou une salle de concert. Cette typologie a été pensée en fonction des attentes du public qui peuvent être différentes entre un lieu de passage et un lieu de vie. L'étude quantitative sur *la perception, l'usage et la forme de l'espace souterrain* est constituée de deux enquêtes :

- Une enquête quantitative sur les ouvrages de type flux réalisée auprès des abonnés de la fondation des parkings de Genève. Les parkings sont de trois types différents : les parkings souterrains, les parkings en silo et les parkings à plat.
- Une enquête quantitative sur les ouvrages de type lieux réalisée dans des auditoriums auprès d'étudiants. Il y a trois catégories d'auditoire : les auditoriums souterrains, les auditoriums de surface sans fenêtre et les auditoriums de surface avec fenêtre.

Ces populations ont été choisies, car elles connaissent bien le milieu qu'elles doivent évaluer. Les abonnés se rendent régulièrement dans leur parking, mais ils connaissent également d'autres parkings. Les étudiants passent un nombre d'heures important

dans divers types d'auditoires. L'étude tend à comparer tout d'abord les résultats entre les différents types de parkings et les différents types d'auditoires. Ensuite, une étude comparative est réalisée entre les différences sur les ouvrages de types flux et les ouvrages de type lieu.

L'enquête qualitative sur les peurs liées au sous-sol a été réalisée sous forme d'entretien auprès de personnes phobiques du souterrain. Cette recherche doit permettre de comprendre les raisons de la peur des espaces souterrains. Elle permet également d'aider à l'interprétation des enquêtes qualitatives et à déterminer les améliorations nécessaires à apporter aux ouvrages souterrains afin d'amenuiser la peur que ces derniers peuvent provoquer.

3.3 Enquête quantitative sur les ouvrages de type flux

Présentation de l'échantillon

Suite à l'envoi d'un questionnaire auprès d'environ 3000 abonnés de la fondation des parkings de Genève, 928 questionnaires ont été remplis et retournés. Le taux de retour de près de 30% est des plus satisfaisant pour une enquête de ce type. En moyenne, les personnes ayant répondu à cette enquête sont abonnées depuis 3,84 ans et y viennent 4,98 fois par semaine. Ces chiffres témoignent de leur bonne connaissance du terrain. Il faut encore noter que 79,3 % des répondants utilisent le parking pour se rendre au travail.

A) Description de l'échantillon total des résultats :

- échantillon de 928 personnes répondantes ;
- les répondants de sexe féminin représentent 62% de l'échantillon (565 réponses), alors que les répondants de sexe masculin représentent 38% (352 réponses) ;
- 29% de l'échantillon habite la ville de Genève, 23% le canton de Genève, 2% le canton de Vaud et 46% la France ;
- répartition des âges :

tranche d'âge	Pourcentage
20-29	12%
30-39	27%
40-49	30%
50-59	21%
60-69	8%
70- +	2%

Quatre types de parkings ont été déterminés :

- Les parkings de surface : Parkings construits à plat (place) ; 145 réponses, ce qui correspond à 16% des réponses
- Les parkings souterrains : Parkings construits entièrement en sous-sol ; 535 réponses reçues, ce qui correspond à 58% des réponses
- Les parkings mixtes : Parkings dont certains étages sont construits en sous-sol et certains étages sont construits en élévation ; 57 réponses reçues, ce qui correspond à 6% des réponses
- Les parkings en étages : Parkings construits entièrement en élévation sur plusieurs étages ; 180 réponses reçues, ce qui correspond à 20% des réponses

Répartition de l'échantillon en fonction des catégories socioprofessionnelles :

Catégorie socioprofessionnelles	% des répondants
Dirigeants	2
Professions libérales	5
Autres indépendants	7
Prof. intellectuelles et d'encadrement	19
Professions intermédiaires	21
Non-manuels qualifiés	33
Manuels qualifiés	2
Non-qualifiés	1
A la recherche d'un emploi	1
En formation	4
Retraité	4
Sans activité lucrative	1

TABLE 3.1 – Population de l'enquête en fonction des catégories socioprofessionnelles

B) Description des échantillons par type de parking

B.1) les parkings de surface ou à plat :

- Echantillon de 145 personnes répondantes
- Les répondants de sexe féminin représentent 67% de l'échantillon (97 réponses), alors que les répondants de sexe masculin représentent 33% (47 réponses)
- 8 parkings différents :
Bachet : 39% de l'échantillon parking de surface, André Chavanne : 23% , Bernex : 21%, Voies Centrales : 8%, Gare Eaux-Vives : 6%, Pré-Bois : 2%, Coudrier : 1%, Sécheron : 1%

B. 2) Les parkings souterrains ou sous-sol :

- Echantillon de 535 personnes répondantes
- Les répondants de sexe féminin représentent 59% de l'échantillon (316 réponses), alors que les répondants de sexe masculin représentent 40% (215 réponses)
- 6 parkings différents : Genève-Plage : 56% de l'échantillon parking souterrain, Ansermet : 26%, Plainpalais : 9%, St-Antoine : 9%

B.3) Les parkings mixtes :

- Echantillon de 57 personnes répondantes
- Les répondants de sexe féminin représentent 53% de l'échantillon (29 réponses), alors que les répondants de sexe masculin représentent 47% (26 réponses)
- 1 seul parking (Les Alpes)

B.4) Les parkings en étages ou silo :

- Echantillon de 180 personnes répondantes
- Les répondants de sexe féminin représentent 66% de l'échantillon (118 réponses), alors que les répondants de sexe masculin représentent 34% (60 réponses)
- 1 seul parking (Parking de l'étoile)

Discussion sur l'échantillon :

Avec un échantillon de 928 personnes, les résultats de cette enquête devraient témoigner d'une certaine fiabilité. Cette enquête visant à donner des indices sur la perception de la population sur les lieux de « passage » en souterrain, elle devrait être représentative de la population. L'échantillon n'est pas représentatif de l'ensemble de la population, mais de la population active.

Il reste tout de même un biais important sur le genre. Les femmes représentent 62% de l'échantillon et les hommes 38%. Alors que sur le territoire Genevois, l'office cantonal de la statistique fournit des proportions différentes : femmes 52%, hommes 48%. L'intervalle de confiance du pourcentage de femmes est compris entre 58% et

65%. Concernant le genre, on peut en conclure que l'échantillon est statistiquement différent de la population active. Une étude préliminaire des données a montré que le genre a une influence importante dans les résultats. Les analyses seront traitées en conséquence. Le genre sera traité de manière distincte.

Dans un échantillon idéal, chaque type de parking devrait représenter la même proportion (environ 25%). Dans notre cas, les parkings souterrains sont trop représentés (58%), ce qui influence de manière prépondérante les résultats de l'ensemble de l'échantillon. L'échantillon parking mixte est lui trop petit (6%) pour avoir une véritable influence sur les résultats de la population totale. Cette différence de taille d'échantillon entre les différents types de parking peut créer certains biais dans les résultats. Le traitement des données permettra de redresser ces données

Traitement des résultats

L'analyse des résultats est séquencée en trois grandes parties : perception, usage et formes. Pour chaque partie, un premier regard est jeté sur les résultats sur l'ensemble de la population. Puis, lorsque c'est nécessaire, différents éclairages sont faits sur les comparaisons de résultats entre hommes et femmes, entre différents types de parkings et entre parkings. Enfin, des régressions permettent de souligner les relations entre certaines variables.

Suite aux biais qui ont été remarqués, il a été décidé de redresser l'échantillon. Pour redresser le biais du sexe, la population a été définie grâce aux statistiques de l'OCS-TAT : Femmes 52% de la population et Hommes 48%. Pour le biais sur les types de parkings, les réponses des parkings mixtes seront intégrées soit à l'échantillon Parking Souterrain, soit Parking Silo, en fonction de la réponse répondant à la question : "Dans quelle partie du souterrain parquez-vous votre voiture ? souterrain/surface". Afin que chacun des trois types de parkings ait le même poids sur les résultats, une pondération de 1/3 leur a été attribuée (Tableau 3.2).

Genre	Souterrain	Etage	Surface
Echantillon			
Homme	0.25	0.08	0.05
Femme	0.37	0.14	0.11
Population			
Homme	0.16	0.16	0.16
Femme	0.17	0.17	0.17
Matrice des pondérations			
Homme	0.64	2.05	3.08
Femme	0.47	1.22	1.62

TABLE 3.2 – Pondérations utilisées pour redresser l'échantillon

Les statistiques descriptives et la régression linéaire seront utilisées pour analyser ces données. Les outils de l'analyse statistique tels que la moyenne, la variance ou la médiane sont utilisés pour décrire l'échantillon. Les outils utilisés :

- La *moyenne* est la somme des valeurs de la variable divisée par le nombre d'individus
- La *médiane* est la valeur centrale qui partage l'échantillon en deux groupes de même nombre d'individus
- La *variance* est la mesure servant à caractériser la dispersion d'une distribution
- *Le test de la différence de deux moyennes* permet de vérifier que la moyenne de deux distributions sont significativement différentes (le test a effectué varie en fonction des caractéristiques des distributions, comme le test T de Student)
- La *régression linéaire multiple* permet d'exprimer la relation entre une variable dépendante et plusieurs autres indépendantes. La variable dépendante peut être "expliquée" par les variables indépendantes. L'équation de la régression linéaire multiple se présente sous cette forme pour n ($i = 1, \dots, n$) observations ($y_i, x_{i1}, \dots, x_{ip}$) qui sont des réalisations des variables aléatoires ($Y_i, X_{i1}, \dots, X_{ip}$) :

$$y_i = a_0 + a_1x_{i1} + \dots + a_px_{ip} + \varepsilon$$

a sont les paramètres à estimer

ε_i est l'erreur du modèle qui exprime l'information manquante dans l'explication linéaire des valeurs

La problématique est de :

- estimer les paramètres a_i -> plus la valeur de ce paramètre est élevée plus fort est le lien entre la variable dépendante et la variable indépendante. Si le signe est négatif, son influence sera inversée

- déterminer les variables fortement corrélées et de les traiter en conséquence
- évaluer l'influence des variables dans le modèle, les variables n'ayant pas un lien suffisamment fort avec la variable dépendante peuvent être retirées de la régression
- mesurer le pouvoir explicatif du modèle -> le coefficient de détermination R^2 traduit la variance expliquée par le modèle. Plus R^2 se rapproche de 1, plus les variables indépendantes expliquent la variable dépendante. R^2 ajusté, le coefficient de détermination ajusté, permet de comparer des modèles qui ont un nombre différent de variables

La perception

L'ensemble des répondants

Une série de questions dichotomiques a été rédigée afin de pouvoir estimer la perception de l'espace souterrain. Les répondants devaient évaluer sur une échelle de 1 à 6 s'ils trouvent le souterrain plutôt laid-beau, sombre-lumineux, très bruyant-peu bruyant, sale-propre, froid-chaud. Il s'agit ainsi de déterminer, si le souterrain est décrit grâce à des adjectifs négatifs ou des adjectifs positifs.

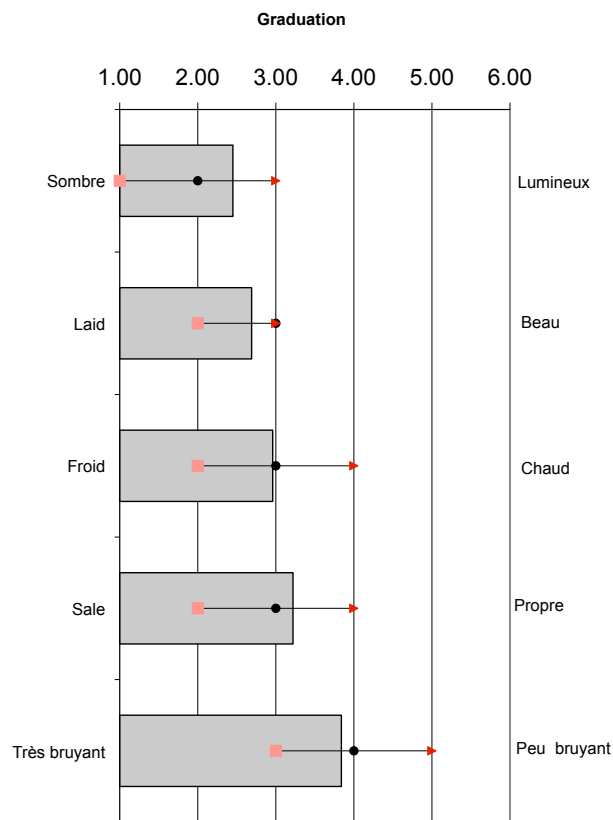


FIGURE 3.1 – Perception de l'espace souterrain par l'ensemble de la population ; Question dichotomique "Pour vous le souterrain est plutôt..." sur une échelle de 1 à 6 (Moyenne, percentile, médiane)

Pour l'ensemble de l'échantillon, le souterrain est plutôt perçu de manière négative (Figure 3.1). Il est clairement estimé comme un espace laid et sombre. Dans une moindre mesure, le souterrain est jugé sale et froid. Le seul adjectif positif associé au sous-sol est « peu bruyant ». Ces chiffres confirment l'hypothèse d'une image négative du milieu souterrain.

Une image négative peut freiner un plus grand usage et développement du sous-sol, mais l'image peut s'améliorer si les formes du souterrain s'améliorent et si une plus grande habitude de ce milieu se développe. Par contre, la peur peut devenir une entrave sérieuse à ce développement. Il est donc nécessaire de connaître le pourcentage

de personnes qui a une phobie du souterrain. Sur une échelle de 1 (pas peur du tout) à 6 (très peur), la moyenne des résultats est 2,87. Il y a donc une forte tendance à ne pas avoir peur du souterrain. Seulement 4% des sondés ont très peur (6) d'aller en souterrain et 11% ont un peu moins peur (5) (Figure 3.2). Malgré tout si l'on prend ces deux catégories ensemble, il en résulte tout de même 14% de la population qui ne se sentent pas à l'aise en allant en souterrain. L'analyse qualitative permettra de mieux cerner les raisons de cette phobie et permettra de développer des stratégies permettant d'aider les 14% de la population qui a une relation phobique avec le sous-sol.

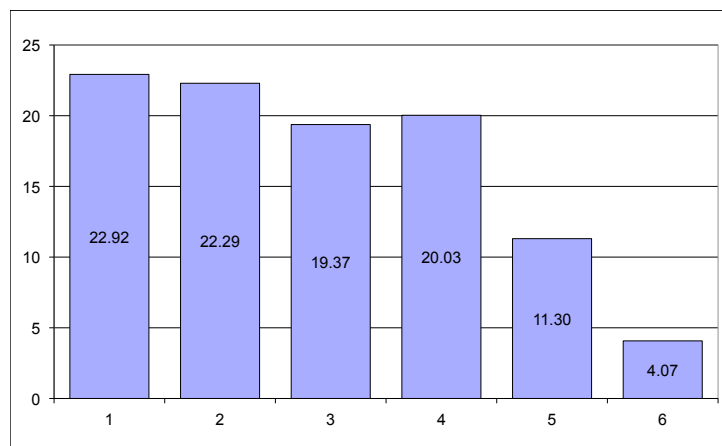


FIGURE 3.2 – Résultats en pourcent à la question : “Avez-vous peur d’aller dans les lieux souterrain” (1 Pas peur du tout ; 6 Très peur)

Une régression linéaire permet de déterminer les variables qui ont une influence sur la peur de se rendre en souterrain. La variable expliquée est la peur du souterrain. Les variables indépendantes choisies sont les variables dichotomiques de perception (sombre-lumineux, laid-beau, froid-chaud, sale-propre, très-peu bruyant) et des variables caractérisant les personnes (type de parking fréquenté, âge, catégorie socio-professionnelle, sexe et claustrophobie) afin de déterminer lesquels sont liés à la peur du sous-sol. Plusieurs d’entre elles se sont révélées non significatives :

- les variables de perception : sombre-lumineux, froid-chaud
- les variables du profil des personnes : type de parking, classe d’âge et catégorie socioprofessionnelle.

La régression linéaire multiple avec les variables indépendantes Beauté, Bruit, Propreté, Claustrophobie et sexe est significative. Cela démontre que ces variables indépendantes (VI) ont une influence sur la variable dépendante (VD), peur du souterrain.

	homme	femme	Sig
Beauté	2.97	2.65	0
luminosité	2.79	2.4	0
chaud	3.2	2.4	0.03
Peur	3.2	3.41	0
Claustrophobie	1.95	2.38	0

TABLE 3.3 – Tableau de comparaison des moyennes significativement différentes entre hommes et femmes sur la perception de l'espace souterrain (T-Test)

rain. La proportion de la variation dans la VD expliquée par les VI est de $R^2 = 0.301$ ou $R^2_{ajusté} = 0.297$.

- Les variables dont la force de la relation est la plus élevée sont les variables physiologiques : sexe 0.254 et claustrophobie 0.357
 - Les variables ont un lien moins fort avec la variable expliquée : laid-beau -0.135, sale-propre -0.090, très-peu bruyant -0.079
- Peur du souterrain = 0.357^* claustrophobie + 0.254^* sexe - 0.135^* laid/beau - 0.09^* sale/propre - 0.079^* très/peu bruyant

Le signe négatif des paramètres des variables de perception montre que moins la perception est bonne, plus la peur du souterrain grandit.

Différence Homme-Femme

La perception des femmes en matière de sous-sol est significativement plus négative que celle des hommes pour les variables : laid/beau, sombre/lumieux. Elles jugent les souterrains plus laid, plus sombre et plus froid que les hommes. De manière générale, les femmes ont un moins bon rapport au souterrain que les hommes.

A la question “avez-vous peur d’aller dans des lieux souterrains”, sur une échelle allant de : pas peur du tout (1) à très peur (6), les hommes ont une moyenne 2.2 alors que les femmes sont à 3.41. Cette différence est statistiquement significative. Tout comme les femmes s’estiment plus claustrophobes que les hommes. La moyenne des hommes se situe à 1.95, alors que celle des femmes est significativement plus élevée 2.38 (Table 3.3)

	Moy			Sig			Obs Power
	SS	Silo	Surf	SS-Silo	Silo-Surf	Surf-SS	
Beauté	2.92	2.51	2.53	0.00		0.00	0.99
Luminosité	2.76	2.01	2.44	0.00	0.01	0.04	1.00
Bruit	4.08	3.95	3.50		0.02	0.00	0.99
Propreté	3.40	3.00		0.00			0.93
Chaud	3.25	2.55	3.00	0.00	0.01		1.00
Peur	2.89	3.22		0.01			0.79
Adapté	5.65	4.96	5.35	0.00	0.00	0.00	1.00

TABLE 3.4 – Moyenne significativement différente sur la perception en fonction du type de parking (uniquement la significativité Sig des moyenne différentes est représentée, T-test)

Différence par type de parking

Il faut également souligner des différences de moyenne sur la perception de l'espace souterrain pour les abonnés des différents types de parking (Tableau 3.4). Les abonnés des parkings souterrains évaluent généralement l'espace souterrain de manière plus positive. Les abonnés des parkings en silo sont ceux qui l'évaluent le plus négativement. Cela laisse suggérer que les personnes qui évoluent plus régulièrement en souterrain s'habituent à ce milieu.

Les usages

L'ensemble des répondants

Les abonnés de la fondation des parkings de Genève ont été interrogés afin savoir quels types d'ouvrages sont selon eux le plus susceptibles d'être transférés en sous-sol. Une série de dix ouvrages différents leur a été proposée : parking, cinéma, habitation, centre commercial, fitness, entrepôt, salle de concert, patinoire, bureau et voies de communication (Table 3.5).

A partir, de ces résultats, il est possible de classer ces différents ouvrages en fonction de leur aptitude « sociologique » à se trouver en souterrain :

1. Parking

	Parking	Cinéma	Habitat.	C. Com.	Fitness	Entrepôt	S. concert	Patinoire	Bureau	Voies Com.
Moyenne	5.33	3.77	1.21	3.29	2.93	4.83	3.31	2.72	1.55	4.34
Median	6.00	4.00	1.00	3.00	3.00	5.00	3.00	2.00	1.00	5.00
Ecart-Type	1.14	1.76	0.74	1.56	1.56	1.56	1.76	1.64	1.16	1.60

TABLE 3.5 – De votre point de vue d'utilisateur, pensez-vous que les lieux suivants se prêtent à transférer leurs activités en souterrain (1 pas adapté; 6 très adapté)

2. Entrepôt
3. Voies de communication
4. Cinéma
5. Salle de concert
6. Centre commercial
7. Fitness
8. Patinoire
9. Bureau
10. Habitation

Plusieurs enseignements sont à tirer de ce classement. Tout d'abord, les lieux qui sont le plus apte à être transférés en sous-sol, sont ceux qui ont la densité humaine la plus faible (parking, entrepôt et voies de communication), suivi des espaces borgnes de surface (cinéma, salle de concert et centre commercial), viennent ensuite les lieux destinés à la pratique du sport (fitness et patinoire), pour finir par les lieux à haute densité humaine (bureau et habitation). Ce classement répond à une certaine corrélation avec le type d'utilisation, mais suit également aussi un certain vécu de la population. Les lieux souterrains les plus habituellement rencontrés sont probablement les parkings et les voies de communication, suivis par les cinémas, les salles de concert et certains étages de centre commercial, enfin les autres lieux ne sont que rarement pratiqués en souterrain.

Finalement, on peut remarquer que les propositions extrêmes (habitation, bureau, parking) sont les moins sujettes à controverses, puisque les écart-types sont les plus faibles. Alors que les ouvrages telles que les cinémas ou les salles de concert ont une distribution beaucoup plus étalée. Étonnamment, les voies de communication ont également une distribution assez étalée, ce phénomène est probablement dû aux malheureux événements qui se sont produits dans des tunnels, comme dans celui du Mont-Blanc. Les gens ressentent probablement une plus grande crainte vis-à-vis des tunnels qu'avant ces événements (Figure 3.3).

Différence Homme-Femme

Comme pour la perception (voir chapitre 3.3), les résultats des femmes sont plus négatifs que ceux des hommes. Il y a plusieurs lieux qu'elles estiment moins adaptés que les hommes (Table 3.6). Il s'agit des cinémas, des centres commerciaux, des fitness, des salles de concert et des patinoires.

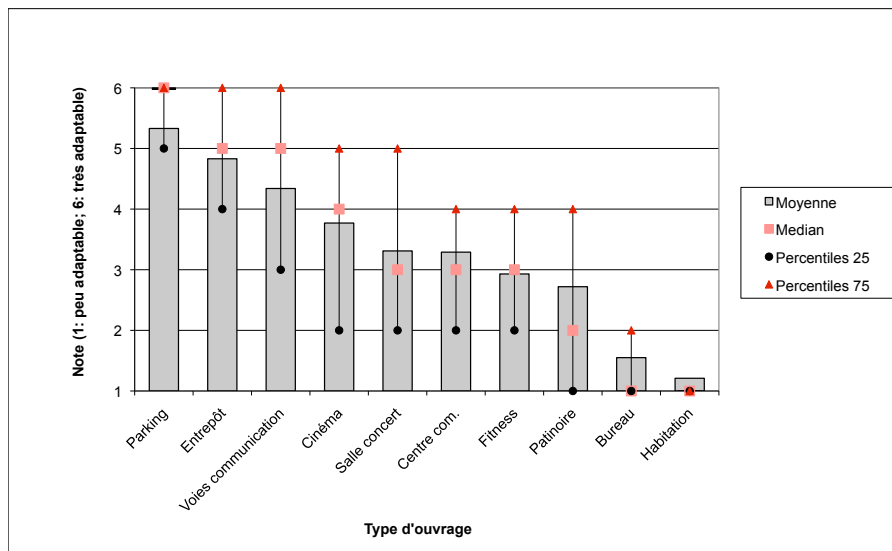


FIGURE 3.3 – Adaptabilité de différents lieux en souterrain

	Hommes	Femmes	Sig
Cinéma adapté	4.04	3.54	0
Centre com. adapté	3.44	3.11	0.002
Fitness adapté	3.00	2.65	0.002
Salle concert	3.51	3.16	0.005

TABLE 3.6 – Adaptabilité des lieux en souterrain, moyennes significativement différentes selon le sexe

Les formes

L'ensemble des répondants

Six critères différents ont été définis pour déterminer le choix du parking auquel le répondant s'est abonné : le type de parking (souterrain, surface, en étage,...), la facilité d'accès en voiture, la proximité avec le but du lieu de déplacement, le prix, la connexion avec les transports publics et la convivialité du parking. Les personnes interrogées pouvaient noter ces critères de 1 (peu important) à 6 (très important).

Les facteurs fonctionnels et de situation géographiques (facilité d'accès, connexion

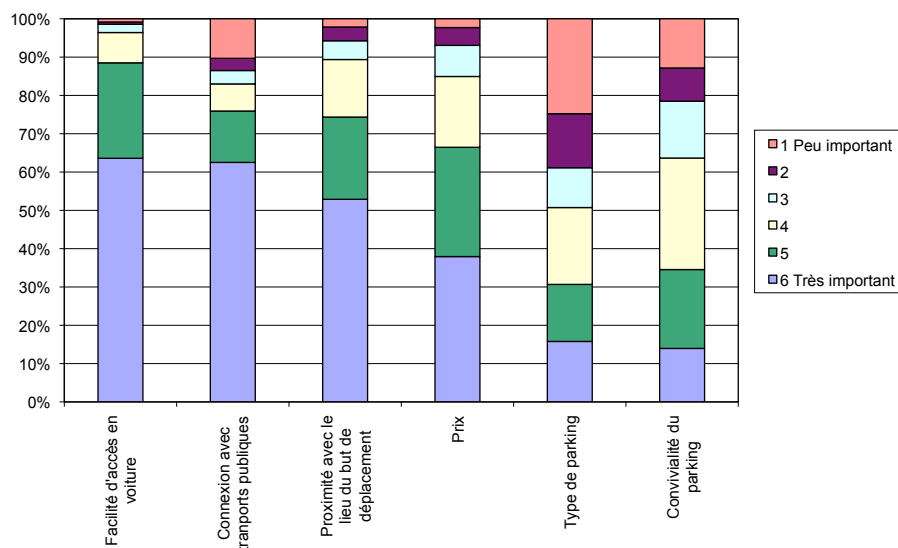


FIGURE 3.4 – Estimez l'importance des critères de choix suivants lors de votre sélection du parking auquel vous êtes abonné

TP, proximité avec le but) du parking sont les critères de choix les plus importants. Les critères de conception (type et convivialité) sont nettement moins importants aux yeux des répondants.

Il faut également noter que la distribution du type de parking est relativement constante, comparée aux autres distributions (Figure 3.4). On peut toutefois s'interroger quant à savoir quel aurait été ce résultat s'il avait été effectué auprès de clients non-abonnés aux parkings.

Il faut également signaler que les utilisateurs ne sont pas très sensibles aux qualités architecturales des parkings. En effet, l'importance de la hauteur de plafond est jugée moyennement importante (moyenne de 3,9 sur 6), tout comme l'importance de peindre les murs plutôt que de laisser le béton nu (moyenne de 4,2 sur 6).

Une analyse de régression permet de déterminer quelles caractéristiques propres à un parking influencent la satisfaction des abonnés. La variable dépendante est la satisfaction des abonnés évaluée sur une échelle allant 1 (pas du tout satisfait) à 6 (tout à fait satisfait). Elle est mise en relation avec des variables indépendantes traitant de (toujours évaluées de 1 à 6, du négatif au positif) :

Modèle	coefficients non standards		Coefficients standards		Sig
	B	Erreur standard	B	t	
(Constant)	1.564	.271		5.775	.000
Sécurité park	.155	.031	.172	4.950	.000
Orientation voiture	.156	.037	.143	4.232	.000
Entrée piéton	.132	.027	.167	4.874	.000
Propreté parc	.129	.026	.183	4.952	.000
Beauté du parc	.073	.029	.095	2.526	.012

TABLE 3.7 – Régression nettoyée de la satisfaction

- le sentiment de sécurité : dans le parking, dans le quartier
- l'accessibilité : facilité d'orientation dans le parking en voiture, facilité d'orientation dans le parking à pied, qualité d'entrée en voiture, qualité d'entrée à pied
- les qualités architecturales du parking : laid/beau, sombre/lumineux, peu/très bruyant, sale/propre, froid/chaud
- le type de parking : sous-sol, silo, surface

La variable indépendante type de parking est digne d'intérêt. En effet, elle n'est pas significative, et elle n'influence donc pas la satisfaction des abonnés.

Une fois nettoyée des variables non significatives, les coefficients de détermination baissent : $R^2 = 0.215$ ou R^2 ajusté = 0.208. Les variables de sécurité du parking, de l'orientation en voiture, de l'entrée à pied, de la propreté du parc et de beauté du parc ont un lien avec la satisfaction générale. Il ne faudrait pas négliger ces facteurs lors de la conception d'un parking (Table 3.7)

Différence Homme-Femme

Il n'existe aucune différence quant à l'importance du type de parking lors du choix du parking. Par contre, les femmes trouvent légèrement plus important d'être parkées près de la sortie (femme = 4.46 ; homme = 4.15 ; $p = 0,003$). L'analyse qualitative révèle que les personnes qui ont peur du souterrain préfèrent écourter leur temps de passage dans ces lieux. Etant donné que la proportion de femmes ayant peur du souterrain est plus grande, cela pourrait expliquer cette différence de choix de place de parc. Par contre, les hommes et les femmes se sentent autant en sécurité dans les parkings souterrains. De manière globale, ils se sentent assez en sécurité (4.79, sur une échelle allant de 1 à 6).

Les femmes trouvent la musique plus rassurante que les hommes (femme = 4.25, homme = 3,83 ; $p=0.001$), alors que l'enquête qualitative relève que les femmes qui ont peur en souterrain préfèrent ne pas avoir de musique.

Différence par type de parking

Malgré des moyennes significativement différentes pour les différents types de parkings, on ne peut conclure que les caractéristiques esthétiques (beauté, luminosité, bruit, sale, froid) sont dues aux types de parkings. En effet, chaque type de parking est composé de plusieurs parkings différents qui ont eux-mêmes des caractéristiques différentes. Cela suggère que l'architecture du parking est plus importante que le type de parking (Tableau 3.8).

3.4 Enquête quantitative sur les ouvrages de type lieux

Présentation de l'échantillon

L'enquête sur la perception du souterrain et des auditoriums a réuni 769 questionnaires remplis dans des auditoriums à l'université de Genève et de Lausanne. Ces questionnaires ont été distribués dans quatre auditoriums différents :

- 1031 : Auditorium se trouvant à l'université de Lausanne. Il est de grande taille et en hémicycle. Chaque étudiant bénéficie d'une tablette individuelle. Il est relativement moderne. Il dispose de larges fenêtres et de teintes claires.
- U 300 : Cet auditorium de l'université de Genève dispose d'environ 286 places. Il est assez vieux, terne et boisé. Les étudiants sont disposés sur de longues rangées. Il se situe en souterrain.
- U 600 : Il possède les mêmes caractéristiques que l'auditorium U 300, dont il est voisin. L'U 600 est plus grand (642 places) que l'U 300.
- Amphipôle D : Situé à l'université de Lausanne, cet auditorium peut accueillir environ 350 élèves. Il est également boisé. Les étudiants sont disposés par tables de deux. L'amphipôle D est en surface, mais ne dispose d'aucune fenêtre ou d'aucun puits de lumière naturelle.

	Différence type de parking				Différence parking souterrain							
	Moyen		Sig		Test		Moy					
	SS	Silo	Surf	SS-Silo	Silo-Surf	Surf-SS	Obs	power	Anser	Plage	Palais	ST
Beauté	4.19	4.13	3.49		0.00	0.00	1.00		3.378	4.745	3.170	5.023
Luminosité	4.71		4.26			0.00	0.93		4.161	5.075	4.087	5.178
Bruit	4.18	3.61		0.00			0.99		4.480		3.830	
Propreté	4.46		4.12			0.03	0.62		3.788	5.089	3.217	4.911
Chaud	4.53	2.74	2.72	0.00		0.00	1.00		4.471	4.747	3.723	4.977

TABLE 3.8 – Moyenne significativement différente des qualités architecturales

La population participant à l'enquête s'élève à 769 étudiants. 68% sont des femmes et 32% sont des hommes. 40% des étudiants suivent la filière des sciences économiques et sociales, 35% sont en sciences sociales et politiques, 20% en psychologie et finalement, les 5% restant proviennent d'autres facultés. 90% de l'échantillon est compris dans une tranche d'âge entre 18 et 25 ans.

Répartition de la population par type d'auditoire :

- 64% en auditoire Souterrain (71% de femmes et 29% d'hommes ; 50% U 300 et 50% U600)
- 10 % en auditoire Borgne (53% de femmes et 47% d'hommes ; Amphipôle D)
- 26% en auditoire avec des Fenêtres (67% de femmes et 33% d'hommes, auditoire 1031)

Discussion de l'échantillon

Cette enquête a pour objectif de nous informer sur la perception de la population sur les ouvrages de type lieux en souterrain. Il est évident que cet échantillon n'est pas représentatif de la population. Il s'agit d'un échantillon d'étudiant. Néanmoins, comme pour l'enquête sur les parkings, les femmes sont surreprésentées.

Cette enquête vise également à comparer les différences de perception entre les personnes évoluant dans des espaces souterrains, borgnes ou avec fenêtres. Il aurait donc été souhaitable d'avoir un tiers de la population de l'échantillon pour chaque type d'auditoire, avec à chaque fois la même proportion d'hommes et de femmes.

Traitement des résultats

Afin de pouvoir comparer les résultats des deux enquêtes, l'analyse de l'enquête sur les ouvrages de type lieux va suivre la même logique celle de l'enquête de type flux (3.3). La population de cette enquête est également redressée pour l'échantillon total afin d'éviter une surpondération des femmes et que tous les types d'auditoires aient le même poids (Tableau 3.9). Les analyses sont semblables que pour l'enquête sur les parkings.

Observé	Sous-sol	Borgne	Fenêtre
Homme	0.19	0.4	0.90
Femme	0.46	0.5	0.17
Population			
Homme	0.16	0.16	0.16
Femme	0.17	0.17	0.17
Pondération			
Homme	0.84	0.40	0.18
Femme	0.37	0.34	1.00

TABLE 3.9 – Pondérations utilisées pour redresser l'échantillon

La Perception

Comme pour le questionnaire sur les parkings, une série d'adjectifs dichotomiques a été proposée dans le questionnaire (laid-beau, sombre-lumineux, peu-très bruyant, sale-propre, froid-chaleureux, sécurisant-effrayant, fascinant-repoussant, mystérieux-banal, oppressant-peu oppressant). Les répondants ont évalué sur une échelle de 1 à 6 l'adjectif qui représente le mieux leur perception du souterrain.

L'espace souterrain est perçu comme un lieu peu confortable, comme l'atteste la polarisation vers les termes laids, sombre et sale (Figure 3.5). Cet aspect est renforcé dans une moindre mesure par les adjectifs oppressants et repoussant qui souligne peu accueillant. Par contre, ces résultats permettent aussi de déceler une autre qualité souterraine. Le sous-sol est ressenti comme un abri ; il est sécurisant, peu bruyant et chaleureux. Cela démontre que l'espace souterrain n'est pas uniquement perçu négativement. Mais un abri n'est pas un lieu « de vie », il reste un lieu refuge. La perception de l'espace comme un lieu inconfortable reste un obstacle à surmonter si l'on songe à un plus grand développement de l'espace souterrain et donc à un temps plus long passé sous la terre.

La peur liée aux lieux souterrains est relativement faible dans cette population. La moyenne se situe à 2.3. Pour les personnes qui ont estimé leur peur à 5 ou à 6, le pourcentage est de 7%, environ deux fois moins que pour la population de l'enquête auprès des abonnés des parkings.

Bien que le pourcentage de l'échantillon qui a peur du souterrain soit relativement faible, une régression peut permettre de déceler les facteurs qui influencent cette

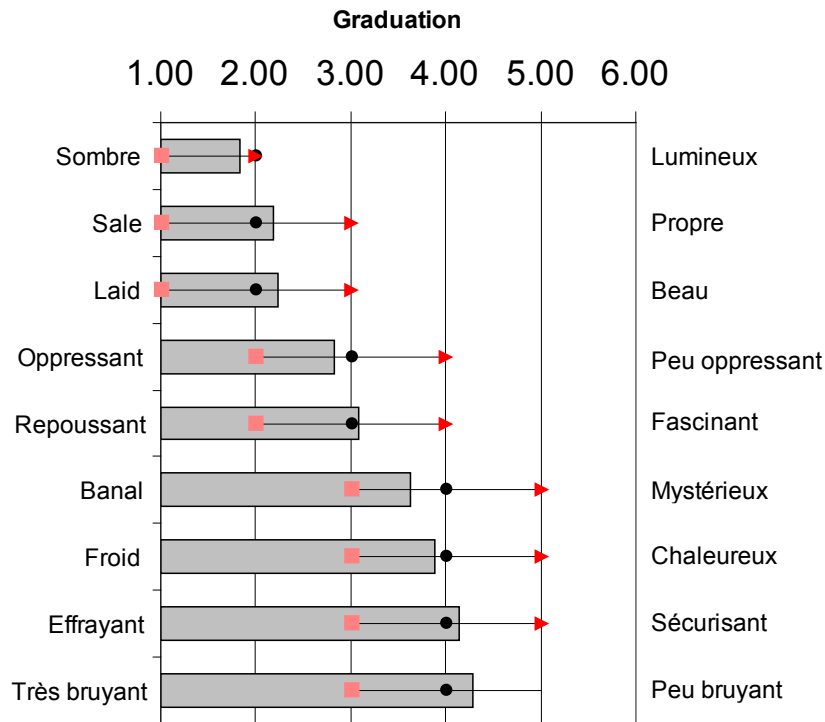


FIGURE 3.5 – Perception de l'espace souterrain par l'ensemble de la population ; Questions dichotomiques "Pour vous le souterrain est plutôt..." sur une échelle de 1 à 6

peur. L'hypothèse est que la peur peut être expliquée par les variables de perception (figure 3.5) et le profil des répondants (sexe, claustrophobe, type d'auditoire). Il sera peut-être possible d'y déceler des moyens d'action pour amoindrir ce facteur. Plusieurs variables ne sont pas significatives. Il s'agit de laid-beau, sombre-lumineux, peu bruyant-très bruyant, sale-propre, sécurisant-effrayant, fascinant-repoussant, mystérieux-banal et type d'auditoire. Comme pour l'enquête parking, les variables physiologiques, sexe et claustrophobe, influencent le facteur peur du souterrain (Table 3.10). Par contre, un résultat plus étonnant, voir incohérent ressort. La régression nous indique que plus les répondants trouvent le sous-sol chaleureux, plus ils ont peur de ce milieu.

Modèle	Coefficients non standards		Coefficients standards		t	Sig	Statistiques colinaires	
	B	déviatiion standard	Beta				Tolérance	VIF
(constante)	-.096	.339			-.284	.776		
Souterrain chaleureux	.323	.055	.283		5.837	.000	.781	1.280
Souterrain peu oppressant	-.122	.047	-.125		-2.581	.010	.782	1.279
Claustrophobe	.232	.047	.233		4.930	.000	.823	1.216
Sexe	.576	.124	.213		4.635	.000	.875	1.143

TABLE 3.10 – régression sur la peur du souterrain

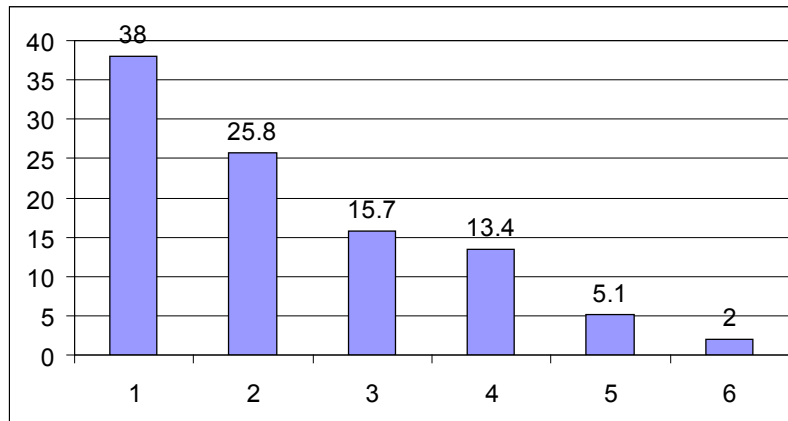


FIGURE 3.6 – Résultats en pourcent à la question : Avez-vous peur d'aller dans des lieux souterrain ? (1 Pas peur du tout ; 6 Très peur)

	Différence homme - femme			
	Moy H	Moy F	Sig	Obs Power
Peur souterrain	1.69	2.73	0	1
Claustrophobe	1.96	2.64	0	1

TABLE 3.11 – Différence entre homme et femme sur les peurs.

Différence Homme-Femme

Les phobies, tel que la peur du souterrain ou la claustrophobie, peuvent influencer la perception que l'on a du souterrain. Par exemple, une personne claustrophobe peut trouver un milieu souterrain plus oppressant qu'une autre personne. La Table 3.11 montre les différences entre les hommes et les femmes. Ces phobies sont significativement plus hautes pour les femmes.

Les hommes ont un avis plus nuancé que les femmes concernant le sous-sol. Les femmes ont des avis plus marqués, qui vont plus dans les extrêmes. Les variables de confort (laid, sombre, sale) et les variables d'accueil (repoussant, oppressant) sont évalués plus négativement par les femmes, alors que les variables de refuge (chaude, sécurisant) sont perçues plus positives par les femmes que par les hommes (Figure 3.7).

