

Document public

# Etude de faisabilité du Projet National « Ville 10D – Ville d'idées »

Différentes Dimensions pour  
un Développement urbain Durable et Désirable  
Décliné Dans une Dynamique « Dessus / Dessous »

[Titre provisoire]

Septembre 2010



# Etude de faisabilité du Projet National « Ville 10D – Ville d'idées »

Différentes Dimensions pour  
un Développement urbain Durable et Désirable  
Décliné Dans une Dynamique « Dessus / Dessous »

[Titre provisoire]

Septembre 2010

Étude réalisée dans le cadre des opérations  
soutenues par le MEEDDM et le RGCU  
(Réseau Génie Civil et Urbain)

**M. Le Nir, M. Labbé, M. Deffayet, P. Duffaut, M. Gérard, MC. Barré**

Avec la collaboration des

**Laboratoires d'Universités, Etablissements Publics, Collectivités, Aménageurs,  
Entreprises, Bureaux d'études, Experts, intéressés par le Projet National**

Ministère de l'Ecologie, de l'Energie,  
du Développement Durable et de la Mer  
Commissariat Général au Développement Durable  
Direction de la recherche et de l'Innovation  
Service de la Recherche  
Mission Génie Civil et Construction  
Tour Voltaire – 92055 Paris La Défense Cedex 04

Association Française des Tunnels  
et de l'Espace Souterrain  
AFTES c/o SNCF  
17, rue d'Amsterdam  
75008 Paris FRANCE



**Mots clés** : urbanisme souterrain, espace souterrain, urbanisme, aménagement, développement urbain, ville durable.

# Préambule

## Avertissement préalable

Cette étude de faisabilité fait suite à la note d'opportunité d'un Projet National du 6 juillet 2009 rédigée par le COMES<sup>1</sup> de l'AFTES<sup>2</sup> et présentée au RGCU<sup>3</sup> sur le thème :

### La contribution du sous-sol à l'urbanisme durable.

Les résultats de cette note préliminaire ont été jugés suffisamment encourageants pour lancer fin 2009, avec le concours financier du MEEDDM, l'étude de faisabilité d'un Projet National, conjointement entre l'AFTES qui a fourni ses experts et son temps, et l'IREX<sup>4</sup> qui a apporté son assistance au montage du projet.

Ce rapport présente les résultats de la phase de faisabilité.

Par nature, l'étude de faisabilité d'une recherche, fût-elle appliquée, ne peut pas apporter les résultats de la recherche dont elle plaide l'intérêt. Ce qui sera appelé ici « résultats » consiste donc en réflexions, intuitions, hypothèses à vérifier... d'une part, en organisation adaptée d'autre part. On ne doit donc pas exclure que la recherche, chemin faisant, fasse évoluer le schéma forcément préconçu de l'étape de faisabilité, non dans son objectif principal, mais dans ses éléments et leurs poids respectifs ainsi que dans son organisation.

## SOUS-SOL ET ENJEUX URBAINS

Face aux grands enjeux démographiques, énergétiques, écologiques et économiques, de nombreuses réflexions sont conduites sur l'aménagement et l'organisation de la ville de demain.

Après presque un siècle d'expansion spatiale continue des villes facilitée par un coût faible de l'énergie, la densification urbaine réapparaît comme un puissant facteur de préservation des terres agricoles ou des espaces naturels, de la ressource énergétique (mobilité de proximité sans énergie, diminution de longueur des trajets motorisés, réduction des pertes sur la distribution d'électricité et plus généralement sur tous les réseaux,...) et comme un facilitateur de vie urbaine (réduction des déplacements, etc.).

Or, dans le même temps l'accroissement de la population dans le monde ainsi que la modernisation des outils de vie et de travail nécessaires à cette population, conduisent à rechercher continûment de nouveaux espaces, ou plutôt de nouveaux volumes, en site urbain de préférence. Un des défis majeurs pour les pouvoirs publics est donc de réussir la densification des constructions à destinations multiples (habitat, activités, services etc.), tout en garantissant à tous des conditions de vie satisfaisantes.

Le sous-sol, partout présent et encore relativement libre, disponible, accessible, peut aider puissamment à combiner ces objectifs, en devenant un espace privilégié pour la construction de la ville dense.

Or, aujourd'hui, il est ignoré des aménageurs et des urbanistes qui n'y pensent qu'en cas de nécessité absolue (pour les transports publics notamment) et l'utilisent dès lors pour une

<sup>1</sup> COMES : Comité Espace Souterrain

<sup>2</sup> AFTES : Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain

<sup>3</sup> RGCU : Réseau Génie Civil et Urbain du Ministère chargé de l'environnement

<sup>4</sup> IREX : Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil

destination précise sans même percevoir qu'ils en compromettent d'autres qui seraient possibles. Il demeure, d'une façon générale, regardé avec circonspection, voire méfiance par tous les acteurs de la ville, dont la population elle-même.

En réfléchissant à une meilleure utilisation du sous-sol des villes, il vient immédiatement à l'esprit que cette utilisation doit être abordée dans sa globalité, à l'échelle d'un territoire, afin d'éviter que le cumul d'usages cloisonnés n'aboutisse, par exemple, à une multiplication de réseaux inextricables, ou encore à des aménagements bloqués dans leur évolution.

La présente étude suggère donc que le sous-sol, à condition d'être mieux utilisé par les collectivités urbaines grâce à des réflexions d'ensemble, puisse fournir de nouveaux espaces non seulement pour les infrastructures, les besoins logistiques, les services et les réseaux sans prélever pour cela des emprises en surface, mais encore pour certains équipements et espaces publics. Les villes conserveraient ainsi des espaces de grande valeur en sursol, d'ailleurs encore valorisés par les aménagements souterrains qu'ils surplombent.

### **BESOIN D'ETUDE ET FAISABILITE**

L'étude identifie les freins culturels, juridiques, économiques, techniques, psychologiques, réels ou fictifs qui s'opposent à la meilleure utilisation du sous-sol urbain et préalablement à la prise de conscience de son intérêt chez les décideurs et acteurs des villes.

Il ne suffit pas en effet de défendre une intuition. Si elle n'a pas de conséquences dans l'urbanisme d'aujourd'hui malgré sa vraisemblance, cela veut dire que les esprits, pris isolément ou ensemble, résistent à son application, à tort ou à raison. Il faut donc en démontrer la véracité et, pour ce faire, analyser tous les paramètres allégués pour ou contre l'utilisation de l'espace souterrain. Il faut également dans plusieurs questions, discerner les limites en deçà desquelles l'utilisation du sous-sol est justifiée et au-delà desquelles elle ne l'est pas.

Sans prétendre à l'exhaustivité à laquelle la recherche seule pourra arriver, les membres de l'équipe de la présente étude ont discerné les questions suivantes que la recherche devra aborder :

- Quelles fonctions urbaines peuvent être transférées en sous-sol en créant une valeur ajoutée supplémentaire et sous quelles conditions ?
- Quels peuvent être les avantages socio-économiques à placer en regard des suppléments d'investissement des constructions en souterrain ?
- Et plus largement : quelles complémentarités et quelles synergies entre les aménagements de surface et les aménagements en souterrain ?
- Quelles sont les conditions d'une réappropriation par l'homme de l'espace souterrain et celles d'une bonne appropriation sociale de tels aménagements ?
- Et au final, en quoi la prise en compte du potentiel souterrain est-elle une réponse pertinente dans une perspective de développement durable des villes ?

Un aspect fondamental de la méthode à suivre dans la recherche à venir tient aux différentes échelles d'observation. On sait l'importance de celles-ci dans le monde physique et biologique : les lois qui régissent les phénomènes leur sont liées. Il en va de même dans les villes, objets physiques et biologiques. La recherche à venir s'assignera donc d'aller, autant que faire se pourra, de l'échelle d'un projet architectural à celle de l'aménagement d'une ville ou d'un groupement d'agglomérations. On montrera selon toute vraisemblance que si des projets ponctuels peuvent avoir du sens, ce qui serait déjà une réelle avancée, une planification à plus large échelle devient vite indispensable. Au-delà de la vérification de cette intuition, la recherche devra dire aux décideurs urbains, eux-mêmes placés à des points d'observation différents, l'échelle la plus rationnelle et/ou la plus raisonnable quant

aux questions souterraines dans leur cas. On veillera ainsi à ne pas décourager des acteurs différents par un excès d'ambition planificatrice.

## HERITAGES ET PERSPECTIVES

La recherche à venir tirera de nombreux et précieux enseignements des nombreuses recherches passées. Elle aura également avantage à se tenir au contact des recherches pluridisciplinaires déjà engagées en Europe par certains pays comme l'Espagne (programme national « Ciudad 3-dimensional ») et la Suisse (Deep City Project). La présente étude de faisabilité fait l'inventaire de cet acquis potentiel.

On note ici que la question du besoin d'un outil de planification et d'aménagement et du sous-sol dans une complémentarité avec les orientations définies en surface, s'inspirera après examen critique des exemples plus avancés que la France : par exemple Helsinki ou encore la Suisse qui doit prochainement se doter d'une Loi sur l'aménagement du territoire incluant la nécessité d'une approche tridimensionnelle des projets.

Le besoin d'une approche transversale commune, liant des acteurs a conduit à un travail de sensibilisation de partenaires potentiels :

- des collectivités territoriales et des aménageurs ayant des projets urbains ambitieux auxquels le sous-sol pourrait apporter une contribution innovante en permettant de résoudre certaines difficultés,
- des organismes de recherche, utiles pour conduire les réflexions nécessaires à l'utilisation du sous-sol dans ces contextes particuliers,
- des entreprises qui apporteront leur savoir-faire en travaux souterrains d'envergure,
- des experts de nombreuses disciplines.

Dans la même perspective, on notera que plusieurs grands projets d'aménagement de la Région parisienne, suite à la révision du SDRIF<sup>5</sup> (Schéma Directeur de la Région Ile-de-France) et aux initiatives de la Présidence solliciteront fortement le sous-sol de la région. Ces projets ont déjà été dans la présente étude de faisabilité, et seront probablement encore plus au cours de la recherche elle-même, autant d'occasions de vérifier ou d'infirmes les intuitions et hypothèses des chercheurs pour une utilisation optimale de l'espace souterrain. La situation dans le temps de la recherche, pour autant qu'on l'engage assez vite, ne pouvait être meilleure.

## DISPOSITIF ET CONTENU

La programmation de la recherche à venir a été conduite selon une double approche, avec d'une part l'étude des atouts et potentialités du sous-sol, et d'autre part celle des différents freins à son utilisation, le tout suivant une répartition en **quatre thèmes principaux : Connaissance et visibilité - Aspects environnementaux - Aspects socio-économiques - Aspects sociétaux. La réflexion de synthèse sur l'utilisation optimale du sous-sol pour un aménagement amélioré et durable des territoires urbains consistera à mettre en perspective les résultats obtenus dans ces quatre thèmes et à en tirer les enseignements.**

Les conclusions de cette analyse conduite avec des partenaires potentiels à partir de terrains d'application pressentis conduiront la recherche à venir à proposer des connaissances et des outils, ici seulement esquissés, qu'il serait nécessaire de développer pour dépasser les freins observés et permettre aux aménageurs d'intégrer le sous-sol à leur réflexion d'aménagement.

<sup>5</sup> Le Comité Espace Souterrain –COMES- de l'AFTES y a d'ailleurs déjà participé.

# Table des Matières

<b>PREAMBULE.....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCTION – CONTEXTE ET ENJEUX .....</b>	<b>7</b>
1.1. LE FIL DE LA DEMARCHE EN COURS .....	7
1.2. L'INSCRIPTION DE LA DEMARCHE DANS L'ETAT DE L'ART ET SON ORIGINALITE PROPRE .....	7
1.2.1. <i>L'état de l'art.....</i>	7
1.2.2. <i>Originalité propre à la démarche « Ville 10D » .....</i>	12
1.3. LE PRINCIPE DE LA DOUBLE ECHELLE .....	13
1.4. LE PRINCIPE D'UNE RECHERCHE MULTICRITERES .....	14
1.5. L'INTRODUCTION PLUS FORMELLE DE LA DIMENSION PSYCHO-SOCIALE .....	14
<b>2. LA GENESE DU PROJET DE RECHERCHE .....</b>	<b>16</b>
2.1. LE SAVOIR FONDATEUR .....	16
2.1.1. <i>L'exemple de Paris.....</i>	16
2.1.2. <i>Chicago : la naissance de l'urbanisme souterrain.....</i>	17
2.1.3. <i>Les indéniables atouts du sous-sol... ..</i>	17
2.1.4. <i>... et ses contraintes particulières.....</i>	19
2.1.5. <i>Une accumulation professionnelle de plusieurs années .....</i>	20
2.2. LA MANIFESTATION D'INTERET DE NOMBREUX ET DIFFERENTS ACTEURS .....	20
2.2.1 <i>Les partenaires approchés.....</i>	20
2.2.2 <i>Leurs attentes .....</i>	21
<b>3. LA CONSTRUCTION DE LA PROBLEMATIQUE ET DU DISPOSITIF DE RECHERCHE.....</b>	<b>22</b>
3.1. DES INTUITIONS ET UNE QUESTION .....	22
3.2. DES OBJECTIFS DE RESULTATS.....	24
3.3. DES HYPOTHESES DE TRAVAIL A VERIFIER .....	24
3.3.1. <i>Sur les caractéristiques urbaines types .....</i>	25
3.3.2. <i>Sur l'approche théorique multi-thématique .....</i>	25
3.3.3. <i>Sur la synergie surface / « sous-face ».....</i>	25
3.4. UNE APPROCHE MATRICIELLE .....	25
3.4.1. <i>L'entrée empirique par « Caractéristiques Urbaines Types ».....</i>	26
3.4.2. <i>L'entrée théorique par « Thématiques » .....</i>	27
3.5. UNE MONTEE EN GENERALITE VERS UNE NOUVELLE DOCTRINE URBAINE .....	27
<b>4. PRE-PROGRAMME DE RECHERCHE ET BUDGET .....</b>	<b>29</b>
4.1. PRESENTATION D'UN PRE-PROGRAMME .....	29
4.2. PRESENTATION D'UN BUDGET .....	40
4.3. PRESENTATION DE PARTENAIRES .....	42
<b>ANNEXE 1 – PRESENTATION DETAILLEE DES ATTENTES EXPRIMEES PAR LES ACTEURS .....</b>	<b>44</b>
<b>ANNEXE 2 - GRILLE DE QUESTIONNEMENTS THEMATIQUES : DIMENSIONS COGNITIVE, ENVIRONNEMENTALE, SOCIO-ECONOMIQUE ET SOCIETALE....</b>	<b>50</b>
<b>ANNEXE 3 – BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>55</b>

# 1. INTRODUCTION – CONTEXTE ET ENJEUX

## 1.1. LE FIL DE LA DEMARCHE EN COURS

Le présent rapport d'étude de faisabilité fait suite à la note d'opportunité réalisée en date du 06 juillet 2009 par le COMES de l'AFTES et présentée le 02 septembre 2009 au RGPU. Outre les encouragements à poursuivre nos travaux<sup>6</sup>, cette présentation avait fait l'objet, de la part du RGPU, de certaines observations qui ont amené le groupe de travail à procéder à certains ajustements.