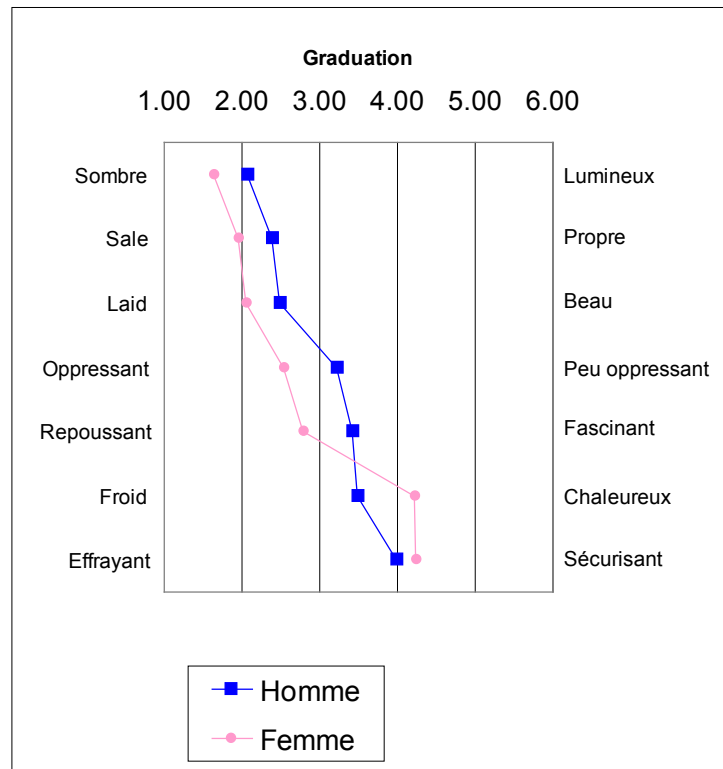


FIGURE 3.7 – Perception significativement différente entre homme et femme

Les usages

L'ensemble des répondants

Les étudiants ont été questionnés sur la possibilité de transférer certains lieux en milieu souterrain (« De votre point de vue d'utilisateur, pensez-vous que les lieux suivants sont adaptés pour être développés en souterrain »). On peut remarquer une certaine cohérence dans ce classement. Aux deux premières places, nous trouvons des espaces de stockage où les personnes ne passent finalement que peu de temps. Les voies de communication, lieux de passage uniquement, sont classées en troisième place. Les espaces borgnes de surface (Cinéma et Centre commercial) arrivent ensuite, suivis par les lieux dévolus au sport. Pour finir, nous trouvons les lieux de vie (salle de cours, bureau et habitation) (Figure 3.8).

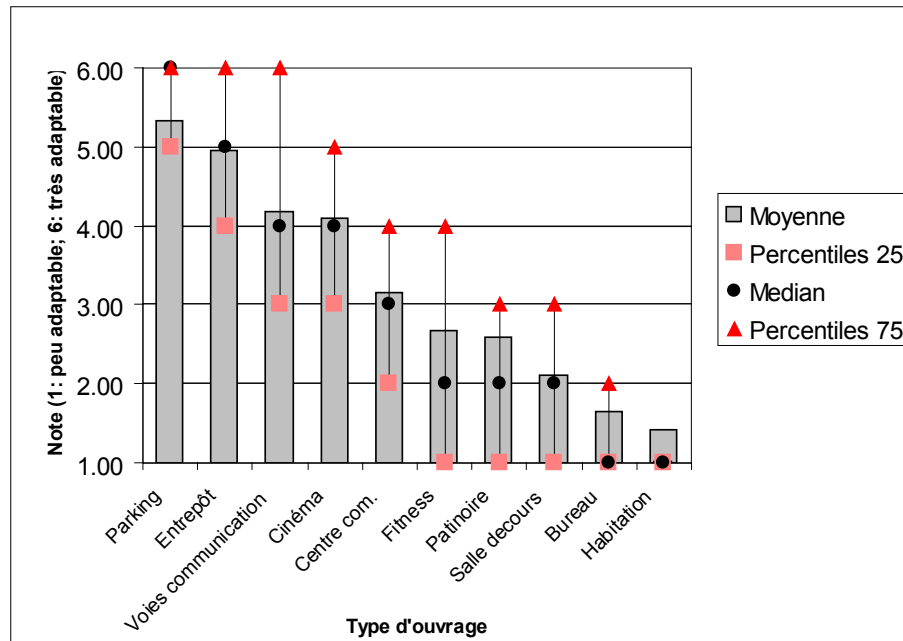


FIGURE 3.8 – Usages adapté au souterrain

Les lieux qui obtiennent les scores le plus aux extrêmes (parking, bureau et habitation) sont également ceux qui ont la distribution la moins étalée. Il serait intéressant de voir vers quel percentile pencheraient les autres lieux si les gens étaient habitués à y évoluer en milieu souterrain.

Différence Homme-Femme

L'appréhension plus négative des femmes envers le souterrain se vérifie également sur la possibilité de transférer divers usages en souterrain (Table 3.12). Ces résultats laissent à penser qu'en cas de transfert d'activité en sous-sol, il faudrait être particulièrement attentif aux attentes des femmes, afin de ne pas marginaliser une part de la population. Cette différence est particulièrement marquée dans le cas des cinémas. Cet écart explique en partie la distribution très étalée dans les résultats sur l'ensemble de la population (Figure 3.8).

	Moy H	Moy F	Sig	Obs. Power
Parking	5.48	5.28	0.018	0.656
Cinéma	4.61	3.79	0	1
Habitation	1.58	1.31	0	0.972
Centre commercial	3.43	2.97	0	0.984
Fitness	2.95	2.44	0	0.996
Auditoire	2.39	1.97	0	0.988
Patinoire	2.84	2.44	0	0.959
Bureau	1.79	1.57	0.008	0.752
Voies communication	4.44	4.05	0.001	0.9
Souterrain laid	2.49	2.05	0	1

TABLE 3.12 – Différence Homme-Femme usages

Différence par type d'auditoire

Généralement, il n'y a pas de différence notable entre les différents types d'auditoire pour les usages, sauf pour la possibilité d'installer des auditoires en souterrain. Les répondants qui se trouvaient dans des auditoires souterrains ont estimé cette possibilité plus adaptée que les étudiants des autres types d'auditoires (Souterrain = 2.30 ; Borgne = 1,89 ; Fenêtre = 1.67). Ces résultats laissent présager du développement d'une meilleure acceptabilité du sous-sol avec l'habitude. Il est important de souligner que les répondants des auditoires borgnes et avec fenêtres sont des étudiants de l'université de Lausanne qui n'a pas d'auditoire souterrain.

Les formes

L'ensemble des répondants

Afin de déterminer les qualités de formes et d'esthétisme importantes dans la forme des ouvrages, l'influence de différentes caractéristiques sur le bien-être dans cet ouvrage est testée grâce à une régression linéaire. L'hypothèse est que le bien être (noté de 1-peu élevé à 6- très élevé) est expliqué par :

- les qualités architecturales : laid-froid, sombre-lumineux, peu-très bruyant, sale-propre, froid-chaleureux
- le type d'auditoire : souterrain, en surface borgne, en surface avec fenêtre

Le coefficient de significativité de la régression est < 0.001 , la régression est donc significative ($R^2 = 0.397$ et $R^2_{\text{ajusté}} = 0.383$), mais tous les coefficients ne sont pas significatifs.

Les variables sur le bruit et l'aspect chaleureux n'influencent pas le degré de bien-être dans la salle de cours. Il est donc supprimé. La nouvelle régression est également significative. La force de la relation entre la variable dépendante et les variables indépendantes est de 39,2%, cela indique qu'il existe encore d'autres facteurs qui influencent cette notion de bien-être ($R^2 = 0.392$ et $R^2_{\text{ajusté}} = 0.384$).

Le facteur de beauté est la variable qui a le plus d'importance. Ensuite, le type de salle est la deuxième variable qui influence le plus la variable dépendante (Table 3.13). Il faut malgré tout être prudent avec cette affirmation. En effet, étant donné que les trois types d'auditoires ne sont pas identiques, il est probable que l'architecture générale influence ces résultats. La variable sur la propreté de la salle révèle un résultat étonnant. Le signe du beta est inverse à ce que l'on pourrait attendre.

Enfin, sur une échelle de 1 à 6, à la question : « Pour vous, lorsque vous êtes dans un auditoire, est-ce que la présence de fenêtres est important », la moyenne est de 3.66. L'importance de ce facteur ne semble pas être primordiale pour les étudiants.

Différence par type d'auditoire

Pour l'analyse des chiffres sur les différents types d'auditoires, il est important de se rappeler que les auditoires ont des qualités architecturales propres qui peuvent également influencer les résultats et que, par conséquent il n'y a pas que les variables souterrain – borgne – fenêtres qui influencent les réponses des étudiants.

A la question : « Veuillez noter votre degré de bien-être dans cet auditoire par rapport aux autres auditoires que vous fréquentez » (noté de 1 peu élevé à 6 très élevé), on peut remarquer des moyennes significativement différentes pour chaque type d'auditoire :

- Souterrain : 3,46
- Borgne : 3,89
- Fenêtres : 4,62

Si l'on regarde les autres caractéristiques, on s'aperçoit que l'auditoire avec des fenêtres est jugé plus beau et plus lumineux que les deux autres. Il est probable que ces

Variable dépendante	Coefficient non-standard		Coefficient standard		t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Erreur standard	Beta	standard			Tolérance	VIF
Bien-être	1.687	.267			6.330	.000		
(Constant)								
Salle beauté	.283	.046	.295		6.199	.000	.677	1.476
Salle luminosité	.151	.038	.201		3.963	.000	.596	1.679
Salle propreté	-.089	.037	-.106		-2.377	.018	.772	1.296
Type	.348	.072	.260		4.819	.000	.524	1.909

TABLE 3.13 – Régression linéaire de la variable dépendante "Bien-être", nettoyée du bruit

	Moy			Sig		
	SS	Borgne	Fenêtre	SS-Borgne	SS-Fenêtre	Borgne-Fenêtre
Bien-être	3.46	3.89	4.62	0.1	0	0
Salle laid	3.03	2.97	4.14		0	0
Salle sombre	3.15	2.79	5.00		0	0
Salle peu bruyant						
Salle sale	4.57	5.07	5.56	0.016	0	0.037
Salle froid	3.89		4.57		0	
Fenêtre	3.76		3.38		0.03	

TABLE 3.14 – Différence significative entre les différents types d'auditoire

facteurs jouent un rôle important dans le bien-être des sujets ayant répondu au questionnaire. A ceci s'ajoute le fait que l'auditoire avec fenêtres a été jugé plus propre que l'auditoire borgne qui est lui-même perçu, comme plus propre que l'auditoire en souterrain.

On peut toutefois se demander si la perception de l'espace souterrain en général n'a pas également une influence. Le sous-sol a été évalué plutôt comme un milieu sale. On peut se demander si cela n'a pas une influence sur la perception de la propreté des auditorios souterrains. C'est-à-dire qu'il pourrait être perçu plus sale uniquement, par le fait qu'il soit situé en souterrain (Table 3.14).

L'importance de la présence de fenêtres révèle également une différence significative. Bien que les étudiants interrogés en sous-sol jugent ce critère plus important que ceux se trouvant dans les auditorios, ces mêmes étudiants en souterrain sont plus favorables à un auditoire souterrain que ceux des deux autres types d'auditoire (souterrain = 2,3 ; Borgne = 1,89 ; Fenêtres = 1,67). Cela peut laisser supposer que d'être habitué à exercer une activité en souterrain peut la faire devenir plus supportable, malgré le manque de fenêtre.

Auditorios souterrains : Comparaison

Dans ce cas, l'architecture est relativement semblable. La population totale est de 498 étudiants, répartie de manière équivalente entre les deux auditorios. La principale caractéristique qui varie est la taille de l'auditoire. La population de l'auditoire u300 (le plus petit) est constituée de 75% de femmes et 25% d'hommes. Alors que celle de

	Moy		Sig	Obs. Powered
	U300	U600	U300-U600	
Salle beauté	2.85	3.21	0.001	0.9
Salle luminosité	3.31	2.98	0.014	0.696
Salle peu bruyante	4.11	3.18	0	1
Importance fenêtre	3.94	3.58	0.005	0.803

TABLE 3.15 – Différence entre les deux auditorios souterrains en fonction du genre

l'u600 est formée de 67% de femmes et de 33% d'hommes. Ces comparaisons peuvent nous donner un indice sur l'importance du volume en souterrain (Table3.15).

Premièrement, on peut remarquer qu'il n'y a pas de différence significative quant au bien-être dans l'auditoire. Ensuite, il est difficile de remarquer une vraie cohérence dans ces résultats. L'un est jugé plus lumineux, l'autre plus beau. Enfin, pour l'auditoire qui a été évalué le plus lumineux, l'importance d'avoir des fenêtres est jugée plus importante, alors que pour les autres types d'auditoire, c'est l'inverse.

Corrélations entre la perception de la salle et la perception de l'espace souterrain

Afin de déterminer si les personnes qui étaient en souterrain ont lié leur perception de l'espace sous-sol à l'auditoire dans lequel ils se trouvaient, des tests de corrélations ont été effectués entre les variables qui sont identiques (beauté, luminosité, bruit, la propreté et chaleur) entre la perception de leur salle et la perception de l'espace souterrain. Aucune corrélation n'a été jugée suffisamment élevée pour y déceler un lien systématique.

3.5 Enquête qualitative : La phobie du milieu souterrain

Afin de mieux comprendre la peur que certaines personnes ont des milieux souterrains, des interviews (guide d'entretien : cf. annexe) ont été réalisées auprès de personnes présentant cette caractéristique. Quatre femmes entre 20 et 30 ans ont été

interrogées, ainsi qu'un homme de plus de 50 ans. Les premières conclusions sont que la principale phobie pour les femmes est la peur de se faire agresser, alors que pour l'homme cette peur est plutôt liée à la claustrophobie, à la peur de ne pas avoir d'échappatoire. A noter qu'une personne de sexe féminin lie la claustrophobie et la peur de l'agression, cette dernière étant la plus prononcée.

La claustrophobie

Dans ce cas, la personne se sent oppressée. Elle peut manquer d'air, avoir des bouffées de chaleur, des picotements ou des vertiges. Il est impératif de disposer d'une issue pour retrouver sa liberté. Il y a un fort besoin de maîtrise de sa personne dans l'environnement. Un exemple, une personne interrogée préfère être en voiture dans un tunnel qu'en transports publics, car elle peut s'arrêter quand elle veut.

Les qualités architecturales ont une grande importance. Il faut qu'il y ait beaucoup d'espace. Les plafonds doivent être hauts. S'ils sont voûtés, c'est encore mieux, car cela donne un aspect plus naturel. Une personne interrogée trouve le côté naturel très important, elle trouve qu'une grotte est plus rassurante qu'un milieu construit. Afin de privilégier ce côté naturel, il est important que les murs ne soient pas du béton nu et lisse. Les matériaux utilisés dans la construction relèvent donc d'une certaine importance. Cela permet de casser le côté lisse du béton, mais aussi cela change l'ambiance sonore et peut la rendre plus agréable.

La lumière et l'air sont d'autres aspects importants. Une lumière abondante est impérative. La luminosité d'un puits de lumière est un apport naturel très apprécié. De plus, un sous-sol clair et lumineux gomme partiellement l'effet lié à la présence dans un souterrain. Des murs et un plafond avec une peinture à teinte claire sont des atouts architecturaux non négligeables. Un puits de lumière a encore deux autres avantages. Il donne l'impression d'offrir une issue. Et si, de plus, il peut contribuer à un apport d'air naturel celui-ci est alors nettement plus apprécié que l'air ventilé. Un courant rend cet air naturel encore plus agréable.

La visibilité des sorties et leur nombre sont très importants. Le lieu doit donc être balisé pour bien les indiquer. Etonnamment, la profondeur est un sujet qui divise. Pour certains, le fait d'être en souterrain est oppressant, que ce soit au premier niveau sous-sol ou au cinquième, alors que d'autres préféreront être le plus près possible de la surface afin de pouvoir s'échapper dans le plus bref des délais en cas de crise d'angoisse.

Pour réussir à surpasser l'oppression due au milieu souterrain, il est important de toujours savoir où se situe l'issue la plus proche, sans quoi le « captif » en est réduit à tenter de dominer son angoisse, par exemple en contrôlant sa respiration. La présence d'une personne connue peut aider à gérer son stress. En dernier recours, il reste les médicaments. Si la personne sait qu'elle devra passer un long moment en souterrain, par exemple pour traverser un long tunnel, elle peut prendre des médicaments pour calmer les angoisses. Mais d'une manière générale, une stratégie d'évitement des milieux souterrains est utilisée.

En conclusion, les qualités architecturales peuvent aider, mais ne résoudront pas tout. Par exemple, si le supermarché qu'une personne fréquente régulièrement venait à être déplacé en souterrain, il est vraisemblable que celle-ci se sentirait plus stressée qu'auparavant. De plus, il reste toujours un élément non maîtrisable, la foule. Cette dernière va agir comme un lieu fermé, sans sortie. La personne se sent prise au piège sans pouvoir s'échapper rapidement. La présence d'une importante foule en souterrain va exacerber le sentiment d'oppression.

La peur de l'agression

Cette peur est liée principalement à deux éléments. La première est l'image d'un lieu dangereux. La perception négative vue dans les études quantitatives (3.3 et 3.4) a une influence sur la peur de l'agression en souterrain. En effet, dans les films, les sous-sols sont souvent le lieu d'agression et où se promènent des gens peu recommandables, comme le relève une personne interrogée. La deuxième est le fait d'être comme une proie piégée, à l'abri des regards. Les personnes interrogées soulignent qu'en cas d'agression, même crier peut paraître dérisoire, personne ne pouvant vous entendre. En plus, en cas d'agression, il est plus difficile de s'enfuir, les issues sont moins nombreuses. Les personnes se sentent coupées du monde extérieur.

Dans ce cas, les qualités architecturales des lieux vont permettre à ceux-ci de paraître moins "glauques", ce qui ne va pas empêcher les personnes angoissées d'avoir peur de se faire agresser. Les principaux efforts devraient surtout se porter sur les aspects sécuritaires. Il faut noter que des caméras de surveillance seules ne suffisent pas et peuvent même être un signe de dangerosité des lieux. La présence de personnes est un des points clés pour rassurer. Le type de population est aussi un facteur important. Des familles et des couples sont nettement plus rassurants que des hommes seuls. Une foule trop dense peut également être perçue comme oppressante. Mais

de manière générale, des lieux comme un supermarché souterrain ne font pas peur, et encore moins lorsque le fait de descendre en souterrain n'est pas perçu. Dans les lieux à faible densité humaine, comme les parkings, la présence d'au moins un gardien aide à rassurer. Si celui-ci a des écrans pour voir ce qu'il se passe, cela aide à rassurer. Une personne répondante aimerait avoir la possibilité d'être accompagnée à sa voiture par un vigile. Une solution consisterait donc à engager un deuxième gardien qui effectue des rondes et qui pourrait accompagner les personnes angoissées à leur véhicule, mais cela engendrerait des coûts d'exploitation supplémentaires. En se basant sur ce constat, une autre solution envisageable, utilisant la technique plutôt qu'un deuxième vigile, consisterait à installer de nombreux boutons poussoirs d'alarme avec interphone pour parler au vigile ou des microphones qui permettraient au vigile d'entendre des appels au secours et voir ce qu'il se passe sur des écrans. Ces deux solutions nécessitent un investissement supplémentaire en matériel technique, mais sont moins cher à l'exploitation qu'un vigile supplémentaire.

De manière générale, la peur de l'agression physique ou sexuelle augmente la nuit. Les personnes interrogées révèle que plus l'heure devient tardive, plus le sentiment grandit. Comme pour le souterrain, l'image négative de la nuit influe sur les personnes. Viredaz (2005) explique que la nuit rend les choses mystérieuses et invisibles. Viredaz (2005) précise qu'un bon éclairage public réduit le sentiment d'insécurité. Il permet une plus grande visibilité de l'agresseur potentiel par la victime ou par des témoins. Et cela permet un certain contrôle social informel. Cette peur liée à la nuit renforce la peur liée au souterrain. Une personne a avoué pouvoir passer dans certains passages souterrains dans des gares de jour, bien qu'elle ne se sente pas rassurée et qu'elle trouve glauque, mais ne peut plus les traverser non accompagnée de nuit.

Le type de fréquentation d'un milieu souterrain influence le sentiment d'insécurité. Un lieu suffisamment peuplé ou peuplé de personnes jugées tels des familles, des femmes ou des personnes âgées, rassure la personne. Elle ne voit pas les autres comme une menace et peuvent même être un aide en cas d'agression. Par contre, un espace souterrain peu fréquenté ou fréquenté par un homme seul semble plus angoissant. Les personnes ayant peur de se faire agresser en souterrain ne peuvent pratiquement pas pénétrer dans un milieu souterrain à faible densité durant la nuit.

Les qualités architecturales sont une source d'apaisement de ce sentiment d'insécurité en souterrain. La première caractéristique citée par les individus interrogés est la lumière, tout comme elle l'est de nuit dans l'espace public. Il faut que les personnes puissent bien voir tout ce qui se passe dans les lieux afin de pouvoir anticiper et ne pas être surprises. Cela permet également de réduire l'effet glauque des milieux

souterrains. Dans les milieux où elles se sentent en danger, ces personnes sont aux aguets et mettent tout leurs sens en éveil. La lumière est donc très importante, mais l'ouïe aussi. Si de la musique est diffusée dans un parking, elle doit impérativement être douce et à très faible volume, afin de pouvoir entendre tout ce qui se passe dans le parking et ne pas être surpris. D'ailleurs, dans un parking souterrain, elles se sentent plus en sécurité dans leur voiture et elles guettent toujours qui se trouve aux alentours avant de sortir pour diminuer le risque.

Les personnes souffrant d'un important sentiment d'insécurité en souterrain essaient de réduire au maximum leur temps de présence dans ces lieux, par exemple en se parquant toujours le plus près possible de la sortie. Dans ce cadre là, il est important que les bâtiments souterrains soient bien balisés et d'orientation aisées afin de réduire le temps de présence en souterrain. Mais également, un nombre important de sorties est non négligeable. Ces dernières doivent également être bien conçues, car il ne faut pas que ces personnes se sentent prises au piège dans une cage d'escalier trop étroite et dans laquelle le champ de vision est trop restreint.

Un ouvrage souterrain bien aménagé, avec une bonne luminosité, des couleurs claires et propre présente un autre avantage. Il favorise un nombre d'utilisateurs plus importants. Cette augmentation de la fréquentation permet de rassurer les personnes qui ont peur. Il s'agit de la même démarche que certains Etats ont mis en place en utilisant l'éclairage public comme un moyen de lutte contre le crime et l'insécurité. Cette démarche favorise le repeuplement des rues la nuit et permet un contrôle social informel (Viredaz, 2005).

Pour éviter ces moments d'angoisse, généralement, les personnes essaient d'éviter à tout prix les milieux souterrains qui leur font peur, surtout la nuit. Si elles sont obligées de s'y rendre, elles essaieront d'être accompagnées. Le téléphone portable est également une aide très appréciée. Certaines personnes ont la main dessus prêtes à s'en servir ou appelle quelqu'un lorsqu'elles sont stressées en sous-sol dans un but préventif et apaisant. Une personne a même avoué avoir un spray au poivre et de le garder à portée de main. Il pourrait être utile de travailler sur l'image du souterrain en lui donnant une image plus sûre.

3.6 Synthèse et perspectives

Les principaux résultats des enquêtes quantitatives

Dans la littérature, les problèmes de perception ou de peur de se rendre en souterrain sont souvent évoqués, mais rarement quantifiés. Cette recherche a pour but de quantifier ces intuitions et déterminer si ces sentiments sont rédhibitoires au développement du sous-sol. Dans le cas où ces sentiments laissent la place à une plus grande utilisation du souterrain par l'être humain, il est important de savoir quels usages siéent le mieux à la population, lesquelles sont acceptables et lesquelles sont inacceptables. Enfin, cette recherche à déterminer à quelles qualités la forme de ses espaces doit répondre pour satisfaire leurs utilisateurs.

Deux enquêtes ont été élaborées afin de comparer la perception, l'usage et la forme d'espaces construits en souterrain d'ouvrage de type flux (ici, des parkings) et des ouvrages de type lieux (ici des auditorios universitaires). Ces enquêtes ont été réalisées dans trois types de lieux : des bâtiments souterrains, des bâtiments de surface avec fenêtre, des bâtiments borgnes de surface. Cette typologie de lieux permet de comparer les différences qui caractérisent les personnes habituées à fréquenter ces différents type de lieux.

La Perception des lieux souterrains

Type d'espace	Flux	Lieux
Perception générale	négative	négative notion d'abri
Peur	15%	7%
Influence la peur	+ sexe et claustrophobie - perception négative	+ sexe et claustrophobie - perception négative
Différence selon le sexe	F perception + négative	F perception + négative F. notion d'abri + fort
Différence selon le type de lieu	habitués SS perception + positive	

TABLE 3.16 – Synthèse des résultats sur la perception

La synthèse des enquêtes (Table 3.16) montre que le pourcentage de la population qui a peur de se rendre en souterrain n'est pas assez élevé pour justifier de ne pas

développer ce type d'espace. Bien que le sous-sol possède une image négative, cette perception n'est pas le facteur qui influe le plus sur la peur de se rendre en souterrain. Les variables qui expliquent le plus cette peur sont le genre et la claustrophobie. De manière générale, les femmes ont une perception plus négative que les hommes.

Le pourcentage moins élevé de gens ayant peur dans l'enquête de type flux peut s'expliquer par la différence entre les deux échantillons. La population, dans l'enquête de type lieux, est constituée de personnes jeunes. Selon Viredaz (2005), le sentiment augmente avec l'âge à partir de 25 ans, car plus on vieillit plus on est vulnérable et moins on se remet facilement des séquelles physiques.

Enfin, l'enquête de type flux révèle que la perception de l'espace souterrain est plus positive pour les abonnés des parkings en souterrain. La peur de se rendre en souterrain est également moins élevée chez les abonnés des parkings souterrains que chez les abonnés des parkings en silo. Cela laisse supposer que l'habitude de se rendre dans un milieu qui peut paraître hostile de prime abord permet d'en développer une perception plus positive.

L'usage

Type d'espace	Flux	Lieux
Usage	1. Parking	1. Parking
	2. Entrepôt	2. Entrepôt
	3.V. communications	3. V. communications
	4. Cinéma	4. Cinéma
	5. Salle de concert	5. Centre commercial
	6. Centre commercial	6. Fitness
	7. Fitness	7. Patinoire
	8. Patinoire	8. Salle de cours
	9. Bureau	9. Bureau
	10. Habitation	10. Habitation
Différence selon le sexe	Femme + négative	Femme + négative
Différence selon le type de lieu	Abonné SS	Etudiant en SS
	Parking SS + adapté	Salle de cours SS + adapté

TABLE 3.17 – Synthèse des résultat sur l'usage

La synthèse des résultats (Table 3.18) des deux enquêtes montre que les résultats sont semblables dans les activités qui sont acceptables de transférer en sous-sol. Les résultats nous permettent de classer ces lieux en trois catégories, dans l'ordre de leur acceptabilité à être transféré en surface :

- Les lieux à faible densité humaine : les parkings, les entrepôts et les voies de communication
- Les espaces borgnes de surface : Les cinémas, les salles de concert, les centres commerciaux, les fitness, les patinoires et les salles de cours
- Les lieux à haute densité humaine : Les bureaux et les habitations

Cette observation permet de déterminer, selon l'usage d'un bâtiment, deux critères majeurs de sa capacité à être enfoui :

- la densité humaine, c'est-à-dire un espace de type flux ou plutôt qu'un espace de type lieux
- le fait d'être borgne, c'est-à-dire le besoin de lumière naturelle et le besoin de voir les lieux voisins

Si les décideurs politiques ou les promoteurs privés décidaient d'utiliser le sous-sol de manière intensive, il serait possible d'élaborer une typologie de bâtiment en fonction de ces critères et ainsi leur compatibilité à être construit en souterrain.

Comme pour la perception, les femmes ont des réponses moins enthousiastes que les hommes. Elles acceptent moins facilement la perspective de transférer des activités en sous-sol.

Les abonnés des parkings souterrains jugent l'adaptabilité des parkings en souterrain de manière plus positive que les abonnés des autres parkings. Cette constatation se répète pour les étudiants en souterrain pour l'évaluation des salles de cours. Et dans les deux, c'est le seul usage de bâtiment qui a une différence significative avec les autres groupes de personnes répondantes. Cela suggère que l'habitude de se rendre dans un lieu souterrain pour une activité permet de mieux accepter son développement en sous-sol.

La forme

La synthèse sur la forme des espaces construits révèle une différence d'appréciation entre les ouvrages de type flux et les ouvrages de type lieux (Table 3.18). Pour les parkings, les aspects les plus importants sont l'accessibilité et la sécurité. Les critères architecturaux ont un impact secondaire sur la satisfaction des abonnés quant

Type d'espace	Flux	Lieux
Forme	+ Sécurité + accessibilité - qualité architecturale	+ qualité architecturale + type SS-surface

TABLE 3.18 – Synthèse des résultats sur la forme

à leur utilisation de ces endroits. Alors que, pour les auditoriums, les qualités architecturales et l'aspect enfoui ou pas influe sur le bien-être de ces personnes lorsqu'elles s'y trouvent. Cela démontre une sensibilité plus grande aux qualités architecturales pour les lieux où le temps passé est plus important. Pour les ouvrages de type flux, les aspects fonctionnels sont prioritaires.

Les principaux résultats de l'enquête quantitative

Des interviews ont été réalisées auprès de personnes ayant peur de se rendre en souterrain. Le but de cette recherche est de comprendre les raisons de cette peur et les outils pour aider à la surmonter. Cet enquête a démontré deux causes principales à cette phobie : la claustrophobie et la crainte de se faire agresser.

Les raisons

Claustrophobie	Insécurité
sentiment d'oppression manque d'air besoin d'avoir une issue	perçu comme un lieu dangereux coupé du monde extérieur

TABLE 3.19 – synthèse des raisons de la peur en souterrain

Les mesures à prendre par les concepteurs de lieux souterrains

	Claustrophobie	Insécurité
Les issues :	nombreuses visibles balisées	nombreuses visibles balisées “de qualité”
Les plafonds :	hauts voûtés	
Les matériaux :	pas de béton lisse et nu	pas de béton lisse et nu
Lumière :	abondante naturelle	abondante naturelle chaleureuse
Peinture :	claire	claire chaleureuse
air :	naturel courant	
Présence :		vigile “bien” fréquenté
entretien :		pas de dégâts propre

TABLE 3.20 – Les qualités architecturales requises par les personnes phobiques

Certaines qualités architecturales d'un espace souterrain peuvent aider les personnes phobiques à surmonter leur peurs. Les issues sont très importantes pour les deux populations. Les claustrophobes sont très sensibles aux qualités architecturales. Les autres chechent avant tout des lieux sécurisés et non-glauques (Table 3.20).

Les stratégies pour surmonter cette peur

Claustrophobie	Insécurité
évitement	évitement
personne connue	personne connue
médicament	observation
	téléphone

TABLE 3.21 – Les stratégies dans l'ordre d'utilisation pratiquée par les personnes phobique

Les faiblesses du souterrain révélées par les études sociologiques

1. La population a une perception négative de ce type d'espace
2. Une partie de la population a peur de se rendre en sous-sol et va chercher à les éviter

Les opportunités d'un plus important développement des espaces souterrains révélés par les études sociologiques

1. Le pourcentage de la population n'ayant pas peur du souterrain est suffisamment important
2. L'effet d'apprentissage qui se définit par l'aptitude des êtres humains à s'habituer à évoluer dans un nouveau milieu et à s'y habituer
3. Favoriser l'enfouissement de lieux bien accepté par la population. Il est possible de se baser sur une typologie basée sur la densité humaine et le besoin d'ouvertures pour déterminer la faisabilité d'une construction en sous-sol, néanmoins, il faut être conscient qu'un bâtiment à faible densité humaine est une source d'angoisse pour les personnes souffrant d'insécurité en souterrain.
4. Elaborer des espaces dotés de qualités architecturales suffisantes.

Interactions entre la sociologie et les autres domaines de recherche

- La mauvaise perception du souterrain par la population se répercute sur les décideurs :
 - politiques ; cela ralentit l'évolution des lois concernant le sous-sol
 - économiques : ils n'investiront pas s'ils ont des appréhensions sur ce milieu et que le public qui doit faire fructifier leur investissement perçoit mal ce même milieu
- La mauvaise perception du milieu souterrain empêche cette même perception de s'améliorer. Cette perception empêchant le développement du sous-sol et donc l'effet d'apprentissage de se réaliser
- Les formes architecturales exigées pour améliorer la perception et aider les phobiques peuvent engendrer des coûts supplémentaires par rapport à une construction en surface. L'augmentation des hauteurs de plafonds ou la multiplication des issues en sont l'exemple type. Afin d'améliorer l'attractivité du souterrain, il peut suffire de prendre des mesures utiles, mais moins coûteuses tel que la lumière ou la peinture.

Discussion et pistes de recherches

Des mesures architecturales et le développement d'usages bien acceptés permettraient d'améliorer la perception du sous-sol. L'effet d'apprentissage pourrait permettre d'améliorer encore cette perception. Si cette perception s'améliore, les décideurs seront plus enclins à développer ce type d'espace. Cela permettrait d'augmenter encore l'habitude de la population à cet espace et donc son acceptation et une perception plus positive. En systémique, ce phénomène s'appelle une boucle de rétroaction positive. Néanmoins pour amorcer cette boucle et lui permettre de jouer son effet positif, il faut déterminer si les promoteurs sont prêts à investir dans ces mesures architecturales et le développement d'infrastructures souterraines bien acceptées par la population. Certaines questions économiques sont traitées au chapitre 4, notamment les comparaisons des coûts de construction entre la surface et le souterrain. Une étude approfondie des mesures architecturales ayant un effet sur les peurs et la perception peut donner aux décideurs une connaissance suffisante pour faire les meilleurs choix et donc aider au développement souterrain. Cette recherche devrait permettre de mesurer leur efficacité sur la perception et la peur de la population et définir les coûts de ces mesures.

Il serait également intéressant de pouvoir vérifier l'influence de l'habitude développée à utiliser des espaces souterrains sur la perception de ce dernier. Une enquête qualitative menée dans des villes avec des degrés différents d'utilisation du sous-sol permettrait une telle comparaison.

Chapitre 4

Évaluation économique de l'intérêt de l'espace souterrain urbain

Les techniques de construction ne sont désormais plus un obstacle à la plupart des réalisations souterraines. Le chapitre 1 a présenté certains avantages urbanistiques et environnementaux liés à l'urbanisme souterrain. Le chapitre 3 a montré qu'une majorité de la population est prête à réaliser certaines activités en souterrain. Malgré cela, les infrastructures souterraines restent nettement moins courantes que celles de surface. A Genève, si l'on observe le nombre d'ouvrages, les hors-sols représentent une proportion de 88%, pour 12% de sous-sols. Quant au rapport en termes de surface au sol, celui-ci est de 70%-30%¹. Ces chiffres poussent à s'interroger si le sous-sol n'est pas désavantagé vis-à-vis de la surface pour des raisons économiques.

Il faut distinguer deux situations différentes. D'un côté, l'Etat peut se permettre de faire des choix déterminés moins par des aspects financiers que par des facteurs urbanistiques, par idéologie écologique ou pour développer le bien-être ressenti par les habitants et ainsi attirer plus de contribuables ou des contribuables plus fortunés. Par exemple :

- les pouvoirs publics peuvent choisir de construire un parking souterrain, plutôt qu'un parking en surface afin de préserver un parc public, et ce malgré un investissement plus important et les coûts d'entretien du parc.

1. Ce recensement a été réalisé grâce aux données fournies par le Système d'Information du Territoire Genevois (SITG).

- Les pouvoirs publics peuvent décider de réaliser un métro plutôt qu’un tram. Ce choix pourrait se justifier en expliquant qu’un métro n’obstrue pas les routes en surface et qu’il est plus rapide grâce à des trajectoires plus directes.

Ces choix peuvent se révéler coûteux et peuvent donc heurter la sensibilité du public (voir chapitre 5). Malgré cela, si l’État désire s’engager afin de favoriser un développement du sous-sol, il est important qu’il puisse s’appuyer sur des arguments économiques solides. Ces derniers lui permettront de défendre sa politique et éventuellement de pouvoir instaurer des outils qui puissent la favoriser. Il s’agit ici de s’intéresser à la valeur économique qu’une utilisation plus accrue du sous-sol peut amener à une ville. Dans la première partie de ce chapitre, *la problématique économique du souterrain à l’échelle de l’urbain* sera illustrée par des exemples de recherche tirés de la littérature du domaine de l’évaluation économique de biens environnementaux.

D’un autre côté, l’économie privée recherche avant tout la rentabilité dans ses investissements immobiliers. Par conséquent, il est important que les investisseurs privés puissent avoir, non seulement une image des coûts qu’implique une construction souterraine, mais également des charges d’exploitation afin de bénéficier d’une vision complète du potentiel de leur investissement. La deuxième partie de ce chapitre examinera *la problématique économique du souterrain à l’échelle du projet*. Il s’agira dans un premier temps d’étudier de la littérature sur l’urbanisme souterrain et l’avis de divers experts en immobilier, afin de définir différents éléments pertinents à prendre en compte. Ces facteurs seront par la suite utilisés à travers une étude de cas qui permettra de comparer les coûts de construction et les charges d’exploitation en surface et en souterrain.

4.1 La problématique économique à l’échelle de l’urbain

Le sous-sol étant abordé comme un outil urbanistique visant à soutenir une densité qualifiée, le volet de cette étude va essentiellement s’articuler sur l’évaluation du bien-être que ce développement peut amener à l’échelle urbaine. Plusieurs éléments peuvent nous permettre de quantifier l’apport du souterrain à la ville. Ainsi, une ville plus dense possède un certain nombre d’intérêts économiques, aussi bien d’un point de vue privé que public. Le citoyen peut vouloir minimiser ses coûts et son temps de transport et donc réduire les distances. Le promoteur peut être intéressé à avoir la

surface de plancher constructible la plus élevée possible dans un souci d'augmenter ses revenus par m² de terrain. Enfin, les pouvoirs publics peuvent chercher à alléger les finances publiques en amenuisant les frais en infrastructures, en réseaux collectifs et en coûts d'exploitation et de maintenance de ces derniers (Amphoux *et al.*, 1999). En effet, l'étalement urbain va se traduire par des investissements publics tels que des routes, des réseaux électriques ou des réseaux sanitaires. L'état devra entretenir ces réseaux, mais aussi augmenter ses coûts pour d'autres services tels que le ramassage des ordures.

L'étalement urbain provoque la perte esthétique d'espace non-construit, la perte d'espace vert et de terrain agricole, la congestion du trafic, une pollution plus importante de l'air et de l'eau, une dégradation urbaine ou une perte du sens de la communauté (Brueckner, 2000; Nechyba et Randall, 2004). De manière générale, l'aménagement du territoire est une contribution majeure pour la qualité de vie (Geoghegan *et al.*, 1997). Les économistes de l'environnement utilisent différentes méthodes pour évaluer la valeur de ces biens environnementaux non-marchands.

– *La méthode d'évaluation hédoniste* : Cette méthode permet d'évaluer la disposition à payer des individus bénéficiant de biens non-marchands. Elle se base sur la comparaison de biens similaires grâce à un modèle statistique : il est considéré qu'un bien est formé d'un ensemble d'attributs et que la valeur de ce bien dépend de ses attributs (Favarger et Thalmann, 2008)(Tangerini et Soguel, 2004). Par exemple, les données environnementales telles que le bruit, la vue ou le voisinage sont des attributs d'un bien immobilier. En connaissant un nombre suffisant de loyers ou de prix de biens immobiliers et leurs attributs, il est possible d'estimer la valeur de ces attributs. Freeman (1993) modélise ce problème de cette manière :

$$P_a = P_a(S_{a1}, \dots, S_{aj}; Q_{a1}, \dots, Q_{am}; N_{a1}, \dots, N_{an})$$

P_a = prix/loyer du bien foncier

S_a = vecteur des caractéristiques structurelles du bien foncier (p.ex : nb de pièces d'un appartement, âge d'un bâtiment,...)

Q_a = vecteur des caractéristiques environnementales du bien foncier (p.ex : bruit, vue,...)

N_a = vecteur des caractéristiques de voisinage du bien foncier (P.ex : taux de criminalité, proximité des commerces,...)

– *La méthode d'évaluation contingente* : Cette méthode s'appuie sur une enquête interrogeant sur le montant que les citoyens sont prêts à payer pour la sauvegarde ou la restauration d'un bien non-marchand, tel qu'un bien environnemental. Cette méthode est remise en question pour plusieurs raisons. Elle dépend de la manière dont les questions sont posées. Les personnes interrogées éprouvent des difficultés à évaluer un bien qu'elles n'ont pas l'habitude de monnayer. Certains répondants

estiment, bien que concernés par la problématique, que c'est à l'état de payer pour préserver ou restaurer les biens environnementaux. Enfin, il peut exister un certain décalage entre le discours et les actes (p.ex : promettre payer 100CHF pour un air moins pollué, mais dans les actes cette promesse ne se réalise pas). Cet outil permet néanmoins d'observer la réflexion et le processus de décision des citoyens (Luchini, 2002; McConnell et Walls, 2005). On parle généralement de Willingness to Pay (WTP).

Il est possible de lier certains résultats de ce type d'étude avec les avantages d'une intégration du sous-sol dans une réflexion visant à une densité de qualité. En étudiant Washington, Geoghegan a observé que le prix des biens immobiliers est influencé par la diversité et le fractionnement parcellaire du territoire. D'autres études ont montré l'importance de la proximité des espaces non-construits (forêt, terrain agricole, parcs, golfes,...) sur la valeur des biens immobiliers (Lutzenhiser et Netusil, 2001; Anderson et West, 2006). Le sous-sol peut être utilisé pour développer de nouvelles formes urbaines valorisées par la population. La suite de ce texte présente des exemples, essentiellement réalisés en Suisse. Quelques exemples étrangers seront également utilisés, lorsqu'aucune étude Suisse comparable n'existe. Un panel plus large d'exemples étrangers peut être trouvé en Annexe. Les tableaux en Annexe G et H sont tirés de McConnell et Walls (2005). Ces études nous montrent que l'évaluation des biens environnementaux peut varier en fonction des villes, de la densité du quartier, de la culture des habitants ou d'autres critères encore.

Un outil de réduction de l'étalement urbain

Un transfert en sous-sol d'activités ciblées permettrait d'économiser le sol et de réduire l'étalement urbain. Les distances de trajets internes à une ville s'en trouvent ainsi réduites. Bajari et Kahn (2008) ont montré grâce à une étude hédoniste qu'à Los Angeles, en réduisant la taille des parcelles de 10%, tout en gardant la même taille pour l'habitat, la population a un gain de bien-être évalué à 2'000\$ par année, grâce aux gains en terme de mouvement pendulaire. Le gain en terme de temps de trajet est supérieur à la perte en espace.

Aux frontières de la ville, il existe beaucoup de terrains qui seront tôt ou tard transformés en zone bâtie. La demande en logements, en espaces commerciaux pèse plus lourd que les revenus agricoles que peuvent dégager ces terres ou la diversité écologique d'une forêt. Les évaluations contingentes permettent d'évaluer la volonté de payer de la population locale pour préserver ces milieux. Ces études sont basées

sur des enquêtes quantitatives auprès de la population. Les personnes interrogées révèlent combien elles sont prêtes à payer pour préserver ces endroits. Mcconnell et Walls (2005) ont recensé un certain nombre de ces études (voir Annexe H). La volonté de payer peut beaucoup varier d'un pays à l'autre en fonction du rapport des gens à la nature, mais aussi à leur rapport à l'état (aux USA, ils estiment que ce n'est pas à eux, mais à l'état de payer pour ces lieux). Mais cela nous permet d'observer que ces lieux ont bien une valeur aux yeux de la population. A Genève, une telle étude n'a pas été réalisée. Par contre, Genève rencontre actuellement beaucoup de peine à s'étendre, car la population est très attachée à sa campagne. Elle agit comme le poumon de cette ville et la population tient à la préserver. D'ailleurs, la ville étudie actuellement les moyens de densifier grâce à des tours ou en réhabilitant des friches industrielles.

En réduisant l'étalement urbain, grâce au sous-sol, il est possible d'accroître l'accessibilité aux zones non-bâties, telles que les forêts ou les zones agricoles. En Suisse, certains de ces facteurs environnementaux ont aussi été estimés dans différentes études hédonistes. Notamment, Schaerer *et al.* (2007) ont fait une étude hédonique sur la valeur de l'utilisation du sol à Genève et à Zürich. Ils observent les incidences d'espace naturel sur les loyers des logements. Cette évaluation porte sur deux critères, la proximité d'un type d'espace non-bâti et sa proportion dans le voisinage (ici, délimité par les limites administratives). A Zürich, ils ont observé que les locataires sont prêts à payer une prime dans le loyer à la proximité d'un lac de 1,6% par Km, d'une forêt de 4,2% par Km. A Genève, la proximité du lac est valorisée à 1,4% par Km, la forêt à 5,2% par Km. A Zürich, la proportion d'étendue d'eau a un impact positif, tout comme la proportion de forêt et de terre agricole. A Genève, c'est la proportion de terre agricole et la proportion de parcs qui a une influence.

Bender *et al.* (1997) ont étudié les propriétaires de maisons individuelles. Ils ont démontré que les deux facteurs de bien-être les plus importants sont la proximité de zone verte (18%) et la tranquillité (18%).

Un outil de création de zones non-bâties

Le souterrain peut permettre la construction de certaines infrastructures en souterrain et libérer de l'espace non bâti en surface en ville. Cet espace peut être aménagé en parc. Lutzenhiser et Netusil (2001) ont démontré que le type de parc pouvait exercer des effets positifs.

En Suisse, par contre, la proximité d'un parc influence négativement le loyer d'un appartement (-10,7% par Km). Ce résultat peut être expliqué par le bruit que peut générer un parc pour le voisinage, tout dépend de l'utilisation de ce parc (détente, sportive, ...). Dans l'étude de Schaerer *et al.* (2007), le type de parc n'est pas différencié. Mais dans l'étude Schaerer (2008) intégrant le facteur de la vue dans la ville de Genève, la proximité d'un parc est également évaluée comme ayant un apport négatif.

Un outil de protection de la vue

En utilisant la Willingness to pay Nishi (2000) estime à 77, 5\$ par année et par personne l'intérêt des habitants d'Hakodate, Nagoya, Kyoto et Kobe de préserver le paysage. En citant l'exemple de la ville de Kurashiki qui a restreint la hauteur de ses bâtiments pour préserver la vue sur les montagnes, l'auteur argue qu'il est possible d'utiliser le souterrain pour compenser les étages hors-sol qui empêchent la vue.

4.2 La problématique économique à l'échelle du projet

Aperçu du savoir

Les coûts de construction

Il semble que la majorité de la population pense que la construction en sous-sol est plus chère que la construction hors-sol. Cette opinion semble logique si l'on observe le processus de construction. Un bâtiment hors-sol ne nécessitera évidemment pas d'excavation. Cette opération représente du temps et un coût supplémentaire. Afin de vérifier si construire en sous-sol est plus onéreux et de quantifier cette différence de coût, trois experts² ont été interrogés sur la possibilité d'enterrer un espace commercial (Table 4.1). Si ces trois experts estiment que ce type d'infrastructure

2. A. est responsable romand pour l'immobilier d'un grand distributeur

B. est architecte. Il dirige une société immobilière à Lausanne

C. est responsable immobilier dans une régie fédérale suisse possédant un grand parc immobilier

peut être rentable, ils citent tout de même directement ou indirectement le coût de construction comme raison du peu d'implantation de ce type d'ouvrage en Suisse. Leurs réponses sur l'estimation de la différence de coût de construction entre espace commercial émergent ou sous-sol divergent pour deux raisons. La première est une certaine méconnaissance des coûts liés à l'implantation en sous-sol. L'incapacité de C. à estimer cette différence en est l'illustration. Il en découle qu'une étude comparative des coûts pourrait se révéler utile afin de mieux informer le milieu professionnel. La deuxième raison de cette difficulté provient des caractéristiques inhérentes à chaque projet. B. le souligne en signifiant que la géologie et la profondeur affectent fortement les coûts.

La littérature peut nous fournir quelques informations supplémentaires sur la comparaison des coûts en surface et en sous-sol. Certains auteurs pensent que la construction en surface est plus simple techniquement, financièrement et administrativement (Edelenbos, 1998). L'ITA (International Tunnel Association), qui cherche à promouvoir l'urbanisme souterrain, cite le coût de construction comme un problème à son développement (Barker 1991). Selon ces études, le sous-sol demande un plus grand investissement en construction. Cet avis est partagé par beaucoup d'auteurs (Bergman, 1986 ; Godard, 2004 ; Parker, 2004 ; Sterling, 1997). Néanmoins, ces études ne sont toujours pas chiffrées.

Certains auteurs ont essayé de chiffrer les différences de coûts entre le sous-sol et la surface. Il existe plusieurs manières de comparer le prix de la construction en surface et en sous-sol. Dans l'ouvrage *Geo-space Urban Design*, Ojima a opté pour une approche statisticienne. Il a étudié le prix de construction en recensant ceux de centres commerciaux en souterrain au Japon (Table 4.2). Selon cette étude, la moyenne du prix de construction des supermarchés souterrains (742 Yens/m²) représente environ le double du prix de construction d'un parking souterrain (364 Yens/m²) et environ trois fois le prix de la construction de bureaux en surface (256 Yens/m²). La comparaison du prix de construction d'un espace commercial souterrain avec des surfaces de bureaux ou des parkings souterrains est critiquable. La conception architecturale de ce type d'infrastructure est différente influençant, par conséquent, le prix. Il aurait été préférable de comparer ces prix de construction avec le même type d'infrastructure en surface. Bien que cette approche soit intéressante, il est nécessaire de rester prudent avec ces chiffres. Ils sont basés sur les coûts de construction de seulement 17 centres commerciaux souterrains. Le prix de construction au m² varie de 139 à 1497 Yens³. Cette variabilité peut-être expliquée par différents facteurs, tels

3. 1 Euro = 110 Yen (approximativement)

Pourriez-vous estimer (en %) la différence de coûts de construction entre un espace commercial en surface et un espace commercial en souterrain, les deux étant situés dans un milieu densément bâti ?

- A. un espace commercial sous-sol a des coûts de construction plus chers de 30%
- B. avec 1 seul étage en sous-sol et une géologie normale, un espace commercial souterrain sera 1/3 moins cher, mais la géologie et la profondeur peuvent beaucoup faire varier le coût
- C. non

Pourriez-vous estimer (en %) la différence de coûts d'exploitation entre un espace commercial en surface et un espace commercial en souterrain ?

- A. un espace commercial souterrain a des coûts d'exploitation plus chers de 10%
- B. Les charges d'exploitation seront plus ou moins égales dans les deux cas
- C. non

Pensez-vous qu'un espace commercial souterrain peut-être rentable ?

- A. cela peut être rentable si le ratio "loyer = 2 à 8% du chiffre d'affaires" est respecté
- B. oui
- C. oui

A votre avis, pourquoi ce type de bâtiment n'est-il pas davantage réalisé en Suisse ?

- A. en raison des coûts de construction
 - B. à cause des coûts si les étages souterrains sont trop nombreux et parce qu'il est difficile de faire descendre les gens dans les étages
 - C. parce qu'il n'y a pas encore assez de pression sur le foncier
-

TABLE 4.1 – Avis de trois experts sur les coûts d'un centre commercial souterrain

Centre Commercial souterrain	Surface totale (m ²)	Coûts de construction en millier de Yen par m ²
Yaesu	68'468	730
Kawasaki Azelea	56'916	1030
Nagoya Central Park	55'702	573
Sapporo Aurola et Pole Town	45'157	482
Shinjuku Subnade	38'564	1497
Yokohama Diamond	38'186	428
Fukuoka Tenjin	35'250	791
Eska	29'154	346
Yokohama Polta	29'133	1194
Osaka Umeda	27'715	795
Kyoto Polta	26'712	530
Nagoya Unimall	24'198	553
Santika Town	17'985	139
Niigata Nisibori Rosa	17'359	682
Metro Kobe	10'198	176
Abenobashi	9'245	689
Petits Champs-Elysees	3'737	731
Moyenne	32'018	742

TABLE 4.2 – Comparatif des coûts de construction de supermarchés souterrains au Japon (Golany et Ojima, 1996)

que, entre autres, la géologie, le nombre d'étages souterrain, l'année de construction ou la complexité de l'architecture. N'ayant pas plus d'information sur les bâtiments recensés dans cette étude, il est difficile de pouvoir déterminer quels éléments sont responsables de cette forte variabilité. Deux exemples permettent de comprendre l'importance de ces facteurs.

Tokyo et Helsinki sont des illustrations parfaitement de l'influence de la variable géologique. Tokyo a un sol avec de nombreuses zones instables et de faible portance (Ishii *et al.*, 1992). Nishi estime la construction en souterrain au Japon à 2 ou 3 fois plus chère que la construction en surface (Nishi, 2000). Le site d'Helsinki repose sur un soubassement rocheux cristallin (granites et gneiss) sur lequel se trouvent des formations de dépôts quaternaires issus des glaciations du pléistocène. Le soubassement rocheux est affleurant en de nombreux endroits (Anttikoski et Raudasmaa,

1984). Selon Anttikoski et Raudasmaa (1984), le coût de la construction souterraine à l'explosif dans le rocher est équivalent à la construction de surface. Néanmoins, l'auteur spécifie que les coûts peuvent varier selon les caractéristiques de la caverne, telles que son utilisation ou sa taille. Cet exemple vient contredire la formule communément admise : "la construction en sous-sol est plus chère que la construction en surface". Dans le cas d'un tunnel, un kilomètre en Angleterre coûte 80 millions d'euros, alors qu'il coûte 10 millions d'euros à Helsinki dans un sol rocheux (Chow *et al.*, 2002).

Une étude de l'Automobile Association anglaise montre que l'année de construction est également un des facteurs pouvant influencer le prix de la construction en souterrain. En effet, les améliorations techniques permettent une baisse des coûts. Cette étude observe une baisse moyenne de 4% par année pour la construction de tunnels (Automobile_Association, 2001).

Une étude néerlandaise (Monnikhof, 1999; van der Hoeven *et al.*, 1997) a comparé les coûts (en florins néerlandais⁴) pour le même type de bâtiment. Ils ont déterminé une typologie de bâtiments qu'ils ont ensuite appliquée dans leur recherche (p.ex : bâtiment de haute qualité situé en centre-ville⁵, bâtiment de mauvaise qualité⁶). Les résultats de cette étude montrent également un coût plus élevé pour le souterrain (Table 4.3). Elle démontre aussi qu'en fonction des types de bâtiments les coûts de construction varient, ainsi que le rapport entre la surface et le souterrain. Malheureusement, les chiffres et les calculs pour les coûts moyens ne sont pas connus. Il est donc difficile de pouvoir transposer ces chiffres pour la Suisse en 2010.

4. Dutch Florints = dfl

1 Euro = 2.2 dfls (approximativement)

La conversion n'a pas été effectuée, car l'intérêt est porté sur les ratios.

5. Il s'agit de bâtiments se caractérisant par une façade coûteuse comprenant des ouvertures et une bonne isolation (bâtiments administratifs, hôpitaux, cinémas, etc.).

6. Ces bâtiments se caractérisant par une architecture avec une structure métallique, peu d'ouvertures et peu d'isolation (entrepôts, usines, etc.) .

Type de bâtiment	Coûts de construction (df/m ²)		Ratio de différence
	Surface	Souterrain	Souterrain/Surface
<i>Bâtiment de haute qualité, façades chers (commerces, hôpital,...)</i>			
Centre ville, bâtiment bas	2200	3080	1.4
Centre ville, bâtiment haut	2300	3220	1.4
Périphérie, bâtiment bas	1900	2850	1.5
Périphérie, bâtiment haut	1950	2925	1.5
<i>Bâtiment de basse qualité, façades bon marchés (entrepôt, usine,...)</i>			
1 étage souterrain	1000	2400	2.4
2 étages souterrains	1000	2400	2.4
<i>Logement</i>			
Bâtiment bas	1150	1725	1.5
Bâtiment haut	1200	1920	1.6

TABLE 4.3 – Coûts moyens de construction selon le type de bâtiment calculés en florins néerlandais par m² (van der Hoeven *et al.*, 1997)

Les charges d'exploitation

Afin d'avoir une vue d'ensemble de la rentabilité des investissements, il ne faut pas uniquement prendre en compte le coût brut de la construction, mais aussi les frais engendrés au cours de sa durée de vie. Un bâtiment ayant de nombreuses années de vie, la comparaison brute du coût de construction ne permet pas d'avoir une vue d'ensemble de ces investissements. Les besoins énergétiques en sous-sol ou en surface peuvent être différents. Par exemple, le sol procure une protection thermique que la surface ne fournit pas. Les bâtiments en sous-sol bénéficient donc d'économies en chauffage et climatisation. D'un autre côté, ils nécessitent une meilleure ventilation. Entre les avantages et les inconvénients sur les charges d'exploitation, il est difficile d'évaluer s'il est bénéfique d'enterrer un ouvrage. D'ailleurs, la disparité des réponses des experts (Table 4.1) sur la différence des charges d'exploitation entre le sous-sol et la surface le prouve et marque à nouveau un manque de connaissances du monde professionnel quant à l'impact d'une implantation souterraine.

Par contre, selon la littérature, les coûts d'exploitation du bâtiment seraient moindres pour un bâtiment en souterrain pour diverses raisons. Ce type de construction peut économiser en énergie grâce à la protection thermique créée par le sol (Barker, 1986). Cela permettra de minimiser l'utilisation du chauffage et de la climatisation. L'énergie consommée dans une infrastructure creusée dans la roche est d'environ 30 % moins élevée qu'en surface (Anttikoski *et al.*, 1994). L'isolation physique d'un bâtiment souterrain aux éléments extérieurs, comme la grêle, amoindrit les coûts de maintenance (Sterling, 1997). En étant moins exposées à la détérioration et aux dégâts, les structures souterraines sont généralement remplacées moins vite (Sterling et Godard, 2001). Il serait intéressant de pouvoir chiffrer les différences de charges d'exploitation tout au long de leur cycle de vie afin de savoir si elles peuvent compenser la différence du coût de construction.

Ojima (dans Golany et Ojima, 1996) a réalisé des comparaisons chiffrées de consommation d'énergie. Il a procédé comme pour la comparaison des coûts de construction par une approche statistique. Son étude porte sur un échantillon de 32 centres commerciaux souterrains, dont la surface moyenne s'élève à 21'782 m² (Figure 4.1). Contrairement aux études précédemment citées, les résultats énergétiques sont peu avantageux pour les centres commerciaux souterrains. Ils usent plus d'énergie qu'un bâtiment administratif de surface ou qu'un supermarché conventionnel. Au mètre carré, ils consomment 2.5 fois l'énergie d'une grande surface pour le refroidissement et deux fois plus d'énergie pour le chauffage. Au total, la consommation d'un centre commercial souterrain sera deux fois plus grande qu'un supermarché en surface. L'auteur explique ces différences par un environnement qui doit être entièrement contrôlé par un système de climatisation et de ventilation ; et par le statut public de ces espaces qui les obligent à être ouverts sans interruption et les transforment en lieux de passage qui sont réchauffés par les piétons (Golany et Ojima, 1996). Ces enseignements sont précieux, car ils sont basés sur des exemples existants. Cependant, les besoins de bâtiments hétérogènes sont différents. Cela paraît évident pour la comparaison entre un bâtiment commercial et administratif. La comparaison entre un centre commercial souterrain et un supermarché de surface peut paraître plus adéquate. Mais la comparaison de la consommation électrique d'un centre commercial et d'un supermarché construit en surface démontre qu'elle est plus importante pour un centre commercial (Aiufli *et al.*, 2008).

L'étude hollandaise (van der Hoeven *et al.*, 1997; Monnikhof, 1999) contredit les résultats d'Ojima (1996). En utilisant la même méthodologie que pour la comparaison des coûts de construction, ils obtiennent des coûts d'exploitation plus faibles. Leurs calculs intègrent le chauffage, l'éclairage, l'appareillage, la consommation d'eau, le

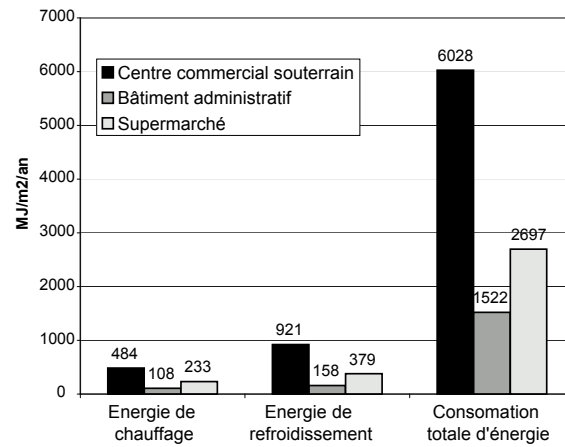


FIGURE 4.1 – Comparaison de la consommation énergétique annuelle. La consommation totale comprend d'autres consommateurs d'énergie, tel que l'éclairage (Golany et Ojima, 1996)

Type de bâtiment	Coûts totaux annuels d'exploitation en dfl/m ²		Ratio de différence Souterrain/Surface
	Surface	Souterrain	
<i>Bâtiment de haute qualité (administratif, école)</i>	60.5	34.15	0.57
<i>Bâtiment de basse qualité (entrepôt, usine)</i>	31.25	19.10	0.61
<i>Logement</i>	62.5	48.25	0.77

TABLE 4.4 – Coûts annuels par m² d'exploitation selon le type de bâtiment calculés en florins néerlandais par m² (van der Hoeven *et al.* 1997)

nettoyage, l'entretien (intérieur et extérieur), la peinture (intérieur et extérieur) et les frais fixes (impôts, assurances). Ils ont déterminé que parmi les points cités ci-dessus, le chauffage, le nettoyage, l'entretien, la peinture et les inspections sont plus avantageuses en souterrain. L'éclairage quant à lui est le seul qui coûte plus cher. La Table 4.4 montre un avantage assez important pour le sous-sol.

Les coûts du terrain

L'achat du terrain doit également entrer dans la réflexion d'un investisseur. D'ailleurs, un des trois experts interviewés avance que lorsque la pression foncière sera plus élevée, donc les prix du terrain plus chers, la construction souterraine deviendra plus attractive. Mais le terrain peut également être la source d'autres économies. Par exemple, si l'infrastructure est entièrement souterraine et ne nécessite ni l'achat ni le dédommagement du terrain, le prix de la construction doit être comparé au prix de la construction en surface additionné à l'achat du terrain (Ronka *et al.*, 1998). Cela peut être le cas d'une voie de communication telle qu'une route ou une voie ferrée. Dans sa réflexion, l'Etat doit intégrer le coût du rachat des parcelles pour la construction en surface, alors que cela n'est pas nécessaire en sous-sol. Une infrastructure souterraine peut même devenir plus avantageuse si le seul terrain à acheter est celui de l'interface surface - sous-sol. Il est donc important de tenir compte de ce facteur (Anttikoski et Raudasmaa, 1984). Enfin, selon van der Hoeven *et al.* (1997) et Monnikhof (1999), la construction souterraine permet de réduire la surface de terrain à acheter.

Enseignements pour la recherche

Cette revue de la littérature et l'interview des spécialistes en immobilier permettent de nourrir certaines réflexions pour développer la méthodologie de l'enquête sur la comparaison des coûts entre la surface et le souterrain. En premier lieu, elle montre que les professionnels estiment avec peine ces différences de coûts. Dans la littérature, il existe peu d'études chiffrées. Dans les articles ne proposant pas de chiffre, beaucoup d'auteurs semblent être d'accord sur les avantages et les inconvénients du souterrain en termes de coûts. Néanmoins, les études chiffrées proposent parfois des résultats différents. L'analyse de cette revue de la littérature permet de mieux connaître ces différences de résultat.

Nous avons observé deux études chiffrées Golany et Ojima (1996) et van der Hoeven *et al.* (1997); Monnikhof (1999)⁷. Ces deux études n'aboutissent pas toujours aux mêmes résultats. Ils sont même parfois opposés. Sur la base de ces études, il devient envisageable d'opter pour certains choix méthodologiques.

7. il s'agit de deux ouvrages consacrés à la même étude. Elle est un peu plus détaillée dans l'annexe B.

Ojima (1996) a comparé la construction sous-sol et de surface avec des bâtiments de types différents (centre commercial, supermarché, bâtiment administratif et parking). Ces comparaisons ne permettent pas de tirer des enseignements fiables, ces bâtiments ayant des caractéristiques différentes. L'étude néerlandaise (van der Hoeven *et al.*, 1997; Monnikhof, 1999) compare des bâtiments de même type, mais avec des proportions de volume souterrain différentes. La comparaison dans du même bâtiment avec un scénario enterré-émergent permet de travailler sur une base identique. Cette approche sera favorisée dans l'étude suivante.

Deux approches différentes ont été observées pour quantifier ces différences de coûts. Ojima (1996) a recensé différents ouvrages. Il a ensuite calculé les coûts moyens de ces ouvrages. Dans cette étude (Table 4.2), les prix de construction des différents centres commerciaux souterrains varient fortement. Cette variation est liée à plusieurs facteurs tels que la forme du centre commercial, la géologie, les éléments présents en surface, l'année de construction ou le design intérieur. Les résultats d'Ojima (1996) ne nous fournissent cependant aucune précision sur ces facteurs. Avec une base de données renseignant sur le prix d'un nombre d'ouvrages assez important et les données sur leurs différentes caractéristiques (géologique, architecturale, technique utilisée, infrastructure en surface), il serait possible de faire une régression qui nous permettrait d'évaluer l'influence de ces différents facteurs sur le total des coûts de construction. Cette approche statisticienne est difficilement réalisable en Suisse, car le nombre de réalisations de ce genre est trop faible pour avoir une moyenne qui soit réellement représentative.

van der Hoeven *et al.* (1997) a déterminé des coûts moyens de construction et d'exploitation au m^2 pour la surface et le souterrain. Il s'est ensuite servi de ces coûts moyens pour "reconstituer" des bâtiments types lui permettant d'effectuer ces comparaisons. Cette approche est plus facilement transposable à la Suisse, car les prix de construction et d'exploitation peuvent être connus au m^2 .

Ces deux études chiffrées montrent que les attributs d'une construction peuvent faire varier les coûts. Mais elles manquent de précision et ne permettent donc pas d'évaluer l'impact économique des différents facteurs. La revue de la littérature nous permet d'identifier certaines sources de variation de coût :

- la géologie
- la date de construction
- la forme et la profondeur
- l'usage du bâtiment (commerce, parking,...)

L'influence de ces facteurs a des conséquences sur l'opportunité de construire en sous-sol ou d'y renoncer. Pour étudier la comparaison des coûts, une approche de

modélisation a été élaborée. Elle permet de maîtriser les différents paramètres et de les faire varier pour connaître leur effet sur les coûts.

Méthodologie

Le but de cette étude est de pouvoir comparer les coûts d'une infrastructure construite en surface aux coûts d'une infrastructure construite en souterrain en Suisse. Cette modélisation se présente sous la forme de l'élaboration d'un bâtiment virtuel (voir les coupes à la figure 4.2 et les plans en annexe C). Il a été spécialement dessiné pour cette étude par le Professeur d'architecture de l'EPFL Pierre von Meiss (Figure 4.2). Ce bâtiment virtuel est placé une fois en surface et une fois en souterrain. Le dimensionnement des structures de génie civil de chaque variante est établi. Les coûts de constructions sont estimés. Les besoins en énergie de chaque modèle est estimé. Ces coûts sont ensuite actualisés sur une période de 50 ans. Le but de cette étude est de quantifier le coût de l'enfouissement d'un bâtiment et l'influence de la géologie. Dans un deuxième temps, une étude présentant deux bâtiments avec cinq étages émergents et six enterré a pour but de démontrer l'intérêt de développer les espaces souterrains en zone dense lorsque les gabarits de surface sont fixés et que les prix du terrains augmentent

Les choix de modélisation

1. *Deux bâtiments à l'identique* : Les différences de forme architecturale peuvent avoir un impact sur les coûts, comme vu ci-dessus. Afin de maîtriser cet impact, les différentes versions du modèle seront toujours réalisées avec le même bâtiment. Il est ainsi possible de faire varier ensuite des facteurs impactants. Les seules différences entre les versions peuvent venir d'impératifs de génie civil afin de faire des versions réalisables.
2. *L'usage du bâtiment* : l'enquête sociologique (chapitre 3) a révélé que les espaces borgnes de surface peuvent être acceptés dans une forme souterraine. Il s'agit d'un usage intéressant, car il est encore peu utilisé en Suisse. Le recensement des bâtiments de Genève a montré que les infrastructures dans lesquelles les gens exercent une activité en souterrain (travail, commerce, loisirs) ne représentent que 4% des lieux souterrains genevois. Il y a donc un potentiel intéressant de développement pour ce type de lieu. Parmi les différentes possibilités, le choix

s'est porté sur la réalisation d'un centre commercial. Un plus grand développement des centres commerciaux en sous-sol permettrait donc une économie d'utilisation de la surface. Un centre commercial est un espace borgne de surface qui n'utilise pas la lumière naturelle et même la craint. Il est important pour les exploitants de contrôler parfaitement l'éclairage afin de maximiser l'achat du chaland. L'architecture peut donc être identique entre le modèle de surface et le modèle souterrain comme décidé au point ci-dessus. Ajoutons à cela que selon von Meiss (2007) *“la taille de ces équipements commerciaux modernes perturbe grandement les tissus urbains à maille fine et diversifiée des centres historiques et même des quartiers périphériques. Leur “enterrement” ne peut que favoriser la qualité de vie en surface.”*

Les choix architecturaux

1. *Le volume* : il a été inspiré par le type de bâtiment commercial que l'on rencontre souvent dans les centres urbains suisses. Sa largeur est de 30 mètres pour une longueur de 50 mètres. Il est composé de six étages de 4 mètres de plancher à plancher (basé sur des moyennes européennes en milieu urbain).
2. *L'intérieur* : Les deux variantes sont à l'identique. Cinq niveaux sont dédiés à la vente et un au service (technique, entrepôt). Les escaliers, les escalators et les ascenseurs sont également identiques. Il n'y a pas d'aménagement intérieur particulier pour la variante sous-sol, mais le toit est partiellement recouvert d'une verrière procurant une lumière zénithale et un courant d'air naturel à trois des cinq étages de vente. Le chapitre 3 a démontré que ces attributs aident à une meilleure acceptation du sous-sol par les personnes ayant peur de se rendre dans ce type d'infrastructure. Des sorties de secours sont prévues dans les deux versions dans les deux zones de service et techniques situées sur les côtés du bâtiment.
3. *Le toit du bâtiment* : La volonté de construire deux bâtiments à l'identique, le toit doit répondre à un certain nombre de critères. Il doit être plat, comporter une ouverture qui permet de plonger dans le bâtiment et permettre de développer la même activité pour la version enfouie que la version émergée. Le toit peut être adapté soit en jardin urbain, soit en terrasse de café et possède la même configuration qu'il soit au niveau de la rue ou en hauteur. La terrasse de café peut autant se situer au niveau du sol, tout comme un jardin urbain permettant aux consommateurs de se détendre au cours de leur visite dans le centre commercial. Dans la réalité, le promoteur cherchera sans doute à rentabiliser ou compenser cette surface vide en surface. Il peut signer un accord

avec la ville qui déciderait de le dédommager pour l'espace urbain qu'il crée. Il peut créer une terrasse de café. Il peut louer la surface pour des marchés en plein air ou l'utiliser pour créer un parking. Cette modélisation s'intéressant principalement aux coûts et non aux revenus, ces considérations sur les actions du promoteur dans la réalité ne sont pas prises en compte.

4. *Le parcage* : Dans les deux cas, il n'y a pas de place de parc. L'hypothèse de son emplacement en centre-ville permet d'envisager une partie de la clientèle comme piétonnière et l'autre se reportant sur les parkings collectifs existant dans le centre-ville.
5. *Les différences* : Malgré le désir de dessiner des bâtiments les plus similaires possible, ils ne peuvent avoir exactement les mêmes caractéristiques. Ces bâtiments présentent des différences qui sont inhérentes à leur situation respective.
 - Bâtiment en surface (Figure 4.2a) : les mètres linéaires de vitrines sur rue sont avantageux et la surface de vente au niveau de la rue est considérable et facile d'accès. L'architecture extérieure a été voulue relativement sobre afin de ne pas obtenir d'importants coûts pour l'enveloppe du bâtiment. Le bâtiment n'a pas de fenêtres afin d'avoir les mêmes sources de lumière pour les variantes. Des portes qui donnent accès au centre commercial.
 - Bâtiment enterré (Figure 4.2b) : près des deux tiers de la surface de la parcelle au niveau de la rue restent à disposition d'un usage public de l'espace urbain (place ou jardin urbain). Le cas échéant, une partie non négligeable de la parcelle pourrait rester disponible pour des constructions d'habitation ou de bureaux en superstructure, sans pour autant gêner ou dépasser les grands gabarits.

Les deux scénarios de modélisation

Comme la littérature l'a démontré, la géologie a un impact important sur le coût de construction en souterrain. Afin d'étudier l'influence de cette variable, deux scénarios géologiques ont été élaborés. Ce bâtiment a donc été enterré dans deux types de géologie distincte souvent rencontrés sur le plateau suisse accueillant les principaux centres urbains :

- une géologie défavorable à la construction souterraine : elle est constituée de terrains quaternaires peu stables, saturés en eau qui nécessite une construction en parois moulées ;

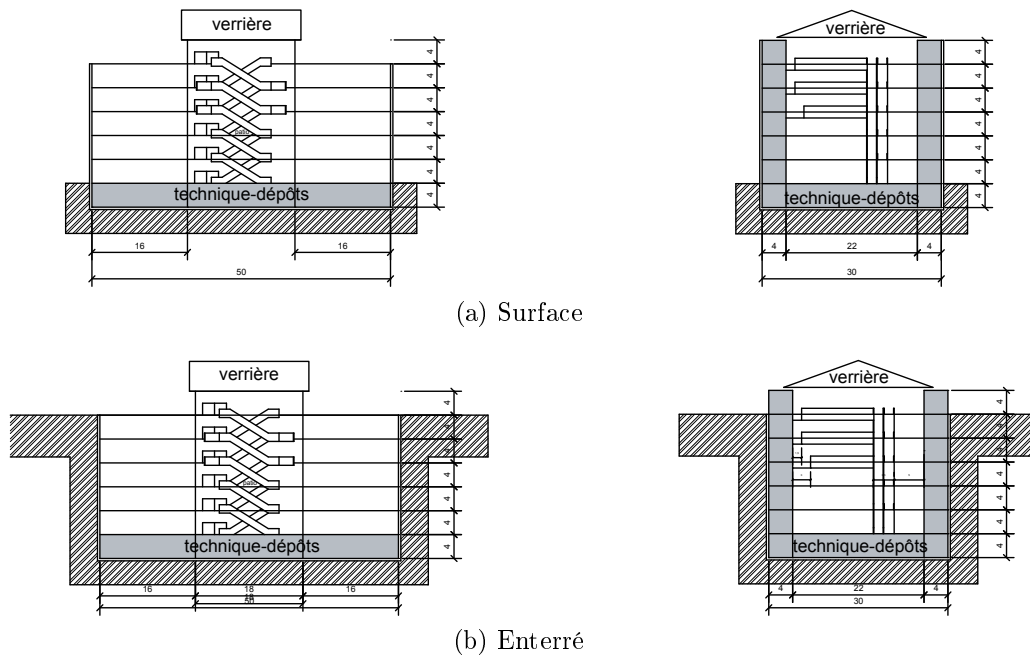


FIGURE 4.2 – Coupes du bâtiment commercial utilisé pour l'étude de cas (Dessin : Prof. VonMeiss)

– une géologie favorable à la construction souterraine : elle est constituée de molasse stable à l'excavation. La construction se fait à l'aide de parois berlinoises.

Ces deux scénarios permettront de représenter un spectre assez large des coûts que la construction souterraine peut atteindre en Suisse. Elle permettra également de réfléchir sur l'écart non seulement avec la construction en surface, mais aussi entre les différents types de géologie. En effet, cet écart entre les différents types de géologie pourrait avoir des répercussions sur la réflexion de planification de zones de développement souterrain.

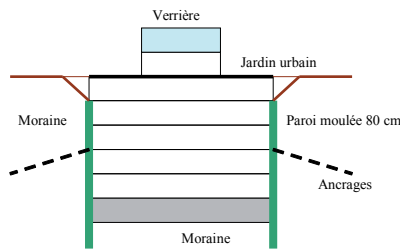
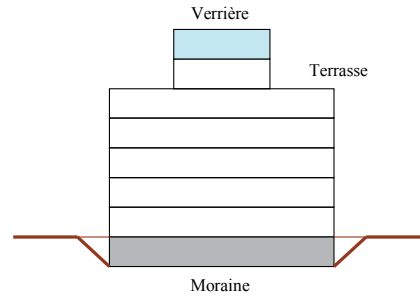
Le génie civil

Comme pour un projet réel, le génie civil de ces deux variantes de bâtiment a été prédimensionné. Les calculs de dimensionnement ont été faits avec la généreuse collaboration du bureau d'ingénieur Emch&Berger, grâce à la contribution de M. Claude Risch. La variante enterrée a été simulée dans deux types de géologies très diffé-

rentes, la moraine et la molasse gréseuse. Un lexique expliquant divers termes de constructions et de géologie se trouve en annexe D.

Variante 1 : Bâtiment en surface

Une partie des locaux techniques est enterrée. Le bâtiment est dimensionné suivant une structure poteaux-dalles. Le parement est réalisé en granite. 8000 m³ sont excavés. L'épaisseur de toiture est de 30 cm.

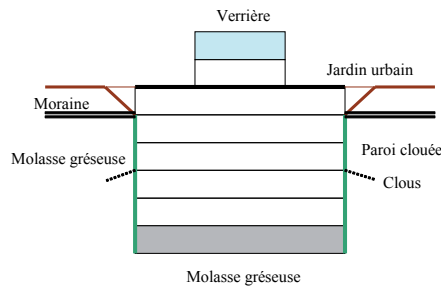


Variante 2 : Bâtiment enterré avec parois moulées

La mauvaise qualité du sol (Moraine) nécessite des parois moulées de 80 cm, cela engendre une perte de surface par rapport aux autres variantes. La géologie contraint à la mise en place d'ancrages. Il faudra également établir une convention avec les voisins pour la pose d'ancrage provisoire. 40'000 m³ sont excavés, dont 3'700 m³ mélangés avec de la bentonite. La toiture est épaisse de 45 cm afin de laisser la possibilité aux véhicules de circuler.

Variante 3 : Bâtiment enterré avec parois Berlinoises

La bonne qualité du sol (Molasse gréseuse) permet de réaliser des parois clouées de 25 cm d'épaisseur et d'affiner les semelles. Les matériaux excavés sont composés de 8'000 m³ de sol meuble et de 30'000 m³ de roche. Afin de permettre aux véhicules l'opportunité de circuler, l'épaisseur de la toiture est de 45 cm.



	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Excavations	8'000 m ³ (sol meuble)	40'000 m ³ , dont 3'700 m ³ de matériaux mélangés avec de la bentonite	38'000 m ³ , dont 8'000 m ³ de sol meuble et 30'000 m ³ de roche
Fondations	20 semelles	20 semelles allégées	20 semelles allégées
Structure	Poteaux, dalles	Parois moulées, épaisseur totale du mur 80 cm	Parois Berlinoises, épaisseur totale du mur 25 cm
Épaisseur toiture terrasse	30 cm	45 cm (circulation de véhicule possible)	45 cm (circulation de véhicule possible)

TABLE 4.5 – Synthèse des différences du génie civil entre les trois variantes

L'évaluation des coûts de construction

L'estimation des coûts de construction et d'investissement a été structurée suivant la méthode par élément (CFE - Code des Frais par Éléments). Cette méthode décompose un bâtiment en groupes d'éléments appelés macro-éléments. Les macro-éléments sont composés d'éléments eux-mêmes décomposés en sous-éléments (Annexe E). Par exemple, l'aménagement intérieur (macro-élément) est décomposé en cloisons, revêtement de sols, plafonds, etc. Ensuite, si l'on prend l'élément cloison, il est décomposé en portes intérieures, cloisons légères fixes, fenêtres intérieures. Le prix d'une unité de base (p.ex : m^2) de ces sous-éléments est connu. Il provient de bases de données que les experts accumulent grâce à la connaissance des coûts d'autres réalisations comparables. Ces coûts sont ensuite indexés en fonction de l'indice des prix de la construction décliné dans le temps et par région. Le calcul de l'indice du prix de la construction est réalisé par l'Office Fédéral de la Statistique (OFS). Ensuite, il suffit de multiplier le prix par le nombre de ces sous-éléments du bâtiment. Après les sous-éléments sont agrégés par famille en éléments, puis en macro-éléments. Le coût du bâtiment est l'agrégation de tous ces éléments. Cette méthode permet donc d'estimer des coûts d'un projet de bâtiment à partir de la connaissance des coûts connus d'éléments déjà construits dans d'autres bâtiments.

Cette estimation a été réalisée par l'Institut pour l'Économie de la Construction SA (IEC). La Surface de Plancher (SP) et le Volume Bâti (VB) ont été paramétrés selon la norme SIA 416⁸. Les quantités par élément sont paramétrées selon le CFE SN 506 502⁹. Ce paramétrage permet d'établir à la fois les ratios quantitatifs et une estimation par macro-élément. Ces dernières proviennent des bases de données de IEC SA. Lors de l'estimation, un budget pour imprévus et optimisations a été créé. Il représente environ 10% du montant TTC. L'indice des coûts de la construction est celui d'octobre 2007 (108.1 indice suisse du bâtiment) de l'OFS.

L'estimation des besoins énergétiques

Le bâtiment de surface, afin de respecter les normes actuelles de construction. Ainsi, lors de la comparaison de la consommation énergétique de ce bâtiment, la variante en surface ne sera pas désavantagée.

Afin d'avoir une vision sur long terme permettant de comparer les coûts des différentes variantes, les besoins énergétiques de chacune ont été calculés. Ainsi, les coûts en énergie de fonctionnement des bâtiments peuvent être estimés. Les besoins en énergie du bâtiment de surface sont calculés sur la base d'une conception moderne. Il suit le standard de qualité MINERGIE¹⁰. Les besoins énergétiques ont été calculés dans le cadre d'un travail de Master. Il a été supervisé par l'équipe Deep City. Il étudie l'écobilan des trois variantes de bâtiment. Une synthèse de ce travail se trouve dans l'appendice F.

Le calcul de l'analyse de cycle de vie a été réalisé grâce au logiciel Lesosai. Afin de déterminer, les conditions géothermiques dans lesquels le bâtiment est enterré, une modélisation avec le logiciel Feflow a été conduite. Les caractéristiques utilisées pour la modélisation sont les suivantes :

- Type de bâtiment : magasin grande surface, surface d'alimentation inférieure à 20%
- Utilisation : La fonction commerciale est remplie 12 heures par jour, 6 jours par semaine et 313 jours par an.

8. Les normes SIA sont les normes suisses en matière de construction. La Société Suisse des ingénieurs et des architectes (SIA) est l'organe qui en est responsable.

9. La norme SN 506 502, ainsi que la méthode CFE sont la propriété du Centre Suisse d'étude pour la Rationalisation de la Construction (CRB).

10. MINERGIE est un label de qualité destiné au bâtiment. Il assure une faible consommation énergétique du bâtiment, ainsi qu'une certaine qualité de confort et de renouvellement d'air.