Il en résulte aujourd'hui une nouvelle étape de réflexion et de préparation de partenariat susceptible d'aboutir au lancement d'un Projet National portant sur l'**utilisation de l'espace souterrain pour un développement urbain durable**. Dans cette étude de faisabilité, nous nous sommes attaché à définir un sujet et un dispositif de recherche susceptible de contribuer aux enjeux de l'aménagement urbain durable. Ainsi, les membres du groupe de travail, partenaires scientifiques et professionnels de l'aménagement urbain, s'accordent-ils sur le souhait d'explorer la question centrale suivante : « **l'utilisation optimisée de l'espace souterrain peut-elle contribuer à la mise en œuvre d'un urbanisme durable?** ».

Profondément engagée sur cette réflexion depuis plusieurs années, l'Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain (AFTES - <http://www.aftes.asso.fr>) avec l'appui de l'Institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil (IREX - <http://www.irex.asso.fr>), a engagé cette démarche qui vise à explorer de manière globale les conditions de l'utilisation de l'espace souterrain dans la problématique de la ville dense, durable et humainement acceptable. Les conclusions de cette étude de faisabilité réalisée en partenariat avec des maîtres d'ouvrage, des aménageurs, des chercheurs, des entreprises et des experts des quatre thèmes retenus, conduiront à proposer un ouvrage didactique à l'attention des aménageurs et décideurs qu'il serait nécessaire de développer pour dépasser ces freins. Gageons qu'il sera ici possible d'en valider la faisabilité.

## 1.2. L'INSCRIPTION DE LA DEMARCHE DANS L'ETAT DE L'ART ET SON ORIGINALITE PROPRE

Si « sous-sol et vie urbaine » vont de pair depuis de très nombreuses années dans certains pays, il est important de noter que différentes études ont récemment investi ce sujet. GIS Sol Urbain, Clé de Sol, Riviera, Deep City Project en Suisse, le programme national « Ciudad 3-dimensional » et D2SOU sont la preuve de l'intérêt qu'éveille actuellement la question du sous-sol. En voici un aperçu, présenté par ordre chronologique.

### 1.2.1. L'état de l'art

#### **GECUS, Groupe d'Etude du Centre Urbain Souterrain, puis Groupe d'Etude et de Coordination de l'Urbanisme Souterrain**

Le GECUS est un mouvement fondé en 1933, créé et principalement animé par Edouard UTUDJIAN architecte et urbaniste. Il prit fin à la mort de son fondateur en 1975. Ce groupe a eu une portée mondiale grâce au Comité Permanent International des Techniques et de l'Urbanisme Souterrains (CPITUS). Les GECUS étudiait spécialement les principes d'une architecture souterraine en démontrant qu'une coordination des différents travaux

<sup>6</sup> ayant donné lieu à la convention 09 MGC S018

souterrains pouvait déboucher sur la naissance d'un véritable urbanisme souterrain. Ainsi, le GECUS s'attacha d'abord à des objectifs limités en préconisant, par exemple, la construction en sous-sol des cinémas, parkings et ouvrages pour la protection civile. Puis, par la voix d'UTUDJIAN, le groupe reconsidéra entièrement le principe de la ville et préconisa une cité à trois dimensions. Le GECUS a compté près de 400 membres dans le monde entier : ingénieurs, architectes, géologues, juristes, biologistes, chimistes, géotechniciens etc... Les réflexions de ce groupe ont été diffusées à travers une revue parue régulièrement de 1933 à 1975, des congrès à partir de 1937 et symposiums internationaux (6 congrès, le premier à Paris lors de l'exposition internationale qui comportait une section consacrée à l'urbanisme souterrain), des publications diverses, des actions d'enseignements et des propositions concrètes d'aménagement et de gestion du sous-sol.

### « GIS Sol Urbain », Groupement d'Intérêt Scientifique sur le Sol Urbain

Ce projet, lancé en 1998, a été soutenu par le CNRS et le ministère de l'Éducation nationale, de la Recherche et de la Technologie, incité par les ministères de l'Équipement, des Transports et du Logement, celui de la Culture et de la Communication, et de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.

Cette action tente de caractériser le sol urbain (surface et remblais qui ont recouvert et transformé le sol original) et d'analyser son évolution temporelle à travers une approche multidisciplinaire. En effet, l'objectif du GIS est d'associer différents domaines de recherche sur cet élément de réflexion : support de la végétation, de fondations, de réseaux enterrés, et autres ouvrages souterrains, porteur de traces du passé ou de pollutions récentes. Ainsi, quinze équipes de recherches réunissant physiciens, mécaniciens, chimistes, médecins, biologistes, pédologues, hydrologues, archéologues, urbanistes, historiens se sont rassemblées.

Les laboratoires ont travaillé en collaboration sur quatre projets verticaux : la qualité des sols, le vieillissement et la maintenance des ouvrages, la végétation urbaine, les sols anciens et le patrimoine, et participé collectivement aux projets transversaux : caractérisation spatiale et évolution temporelle. L'ouvrage, « Le sol urbain » paru en 1999 rend compte de cette collaboration. On peut également citer le doctorat de Mlle Amélie Laurent qui a utilisé des techniques issues de la géotechnique (pénétrromètre léger) pour identifier le potentiel archéologique à l'échelle de la ville. À ce jour, le GIS Sol urbain n'a plus d'activité.

André GUILLERME, professeur au CNAM, fut directeur du GIS sol urbain du CNRS et du Centre d'histoire des techniques (CDHT, laboratoire commun au CNAM et à l'École des Hautes Etudes en Sciences Sociales).

### CLE DE SOL

En 1995 un groupe de travail mené par Michel Gérard, au sein de l'association RESEAU (absorbée depuis par l'ASTEE) pressent l'intérêt, et souhaite en faire la démonstration, du concept de galeries communes à l'ensemble des opérateurs de services urbains en réseaux, par opposition aux pratiques actuelles où chaque opérateur a pris l'habitude d'enfouir ses ouvrages séparément. Il aboutit, 4 ans plus tard, en 1999, à un Projet National rassemblant près de 150 personnes appartenant à des associations, des villes, des entreprises, et divers spécialistes, sous quatre chapitres principaux : état de l'art (aspects techniques), aspects cindyniques (problèmes de sécurité préventive et curative), aspects socio-économiques, aspects financiers, juridiques et réglementaires. La question impliquait dès le départ que la recherche fût comparative : on ne pouvait en effet faire l'économie d'examiner les réseaux enfouis sur tous les points examinés.

Le projet a donné lieu en 2004 à la publication d'un guide en trois chapitres, le premier, très court, à l'intention des maires et conseils municipaux, le deuxième à l'intention des directeurs des services des villes, le troisième, très renseigné et donc volumineux, à destination de toutes les catégories d'experts et financiers amenés à intervenir. Les résultats de la recherche sont entièrement contenus, dans un CDROM, alors que le volume papier ne contient que les deux premiers chapitres et une présentation du troisième. Ce guide fournit enfin en annexes beaucoup d'exemples étrangers, mais aussi des études poussées de cas pratiques d'application en France.

La recherche a établi notamment que :

1. Une galerie commune est souvent (mais pas toujours) plus rentable pour la collectivité nationale que l'ensemble des réseaux qu'elle contient en mode enfoui. Une étude comparative coûts/avantages s'impose dans chaque cas (qui est toujours un prototype).
2. Elle devient acceptable par toutes les parties si chacune y trouve la même rentabilité supplémentaire (le mode enfoui est déjà au départ très rentable pour chaque opérateur).
3. Elle peut bénéficier de circonstances particulières favorables comme lors de la réalisation d'un quartier neuf, la rénovation d'un quartier, la requalification de quartiers historiques, piétonniers etc. ou encore l'arrivée d'un réseau lourd (par exemple le chauffage urbain) ou très lourd (par exemple un tramway lorsque la fondation de la plateforme impose un réaménagement des réseaux enterrés).
4. Quelles que soient les circonstances, la galerie multi-réseaux n'a de chance d'être réalisée que si elle est étudiée et proposée en même temps que les ouvrages auxquels on l'associe.

Alors que plusieurs pays (Tchéquie, Finlande) ont fait de réelles avancées, voire réalisé de grandes opérations mettant en valeur cet usage du sous-sol urbain, la démonstration apportée par ce Projet National et l'engouement qu'il a suscité invitent à aller encore plus loin et, à l'échelle supérieure, envisager une plus large implication de l'espace souterrain dans la planification et l'aménagement de la ville durable.

### **« GIS SOL », pour Groupement d'intérêt scientifique sur le sol**

Le Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (GIS Sol) a été créé en France en 2001. Il est toujours actif. Il regroupe le Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche, le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), l'Institut de recherche pour le développement (IRD) et l'Inventaire Forestier National (IFN).

L'objectif du GIS Sol est de constituer et de gérer un système d'information sur les sols de France, prenant en compte leur distribution spatiale, leurs propriétés et l'évolution de leurs qualités. Ce système d'information sur les sols devra répondre à échéance réaliste aux besoins régionaux et nationaux, dans le contexte européen.

Le GIS Sol a pour mission d'organiser la concertation et la coopération entre ses membres dans le but de concevoir, orienter, coordonner, et de s'assurer que se réalisent dans les meilleures conditions, des actions d'inventaire géographique des sols, de suivi opérationnel de leurs qualités, de création et de gestion d'un système d'information répondant aux demandes des pouvoirs publics et de la société.

Le GIS s'assure en particulier de la valorisation des données et résultats obtenus par ces actions et de la coordination avec les programmes européens de même nature. Ces derniers sont menés par le Réseau du Bureau Européen des Sols localisé au Centre Commun de Recherche de la Commission Européenne à Ispra (Italie) et l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE) située à Copenhague, au Danemark.

Le site internet dédié, <http://www.gissol.fr/gissol/gissol.php> donne l'accès à différentes informations sur les actions du groupement ainsi qu'à différentes bases de données sur les sols.

### **« RIVIERA », Risques en Ville : Equipements, Réseaux, Archéologie**

Le projet RIVIERA, initié en 2006 par le BRGM, l'Université de Bordeaux, la Mairie de Pessac, le Service Régional d'Archéologie et la Lyonnaise des Eaux, s'est déroulé sur quatre ans et est aujourd'hui achevé. Labellisé par le RGCU, il a bénéficié d'un soutien du Ministère de la Recherche.

L'objectif du projet était de mettre au point un outil intégré d'aide à la gestion de l'aménagement urbain pour évaluer les conditions géologiques, géotechniques, hydrogéologique ou archéologiques lors de travaux et capitaliser les expériences. Ce travail, associant scientifiques et praticiens de la gestion urbaine a permis d'aboutir à la réalisation d'une base de connaissance (modèles 3D géologique, géotechnique, hydrogéologique) du sous-sol sur l'agglomération de Bordeaux, et au développement de prototypes de trois « applications-métiers » : l'urbanisme opérationnel, la sauvegarde du patrimoine archéologique et la gestion des réseaux d'assainissement.

Les résultats du projet RIVIERA ont fait l'objet de dix publications. Ce projet a été co-dirigé par Pierre THIERRY (BRGM) et Denys BREYSSSE (Université de Bordeaux 1 - Centre de Développement des Géosciences Appliquées (CDGA)).

### **« DEEP CITY PROJECT »**

Le projet Deep City est une recherche menée pour le Fonds national de la recherche scientifique de Suisse. Ce projet qui a montré sa spécificité et son innovation dans le domaine de l'urbanisme, propose une méthodologie qui doit conduire à un aménagement du territoire à trois dimensions. D'abord expérimentée sur Genève, puis sur d'autres villes suisses, cette méthodologie générale peut être appliquée à de nombreuses cités dans le monde et l'est actuellement sur des villes chinoises.

Le projet Deep City a la particularité de traiter le sous-sol comme une ressource à usages multiples, servant aussi bien à la construction souterraine, qu'à la valorisation des géomatériaux excavés, à la géothermie et à la production d'eau potable, ces quatre ressources étant identifiées comme les principales du sous-sol urbain. L'approche planifiée multi-usages du projet Deep City permet d'assurer la compatibilité, voire de développer des synergies entre ces différents usages, de prévenir les conflits et de garantir une exploitabilité à long terme.

Considérer le sous-sol de manière holistique permet de développer des synergies entre ses différents usages et de prévenir les conflits. La démarche sectorielle qui prévaut encore aujourd'hui n'autorise pas cette synthèse et conduit à un gaspillage difficilement réparable du sous-sol et inhibe un développement harmonieux de la ville en surface. Le projet Deep City propose une méthodologie basée sur un changement de paradigme: il tend à abandonner une gestion "des besoins aux ressources" au profit d'une gestion "des ressources aux

besoins", seule compatible avec un développement durable. Pour mettre en place cette nouvelle gestion, il faut introduire un aménagement du territoire à trois dimensions et non plus à deux comme aujourd'hui.

Ainsi, les objectifs du projet ont été multiples et complémentaires :

- Analyser les succès et les échecs des villes ayant réalisé un développement important des ressources de leur sous-sol ;
- Évaluer dans le contexte suisse, les freins et moteurs du développement des ressources du sous-sol en tenant compte de facteurs sociologiques, économiques, légaux, politiques et urbanistiques ;
- Développer une compréhension des interactions entre les ressources du sous-sol urbain dans une perspective systémique (comprendre le système sous-sol et non les ressources de manière indépendante) ;
- Développer une démarche pour intégrer les potentialités et les enjeux de valorisation des ressources du sous-sol à l'aménagement du territoire.

Le projet Deep City a inclu deux recherches doctorales menées de 2009 à 2010. L'une a porté sur la méthodologie de mise en oeuvre de l'approche par les usages multiples (Blunier, 2009). L'autre a porté sur l'axe de recherche acceptabilité (Maire, 2010 (à paraître)). En complément à ces deux recherches doctorales, d'autres thématiques ont été abordées, notamment les questions d'urbanisme et d'aménagement du territoire ont fait l'objet d'un axe de recherche spécifique. Cet aspect a été piloté par les partenaires de la CEAT (Communauté d'Études pour l'Aménagement du Territoire).

### « D2SOU », Développement Durable et SOI Urbain

C'est dans le cadre de l'appel à projets de l'Agence Nationale de la Recherche « Villes Durables » que FONDATERRA (Fondation Européenne pour des Territoires Durables) a déposé le projet D2SOU en partenariat avec le BRGM, le GHYMAC Bordeaux, le C3ED, Geocarta et le Club D2C, ainsi que les communes de Pessac et d'Achères avec l'appui de la SIDEC. Le projet D2SOU, labellisé par le pôle ADVANCITY est en cours de démarrage (janvier 2010).

Le projet D2SOU entend développer les bases nécessaires à la prise en compte intégrée du sol et du sous-sol dans le développement urbain en tant que composante du développement durable en associant des responsables urbains (collectivités, aménageurs) aux travaux des scientifiques (sciences humaines et sciences de la terre).

A partir de l'analyse des critères de soutenabilité à différentes échelles spatiales et temporelles, il s'agit d'établir une architecture organisant les indicateurs pertinents. Le croisement avec les indicateurs déjà identifiés et les méthodes et outils de connaissance du sous-sol doit aboutir à un modèle conceptuel permettant la représentation de la problématique du sous-sol vis-à-vis des différents types de projet.