- Chauffage et Climatisation : Une chaudière au gaz naturel est utilisée pour le chauffage du bâtiment et de l'eau. Pour la climatisation, on considère que le système de ventilation est à air conditionné et le coefficient de performance pour la pompe à chaleur est de 3.
 - Ventilation : Le taux de ventilation est globalement fixé à 35 m³ par heure et par personne. Pour cette étude, une ventilation à double flux avec récupération de chaleur est installée. Le flux de chaleur extrait est inférieur au flux de chaleur pulsé afin de laisser le bâtiment en légère surpression, et diminuer ainsi les infiltrations.
 - Eclairage :
 - Eclairage naturel : La verrière est commune aux 3 variantes et située au R+5. Pour le dimensionnement thermique, la verrière a été modélisée par 10 fenêtres de 18 m², avec un triple vitrage et protection ultraviolet. 120 m² de vitrines ont été ajoutés à la variante 1, en surface. Celles-ci sont voilées à 100%, les gains solaires ne sont pas nuls pour autant.
 - Eclairage artificiel : 140 tubes fluorescents par local, de catégorie A pour la consommation d'énergie, sont utilisés pour obtenir l'éclairage de 300 lux nécessaire pour ce bâtiment commercial. Un éclairage de valorisation et des pertes sont également pris en compte.
 - Usagers : D'après les conditions standards d'utilisation, dans ce type de bâtiment commercial, 5 personnes sont présentes par m². Ce nombre a été diminué pour les trois derniers étages : les étages supérieurs pour le bâtiment en surface et les étages les plus profonds pour le bâtiment enterré. Ces valeurs sont des valeurs maximales et le taux d'occupation est régulé heure par heure et mois après mois. Le dégagement de chaleur par les personnes varie également en fonction de la saison.
 - Equipements : Les équipements ne sont pas définis précisément, seule une puissance globale est prise en compte.
 - Besoins d'eau chaude sanitaire : 2600 litres d'eau par jour dont la température varie entre 10°C et 60°C sont prévus pour ce bâtiment commercial.
- Les principales différences entre les 3 variantes viennent :
- des coefficients de transmission thermique des parois et du radier
 - des infiltrations
 - des vitrines et des ponts thermiques

Les hypothèses qui n'ont pas été prises en compte

Ces hypothèses permettraient d'améliorer ce modèle. Cela le rapprocherait encore plus de la réalité :

- Les besoins de pompage : il aurait été nécessaire de définir l'hydrologie du terrain de l'implantation du bâtiment. Plusieurs scénarios pourraient être envisagés.
- Les coûts d'entretien : La littérature révèle que les façades extérieures d'un bâtiment de surface nécessitent des rénovations régulières à cause de dégradations dues à l'être humain ou à la nature (Sterling 1997; Sterling et Godard 2001).

Comparaison des coûts de construction

Afin de pouvoir déterminer les coûts de construction des différentes variantes, les plans de l'architecte Pierre Von Meiss, ainsi que les calculs de dimensionnement et de coûts du génie civil du bureau Emch+Berger ont été soumis à l'Institut Économique de la Construction ((Coubès, 2008)). La méthode utilisée pour l'estimation est la méthode des codes des frais par éléments (CFE) avec une marge d'erreur de 10%.

Analyse par macroélément

Le coût de construction d'un bâtiment enterré est plus élevé qu'un bâtiment construit en surface. Le facteur géologique influe également le prix, car les techniques de construction varient en fonction du terrain. Le prix de construction du bâtiment (variante 1 - V1) construit en surface est de 30,5 millions CHF. Le bâtiment commercial enterré dans un sol morainique (variante 2 - V2) coûte 37,6 millions CHF. Enfin, le coût de construction du bâtiment construit dans de la molasse gréseuse (variante 3 - V3) s'élève à 33,4 millions CHF. La différence de coûts entre la version la moins chère de ce bâtiment, la variante 1, et l'option la plus chère, la variante 2, est de 7 millions de CHF. Cette différence représente un surcoût de 23% (Table 4.6). À ce stade de l'analyse, il est important de rappeler que le bâtiment en surface a une architecture relativement standard. Avec une architecture plus complexe, il pourrait se révéler plus coûteux. Il n'est pas inutile de rappeler qu'actuellement de plus en plus de centres commerciaux ont une architecture extérieure fastueuse afin d'attirer le chaland. Sur ce bâtiment, le surcoût pour une enveloppe extérieure plus somptueuse alourdirait la facture d'au minimum 500'000 CHF. L'enveloppe extérieure d'un bâtiment est un coût non-négligeable. Selon Chow, les revêtements extérieurs et les finitions peuvent représenter environ 15% des coûts de construction (Chow *et al.*, 2002).

En additionnant les éléments Toiture, Installations, Aménagement intérieur et Honoraires d'ouvrage, qui sont des postes qui diffèrent peu en fonction des variantes et

Désignation	Total			Différence			Proportion		
	V1	V2	V3	V3-V1	V2-V1	V2-V3	$\frac{V3}{V1}$	$\frac{V2}{V1}$	$\frac{V2}{V3}$
Travaux préparatoires	500'000	5'140'000	2'040'000	1'540'000	4'640'000	3'100'000	4.08	10.28	2.52
Fondations	1'000'000	2'780'000	2'780'000	1'780'000	1'780'000	0	2.78	2.78	1.00
Parois extérieures	2'675'000	1'940'000	1'940'000	-735'000	-735'000	0	0.73	0.73	1.00
Toiture	2'000'000	2'000'000	2'000'000	0	0	0	1.00	1.00	1.00
Gros-oeuvre intérieur	3'022'000	2'610'000	2'610'000	-412'000	-412'000	0	0.86	0.86	1.00
Installations	5'740'000	5'490'000	5'490'000	-250'000	-250'000	0	0.96	0.96	1.00
Aménagement intérieur	4'900'000	4'900'000	4'900'000	0	0	0	1.00	1.00	1.00
Installations	1'000'000	1'250'000	1'090'000	90'000	250'000	160'000	1.09	1.25	1.15
Frais secondaires	4'750'000	4'900'000	4'900'000	150'000	150'000	0	1.03	1.03	1.00
Honoraires d'ouvrage	125'000	800'000	500'000	375'000	675'000	300'000	4.00	6.40	1.60
Honoraires autres	2'600'000	3'100'000	2'825'000	225'000	500'000	275'000	1.09	1.19	1.10
Comptes d'attente	2'152'000	2'653'000	2'362'000	210'000	501'000	291'000	1.10	1.23	1.12
Total	30'464'000	37'563'000	33'437'000	2'973'000	7'099'000	4'126'000	1.10	1.23	1.12

TABLE 4.6 – Analyse des coûts de construction par macroélément (Montants calculés par IEC S.A)

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Travaux Préparatoires	2%	14%	6%
Fondations	3%	7%	8%
Parois extérieures	9%	5%	6%
Toiture	7%	5%	6%
Gros-œuvre intérieur	10%	7%	8%
Installations	19%	15%	16%
Aménagement intérieur	16%	13%	15%
Frais secondaires	3%	3%	3%
Honoraires d'ouvrage	16%	13%	15%
Honoraires autres	0%	2%	1%
Comptes d'attente	9%	8%	8%
Taxe à la valeur ajoutée	7%	7%	7%
Total	100%	100%	100%

TABLE 4.7 – Proportion de chaque macroélément dans la somme des coûts

qui sont relativement importants, le total représente environ 17'300'000 CHF. Cette somme représente une part importante du coût total (V1 : 57%, V2 : 53%, V3 : 46%). La proportion du coût de chaque macroélément dans la somme totale permet d'observer d'une autre manière les différences entre les trois variantes. On peut remarquer l'importance que prennent les travaux préparatoires et les fondations pour les bâtiments enterrés par rapport aux bâtiments de surface (Table 4.7).

Les travaux préparatoires et les fondations sont les deux macroéléments qui expliquent la plus grande partie du surcoût des variantes enterrées (V2 et V3). L'importante différence de coûts dans les travaux préparatoires est liée aux travaux géotechniques du génie civil (Table 4.8). Dans les variantes sous-sol, le montant du défrichage correspond à 1'500'000 CHF. Cette somme comprend le travail de protection de fouilles par blindage et les étayages en structure métallique. Dans la variante 2, les travaux spéciaux en mauvais terrain devisé à 3'100'000 CHF représentent les travaux de réalisation de parois moulées. Les fondations sont plus chères pour les bâtiments enterrés, car le volume à excaver et à remblayer est plus important. Les bâtiments en souterrain comptent six étages sous-sol, ce qui représente un volume excavé de

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
<i>Travaux préparatoires</i>			
Installations communes de chantier	350'000	540'000	540'000
Défrichages, démolitions, démontages	150'000	1'500'000	1'500'000
Travaux spéciaux en mauvais terrain	0	3'100'000	0
<i>Fondations</i>			
Excavations	175'000	1'650'000	1'650'000
Remblayages	65'000	350'000	350'000
Fondations, dalles de fond	680'000	680'000	680'000
Canalisations	80'000	100'000	100'000

TABLE 4.8 – Décomposition en éléments (chiffres IEC S.A)

41'280m³, alors que ce volume est de 5'000 m³, pour le bâtiment de la variante 1. Le volume de remblayage est de 5376 m³ pour les bâtiments en sous-sol et de 1000 m³ pour le bâtiment conventionnel.

Les parois extérieures, le gros-œuvre intérieur et les installations sont les seuls macroéléments moins chers en souterrain (Table 4.9). La différence de prix pour les installations provient d'un coût moins élevé pour l'installation de chauffage, étant donné qu'en souterrain, il y a moins de déperditions de chaleur, comme cela sera montré dans la suite de cette étude de cas (partie 4.2).

Les variantes enterrées du bâtiment ne nécessitent aucun échafaudage et économisent donc ces frais. Le m² de fenêtres et portes extérieures est l'élément le plus cher des parois extérieures. Il coûte environ 750 CHF/m². Cet élément pèse fortement sur la somme totale des parois extérieures du bâtiment construit en surface.

Un bâtiment souterrain nécessite un drainage plus important qu'un bâtiment n'ayant qu'un étage en sous-sol. Cela engendre un coût plus élevé qui se retrouve avec un prix plus élevé au m² pour les parois extérieures sous-sol.

Le temps de construction est une autre caractéristique défavorable aux bâtiments enterrés. Ce facteur est non négligeable dans le processus de réflexion pour un investissement immobilier. En effet, plus la construction sera courte, plus vite l'investissement pourra générer des revenus. Pour le génie civil, le bureau d'ingénieur Emch+Berger a estimé le temps des travaux (Table 4.10). Néanmoins, ces chiffres sont à prendre avec précautions. Plusieurs éléments de l'architecture ne sont pas pris en compte. Il

	Variante 1	Variante 2	Variante 3
<i>Parois extérieures</i>			
Fenêtres, portes extérieurs	1'575'000	400'000	400'000
Parois extérieurs rez et étages sup.	720'000	0	0
Échafaudages	150'000	0	0
Parois extérieurs sous-sol	230'000	1'540'000	1'540'000
<i>Gros-œuvre intérieur</i>			
Installation gén. Chantier	250'000	250'000	250'000
Autres échafaudages	12'000	0	0
Dalles, escaliers, balcons	2'100'000	2'100'000	2'100'000
Parois intérieures	660'000	260'000	260'000

TABLE 4.9 – Décomposition en éléments (chiffres IEC S.A)

existe également un facteur non négligeable qui peut influencer la durée des travaux, l'incertitude géologique. Un bâtiment a un risque de problème géotechnique moins élevé qu'un tunnel, mais il n'est pas à l'abri de ce type de problème ou à l'abri d'une découverte archéologique qui ralentissent les travaux. Ces retards peuvent s'avérer coûteux et cette incertitude peut être un frein à la construction souterraine.

Prise en considération de la consommation énergétique

La consommation énergétique de ce bâtiment est répartie en deux sources différentes : l'électricité et le gaz naturel. L'électricité est utilisée pour l'éclairage, la ventilation, les appareils, le refroidissement par pompe à chaleur et les besoins auxiliaires. Le gaz naturel est employé pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Dans les trois variantes, certains besoins énergétiques ne varient presque pas. Il s'agit de l'éclairage, de la ventilation, des appareils et des besoins auxiliaires. L'éclairage varie légèrement à cause d'une vitrine au rez-de-chaussée qui amène un peu plus de lumière naturelle dans la variante 1. L'éclairage est le principal poste de consommation d'énergie. Le besoin en refroidissement plus important du bâtiment de surface augmente sa consommation énergétique. De plus, les besoins de chauffage et de refroidissement sont légèrement supérieurs pour la variante en surface. L'écart entre les besoins de chaleur de la variante 1 atteint presque le double de la variante 2, dont les parois enterrées sont épaisses. Les écarts sont moins importants entre les

DURÉE DES TRAVAUX	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Préparation terrain, clôtures, installations	3	3	3
Fouilles en pleine masse	2	0	0
Fouilles sol meuble (1'000 m ³ / jour)	0	8	2
Fouilles rocher (250 m ³ / jour)	0	0	24
Murettes-guide paroi moulée	0	2	0
Paroi moulée (12 m ² / heure)	0	8	0
Perte de temps pour ancrages	0	4	0
Canalisations en fond de fouille	2	2	2
Radier, fondations, fosses	4	4	4
Dalles (6 x 3 semaines, exécution par demi niveau)	18	18	18
Murs (6 x 3 semaines, exécution par demi niveau)	18	18	18
Superstructure	2	2	2
Charpente métallique verrière	1	1	1
Total	50	70	74

TABLE 4.10 – Durée des travaux du génie civil en semaines (Chiffres estimés par Emch&Berger)

deux variantes enterrées : la variante 2 a des besoins de chauffage moindres, mais des besoins de climatisation légèrement supérieurs (Table 4.11).

Afin de calculer les coûts de la consommation énergétique de chaque bâtiment, les calculs vont être effectués en deux étapes. Un premier calcul permettra de connaître le coût annuel de chacune des variantes en se basant sur les chiffres de la statistique de l'énergie en Suisse calculés par l'Office Fédéral de l'Énergie (OFEN (OFE)). En 2007, le prix de la consommation d'électricité s'élève à 16,4 centimes/kWh, celle du gaz à 9,1 cts/kWh. Un deuxième calcul permet l'actualisation de ces coûts sur une période de 50 ans ($t=50$) à un taux de 5% ($r=0.05$) et avec une augmentation du prix de l'énergie de 2% ($a=0,02$) par année¹¹. La période de 50 ans est identique pour les deux bâtiments afin de garder les mêmes critères de simulation, bien qu'une infrastructure souterraine a une espérance de vie plus grande qu'une infrastructure de surface. La formule utilisée pour l'actualisation est la suivante :

11. L'intégration de l'inflation a été décidée afin de respecter les calculs pratiqués par les professionnels. Le taux d'augmentation du prix par année a été renseigné par M. Perdisat, auditeur en utilisation de l'énergie et génie climatique aux Services Industriels de Genève (SIG)

	en MJ/m ² /an			Kwh/bâtiment complet/an		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
Besoins de refroidissement	5	4	3	13'300	10'300	8'000
Éclairage	192	193	193	481'100	481'900	481'900
Ventilation	21	21	21	51'300	51'300	51'300
Appareils	23	23	23	56'300	56'300	56'300
Auxiliaires	1	1	1	2'500	2'500	2'500
Total électricité	242	241	240	604'500	602'200	600'000
Besoins de chauffage	47	26	30	117'600	64'300	74'300
Eau chaude sanitaire	22	22	22	55'000	55'000	55'000
Total gaz	69	48	52	172'600	119'300	129'400
Total	311	288	292	777'100	721'600	729'300

TABLE 4.11 – Consommation énergétique

$$C_0 = \frac{C * (1 + a)^t}{(1 + r)^t}$$

Malgré un besoin de chauffage presque double pour la variante 1 par rapport aux autres variantes, la facture finale en énergie actualisée sur 50 ans ne montre pas une différence qui permet de compenser le surcoût à la construction. Le coût en énergie de la variante 1 est supérieur à la variante 2 d'environ 136'000 CHF et supérieur à la variante 3 de 122'000 CHF. Le chauffage représente environ 15% de l'énergie et comme il est fait à l'aide d'une chaufferie à gaz (le gaz est presque à moitié moins cher que l'électricité), il n'influence que légèrement le résultat final (Table 4.12).

Sur 50 ans, la consommation en électricité d'un bâtiment en sous-sol représente un gain financier de 4 à 5 % par rapport à un bâtiment de surface. Cette différence est due aux besoins de chauffage et de refroidissement moindre en souterrain. Cette économie ne représente qu'une petite partie de ces investissements immobiliers. Les charges d'exploitation équivalent entre 7 à 9 % de la somme des coûts de construction et d'exploitation. Ces économies liées à une meilleure performance énergétique ne sont pas suffisantes pour équilibrer les coûts sur 50 ans entre construction hors-sol et sous-sol.

	coûts total CHF/an			coûts total CHF/50ans		
	V1	V2	V3	V1	V2	V3
Besoins de refroidissement	2'200	1'700	1'300	56'600	43'800	34'200
Éclairage	78'900	79'000	79'000	2'053'100	2'056'300	2'056'300
Ventilation	8'400	8'400	8'400	218'900	218'900	218'900
Appareils	9'200	9'200	9'200	240'200	240'200	240'200
Auxiliaires	400	400	400	10'700	10'700	10'700
Total électricité	99'100	98'800	98'400	2'579'500	2'569'900	2'560'200
Besoins de chauffage	10'700	5'900	6'800	278'400	152'300	175'900
Eau chaude sanitaire	5'000	5'000	5'000	130'300	130'300	130'300
Total gaz	15'700	10'900	11'800	408'800	282'600	306'300
Total	114'800	109'600	110'200	2'988'200	2'852'400	2'866'500

TABLE 4.12 – Coûts totaux de l'énergie consommée par les différentes variantes du bâtiment en CHF

Si l'on additionne les coûts de construction aux coûts de l'énergie, les bâtiments souterrains ne sont toujours pas concurrentiels avec les bâtiments de surface. La variante 2 est 21% plus chère que la variante 1 et la variante 3 reste 8% plus chère que la variante 1.

- Variante 1 : 33'452'200 CHF
- Variante 2 : 40'415'400 CHF
- Variante 3 : 36'303'500 CHF

Prise en considération du prix du terrain

Comme il a été observé dans la revue de la littérature, le terrain peut influencer les choix dans un investissement financier. Pour inclure cette variable dans cette étude, le prix du m² de terrain non construit et viabilisé pour un commerce à Genève a été recueilli dans l'Immo-Monitoring Wuest (2008). Cette étude a déterminé un prix moyen pour trois types de terrain : un objet avantageux, un objet de prix moyen et un objet cher (Table 4.13). Notre bâtiment ayant une surface de 1500 m², le coût du terrain peut avoir un impact important sur la facture finale. Entre le terrain le moins cher et le plus cher, le prix est multiplié par un facteur 4.

	Prix au m^2	Prix total
Terrain avantageux	2'620 CHF	3'930'000 CHF
Terrain moyen	4'020 CHF	6'030'000 CHF
Terrain cher	10'310 CHF	15'465'000 CHF

TABLE 4.13 – Prix du terrain en CHF selon les prix de l'Immo-Monitoring Wuest (2008)

	Total			Proportion		
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	V3/V1	V2/V1	V2/V3
Uniquement Bâtiment	30'464'000	37'563'000	33'437'000	1.10	1.23	1.12
Bâtiment + terrain avantageux	34'394'000	41'493'000	37'367'000	1.09	1.21	1.11
Bâtiment + terrain moyen	36'494'000	43'593'000	39'467'000	1.08	1.19	1.10
Bâtiment + terrain cher	45'929'000	53'028'000	48'902'000	1.06	1.15	1.08

TABLE 4.14 – Comparaison des rapports de prix du projet immobilier en fonction du prix du terrain et de la variante de bâtiment (prix en CHF)

Lorsque l'on intègre le prix du terrain à la comparaison des coûts entre les trois variantes, on remarque que le ratio est moins défavorable à la construction souterraine (Table 4.14). Sans le terrain, la variante 2 est 23% plus cher que la variante 1. Avec un terrain cher, cette différence n'est plus que de 15%, et plus que de 6% pour la variante 3. En Suisse, on observe que les gros centres commerciaux sont souvent implantés en périphérie. Ils profitent ainsi d'une bonne accessibilité en se situant près des sorties d'autoroute. Mais ils profitent aussi du prix avantageux du terrain leur permettant ainsi de pouvoir s'étendre à leur guise. Plus le prix du terrain sera faible, moins les propriétaires auront un avantage à utiliser le sous-sol. Le surcoût lié à la construction en souterrain étant trop important par rapport au prix du terrain.

Les terrains les plus chers pour les activités commerciales sont généralement situés dans des endroits de fort passage, centraux et denses. Ces lieux seront donc plus susceptibles d'accueillir des commerces souterrains. Ces infrastructures souterraines peuvent améliorer leur rentabilité si elles se constituent en réseau permettant de créer du passage devant les vitrines se trouvant en sous-sol (Boisvert, 2005). Cet exemple est parfaitement illustré par le cas de Montréal qui a développé d'importantes galeries marchandes souterraines reliées aux transports publics et aux immeubles de surface abritant une importante population d'actifs. Les réseaux sont gérés par un partenariat public favorisant leur développement (Besner, 2000 ; Besner, 2007).

Total			Proportion			Différence		
V1	V2	V3	V3/V1	V2/V1	V2/V3	V3-V1	V2-V1	V2-V3
48'917'200	55'880'400	51'768'500	1.06	1.14	1.08	2'851'300	6'963'200	4'111'900

TABLE 4.15 – Synthèse des coûts totaux en CHF, incluant construction, énergie et achat d'un terrain cher

Synthèse de cette étude de cas

La construction en souterrain souffre d'un désavantage au niveau des coûts. Ce désavantage n'est pas aussi important qu'estimé par un professionnel de l'immobilier, mais il est malgré tout un frein important au développement de la construction souterraine. Si l'on compare la construction de notre bâtiment sur un terrain cher et en tenant compte des coûts énergétiques, cette différence devient proportionnellement moins importante, mais elle est toujours présente (Table 4.17). Les délais de construction et l'incertitude géologique sont deux facteurs défavorables supplémentaires à la construction souterraine.

Un investissement plus élevé ne va pas obligatoirement empêcher la construction souterraine. Un investisseur établit sa réflexion en terme de flux de revenus qu'il peut dégager de son investissement immobilier (Favarger et Thalmann, 2008). Si le coût est plus élevé, il faut que les loyers soient plus élevés et donc que les enseignes commerciales puissent engranger des revenus plus importants pour y faire face. Cet objectif sera encore plus difficile à réaliser pour une construction dans une zone géologiquement défavorable. Mais ces désavantages ne sont pas forcément rédhibitoires. Si ce bâtiment est construit dans une zone avec un important bassin de population, sur un important lieu de passage, bien desservi par les transports publics ou avec un parking à proximité, cela peut être réalisable. Le forum des halles à Paris est un exemple de ce type de réalisation. En Suisse, les CFF (Chemin de Fer Fédéraux) ont bien compris la possibilité de rentabiliser des espaces commerciaux en souterrain grâce à un important flux piétonnier. Ils en profitent dans les gares suisses, comme à Zürich qui a de nombreux commerces en sous-sol.

Une densification grâce au sous-sol

En Suisse, les gabarits des bâtiments sont fixés par les lois sur la construction. Actuellement, ces lois ne permettent rarement plus que cinq ou six étages. Le dernier espace

de liberté restant est le sous-sol. Néanmoins, cette raison n'est pas suffisante pour décider de construire en souterrain. Il faut également que les terrains libres soient rares et la demande de surface importante. Ainsi, la pression sur les prix fonciers peut amener le promoteur à vouloir maximiser la surface utile pour rentabiliser son investissement dans l'achat du terrain. Dans cette situation, les loyers de locations augmentent également, et donc les revenus des promoteurs. Si les revenus générés sont suffisamment élevés, le promoteur peut compenser les coûts de construction en souterrain. Cette situation peut se passer dans des zones centrales et denses où les prix sont les plus élevés et le passage de chalands plus important. Par exemple, à Genève, le prix du terrain peut varier d'un facteur quatre d'une zone à l'autre. A Lausanne, le quartier du Flon était soumis à des critères stricts en matière de gabarits. Il s'agit d'une zone centrale et proche de transports publics. Les propriétaires ont ainsi développés des infrastructures souterraines, telles qu'un cinéma, un parking, des commerces, des bars et des entrepôts.

En construisant un bâtiment avec six étages souterrains et cinq étages en surface, on peut faire une utilisation plus intensive de la même parcelle. Les étages en sous-sol peuvent être occupés par du commerce, ou des espaces de dépôt. Le rez-de-chaussée peut être proposé à des commerces et peut ainsi devenir la porte d'entrée pour les commerces dans les étages inférieurs. Les étages en élévation peuvent accueillir du logement ou des espaces de bureaux. Ces variantes avec plus d'étages peuvent devenir particulièrement intéressantes pour les promoteurs. Elles peuvent également devenir intéressantes pour les commerçants. A Montréal, la multiplication des espaces commerciaux aurait pu être néfaste pour les commerces déjà existants sur rue. Il a été remarqué que l'offre commerciale du réseau intérieur de Montréal complète l'offre du réseau extérieur. Elle supporte donc plus qu'elle ne concurrence les magasins sur rue (Beaudet et Lewis, 1997).

Afin d'illustrer l'avantage économique de construire ce type d'ouvrage, une estimation des coûts a été réalisée. Elle compare deux bâtiments comportant cinq étages en surface et six en profondeur. Un bâtiment est implanté dans une géologie favorable, l'autre dans une géologie défavorable. N'ayant pas les ressources nécessaires, cette évaluation n'a pu être réalisée avec des plans d'architecte, elle repose sur une estimation du génie civil et une évaluation économique basée sur la méthode CFE. Les résultats sont donc moins précis que dans l'étude précédente. Elle sert néanmoins à démontrer l'intérêt financier d'une densification d'un terrain par le sous-sol.

Les calculs sont basés sur les valeurs de chaque variante utilisée dans Coubès (2008). Ces deux bâtiments sont en fait :

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 1+2	Variante 1+3
Bâtiment + terrain cher	45'929'000	53'028'000	48'902'000	59'965'000	63'965'000
Coût au m ² de plancher	5'103	5'892	5'434	3'634	3'877

TABLE 4.16 – comparaison des coûts de construction par rapport au m² de plancher des 3 variantes avec des bâtiments avec 6 étages sous-sol et 5 étages en surface

- variante 1 + variante 2 - l'étage souterrain de variante 1
- variante 1 + variante 3 - l'étage souterrain de variante 1

Dans cette nouvelle configuration les étages supérieurs sont destinés à des logements ou des bureaux et non plus à du commerce. Pour les cinq étages en surface, les calculs doivent donc être effectués avec des parois plus chères qui correspondent au coût moyen pour des logements ou des bureaux (variante 1 : 450 CHF/m²; dans variante 1+2 et 1+3 : 750 CHF/m²). La toiture n'a été prise en compte qu'une seule fois. Les résultats sont indicatifs, en effet l'architecture intérieure des étages supérieurs n'est pas conforme pour des logements ou des bureaux.

Le coût de construction est estimé à 44,5 millions CHF en géologie favorable et à 48,5 millions CHF en géologie défavorable. Le coût au m² devient nettement plus intéressant (Table 4.16). Même si ces variantes de bâtiments beaucoup plus grands deviennent moins chères à la construction au m² de plancher, cela nécessite tout de même de réussir à louer les surfaces supplémentaires pour être profitables.

4.3 Synthèse et perspectives

Différentes études montrent que le sous-sol peut participer à améliorer l'urbain que ce soit en réduisant l'étalement urbain et ses désavantages ou que ce soit en préservant des espaces naturels ou la vue. Ces arguments sont à valoriser dans le cadre de la politique de planification urbaine.

La comparaison des coûts de construction entre une infrastructure construite en surface et une construite en souterrain a été peu étudiée. Les professionnels de l'immobilier méconnaissent ces différences de coûts. Les résultats de cette recherche peuvent permettre de faire avancer la connaissance à ce sujet, particulièrement pour le contexte suisse. Cette étude est basée sur la simulation des coûts de construction d'un bâtiment commercial virtuel. Il est décliné en trois variantes qui permettent

l'évaluation de la mesure de l'impact financier d'enfouir un bâtiment et de l'impact financier de la géologie.

- V1 : Bâtiment en surface
- V2 : Bâtiment souterrain, scénario de géologie défavorable
- V3 : Bâtiment souterrain, scénario de géologie favorable

Ce bâtiment est constitué d'un toit plat avec une verrière centrale donnant accès aux étages inférieurs et créant une source de lumière zénithale. Pour le bâtiment émergé, ce toit-terrasse permet de créer une place de détente ou un café-restaurant avec terrasse. Le bâtiment enterré donne place à une "Piazzetta" pouvant améliorer l'espace public ou un café-restaurant avec terrasse.

Comparaison des coûts

	Total			Proportion		
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	V3/V1	V2/V1	V2/V3
Uniquement Bâtiment	30'464'000	37'563'000	33'437'000	1.10	1.23	1.12
Bâtiment + terrain avantageux	34'394'000	41'493'000	37'367'000	1.09	1.21	1.11
Bâtiment + terrain moyen	36'494'000	43'593'000	39'467'000	1.08	1.19	1.10
Bâtiment + terrain cher	45'929'000	53'028'000	48'902'000	1.06	1.15	1.08
Différence avec V1	2'973'000	7'099'000	4'126'000			

TABLE 4.17 – Synthèse des coûts totaux (en CHF)

Les facteurs *enfouir* et *géologique* ont indubitablement un impact important sur les coûts de construction (Table 4.17). Dans cette configuration, un investisseur privé n'a que peu de raisons d'enterrer son bâtiment, à moins de bénéficier d'un accord avec la ville qui peut le récompenser pour l'amélioration de l'espace public, par exemple en compensant son investissement supplémentaire. Un partenariat public-privé et indispensable à ce genre de réalisation. La géologie est un facteur de coût plus important que l'enfouissement. La connaissance des qualités géologiques est donc un atout indéniable. L'aménagiste doit tenir compte de ce facteur s'il décidait de planifier des zones où l'espace souterrain serait développé. Plus le prix du terrain augmente, moins le désavantage proportionnel est important.

Une comparaison plus détaillée montre les opérations qui influencent les différences de coûts (Table 4.18) :

	V1	V2	V3
Enveloppe	+	-	-
Travaux préparatoires	-	++	+
Fondations	-	+	+
Temps de construction	-	+	++
Climatisation	++	-	+
Terrain	=	=	=

TABLE 4.18 – Comparatifs des raisons qui génèrent des différences de coûts (++ le plus élevé ; + au milieu ; - le moins élevé ; = égal)

- *L'enveloppe* : Les versions 2 et 3 n'ayant pas d'architecture extérieure, la version 1 présente un désavantage. Ce désavantage peut s'accroître si le promoteur décide de construire une façade élaborée pour mieux signaler son bâtiment. Mais ce facteur ne suffit pas à équilibrer les comptes entre les variantes enfouies et la variante émergente.
- *Les travaux préparatoires* : Dans les variantes 2 et 3, il est nécessaire de procéder à un travail de protection des fouilles par blindage. La version 2 doit réaliser des parois moulées à cause de la mauvaise géologie. La construction des parois moulées est l'agent le plus impactant en terme de coût de construction. Il est la raison des surcoûts liés à la géologie.
- *Les fondations* : À cause du nombre d'étages plus importants des variantes 2 et 3, le volume à excaver est supérieur et donc les coûts. Ce facteur est la cause des surcoûts liés à la construction en souterrain.
- *Le temps de construction* : cet élément est important, car il retarde le début de l'exploitation et donc la rentrée des revenus. L'allongement du temps des travaux augmente également les risques de retard qui peuvent être liés à des intempéries ou à des périodes de vacances du bâtiment. Même si le terrain est sondé au préalable, les risques liés à une surprise dans le terrain ne sont pas à exclure. Les travaux peuvent révéler des imprévus géologiques ou archéologiques qui peuvent les ralentir. Tous ces éléments augmentent l'incertitude. Le sous-sol peut pâtir du temps de construction plus élevé et de l'incertitude au moment du choix d'un investisseur quant à l'option de construire en souterrain.
- *La climatisation* : Les variantes souterraines bénéficient de l'isolation thermique du sol. Les parois moulées de 80 cm du modèle en géologie défavorable offrent une meilleure isolation thermique que les parois berlinoises. Sur 50 ans, les coûts de climatisation n'ont qu'un faible impact sur les coûts totaux. Les améliorations constantes en terme de physique du bâtiment devraient même réduire les avantages

	Variante 1	Variante 1+2	Variante 1+3
Bâtiment + terrain cher	45'929'000	59'965'000	63'965'000
Coût au m ² de plancher	5'103	3'634	3'877

TABLE 4.19 – Développement du souterrain et pression foncière (en CHF)

thermiques liés à la construction en sous-sol

- *Le terrain* : Le prix du terrain peut fortement varier. Dans notre étude de cas, un prix au m² élevé permet de réduire l'importance proportionnelle des différences de coûts de construction. Un propriétaire sera donc plus enclin à investir le sous-sol dans une zone où le prix foncier est élevé. Il n'est pas aisé de prévoir à long terme le prix du m² de terrain.

Marché foncier et souterrain

Les contraintes liées aux gabarits extérieurs et la pression sur les prix du foncier peuvent être des raisons qui permettraient un développement endogène d'un développement du souterrain. La ville de Tokyo l'illustre parfaitement. La pression foncière est telle que le sous-sol s'est développé. L'exploitation des données sur les coûts de construction permet de l'illustrer en empilant les versions 1 avec les versions 2 et 3. L'étage souterrain de la version 1 a été supprimé, tout comme les coûts d'une toiture. Enfin, les coûts de façades ont été calculés avec le prix du mètre de façade d'un bâtiment administratif. Pour avoir des chiffres plus justes et plus précis, il faudrait développer de nouveaux modèles et procéder aux évaluations économiques. Etant donné, l'hypothèse de pression foncière importante, les prix élevés des terrains ont été utilisés. Les coûts totaux au mètre de plancher sont favorables à un investissement dans ce type d'infrastructure avec un souterrain développé. Les promoteurs doivent tout de même consentir un investissement nettement plus important. Ils doivent donc être convaincus de pouvoir louer l'ensemble des surfaces à un prix rentable.

Pour qu'un espace commercial puisse être rentable, il doit bénéficier de revenus suffisants. Un passage important, une bonne situation géographique et une bonne accessibilité sont des éléments permettant de bons revenus. L'implantation géographique de lieux commerciaux souterrains est donc primordiale. Une planification urbaine intégrant le sous-sol doit en tenir compte si elle entend aménager des zones de développement d'espace souterrain.

Les faiblesses que les coûts engendrent pour le développement du souterrain

1. Dans le cadre de la simple transposition d'un centre commercial de la surface au sous-sol, les coûts supplémentaires engendrés rendent cette option non-concurrentielle. Un investissement privé de ce genre est donc à exclure.
2. Une géologie défavorable augmente les coûts de construction en souterrain. Elles rendent encore plus difficile le développement d'espace souterrain. Dans ces conditions, la pression doit être encore plus forte pour que les promoteurs choisissent l'option du sous-sol.

Les opportunités à saisir pour contrer les surcoûts du sous-sol

1. Une importante pression immobilière et des gabarits fixés en surface seront des motivations pour les promoteurs pour développer des bâtiments remplissant les gabarits de surface avec des activités à haute densité humaine et les sous-sols avec des espaces borgnes de surface ou des espaces à faible densité humaine (voir chapitre 3.6).
2. Le recensement des données géologique et leur cartographie peuvent renseigner le planificateur ou les promoteurs sur les zones qui n'ont pas de surcoûts dus à une géologie défavorable. Ces données sont donc indispensables pour une planification urbaine efficace. Elles permettent également une meilleure transparence sur le marché foncier. Un terrain à fort ou faible potentiel constructible en souterrain n'ayant pas la même valeur.
3. Une ville désireuse d'améliorer son tissu urbain et le bien-être de ses habitants peut le faire en réduisant l'étalement urbain, en préservant la vue ou des espaces naturels. Pour y parvenir, elle peut utiliser, entre autres, le développement d'espace souterrain préservant ainsi de la surface non bâtie, soit en développement elle-même ces espaces, soit en élaborant des partenariats public-privés.

Interactions entre l'économie et les autres domaines de recherche

- L'importance des coûts de construction en souterrain peut pousser les mandataires à vouloir réduire les coûts que ce soit en limitant les hauteurs de plafonds, en renonçant aux puits de lumière ou en limitant l'aménagement intérieur. Ces décisions

réduiraient l'attractivité du bâtiment et perpétueraient la perception négative (voir chapitre 3.6)

- Les surcoûts liés au souterrain freinent la construction de ce type d'infrastructure. Les législateurs et les planificateurs ne sentant pas une forte pression sur cet espace restent attentistes et ne voient pas encore l'intérêt de développer la législation ou une planification urbaine intégrant le sous-sol urbain et qui pourrait suivre les concepts de la méthodologie Deep City (voir chapitre 2.5) .
- Les frais engendrés par l'installation d'infrastructures publiques en sous-sol peuvent être un risque de rejet de la population soucieuse de ne pas gaspiller les deniers publics prélevés auprès du contribuable. Les hommes politiques peuvent y voir un risque de déplaire à leur électorat et donc renoncer à soutenir ce type de projet urbain.

4.4 Discussion et pistes de recherche

Cette étude a démontré l'importance des coûts de construction quant à la possibilité de développer plus d'espaces bâtis en souterrain, et indirectement l'intérêt d'une planification urbaine incorporant le sous-sol. La méthodologie utilisée démontre des résultats probants. Il serait donc intéressant, premièrement, de l'améliorer en incluant des facteurs tels que les coûts liés au pompage de la nappe, ainsi que les coûts d'entretien. Deuxièmement, elle mériterait également d'élargir son champ d'utilisation en l'appliquant à tous les facteurs découverts lors de la revue de la littérature :

- La géologie en élaborant des scénarios géologiques encore non traités
- la date de construction afin d'observer si cette différence de coûts évolue dans le temps et quelles sont les tendances
- l'usage du bâtiment en favorisant les recherches sur les infrastructures à faible densité humaine (voies de communication, parking) ou les espaces borgnes de surface (salle de concert, cinéma,...)
- la forme et la profondeur en calculant :
 - le coût d'un étage supplémentaire en profondeur et en le comparant avec le coût d'un étage supplémentaire en hauteur
 - le coût d'étaler les gabarits en profondeur, sachant que cette solution est celle ayant cours actuellement, grâce à la loi et les négociations avec les services de l'affectation cantonaux
 - le coût de développer un réseau souterrain qui permet un meilleur passage de chaland

L'intégration du marché foncier est un autre domaine de recherche qui mériterait un approfondissement des connaissances :

- Une modélisation du rapport entre le prix du terrain et le prix de construction en sous-sol pourrait permettre de connaître le seuil à partir duquel le développement du souterrain devient rentable ou de connaître la réduction de la surface à acheter qui compenserait l'ajout d'un étage souterrain supplémentaire à surface utile équivalente.

Ces recherches offriraient aux investisseurs et aux urbanistes une meilleure information qui pourrait les aider dans leur choix d'investissement ou de planification.

Chapitre 5

Influence de l'opinion publique dans les projets urbains

A priori, le souterrain jouit d'un avantage comparatif sur la surface concernant des résistances formées par la population face à un projet urbain. En effet, il ne génère pas de nuisances visuelles, auditives ou olfactives. Une station d'épuration souterraine évitera les effluves nauséabonds. Un projet souterrain devrait donc susciter moins de résistance qu'un projet de surface. En Suisse, le droit d'opposition et le droit de recours des associations peuvent faire périlcliter un projet, le modifier ou le ralentir. Le temps perdu que peut générer ce type d'obstacle a des conséquences économiques importantes. Il signifie un retard du début de l'exploitation, des charges administratives et juridiques, des études d'ingénieur pour résoudre les problèmes posés et le renchérissement du coût de la vie et en finalité celle du coût des travaux. Ces renchérissements peuvent engendrer une augmentation du budget nécessaire à sa réalisation. Les promoteurs privés peuvent voir là un argument intéressant. En effet, moins il y aura de résistance, plus vite la construction pourra commencer et donc le projet être terminé. Ainsi, les revenus générés par l'exploitation pourront permettre plus rapidement de rentabiliser, les fonds investis pour l'achat du terrain et l'élaboration du projet. Cet argument peut permettre de nuancer les résultats obtenus au chapitre 4.

Dans le cas d'un projet public, cette demande doit alors être soumise à l'approbation du parlement. Si le montant du budget est important, il peut être combattu par référendum. Il est donc très important de présenter des dossiers qui vont rencontrer

le moins de résistance possible. La construction souterraine peut aussi éviter les démarches d'expropriation et de dédommagement aux propriétaires. Cette économie peut compenser en partie les coûts de construction plus importants en souterrain qu'en surface.

Un plus grand développement de l'urbanisme souterrain passe obligatoirement par une réussite de la mise à l'enquête des projets qui le compsent. Cette recherche étudie l'hypothèse qu'un projet urbain développé en souterrain susciterait moins d'opposition qu'un projet en surface. Elle observe le nombre, les motifs et l'impact des critiques et des oppositions à un important projet urbain développé en souterrain. Ces informations peuvent être précieuses pour les personnes qui désireraient développer un projet souterrain. Elles pourront ainsi mettre en place les stratégies et les politiques adéquates à réduire ces difficultés.

Ce chapitre va étudier les conflits que le projet CEVA (Cornavin – Eaux-Vives – Annemasse) a rencontrés. Ce projet franco-genevois prévoit la construction d'une ligne ferroviaire souterraine et urbaine de 9 Km jusqu'à la frontière, de 5 gares et d'un pont franchissant l'Arve (Figure 5.1).

5.1 Description du cas CEVA

Historique du CEVA

Les réflexions sur l'implantation ferroviaire à Genève débutent en 1841. Genève se trouve au cœur d'un carrefour Nord-Sud et Est-Ouest qui va peser dans les débats sur les projets ferroviaires. Les liens privilégiés de Genève avec la France orientent les premiers projets sur une liaison Genève-Lyon qui, à terme, devrait relier Paris à Milan, avec une gare sur la rive gauche du lac Léman. Finalement en 1855, la gare se construira sur la rive droite à Cornavin privilégiant les liens avec le reste du réseau suisse, condamnant les développements ferroviaires rive gauche du lac Léman et la liaison avec la Savoie. Cela proscriit également l'ambition de nœud ferroviaire régional que Genève voulait jouer. Depuis lors, de nombreux projets prévoyant de rejoindre Cornavin et Annemasse sont élaborés, mais aucun n'est concrétisé, pour diverses raisons politiques, économiques ou techniques. En 1885, la construction d'un tracé allant d'Annemasse à la gare des Eaux-Vives est réalisée dans l'espoir de pouvoir réaliser la jonction à Cornavin dans une prochaine étape. En 1912, une convention est

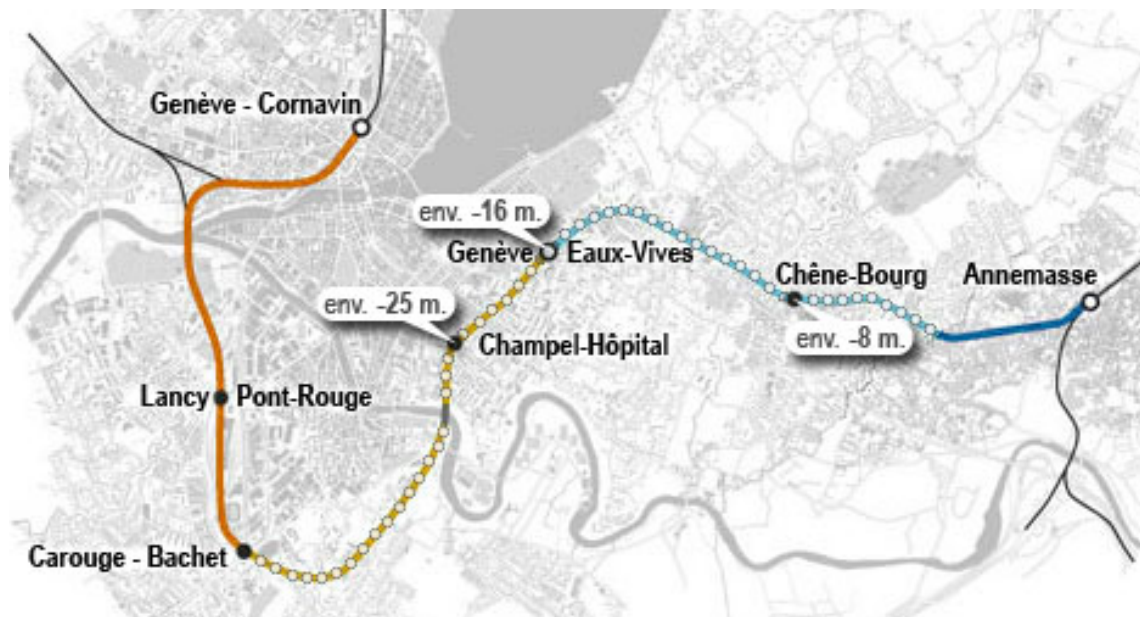


FIGURE 5.1 – Tracé du projet CEVA développé par le canton de Genève et les CC (tiré de : www.ceva.ch). Le tronçon Cornavin/Carouge-Bachet est en surface, le reste est en souterrain.

signée entre l'Etat de Genève et la Confédération. Elle stipulait que la Confédération participerait pour un tiers à l'établissement d'une ligne de raccordement entre la gare de Cornavin et celle des Eaux-Vives. Cette convention exigeait aussi le rachat de tous les terrains nécessaires à sa réalisation par l'Etat de Genève. De nombreux terrains sont acquis par le canton en 1919. Après des aléas économiques et politiques, le Canton décide de commencer par réaliser le tronçon Cornavin - La Praille. Il est achevé en 1959. En 2001, le projet de relier La Praille aux Eaux-Vives est relancé avec le vote d'un crédit d'étude de 30 millions de francs suisses. Un protocole d'accord est signé au cours du mois d'avril 2002 entre le Canton de Genève, les CFF et la Confédération (Frommel (2004) et www.ceva.ch). En juillet 2002, le parlement genevois vote un crédit de 400 millions de francs. Le mois de mars 2006 voit la Confédération accorder un financement de 550 millions pour le CEVA. Le mois de décembre 2006 voit la première partie des travaux du CEVA, le rallongement des quais de la gare de Cornavin, s'achever. Le 7 février 2007, le gouvernement français accorde un financement aux travaux sur sol français.

Le contexte général

Afin d'être subventionné par la Confédération ce projet doit être un chemin de fer construit en partenariat avec les CFF. Pour prolonger le tracé depuis la Praille jusqu'aux Eaux-Vives, il n'y a guère le choix que de le faire passer par des zones fortement urbanisées. Le CEVA a également la vocation de transport d'agglomération. Il est donc impératif de desservir des zones relativement denses ou avec un grand potentiel de développement. Cette fonction suppose également des fréquences élevées. Les personnes qui ont relancé le projet doivent se rendre à l'évidence, des voies de chemin de fer en surface vont engendrer une césure dans le tissu urbain ainsi que d'importantes nuisances sonores et paysagères. Cela n'est évidemment pas souhaité par les autorités cantonales et celles de la Ville qui y voient un frein au développement de l'agglomération. Ces oppositions pourraient ralentir fortement le début des travaux, à un tel point qu'il ne serait plus possible de bénéficier des subventions de la Confédération. Elles pourraient également mettre un terme définitif au projet si le peuple genevois s'opposait trop fortement. L'option d'un tracé souterrain permet de réduire ces nuisances. D'ailleurs, les exemples suivants montrent qu'encore plus de souterrain aurait été souhaité par diverses personnes afin de réduire encore les nuisances en surface.

Le CEVA est un projet de transport public budgété à 950 millions de francs (400 millions payés par l'État de Genève et 550 millions payés la Confédération). Une somme de cette importance peut susciter les convoitises de plusieurs groupes d'intérêts. Cela peut également générer l'incompréhension de la part des contribuables d'un canton qui est l'un des plus endettés de Suisse. Il s'agit également d'une infrastructure souterraine qui a une emprise linéaire. Elle va donc générer une plus grande emprise sur le sous-sol genevois que la simple érection d'un bâtiment. Le tracé parcourt des zones fortement urbanisées, ce qui peut engendrer certaines craintes des riverains. Mais il traverse aussi des zones non-bâties, ce qui peut créer pour ces tronçons une incompréhension sur la nécessité et le surcoût de le faire en sous-sol. Il faut également préciser le contexte général vis-à-vis du souterrain en Suisse qui peut avoir une certaine influence sur les appréhensions du public et du monde politique. Plusieurs événements peuvent avoir marqué les esprits sur les coûts, les conséquences en surface ou la sécurité de ce type d'infrastructure :

- les liaisons transalpines ferroviaires qui ont eu un coût bien plus élevé que celui budgété, ceci à cause d'imprévus géologiques et du temps qui a passé entre le moment du calcul des budgets et de la réalisation des travaux ;
- l'effondrement d'une partie de la place Saint-Laurent à Lausanne lors du creusement du tunnel du métro M2 au mois de février 2005 ;

- l'accident du tunnel du Mont-Blanc du 24 Mars 1999, tout comme l'accident dans le tunnel du Gothard au mois de novembre 2001 qui ont fait de nombreuses victimes.

Les acteurs

Il est nécessaire de rappeler que les différentes parties en opposition ne vont pas seulement argumenter sur les points qui leur tiennent le plus à cœur, mais vont chercher tous les arguments afin de faire pencher la balance de leur côté. Par exemple, le lobby des automobilistes ne va pas se contenter de rappeler l'avantage d'investir pour la route plutôt que le rail, il va également chercher les défauts du projet CEVA, afin de les exposer au public, et ainsi favoriser le sujet qu'il défend.

Il existe différents groupes de pression qui tentent d'influencer l'opinion publique quant à l'utilité et à la bonne conception du CEVA. Afin de mieux évaluer les forces en présence, il est important de discerner et de présenter ces acteurs :

- les promoteurs du projet : Il s'agit essentiellement du gouvernement genevois, dirigé par Robert Cramer. Il est épaulé par la direction opérationnelle du projet, par les CFF et par les responsables français du développement de la région transfrontalière ;
- l'Association Contre le Tracé Carouge-Champel du CEVA (ACTCC) : Elle a été créée par des habitants de Champel spécifiquement pour contrer le passage du CEVA par la colline de Champel, elle a lancé une pétition, créé une lettre type d'opposition au projet et lancé une initiative. Il s'agit de l'association la plus virulente et la plus active contre le CEVA. En juin 2007, elle se mue en Association pour une meilleure mobilité Franco-Genévoise, mais le seul sujet d'action reste l'opposition au CEVA. Le quartier de Champel a une part de contribuables à hauts revenus considérée comme forte par l'OCSTAT¹. Ce quartier est également un des quartiers qui a un taux de loyer élevé (Source : OCSTAT). Les personnes y habitant possèdent probablement un véhicule personnel. Ils peuvent estimer le CEVA comme inutile ou comme un vecteur de nuisances. Cette association a proposé des trajets alternatifs. Elle défend surtout la liaison de Bardonnex avec une voie ferrée en surface (Figure 5.2) ;
- le Comité Pro-RER Genève Région : Cette organisation regroupe tous les différents groupes qui soutiennent le projet CEVA. Il regroupe aussi bien des personnalités politiques de tous partis confondus, que des communes ou des associations, telles

1. source : communiqué de presse *Où habitent dans le canton de Genève les contribuables à « bas revenu » et ceux à « haut revenu » ? Réponse en deux cartes ; 23.12.2009*

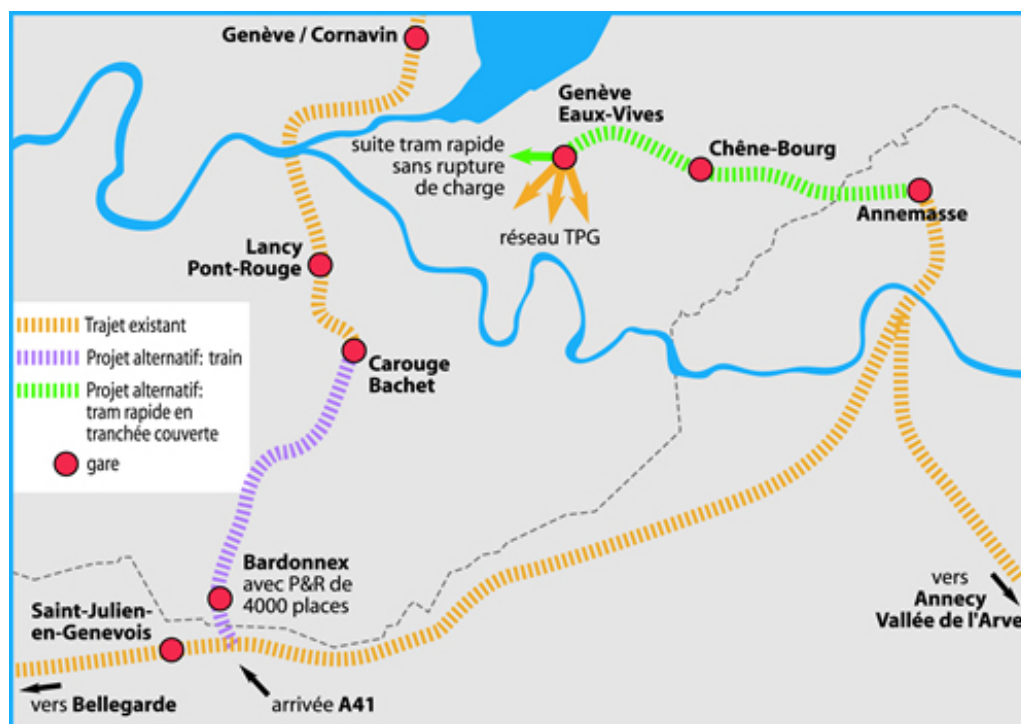


FIGURE 5.2 – Les tracés alternatifs aux CEVA développés par les opposants (tiré de www.mobilitege.ch). Le trajet Carouge-Bachet/Baronnex est en surface. Le tronçon Annemasse/Eaux-vives est en souterrain. Il relie un noeud des transports publics genevois

que l'ATE (Association Transports et Environnement) ou ALP-Rail (Association Lémanique pour la Promotion du Rail) ;

- les associations de quartiers : Il existe différentes associations de quartier comme l'Association pour les intérêts de Champel, ou l'Association pour la sauvegarde du site de la chapelle qui militent pour des améliorations de la conception du CEVA, afin de minimiser les nuisances dans leur quartier ;
- les communes : Elles défendent les intérêts de leur communauté en cherchant à réduire certaines nuisances, sans pour autant chercher à empêcher la réalisation du CEVA ;
- les lobbys des transports : Devant la manne cantonale et fédérale que va recevoir le CEVA, divers lobbys tentent de faire pression afin de recevoir plus d'argent pour leur mode de transport (par exemple : Automobile Club Suisse, Union Genevoise des piétons, . . .).

Les processus de blocage subis par le CEVA

L'ACTCC a opposé une farouche opposition au projet CEVA et continue de le faire. Les habitants de Champel ont développé plusieurs stratégies pour faire obstacle au projet. Ils ont régulièrement réussi à le paralyser, mais n'ont pas encore réussi à le stopper. Cette association a beaucoup communiqué et démarché les gens pour les convaincre de s'opposer au CEVA et a eu un certain succès. Trois de leurs démarches ont déjà eu un effet de barrage sur le projet CEVA.

- Au mois de juin 2006, elle a rédigé une lettre type d'opposition qu'elle a largement diffusée. Le CEVA a été l'objet de plus de 1700 oppositions dont plus de 1300 étaient des copies totales ou partielles de cette lettre. Le 5 mai 2008, l'Office Fédéral des Transports accorde l'autorisation de construire après avoir traité les 1700 oppositions. Il a fallu presque deux ans pour lever les oppositions en raison de leur nombre. Plusieurs opposants ont déposé un recours au Tribunal Administratif Fédéral. Le 22 Novembre 2010, 27 recours bloquaient encore le début des travaux.
- Une initiative comportant 16'660 signatures est déposée en août 2007 au service des votations du Canton de Genève. Elle demande le raccordement au réseau SNCF par Bardonnex, l'option dite du *Barreau SUD* (Figure 5.2). Cette initiative est invalidée le 13 mars 2008 par le Grand Conseil Genevois. Soixante-cinq recours ont été déposés au Tribunal Fédéral. Le 28 avril 2009, le Tribunal Fédéral a invalidé à son tour cette initiative.
- En Août 2009, elle dépose un référendum sur une ligne de crédit de 113 millions CHF supplémentaires acceptée par le gouvernement. Il s'en suit une votation le 29 Novembre 2009. L'association est très active lors de cette campagne. Le peuple accepte la demande du budget supplémentaire à 61%. Ce résultat montre un soutien important de la population genevoise au projet CEVA.

Le 1er Décembre 2010, le député Mauro Poggia, membre de l'ACTCC, dépose un projet de loi instituant un moratoire sur l'exécution des travaux du CEVA. Ce projet demande un moratoire sur les travaux directement ou indirectement liés au CEVA tant que les partenaires français n'ont pas réuni le financement nécessaire à la réalisation du tronçon "frontière-Annemasse", ainsi qu'aux aménagements de la gare d'Annemasse et des gares du Chabais. Ce projet de loi est encore en traitement par le gouvernement genevois (décembre 2010).

5.2 Analyse politique

Méthodologie

Cette analyse va se baser sur les résultats déjà obtenus, la consultation d'articles de journaux et de sites internet et l'analyse des oppositions déposées contre le projet CEVA. Le dépouillement médiatique est composé d'articles de presse, de courrier des lecteurs et du contenu des sites web de différents comités de lobbying. Ce recensement est composé d'éléments allant du mois de décembre 2004 au mois de février 2007. Les articles proviennent des journaux suivants : *La Tribune de Genève*, *Le Matin*, *Le Temps*, *Le Courrier*, *24Heures*, *La Revue Automobile* et *L'Hebdo*. L'analyse se concentre uniquement sur les arguments s'opposant à ce projet. Cette étude permet de connaître les avis de la population et les raisons de leur opposition à ce projet.

En Suisse, la construction ou la modification d'ouvrages doit suivre un processus pour obtenir une autorisation de construire. Le requérant doit tout d'abord déposer une demande de permis de construire auprès de l'autorité compétente. Sur la base des documents fournis, le service des constructions statue en fonction des règlements de construction en vigueur et formule sa décision. Si elle est acceptée, la demande est soumise à l'approbation du public. Un tiers peut s'y opposer en arguant que le projet lèse des intérêts publics ou privés, particulièrement dans le voisinage. En cas d'opposition, les partis peuvent chercher à établir une conciliation. En cas d'échec, la procédure se poursuit en justice. Les recours peuvent amener jusqu'au Tribunal Fédéral (Figure 5.3). Dans le cas où l'État procède à une expropriation, le propriétaire du bien exproprié doit faire un recours pour pouvoir être indemnisé. L'environnement et les animaux ne pouvant défendre leurs intérêts, les organisations de protection de l'environnement ont droit de recours contre la planification, la construction ou la modification d'ouvrages. Pour user de ce droit, une organisation non gouvernementale doit remplir quatre critères : être à but non-lucratif ; exister depuis plus de 10 ans ; être active dans l'ensemble de la Suisse ; exercer dans le domaine de la protection de l'environnement ou de la protection de la nature et du paysage. Une analyse des oppositions déposées contre le projet CEVA constitue la deuxième partie de cette recherche.

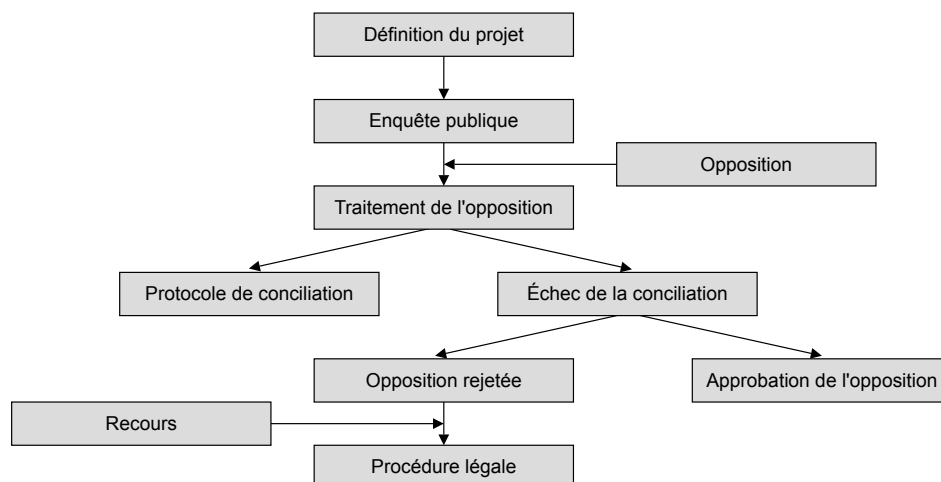


FIGURE 5.3 – Processus de mise à l'enquête

Résultats

Le dépouillement de la presse

Le dépouillement de la presse a permis de procéder à la classification et l'addition des arguments en opposition au CEVA. Ces arguments sont ensuite arrangés par thème et par groupes les émettant (5.1).

Les oppositions

Un peu plus de 1700 oppositions ont été dénombrées². Ce nombre élevé d'oppositions ralentit fortement le projet CEVA. Cela représente 106 oppositions par km. Ce ratio est bien plus élevé que pour deux lignes de tram genevoises construites récemment. La ligne *Cornavin-Meyrin-CERN* (TCMC) a dû faire face à 4 oppositions par km. De même 8 oppositions par km ont été formulées contre la ligne *Cornavin-Onex-Bernex* (TCOP) (Table 5.2). Ces différences peuvent trouver leur raison dans plusieurs explications :

- le TCMC et le TCOP sont les quatrième et cinquième lignes de tram implantées à Genève. Les habitants sont mieux informés de leur impact que sur une ligne ferroviaire urbaine souterraine, dont le CEVA sera le premier exemple à Genève ;

2. Ce travail a été réalisé en collaboration avec une étudiante (Bigler, 2009)

Type d'argument	Champel	Transports	Communes	Public	Total	Total
Communication	Transparence			1	8	10
	Comm. maladroite				1	
	Pas de participation citoyenne				1	
Conception	Sécurité				3	5
	Répercussion en surface				2	
Economie	Trop cher			1	13	19
	Arbitrage CEVA / autres usagers	4		2	6	
Nuisances	Trafic	1			2	16
	Emprise surface	2			2	
	Vie quartier	5			5	
	Environnement	3		2	6	
	Propriété	1		1	1	
Tracé	Destination	5		1	6	13
	Emplacement gare Champel	3			3	
	Autres	3		1	4	
Total	48	5	2	8	63	63

TABLE 5.1 – Tableau récapitulatif du nombre et du type d'arguments utilisés par les opposants du CEVA tirés du dépouillement de presse exécuté du 12.2004 au 02.2007 (*La Tribune de Genève, Le Matin, Le Temps, Le Courrier, 24Heures, La Revue Automobile et L'Hebdo*)

Tracé	Nb oppositions	km	oppositions/km
Tram <i>Cornavin-Meyrin-CERN</i>	50	11.5	4.3
Tram <i>Cornavin-Onex-Bernex</i>	70	8.4	8.3
CEVA	1700	16.1	105.6

TABLE 5.2 – comparaison nombre d'oppositions

- les habitants de Champel sont des gens fortunés. Ils ont plus d'intérêts à défendre et de moyens pour le faire. Ils ont créé l'association (ACTCC) pour contrer le CEVA. Elle a compté environ 300 membres. Ils ont réussi à créer le débat et à mobiliser un nombre suffisant de concitoyens genevois pour faire barrage ou en tout cas fortement ralentir le projet. Cette association a été très active pour communiquer contre le CEVA que ce soit via la presse, sur internet ou sur le terrain. Elle a même rédigé une lettre type d'opposition au projet au CEVA.
- la communication sur les projets de tram est beaucoup plus pro-active. Les responsables de ces projets se déplacent auprès des personnes qui vont être expropriées (source : M. Roland Tettamanti, responsable de projet Tram Genève). Ils expliquent à la population qu'ils peuvent faire opposition et comment le faire ;
- selon M. Roland Tettamanti, il a été observé une baisse des nuisances sonores là où les trams ont remplacé une voie routière. Le tram est plus silencieux qu'une voiture et souvent l'installation d'une voie de tram signifie la suppression d'une voie routière. Cet argument est utilisé lors des visites des responsables de ces projets auprès des riverains des projets ;

Les oppositions peuvent contenir plusieurs arguments différents. L'étude a comptabilisé la fréquence de chaque type d'argument (Table 5.3). Sur les 1700 oppositions reçues, environ 1300 sont des lettres types rédigées par l'ACTCC. Certains opposants n'ont pas modifié la lettre, d'autres l'ont modifiée en fonction de leur situation ou de leur opinion. Les arguments d'opposition les plus cités sont ceux présents dans la lettre type : demande de respecter les directives ; emprise en surface trop importante ; tracé inapproprié ; nuisances durant l'exploitation ; absence de base légale/d'intérêt public ; nuisances durant la phase de chantier ; atteinte à l'environnement ; projet surdimensionné et trop cher. La demande d'expropriation était également un argument de la lettre type. Il est moins élevé que les arguments précédents, car tous les riverains ne peuvent pas prétendre à un tel dédommagement. La forte mobilisation des habitants de Champel a réussi à convaincre d'autres citoyens genevois. Il est intéressant de relever que l'argument le moins cité par les opposants ayant utilisé une lettre type est celui du coût du projet.

Type d'argument	Nombre
Demande de respecter les directives	1647
Emprise en surface trop importante/tracé inapproprié	1608
Nuisances durant l'exploitation	1567
Absence de base légale/d'intérêt public	1564
Nuisances durant la phase de chantier	1560
Atteinte à l'environnement	1544
Projet surdimensionné et trop cher	1089
Indemnisation pour expropriation	636
Indemnisation pour dévalorisation	232
Insuffisance au niveau des études/procédure de mise à l'enquête	148
Indemnité de procédure/honoraire experts	86
Pas assez de communication/demande plus d'information	79
Sans motif	3

TABLE 5.3 – Recensement des arguments des oppositions au CEVA

Analyse

Nuisances et souterrains

Le projet CEVA a suscité un important débat comme le démontre le nombre d'avis des lecteurs dans *La Tribune de Genève*. Il a également soulevé un nombre important d'oppositions lors de sa mise à l'enquête. Cela démontre le rejet du CEVA par une partie de la population genevoise. Pourtant, les enquêtes quantitatives (3.3 et 3.4) ont montré que les voies de communication souterraines sont bien acceptées par la population. Les gens devraient donc normalement accepter d'utiliser une telle infrastructure. L'hypothèse que le souterrain ne produit pas de nuisances aux riverains n'est pas vérifiée. Le dépouillement des médias démontre qu'il existe plusieurs arguments pour critiquer et s'opposer à un projet souterrain, notamment le CEVA.

Le nombre d'oppositions au Km est nettement plus élevé dans le cas du CEVA que dans celui des trams. En terme d'acceptation par la population, l'hypothèse qu'un projet souterrain bénéficie d'un avantage comparatif sur la surface n'est pas non plus vérifiée.

Afin de mieux comprendre si l'implantation en souterrain a une influence sur ces résultats, il est nécessaire d'examiner les raisons de ces résultats.

Le sous-sol, des arguments en défaveur du CEVA

Les nuisances générées par le souterrain

La plupart de ces arguments ont été offerts aux opposants par les promoteurs eux-mêmes. Une lettre envoyée par les CFF, une convention de servitude, aux riverains du tunnel demande à ces derniers d'accepter sans contrepartie toutes les nuisances susceptibles d'apparaître lors de l'exploitation de l'ouvrage, en voici un extrait : "Le propriétaire du fonds est tenu de tolérer les inconvénients découlant de l'exploitation ferroviaire ordinaire (bruit, vibrations, trépidations, sons solidiens, inductions électriques, courants vagabonds, champs électromagnétiques, etc.). Il protège ses installations sensibles (informatiques ou autres) de manière appropriée. ". Cette lettre a suscité l'indignation des riverains qui n'acceptent pas de voir leur qualité de vie baisser sans contrepartie. Elle fournit donc des raisons de s'opposer à ce projet. Mais en plus, elle procure aux opposants qu'elle vient de créer un catalogue complet de nuisances que peut provoquer un projet ferroviaire souterrain et donc tous les arguments nécessaires et justifiés à une opposition. Ces nuisances se retrouvent dans plusieurs courriers des lecteurs et sur le site internet de l'ACTCC : "... Pourquoi les Genevois ne pourraient-ils bénéficier des normes de sécurité et antibruit dans les tunnels et les tranchées couvertes ?..." ou "... sous une zone fortement habitée que les CFF ne veulent expressément pas supporter , bien que les ayant clairement identifiés : trépidations, ondes électromagnétiques, courants vagabonds, etc. ..."

Dans l'analyse des articles de presse, les critiques et remarques les moins nombreuses sont celles qui concernent directement les craintes liées à une construction en sous-sol (Table 5.1). Un observateur remarque que dans toutes les villes du monde où ont été creusés des tunnels de métro sous des immeubles, il y a des problèmes de type : légers affaissements de terrain, lézardes des immeubles, bruits et résonances. Il y a également une personne qui se demande ce qu'il se passerait en cas d'explosion d'un produit dangereux sous une école lors de l'exploitation de la voie, étant donné qu'il s'agit de voies CFF qui peuvent être utilisées pour le transport de marchandises dangereuses. Mais cette dernière remarque est devenue caduque après que les CFF aient répondu qu'il n'y aurait pas de transports de marchandises dans le CEVA.

L'argument économique représente 19 avis négatifs sur 63 et se situe en septième position du nombre d'oppositions

L'argument économique est l'argument le plus souvent cité dans la presse, mais seulement le septième motif d'opposition. Cet écart entre les deux résultats démontre

que les arguments pour séduire le public ne sont pas les mêmes que pour convaincre au niveau juridique.

Les importantes dépenses publiques sont régulièrement le fruit de compromis, car les contribuables ne veulent pas voir l'argent de leurs impôts "dilapidé" par les autorités. Ce phénomène est renforcé par une conjoncture plutôt mauvaise et un canton de Genève qui a des finances parmi les plus déficitaires de Suisse. D'ailleurs, un lecteur de la Tribune de Genève rappelle certaines promesses des autorités : "... ils (les édiles publics) ont oublié leurs vœux de faire baisser la conséquente dette publique".

Ce genre de dilemme peut amener à chercher une solution moins chère et à revoir à la baisse certains projets afin d'améliorer les chances de leur réalisation. Le choix des autorités de la ville de Lausanne en est un bon exemple. Afin d'assurer un projet qui soit le meilleur d'un point de vue des transports, il aurait fallu construire une voie double sur tout le trajet du M1 et du M2. Mais, afin d'alléger la facture et d'éviter que le peuple renonce à ces infrastructures, les décideurs politiques ont choisi des alternatives avec des tronçons à une seule voie. Dans le cas de Genève, un trajet en souterrain alourdit le coût de ce projet, tout comme le faste de ses stations d'ailleurs. Au cours de l'analyse des arguments des contradicteurs du CEVA, le coût de 950 millions de francs a souvent été dénoncé. Ces opposants ont proposé plusieurs alternatives au CEVA pour alléger la facture ou pour voir d'autres postes du budget cantonal bénéficier d'une partie de cet argent. En effet, certains ont proposé un trajet dit du "barreau sud" en surface et qui relierait la gare de la Praille à Annecy en passant par le pied du Salève. D'autres estiment qu'il faudrait densifier le réseau de trams ou encore faire profiter la route d'un plus grand budget. Un passage du courrier des lecteurs paru dans la Tribune de Genève illustre ces propos : "... ajouté à la dépense démesurée d'un milliard de francs fait que l'on ne peut pas foncer tête baissée, à creuser des tunnels sans interpellier la population". Malgré ces arguments, il s'avère tout de même indispensable de s'interroger si un trajet en surface n'aurait pas aussi fait s'élever beaucoup de voix en raison de son prix.

Dans le chapitre 4.3, il a été mis en avant le désavantage de construire en souterrain au niveau des coûts. Cette réalité a une influence sur l'opinion publique et donc sur les chances de réussite dans un important projet urbain construit en souterrain. Dans le cadre d'une pré-étude au chapitre 4, le bureau Emch+Berger a estimé qu'un ouvrage ferroviaire en souterrain et un ouvrage en surface peut coûter entre 27 et 46 fois plus cher. Les investigations sur ce thème n'ont pas été poursuivies, car un ouvrage en surface a des répercussions sur les infrastructures de surface, telles que les réseaux routiers, qui sont difficilement estimables étant donné qu'elles sont différentes

pour chaque projet. Ces répercussions peuvent avoir une influence non négligeable sur la facture totale et donc amenuiser la différence de coûts de construction entre la surface et le souterrain.

L'option du souterrain doit être mûrement réfléchie et motivée pour les autorités, sinon elles risquent de faire face à une importante résistance qui utilisera l'argument économique.

L'observation des oppositions en révèle 636 avec le motif d'indemnisation pour expropriation et 232 d'indemnisation pour dévalorisation. Bien que le sous-sol devrait permettre de minimiser ces nombres, il reste tout de même élevé. Les principales raisons doivent être la faible profondeur et la forte urbanisation. Si ces demandes aboutissent, les promoteurs devront verser ces indemnisations, alourdissant ainsi la somme des coûts totaux. Ces indemnisations seraient sans conteste plus élevées avec un trajet en surface.

Les répercussions en surface d'un important chantier souterrain.

Le chantier du CEVA n'est pas sans conséquence sur la surface, il nécessite des terrains pour l'installation des chantiers et de nombreux déplacements de camions pour transporter les géomatériaux excavés. Ce chantier est également dénoncé par les commerçants qui craignent que les travaux vont réduire l'accès et le parking dans leur quartier et donc réduire leur chiffre d'affaires. Ces contraintes ne sont pas sans conséquence et méritent de rentrer dans les réflexions des promoteurs de ce type de projet. Ces nuisances sont également un facteur important des réactions du public, notamment 1560 motifs d'opposition. Ainsi, la commune de Carouge demande des solutions pour préserver sa zone de détente près de l'Arve qui contient un boulodrome et une piscine publique dont l'utilisation serait perturbée durant le chantier. Un courrier des lecteurs dénonce : "Les travaux pharaoniques qui se préparent en catimini dans le dos des Genevois promettent de leur rendre la vie infernale. Les huit années de chantiers multiples prévues pour le CEVA sont un désastre annoncé tant sur le plan écologique qu'humain".

Les arguments en faveur du souterrain

Les répercussions en surface représentent 4 avis négatifs sur 63, mais sont en deuxième position du nombre d'oppositions

En effet, un passage en souterrain aurait endommagé la nappe du Genevois. Cette nappe est une source d'approvisionnement en eau potable de l'État de Genève. Ce cas illustre un conflit entre la ressource espace et la ressource eau potable. En effet, la réalisation en sous-sol du franchissement de l'Arve endommagerait la nappe, alors qu'un passage en surface de la ligne ferroviaire pourrait empêcher la réalisation de ce projet à cause des nuisances sonores et visuelles que cela crée. Suite à une étude environnementale, l'équipe du projet CEVA a privilégié la construction traversant l'Arve, malgré les risques d'oppositions que cela aurait pu susciter. Les autres emprises permanentes en surface, les gares, sont également des sujets de discorde. Si l'option souterraine des lignes ferroviaires a été choisie afin de faciliter la réalisation de ce projet, le même mode de raisonnement n'a pas été suivi pour les stations. Celles-ci ayant une certaine emprise et visibilité à la surface, elles peuvent être qualifiées de type "gare". Alors que des entrées plus discrètes, de type "bouche de métro", auraient pu être envisagées. Ces gares, conçues par les ateliers d'architecture Jean Nouvel, bien qu'en verre afin de maximiser la lumière naturelle dans la station et de minimiser leur visibilité en surface, ont généré beaucoup de mécontentement. Par exemple, voici un extrait d'une lettre écrite par l'Association des Intérêts de Champel (AIC) : "L'AIC s'oppose au surdimensionnement de la gare de Champel. Le projet de Jean Nouvel a l'avantage de la transparence, mais le volume total de ces murs de verre est énorme sur ce plateau ! L'AIC se pose la question sur l'utilité des deux talus bordés de murs en verre qui prolongent le bâtiment central et donnent cette allure imposante". Au mois de novembre 2010, Mark Muller, conseiller d'état genevois, annonce une modification des plans de la gare de Champel afin de minimiser son emprise en surface.

Certains riverains ont perçu l'avantage des constructions en souterrain. Ils y voient un moyen de minimiser les nuisances. Par exemple, l'association pour la sauvegarde du site de La Chapelle milite pour un parking P+R en souterrain en ces termes : "De plus, si le projet de parking au Bachet, actuellement à l'étude, était réalisé en élévation, il entraînerait un accroissement démesuré de cette charge et dresserait sous les fenêtres des riverains une insupportable verrue. Il infirmerait, en outre, un des objectifs prioritaires de la liaison CEVA. En revanche, conçu de manière souterraine, jouxtant l'autoroute N1a, à proximité du pôle d'échanges des TPG et de la future gare Carouge/Bachet, il justifierait pertinemment son existence". Plusieurs personnes ont peur des répercussions de ce chantier souterrain sur la qualité de vie en surface. Elles s'interrogent sur la génération d'un important trafic de poids lourds en surface et sur ses conséquences sur les émissions de CO₂, le bruit et les perturbations de circulation. Plusieurs personnes interpellent les promoteurs pour connaître la faisabilité d'une

évacuation des géomatériaux par le sous-sol.

Le syndrome NIMBY

On aurait pu imaginer que grâce à sa construction en sous-sol, le CEVA éviterait le syndrome “not in my back yard”³ “ L’analyse des commentaires démontre que non. Afin de s’en convaincre, il suffit de mettre en parallèle les actions de l’Association contre le tracé Carouge-Champel du CEVA, et la définition Wikipedia⁴ du terme NIMBY : “Le terme NIMBY s’applique à une association ou une mobilisation qui s’élève contre un projet d’infrastructure, ou contre une infrastructure existante dégradant la qualité de vie d’un quartier, sans nier l’utilité intrinsèque de celle-ci, mais en contestant son implantation et les troubles qu’elle crée ou créera dans le voisinage”. Dans le cas précis du CEVA, il s’agit de l’Association Contre le Tracé Carouge-Champel du CEVA (ACTCC) qui s’élève contre le projet CEVA. Elle ne nie pas l’utilité d’un projet ferroviaire transfrontalier, car elle propose un projet alternatif qui rejoint la ligne SNCF du pied du Salève (Bellegarde/St-Julien/Annemasse) avec, en plus, la réalisation d’une gare-relais et d’un grand P+R sur la frontière à Bardonnex (Figure 5.2) . Cette association a été créée spécifiquement pour s’opposer au passage du CEVA par Carouge et le plateau de Champel, comme l’énonce l’article 4 de ses statuts : « L’association a pour but la protection et la sauvegarde des bords de l’Arve et du Plateau de Champel. ». Elle dénonce plusieurs troubles que créerait le tracé du CEVA dans le voisinage :

- nuisances dues au chantier (bruit, poussières, bouchons, trafic de poids lourds) ;
- création d’un pont sur l’Arve (nuisance sonore et visuelle dans un lieu de détente) ;
- éventrement de la colline de Pinchat et de la falaise de Champel, dégradation du plateau de Champel ;
- destruction de la faune et de la flore.

Elle ne fait jamais allusion aux nuisances que créerait leur projet alternatif qui bien qu’il traverse des zones moins denses (donc crée moins de nuisances sonores) est toutefois en surface (donc crée probablement plus de nuisances sur la faune et la flore). L’ACTCC a mué durant l’année 2006 au moment où elle a lancé l’initiative : “Pour

3. NIMBY : An attitude ascribed to persons who object to the siting of something they regard as detrimental or hazardous in their own neighbourhood, while by implication raising no such objections to similar developments elsewhere (Oxford English Dictionary).

4. Définition du 02.10.2008. L’utilisation de la source wikipedia a été choisie, car elle permet de faire la transposée avec la situation du CEVA.

**Le CEVA ?
Un nouveau moyen
de transport pour
la racaille d'Annemasse !
Expulsons les criminels
étrangers !
Ne leur offrons pas
encore un accès à Genève !
Votons *UDC* !**

TABLE 5.4 – L’insécurité potentielle est une nuisance provoqué par le passage du CEVA (slogan de l’UDC a la votation du 29 Novembre 2009 pour l’approbation d’une crédit supplémentaire pour le CEVA)

une meilleure mobilité franco-genevoise” qui a récolté 16’660 signatures. Cette initiative est invalidée par le tribunal fédéral le 28 mars 2009. L’association est devenue l’Association pour une Meilleure Mobilité Franco-Genevoise. Elle a dès lors adopté un discours moins centré sur Champel et Carouge et plus généraliste, comme son nom l’indique. Ce phénomène se retrouve dans la deuxième partie de la définition de “Not in My Back Yard” de Wikipedia : “De telles associations élargissent parfois leurs discours revendicatifs à d’autres cas similaires à celui qui les a mobilisées, afin de rallier d’autres acteurs et d’écarter l’accusation de la seule défense d’intérêts particuliers”. Ces considérations sur le phénomène NIMBY sont encore plus flagrantes à travers les propos de cette propriétaire d’un terrain de la colline de Champel qui accueillera le tunnel ferroviaire : « Je lutte depuis 2 ans pour les empêcher de faire des forages sur mon terrain. Voyez, ces arbres, ma maison, un hectare de forêt : tout est menacé par le percement du tunnel (...) Il y a quelques années, un trou est apparu... pour percer le tunnel, il faudra non seulement renforcer la falaise en la bétonnant, mais il faudra aussi, en haut, bétonner une partie de mon jardin. (...). Une emprise provisoire de 4000 m² est prévue, ainsi qu’une emprise définitive de 356m² ».

Une des raisons qui augmentent ce syndrome NIMBY est les répercussions que cela peut amener dans le quartier en terme de sécurité. Cinq avis de ce type ont été recensés dans les médias. Une habitante de Champel dit : “ On ne sait pas quelle population va drainer cette gare”. Cet argument a été repris par le parti UDC genevois lors des votations du 29 novembre 2009 pour une ligne de crédit supplémentaire pour le CEVA. Leur slogan a fait scandale est a ouvert l’insécurité que pourrait créer le CEVA en facilitant l’accès à Champel et à Genève à la “racaille” d’Annemasse.

Les membres de cette association créée à cause du syndrome NIMBY a engendré plusieurs mois de retard et fait perdre beaucoup d'argent au projet que ce soit à travers 16'000 signatures récoltées, la campagne contre la votation du budget CEVA ou grâce à lettre type d'opposition qui a largement contribué au 1700 oppositions déposées contre le projet CEVA. Même si la majorité de la population soutient le projet, comme le démontrent les résultats de la votation (acceptée par 61.2% pour un taux de participation de 57.8%), la capacité de nuisances d'une association est très importante. L'hypothèse du syndrome NIMBY est renforcée par le résultat de cette votation qui a reçu une large approbation est qui a été refusé uniquement par les quartiers de Champel et le quartier voisin, Florissant-Malagnou. Toutes ces attaques ont coûté beaucoup de temps et d'argent. Le syndrome NIMBY peut donc fortement bloquer voir même arrêter un projet développé en souterrain.

La communication du projet CEVA

Un projet comme celui du CEVA a une telle importance que ce soit au niveau du budget ou de son impact et ses répercussions sur le développement urbain, que la plupart des citoyens se sentent concernés. Il est donc important de mettre en place une stratégie de communication efficace et pertinente. La communication sur le projet CEVA par les personnes responsables a été un mauvais exemple du genre. A l'observation des critiques faites dans les courriers des lecteurs, il est à remarquer que beaucoup naissent d'une incompréhension de divers points des dossiers. Il ressort également une certaine frustration de la population sur le manque d'information et le peu de concertation. Le public déplore également un manque de réponses à ses questions, et ceci même quand elles ont été envoyées par courrier aux instances du CEVA. Le manque de transparence a pour principal effet de créer un climat de suspicion et de méfiance de la part du public, comme ces propos dans le courrier des lecteurs de la Tribune de Genève l'illustrent : "Les travaux pharaoniques qui se préparent en catimini dans le dos des Genevois promettent de leur rendre la vie infernale. . . . Nous n'acceptons pas d'être mis ainsi devant le fait accompli". Les avis négatifs sur le CEVA dans la presse sont de 10 sur 63, alors que 79 oppositions ont été déposées pour ce motif. Ce manque de transparence peut engendrer des rumeurs et des a priori négatifs. Ces avis peuvent se répandre très rapidement par le bouche-à-oreille dans la population et peuvent avoir de graves conséquences sur l'aboutissement d'un projet. La lettre envoyée par les CFF aux riverains du tunnel est le symbole de cette mauvaise communication du CEVA. Cette convention de servitude a suscité l'ire des

habitants de Champe et fournit donc les raisons et les arguments de s'opposer à ce projet.