Le projet D2SOU se traduira par le développement d'outils qualitatif et quantitatif d'aide à la délibération et à la décision. Ces outils doivent permettre d'emboîter les indicateurs pertinents d'une part par rapport aux différentes échelles spatiales qui vont du territoire (centaine de km<sup>2</sup>) à l'urbanisme opérationnel (ZAC de quelques dizaines d'ha) et au chantier (milliers de m<sup>2</sup>) et, d'autre part, par rapport aux différentes échelles de temps qui vont du temps géologique (milliers d'années) au temps de l'urbanisme (dizaine d'années) et aux phases du projet (années). Ces deux outils seront expérimentés sur deux sites tests, l'un à l'échelle territoriale (analyse de l'urbanisation de l'axe Bordeaux- Pessac-Arcachon) l'autre à l'échelle de la commune (projets d'urbanisme sur Achères en Région Parisienne). Cette phase d'expérimentation permettra, par le retour d'expérience, de réaliser un recalibrage des

grilles d'analyse.

À l'issue de cette étude « D2SOU », les livrables disponibles seront :

- un outil qualitatif d'aide à la délibération disponible sur le WEB,
- un outil quantitatif d'aide à la décision à destination des responsables,
- l'identification de méthodes de reconnaissance du sol et du sous-sol pertinentes,
- des éléments pour la mise en place de formations auprès des responsables.

#### **À noter (les projets à venir)**

D'autres projets sont en cours de programmation, notamment DEEP City 3D et « Espace Curien ». Le premier traite de l'intégration des infrastructures anthropiques dans les modèles géologiques 3D (projet Carnot - France / Fraunhofer Allemagne). Le second est destiné à étudier les moyens de téléconférence entre équipes dispersées multi-thématiques aptes à la modélisation en ligne et l'interopérabilité de données d'origine diverses, sur des objets géologiques et des structures projetées, pour créer un lien opérationnel entre les spécialistes du sous-sol et ceux du sur-sol. Le projet doit débuter en 2011 et durer 3 ans. (Directeur de projet : BRGM - Pierre Thierry).

Autre projet devant démarrer très prochainement (fin 2010), le projet « INCERDD » pour Incertitudes et Développement Durable. Ce projet, retenu par le programme Villes Durables, vise le développement d'une méthodologie et d'un ensemble de méthodes permettant d'aider à la prise de décisions en cherchant à expliciter l'influence des incertitudes existantes à différentes échelles du territoire. Ce projet cherche à évaluer les conséquences d'une décision selon différents critères (économiques, techniques, sociaux, environnementaux) et selon des approches probabilistes et possibilistes.

### **1.2.2. Originalité propre à la démarche « Ville 10D »**

L'étude que nous proposons de mener va donc au-delà des études pluridisciplinaires qui sont déjà engagées en France et en Europe. Elle pose la question du besoin d'une démarche et d'outils de planification et d'aménagement du sous-sol dans une complémentarité avec les orientations définies en surface, à l'image d'Helsinki ou encore de la Suisse qui doit prochainement se doter d'une Loi sur l'aménagement du territoire incluant la nécessité d'une approche tridimensionnelle des projets. La révision du SDRIF (Schéma Directeur de la Région Ile-de-France) doit être l'occasion d'une plus grande participation du sous-sol dans les grands projets d'aménagement de la Région parisienne.

L'étude se propose d'examiner les enjeux et les conditions d'une meilleure utilisation de l'espace souterrain pour contredire l'apparente pénurie d'espace urbain et face à la nécessité d'un schéma de développement véritablement durable. Voir de quelle manière le sous-sol peut être un élément important dans le développement de la ville de demain, qui se veut plus compacte et plus économe d'espace et de ressources, et engager un partenariat pour traiter des sujets de recherche qui lèveront les freins à ce développement, sont les principaux enjeux de la présente étude.

Si la densité urbaine semble être un puissant facteur d'économies (mobilité de proximité sans énergie, diminution de longueur des trajets motorisés, diminution des réseaux) et si l'exode rural et l'urbanisation de la population dans le monde obligent aussi à trouver de nouveaux espaces en site urbain, le maintien de conditions de vie agréables dans ces zones urbaines compactes et la nécessité de poursuivre le développement économique et la capacité d'adaptation des zones urbaines, constituent des défis majeurs pour les pouvoirs publics.

On peut penser que, parce qu'il est partout et encore relativement libre, disponible, accessible, le sous-sol peut devenir un espace privilégié pour la construction de la ville dense. Étant partout, il permet d'intervenir en tout point et ainsi de donner sa cohérence à la ville, à condition de penser, d'une part, son utilisation dans sa globalité afin d'éviter que des usages cumulés n'aboutissent, par exemple, à une multiplication de réseaux inextricables, et, d'autre part, de penser son aménagement à l'échelle d'un territoire. Le sous-sol peut fournir de nouveaux espaces pour les infrastructures, les besoins logistiques, les services et les réseaux sans nécessiter de prélever des emprises de grande valeur en surface. Les villes conserveraient ainsi de précieux espaces en « sur-sol », ces espaces étant par ailleurs valorisés par les aménagements souterrains qu'ils surplombent.

En cherchant à explorer la question de la capacité du sous-sol à contribuer à répondre aux enjeux urbains de compacité, d'intensité, de circuits courts, de qualité urbaine etc... le projet « Ville 10D » s'inscrit à la fois pleinement dans les thématiques abordées par les études précitées tout en ayant **une entrée de recherche originale : celle de l'interrelation surface / sous-face pour produire une nouvelle organisation spatiale des fonctions urbaines qui puisse offrir une alternative à l'étalement urbain toujours croissant.**

Cette orientation particulière confère à ce projet de recherche les caractéristiques d'une démarche exploratoire et opérationnelle susceptible d'aboutir à la définition de nouvelles modalités d'aménagement pour un développement urbain durable. L'urbanisme souterrain, dans les conditions d'opportunité et de faisabilité multicritère qui pourront ainsi être mises en exergue, peut ouvrir de nouvelles perspectives d'avenir pour les zones urbaines. C'est ce à quoi ce projet se propose de répondre.

### 1.3. LE PRINCIPE DE LA DOUBLE ECHELLE

L'objectif de « Ville 10D », même s'il inclut les attentes de maîtres d'ouvrage et celles d'opérateurs de l'aménagement, n'a pas pour autant une vocation purement opérationnelle. L'échelle du projet sera appréhendée, par souci d'ancrage territorial et de véracité des propos, dans une approche articulée avec l'échelle plus vaste de l'aménagement global du territoire concerné. Il s'agit d'étudier les mécanismes à l'œuvre et d'évaluer « l'utilité » qu'un aménagement souterrain peut apporter à la dynamique globale d'un territoire.

A titre d'exemple, même si le projet est détaillé plus avant (cf. 4- Dispositif de recherche), le projet de recherche prévoit de réaliser entre autres l'étude d'opportunité et de faisabilité de l'implantation de fonctions urbaines supports (stockage, logistique, circulations...) dans les profondeurs du plateau d'Orly-Rungis. Bien que de première importance, cette étude ne se limitera pourtant pas aux seules questions des caractéristiques géotechniques du sous-sol ou aux conditions technico-économiques de réalisation de ces aménagements. Il s'agira aussi de mettre à jour l'impact de ce type de réalisation sur l'ensemble du territoire de l'Opération d'Intérêt National « Orly – Rungis – Seine Amont » (ORSA) : réorganisation des circulations de marchandises, limitation de l'extension croissante des zones d'activité en surface, création de nouveaux espaces libres qui pourraient alors être dédiés au confort et à la qualité urbaine, réutilisation directe des géomatériaux extraits pour la Grande Opération d'urbanisme prévue au Projet stratégique directeur de l'EPA-ORSA...

Savoir articuler la double échelle « projet souterrain » et « aménagement global », envisager le souterrain comme ressource de l'ensemble d'un système urbain, est garant d'une démarche nationale qui cherche à évaluer *a priori* le degré d'intérêt général qu'offrent ces perspectives innovantes.

## 1.4. LE PRINCIPE D'UNE RECHERCHE MULTICRITERES

Ce qui peut paraître évident suscite de nombreuses questions : des freins culturels, juridiques, économiques ou techniques, réels ou fictifs s'opposent à cette prise de conscience. Quel accès aux données du sous-sol ? Quels sont les impacts potentiels de décisions inopportunes prises en raison d'une information incomplète et quelles sont les méthodes à mettre en œuvre pour y parer ? Quelles fonctions urbaines peuvent être transférées en sous-sol en créant une valeur ajoutée supplémentaire ? A quelles conditions les aménagements souterrains conduisent-ils à une ville durable et quels en sont les indicateurs ? Quels peuvent être les équilibres économiques liés aux suppléments d'investissement de la construction en souterrain ? Quelle complémentarité et quelle synergie entre les aménagements de surface et les aménagements en souterrain ? Quelles sont les conditions d'une réappropriation par l'homme de l'espace souterrain ou d'une bonne acceptabilité sociale de tels aménagements.

Autant de questions qui cherchent à faire la démonstration du sous-sol comme véritable ressource urbaine et à explorer l'intérêt d'un développement dynamique de l'usage de l'espace souterrain pour un développement urbain durable. « Ville 10D » est donc basée sur le principe d'une recherche de faisabilité globale, du plus technique au plus sociétale.

Ainsi, la grille de questionnement retenue a évolué pour combiner aujourd'hui quatre dimensions intimement complémentaires :

- La dimension cognitive : connaître et rendre accessibles aux aménageurs les informations relatives aux caractéristiques du sous-sol, et se donner les moyens de visualiser le potentiel de ressources et de projets qu'il représente,
- La dimension environnementale : appréhender les conditions de faisabilité, les impacts sur le milieu environnant concerné et sur l'ensemble du territoire qui accueille un projet souterrain,
- La dimension économique : cerner les conditions pour atteindre des équilibres économiques susceptibles de permettre des réalisations d'importance,
- La dimension sociétale : aboutir à une compréhension des ressorts de l'appropriation sociale de ce type d'aménagement, tant d'un point de vue psycho-social que cindynique.

Par la combinaison de ces quatre dimensions, il s'agit finalement de se donner les moyens d'une évaluation complète de ce potentiel et des réalisations selon les indicateurs du développement durable.

## 1.5. L'INTRODUCTION PLUS FORMELLE DE LA DIMENSION PSYCHO-SOCIALE

Depuis la note d'opportunité et tenant compte des remarques exprimées par le RGCU il a été choisi de renforcer la dimension psycho-sociale de manière plus formelle pour traiter des questions d'appropriation sociale.

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

d'urgence...). Mais ces états d'inconfort sont-ils propres aux espaces souterrains ou dépendent-ils de la qualité de traitement de ces espaces en regard des besoins psychophysologiques de l'homme ?

Cette réaction traduit assez bien d'une part le rapport psychologique complexe que l'homme entretient avec le sous-sol, et d'autre part la méconnaissance de la nature des réalisations qui peuvent y être entreprises. C'est pourquoi l'aménagement d'espaces souterrains ne peut être abordé sans chercher à comprendre les perceptions, les attitudes et les comportements des individus dans ces espaces. Ce Projet National peut être l'occasion d'étudier sur des espaces souterrains existants, les manières de voir, de sentir et ressentir l'espace enterré mais aussi d'observer comment les personnes l'imaginent, l'explorent et le pratiquent<sup>7</sup>. Il s'agit en effet de répondre à certaines questions, notamment : Comment aider les usagers ? Comment favoriser l'appropriation des lieux souterrains ? Comment adapter l'environnement aux usagers ? L'intérêt de ces réflexions est de remédier aux effets et comportements négatifs des espaces fermés souterrains et de permettre aux usagers de s'y sentir en confiance. Il s'agit aussi d'illustrer les possibilités d'aménagements et de projets en sous-sol, en dépassant ainsi, par de nouvelles perspectives, les seuls exemples que les usagers connaissent aujourd'hui et dans lesquels ils ne sentent pas très bien.

Il ne faut pas oublier que ces espaces peuvent également présenter des avantages : calme, inertie thermique, résistance aux secousses et être porteurs de sens positif : protection, sécurité, mais aussi sens du mystère et de l'aventure...

L'approche de la relation de l'homme avec le souterrain est une partie importante du projet, elle a pour objectifs d'identifier les fondamentaux qui peuvent expliquer les réactions constatées, mais aussi de proposer des pistes de travail pour améliorer l'aménagement des espaces souterrains existants (stations de métro, galeries de passage, parkings, centres commerciaux,...). La comparaison avec le ressenti des personnes dans les milieux confinés de surface sera d'ailleurs très intéressante.

L'enjeu des travaux sera de démontrer comment l'architecture peut rendre ces lieux agréables et même attractifs.

Il faut noter que le corpus réglementaire et technique est très léger en la matière. Les cas d'études seraient sans doute l'occasion d'alimenter ce corpus, notamment en termes de normes et règles de l'art (luminosité, ventilation, sonorité, accessibilité) et en terme du droit de travail (nombre d'heures par semaine passé en souterrain, congés, suivi médical...)

Il faudra veiller à distinguer les personnes travaillant dans les espaces souterrains de celles qui les fréquentent occasionnellement. Les premières étant les plus à même d'en subir des désagréments. Par ailleurs, le type de structures souterraines conditionnera les aménagements à prévoir. Les différents espaces de circulation (routes, voies ferrées, métro) ne seront pas pensés de la même façon, de même que les différents équipements possibles (usines, bureaux, écoles, hôpitaux).

Parmi les investigations envisagées, on peut imaginer la conduite d'étude comparée des effets physiologiques et psychologiques des espaces souterrains et de surface, la préconisation d'une certaine conception d'espaces souterrains, la réalisation d'outils de sensibilisation et d'information à destination des usagers ou encore des suggestions pour alimenter le droit du travail en lieux souterrains

---

<sup>7</sup> Diverses méthodes sociologiques existent : l'enquête (questionnaire, entretien), l'observation, les études quantitatives et qualitatives sur le vécu de l'homme dans un espace souterrain (analyse des perceptions), l'étude d'impact, les cartes mentales, les parcours sensoriels ou évaluatifs.

## 2. LA GENESE DU PROJET DE RECHERCHE

### 2.1. LE SAVOIR FONDATEUR

L'usage du sous-sol par l'homme est immémorial, car ses propriétés ont été mises à profit depuis l'aube de l'humanité, pour puiser l'eau et extraire des matériaux comme pour mettre les récoltes et les hommes à l'abri des variations de température et des prédateurs. Si les progrès ont pu faire oublier certains usages dans les contrées les plus favorisées, d'autres usages sont apparus, singulièrement dans les agglomérations urbaines, et les conflits avec les usages de la surface ou même entre certains usages souterrains n'ont pas tardé à se manifester. L'absence de planification de l'usage du sous-sol en est une des causes.

L'urbanisme est d'abord un ensemble de techniques appliquées au fonctionnement de la vie urbaine, amenée d'eau (y compris parfois d'eau chaude naturelle), circulation des habitants et de leurs marchandises, évacuation d'eaux et de déchets. La construction de l'habitat a fait appel à la pierre, et/ou à l'argile, dont l'exploitation laisse des vides en surface et/ou en profondeur, et aussi à la cave, annexe creusée sous la maison. Les premiers « ouvrages » souterrains collectifs concernaient l'eau, en amont les aqueducs, vers l'aval les égouts, ouvrages attestés dans les villes du Moyen-Orient puis à Rome. Les transports souterrains n'apparaîtront que beaucoup plus tard, à l'exception du tunnel entre Naples et Pozzuoli, et se développeront avec les canaux puis les chemins de fer qui tolèrent seulement de faibles pentes.

#### 2.1.1. L'exemple de Paris

Les bâtiments de pierre de la ville de Paris ont été construits à partir de **carrières** proches, à flanc de coteau d'abord puis en souterrain sous les reliefs de la rive gauche, et pour la rive droite, le coteau de Passy et celui de Vincennes pour une plus petite part, alors que la protection des maisons de bois fait appel à l'enduit de plâtre, dérivé des gypses des buttes Montmartre et Chaumont au nord du centre ville (l'extension de la ville conduira à exploiter des zones extra-muros). On rappelle que les carrières souterraines sont depuis 1773 cartographiées, surveillées, remblayées parfois, et renforcées ailleurs par les soins d'un service ad hoc.

A Paris le premier égout, sous la rue Montmartre, est dû au prévôt de Paris en 1370. On sait que la saleté des rues de Paris (et leur encombrement) ont fourni à la littérature française des pages célèbres (Boileau, satire VI). Et il faut attendre le baron Haussmann, préfet de la Seine en 1850, pour voir le développement du réseau moderne, conçu et construit par les ingénieurs dont il avait su s'entourer, notamment Belgrand et Alphand. Le grand gabarit du réseau permet d'y placer les conduites d'eau et les autres services qui allaient s'ajouter à la maîtrise des eaux. La grande majorité des galeries est à faible profondeur le long des rues, et reçoit les branchements particuliers de chaque immeuble.

Les chemins de fer arrivent à Paris en évitant les reliefs, sinon à la place de la large tranchée actuelle sous le Pont de l'Europe, puis une partie de la « Petite ceinture », la voie qui relie entre elles les gares exploitées autrefois par des « réseaux » différents. Le premier projet de métro devait acheminer aux Halles les produits venant de province par le train, et il a fallu plusieurs décennies pour que la Ville et l'Etat s'entendent, dans l'imminence de l'exposition universelle de 1900, pour qu'ouvrent les trois premières lignes en correspondance à la station Etoile ; le développement du réseau est dû à Bienvenüe qui s'était déjà illustré par les aqueducs alimentant Paris en eau potable à partir de sources ou champs captant lointains.

### 2.1.2. Chicago : la naissance de l'urbanisme souterrain

Lorsque les immeubles-tours se sont développés à Chicago, un réseau de petites galeries a été creusé sous le quadrillage des rues et avenues pour mettre à l'abri leurs alimentations en électricité et liaisons téléphoniques, réseau dans lequel des voies ferrées (étroites) ont permis la circulation de wagonnets pour livrer le charbon et évacuer les cendres des chaufferies, entre autres marchandises. Ce réseau a inspiré Hénard, urbaniste de la ville de Paris, le premier à proposer de placer sous chaque rue un véritable étage technique abritant tous les réseaux de service et desservant les sous-sols des immeubles riverains par des voies decauville, puis pour les axes les plus importants de placer en étages souterrains superposés le tramway, les decauville, le métro, et le train de marchandises. Le développement du camion automobile (en surface) a supplanté les petits wagonnets en souterrain, à Paris comme à Chicago.

Dès le début des années 1920 l'augmentation du trafic automobile conduit les édiles parisiens à envisager un réseau de circulation souterrain. Mais c'est dix ans plus tard que l'urbaniste Edouard UTUDJIAN en dessine un plan ; il va plus loin et théorise le premier ce qu'il nomme Urbanisme souterrain ; il fonde en 1933 le Groupe d'études et de coordination de l'urbanisme souterrain et publie un manifeste dont l'essentiel est reproduit ici :

*« L'encombrement créé par la circulation des véhicules, le manque d'espaces libres dans les grandes agglomérations, le souci de conservation de certains vestiges du passé doivent inciter municipalités et urbanistes à avoir recours à la troisième dimension, le **sous-sol des villes**, en vue de la création de nouvelles voies et de parcs de stationnement. Cette utilisation ne peut cependant pas être laissée au hasard, car des réalisations sporadiques sans ordre préconçu et sans plans préétablis risqueraient de créer un nouveau chaos ». Il précise : « Pas d'habitat sous terre, mais des entrepôts, archives, dépôts frigorifiques, usines, salles d'exposition, de spectacle, gares ferroviaires et routières... »*

Tout est dit, mais rien ou si peu ne se fera dans les décennies suivantes, du moins en France, car plusieurs pays vont poursuivre dans cette voie, en commençant par la Suède dès 1976. Une réunion convoquée par l'OCDE à Washington en 1970 conduit à la naissance d'associations nationales et leur regroupement en association internationale des travaux en souterrain. Elle place dès l'origine la planification des usages du sous-sol dans ses objectifs.

### 2.1.3. Les indéniables atouts du sous-sol...

Les grands enjeux climatiques, énergétiques, écologiques vont conduire à des révisions de l'organisation de la ville. Le sous-sol, qui offre des atouts particuliers, doit être intégré à ce travail de réflexion.

#### Espace souterrain - un retour d'expérience disponible

Beaucoup de zones urbanisées dans le monde se sont déjà engagées, pour des contraintes différentes, à des aménagements systématiques de leur espace souterrain, qui conduisent à une maîtrise des encombrements de la surface. Les villes scandinaves, canadiennes et japonaises sont de celles qui présentent les expériences les plus intéressantes. Les villes d'Extrême-Orient (Chine, Corée, Singapour notamment) commencent à prendre le pas, bien plus qu'en Europe, où toutefois quelques villes tel Monaco font figure d'exception. Ainsi :

- La **Scandinavie** a joué un rôle pionnier, d'abord en Norvège (entrepôts frigorifiques, piscines et salles de sport souterrains), puis en Suède (stations d'épuration, début de la planification en liaison avec le métro). Enfin en Finlande, **Helsinki** présente de nombreux

- ouvrages souterrains dont des galeries techniques de grande section, et a mis en place un plan directeur de l'occupation de l'espace souterrain ayant force exécutoire en matière de planification urbaine.
- **Montréal**, pour des raisons au départ climatiques, a créé des transports collectifs, des centres commerciaux et culturels, plébiscités par les habitants. Les stations de métro y jouent le rôle d'espaces publics en sous-sol et des verrières zénithales et des patios apportent la lumière du jour.
  - Plusieurs villes du **Japon** ont construit sous terre par manque de place et à cause de la saturation des transports. A remarquer les réalisations semi-enterrées réalisées sur l'île musée Naoshima en symbiose avec la nature.
  - **Monaco**, pour des raisons de manque de place et d'engorgement du trafic, a innové par des mises en souterrain massives, concourant à des récupérations d'espace en surface, comprenant :
    - Voies ferrées et gare, salles de congrès, d'exposition, opéra, entrepôts,
    - Parkings à proximité de moyens de transport collectifs,
    - Unité de traitement des eaux usées avec unité d'incinération,
    - Collecte souterraine pneumatique des ordures ménagères d'un quartier,
    - Galeries techniques multi-usages,
    - Centre de distribution urbaine de matériaux et de marchandises,
    - Développement de la circulation piétonne mécanisée, pour mieux gérer les déplacements, réduire les circulations de transit en surface et désenclaver la Principauté.
  - À **Arnhem** aux Pays-bas, l'utilisation de l'espace souterrain est promue par la Municipalité et toutes les parties impliquées dans la planification urbaine, publiques ou privées, doivent désormais envisager l'utilisation de l'espace souterrain dans le cadre de leur projet.
  - **Zwolle**, toujours aux Pays-Bas, a adopté en 2007, un document prospectif « *Regards sur le sous-sol de Zwolle* » présentant une analyse complète de l'espace souterrain de la ville et identifiant quatre zones dévolues à des usages différents du sous-sol.
  - **Taiwan** présente un cadre juridique spécifique pour les aménagements souterrains, le plus évolué après celui du Japon.
  - **Séoul** a mis en souterrain dans le campus de l'Université féminine Ewha, deux bâtiments éclairés par la lumière naturelle via une fosse, à la place d'un ancien parking transformé à l'occasion en jardin.
  - **Pékin**, avec le quartier de Zhang Guan Cun offre 500 000 m<sup>2</sup> sur deux niveaux de sous-sols, auxquels s'ajoute un troisième niveau de galeries techniques.
  - **Qianjiang** a créé 2 km<sup>2</sup> d'espaces publics sur 4 km<sup>2</sup> de sous-sol.
  - À **Shanghai**, l'espace souterrain est une des premières priorités.
  - **Berlin** a construit un vélodrome et une piscine enterrés à 18 mètres de profondeur, éclairés par la lumière naturelle, au pied d'une austère cité dortoir, pour les fondre dans un jardin de 10 hectares planté de pommiers, de plain-pied avec le quartier.
  - **Moscou**, a développé un ensemble commercial auprès d'une station de métro et envisage de multiplier les installations analogues.
  - **Sofia**, en Bulgarie, a conçu en 2009 un quartier mixte de 65 ha, incluant plusieurs niveaux souterrains utilisant la topographie naturelle permettant ainsi une mise en valeur du paysage.
  - **Issy-les-Moulineaux** dispose d'une usine souterraine de valorisation des déchets et d'évacuation par barges sur Seine.
  - **Nantes**, projette l'enfouissement de l'extension du musée archéologique Thomas Dobrée, pour préserver le parc actuel, avec un éclairage assuré par la lumière naturelle via une verrière plate traversée par les allées du parc.

## **Espace souterrain – une économie de matériaux**

L'espace souterrain, avant d'être un vide, est un plein. C'est un volume de matériaux exploitables (sables, graviers, argiles, calcaire, gypse, etc...) dont la ville a besoin pour son développement et dont l'urbanisation a gelé progressivement la possibilité d'exploitation. La ville a pourtant besoin de ces matériaux pour son extension et elle est obligée, faute d'organiser une exploitation *in situ*, de faire venir de plus en plus loin des matériaux de plus en plus rares.

## **Espace souterrain – une réduction des risques par l'aménagement**

Les carrières de Paris couvrent 10% des 100 km<sup>2</sup> de Paris intra-muros. Les réutilisations (champignonnières, catacombes, souterrains de communication, caves à vin, etc.) sont très limitées. La grande majorité de ces vides est devenue source de dangers d'effondrement. De nombreuses communes d'Ile-de-France connaissent ce risque.

L'aménagement coordonné du sous-sol peut permettre la réduction à moindre frais des risques liés aux carrières souterraines, tout en introduisant le rappel de ces anciennes exploitations qui ont en certains lieux des qualités historiques, esthétiques, architecturales indéniables et qui pourraient profiter au développement d'activités économiques ou culturelles (ex. Carrières de Caen, de Meudon, Issy-les-Moulineaux, Sèvres, Bois de Vincennes, etc...).

## **Espace souterrain – une économie énergétique**

La densification de l'habitat urbain diminue à lui seul la consommation énergétique par habitant en maîtrisant le besoin de transport et en facilitant les accès aux transports collectifs. Le sous-sol offre également un environnement climatique constant avec un excellent bilan thermique favorable à certaines activités : piscines, entrepôts frigorifiques, etc. Il permet aussi la climatisation de locaux de surface par l'air extrait en souterrain (ex. Ventidotti en Italie, ou Chong Qing en Chine pour la ventilation de salles de spectacles).

### **2.1.4. ... et ses contraintes particulières**

#### **Espace souterrain – Un cadre juridique réducteur**

L'aménagement du sous-sol passe par sa prise en compte dans les plans d'urbanisme et demande une politique de partenariat avec les propriétés immobilières voisines. Par là même l'aménagement souterrain nécessite un cadre juridique approprié comportant des servitudes de passage, des normes de sécurité, d'accès, d'éclairage, d'entretien, de signalisation, etc. Par ailleurs, la réglementation française actuelle, plus contraignante au-delà de six mètres de profondeur pour l'aménagement et l'utilisation du sous-sol qu'à l'étranger, rend difficile voire impossible les espaces à fonctions multiples, en dehors des lieux souterrains dédiés au transport. Cette multi-fonctionnalité est pourtant fort utile pour la bonne acceptabilité sociale et pour l'équilibre économique des espaces souterrains. La réflexion devra aborder cet aspect.

#### **Espace souterrain – Une connaissance très imparfaite**

L'espace souterrain constitue un volume pour lequel l'information n'est en général connue que de manière très incomplète, et souvent avec de grosses incertitudes. Prendre des décisions opportunes en matière de valorisation de cet espace passe par le développement d'une stratégie raisonnée et de long terme de consolidation des données relatives au sous-sol : nature, état, géométrie... Tous les acteurs pourront ainsi disposer d'informations plus fiables, garantissant la qualité de leurs futures décisions.

### **Espace souterrain – Des interfaces**

L'aménagement souterrain nécessite des liens intégrateurs entre équipement de surface et équipement souterrain, en particulier avec l'activité commerciale de surface, les hôtels, le réseau piétonnier protégé, le métro. Les interfaces avec l'extérieur sont fondamentales pour le bien être des utilisateurs et nécessitent la création de lieux d'échange et de rencontre (ex. Observatoire de la ville intérieure à Montréal) pour promouvoir une meilleure fonctionnalité et une meilleure qualité environnementale.

### **Espace souterrain – Des contraintes naturelles**

Le sous-sol a sa propre structure. Les implantations en sous-sol doivent tenir compte de la géologie, de l'orientation et de l'épaisseur des strates, de leur capacité à admettre des grandes cavités, des circulations des eaux. C'est un espace particulier, autonome, caractérisé par ses propres lois, qui ne peut être le négatif des aménagements de surface.

## **2.1.5. Une accumulation professionnelle de plusieurs années**

La question du sous-sol et des espaces souterrains, le rôle qu'ils peuvent jouer dans le développement urbain durable s'expriment depuis plusieurs années à travers différents colloques et congrès auxquels l'AFTES est, bien sûr, partie prenante. Ainsi, une certaine accumulation de contributions en milieu professionnel, est à l'œuvre depuis 2006 :

- Colloque AFTES « Ville durable : quelle contribution du sous-sol ? », Paris 2006
- Congrès AFTES « Le souterrain : espace d'avenir », Monaco 2008
- World Tunnel Congress ITA - AITES « Vision 2020 pour les tunnels », Vancouver mai 2010
- Colloque AFTES / CESR « Le sous-sol, une chance pour l'Île-de-France ? », Paris juin 2010
- Colloque EPFL, Ecole des Mines de Paris et Ambassade de France « Des géosciences à l'urbanisme », Lausanne juin 2010

et à venir :

- World Tunnel Congress ITA – AITES « Les espaces souterrains au service d'une société durable », Helsinki mai 2011
- Congrès de l'AFTES « Espaces Souterrains de demain », Lyon octobre 2011.

## **2.2. LA MANIFESTATION D'INTERET DE NOMBREUX ET DIFFERENTS ACTEURS**

### **2.2.1 Les partenaires approchés**

#### ***Les scientifiques***

Le BRGM (Bureau de recherche géologique et minière), l'IGC (Inspection Générale des Carrières, service de la Ville de Paris), le CETU (Centre d'études des tunnels, service technique central du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer), le GHYMAC (laboratoire Géosciences, Hydrosociences, Matériaux et Constructions), l'INSA (Institut national de sciences appliquées) de Lyon, l'IAU (Institut d'aménagement et d'urbanisme) de la région Ile-de-France, le GEOLEP (GEOLOGie de l'Ecole Polytechnique) de Lausanne, le LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées), l'Université Paris Est.