La comparaison entre la communication du projet CEVA et celle des projets de tram montre des différences notoires . La communication pour les trams est proactive et personnelle. Le projet CEVA a peu communiqué. Il l'a fait à travers les médias et a organisé une seule réunion publique, jusqu'au moment où l'association de Champel est montée au créneau. Enfin, les responsables du projet de Trams expliquent aux personnes qui seraient lésées par la création de la ligne de tram qu'elles doivent faire opposition pour pouvoir être dédommagées. Ils vont même jusqu'à aider certaines personnes à rédiger leur opposition. Les CFF ont de leur côté envoyé une simple lettre aux riverains du CEVA leur demandant d'accepter toutes les nuisances créées par le projet CEVA.

Les conséquences sur le projet CEVA

Le nombre imposant d'oppositions a allongé la procédure d'approbation de la mise à l'enquête du projet. Si certaines sont justifiables et ont permis d'améliorer le projet en matière de normes de sécurité et de réduction des nuisances, beaucoup n'ont fait que retarder le projet. Le temps perdu provoque une augmentation des coûts liés au renchérissement du coût de la vie. Robert Cramer, le conseiller des états chargé des travaux, a estimé que les opposants font perdre trois millions de francs suisses par mois.

L'étude du projet de loi genevoise ouvrant un crédit complémentaire au CEVA⁵ permet de mieux comprendre les coûts que cela a engendré. Sur l'ensemble du projet, les améliorations réelles du projet ont coûté 147.45 Mios CHF. Alors que les charges de procédures de l'OFT ont coûté à elles seules 83 Mios CHF,. Il a fallu compter 301 Mios CHF pour le renchérissement lié au coût de la vie. Un dossier mieux préparé aurait sans doute permis de réduire les résistances en minimisant dès le départ les nuisances, plutôt que d'envoyer une lettre demandant aux riverains de les accepter. Cela aurait probablement permis de réduire le temps perdu qui a coûté le double des améliorations.

– Afin de minimiser les nuisances, les techniques ferroviaires ont été changées. Le ballast a été abandonné pour une voie bétonnée. Ce changement a occasionné un coût de 15. 21 Mios CHF.

5. Les informations sur les données techniques et économiques de ce paragraphe sont issues du dossier de Presse *Crédit complémentaire et recours au TF* du 25.02.2009 disponible sur www.ceva.ch

- Les honoraires d'études, des mandataires et ceux de l'équipe de projet, augmentent de 15.7 Mios CHF. Les oppositions ont demandé des études supplémentaires. L'augmentation du temps de réalisation du projet nécessite de payer une équipe de projet sur une plus longue période.
- Le temps occasionne un renchérissement des prix du génie civil. D'octobre 2000 à avril 2007, l'indice CEVA élaboré par l'OFS a évolué de 100 à 119,4.

Ces chiffres permettent de constater l'impact financier d'oppositions sur un projet. Minimiser les risques d'opposition en adoptant un projet minimisant les nuisances et une communication proactive et transparente peut permettre de minimiser l'opposition. Ainsi, le temps perdu en procédures sera moindre et donc les effets du renchérissement du coût de la vie également.

Le souterrain un avantage surestimé ?

La manière dont les CFF et l'état de Genève peuvent laisser supposer qu'ils ont surestimé les nuisances qu'un souterrain peut amener aux riverains et qu'ils n'ont donc pas adopté les stratégies et politiques adéquates pour amoindrir les résistances, notamment une meilleure communication et un projet mieux préparé qui minimise toutes les nuisances. Les faits suivants permettent de le supposer.

En 2003, après une rencontre entre les autorités du canton et les six communes traversées par le CEVA, le Conseiller d'État Robert Cramer estime qu'il ne devrait pas y avoir beaucoup d'oppositions au projet, mis à part pour la traversée de l'Arve.

Le premier budget prévoyait un montant de 6 millions de CHF pour les indemnités d'expropriation et de dévalorisation. La demande de crédit supplémentaire de 2009 à augmenter cette estimation à 19 millions, soit un coût supplémentaire de 13 millions. Les promoteurs ne s'attendaient pas à un nombre aussi élevé d'opposants (source : projet de loi pour le crédit supplémentaire au CEVA).

5.3 Synthèse et perspectives

Le sous-sol possède des avantages certains sur la surface quant à la réduction des nuisances sonores et visuelles. Il permet aux autorités de réaliser des projets de grande ampleur qui seraient difficilement réalisables en surface. Construire une voie

ferrée en surface à Genève suivant le tracé du CEVA serait très difficile pour les raisons suivantes :

- manque de place et conflit avec les autres voies de transport ;
- création d'une discontinuité dans le tissu urbain ;
- nuisance sonore importante ;
- importance des frais d'expropriation, d'indemnisation pour perte de valeur et d'isolation phonique des bâtiments environnants.

Le dépouillement de la presse et l'étude des oppositions aux CEVA nous démontrent que les hypothèses suivantes ne sont pas validées :

- le sous-sol ne rencontre pas d'opposition, grâce à des nuisances moindres qu'en surface
- le sous-sol rencontre moins de résistance qu'un projet en surface.

Un projet souterrain peut créer des nuisances en surface que ce soit lors du chantier ou lors de l'exploitation. Par exemple, les importants volumes de déblais à transporter vont engendrer une augmentation du trafic, ou dans le cas d'un projet ferroviaire, l'exploitation peut provoquer des sons solidiens ou des trépidations. Ces nuisances, ainsi que d'autres tels que l'insécurité générée par une gare, peuvent permettre la création d'un syndrome NIMBY auprès des riverains. Ce dernier peut créer une forte résistance qui n'hésitera pas à utiliser les points faibles d'un tel projet, tel que ses importants coûts de construction corrélés à sa position souterraine.

Il est difficile de mesurer les oppositions qu'un tel projet aurait eues en surface. Néanmoins, les critiques sur l'emprise en surface de la gare de Champel laissent supposer qu'elles auraient également été importantes.

Les autorités ont surestimé les avantages du sous-sol et n'ont donc pas pris les mesures nécessaires à une meilleure acceptation du projet par la population. Leur communication a paru insuffisante et peu transparente. Les précautions pour éviter les nuisances aux habitants n'étaient pas suffisantes. A la suite d'oppositions, elles ont dû améliorer leur projet pour réduire les nuisances souterraines et les nuisances de surface. Ces améliorations ont nécessité une augmentation du budget qui a permis la demande d'un référendum. Cette mauvaise gestion a fortement ralenti le projet et par conséquent alourdi la facture à cause de l'augmentation du prix du génie civil et des nouvelles études à réaliser.

Bien que le sous-sol soit une alternative intéressante pour réaliser des projets difficilement réalisables en surface, il ne faut pas sous-estimer le syndrome NIMBY et le facteur d'augmentation des coûts . Les autorités devraient aborder ce type de projet avec autant de précautions qu'un projet réalisé en surface. Elles doivent tenir compte des différentes nuisances et bien communiquer avec la population.

Les faiblesses d'un grand projet urbain souterrain au regard de l'opinion public

1. Les supposés avantages du souterrain peuvent se retourner contre lui si les promoteurs les surestiment et ne traitent pas ce type de dossier comme un important projet urbain en surface
2. Les coûts de construction plus importants en souterrain qu'en surface peuvent devenir un argument fédérateur pour les personnes qui voudraient s'opposer à un projet développé en sous-sol
3. La phase de construction peut engendrer d'importantes conséquences en surface, annulant l'avantage du sous-sol dans cette phase du souterrain.

Les avantages d'un important ouvrage enterré pour son acceptation par la population

1. Le sous-sol permet la création d'infrastructures inimaginables en surface. La construction de voies ferroviaires dans une zone aussi dense que celle traversée par le CEVA serait probablement refusée par la population. La réduction des emprises en surface de la gare de Champel plaide pour une telle supposition

Interaction entre l'acceptation de la population et les autres domaines

- Le refus de la population du développement d'infrastructures en sous-sol ne permettra pas un plus grand développement de cet espace. Ce phénomène occasionne des répercussions sur deux autres domaines :
 - la pression sur le sous-sol ne se développant pas, les autorités et les administrations ne sentiront pas un important besoin de légiférer le sous-sol ;
 - l'habitude de la population à se rendre en sous-sol n'augmentera pas et donc la perception du souterrain stagnera également.
- Une mauvaise acceptation par la population d'un projet en souterrain peut engendrer des blocages importants qui auront des répercussions sur les coûts finaux. Elle peut même engendrer des votations pour l'acceptation de crédits supplémentaires qui peuvent être refusés par le peuple, et ainsi empêcher le projet d'aboutir.

5.4 Discussion et pistes de recherche

Un membre de l'équipe CEVA a laissé supposer que le nombre de lignes de tram déjà construites à Genève permet une meilleure acceptation des nouveaux projets. Il serait donc possible qu'un deuxième projet ferroviaire souterrain d'envergure soit mieux accepté. Une étude devrait se pencher sur le cas de Zürich qui a construit plusieurs de ces infrastructures pour vérifier cette hypothèse. Cette étude pourrait également voir quelles autres caractéristiques (qualité de l'information, caractéristique socio-économique des quartiers traversés, potentiel de nuisance lié à l'exploitation,...) ont une influence sur l'acceptation de cette catégorie d'infrastructure. La mise en parallèle d'une telle étude avec la même réalisée en surface permettrait de mieux comparer les facteurs qui influencent la résistance publique.

Au mois de septembre 2010, la ville de Stuttgart a connu d'importantes manifestations rassemblant 300'000 personnes pour s'opposer à la réalisation d'une gare et de voies de chemin de fer souterrain : *Stuttgart 21*. Ce projet est devisé 4.1 milliards d'euros. Ce projet date de 1999. Ce n'est qu'en 2010, alors que l'Europe traverse une crise économique importante qu'une telle mobilisation citoyenne s'est constituée. Une étude de cas similaires permettrait de mieux comprendre les raisons d'une telle hostilité à ce projet.

Chapitre 6

Les leçons du cas CEVA

Les compromis politiques peuvent être considérés comme étant un processus tenant compte de l'ensemble des dimensions, qu'elles soient juridiques, sociologiques, économiques ou politiques. Les leçons tirées d'un cas emblématique permettent donc de confronter la réalité avec les résultats précédemment obtenus dans cette recherche et dans le cadre du projet Deep City. Ce chapitre utilise le projet CEVA pour réaliser succinctement cet exercice.

Les principes de la ville compacte favorisent la consommation modérée du sol et la réduction des déplacements en voiture. Le CEVA répond à ces objectifs en utilisant le sous-sol. Il n'est pas issu d'un processus de planification du sous-sol, mais répond à la logique de projet. Il suit à une logique de résolution de problème, plutôt qu'à une anticipation de ces derniers et qu'à leur prise en compte lors d'un processus de planification.

6.1 CEVA et la méthode Deep City

Ce projet utilise l'ensemble des quatre ressources du sous-sol. Il fait interagir l'espace, les eaux souterraines, la géothermie et les géomatériaux. Les études environnementales ont permis de préserver les ressources, notamment les eaux souterraines, en évitant tant dans la mesure du possible de faire passer cet ouvrage dans la nappe souterraine. La construction d'un pont sur l'Arve en est l'illustration. L'intégration

de la géothermie dans ce projet n'est intervenue qu'en 2009 (étude réalisée par Geowatt AG). Il est légitime de s'interroger sur l'intégration de la géothermie au CEVA si le projet n'avait pas du faire face à de nombreuses oppositions qui l'ont retardé. Ce n'est également qu'en 2008 que le conseiller d'Etat Robert Cramer propose d'utiliser une partie des 800'000 m³ de déblais créés par les excavations du CEVA pour créer une plage publique sur les bords du Léman. Le manque de place de dépôts pour les géomatériaux n'a pas été pris en compte dans la planification de ce projet, mais n'est apparue que lors des études environnementales. Le manque de place de dépôts pour ce type de déchets aurait dû inciter les promoteurs à en tenir compte plus en amont dans le projet. Une loi obligeant la prise en compte de ces problématiques dans les processus de planification aurait permis de les intégrer beaucoup plus en amont dans le projet.

6.2 CEVA et la législation du sous-sol

En Suisse, l'Etat cantonal est propriétaire du sous-sol au-delà de la propriété privée (chapitre 2.2). S'il projette de construire une voie de communication, l'Etat peut argumenter le choix du souterrain en avançant qu'il économise sur l'achat des surfaces constructibles. Dans sa réflexion, l'Etat doit intégrer le coût du rachat des parcelles pour la construction d'une voie de chemin de fer en surface, alors que cela n'est pas nécessaire en sous-sol. Cet argument aurait pu être utilisé par les promoteurs du projet CEVA qui est traité au chapitre 5, mais il ne l'a pas été.

Le projet de relier la gare de Cornavin à la gare des Eaux-Vives datant du début du 20ème siècle, une planification aurait permis de sauvegarder des couloirs où la profondeur des propriétés aurait été limitée par la loi sur les constructions à travers une limitation des gabarits en sous-sol. Le projet aurait ainsi limité les indemnités pour expropriation et dévalorisation. Dans la demande de crédit supplémentaire de 2009, ces indemnités sont estimées à 19 Mios CHF.

6.3 CEVA et les résultats des enquêtes sociologiques

Dans sa conception, le projet CEVA répond aux attentes des usagers (chapitre 3.6). Les voies de communication sont bien acceptées en souterrain par la population.

L'architecture basée sur la transparence et la lumière correspond aux attentes des personnes phobiques du sous-sol et aux réponses données par les étudiants. Néanmoins, les personnes ayant peur de se faire agresser risquent tout de même d'éviter les gares de CEVA lors des heures tardives, lorsqu'elles seront peu fréquentées.

Les qualités architecturales des gares réalisées par les ateliers Jean Nouvel permettront de développer une vision moins glauque des espaces souterrains, et ainsi participer à l'amélioration de la perception de l'espace souterrain. Tout comme le nombre de personnes qui va utiliser cette infrastructure va développer une plus grande habitude aux espaces souterrains et donc bonifier leurs sentiments envers le souterrain.

La qualité de la conception architecturale de ce projet démontre que l'approche des espaces souterrains n'est plus fonctionnaliste et simpliste. L'importance des qualités architecturales d'un espace souterrain est de plus en plus prise en compte par les concepteurs, ce qui n'était pas encore le cas, il y a 15 ans. Cette évolution laisse augurer d'une amélioration de la perception du sous-sol.

Les enquêtes ont révélé que pour les lieux de type flux, l'accessibilité est un facteur important. Les gares du CEVA sont conçues comme des pôles d'échange multimodaux. Elles devraient donc satisfaire leurs utilisateurs.

6.4 CEVA et les aspects économiques

Il ne s'agit que de suppositions, mais il est possible que l'importance des coûts de ce projet, notamment à cause des coûts d'excavation ait favorisé une stratégie généralisée de "raboitage des coûts". Les lacunes du projet en terme de sécurité et de limitation des nuisances pourraient avoir été des choix délibérés des promoteurs afin de minimiser la facture présentée aux citoyens. Mais, il s'agit des mêmes lacunes qui ont permis un nombre impressionnant d'oppositions retardant le projet et alourdissant la facture des coûts liés au renchérissement des coûts de la vie. Il est également possible que cette stratégie ait de nouveau été adoptée lors de la demande de crédit supplémentaire. En effet, dans ce budget, les aléas géologiques sont estimés à zéro.

Les promoteurs n'ont pas non plus communiqué ou intégré dans le budget, les revenus liés à la valorisation de la surface. En effet, ce projet permet la mise en valeur de nombreux terrains propriétés des CFF ou de l'état. Ils ont d'ailleurs créé trois sociétés (SOVALP, SOVACB, SOVAGEV) qui assurent la promotion de ces surfaces. Il s'agit

d'un bon exemple où le souterrain permet d'avoir des activités superposées et qui amène à une plus value (chapitre 4.3).

L'enfouissement des voies depuis la gare des Eaux-Vives jusqu'à la frontière permet la construction d'une voie verte en surface. Cet espace a pour but de favoriser les déplacements à mobilité douce. Il procure également un vaste espace pour la détente et les loisirs. Elle met en réseau plusieurs parcs. Elle supprime la césure urbaine créée par les voies en surface. Enfin, elle permet la création d'un corridor écologique de qualité. La mise en place de cette voie verte illustre l'intérêt que les villes peuvent avoir pour ce type de formes urbaines intégrant des espaces verts (chapitre 4.1). En effet, ces lieux permettent d'augmenter le bien-être de leurs habitants

6.5 La politique urbaine dans le cas du CEVA

Les hommes politiques doivent intégrer un nombre important de facteurs dans leurs réflexions, qu'ils soient juridiques, sociologiques, économiques, écologiques ou urbanistiques. Dans le cas du CEVA, plusieurs éléments concrets et exemples extérieurs ont déterminé le choix sur la forme souterraine et ferroviaire du projet :

- La participation financière de la confédération, à hauteur de 2/3 des charges, est contractuellement liée à la construction d'une ligne ferroviaire CFF assurant la jonction de la gare de la Praille à la gare des Eaux-vives
- Le trajet emprunte des zones fortement urbanisées
- L'exemple de la Ville de Zürich et de son réseau ferroviaire souterrain urbain démontre la faisabilité de ce type de projet

Il est dès lors nécessaire de faire des arbitrages entre les différents facteurs préalablement identifiés pour mener à bien ce type de projet. Au chapitre 3.6, il a été observé que l'accès pour les ouvrages de type flux, tel qu'une gare, il est important que celui-ci soit aisé. Les promoteurs du projet CEVA ont ainsi décidé de construire le tunnel de Champel à faible profondeur. Ainsi, l'accès aux voies par la gare de Champel-Hôpital est facilité car le trajet piétonnier entre la surface et les voies est le plus court possible. Entre les études initiales et le dossier de construction, le profil en long du tunnel a été rehaussé de 4 mètres, ce qui a engendré un surcoût de construction de 42,68 Mios CHF selon le projet de loi ouvrant un crédit supplémentaire en vue de la réalisation du CEVA (2009). Si ce choix a engendré des coûts supplémentaires, il a également eu des conséquences sur les nuisances générées en surface, notamment par plus de risques de dommages aux infrastructures de surface,

de vibrations, de sons solidiens ou de champs électromagnétiques. Cette plus grande facilité d'accès et ces nuisances ont été des incubateurs du syndrome NIMBY chez les habitants de Champel (voir chapitre 5.3). Une meilleure connaissance des problématiques de l'implantation de structure en souterrain aurait sans doute permis au gouvernement Genevois de ne pas surestimer les avantages du souterrain et faire des choix en connaissant les répercussions de ces choix pour chacun des domaines et leurs interactions.

6.6 Conclusion

Une approche de planification plutôt que de projet aurait permis un projet mieux abouti au niveau de l'optimisation des ressources du sous-sol. Cela aurait également rendu possible une économie des coûts d'indemnisation.

Les concepts architecturaux régissant le sous-sol répondent de mieux en mieux aux attentes des utilisateurs. L'exemple du concept de *Lyon Parc Auto* illustre cette évolution. Ces parkings souterrains sont caractérisés par une véritable esthétique architecturale. Ces parkings se veulent la porte d'accès à la ville.

Les projets souterrains permettent une valorisation de la surface, qu'elle soit pécuniaire ou hédoniste.

Enfin, l'interaction des différentes disciplines de recherche démontre que parfois l'acceptation par les citoyens d'un projet coûteux favorise le développement de stratégies inefficaces d'un point de vue économique. Par exemple, les coupes dans les budgets qui amènent à une limitation des nuisances en surface ouvrent la porte à des procédures d'opposition plus coûteuses que les mesures qui auraient dû être initialement prises.

Chapitre 7

Synthèse, discussion et conclusion

La démographie croissante et les modes de vie moderne consomment les ressources naturelles de manière exagérée. Les centres urbains s'agrandissent et recueillent désormais plus de 50% de la population mondiale. Ils exercent une pression importante sur leur environnement et notamment sur leur sous-sol. Par exemple, Mexico City sur-exploite ses ressources en eau par le biais de nombreux puits sauvages. L'exploitation des eaux souterraines étant plus rapide que la recharge, elle provoque un tassement des terrains allant jusqu'à 10 mètres au centre-ville. Le sous-sol doit être géré de manière durable. Le projet Deep City a identifié quatre ressources dans le sous-sol : l'espace, l'eau, la géothermie et les matériaux. Elles doivent être non seulement bien protégées, mais elles doivent surtout être planifiées de manière systémique. Ces ressources interagissant entre elles, une planification durable favorisera leurs synergies et combattra leurs conflits. Le projet Deep City propose une méthodologie de gestion durable des ressources du sous-sol urbain. Cette méthodologie ne peut s'affranchir des conditions socio-économiques pour se développer. Elle ne peut par exemple pas s'affranchir du bâti en surface en faisant tabula rasa. Les coûts seraient beaucoup trop élevés. Il est important que les mécanismes imposés par la société soient compris afin de réussir à implanter cette méthodologie. Cette recherche s'est concentrée sur l'étude d'aspects juridiques, sociologiques, économiques et de politique urbaine pour comprendre les entraves à une planification urbaine intégrant la planification durable du sous-sol.

Les urbanistes tentent de plus en plus de densifier les agglomérations. La forme de ville compacte permet de restreindre entre autres les déplacements ou le bétonnage du sol naturel. Elle respecte ainsi mieux les concepts du développement urbain. Cette

densification doit être de qualité qui favorise la mixité et les contacts. Pour densifier, il n'existe que trois solutions urbanistiques : la hauteur, les espaces vides et le sous-sol. Si les deux premières sont couramment utilisées, la dernière est sous-exploitée. Pourtant, les premières idées d'urbanisme souterrain d'Eugène Hénard et Etouard Utudjan datent du début du XX^{ème} siècle. Depuis, le sujet a été étudié. Des projets, comme le forum des halles à Paris, ont été réalisés. Certaines villes comme Tokyo, Montréal ou Helsinki ont développé d'importantes surfaces souterraines. Mais le sous-sol ne fait toujours pas partie intégrante de la planification. Cette étude essaie d'apporter des éléments pour y contribuer.

En Suisse, les villes n'arrivent plus à faire face à la demande. Les projets de construction sont plus lents que l'afflux d'habitants. La population et l'office fédéral du territoire désirent sauvegarder les espaces agricoles. Les zones constructibles sont pour la plupart déjà exploitées. Les anciennes friches urbaines et industrielles retrouvent une seconde vie remplie de commerces, de logements ou de locaux administratifs. Les urbanistes commencent à avoir recours aux gratte-ciel. Il semble judicieux d'intégrer le sous-sol pour aider à un développement harmonieux des cités suisses. Les galeries marchandes souterraines de Fribourg, le métro M2 de Lausanne, la gare de Zürich ou de Berne illustrent un nouvel attrait pour le souterrain. Cette recherche a observé les études et les réalisations étrangères, et elle a plus spécifiquement analysé le contexte suisse.

7.1 Les obstacles au développement du souterrain

Le contexte juridique et politique suisse ne promeut pas une utilisation du sous-sol, ni sa planification. Il semble plutôt l'ignorer. Le Conseil fédéral l'admet dans sa réponse du 18 novembre 2011 à l'interpellation de la Conseillère nationale Kathy Ricklin du 23 septembre 2009 : "Le droit actuel de l'aménagement du territoire, fédéral ou cantonal, ne s'occupe pas de l'utilisation du sous-sol et cette dernière ne bénéficie pas à ce jour de critères communs ni d'une pratique unifiée. N'existent de façon éparse que quelques réglementations ou planifications cantonales ou communales, qui définissent par exemple une profondeur maximale pour les constructions...". Les autorités semblent tout de même attentives au problème "...la nécessité est aujourd'hui reconnue d'une approche concertée, qui permette de prendre en compte les données de base relatives au sous-sol, d'identifier les potentiels de ses ressources et, là où c'est possible, de planifier ses utilisations futures...". Cependant, les autorités semblent

continuer de le laisser au second plan. Le 3 décembre 2009, le conseiller d'état Félix Gutzwiller a déposé une motion nommée : *Chaos en sous-sol. Nécessité de compléter la loi sur l'aménagement du territoire*. Le texte mentionne deux points : l'intégration du sous-sol à la notion de territoire dans la loi de l'Aménagement du territoire ; et son utilisation ordonnée et coordonnée. Dans sa réponse sur la révision en deux étapes de la LAT, le Conseil fédéral précise que cette question sera traitée au cours de la deuxième partie. Cette motion a ensuite été rejetée par le Conseil national le 29 septembre 2010.

Un architecte responsable d'une société immobilière lausannoise déclare même que certains aspects de la loi suisse risquent d'handicaper le développement des espaces souterrains. Les lois sur la construction peuvent exiger un apport de lumière naturelle qui incontestablement génère des coûts importants. La loi sur le travail exige pour sa part qu'un employé bénéficie d'un apport de lumière naturelle lors de son temps de pause. Un commerce situé sous la terre devra dès lors louer un espace de pause en surface.

Le sous-sol est perçu négativement par la population. Cette mauvaise perception est due à l'image négative qu'il véhicule, que ce soit au cinéma, dans les livres ou dans la bible. Pendant longtemps, les sous-sols ont été réalisés de manière fonctionnelle. Dans la pratique les architectes se sont fortement désintéressés de la réalisation de ce type d'ouvrage. M. Fischer¹ affirme que le sous-sol reste essentiellement le domaine des ingénieurs. Il en a résulté des infrastructures plutôt glauques. Les parkings souterrains en sont l'illustration la plus connue du grand public. Ces images de souterrains aux murs nus, crûment éclairés au néon et généralement sales ont également renforcé cette mauvaise perception du sous-sol. Depuis quelques années on a pu remarquer un revirement dans la gestion architecturale de ces lieux. Les propriétaires de parkings ont compris qu'ils pouvaient améliorer leur rentabilité en offrant un meilleur service à leurs clients. A Lyon, les parkings ont été conçus comme la porte d'entrée de la ville.

Bien que les efforts architecturaux augmentent l'acceptation des usagers, une partie de la population évitera toujours ces espaces. Certains souffrent de claustrophobie et ont besoin de trouver un point de fuite. D'autres craignent de se faire agresser en sous-sol. Ils sont obnubilés par l'idée que personne ne viendra à leur secours, leurs appels à l'aide restant selon leur perception emprisonnés dans cet espace confiné.

1. Président de la Fédération Suisse des urbanistes section romande (FSU) et architecte

L'étude de cas comparant trois bâtiments commerciaux identiques (V1 bâtiment en surface ; V2 bâtiment enterré avec un scénario géologique défavorable ; V3 bâtiment enterré avec un scénario défavorable) montre un désavantage concurrentiel pour les bâtiments enterrés. Ce désavantage s'accroît dans un cas géologique défavorable. Si toutes les autres conditions sont identiques, un investisseur ne fera jamais le choix du souterrain. Pour être compétitive, l'option souterraine doit pouvoir générer des revenus plus élevés que le bâtiment de surface. Pour un responsable de l'immobilier d'une chaîne de supermarché, les quatre premiers critères d'implantation d'un centre commercial sont par ordre d'importance : le bassin de population, un lieu de passage, un parking à proximité, des transports publics à proximité. Si un espace souterrain permet d'offrir des avantages au moins équivalents à ceux de la surface, il peut dès lors s'afficher comme concurrentiel.

7.2 Le souterrain comme une opportunité

Bien que souffrant d'une perception négative, le pourcentage de la population n'ayant pas peur du souterrain est suffisamment important pour permettre un développement de ce dernier. Les lieux étant caractérisés comme à faible densité humaine (parking, entrepôt et voies de communication) sont bien acceptés par la population. Les ouvrages de type borgne de surface (supermarché, cinéma, salle de concert,...) ont un potentiel intéressant d'acceptabilité de leur transfert en souterrain. Ce potentiel est augmenté par l'effet d'apprentissage qui se définit par l'aptitude des êtres humains à s'habituer à évoluer dans un nouveau milieu et à s'y habituer.

En comparant exactement les mêmes bâtiments, celui construit en sous-sol est économiquement désavantagé. Mais il permet d'optimiser le volume bâti sur la même surface de terrain. Les dimensions prescrites par les lois de la construction limitent le volume émergeant possible. L'espace souterrain n'est pas régi par les mêmes règles. Souvent les gabarits souterrains dépassent l'enveloppe aérienne. M. Daucourt et M. Moglia (service de l'affectation de l'état de Genève) révèlent que les plans de quartier se définissent en bonne entente avec les promoteurs. Pour des raisons économiques, ces derniers souhaitent plutôt l'étalement du souterrain plutôt que de creuser en profondeur. A Lausanne, les propriétaires d'un grossiste détenteurs d'une parcelle de cinq hectares l'ont bien compris, ils vont réaliser un quartier pouvant accueillir 500 logements. Ils profiteront du sous-sol pour y implanter leur commerce et un parking souterrain.

7.3 Les interactions entre les différentes dimensions

Chacun des domaines est en interaction avec les autres par certains domaines. L'observation de ces interactions permet de mieux comprendre l'effet que chacun des domaines peut avoir sur les autres, mais également sur elle-même.

Une loi obligeant la collecte, l'analyse et la mise en commun des données du sous-sol peuvent permettre une meilleure transparence. L'acheteur potentiel d'un terrain connaîtra ainsi le potentiel de ce terrain en terme de construction souterraine ou de géothermie. Cette connaissance permettrait une meilleure évaluation économique de la valeur d'un terrain.

La mauvaise perception du sous-sol agit sur les décideurs politiques qui ne vont par conséquent pas améliorer son cadre juridique. De la même façon, cette perception influe sur le peu d'intérêt des promoteurs privés sur cet espace.

L'aspect économique peut renforcer la mauvaise perception et la peur du sous-sol. Le surcoût lié au génie civil pourrait restreindre le budget pour l'architecture intérieure. D'autre part, les coûts de l'excavation peuvent amener à une limitation des volumes et des hauteurs de plafonds alors que les personnes souffrant de claustrophobie préfèrent un espace généreux.

L'accroissement des coûts engendrés par le sous-sol peut être un argument poussant la population à refuser un projet d'infrastructure étatique développé en souterrain.

Nous n'avons présenté ici que les interactions principales. L'ensemble des interactions est présenté à la fin de chaque chapitre.

7.4 Pistes de recherche

Cette thèse étant interdisciplinaire et prospective, elle ne peut investiguer entièrement chacun des domaines. Elle constitue néanmoins un point de départ intéressant pour la problématique de l'intégration du sous-sol dans la planification urbaine en Suisse. Il serait souhaitable d'approfondir la connaissance de chacune des disciplines. Il s'agirait également d'étudier plus en profondeur les autres ressources du sous-sol que sont l'hydrogéologie, la géothermie et les géomatériaux et leur impact sur les différentes disciplines. À partir de ces résultats, une étude de leurs interactions sous

forme systémique permettrait de mieux appréhender les freins, les opportunités et les leviers d'action pour mettre en place une politique favorisant la planification du sous-sol.

7.5 Conclusion sur les raisons d'un manque de développement du sous-sol urbain

Les constats de nos études sur le souterrain, résumés à la fin de chaque chapitre, démontrent qu'il est désavantagé tant juridiquement, que sociologiquement ou économiquement. Néanmoins, il ne s'agit pas là d'un constat d'échec, mais d'une base à la réflexion. Les résultats confirment ce que l'on peut observer naturellement. L'aspect économique est celui dont l'impact négatif est le plus important, comme nous le montrent les discussions avec les praticiens. Cette thèse est soutenue par l'ensemble d'entre eux (M. Xavier Fischer, M. Daucourt, M. Moglia, trois experts de l'immobilier, et l'architecte cantonal vaudois). Le domaine économique est de fait un levier d'action aussi incontournable qu'efficace s'il se dessine une volonté de favoriser le développement du sous-sol.

L'économie privée n'est donc pas en soi un vecteur de développement de l'urbanisme souterrain, mis à part des cas particuliers comme une situation géographique très avantageuse. La loi du marché foncier peut tout de même jouer un rôle favorable si le prix des terrains augmente fortement. L'acteur principal du développement du sous-sol ne peut être que l'état. Si celui-ci est convaincu de la pertinence d'utiliser une méthodologie de planification intégrant une gestion durable des ressources du sous-sol urbain ainsi que de son utilité dans la densification, il pourra prendre des mesures de promotion de cet espace.

Le but d'une telle politique peut être la volonté de développer une gestion durable de son territoire conformément aux avantages des villes compactes et aux concepts de la méthodologie Deep City. Ce type de gouvernance peut également être motivé par l'économie financière que représente la limitation de l'étendue des réseaux. Le sous-sol peut-être un outil de limitation des hauteurs construites préservant ainsi la vue et le paysage. Les méthodes hédonistes et contingentes démontrent que ces éléments sont valorisables.

L'Etat a plusieurs moyens de mettre en oeuvre son éventuel soutien à une planification intégrant les ressources souterraines. Par leur moyen d'action, leur mise en

oeuvre ou leur impact, ces différents outils peuvent être actionnés indépendamment ou conjointement. Le catalogue ci-dessous doit permettre aux décideurs de sélectionner le mélange de politique adapté à leurs besoins et à leurs moyens.

- L’Etat peut intégrer le sous-sol à la Loi sur l’Aménagement du Territoire en adoptant une impulsion Top-Down. Cet acte donnerait une marque forte de soutien à un sous-sol planifié de manière durable. Son ancrage dans la LAT prouverait son efficacité par le principe de subsidiarité qui délègue aux cantons le complément des lois sur l’affectation pour demander une planification explicite du sous-sol (voir chapitre 2.1). Une telle démarche peut s’avérer longue et incertaine. Elle a déjà été initiée par le groupe de travail Deep City lors de la révision de la LAT en Ldter qui n’a pas abouti. Puis plus récemment au travers de la motion Gutzwiller. La LAT étant une loi cadre, il s’agirait ensuite de convaincre les cantons pour prendre en compte le sous-sol dans leur planification directrice.
- L’Etat peut développer la collecte, la centralisation et la mise à disposition des données géologiques et sur les infrastructures souterraines, si possible par un système de SIG. Cela permet de donner une visibilité au sous-sol et l’élaboration d’un modèle tridimensionnel du sous-sol urbain. Ces informations peuvent être utiles aux investisseurs. Le point 4.3, a démontré que la géologie a un impact important sur les coûts de construction. Cette information peut permettre d’estimer l’intérêt économique d’un usage du sous-sol. Ces informations peuvent déterminer la profondeur des zones aquifères protégées et donc la limite maximum de la propriété. Ce modèle peut également renseigner sur le potentiel en géothermie. Pour le responsable de l’aménagement urbain. Il pourra ainsi définir le potentiel des ressources du sous-sol à long terme ainsi que leurs interactions. Ces informations pourraient permettre la mise en place de méthodologie Deep City. Ces données sont déjà partiellement acquises. Cette démarche pourrait être rapidement initiée, mais pourrait se révéler coûteuse. Elle devrait s’accompagner de la création d’une base légale régissant la publication des données provenant de l’économie privée. Cette dernière pourrait s’opposer à cette transmission de données.
- L’Etat peut se servir d’outils de l’aménagement urbain pour favoriser un tel développement. Il peut décider que les surfaces situées en sous-sol n’entrent pas dans le calcul du CUS (Coefficient d’utilisation du sol) ou du COS (coefficient d’occupation du sol). Si le prix des terrains est élevé, le promoteur immobilier peut être incité à augmenter le volume grâce au souterrain (voir 4.3) et proposer ces surfaces à la location.
- L’Etat ne pouvant pas intervenir pour faire baisser sur les coûts de construction, il peut essayer d’intervenir pour permettre une augmentation des revenus. Selon un professionnel de la vente, les facteurs d’une bonne situation géographique sont

en ordre d'importance : le bassin de population, un lieu de passage, un parking à proximité, des transports publics à proximité. L'état peut agir sur ces facteurs. En créant un réseau de galeries commerciales souterraines reliant des parkings souterrains et des métros, il favorise le passage et la proximité des lieux de connexion. L'exemple de partenariat public-privé développé à Montréal en est une bonne illustration. Cette solution est coûteuse et longue à mettre en place, par contre elle doit sur la durée se révéler très efficace.

7.6 Un cadre à l'espace souterrain

Le savoir accumulé au cours de cette recherche ne permet pas de développer une méthode de planification du sous-sol, il pourrait néanmoins permettre d'élaborer un cadre ainsi que quelques recommandations.

UN CADRE

La connaissance du sous-sol est la base d'un tel développement. Sans ces informations, il est impossible de connaître les zones d'eau potable à protéger, les zones difficiles à construire ou les éléments déjà bâtis. Il s'agit sans aucun doute de la première mesure à adopter pour toute collectivité désirant développer son souterrain. Il peut permettre de développer une méthodologie de gestion durable des ressources du sous-sol. L'outil le plus adéquat serait un SIG.

La géologie affecte les coûts de manière importante. Un cadastre de la construction souterraine permettrait de déterminer les zones favorables à un développement du sous-sol.

La détermination des zones de protection des eaux permet de définir un plancher à la propriété privée.

L'attribution de critères aux parcelles de droits inhérents au terrain (droit de l'aménagement du territoire, droit des constructions et droit civil) et les caractéristiques de la zone urbanistique du terrain (tel que la densité, le type de construction) permettent d'estimer une autre limite de la propriété privée.

Le choix des types de bâtiments enfouis doit se faire en fonction des types de bâtiment dont l'installation en sous-sol est acceptée par la population, ceci en adéquation avec l'affectation de la zone en surface.

-> Le croisement de tous ces critères ne permettra pas une planification urbaine, mais donnera une information sur les potentiels de développements souterrains des différentes zones urbaines. Cette information peut être utile pour les autorités ou les promoteurs

DES RECOMMANDATIONS

Bien que mal considéré le sous-sol n'est pas rebutant pour la majorité de la population selon notre enquête. Il est parfaitement envisageable de développer plus d'infrastructures en sous-sol. Il est préférable de favoriser les infrastructures les mieux acceptées, tel que des parkings, des entrepôts ou des voies de communication qui sont bien acceptés, tout comme, mais dans une moindre mesure des salles de cinéma ou de concert. Un promoteur désirant optimiser le volume utile sur une parcelle pourrait s'orienter vers ces types d'ouvrages.

L'enfouissement d'infrastructures en sous-sol limite les risques d'opposition. Il ne faut cependant pas surestimer cet avantage. Il est recommandé de traiter ce genre de projet avec les mêmes précautions qu'un projet en surface. L'aspect économique ainsi que le syndrome NIMBY peuvent fortement ralentir ou compromettre les chances d'aboutissement du projet.

Bibliographie

Statistique globale Suisse de l'énergie 2007, 2008.

Potential obstructions for the use of underground space in the Netherlands, 1997. ACUUS.

AIUFLI, D., DELLSPERGER, V., BRUNET, L. et PRIMAS, A. : Consommation énergétique des grandes surfaces (grands distributeurs). Rapport technique, septembre 2008.

AMPHOUX, P., GROSJEAN, G. et SALOMON, J. : *La densité urbaine*. IREC/EPFL, Lausanne, 1999.

ANDERSON, S. et WEST, S. : Open space, residential property values, and spatial context. *Regional Science and Urban Economics*, 36(6):773–789, novembre 2006.

ANTTIKOSKI, U., NIINI, T., YLINEN, J. et RUOPPA, A. : Bedrock resources and their use in Helsinki. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 9(3):365–372, juillet 1994.

ANTTIKOSKI, U. V. et RAUDASMAA, P. J. : Geotechnical Maps of Helsinki and their use in Tunnel Planning. *Underground Space*, 8:282–285, 1984.

AUTOMOBILE_ASSOCIATION : Going Underground, Tunnels : What role in Town and country? Rapport technique, The AA Motoring Unit, 2001.

BAJARI, P. et KAHN, M. E. : Estimating Hedonic Models of Consumer Demand with an Application to Urban Sprawl. In BARANZINI, A., RAMIREZ, J., SCHAEERER, C. et THALMANN, P., éditeurs : *Hedonic Methods in Housing Markets*, pages 129–155. springer, 2008.

- BARKER, M. : Using the earth to save energy : Four underground buildidings. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 1(1):59–65, 1986.
- BARKER, M. : Legal and administrative issues in underground space use : a preliminary survey of ITA member nations. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 6(2):191–209, 1991.
- BARLES, S. : City planning and Underground space in 20th and 21st Century in France. *In Going Underground : Excavating the Subterranean City*. Salford University, 2006.
- BARLES, S. et JARDEL, S. : L'urbanisme souterrain : étude comparée exploratoire. Rapport technique, Université Paris 8, avril 2005.
- BEAUDET, G. et LEWIS, P. : La répartition des commerces de vêtements dans les galeries marchandes et sur les artères commerciales du centre-ville de Montréal : complémentarité ou concurrence. *In 7th ACUUS International conference*. ACUUS, novembre 1997.
- BENDER, A., DIN, A., FAVARGER, P., HOESLI, M. et LAAKSO, J. : An Analysis of Perceptions Concerning the Environmental Quality of Housing in Geneva. *Urban Stud*, 34(3):503–513, mars 1997.
- BERGMAN, M. : The development and utilization of subsurface space. *Tunnelling and underground space technology*, 1(2):115+, 1986.
- BESNER, J. : La ville souterraine. *Revue Urbanisme*, 313, juillet 2000.
- BESNER, J. : The sustainable usage of the underground space in metropolitan area. ACUUS, 2002.
- BESNER, J. : Develop the underground space with a master plan or incentives. *In KALIAMPAKOS, D. et BENARDOS, A., éditeurs : 11th ACUUS International Conference*. ACUUS, septembre 2007.
- BIGLER, M. : L'importance du syndrome NIMBY et des trams à Genève. Mémoire de D.E.A., EPFL, Lausanne, 2009.
- BLUNIER, P. : *Méthodologie de gestion durable des ressources du sous-sol urbain*. Thèse de doctorat, EPFL, 2009.
- BOISVERT, M. : Modeling pedestrian flows in Montreal'indoor city. *In 10th Congress ACUUS*, janvier 2005.