#### ***Les collectivités et aménageurs***

L'établissement public d'aménagement pour le développement économique de la Marne (EPAMARNE), l'établissement public d'aménagement de La Défense Seine Arche

(EPADESA), la Ville de Paris, l'Agglomération de Saint Quentin en Yvelines, la Ville de CAEN, l'établissement public d'aménagement d'Orly-Rungis-Seine-Amont, l'association pour le développement économique du pôle Orly-Rungis (ADOR), le Comité d'Agglomération Melun Val de Seine, la Mission Grand Paris, la Communauté d'agglomération Melun Val de Seine, le syndicat mixte des transports Gand Lyon (SYSTRAL Lyon).

***Les entreprises (grands groupes et ingénieries)***

Solétanche-Bachy, la RATP, SNCF, Suez Environnement, GDF Suez, Eiffage TP, SNIA (Service national de l'Ingénierie aéroportuaire), IOSIS (groupe d'ingénierie construction, énergie et industrie, villes et territoires).

***Les associations professionnelles***

L'AFTES (Association française des tunnels et de l'Espace Souterrain), la FNTP (Fédération nationale des travaux publics), la COFHUAT (Confédération française pour l'habitat, l'urbanisme et l'aménagement du territoire), l'UNICEM (Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction des carriers).

**2.2.2 Leurs attentes**

Face au sujet de recherche présenté, les besoins ont été principalement soulevés par des collectivités et aménageurs<sup>8</sup> devant faire face à l'heure actuelle à plusieurs questionnements urbains.

Ainsi la ville de Caen comme celle de Paris y ont vu l'opportunité d'une réflexion sur la réutilisation de leurs carrières (nouveau patrimoine culturel ou nouveaux espaces logistiques). Pour l'EPAMARNE, qui souhaite aménager un carrefour de communication sur plusieurs niveaux, les réflexions et réponses apportées participeraient à renforcer le cluster développement durable de la Cité Descartes. L'EPADESA, quartier sur dalle, reste confronté à de nombreuses problématiques, comme la gestion de la desserte intérieure (gabarit des véhicules, mixité des usages, orientation et repérage...), les liens avec la surface, la gestion des risques, la visibilité 3D des infrastructures, la réglementation... Par ailleurs, il se positionne comme un partenaire ressource qui peut apporter un retour d'expérience sur l'exploitation et la maintenance d'espaces souterrains associés à la ville sur dalle. Le territoire de EPA ORSA nécessite une requalification urbaine globale, les attentes sont de plusieurs ordres : extension des entrepôts, restructuration des transports, mixité fonctionnelle, cohabitation des infrastructures logistiques, commerciales et l'habitat...

Les partenaires scientifiques et les entreprises rencontrées se déclarent, elles, prêtes à apporter leur contribution pour répondre à ces attentes exprimées.

---

<sup>8</sup> Cf. Présentation détaillée des attentes des partenaires en Annexe 1

### 3. LA CONSTRUCTION DE LA PROBLEMATIQUE ET DU DISPOSITIF DE RECHERCHE

Outre le savoir fondateur et la rencontre de l'intérêt de nombreux et différents acteurs (2. *Genèse du sujet*), la volonté de lancer la réalisation d'un Projet National est soutenue par différentes intuitions. Il s'agit maintenant de le fonder scientifiquement.

#### 3.1. DES INTUITIONS ET UNE QUESTION

En 2006, lorsque l'AFTES / COMES organise son colloque « Ville Durable : quelle contribution du sous-sol ? », l'invitation est faite avec l'exposé des motifs suivants :

*« Les grands enjeux climatiques, énergétiques, écologiques vont bientôt conduire à des révisions de l'organisation et de la physiologie de la ville, afin d'aller vers un modèle de ville durable. Dans cette mutation du mode de vie urbain, en une ou deux générations, aucune solution ne peut être négligée. C'est l'occasion de valoriser une ressource peu utilisée et très méconnue : le sous-sol et plus généralement l'espace souterrain. S'il peut contribuer à rendre la ville durable, il s'agit alors de réfléchir aux conditions et aux modalités urbanistiques qui permettront une meilleure prise en compte de cet espace par les concepteurs, aménageurs et gestionnaires de la ville. »*

Dans le contexte actuel fait de préoccupations sociétales et de dispositions réglementaires pour un modèle de croissance plus respectueux du développement durable, la Ville constitue en effet un des tous premiers enjeux. En concentrant les populations, elle est devenue le principal lieu de consommation des ressources et des espaces, d'émissions de polluants ou de déchets. Les études prospectives mettant en évidence que ce phénomène va inévitablement être amené à s'amplifier encore, on peut mesurer tous les défis que cela va poser aux pouvoirs publics et aux aménageurs.

Face à cela, le sous-sol offre aujourd'hui une réelle opportunité dont on ne peut plus payer le luxe de se passer. Mais parce que le sous-sol a longtemps été négligé, voire même totalement absent du « champ de vision » des aménageurs, au sens propre comme au sens figuré, la perception même de cette opportunité n'a toujours rien d'évident, ni d'automatique. Les documents de planification territoriale ignorent encore la dimension souterraine, et dans le meilleur des cas, celle-ci n'est évoquée que pour un éventuel métro, ou l'enfouissement d'une voirie jugée trop nuisante en surface. Les débats et contributions sur le Grand Paris et les premières esquisses d'aménagement confirment que cette dimension n'est pas considérée dans tout son potentiel.

Une lecture en termes de développement durable nous montre pourtant bien que les atouts du sous-sol sont réels et de première importance pour l'avenir de nos Villes. Ils sont de deux ordres :

- Un apport direct de matériaux qu'il met à disposition ou par les usages qui peuvent être faits de ses ressources énergétiques et en particulier thermiques,
- Un apport plus indirect d'espaces où l'on peut aménager des espaces de stockage et d'approvisionnement, des espaces de transport et de réseaux divers, des espaces de services divers au grand bénéfice d'une meilleure fluidité, d'une possibilité de mixité des fonctions, d'une réduction à la fois des surfaces consommées à l'air libre, et des nuisances de tous ordres pour les riverains.

L'intérêt de l'utilisation du sous-sol au bénéfice d'un développement urbain durable est une intuition qui n'est que trop peu partagée à ce jour.

**Il y a donc une forte nécessité d'expliquer, de montrer et de démontrer combien le sous-sol est une ressource dont on ne peut plus se priver aujourd'hui. Mais il y a également un besoin de mener une évaluation afin de démontrer que l'utilisation de la ressource du souterrain est souvent aussi la solution la plus efficace dans une approche globale des critères de développement durable.**

Même si les évolutions techniques en matière d'ouvrages souterrains rendent aujourd'hui réalisables des projets peu réalistes hier, et cela avec des coûts et des délais beaucoup plus acceptables, et avec une plus grande maîtrise des nuisances ou des incidences de chantier, il est en effet aujourd'hui nécessaire de procéder à une véritable évaluation de ce que sont les intérêts et les contraintes du recours aux aménagements souterrains. Cette évaluation doit pouvoir être conduite de façon complète en prenant en compte tout le référentiel du développement durable. La démonstration de l'intérêt du souterrain n'en sera alors que plus évidente.

**Au-delà de convictions partagées entre seuls spécialistes du monde souterrain, cette démonstration implique une démarche « publique », « scientifique », « inter disciplinaire » et « pragmatique » qu'il convient de formaliser.**

L'exploration de ces intuitions, fondées sur des exemples opérants et sur les résultats de différents programmes de recherche déjà réalisés (Clé de sol et Deep City, en particulier – cf. 1.2.), conduit à poser une seule question englobante. La question directrice de « Ville 10D » est ainsi :

**L'utilisation optimisée de l'espace souterrain peut-elle apporter une dimension supplémentaire à l'urbanisme durable pour rapprocher les différentes fonctions et permettre une augmentation de la densité dans une ville où il fasse bon vivre ?**

Cette rédaction intègre les champs de réflexion suivants :

- Connaissance du sous-sol : pour utiliser le sous-sol, encore faut-il le connaître. « Ville 10D » se propose d'aider à la formalisation d'une meilleure connaissance des caractéristiques de ce milieu (composition, qualités géotechniques, contraintes techniques attenantes...) et d'une meilleure communication des savoirs (visualisation, transmission de données...),
- Etude des impacts de cette utilisation d'espace souterrain : pour avoir une utilisation « optimisée », il est nécessaire de maîtriser la chaîne des réactions provoquées par la création d'un ouvrage en souterrain et d'en prévoir les éventuelles compensations. Les aspects environnementaux et l'évaluation de l'incidence d'une réalisation souterraine au regard des critères de développement durable feront intégralement partie de la démarche,
- Evaluation de l'opportunité socio-économique de l'utilisation du sous-sol : l'utilisation « optimisée » de l'espace souterrain passe aussi par la capacité à savoir s'il est économiquement « judicieux » d'investir le sous-sol plutôt que la surface. L'évaluation socio-économique sera également au cœur de la recherche,
- Acceptabilité sociale d'un urbanisme souterrain : si conforme à la recherche d'optimisation de l'espace urbain et aux principes de l'urbanisme durable qu'elle soit, l'utilisation de l'espace souterrain peut se heurter aux réticences des décideurs et utilisateurs de ces sites. « Ville 10D » a également pour objectif de baliser les conditions d'acceptabilité de ces aménagements.

### 3.2. DES OBJECTIFS DE RESULTATS

« *Le pire défaut du sous-sol c'est que personne ne sait qu'il existe et que l'on peut l'utiliser* », Pierre DUFFAUT.

Le Projet National « Ville 10D » se donne pour objectif la réalisation d'un ouvrage didactique à l'adresse des aménageurs et des décideurs.

Il n'y a rien à prouver aux spécialistes des travaux souterrains, depuis longtemps convaincus. Les savoir-faire existent, les techniques sont maîtrisées et représentent une richesse extraordinaire. Les entreprises ne se rendent d'ailleurs pas compte des exploits qu'elles réalisent. A contrario, les concepteurs et décideurs de l'aménagement des territoires urbains ont souvent une mauvaise approche du sous-sol, plutôt synonyme de risques ou de surcoûts que de potentiel d'avenir. Il reste donc à modifier profondément nos manières de voir, d'envisager et d'agir et d'étudier la manière dont on pourrait ajouter une corde à l'arc du développement durable parfois à court de bonnes solutions.

Le Projet National s'attachera donc avant toute chose à faire connaître et reconnaître le sous-sol pour ce qu'il est : une « véritable ressource » pour le développement urbain durable et à en poser les bases de la faisabilité. Cette démonstration passera par le double ressort de la théorie et de l'empirie, alliant ainsi les capacités techniques et scientifiques des partenaires aux volontés d'explorer une nouvelle voie de développement exprimées par les maîtres d'ouvrage associés.

L'ouvrage projeté aura donc cette double mission : montrer non seulement l'intérêt mais aussi la faisabilité de l'utilisation de l'espace souterrain pour un développement urbain durable.

### 3.3. DES HYPOTHESES DE TRAVAIL A VERIFIER

Afin de guider la réalisation du Projet National « Ville 10D », un dispositif de recherche a été imaginé. Il a pour caractéristique d'associer démarche scientifique des chercheurs et attentes pragmatiques des maîtres d'ouvrages. L'armature du dispositif est constituée de trois hypothèses.

Ces trois « hypothèses de travail » sont énoncées de manière à guider la recherche. Affirmations volontairement tranchées, les hypothèses de travail font office de jalons sur la durée. Ce ne sont ni des questions ouvertes, ni des vérités érigées mais de simples prises de position *a priori* qui doivent permettre de produire des résultats circonscrits. Les hypothèses de travail ont donc vocation, *in fine*, à être validées, rejetées et, bien évidemment, nuancées.

- La première hypothèse pose **une typologie des configurations « intéressantes »** pour un aménagement utilisant le sous-sol.
- La deuxième hypothèse cadre les **quatre thématiques retenues pour le Projet** : dimensions cognitive, environnementale, socio-économique, sociétale.
- La troisième hypothèse fait apparaître les **conditions d'une véritable plus-value urbaine** à ces réalisations : **la synergie surface / « sous-face »**

Les voici ainsi formalisées :

### 3.3.1. Sur les caractéristiques urbaines types

- Il existe des lieux plus propices que d'autres à un aménagement global utilisant l'espace souterrain : réutilisation de cavités existantes, conquête de l'épaisseur d'un plateau, au sein d'un urbanisme de dalle, en combinaison d'infrastructures existantes, à l'occasion de l'implantation de nouvelles infrastructures.

### 3.3.2. Sur l'approche théorique multi-thématique

- L'intérêt intrinsèque du sous-sol (inertie thermique, ressources multiples...) combiné aux besoins d'espaces que la surface n'offre plus est propice à la multiplication de projets d'aménagement faisant appel à l'espace souterrain. Le niveau de connaissance en termes de géosciences (existence des données et diffusion des informations), d'approche environnementale, d'approche socio-économique et d'approche sociétale est tel que les freins à l'utilisation de l'espace souterrain pour un développement urbain durable sont désormais levés.

### 3.3.3. Sur la synergie surface / « sous-face »

- L'utilisation du sous-sol permet d'atteindre la compacité et l'intensité urbaine recherchée car elle offre une solution inédite pour produire la mixité fonctionnelle. La création d'espaces souterrains favorise l'éclosion de synergies nouvelles (utilisation des géomatériaux extraits du sous-sol pour des projets d'aménagements réalisés en surface, recours à la géothermie et aux eaux souterraines, opportunités de projets ambitieux) nécessitant la prise en compte du sous-sol dans la planification stratégique de surface. Cela lui confère toute sa légitimité, apportant ainsi la preuve de la plus-value urbaine de ce nouveau type d'urbanisme intégré.

## 3.4. UNE APPROCHE MATRICIELLE

Le projet de recherche « Ville 10D » propose une méthode de recherche matricielle qui associe, sans hiérarchie, une entrée théorique par thématiques et une entrée empirique par types de caractéristiques urbaines. Cela correspond aux attentes exprimées tant par nos partenaires techniques (BRGM ou CETU) que par nos partenaires maîtres d'ouvrage (RATP, EPAD, EPA-ORSA...).

Il en résulte le dispositif suivant :

		<b>Caractéristiques urbaines types</b>				
		Réutilisation de cavités existantes	Conquête de l'intérieur d'un plateau	En urbanisme de dalle	En combinatoire d'infrastructures existantes	En combinatoire d'infrastructures en projet
<b>Dimensions thématiques transversales</b>	Dimension cognitive					
	Dimension environnementale					
	Dimension socio-économique					
	Dimension sociétale					

### 3.4.1. L'entrée empirique par « Caractéristiques Urbaines Types »

Dans l'élaboration de ce Projet National, 5 sites types ont été arrêtés. Ce choix typologique découle d'une démarche d'analyse déjà réalisée par Edouard UTUDJIAN qui définissait six types de configuration géographique pour un « zoning souterrain ». Parmi eux : la ville de plaine, sur une éminence, dans une vallée, à flanc de coteau, enserrée par des collines, traversée par un cours d'eau. Il faisait remarquer qu'à la différence d'un urbanisme de surface, un urbanisme souterrain peut prévoir la répartition des fonctions urbaines de manière verticale, c'est pourquoi il établit un « zoning vertical » ou « zoning de coupe » (fig.1). Ainsi, c'est le caractère de la surface, mais aussi la constitution géologique et les obstacles rencontrés qui permettent de définir cette typologie.