- BREHENY, M. J. : Sustainable development and urban form. *European research in regional science*, 2, 1992.
- BRUECKNER, J. K. : Urban Sprawl : Diagnosis and Remedies. *International Regional Science Review*, 23(2):160–171, avril 2000.
- CAMAGNI, R. et GIBELLI, M. C. : *Développement urbain durable : quatre métropoles européennes*. Édition de l'Aube, Paris, 1997.
- CARMODY, J. et STERLING, R. : *Underground Space Design A guide to Subsurface Utilization and Design for People in Underground Spaces*. Van Nostrand Reinhold, 1993.
- CHOW, F. C., PAUL, T., VÄHÄÄHO, I. T., SELLBERG, B. et LEMOS, L. J. L. : Hidden Aspects of Urban Planning : Utilisation of Underground Space. In *2nd Conference on Soil Interaction in Urban Civil Engineering*, mars 2002.
- COLLIERS-AMI : Indicateur des Loyers de Bureaux, hiver 2010-2011. Rapport technique 13, 2010.
- COUBÈS, M. : Projet Deep City ; Evaluation économique. Rapport technique, IEC SA, 2008.
- DECKER, E. H., ELLIOTT, S., SMITH, F. A., BLAKE, D. R. et ROWLAND, F. S. : Energy and material flow through the urban ecosystem. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1):685–740, novembre 2000.
- DESCHENAUX, H. et JAGGI, P. : Le régime juridique des sources provenant d'eaux souterraines publiques. Rapport technique, 1959.
- DUFFAUT, P. et LABBÉ, M. : From underground road traffic to underground city planning. ACUUS, 2002.
- EDELENBOS, J. : Strategic study on the utilization of underground space in the Netherlands. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 13(2):159–165, juin 1998.
- FAVARGER, P. et THALMANN, P. : *L'expertise immobilière prix et valeurs*. PPUR, second édition, 2008.
- FREEMAN, A. M. : *The Measurement of Environmental and Resource Values : Theory and Methods*. Resources for the future, 1993.

- FREY, H. : *Designing the city : towards a more sustainable urban form*. E & FN Spon, mars 1999.
- FROMMEL, B. : Les chemins de fer du canton de Genève Etude historique 1840-1960. Rapport technique, Service des monuments et des sites, Genève, septembre 2004.
- GEOGHEGAN, J., WAINGER, L. A. et BOCKSTAEL, N. E. : Spatial landscape indices in a hedonic framework : an ecological economics analysis using GIS. *Ecological Economics*, 23(3):251–264, décembre 1997.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. : *La Décroissance - Entropie écologie économie*. Editions Sang de la Terre, 2008.
- GODARD, J. P. : Urban Underground Space and Benefits of going underground. *In World Tunnel Congress 2004*. ITA, mai 2004.
- GOLANY, G. S. et OJIMA, T. : *Geo-space urban design*. 1996.
- GUISAN, F. : L'eau en droit privé. *Journal des Tribunaux*, I(502), 1942.
- HAYT, W. H. : *Engineering electromagnetics*. McGraw-Hill series in electrical engineering. McGraw-Hill, 1989.
- ISHII, M., ISHIMURA, K. et NAKAYAMA, T. : Management and application of Geotechnical Data : The Geotechnical Data Information System of the Tokyo Metropolitan Government. *Environmental Geology*, 19(3):169–178, mai 1992.
- ITA : Planning and mapping of underground space an overview. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 15(3):271–286, septembre 2000.
- JAEGER, C., SCHWICK, C. et KIENAST, F. : Landschaftszersiedelung Schweiz Quantitative Analyse 1935 bis 2002 und Folgerungen für die Raumplanung Wissenschaftlicher Abschlussbericht. Rapport technique, FNS, 2008.
- KNAPP, B. : L'urbanisme du sous-sol. *Droit de la construction*, (2):27–32, 1987.
- KURTZ, J. P. : *Dictionnaire du génie civil français-anglais*. Conseil international de la langue française, 1997.
- LIVER, P. : Usque ad sidera usque ad inferos. *Mélanges Philippe Meylan*, 2:169–182, 1963.
- LUCHINI, S. : De la singularité de la méthode contingente. *Economie et Statistique*, (357-358):141–152, 2002.

- LUTZENHISER, M. et NETUSIL, N. R. : The effect of open spaces on a home's sale price. *CONTEMPORARY ECONOMIC POLICY*, 19(3):291–298, juillet 2001.
- MATTHEY, B. : *Droit et énergies nouvelles*. Payot, 1986.
- MCCONNELL, V. et WALLS, M. : The value of open space : evidence from studies of nonmarket benefits. Rapport technique, Resources for the future, Washington, janvier 2005.
- MEIER-HAYOZ, A. : *Grundeigentum II, Berner KommentarIV*. Staempfli, 1975.
- MENZI, R., ANGST, D., CAMENZIND, R. et KELLENBERGER, M. : Canaliser le développement urbain Concentrer, valoriser, requalifier. Rapport technique 2/2010, ARE, Bern, 2010.
- MONNIKHOF, R. : The new underground planning map of the Netherlands : a feasibility study of the possibilities of the use of underground space. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 14(3):341–347, septembre 1999.
- NECHYBA, T. J. et RANDALL, P. W. : Urban Sprawl. *journal of economic perspectives*, 18(4):177–200, septembre 2004.
- NISHI, J. : Estimation of the value of the internal and external environment in underground space use. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 15(1):79–89, mars 2000.
- ORESTE, P. P. et SOLDI, D. L. : The use of underground spaces for environmental protection purpose. ACUUS, 2002.
- PARKER, H. W. : Underground Space : Good for Sustainable Development, and Vice Versa. In *World Tunnel Congress*. ITA, mai 2004.
- PARRIAUX, A., TACHER, L., KAUFMANN, V. et BLUNIER, P. : Underground resources and sustainable development in urban areas. IAEG Conference, 2006.
- PARRIAUX, P. : *Géologie Bases pour l'ingénieur*. PPUR, second édition, 2009.
- PARRIAUX, P., BLUNIER, P., MAIRE, P., DEKKIL, G. et TACHER, L. : *Projet Deep CityResources du sous-sol et développement durable des espaces urbains*. VDF Hochschulverlag, Zürich, 2010.
- POUYANNE, G. : Des avantages comparatifs de la ville compacte à l'interaction des formes urbaine-mobilité. Méthodologies et premiers résultats. *les Cahiers Scientifiques du Transport*, 45:49–82, 2004.

- RAY, K. : Tunnels and infrastructure for metropolises, the habitat agenda perspective. *In ITA open session*. ITA, 1998.
- ROBERTS, D. : Sustainable development and the use of underground space. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 11(4):383–390, octobre 1996.
- RONKA, K., RITOLA, J. et RAUHALA, K. : Underground space in land-use planning*1. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 13(1):39–49, janvier 1998.
- SCHAERER, C. : *Assessing Environmental Amenities and Testing for discrimination in Housing Markets using Hedonic Price Research*. Thèse de doctorat, EPFL, novembre 2008.
- SCHAERER, C., BARANZINI, A., RAMIREZ, J. V. et THALMANN, P. : Using the Hedonic Approach to Value Natural Land Uses in an Urban Area : An Application to Geneva and Zurich. *économie publique*, 20(1):147–167, 2007.
- STERLING, R. : Underground technologies for livable cities. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 12(4):479–490, décembre 1997.
- STERLING, R. L. et GODARD, J. P. : Geoingeering considerations in the optimum use of Subsurface. Rapport technique, 2001.
- TANGERINI, A. et SOGUEL, N. : Evaluation monétaire de la qualité du paysage. 2004.
- THORENS, J. : L'étendue en profondeur de la propriété foncière. *RDS*, pages 254–280, 1970.
- UN-HABITAT : State of the World's Cities 2008/2009. Rapport technique, UN-Habitat, London, 2008.
- UTUDJIAN, E. : *L'Architecture et l'urbanisme souterrain*,. Robert Laffont, 1966.
- UTUDJIAN, E. : *L'urbanisme souterrain*. Que sais-je ?, third édition, 1972.
- VAHAAHO, I. T. et KORPI, J. : Use of underground space and geoinformation in Helsinki. *In ITA open session*, 2004.
- van der HOEVEN, F., van HEUSDEN, T., HOFSTEE, J., EDELENBOS, J., MONNIKHOFF, R. A. H. et PRIES, P. : De Nieuwe Kaart Verdiept : een verkenning naar de toepassingsmogelijkheden van ondergronds ruimtegebruik in de Randstad. Rapport technique, Centrum Ondergronds Bouwen, 1997.

- VIREDAZ, B. : *Le sentiment d'insécurité : devons-nous avoir peur ?* La question. L'Hèbe, Grolley, juin 2005.
- von MEISS, P. : ARCHITECTURE SOUTERRAINE "à la recherche d'un code de bonne conduite". In *La ville sous la ville, une idée à creuser*, octobre 2007.
- VON MEISS, P. et RADU, F. : Vingt mille lieux sous les terres Espaces publics souterrains. 2004.
- WADA, Y., van BEEK, L. P. H., van KEMPEN, C. M., RECKMAN, J. W. T. M., VASAK, S. et BIERKENS, M. F. P. : Global depletion of groundwater resources. *Geophysical Research Letters*, 37(20):L20402+, octobre 2010.
- WUEST : Immo-Monntoring 2008. Rapport technique, 2008.
- ZUFFEREY, J. B. : *Le domaine public comme domaine juridique Réflexion critique mais respectueuse*. Schulthess, 2004.

Liste des symboles

ARE	Office Fédéral de l'aménagement du territoire
ARE	office fédéral de l'aménagement du territoire
CEVA	Cornavin Eaux-Vives Annemasse
CFE	Code des Frais par Élément
CFF	Chemin de Fer Fédéraux suisses
CRB	Centre Suisse d'étude pour la Rationnalisation de la Construction
IEC	Institut pour l'économie de la Construction SA)
ITA	International Tunneling Association
LAT	Loi fédérale sur l'Aménagement du territoire
LAT	Loi sur l'Aménagement du Territoire
OCSTSAT	Office cantonal de la Statistique genevois
OFEN	Office Fédéral de l'Énergie
OFS	Office Fédéral de la Statistique
OFS	Office fédéral de la Statistique
PNR54	Programme National de Recherche
SIA	Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes)
SITG	Système d'Information du Territoire Genevois
SP	Surface de Plancher
VB	Volume Bâti

WTP Willingness to Pay

Table des figures

1.1	Population mondiale et population urbaine de 1950 à 2050 (données : Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations ; The 2007 Revision and World Urbanization Prospects)	15
1.2	Les quatre ressources du sous-sol (©Deep City/GEOLEP)	20
1.3	Illustration d'un conflit entre deux ressources résultant d'une démarche sectorielle et du manque de planification (©Deep City/GEOLEP)	21
1.4	Comparaison de l'implantation des ouvrages hors-sol/sous-sol sur le territoire genevois	23
1.5	Répartition hors-sol/sous-sol par type de bâtiment sur le territoire genevois	24
2.1	Principaux outils d'aménagement du territoire et échelle de réalisation (Blunier, 2009)	28
2.2	Division de la propriété du sous-sol (adapté de Knapp, 1987) La couche susceptible de propriété et ses 3 strates : construite (A1), fondations (A2), prévention (A3) ; la couche hors propriété (B)	35
3.1	Perception de l'espace souterrain par l'ensemble de la population ; Question dichotomique "Pour vous le souterrain est plutôt..." sur une échelle de 1 à 6 (Moyenne, percentile, médiane)	60
3.2	Résultats en pourcent à la question : "Avez-vous peur d'aller dans les lieux souterrain" (1 Pas peur du tout ; 6 Très peur)	61
3.3	Adaptabilité de différents lieux en souterrain	66
3.4	Estimez l'importance des critères de choix suivants lors de votre sélection du parking auquel vous êtes abonné	67
3.5	Perception de l'espace souterrain par l'ensemble de la population ; Questions dichotomiques "Pour vous le souterrain est plutôt..." sur une échelle de 1 à 6	73

3.6	Résultats en pourcent à la question : Avez-vous peur d'aller dans des lieux souterrain? (1 Pas peur du tout; 6 Très peur)	75
3.7	Perception significativement différente entre homme et femme	76
3.8	Usages adapté au souterrain	77
4.1	Comparaison de la consommation énergétique annuelle. La consommation totale comprend d'autres consommateurs d'énergie, tel que l'éclairage (Golany et Ojima, 1996)	107
4.2	Coupes du bâtiment commercial utilisé pour l'étude de cas (Dessin : Prof. VonMeiss)	113
5.1	Tracé du projet CEVA développé par le canton de Genève et les CC(tiré de : www.ceva.ch). Le tronçon Cornavin/Carouge-Bachet est en surface, le reste est en souterrain.	138
5.2	Les tracés alternatifs aux CEVA développé par les opposants (tiré de www.mobilitege.ch). Le trajet Carouge-Bachet/Baronnex est en surface. Le tronçon Annemasse/Eaux-vives est en souterrain. Il relie un noeud des transports publics genevois .	141
5.3	Processus de mise à l'enquête	144

Liste des tableaux

3.1	Population de l'enquête en fonction des catégories socioprofessionnels . .	55
3.2	Pondérations utilisées pour redresser l'échantillon	58
3.3	Tableau de comparaison des moyennes significativement différentes entre hommes et femmes sur la perception de l'espace souterrain (T-Test) . . .	62
3.4	Moyenne significativement différente sur la perception en fonction du type de parking (uniquement la significativité Sig des moyenne différentes est représentée, T-test)	63
3.5	De votre point de vue d'utilisateur, pensez-vous que les lieux suivants se prêtent à transférer leurs activités en souterrain (1 pas adapté; 6 très adapté)	64

3.6	Adaptabilité des lieux en souterrain, moyennes significativement différentes selon le sexe	66
3.7	Régression nettoyée de la satisfaction	68
3.8	Moyenne significativement différente des qualités architecturales	70
3.9	Pondérations utilisées pour redresser l'échantillon	72
3.10	régression sur la peur du souterrain	74
3.11	Différence entre homme et femme sur les peurs.	75
3.12	Différence Homme-Femme usages	78
3.13	Régression linéaire de la variable dépendante "Bien-être", nettoyée du bruit	80
3.14	Différence significative entre les différents types d'auditoire	81
3.15	Différence entre les deux auditorios souterrains en fonction du genre . . .	82
3.16	Synthèse des résultats sur la perception	87
3.17	Synthèse des résultat sur l'usage	88
3.18	Synthèse des résultats sur la forme	90
3.19	synthèse des raisons de la peur en souterrain	90
3.20	Les qualités architecturales requises par les personnes phobiques	91
3.21	Les stratégies dans l'ordre d'utilisation pratiquée par les personnes phobique	92
4.1	Avis de trois experts sur les coûts d'un centre commercial souterrain . . .	102
4.2	Comparatif des coûts de construction de supermarchés souterrains au Japon (Golany et Ojima, 1996)	103
4.3	Coûts moyens de construction selon le type de bâtiment calculés en florins néerlandais par m^2 (van der Hoeven <i>et al.</i> , 1997)	105
4.4	Coûts annuels par m^2 d'exploitation selon le type de bâtiment calculés en florins néerlandais par m^2 (van der Hoeven <i>et al.</i> 1997)	107
4.5	Synthèse des différences du génie civil entre les trois variantes	115
4.6	Analyse des coûts de construction par macroélément (Montants calculés par IEC S.A)	119
4.7	Proportion de chaque macroélément dans la somme des coûts	120
4.8	Décomposition en éléments (chiffres IEC S.A)	121
4.9	Décomposition en éléments (chiffres IEC S.A)	122
4.10	Durée des travaux du génie civil en semaines (Chiffres estimés par Emch&Berger)	123
4.11	Consommation énergétique	124
4.12	Coûts totaux de l'énergie consommée par les différentes variantes du bâtiment en CHF	125
4.13	Prix du terrain en CHF selon les prix de l'Immo-Monitoring Wuest (2008)	126

4.14	Comparaison des rapports de prix du projet immobilier en fonction du prix du terrain et de la variante de bâtiment (prix en CHF)	126
4.15	Synthèse des coûts totaux en CHF, incluant construction, énergie et achat d'un terrain cher	127
4.16	comparaison des coûts de construction par rapport au m2 de plancher des 3 variantes avec des bâtiments avec 6 étages sous-sol et 5 étages en surface	129
4.17	Synthèse des coûts totaux (en CHF)	130
4.18	Comparatifs des raisons qui génèrent des différence de coûts (++ le plus élevé; + au milieu; - le moins élevé; = égal)	131
4.19	Développement du souterrain et pression foncière (en CHF)	132
5.1	Tableau récapitulatif du nombre et du type d'arguments utilisés par les opposants du CEVA tirés du dépouillement de presse exécuté du 12.2004 au 02.2007 (<i>La Tribune de Genève, Le Matin, Le Temps, Le Courrier, 24Heures, La Revue Automobile et L'Hebdo</i>)	145
5.2	comparaison nombre d'oppositions	146
5.3	Recensement des arguments des oppositions au CEVA	147
5.4	L'insécurité potentielle est une nuisance provoqué par le passage du CEVA (slogan de l'UDC a la votation du 29 Novembre 2009 pour l'approbation d'une crédit supplémentaire pour le CEVA)	153
B.1	Comparaison des coûts de construction relatifs par m ² (Source : Monnikhof 1999)	190
B.2	Comparaison des coûts d'achat de terrain (Source : Monnikhof 1999)	191
B.3	Comparaison des coûts d'exploitation de terrain (Source : Monnikhof 1999)	191
B.4	Comparaison des coûts totaux relatifs par m ² (Source : Monnikhof 1999)	192

Annexe A

Synthèse des interactions entre les usages du sous-sol urbain

Ce tableau a été produit par Pacal Blunier dans le cadre de ses recherches pour le projet Deep City.

Les signes + indiquent les synergies d'usage, les signes - les conflits

L'*agent impacté* désigne l'usage qui est modifié par les effets d'un autre usage : l'*agent impactant*

Pour une meilleure compréhension : Blunier 2009; Parriaux 2009

ANNEXE A. SYNTHÈSE DES INTERACTIONS ENTRE LES USAGES DU SOUS-SOL URBAIN

		AGENT IMPACTÉ			
		Espace	Eau Souterraine	Géothermie	Géomatériaux
AGENT IMPACTANT	Espace	<ul style="list-style-type: none"> -Conflit d'espace -Subsidence +Mise en réseau 	<ul style="list-style-type: none"> -Concurrence hydrogéologique -Effet barrage -Pollution des eaux¹ -Court-circuits entre aquifères souterrains +Captages dans les ouvrages souterrains 	<ul style="list-style-type: none"> +Géostrucures énergétiques +Valorisation thermique des flux techniques 	<ul style="list-style-type: none"> -Élimination des matériaux d'excavation +Valorisation des géomatériaux
	Eau Souterraine	<ul style="list-style-type: none"> -Infiltration dans les ouvrages -Poussée d'archimède -Subsidence et soulèvement -Corrosion et détérioration des ouvrages 	<ul style="list-style-type: none"> -Concurrence hydrogéologique 	<ul style="list-style-type: none"> -Dessaturation des terrains 	
	Géothermie	<ul style="list-style-type: none"> -Conflit d'espace -Modifications thermo-mécaniques -Gel du terrain -Impact des prélèvements 	<ul style="list-style-type: none"> -Concurrence hydrogéologique -Effet barrage -Pollution des eaux¹ -Modifications de l'activité biologique -Modification des paramètres physico-chimiques 	<ul style="list-style-type: none"> -Interaction des plumes de froid ou de chaud -Surexploitation du flux thermique 	
	Géomatériaux	<ul style="list-style-type: none"> +Coordination extractions-constructions 	<ul style="list-style-type: none"> -Modifications du bilan hydrogéologique -Effet barrage -Court-circuits entre aquifères -Pollution des eaux¹ 		

¹Pollution des eaux = infiltration d'eau de ruissellement, pollution par les matériaux d'injection, mobilisation de polluants, fuite de liquide caloporteur

Questionnaire Parking

Annexe B

Etude néerlandaise de comparaison des coûts entre la surface et le souterrain

Présentation des résultats d'une étude du Centre for Underground Construction, Gouda ; Monnikhof 1999; van der Hoeven *et al.* 1997

Les auteurs ont défini plusieurs typologies de bâtiment. Pour chacune de ces typologies, le coût est calculé pour une situation hypothétique moyenne. En se basant sur divers exemples bâtis et sur leur expérience, les auteurs fixent des prix moyens au m^3 pour chaque type d'infrastructure en surface et en sous-sol. Un coût moyen est déterminé pour la construction en surface et souterrain. Finalement ces coûts moyens sont pondérés par le pourcentage du bâtiment émergent et enterré . Il est comparé à une base 100 qui est le bâtiment entièrement émergent.

$$(X * a) + (Y * b) = C$$

- X =Coût moyen de construction en surface
 - Y =Coût moyen de construction en sous-sol
 - a =Pourcentage du bâtiment émergent
 - b =Pourcentage du bâtiment enterré
 - C =Coût total de construction du bâtiment
-

Type de bâtiment	Pourcentage souterrain	Coûts de construction	
		Surface	Souterrain
<i>Bâtiment de haute qualité, façades chers (commerces, écoles,...)</i>			
Centre ville, bâtiment bas	33 %	100	113
Centre ville, bâtiment haut	17 %	100	107
Périphérie, bâtiment bas	20 %	100	110
Périphérie, bâtiment haut	20 %	100	110
<i>Bâtiment de basse qualité, façades bon marchés (entrepôt, usine,...)</i>			
1 étage souterrain	50 %	100	170
2 étages souterrains	67 %	100	193
<i>Logement</i>			
Bâtiment bas	25 %	100	113
Bâtiment haut	13 %	100	112

TABLE B.1 – Comparaison des coûts de construction relatifs par m² (Source : Monnikhof 1999)

Les auteurs ont procédé selon la même logique pour les coûts d'achat du terrain. Ils ont déterminé des prix d'achat en fonction du type de construction (en centre, en périphérie, commercial résidentiel). Ils estiment que la construction en profondeur permet d'économiser du terrain à acheter.

Type de bâtiment	Pourcentage souterrain	Coûts d'achats du terrain	
		Surface	Souterrain
<i>Bâtiment de haute qualité, façades chers (commerces, écoles,...)</i>			
Centre ville, bâtiment bas	33 %	100	67
Centre ville, bâtiment haut	17 %	100	83
Périphérie, bâtiment bas	20 %	100	64
Périphérie, bâtiment haut	20 %	100	60
<i>Bâtiment de basse qualité, façades bon marchés (entrepôt, usine,...)</i>			
1 étage souterrain	50 %	100	50
2 étages souterrains	67 %	100	33
<i>Logement</i>			
Bâtiment bas	25 %	100	75
Bâtiment haut	13 %	100	87

TABLE B.2 – Comparaison des coûts d'achat de terrain (Source : Monnikhof 1999)

Enfin toujours sur le même modus operandi, les auteurs ont évalué les coûts d'exploitation.

Type de bâtiment	Pourcentage souterrain	Coûts d'exploitation du terrain	
		Surface	Souterrain
<i>Bâtiment de haute qualité, façades chers (commerces, écoles,...)</i>			
Centre ville, bâtiment bas	33 %	100	68
Centre ville, bâtiment haut	17 %	100	93
Périphérie, bâtiment bas	20 %	100	91
Périphérie, bâtiment haut	20 %	100	91
<i>Bâtiment de basse qualité, façades bon marchés (entrepôt, usine,...)</i>			
1 étage souterrain	50 %	100	81
2 étages souterrains	67 %	100	74
<i>Logement</i>			
Bâtiment bas	25 %	100	94
Bâtiment haut	13 %	100	97

TABLE B.3 – Comparaison des coûts d'exploitation de terrain (Source : Monnikhof 1999)

Type de bâtiment	Pourcentage souterrain	Coûts totaux (coûts de construction, du terrain et de construction)	
		Surface	Souterrain
<i>Bâtiment de haute qualité</i>			
Centre ville, bâtiment bas	33 %	100	101
Centre ville, bâtiment haut	17 %	100	101
Périphérie, bâtiment bas	20 %	100	98
Périphérie, bâtiment haut	20 %	100	99
<i>Bâtiment de basse qualité</i>			
1 étage souterrain	50 %	100	116
2 étages souterrains	67 %	100	122
<i>Logement</i>			
Bâtiment bas	25 %	100	96
Bâtiment haut	13 %	100	101

TABLE B.4 – Comparaison des coûts totaux relatifs par m² (Source : Monnikhof 1999)

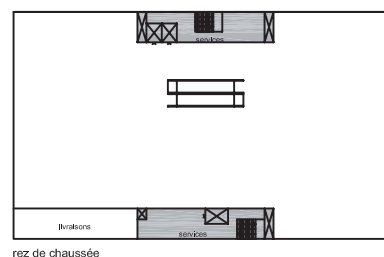
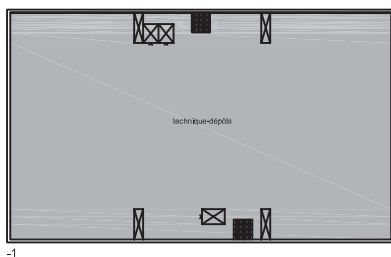
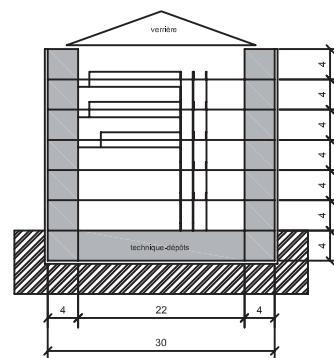
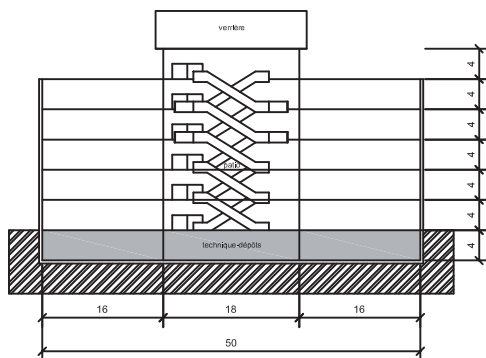
En agrégant ces différents résultats, les auteurs démontrent que le terrain est un facteur peu influençant et que certains types de bâtiments sont plus avantageux à construire en sous-sol.

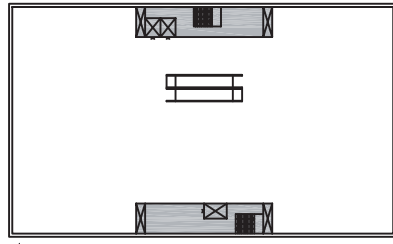
Annexe C

Plans du bâtiment de l'étude de cas

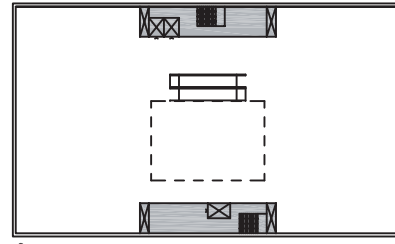
Dessiné par Professeur Pierre von Meiss

SURFACE

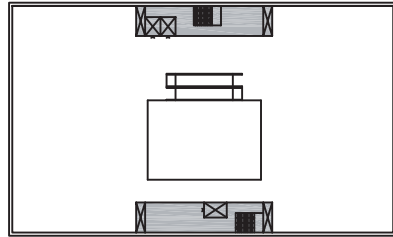




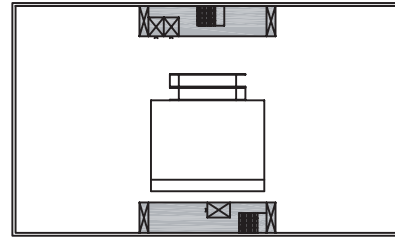
+1



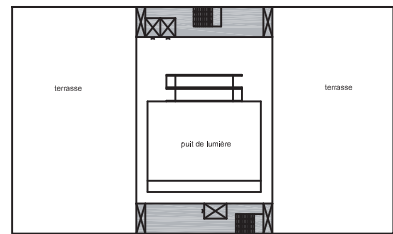
+2



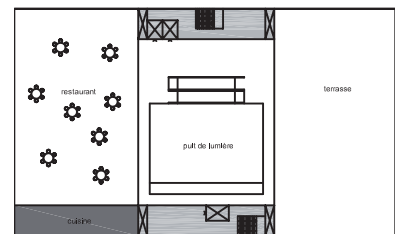
+3



+4

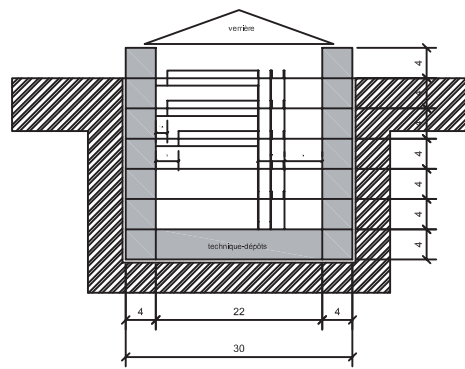
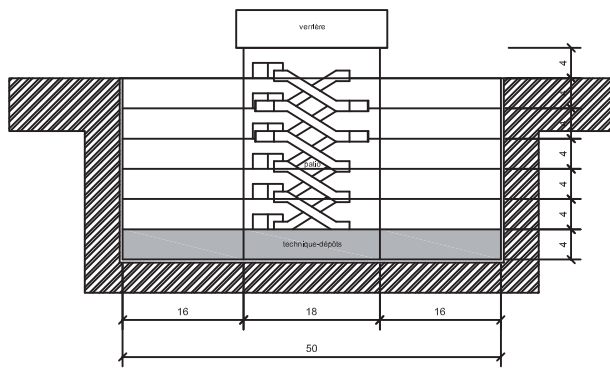


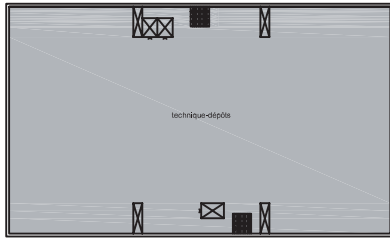
+5



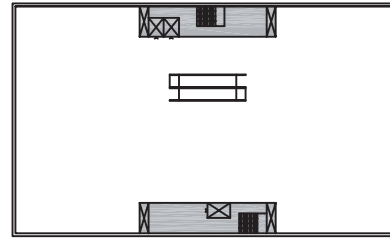
+5 avec restaurant en terrasse

SOUTERRAIN

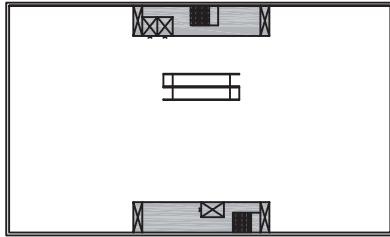




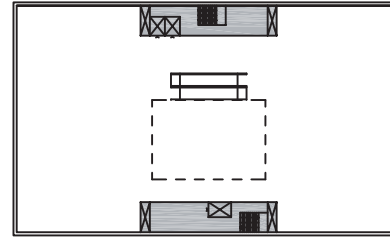
-6



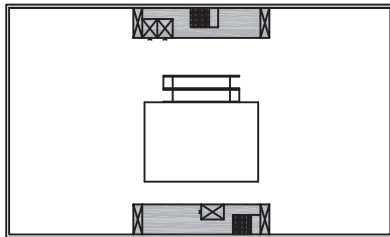
-5



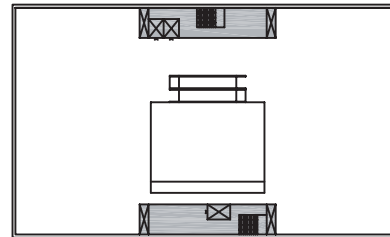
-4



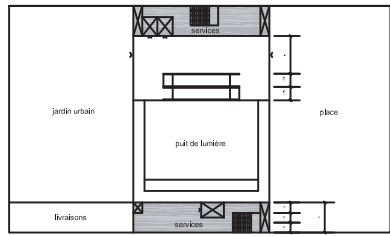
-3



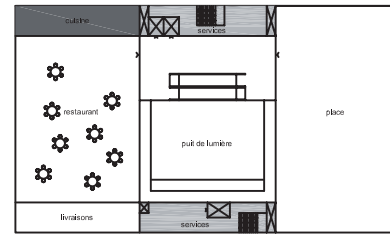
-2



-1



rez-de-chaussée



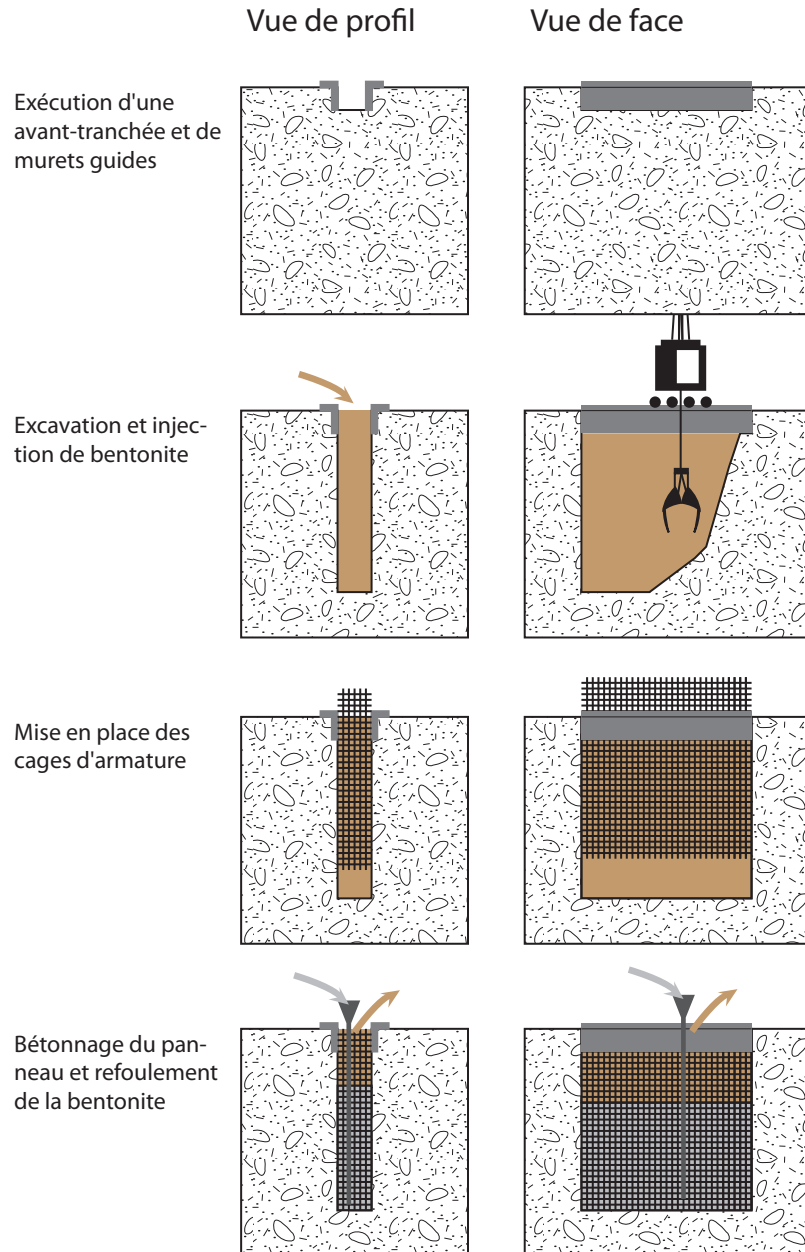
rez-de-chaussée avec restaurant

Annexe D

Techniques de construction souterraine

Les images sont reprises des annexes de la thèse de Pascal Blunier “Méthodologie de gestion durable des ressources du sous-sol urbain”, réalisé dans le cadre du projet Deep City du PNR 54.

Étapes de construction d'une paroi moulée (Source : Blunier, 2009)

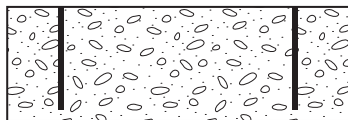


Définition du dictionnaire de génie civil (Kurtz, 1997) : “La paroi moulée dans le sol, qui consiste en une tranchée verticale étroite réalisée dans le sol depuis la surface à

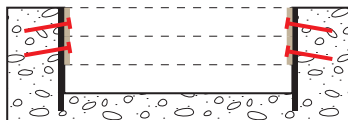
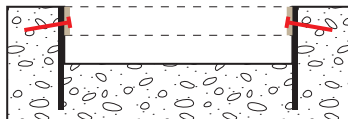
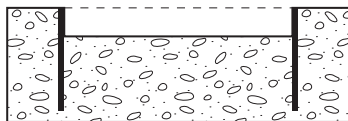
une profondeur qui peut être importante (100 m environ). Les parois de la tranchée sont stabilisées par de la bentonite qui est déversée au fur et à mesure du creusement et qui forme un cake sur les parois, faisant office de soutènement étanche. Lorsque le creusement a atteint la profondeur désirée, on place dans l'excavation les armatures. A l'aide d'une goulotte, on procède alors au bétonnage en partant du fond de la fouille. La boue remonte au fur et à mesure que la fouille se comble de béton et est récupérée pour être recyclée. Ce procédé est notamment utilisé dans les terrains aquifères ou de qualité géotechnique médiocre. Les parois moulées se réalisent par panneaux successifs et peuvent être ancrées dans le terrain.

Etapes de construction de parois berlinoises (Source : Blunier, 2009)

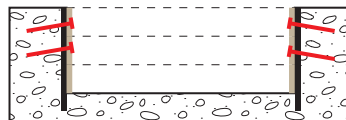
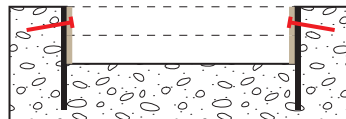
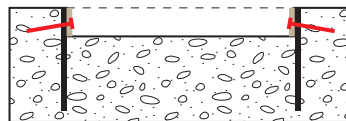
Construction des appuis



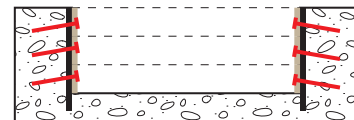
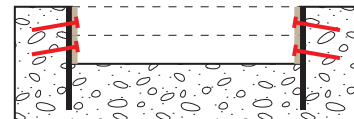
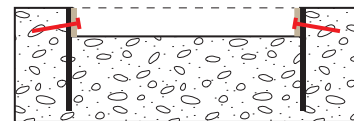
Excavation



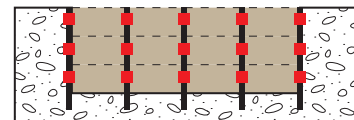
Mise en place du parement



Epinglage ou étayage de la paroi



Vue de face



Définition du dictionnaire de génie civil (Kurtz, 1997) : "Méthode de blindage qui date de la création du métro à Berlin et qui consiste à mettre en place verticalement

dans le terrain, soit à l'intérieur de forages, soit par battage, le long du périmètre de la future fouille, des profilés généralement métalliques espacés de quelques mètres les uns des autres (2 à 4 m), puis à terrasser en blindant au fur et à mesure les parois au moyen de plaques (bétons, palfeuilles, etc.) prenant appui sur les ailes des profilés.

Lexique sur la construction

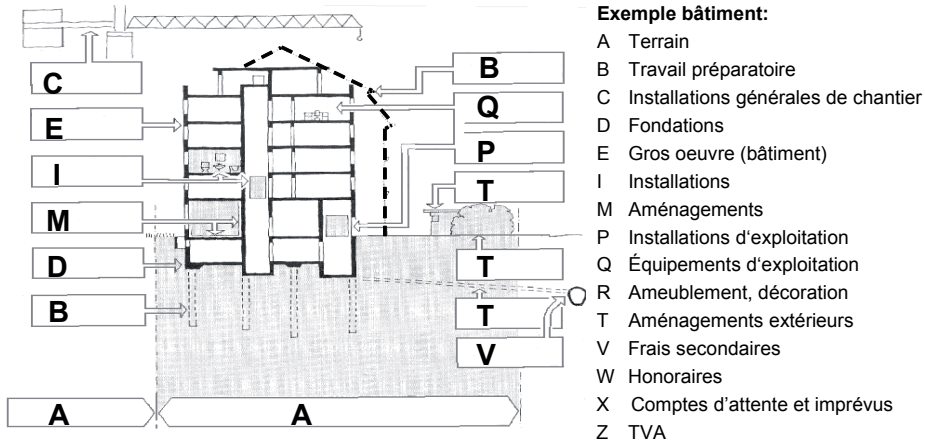
- *Bentonite* : Définition du dictionnaire de génie civil (Kurtz, 1997) : Argiles à grain très fins, dont certaines sont capables de gonfler à l'eau en s'entourant d'une gaine d'eau absorbée rigidement, ce qui caractérise le phénomène de solvation. (...) En raison de ses qualités thixotropiques, la bentonite est utilisée comme boue de forage (pieux, parois moulées, etc.).
- *Semelles* : Définition du dictionnaire de génie civil (Kurtz, 1997) : Fondation basse, généralement en béton armé, plus large que le mur (ou le poteau) qu'elle supporte et d'épaisseur relativement faible, destinée à répartir les charges linéaires ou concentrées. Elle peut être en béton ordinaire ou en béton armé, cas le plus général.