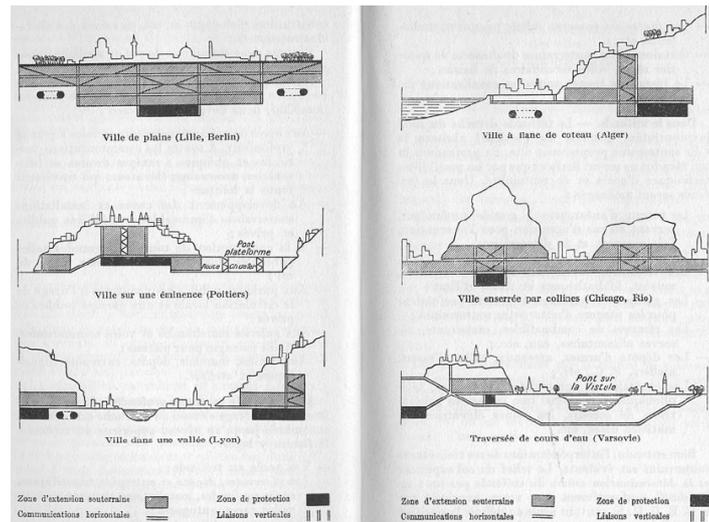


Figure 1 Zoning souterrain d'E. Utudjian. (QSJ n°533 l'urbanisme souterrain p.36)

De la même manière, Pierre DUFFAUT a entrepris une typologie à deux niveaux, en considérant le relief, mais aussi la nature du sol. Ainsi, la première catégorie d'ordre essentiellement morphologique, comprend 5 types de ville : la ville de plaine avec sous-sol meuble et aquifère (Tokyo, Bangkok, Moscou, Shanghai, Saint Petersburg, Lille), la ville de plateau avec couches horizontales drainées (Minneapolis, Kansas City, Paris rive gauche...), la ville à buttes rocheuses (Stockholm, Oslo, Helsinki, Rio de Janeiro, Salzburg, Butte Montmartre de Paris...), la ville de versant (Lausanne, La Paz, Téhéran, Limoges), la ville de vallée hors montagne (Strasbourg, Genève) et la ville de vallée en pays de montagne (Grenoble, Innsbruck, Zermatt, Chamonix). La deuxième catégorie plus géologique dissocie 4 types de terrains : les terrains meubles sur *bedrock* (métro de Moscou), les terrains homogènes granite et analogue (Stockholm, Limoges, Saint John's), les terrains stratifiés en couches horizontales (Kansas City), les terrains stratifiés en couches inclinées ou verticales et les terrains stratifiés plissés.

Lors de la réalisation du présent rapport de faisabilité, le travail du groupe associé aux problématiques des acteurs rencontrés a permis de retenir 5 cas d'études : le plateau, les carrières existantes, l'urbanisme de dalle, la combinaison infrastructures existantes et infrastructures à venir. La typologie que nous avons ainsi établie prend en compte à la fois la configuration naturelle et urbaine.

- **Le plateau** : urbanisé ou pas, il s'agit d'une configuration privilégiée pour développer un urbanisme souterrain car l'accès au sous-sol est facilité par les fronts de coteau.

- **L'utilisation de carrières existantes** : il s'agit d'étudier les conditions d'une utilisation raisonnée de cavités anthropiques ou naturelles existantes et d'en éprouver la capacité de « recyclage ».
- **L'urbanisme de dalle** : sans être exactement un aménagement souterrain, l'urbanisme de dalle est confrontée aux mêmes problématiques, puisque des infrastructures existent sous la dalle. Il serait intéressant d'avoir un retour d'expériences sur la gestion des aménagements sous la dalle, et de réfléchir à des solutions d'amélioration.
- **La combinaison d'espaces souterrains et d'infrastructures existantes** : il s'agit de mesurer la faculté des infrastructures existantes à combiner leur vocation propre et la création d'espaces souterrains complémentaires.
- **La combinaison d'espaces souterrains et d'infrastructures à venir** : il s'agit d'envisager la création concomitante d'espaces souterrains et d'infrastructures souterraines à venir (transports en commun...).

#### 3.4.2. L'entrée théorique par « Thématiques »

- **La dimension cognitive** : il s'agit de lever les freins de la méconnaissance du sous-sol, de chercher à maîtriser et à diminuer les conséquences de l'aléa géologique et de l'imprécision des données. Elle permettra d'optimiser l'utilisation des ressources vis-à-vis des opportunités ou des contraintes du sous-sol.
- **La dimension environnementale** : il s'agit de voir comment l'utilisation du sous-sol peut devenir un levier d'une politique d'aménagement durable et d'envisager les mutualisations possibles. Le développement d'outils et d'indicateurs pour quantifier les impacts environnementaux des solutions souterraines fera partie de cette dimension. Il sera en outre question des complémentarités du sol et du sous-sol.
- **La dimension socio-économique** : il s'agit d'entreprendre des méthodes d'évaluation socio-économiques des projets, d'intégrer la question des mutualisations d'ouvrages et de chiffrer les services associés.
- **La dimension sociétale** : il s'agit de mieux cerner le rapport de l'homme au sous-sol et aux aménagements souterrains.

### 3.5. UNE MONTEE EN GENERALITE VERS UNE NOUVELLE DOCTRINE URBAINE

Par sa double approche d'étude empirique et d'analyse thématique, « Ville 10D » aura la capacité de produire deux types de résultats : analyse des cinq études de cas et synthèses des quatre dimensions disciplinaires.

Mais l'objectif de cette recherche ne se réduit pas à la réalisation de cette « simple » trame. Campé sur les résultats tangibles des différents programmes de recherche prévus, il s'agira d'aller bien au-delà d'un exercice de synthèse englobante. Le but ultime recherché est bien de faire progresser la connaissance sur « les tenants et les aboutissants », sur les degrés et conditions de faisabilité de « l'utilisation de l'espace souterrain pour un développement urbain durable ». C'est là tout l'enjeu de réussir une « montée en généralité », c'est-à-dire de

parvenir à transformer des données éparses issues de contextes particuliers en un ensemble cohérent de connaissances à portée générale.

Une fois les « grands enseignements » tirés, il s'agira de poser les bases d'une nouvelle doctrine de développement urbain durable utilisant le sous-sol et ce, à l'adresse des aménageurs et décideurs.

## 4. PRE-PROGRAMME DE RECHERCHE ET BUDGET

### 4.1. PRESENTATION D'UN PRE-PROGRAMME

THÈMES D'ÉTUDES	SUJETS DE RECHERCHE	PARTENAIRES POTENTIELS
<b>1. Visibilité, connaissance et gestion des données</b>		
Connaissance du sous-sol	<i>Amélioration des moyens de reconnaissance du milieu naturel et des structures enterrées en milieu urbain.</i>	
Gestion des données et leur mise à disposition	<i>Caractérisation d'un sous-sol urbain, méthodologie de gestion des incertitudes des données dans un projet d'aménagement, gestion des bases de données et accessibilité des données.</i>	Université de Jussieu + Université de Bordeaux 1 + BRGM + IGC + CETU + GEOLEP + SOL Data + EDG + MDS + Lmdc + EHTP groupe NGE
Représentation du sous-sol et de ses aménagements à l'usage des concepteurs et décideurs	<i>Approche par les incertitudes, restitution de l'information et visualisation à destination des acteurs de la ville: outil interactif d'optimisation des projets.</i>	
<b>2. Approche environnementale</b>		
Impacts environnementaux de l'urbanisation souterraine	<i>Mise en évidence et arbitrage entre les différentes utilisations des apports du sous-sol (ressources eau, énergie, matériaux, espace).</i>	ANTEA + CETU + BRGM + CSTB + UNICEM + LCPC + ADEME + entreprises
	<i>Caractérisation des impacts des aménagements souterrains dans une approche systémique et spécificités au regard de solutions d'aménagement de surface.</i>	
	<i>Réalisation de bilans environnementaux (énergétique, carbone, ACV...).</i>	
	<i>Les innovations techniques d'ouvrages souterrains : quelles incidences sur le milieu ?</i>	
Droit de l'environnement	<i>Mise en exergue des contraintes juridiques d'utilisation du sous-sol (droit de l'environnement, code minier, droit du sol).</i>	GRIDAUH
<b>3. Approche socio-économique</b>		
Mise en sous-sol de fonctions urbaines : avantages, inconvénients, évaluations comparées et mutualisation	<i>Evaluation des conditions d'utilisation des cavités existantes et capacité de valorisation.</i>	Université de Caen Lab ESO + Cabinet ML + Lab'Urba de l'Université Paris Est + RATP + SOGARIS
	<i>Agrégation de fonctions supports et qualité de vie urbaine sur un espace-projet (caractérisation des opportunités, scénarios de solutions...).</i>	
	<i>Interaction sous-sol/surface, évaluation socio-économique: coûts, avantages et rentabilité globale comparée, valorisation du sur-sol, impact sur valeurs foncières, impacts sur la mobilité et les transports...).</i>	
	<i>Evaluation des surcoûts consécutifs à l'ajout logistique.</i>	
Droit du sol et du sous-sol	<i>Etudes des solutions juridiques et réglementaires pour dépasser les freins actuels.</i>	GRIDAUH
Cindynique et urbanisme souterrain	<i>Vers une cindynique des milieux souterrains multifonctionnels (sécurité de l'exploitation de l'ouvrage souterrain, évacuation des personnes, sécurité vis-à-vis des risques naturels...).</i>	CSTB + CETU + SETEC + APSYS
<b>4. Approche sociétale</b>		
Appropriation sociétale	<i>Etudes et préconisations (sur retour d'expérience) pour caractériser les ambiances thermiques, olfactives et tactiles des aménagements souterrains. Distinguo espaces publics / espaces de travail.</i>	CRESSON + INSA Lyon + Institut de psychologie de l'Université Paris 5 + Centre universitaire de Formation et de Recherche de Nîmes
	<i>Etude et préconisations sur les "travailleurs des profondeurs" : approche comparée entre salariés de centres commerciaux de surface et espaces souterrains (enquête qualitative).</i>	
Design urbain et qualité architecturale	<i>De l'avant-garde utopique à l'esquisse de projet : morphologie des espaces souterrains pour une plus-value urbaine (en vue d'une exposition nationale).</i>	Cabinet ML + IAU + CAUE94 + CAUE14 + CAUE92

Compte tenu des objectifs et de la méthodologie annoncés, ainsi que des perspectives ouvertes par les nombreux partenaires potentiels approchés, le pré-programme de recherche se détaille de la manière suivante :

## **1. Visibilité, connaissance et gestion des données**

---

### 1.1 Connaissance du sous-sol

#### *1.1.1. Amélioration des moyens de reconnaissance du milieu naturel et des structures enterrées en milieu urbain.*

L'objectif est l'amélioration des outils de détection géophysiques utilisables en milieu urbain, tels que : le radar sol, plus connu sous sa terminologie anglo-saxonne GPR (Ground Penetrating Radar) - qui est un outil d'investigation géophysique très utilisé en prospection de la proche surface où plusieurs radargrammes mitoyens permettent d'obtenir une couverture 3D et d'envisager une imagerie volumique de la zone investiguée - la sismique passive, permettant l'approche de certaines caractéristiques du sol, et la méthode électrostatique. La mise en œuvre de ces trois méthodes conduira à identifier des spécificités liées au milieu urbain dense qui devront faire l'objet d'études de développement et d'impact, avec des recommandations sur les modes opératoires.

### 1.2 Gestion des données et leur mise à disposition

#### *1.2.1 Caractérisation d'un sous-sol urbain, méthodologie de gestion des incertitudes des données dans un projet d'aménagement, gestion des bases de données et accessibilité*

Ce programme de recherche vise à assurer le transfert des données géologiques aux besoins des aménageurs et peut se subdiviser en trois sujets :

- *Caractérisation d'un sous-sol urbain*

Il s'agit de mettre en place une méthodologie de caractérisation d'un sous-sol urbain, pour regrouper suivant l'échelle d'observation, des couches géologiques différentes à caractéristiques géotechniques semblables, en fonction de l'échelle d'observation du projet.

- *Gestion des incertitudes des données et de l'aléa géologique*

La gestion des incertitudes des données et de l'aléa géologique, dans un projet d'aménagement est un point important de la maîtrise des coûts et de l'optimisation des choix.

- *Gestion des bases de données et accessibilité*

Il s'agit d'une réflexion sur les bases de données existantes, les compléments qui paraissent utiles à concevoir, leur accessibilité (via l'interopérabilité) et de relier cet effort à l'amélioration de la définition d'un aménagement et à la limitation des coûts d'acquisition de nouvelles données, forts onéreuses et difficiles à obtenir en milieu urbain, et à la diminution des risques par la possibilité de prise en compte dans le projet du maximum de données existantes.

### 1.3 Représentation du sous-sol et de ses aménagements à l'usage des concepteurs et décideurs

#### *1.3.1. Approche par les incertitudes, restitution de l'information et visualisation à destination des acteurs de la ville : outil interactif d'optimisation des projets.*

Il s'agit de l'élaboration d'outils de synthèse et de mutualisation des données sur un territoire de projet, dans le cadre d'une visualisation 3D, permettant le changement d'échelle d'observation, pour permettre une interactivité entre les acteurs du projet, autour d'un même référentiel.

## 2. Dimension environnementale

---

### 2.1 Impacts environnementaux de l'urbanisation souterraine

#### 2.1.1. *Mise en évidence et arbitrage entre les différentes utilisations des apports du sous-sols (ressources eau, énergie, matières, espace).*

Ce volet du programme vise à mettre en évidence les apports du sous-sol et le potentiel d'utilisation qui peut en être fait au grand bénéfice de l'environnement. En prolongement du travail réalisé dans DEEP CITY, les 4 types d'apports (ressource matériaux, ressource énergie, ressource en eau et ressource en espace de projet) seront évalués pour chacun des sites d'application puis dans une perspective plus globale. La question des conflits ou des synergies d'usage sera également traitée.

#### 2.1.2. *Caractérisation des impacts des aménagements souterrains dans une approche systémique et spécificités au regard de solutions d'aménagement de surface.*

L'objectif de ce programme est d'évaluer les incidences d'un aménagement souterrain au regard de l'ensemble de l'environnement des sites (milieu humain, physique et naturel). Il s'agira d'en déduire une caractérisation des principaux impacts des opérations souterraines, ainsi que des solutions pour mieux les maîtriser. L'étude mettra aussi en évidence les spécificités des aménagements souterrains en comparaison des aménagements de surface dans l'objectif de faciliter des approches beaucoup plus complètes et objectives dans le choix des projets.

#### 2.1.3. *Réalisation de bilans environnementaux (énergétique, carbone, ACV...)*

La France a pour enjeu de diviser par quatre ses émissions de gaz à effets de serre (GES) à l'horizon 2050. La lutte contre l'effet de serre passe par une plus faible émission de CO<sub>2</sub>. Ce volet de l'étude se propose de réaliser des bilans environnementaux complets afin de comparer les aménagements de surface et les bilans environnementaux : bilan énergétique, bilan carbone, analyse de cycle de vie,.. et d'identifier les domaines sur lesquels poursuivre l'effort pour améliorer les bilans. Le travail méthodologique doit aussi proposer des compléments ou des adaptations à ce type de bilans afin de mieux rendre compte des spécificités des réalisations souterraines et de disposer des bons indicateurs pour évaluer la performance « développement durable ».

#### 2.1.4. *Les innovations techniques d'ouvrages souterrains : quelles incidences sur le milieu ?*

Les progrès technologiques réalisés en matière de travaux souterrains, en particulier urbains, font qu'il est aujourd'hui possible de réaliser des ouvrages encore impensables hier. Ces avancées permettent aussi de réduire les impacts des travaux (faible emprise de chantier, modes de transport des matériaux, choix de la profondeur des ouvrages,..) et de mieux maîtriser les conséquences sur l'environnement. De nombreux exemples permettent d'illustrer cette problématique. Il s'agit ici de faire un point sur cette question et de dessiner des perspectives d'avenir.

### 2.2 Droit de l'environnement

#### 2.2.1. *Mise en exergue des contraintes juridiques d'utilisation du sous-sol (code de l'environnement, code minier, code de l'urbanisme, code du patrimoine, droit de propriété...)*

Face à la multitude de droits existants, une bonne compréhension des règles applicables pour tous projets souterrains envisagés est indispensable. C'est pourquoi il nous semble nécessaire que des spécialistes explorent ces domaines afin d'en faire un vade-mecum « droit du sous-sol ».

### 3. Dimension socio-économique

---

#### 3.1 Mise en sous-sol de fonctions urbaines : avantages, inconvénients, évaluations comparées

##### *3.1.1. Évaluation des conditions d'utilisation des cavités existantes et capacité de valorisation.*

La réutilisation des carrières n'est pas chose commune, pourtant il nous semble que leur ré-exploitation en tant qu'espace urbain fonctionnel permettrait leur valorisation au grand bénéfice de la collectivité tout en ayant l'avantage de faciliter la surveillance de leur évolution. Il convient d'examiner dans quelles conditions les cavités sont réutilisables, ainsi que de définir les types d'usage préférentiels (lieu de mémoire muséifié, fondations d'un nouveau bâtiment, entrepôts souterrains, axes de communication...).

##### *3.1.2. Agrégation de fonctions supports et qualité de vie urbaine sur un espace-projet (caractérisation des opportunités, scénarios de solutions ...).*

Certains espaces urbains fonctionnent mal, la surface est d'ores et déjà saturée et la qualité de vie apparaît faible. Alors que les solutions (de surface) ne permettent plus de résoudre ces problématiques, le sous-sol apparaît comme une réponse potentielle à la création d'une nouvelle urbanité. L'étude pratique considère le sous-sol en même temps que la surface et prend en compte l'ensemble des atouts et des contraintes de chacun. Il s'agira de montrer comment la « ville profonde » peut contribuer, sous réserve d'une articulation réussie avec la surface, à une véritable requalification urbaine et plus généralement au développement urbain durable.

##### *3.1.3. Interaction sous-sol / surface, évaluation socio-économique : coûts, avantages et rentabilité globale comparée, valorisation du sur-sol, impact sur valeurs foncières, impacts sur la mobilité et les transports...*

Les décideurs ne s'engageront sur un projet d'aménagement souterrain que s'il est économiquement soutenable. Il s'agit de mettre en place la méthode et les outils d'une évaluation économique complète qui prenne en compte toute la vie du projet et l'ensemble de ces apports et incidences, y compris bien sûr les opportunités de valorisation des emprises disponibles en surface. Le fait d'en rester, comme trop souvent encore, à la seule considération des coûts d'investissement, dessert les solutions souterraines.

##### *3.1.4 Évaluation des surcoûts consécutifs à l'ajout logistique.*

Coupler transport de personnes et transport de marchandises peut améliorer le transport de marchandises en ville, notamment au dernier kilomètre. Ceci permettrait de réduire les temps de transports, l'encombrement des centres-villes, la pollution... Il serait intéressant d'analyser et de mesurer les coûts de l'intégration du transport de marchandises sur des voies de transports de personnes type TGV, RER ou/et métro existants.

#### 3.2 Droit du sol et du sous-sol

##### *3.2.1 Études des solutions juridiques et réglementaires pour dépasser les freins actuels*

Aucun texte, ni aucun organisme public n'appréhende le sous-sol de manière globale. Une proposition de loi (n° 160 Sénat 1999-2000 Jean-Paul Hugot) a été déposée au Sénat en 1999 afin de mieux intégrer le droit du sous-sol au droit de l'urbanisme. Celle-ci n'a pas été adoptée. Une étude poussée sur les solutions juridiques et réglementaire est nécessaire pour que les projets souterrains puissent se réaliser et qu'un cadre législatif les accompagnent (cadastre souterrain, législation du tréfonds et des eaux souterraines, zonage souterrain...).

### 3.3 Cindynique et urbanisme souterrain

#### *3.3.1. Vers une cindynique des milieux souterrains multifonctionnels (sécurité de l'exploitation de l'ouvrage souterrain, évacuation des personnes, sécurité vis-à-vis des risques naturels...)*

Les espaces souterrains présentent des risques liés à des problèmes spécifiques au monde souterrain : risques d'incendie, toxicité de l'air, fuites de gaz, raréfaction de l'oxygène, explosions, inondation par remontée de nappes ou encore désordres de la construction. La réglementation qui en découle aujourd'hui tend à limiter ou cloisonner très fortement l'usage des espaces souterrains. Une analyse exhaustive de ces freins (normes de sécurité, formation des intervenants...) et de la réalité des risques doit être faite avant de proposer les évolutions souhaitables qui permettrait le développement d'un urbanisme souterrain.

## **4. Dimension sociétale**

---

### 4.1 Acceptabilité sociétale

#### *4.1.1. Études et préconisations (sur retour d'expérience) pour caractériser les ambiances thermiques, olfactives et tactiles des aménagements souterrains. Distinguo espaces publics/espaces de travail et surface / sous-sol.*

Quelles sont les ambiances qui favorisent le plus un sentiment de confort et de sécurité ? Il est plus que nécessaire de comprendre si possible en les distinguant, l'impact d'un environnement confiné et celui dû à la position sous terre du point de vue des usagers. On devine que ces ressentis varieront en fonction du temps passé et du type d'espaces souterrains fréquentés. Cette étude mériterait d'être menée sur plusieurs sites (station de métro, équipement souterrain, librairie et boutiques sur quais, parking...) et à plusieurs moments de la journée.

#### *4.1.2 Étude et préconisations sur les "travailleurs des profondeurs" : approche comparée entre salariés de centres commerciaux de surface et espaces souterrains (enquête qualitative).*

Diverses installations sont compatibles avec l'environnement souterrain, mais qu'en est-il des personnes qui doivent travailler sur ces installations ? Afin de comprendre ce qui distingue pour les « travailleurs des profondeurs » les espaces fermés enterrés des espaces fermés en surface, cette étude pourrait s'inscrire sur des sites présentant à la fois des lieux de travail en sous-sol et en surface.

### 4.2 Design urbain et qualité architecturale

#### *4.2.1 De l'avant-garde utopique à l'esquisse de projet : morphologie des espaces souterrains pour une plus-value urbaine (en vue d'une exposition nationale).*

Nombreux sont les projets souterrains utopiques (*entreprises nippones : Odyssea 21, Neo-Edo, GIA ; projet de ville souterraine pour Pittsburg de Max Abramovitz ; Projet de ville souterraine sous la Seine de Paul Maymont...*), mais aussi ceux réalisés (*Montréal, Monaco, Helsinki...*). Il serait intéressant de rassembler projets utopiques et projets réalisés qui constituent les mémoires et références de cet art, et de travailler sur une esthétique de l'architecture souterraine (type de structure, couleurs, proportion des salles...).

Matrice thèmes / sites

	CARACTERISTIQUES URBAINES ET EXEMPLES DE SITES				
	A - Cavités	B - Plateau	C - Sous dalle	D - Infrastructures existantes	E - Infrastructures en projet
	Ville de Caen / Ville de Paris	Orly-Rungis	La Défense	Réseau Métro & RER RATP	Cité Descartes / CA Melun
<b>THÈMES D'ÉTUDES</b>					
<b>1. Visibilité, connaissance et gestion des données</b>					
Connaissance du sous-sol	A1	B1	C1	D1	E1
Gestion des données et leur mise à disposition					
Représentation du sous-sol et de ses aménagements à l'usage des concepteurs et décideurs					
<b>2. Approche environnementale</b>					
Impacts environnementaux de l'urbanisation souterraine	A2	B2	C2	D2	E2
Droit de l'environnement					
<b>3. Approche socio-économique</b>					
Mise en sous-sol de fonctions urbaines : avantages, inconvénients, évaluations comparées et mutualisation	A3	B3	C3	D3	E3
Droit du sol et du sous-sol					
Cindynique et urbanisme souterrain					
<b>4. Approche sociétale</b>					
Appropriation sociétale	A4	B4	C4	D4	E4
Design urbain et qualité architecturale					

Le tableau matriciel ci-dessus permet d'explorer la « traversée des thématiques » par les « réalités de terrain ». Chacune des cases référencées fait le point sur les questions qui seront travaillées lors des études de cas. Elles sont volontairement énoncées ci-après selon la typologie retenue pour le Projet National ; grandes caractéristiques urbaines, puis exemple(s) de site(s) envisagé(s) comme terrain d'application.

## **A – La réutilisation de cavités existantes – cas de la Ville de Caen ou de la Ville de Paris**

Le sous-sol est généralement abordé, en aménagement, pour la composante « risques » d'un projet urbain. La présence de cavités souterraines, naturelles ou anthropiques, est généralement synonyme d'incertitudes, de potentiels surcoûts ou de limitation d'usage, mais rarement d'opportunité à saisir pour y installer des fonctions urbaines. Or, utiliser des cavités existantes reviendrait à annuler le risque tout en créant de nouveaux espaces urbains. Il est donc important d'en évaluer la faisabilité.

Ainsi, la ville de Caen possède-t-elle beaucoup de carrières souterraines à grande hauteur de voûte qui représentent un patrimoine culturel et historique que la ville souhaite mettre en valeur. La ville est en pleine extension avec le développement de quartiers situés au-dessus des carrières souterraines. Pour l'instant, la présence de ces vides souterrains entraîne des limitations des infrastructures de surface. Une réflexion sur les usages économiquement possibles de ces vides et leurs intégrations dans les aménagements en cours apportera une plus grande liberté de développement urbain. De même, la ville de Paris travaille à un repositionnement d'espaces logistiques dans la ville et utilise déjà des parties disponibles de parkings publics à cet effet. Certaines carrières souterraines de la ville seraient-elles aménageables à cet effet ? Beaucoup d'autres villes françaises qui ont des projets urbains dans des zones présentant des carrières souterraines pourraient tirer parti de ces études.

- **A1 – Mieux connaître les cavités existantes** : la dimension cognitive du sous-sol a pour objet de mieux connaître l'emplacement et les caractéristiques techniques des cavités existantes afin d'en envisager l'utilisation : détection, sondages, modélisation, représentation.
- **A2 – Cerner les impacts d'une utilisation humaine des cavités existantes sur l'environnement souterrain et de surface** : la dimension environnementale pourra évaluer les potentiels « risques évités » par une occupation humaine. Elle aura également à faire le point sur les incidences créées par cette nouvelle activité humaine sur le milieu souterrain lui-même ainsi que, par effet direct ou effet évité, sur le milieu de surface.
- **A3 – Evaluer la rentabilité socio-économique d'une mise en souterrain de fonctions urbaines** : la dimension socio-économique permettra de faire le point sur la solution de « recyclage » de cavités existantes en mettant en regard les coûts engendrés et la plus value urbaine générée. Cette dimension devra intégrer la question de l'adaptation de la fonction à implanter à la cavité existante et celle de l'insertion urbaine des accès à prévoir pour atteindre cet espace souterrain (en exploitation et en situation d'urgence).
- **A4 – Eclairer la capacité d'acceptation de travailleurs / du public** : la dimension sociétale devra mettre en évidence la manière dont ces espaces patrimoniaux ainsi réaménagés peuvent être fréquentés sans crainte ni appréhension, en contribuant à l'urbanité générale. L'étude de l'occupation de cavités existantes portera une attention particulière au type de cavité en question (naturelle ou anthropique) et au rapport de la Ville avec l'histoire du site.

## B – La conquête d'un plateau – cas d'Orly-Rungis

Un plateau est un site particulier relativement fréquent, caractérisé par une surface souvent horizontale (qui appelle par exemple les aéroports), par des terrains en couches horizontales, par l'absence d'une nappe superficielle d'eau souterraine (ou la facilité de son drainage), et surtout par le fait que son sous-sol est accessible de niveau à partir des vallées qui l'encadrent. L'exemple le plus remarquable est fourni par la ville de Kansas City dont les promoteurs immobiliers lotissent le sous-sol après avoir vendu le calcaire exploité en carrières souterraines.

Le plateau d'Orly-Rungis, découpé par les vallées de la Seine, de la Bièvres et de l'Yvette et occupé par l'aéroport d'Orly, le Marché International de produits frais et plusieurs autres zones logistiques, constitue une réelle opportunité pour étudier ce qui pourrait être réalisé sur ce type de configuration urbaine. La coupe géologique du plateau montre la couche de « Calcaire de Brie » horizontale à faible profondeur, recouvrant des formations marno-argileuses. Une planification urbaine surface/sous-sol permettrait de résoudre les problématiques actuelles de ce territoire (barrières physiques, engorgement des axes de communication, faible place donnée aux piétons et habitants...) et de requalifier des espaces en surface au profit d'un meilleur cadre de vie et d'une meilleure desserte.

- **B1 – Explorer les caractéristiques du sous-sol au droit des zones d'implantation envisagées** : la dimension cognitive aura pour objectif de caractériser la nature du sous-sol et sa capacité à recevoir (ou non) des fonctions urbaines choisies. Il s'agira non seulement d'étudier la nature des géomatériaux et leurs caractéristiques géotechniques à la verticale des zones d'implantation envisagées, mais également d'en évaluer les accès possibles de plain-pied depuis la vallée ou les coteaux. L'étude devra également comporter un important volet sur la manière de divulguer et de transmettre les informations géologiques aux aménageurs et décideurs locaux.
- **B2 – Cerner les impacts de l'implantation d'activités humaines sur l'environnement souterrain et de surface** : la dimension environnementale aura à faire le point sur les incidences créées par l'implantation d'activités humaines sur le milieu souterrain lui-même ainsi que, par effet direct ou effet évité, sur le milieu de surface.
- **B3 – Evaluer la rentabilité socio-économique d'une mise en souterrain de fonctions urbaines** : la dimension socio-économique permettra de faire le point sur la création *ex nihilo* d'espaces souterrains choisis en mettant en regard les coûts engendrés et la plus value urbaine générée. Cette dimension devra intégrer la question de l'insertion urbaine des accès à prévoir pour atteindre cet espace souterrain (en exploitation et en situation d'urgence).
- **B4 – Eclairer la capacité d'acceptation de travailleurs / du public** : la dimension sociétale devra mettre en évidence la manière dont ces nouveaux espaces ainsi créés peuvent être fréquentés sans crainte ni appréhension, en contribuant à l'urbanité générale.