Annexe E

Introduction au CFE

Extrait du cours Gestion de projet donné par le Professeur P. Thalmann à l'EPFL :
L'estimation des coûts de construction et d'investissement par la méthode des éléments (par Marco La Gennusa, assistant du cours)

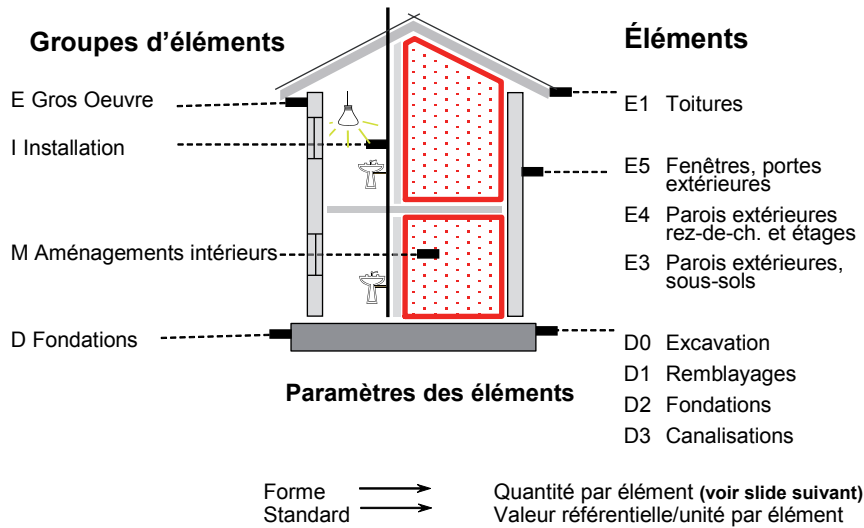
Les règles du CFE > les groupes d'éléments



D'autres éléments existent pour le génie civil

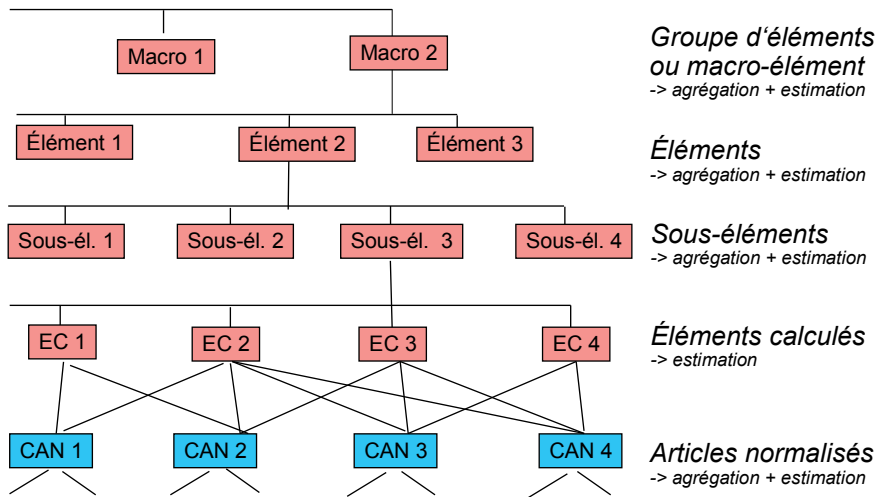


Les règles du CFE > les éléments



Les règles du CFE > du CAN au CFE (agrégation)

Du global au détaillé, il faut cibler les coûts les plus importants



Annexe F

Synthèse de l'étude sur l'écobilan des trois variantes de bâtiment

Source : Construire en souterrain : une solution avantageuse pour l'environnement ? Consommations énergétiques et analyse du cycle de vie de variantes de construction pour un bâtiment commercial (Adeline Poux, Travail de Master, 2007)

Le calcul de l'analyse de cycle de vie a été réalisé grâce au logiciel Lesosai. Afin de déterminer, les conditions géothermiques cadres du bâtiment enterré, une modélisation avec le logiciel Feflow a été conduite.

Caractéristique technique du bâtiment utilisée pour la modélisation

- Type de bâtiment : magasin grande surface, surface d'alimentation inférieur à 20%
- Utilisation : La fonction commerciale est remplie 12 heures par jour, 6 jours par semaine et 313 jours par an.
- Chauffage et Climatisation : Une chaudière au gaz naturel est utilisée pour le chauffage du bâtiment et de l'eau. Pour la climatisation, on considère que le système de ventilation est à air conditionné et le coefficient de performance pour la pompe à chaleur est de 3.
- Ventilation : Le taux de ventilation est globalement fixé à 35 m³ par heure et par personne. Pour cette étude, une ventilation à double flux avec récupération de

chaleur est installée. Le flux de chaleur extrait est inférieur au flux de chaleur pulsé afin de laisser le bâtiment en légère surpression, et diminuer ainsi les infiltrations.

- Eclairage :
 - Eclairage naturel : La verrière est commune aux 3 variantes et située au R+5. Pour le dimensionnement thermique, la verrière a été modélisée par 10 fenêtres de 18 m², avec un triple vitrage et protection ultraviolet. 120 m² de vitrines ont été ajoutées à la variante 1, en surface. Celles ci sont voilées à 100%, les gains solaires ne sont pas nuls pour autant.
 - Eclairage artificiel : 140 tubes fluorescents par local, de catégorie A pour la consommation d'énergie, sont utilisés pour obtenir l'éclairage de 300 lux nécessaire pour ce bâtiment commercial. Un éclairage de valorisation et des pertes sont également pris en compte.
- Usagers : D'après les conditions standards d'utilisation, dans ce type de bâtiment commercial, 5 personnes sont présentes par m². Ce nombre a été diminué pour les trois derniers étages : les étages supérieurs pour le bâtiment en surface et les étages les plus profonds pour le bâtiment enterré. Ces valeurs sont des valeurs maximales et le taux d'occupation est régulé heure par heure et mois après mois. Le dégagement de chaleur par les personnes varie également en fonction de la saison.
- Equipements : Les équipements ne sont pas définis précisément, seule une puissance globale est prise en compte.
- Besoins d'eau chaude sanitaire : 2600 litres d'eau par jour dont la température varie entre 10°C et 60°C sont prévus pour ce bâtiment commercial.

Les principales différences entre les 3 variantes viennent :

- des coefficients de transmission thermique des parois et du radier
- des infiltrations
- des vitrines et des ponts thermiques

Les résultats de l'analyse de cycle de vie

L'analyse de cycle de vie se décompose en trois phases : La phase de construction, la phase d'utilisation et la phase de démantèlement (Figure 5).

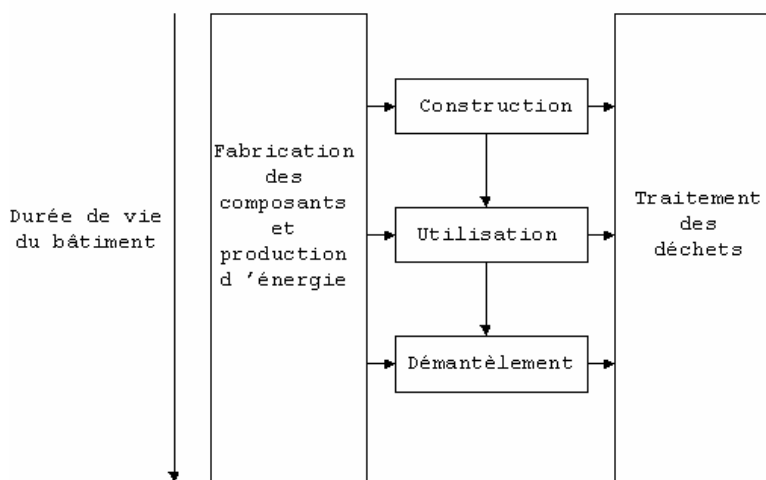
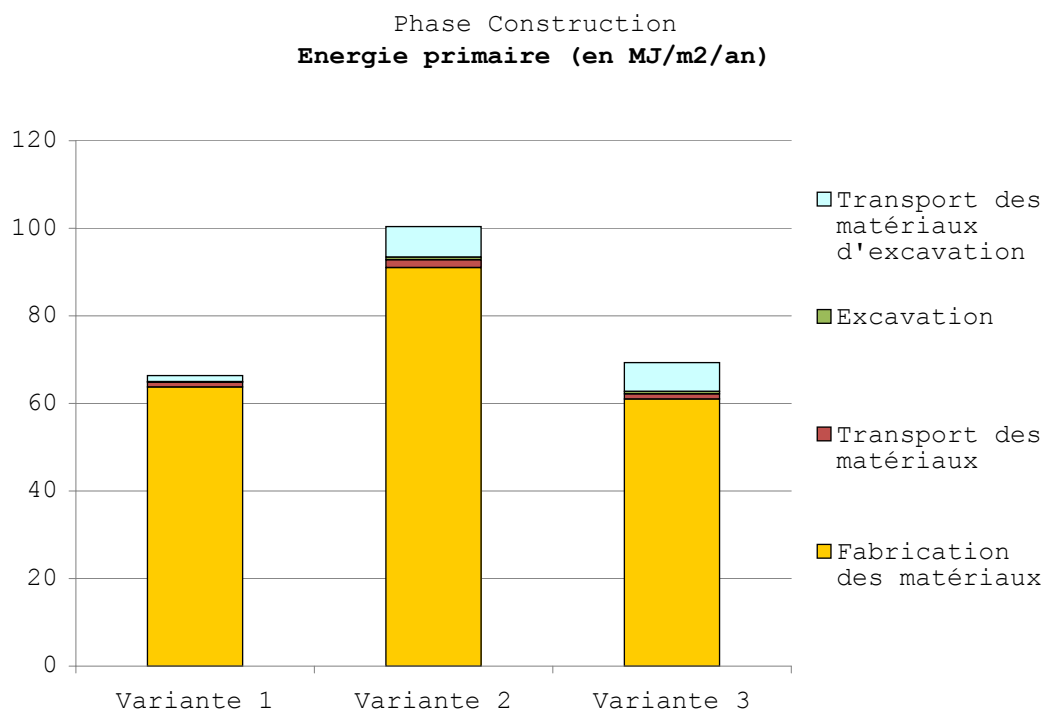


Figure 5 : Schéma du processus de l'analyse du cycle de vie par phase

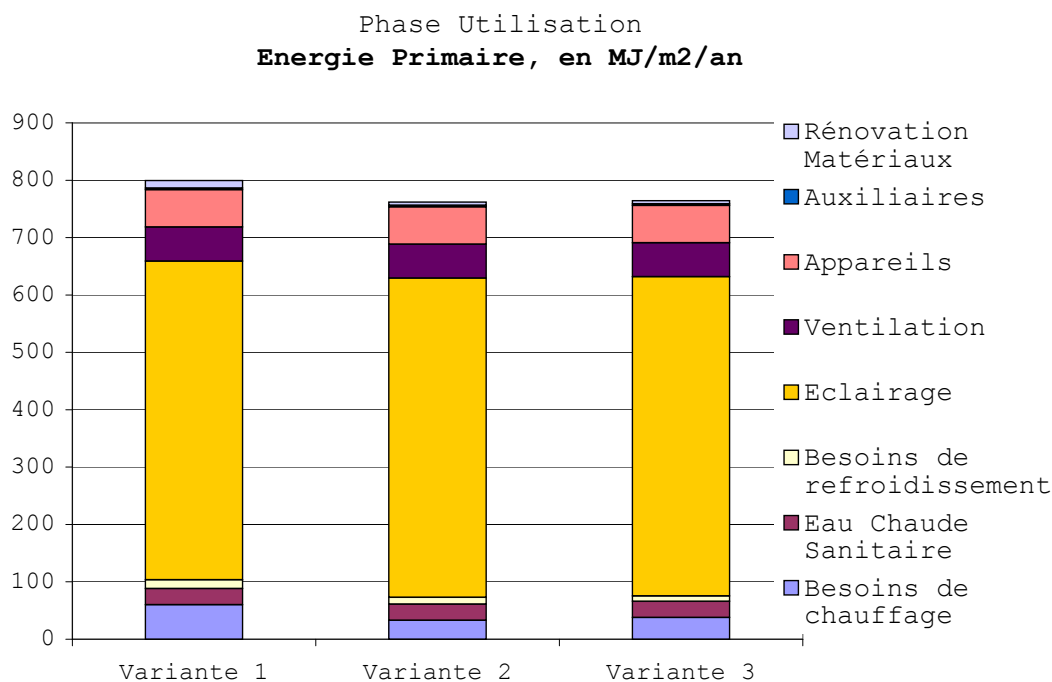
La phase de construction



Graphique 1 : Consommation d'énergie primaire de la phase de construction selon la variante

Pour cette phase, la variante 2 a un impact supérieur aux deux autres variantes. Cela provient directement de la quantité de béton et d'acier d'armatures nécessaires à la construction des parois moulées. Pour les variantes enterrées (2 et 3), le transport des matériaux d'excavation a un impact non négligeable sur le total.

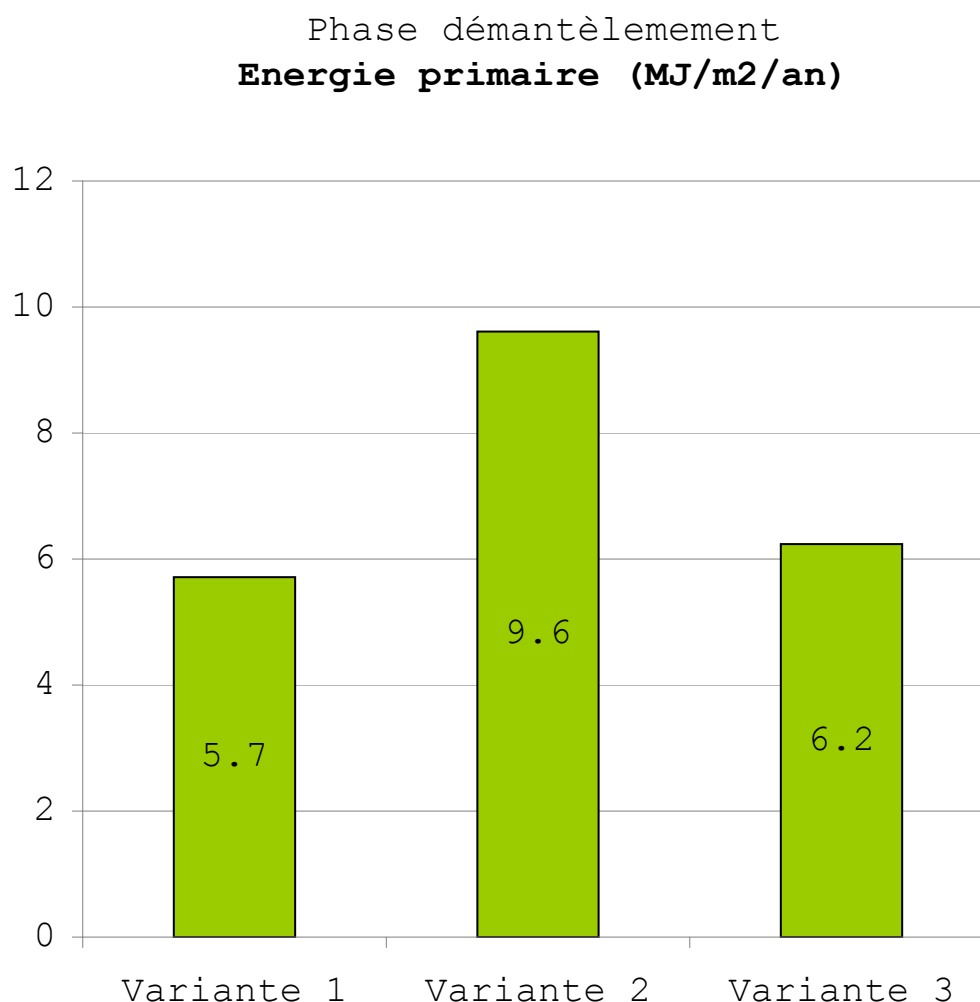
La phase d'utilisation



Graphique 2 : Impact de la phase d'utilisation

Le poste principal de consommation, plus de 70% de la consommation d'énergie primaire, est dû à l'éclairage. Les lampes ont pourtant été volontairement choisies économes en énergie. Comme l'impact de l'eau chaude, de la ventilation, des auxiliaires, de l'éclairage sont similaires, l'écart provient essentiellement des besoins de chauffage et de refroidissement légèrement supérieurs dans la variante 1. On retrouve donc les résultats découverts pour l'énergie utile. À cela, s'ajoute la rénovation des matériaux, qui a un impact deux fois plus important dans la variante 1.

La phase de démantèlement

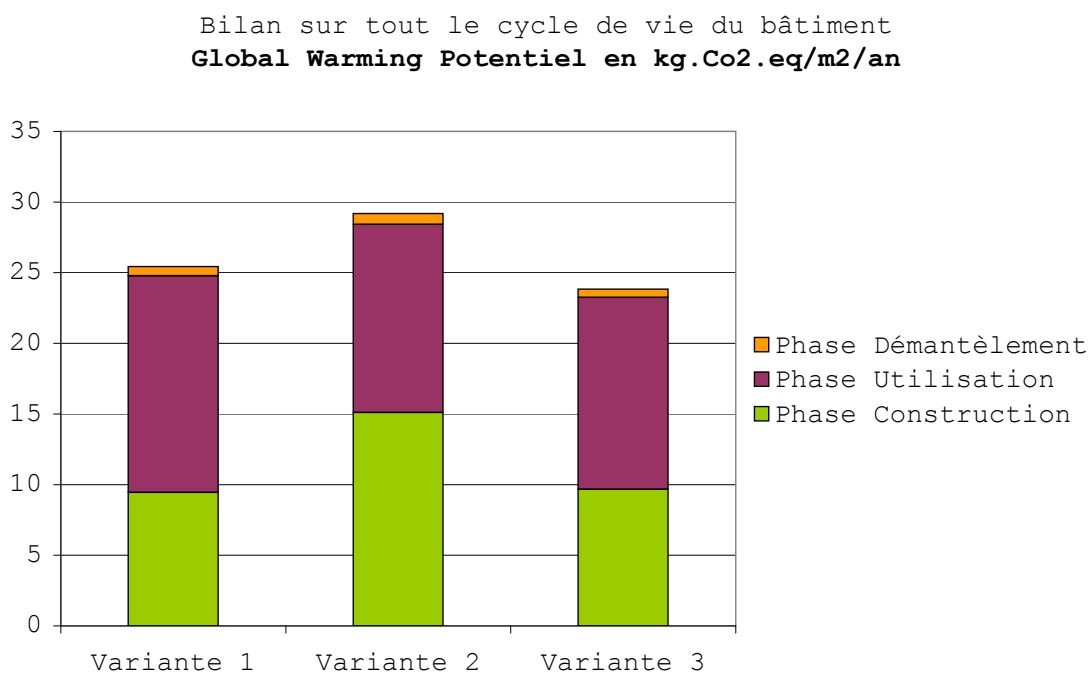


Graphique 3 : Impact sur la consommation d'énergie primaire de la phase de démantèlement

Comme pour la phase de construction, la variante 2 présente un impact supérieur aux 2 autres à cause de la quantité importante de béton des parois moulées. L'acier des armatures n'a plus d'impact dans cette phase, car il est considéré comme entièrement recyclable.

Bilan global

La somme de l'énergie primaire consommée au cours des trois phases est effectuée afin d'obtenir l'impact du bâtiment sur tout son cycle de vie.



Graphique 4 : Comparaison de l'impact global en terme d'énergie primaire

Les valeurs totales sont extrêmement proches (Variante 1 : 871,4 MJ.eq/m2/an ; variante 2 : 871,8 MJ.eq/m2/an ; variante 3 : 839,8 MJ.eq/m2/an). Les économies d'énergie réalisées durant la phase d'exploitation (chauffage, refroidissement et rénovation des matériaux) des variantes enterrées sont compensées par l'impact des matériaux (de construction et d'excavation). L'impact de la variante 3 est sensiblement inférieur. En effet, elle possède des consommations d'énergie raisonnables et les quantités de béton employées sont largement inférieures aux quantités des parois moulées.

La comparaison des besoins de chauffage et de climatisation a montré que la construction souterraine permettait de faire des économies de chauffage et de refroidissement, mais celles-ci restent toutefois relativement limitées. Ceci s'explique probablement par la qualité du bâtiment de surface, de bonne efficacité énergétique ; suffisamment

isolé pour limiter les besoins de chauffage et pas trop pour limiter les besoins de climatisation. L'écart aurait certainement été plus important si la comparaison avait porté sur un bâtiment commercial en fonctionnement de nos jours.

Il s'agit ici d'une étude sur un exemple particulier, qui ne pourrait être généralisée. Le bâtiment commercial en raison de son éclairage artificiel et de sa forte fréquentation augmente des besoins de climatisation et de ventilation. L'augmentation des pertes l'été, dans le cas du bâtiment enterré, ne peut à elle seule suffire. On peut se demander si pour d'autres types de bâtiments, l'influence ne sera pas plus significative. Le climat utilisé pour l'analyse est tempéré. Les résultats pourraient être différents avec des climats plus extrêmes

S'il est assez complexe de se prononcer en faveur ou en défaveur d'une des trois variantes, l'analyse du cycle de vie permet tout de même de tirer quelques enseignements :

- L'éclairage est responsable de plus de 60% de l'impact énergétique global. Un bâtiment en surface éclairé naturellement et dont les apports de chaleur seraient maîtrisés apparaît donc comme étant une solution privilégiée.
- L'impact des matériaux est d'environ 10%, sans prendre en compte les aménagements intérieurs. La construction de surface est souvent travaillée au niveau architectural et les matériaux ne sont pas choisis pour uniquement satisfaire à la fonction de fermeture et de protection. Dans le cas d'extravagance, l'impact des matériaux pourrait augmenter de manière sensible. Ces considérations architecturales ont moins d'influence pour la construction souterraine.

Annexe G

Exemple d'études hédoniques sur la valeur des espaces non-bâti

Les tableaux ci-dessous sont issus de *The Value of Open Space : Evidence from Studies of Nonmarket Benefits*, Mcconnell et Walls (2005)

Table 1. Estimated Values of Open Space Proximity from Selected Hedonic Price Studies

	Marginal value in \$ (as percentage of mean house price)
Models with Dummy Variables ^a	
<i>Lutzenhiser and Netusil (2000)</i>	
Living within 1,500 feet of natural areas	\$10,648 (16.1%)
Living within 1,500 feet of specialty parks/facilities	\$5,657 (8.5%)
Living within 1,500 feet of urban parks	\$1,214 (1.8%)
<i>Thorsnes (2002)</i>	
Backing to forest preserve	\$5,800-\$8,400 (19%-35% of lot price; 2.9%-6.8% of house price)
Models Using Distance	
Living 200 meters (approx. 1 city block) closer to each type of open space	
<i>Anderson and West (2003) ^b</i>	
Developed park	\$458 - city; \$0 - suburbs (0.44% - city)
Special park (state/regional park, natural area, wildlife refuge)	\$600 - city; \$0 - suburbs (0.58% - city)
<i>Shultz and King (2001) ^c</i>	
Large resource (natural) areas	\$ 81
Class II wildlife habitat	\$429
Undeveloped park	-\$206
Regional/district park	-\$ 98
Neighborhood park	-\$568
Class I wildlife habitat	-\$130
<i>Doss and Taff (1996) ^d</i>	
Forested wetland	-\$ 960 (-0.91%)
Emergent-vegetation wetland	\$2,720 (2.6%)
Open-water wetland	\$1,980 (1.9%)
Scrub-shrub wetland	\$2,900 (2.8%)

<i>Mahan et al. (2000)</i> ^e	
Wetland of any type	\$286 (0.23%)
<i>Smith et al. (2002)</i> ^f	
Public open space	-\$553 (-0.33%)
Models using % of surrounding land	
<i>Irwin (2002)</i>	
<i>Conversion of 1 acre of developable pastureland to:</i> ^g	
Conservation land	\$3,307 (1.87%)
Public (nonmilitary) land	\$994 (0.57%)
Forestland	-\$1,424 (-0.82%)
Low-density residential land	-\$1,530 (-0.89%)
<i>Acharya and Bennett (2001)</i>	
<i>1% increase in open space surrounding house:</i>	
In 1,600-m (1-mile) buffer	\$75 (0.06%)
<i>Geoghegan et al. (2003)</i> ^h	
<i>1% increase in open space surrounding house:</i>	
Private ag/forestland in easement status and public parks in 1,600-m buffer	\$0 to \$1,306 (0% to 0.71%)
Private ag/forestland in easement status and public parks in 100-m buffer	\$0 to \$1,106 (0% to 0.05%)
Private ag/forestland (developable) in 1,600-m buffer	-\$599 to (-\$312) (-0.39% to -0.21%)
Private ag/forestland (developable) in 100-m buffer	-\$768 to \$0 (-0.05% to 0%)

<p>^a The reported results for Lutzenhiser and Netusil are from the version of their model that has dummy variables for each open space type and acreage and acreage squared for each type; values in the table are for mean acreage and are 1990 dollars. Ranges for Thorsnes are for the three subdivisions in the study; lots were sold over a range of years and it is unclear from the study whether the house prices were deflated to same year. Values as a percentage of house price for the Thorsnes study are obtained by dividing estimated values from the building lot regression by mean house prices for the three subdivisions (the hedonic price study of house sales was not used here).</p>
<p>^b Anderson and West include open space acreage and distance interacted with each other for each type of open space. The reported values for distance are evaluated at mean acreage; at mean distance, the estimated values for acreage were insignificant and are not reported here.</p>
<p>^c Shultz and King do not report mean house prices; thus we are unable to report the values in percentage terms.</p>
<p>^d Doss and Taff have a quadratic model in distance; values are calculated at mean distance for each type of wetland. Mahan et al. values are calculated at a distance of 1 mile and at mean house price. These authors also estimate the marginal value of increasing the nearest wetland size by 1 acre to be approximately \$24 (evaluated at the mean house price).</p>
<p>^e The mean house price for the 1995-98 years is used to calculate marginal value in terms of percentage of mean house price for the Smith et al. study.</p>
<p>^f Irwin uses percentage of surrounding land in various categories as independent variables in the model (with the percentages summing to 100) and uses her results to calculate the dollar values we present here in the table – the dollar value of <i>converting</i> 1 acre of developable pastureland to each of the other categories.</p>
<p>^g Values for both Irwin and Geoghegan et al. are evaluated at mean house prices. In Geoghegan et al., three counties are estimated with separate models, and thus a range of results is reported. Although both their focus and their methodology are similar, Geoghegan et al.'s results cannot be directly compared with Irwin. Dollar values in this table for the Irwin study are for <i>conversion</i> of an acre of land from developable farmland to the other categories listed (see previous footnote), whereas Geoghegan et al. dollar values are for a 1 percent increase in each category of open space, all else being equal.</p>

Annexe H

Exemple d'évaluation contingente sur les espaces non-bâtis

Le tableau ci-dessous sont issus de *The Value of Open Space : Evidence from Studies of Nonmarket Benefits*, Mcconnell et Walls (2005)

<p align="center">Table 2. Estimated Values for Open Space Services from Stated Preference Studies</p>		
<p align="center">Type of open space and study</p>	<p align="center">Average WTP (2000 dollars)</p>	<p align="center">Measure of value aggregated over households (2000 dollars)</p>
Urban		
<p>Undeveloped land parcel of 5.5 acres <i>Morey et al. 1998 (CV)</i> (1995\$)</p>	<p>\$264/household (one-time payment)</p>	<p>\$1.5 million, total households within a 1- mile radius</p>
Farmland		
<p>Preserve farmland from development in South Carolina <i>Bergstrom et al. 1985 (CV)</i> (1982\$)</p>	<p>\$9-\$16/household/year^a</p>	<p>\$23-\$61/acre</p>
<p>Preserve farmland from development in Alaska <i>Beasley et al. 1998 (CV)</i> (1984\$)</p>	<p>\$126-239/household/yr^b</p>	<p>\$830/acre</p>
<p>Preserve land from development in Eastern Canada <i>Bowker and Didychuk 1994 (CV)</i> (1991\$)</p>	<p>\$62-\$109/household/year^a</p>	<p>\$123/acre 6%-16% of value of farmland</p>
<p>Preserve western ranchland from development in Colorado <i>Rosenberger and Walsh 1997 (CV)</i> (1993\$)</p>	<p>\$86-\$144/household/year^a</p>	
<p>Preserve farmland from development in Suffolk County, New York <i>Johnston et al. 2001 (contingent choice)^c</i> (1995\$)</p>	<p>\$40-\$162/household/acre/year^a</p>	<p>\$1,355/acre/year</p>
Wetlands		
<p>Value of improvements in ecological and water quality benefits (nonrecreational benefits) <i>Lant and Roberts 1990 (CV)</i> (1987\$)</p>	<p>\$56-\$71/year for improvements in wetlands</p>	<p>Recreational and ecological values said to be as high as market value of cropland.</p>

Enquête

Perception des parkings

Collaboration



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

 SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS
FONDS NATIONAL SUISSE
SWISS NATIONAL SCIENCE FOUNDATION



Nachhaltige Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung
Nationales Forschungsprogramm NFP 54
Développement durable de l'environnement construit
Programme national de recherche PNR 54
Sustainable Development of the Built Environment
National Research Programme NRP 54

EPFL ENAC INTER LASUR	Téléphone :	+4121 693 62 29
BP 2242 (Bâtiment BP)	Fax :	+4121 693 38 40
Station 16	Email :	vincent.kaufmann@epfl.ch
CH 1015 Lausanne	Site web :	http://lasur.epfl.ch

Enquête sur la perception des parkings

Madame, Monsieur,

Nous réalisons une enquête sur la perception du parking auquel vous êtes abonné. Cette enquête est motivée par une recherche académique financée par le Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique. Ce projet s'inscrit dans le cadre d'un programme de recherche sur le développement durable de l'environnement construit.

Pour ce faire, nous avons annexé un questionnaire à ce courrier. Ce questionnaire permettra de tester comment vous percevez ce parking et de comprendre ce qui selon vous fait un bon parking.

A propos du questionnaire, sachez tout d'abord que celui-ci restera anonyme. Nous savons par ailleurs que votre temps est précieux, mais sachez aussi que pour nous vos réponses le sont tout autant. Nous avons élaboré ce questionnaire afin qu'il soit le plus concis et le plus agréable possible. Le remplir prend approximativement 15 minutes.

Par avance, nous tenons à vous remercier pour l'attention et le temps que vous accorderez à ce questionnaire. Une enveloppe-réponse affranchie est jointe à ce courrier pour vous permettre de nous retourner vos réponses. **Pour toutes personnes habitants en France, nous vous serions extrêmement reconnaissants de poster vos réponses en Suisse.**

Si vous avez besoin de renseignements supplémentaires ou que les résultats de l'enquête vous intéressent, n'hésitez pas à nous le faire savoir par email à l'adresse suivante pierrick.maire@epfl.ch

En vous remerciant de votre envoi, nous vous prions d'agréer, Madame, Monsieur, nos meilleures salutations.

Prof . Vincent Kaufmann
Directeur du Laboratoire de Sociologie urbaine

Pierrick Maire
Assistant / doctorant

- 1) A quel parking êtes-vous abonné ?
- 2) Dans quel partie du souterrain parkez-vous votre voiture? souterrain surface
- 3) Depuis combien de temps y êtes vous abonné ? (nb d'années).....
- 4) En général, combien de jours par semaine l'utilisez-vous ? (nb jours/semaine)
- 5) Généralement à quelle heure arrivez-vous en voiture au parking ?
- 6) Généralement à quelle heure partez-vous en voiture du parking ?
- 7) Vous parquez votre voiture dans ce parking pour ensuite vous rendre généralement (veuillez cocher)
 - Au travail Dans les commerces Prendre l'avion / le train
 - A la maison Pratiquer un loisir Autre:
- 8) Citez 3 mots pour qualifier votre parking
 - i.
 - ii.
 - iii.
- 9) Que faudrait-il améliorer en priorité à votre parking ?
- 10) Quel est le point fort de votre parking ?
- 11) Veuillez noter votre degré de satisfaction à l'égard de ce parking (cochez un chiffre de 1 à 6)

Pas du tout satisfait **①** **②** **③** **④** **⑤** **⑥** Tout à fait satisfait
- 12) Estimez l'importance des critères de choix suivants lors de votre sélection du parking auquel vous vous êtes abonné. Veuillez cochez de 1 (peu important) à 6 (très important)

	Peu important		Très important			
Prix	①	②	③	④	⑤	⑥
Facilité d'accès en voiture	①	②	③	④	⑤	⑥
Proximité avec le lieu du but de déplacement	①	②	③	④	⑤	⑥
Type de parking (souterrain, air libre, bâtiment)	①	②	③	④	⑤	⑥
Connexion avec des transports publics	①	②	③	④	⑤	⑥
Convivialité du parking	①	②	③	④	⑤	⑥
Autre: (facultatif, mais veuillez la noter)	①	②	③	④	⑤	⑥

13) Notez l'importance des critères de choix suivants lorsque vous choisissez une place de parc.

Veillez cocher de 1 (peu important) à 6 (très important), la note qui vous paraît le plus adéquat

	Peu important			Très important		
Première place trouvée	①	②	③	④	⑤	⑥
Proximité de la sortie à pieds	①	②	③	④	⑤	⑥
Facilité de manoeuvre de parcage	①	②	③	④	⑤	⑥
Autre: (facultatif, mais veuillez la noter)	①	②	③	④	⑤	⑥

14) Est-ce que vous vous sentez en sécurité dans ce parking :

Pas du tout en sécurité ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ Très en sécurité

15) Lorsque vous vous trouvez dans le parking de jour, vous sentez-vous plus en sécurité :

- Lorsqu'il y a beaucoup de monde
- lorsqu'il n'y a que quelques personnes
- Lorsqu'il y a personne
- cela vous est égal

16) Lorsque vous vous trouvez dans le parking de nuit, vous sentez-vous plus en sécurité :

- lorsqu'il y a beaucoup de monde
- lorsqu'il n'y a que quelques personnes
- lorsqu'il y a personne
- cela vous est égal

17) Lorsque vous vous rendez dans le parking êtes-vous

- Seul
- Accompagné

18) Évaluez l'utilité des propositions suivantes veuillez noter de 1 (inutile) à 6 (très utile)

	Inutile					Très utile
Places de parcs réservée aux femmes	①	②	③	④	⑤	⑥
Parking réservé aux femmes	①	②	③	④	⑤	⑥

19) Jugez-vous que le quartier dans lequel se situe votre parking est sûr ?

Pas du tout sûr ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ Très sûr

20) Avec quelle aisance est-ce que vous vous orientez dans votre parking ? Veuillez cocher le numéro de 1 (très difficile de s'orienter) à 6 (très facile de s'orienter)

	Très difficilement			Très facilement		
En voiture	①	②	③	④	⑤	⑥
A pied	①	②	③	④	⑤	⑥

21) Veuillez évaluer l'entrée dans le parking Cocher les numéros de 1 (peu aisé) à 10 (très aisé)

	Peu aisée					Très aisée
En voiture	①	②	③	④	⑤	⑥
A pied	①	②	③	④	⑤	⑥

22) Notez les qualités esthétiques du parking cochez le numéro correspondant à votre jugement

Laid	①	②	③	④	⑤	⑥	Beau
Sombre	①	②	③	④	⑤	⑥	Lumineux
Peu bruyant	①	②	③	④	⑤	⑥	Très Bruyant
Sale	①	②	③	④	⑤	⑥	Propre
Froid	①	②	③	④	⑤	⑥	Chaud

23) Est-ce que des odeurs sont présentes dans votre parking ? oui non

Si oui, lesquelles

Ces odeurs sont-elles

Dérangeante ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ Agréable

24) Trouvez-vous l'architecture de votre parking adaptée à sa fonction

Pas adaptée ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ Très adaptée

25) Si vous pouviez améliorer certains aspects architecturaux de votre parking que feriez-vous ?

.....

.....

26) De la musique est-elle diffusée dans votre parking ? oui non

Si oui, quel impact à cette musique sur vous ?

Pas rassurant	①	②	③	④	⑤	⑥	Très rassurant
Peu divertissant	①	②	③	④	⑤	⑥	Très divertissant
Pas énervant	①	②	③	④	⑤	⑥	Très énervant

27) Jugez-vous la hauteur du parking

Trop basse ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ Trop haute

28) Quel effet cette hauteur a-t-elle sur vous ?

29) Quel est pour vous l'importance de la hauteur des plafonds pour votre confort

Pas importante ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ Très importante

30) La lumière du parking est-elle

Insuffisante ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ Trop importante

Désagréable ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ Très agréable

31) Comment jugez-vous les couleurs de votre parking

Ternes ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ Chaleureuses

32) Pensez vous qu'il soit important de peindre les murs plutôt que de les laisser nus

Peu Important ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ Très important

Pour les prochaines questions nous allons vous interroger sur l'espace souterrain général (toutes activités en souterrain, et non plus seulement le parking souterrain)

33) De votre point de vue d'utilisateur, pensez-vous que les lieux suivants se prêtent à transférer leurs activités en souterrain. Notez de 1 (pas adapté) à 6 (très adapté) en cochant le tableau suivant

	Pas adapté						Très adapté					
Parking	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥
Cinéma	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥
Habitation	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥
Centre commercial	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥
Fitness	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥
Entrepôt	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥
Salle de concert	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥
Patinoire	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥
Bureau	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥
Voies de communication	①	②	③	④	⑤	⑥	①	②	③	④	⑤	⑥

34) Citez 3 mots pour qualifier l'espace souterrain (de manière générale et pas seulement les parkings)

.....
.....
.....

35) Pour vous le souterrain est plutôt (Cochez le nombre qui représente le mieux votre perception du souterrain)

Laid	①	②	③	④	⑤	⑥	Beau
Sombre	①	②	③	④	⑤	⑥	Lumineux
Peu bruyant	①	②	③	④	⑤	⑥	Très Bruyant
Sale	①	②	③	④	⑤	⑥	Propre
Froid	①	②	③	④	⑤	⑥	Chaud

36) Avez-vous peur d'aller dans des lieux souterrains

Pas peur du tout ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ Très peur

37) Evitez-vous de vous parquer en souterrain la journée ? oui non

38) Evitez-vous de vous parquer en souterrain la nuit ? oui non

39) Lorsque vous réfléchissez à un itinéraire de déplacement, évitez-vous ceux qui comportent un passage en souterrain ? oui non

40) Estimez-vous que vous êtes claustrophobe

Pas du tout ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ Beaucoup

Nous allons maintenant vous poser quelques questions socio-démographiques dans un but statistique

41) De quel sexe êtes-vous ? Masculin Féminin

42) Quel âge avez-vous ?

43) Dans quelle commune habitez-vous ?

44) Vivez-vous..... (plusieurs réponses possibles, cochez celles qui sont adéquates)

- Seul En couple Avec un ou des enfants
 Avec vos parents Avec une (ou des autres personnes)

45) Quel est votre profession ?

- (noter) :
 Est à la recherche d'un emploi Est en formation
 Est retraité N'exerce pas d'activité professionnelle rémunérée

46) Combien mesurez-vous ?.....

MERCI BEAUCOUP D'AVOIR REPONDU A CE QUESTIONNAIRE

- 1) De quel sexe êtes-vous ? Masculin Féminin
- 2) Quel âge avez-vous ?
- 3) Quel cursus suivez vous (faculté, section, année)?.....
- 4) Quel est le numéro de la salle de cours dans laquelle vous êtes ?
- 5) Citez 3 mots pour qualifier l'auditoire dans lequel vous vous situez
- i.
- ii.
- iii.
- 6) Que faudrait-il améliorer en priorité à cette auditoire ?
- 7) Quel est le point fort de la salle dans laquelle vous êtes ?
- 8) Veuillez noter votre degré de bien-être dans cette auditoire par rapport aux autres auditoires que vous fréquentez (cochez un chiffre de 1 à 6)
- Peu élevé **①** **②** **③** **④** **⑤** **⑥** Très élevé

- 9) Notez les qualités esthétiques de l'auditoire dans lequel vous vous trouvez (cochez le numéro correspondant à votre jugement)

Laid	①	②	③	④	⑤	⑥	Beau
Sombre	①	②	③	④	⑤	⑥	Lumineux
Peu bruyant	①	②	③	④	⑤	⑥	Très Bruyant
Sale	①	②	③	④	⑤	⑥	Propre
Froid	①	②	③	④	⑤	⑥	Chaleureux

- 10) Pour vous, lorsque vous êtes dans un auditoire, est-ce que la présence de fenêtres est important
- Peu Important **①** **②** **③** **④** **⑤** **⑥** Très important

Pour les prochaines questions nous allons vous interroger sur l'espace souterrain en général (toutes activités en souterrain, et non plus de l'auditoire où vous êtes actuellement)

- 11) Citez 3 mots pour qualifier l'espace souterrain de manière générale (et pas seulement les auditoires)

.....

.....

.....

- 12) Lorsque vous réfléchissez à un itinéraire de déplacement, évitez-vous ceux qui comportent un passage en souterrain ? oui non

- 13) Avez-vous peur d'aller dans des lieux souterrains ?

Pas du tout **①** **②** **③** **④** **⑤** **⑥** Beaucoup

14) De votre point de vue d'utilisateur, pensez-vous que les lieux suivants sont adaptés pour être développer en souterrain. Notez de 1 (pas adapté) à 6 (très adapté) en cochant le tableau suivant

	Pas adapté			Très adapté		
Parking	①	②	③	④	⑤	⑥
Cinéma	①	②	③	④	⑤	⑥
Habitation	①	②	③	④	⑤	⑥
Centre commercial	①	②	③	④	⑤	⑥
Fitness	①	②	③	④	⑤	⑥
Entrepôt	①	②	③	④	⑤	⑥
Salle de cours	①	②	③	④	⑤	⑥
Patinoire	①	②	③	④	⑤	⑥
Bureau	①	②	③	④	⑤	⑥
Voies de communication	①	②	③	④	⑤	⑥

15) Pour vous l'espace souterrain est plutôt (Cochez le nombre qui représente le mieux votre perception du souterrain)

Laid	①	②	③	④	⑤	⑥	Beau
Sombre	①	②	③	④	⑤	⑥	Lumineux
Peu bruyant	①	②	③	④	⑤	⑥	Très Bruyant
Sale	①	②	③	④	⑤	⑥	Propre
Froid	①	②	③	④	⑤	⑥	Chaleureux
Sécurisant	①	②	③	④	⑤	⑥	Effrayant
Fascinant	①	②	③	④	⑤	⑥	Repoussant
Mystérieux	①	②	③	④	⑤	⑥	Banal
Oppressant	①	②	③	④	⑤	⑥	Peu oppressant

16) Estimez-vous que vous êtes claustrophobe

Pas du tout ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ Extrêmement

MERCI BEAUCOUP D'AVOIR REPONDU A CE QUESTIONNAIRE