## C – La gestion de long terme d'espaces souterrains en urbanisme de dalle – cas de La Défense

En cherchant à séparer les flux pour plus d'efficacité urbaine, le fonctionnalisme a créé l'urbanisme de dalle. Ceci a créé des espaces hyper spécialisés, relativement étanches les uns aux autres, chacun tourné vers un seul type de fonction. A l'heure de « l'urbanisme durable » qui cherche une meilleure intégration des usages et des espaces-supports, l'enjeu est maintenant de dépasser l'apparente obsolescence de ces lieux qui présentent la

caractéristique de faire fonctionner des espaces souterrains (en sols naturels ou artificiels) depuis plusieurs décennies.

Par exemple, l'EPADESA a une expérience de plus de 10 ans dans l'exploitation d'espaces sur dalle, et se confronte à la gestion de cette infrastructure et aux moyens pour la faire évoluer. Cette expérience conduit à un questionnement sur plusieurs thèmes proposés par le programme de recherche, tels que :

- Quelles rentabilités des aménagements souterrains ?
  - Comment améliorer la maintenance de ces infrastructures ?
  - Comment gérer le franchissement des infrastructures souterraines ?
  - Comment travailler le concept de la « rue souterraine » ?
  - Quelles utilisations des espaces souterrains non utilisés et comment les raccorder aux structures existantes ?
  - Comment modifier les constructions surplombant les voies couvertes ?
  - Quels moyens d'orientation à développer pour les espaces souterrains ? Relations plan de transport et quartiers – rabattement des flux à travers des espaces conviviaux.
  - Quelle harmonisation des réglementations des différents types d'espaces souterrains pour s'affranchir des fonctions dévolues et favoriser la création d'espaces multi-usages ?
  - Quelle évolution de la réglementation pour pouvoir être plus innovants et plus attractifs ?
- Les aspects logistiques font déjà l'objet de travaux avec la RATP.

- **C1 – Mieux connaître et mieux visualiser les espaces souterrains de dalle** : la dimension cognitive aura ici une dominante « repérage » et/ou « détection » d'installations existantes. La thématique des réseaux urbains existants et/ou oubliés prendra une dimension toute particulière sur ce site. La représentation des éléments d'information, la vision en volume notamment, représentera une part particulièrement importante dans l'étude de ce type de situation urbaine.
- **C2 – Cerner la dimension environnementale de l'urbanisme de dalle** : ce volet consistera essentiellement à examiner les apports et avantages d'une utilisation renforcée des espaces souterrains disponibles ; elle servira à la caractérisation plus générale des impacts spécifiques des projets souterrains en regard des projets de surface.
- **C3 – Procéder à une évaluation rétrospective de la gestion des espaces sous dalle** : la dimension socio-économique cherche à identifier les grands items de la gestion de ces espaces singuliers sur le long terme (galeries marchandes, stations de transports en commun, stationnement automobile, zones de circulation piétonne, zones de circulation motorisée, gestion des approvisionnements, gestion des déchets, cindynique...) et leurs conditions de pérennité. Le volet de la compatibilité d'une meilleure utilisation (mutualisation) des espaces souterrains avec la problématique de la sécurité (aspect cindynique) sera particulièrement approfondi sur ce site.
- **C4 – Eclairer la capacité d'acceptation de travailleurs / du public** : la dimension sociétale devra mettre en évidence la manière dont ces espaces spécialisés sont vécus et appréhendés au fil des années.

## **D – La diversification d'usages d'espaces existants – cas du réseau Métro/RER RATP**

Réalisées dans le but de remplir une mission définie, notamment une mission de transport de voyageurs, certaines implantations souterraines (tunnels, aires de maintenance et stations) peuvent aujourd'hui être regardées sous un tout autre angle. Des mutualisations peuvent en effet être envisagées pour aller dans le sens d'une économie de moyens (financiers et/ou énergétiques) pour un même service rendu. Ainsi, il devient intéressant

d'envisager l'ajout d'une fonction « transport de marchandises en ville » aux réseaux voyageurs existants. Il reste à en cerner les conditions de faisabilité.

La Régie Autonome des Transports Parisiens assure depuis un siècle l'exploitation, le développement, la modernisation et la maintenance d'un des réseaux multimodaux de transport urbains et interurbains (bus, cars, tramways, réseaux ferrés et métro) les plus denses et les plus importants du monde, avec plus de 3 milliards de voyages par an. Reconnue pour son expertise technique et sa maîtrise opérationnelle des systèmes complexes, la RATP s'intéresse depuis peu au transport de Marchandises en ville. Ainsi, elle a signé une *Charte de bonnes pratiques des transports et des livraisons de marchandises dans Paris*, initiée par la Ville de Paris en 2006 et confié en 2007 à la Délégation Générale à la Recherche, à l'Innovation, à la Qualité et au Développement Durable, une mission relative au transport de marchandises en ville. Dans la charte, « *la RATP s'engage à faciliter des études de faisabilité de transport de marchandises utilisant partiellement ses infrastructures sans dégradation du service et de la qualité du service voyageurs* ».

- **D1 – Représenter les espaces et réseaux existants et bien connaître le terrain géologique environnant** : la dimension cognitive croisera deux approches : celle des installations existantes et celle de la capacité du sous-sol naturel environnant à accueillir de nouveaux espaces et / ou accès (pour accueillir des nouvelles fonctions de stockage, logistique, évacuation...).
- **D2 – Distinguer l'intérêt environnemental de l'ajout logistique** : outre l'étude des éventuels nouvelles incidences de l'ajout d'une activité supplémentaire, la dimension environnementale aura à identifier l'intérêt de cette option alternative au transport terrestre traditionnel (évitement de CO<sub>2</sub>, de congestion...).
- **D3 – Comparer la solution Transport de Marchandises en Ville (TMV) de surface et TMV enterré** : la dimension socio-économique aura à statuer sur la plus-value urbaine que pourrait représenter l'ajout d'une fonction « TMV » sur les réseaux de transport voyageurs existants ainsi que les points d'insertion de cette nouvelle fonction dans le tissu urbain existant.
- **D4 – Envisager les modalités concrètes et opérationnelles de cette mutualisation d'infrastructures souterraines** : la dimension sociétale aura à cœur d'explorer les traductions opérationnelles de cette mutualisation.

#### **E – La réalisation d'un urbanisme intégré surface / sous face à l'occasion de l'implantation d'infrastructures en projet – cas de la Cité Descartes ou de la CA Melun**

Envisager un développement urbain qui intègre les contraintes et opportunités de la surface et du sous-sol représente une nouvelle approche d'urbanisme durable. Cela peut particulièrement s'entendre dans le cas d'une planification stratégique d'ensemble tirant parti de l'implantation d'une future infrastructure de transport.

Par exemple, l'EPAMARNE a des projets de développement important centrés autour du cluster de développement durable de la Cité Descartes, avec la création d'une connexion nord sud, la connexion RER E et RER A ou encore la venue du métro automatique du réseau du Grand Paris. Ces projets pourraient être l'occasion de réflexions sur l'apport d'aménagements souterrains en 3 dimensions, autour de ce carrefour de communications, arrivant à des niveaux différents. De même, le Comité d'Agglomération Melun Val de Seine, qui a un projet de gare souterraine, pourrait avoir une utilisation directe du programme de recherche.

- **E1 – Explorer les caractéristiques du sous-sol au droit des zones d'implantation envisagées** : la dimension cognitive aura pour objectif de caractériser la nature du sous-sol et sa capacité à recevoir (ou non) des fonctions

urbaines choisies. Il s'agira non seulement d'étudier la nature des géomatériaux et leurs caractéristiques géotechniques aux environs du tracé projeté pour l'infrastructure, mais également d'en évaluer les accès possible. L'étude devra également comporter un important volet sur la manière de divulguer et de transmettre les informations géologiques aux aménageurs et décideurs locaux.

- **E2 – Cerner les impacts de l'implantation d'activités humaines sur l'environnement souterrain et de surface** : au-delà de l'implantation de l'infrastructure de transport nouvelle, la dimension environnementale aura à faire le point sur les incidences créées par l'implantation d'activités humaines supplémentaires sur le milieu souterrain lui-même ainsi que, par effet direct ou effet évité, sur le milieu de surface.
- **E3 – Evaluer la rentabilité socio-économique d'une mise en souterrain de fonctions urbaines** : la dimension socio-économique permettra de faire le point sur la création *ex nihilo* d'espaces souterrains créés à l'occasion de la création d'une infrastructure enterrée nouvelle, par la comparaison des coûts engendrés et de la plus value urbaine générée. Cette dimension devra intégrer la question de l'insertion urbaine des accès à prévoir pour atteindre cet espace souterrain (en exploitation et en situation d'urgence).
- **E4 – Eclairer la capacité d'acceptation de travailleurs / du public** : la dimension sociétale devra mettre en évidence la manière dont ces nouveaux espaces ainsi créés peuvent être fréquentés sans crainte ni appréhension, en contribuant à l'urbanité générale.

## 4.2. PRESENTATION D'UN BUDGET

Thèmes d'études	Sujets de recherche	Budget en € HT
<b>1. Visibilité, connaissance et gestion des données</b>		
<b>1.1 Connaissance du sous-sol</b>		
1.1.1	Amélioration des moyens de reconnaissance du milieu naturel et des structures enterrées en milieu urbain.	250 000
<b>1.2 Représentation du sous-sol et de ses aménagements</b>		
1.2.2	Caractérisation d'un sous-sol urbain, méthodologie de gestion des incertitudes des données dans un projet d'aménagement, gestion des bases de données et accessibilité des données.	550 000
<b>1.3 Gestion des données et leur mise à disposition</b>		
1.3.1	Approche par les incertitudes, restitution de l'information et visualisation à destination des acteurs de la ville: outil interactif d'optimisation des projets.	250 000
<b>1.4 Animation et coordination du thème</b>		
	Animation et coordination - établissement d'un rapport de synthèse des études du thème	60 000
<b>sous total thème 1</b>		<b>1 110 000</b>
<b>2. Approche environnementale</b>		
<b>2.1 Impacts environnementaux de l'urbanisation souterraine</b>		
2.1.1	Mise en évidence et arbitrage entre les différentes utilisations des apports du sous-sol (ressources eau, énergie, matériaux, espace).	200 000
2.1.2	Caractérisation des impacts des aménagements souterrains dans une approche systémique et spécificités au regard de solutions d'aménagement de surface.	350 000
2.1.3	Réalisation de bilans environnementaux (énergétique, carbone, ACV...).	300 000
2.1.4	Les innovations techniques d'ouvrages souterrains : quelles incidences sur le milieu ?	100 000
<b>2.2 Droit de l'environnement</b>		
2.2.1	Mise en exergue des contraintes juridiques d'utilisation du sous-sol (droit de l'environnement, code minier, droit du sol).	50 000
<b>2.3 Animation et coordination du thème</b>		
	Animation et coordination - établissement d'un rapport de synthèse des études du thème	50 000
<b>sous total thème 2</b>		<b>1 050 000</b>
<b>3. Approche socio-économique</b>		
<b>3.1 Mise en sous-sol de fonctions urbaines : avantages, inconvénients, évaluations comparées et mutualisation</b>		
3.1.1	Evaluation des conditions d'utilisation des cavités existantes et capacité de valorisation.	200 000
3.1.2	Agrégation de fonctions supports et qualité de vie urbaine sur un espace-projet (caractérisation des opportunités, scénarios de solutions...).	300 000
3.1.3	Interaction sous-sol/surface, évaluation socio-économique: coûts, avantages et rentabilité globale comparée, valorisation du sur-sol, impact sur valeurs foncières, impacts sur la mobilité et les transports...).	300 000
3.1.4	Evaluation des surcoûts consécutifs à l'ajout logistique.	450 000
<b>3.2 Droit du sol et du sous-sol</b>		
3.2.1	Etudes des solutions juridiques et réglementaires pour dépasser les freins actuels.	50 000
<b>3.3 Cindynique et urbanisme souterrain</b>		
3.3.1	Vers une cindynique des milieux souterrains multifonctionnels (sécurité de l'exploitation de l'ouvrage souterrain, évacuation des personnes, sécurité vis-à-vis des risques naturels...).	200 000
<b>3.4 Animation et coordination du thème</b>		
	Animation et coordination - établissement d'un rapport de synthèse des études du thème	80 000
<b>sous total thème 3</b>		<b>1 580 000</b>

<b>4. Approche sociétale</b>		
<b>4.1 Appropriation sociétale</b>		
4.1.1	<i>Etudes et préconisations (sur retour d'expérience) pour caractériser les ambiances thermiques, olfactives et tactiles des aménagements souterrains. Distinguo espaces publics / espaces de travail.</i>	300 000
4.1.2	<i>Etude et préconisations sur les "travailleurs des profondeurs" : approche comparée entre salariés de centres commerciaux de surface et espaces souterrains (enquête qualitative).</i>	100 000
<b>4.2 Design urbain et qualité architecturale</b>		
4.2.1	<i>De l'avant-garde utopique à l'esquisse de projet : morphologie des espaces souterrains pour une plus-value urbaine.</i>	150 000
<b>4.3 Animation et coordination du thème</b>		
	<i>Animation et coordination - établissement d'un rapport de synthèse des études du thème</i>	40 000
<b>sous total thème 4</b>		<b>590 000</b>
<b>5. Valorisation</b>		
	<i>Création d'un site internet-intranet et son exploitation.</i>	50 000
	<i>Rédaction et édition d'une synthèse des résultats et recommandations (techniques, environnementales, urbaines et juridiques) français/anglais et diffusion.</i>	190 000
	<i>Frais de traduction français - anglais.</i>	15 000
	<i>Organisation d'un séminaire à mi-parcours de coordination générale et d'évaluation des premiers résultats des études.</i>	10 000
	<i>Présentations publiques des résultats, conférences et actions d'information.</i>	120 000
<b>sous total thème 5</b>		<b>385 000</b>
<b>Total des thèmes de recherche en € HT</b>		<b>4 715 000,00</b>
Gestion administrative et financière du projet 5%		235 750,00
<b>Montant total du projet en € HT</b>		<b>4 950 750,00</b>
<b>Montant total du projet en € TTC</b>		<b>5 921 097,00</b>

### 4.3. PRESENTATION DE PARTENAIRES

- ADOR : Association pour le Développement Economique du pôle Orly-Rungis
- AFTES : Association Française des tunnels et de l'Espace Souterrain
- ANTEA Ingénierie et Conseil
- APSYS Expertises et conseils en management des risques
- APUR : Atelier Parisien d'Urbanisme
- ARD IdF : Agence Régional de Développement d'Ile-de-France
- BRGM : Bureau de Recherche Géologique et Minière
- Cabinet Monique Labbé
- CAUE : Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et de l'Environnement des départements 94, 14, 92
- CETU : Centre d'Etudes des Tunnels, service technique central du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer.
- CNAM : Conservatoire national des arts et métiers, Chaire de logistique, transport et tourisme
- COFHUAT : Confédération française pour l'habitat, l'urbanisme et l'aménagement du territoire
- COFIROUTE
- Collège des Hautes Etudes Environnement
- Communauté d'agglomération Melun Val de Seine
- Communauté d'agglomération de Saint Quentin en Yvelines
- CRESSON : Centre de recherche sur l'espace sonore et l'environnement urbain
- CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
- DEEP CITY
- DIREN IDF : Direction Régionale de l'Environnement de l'Ile-de-France
- EDG : Européenne de Géophysique
- EHTP Groupe NGE
- Eiffage
- EPADESA : Etablissement Public d'Aménagement de La Défense Seine Arche
- EPAMARNE : Etablissement Public d'Aménagement pour le Développement économique de la Marne
- EPAORSA : Etablissement Public d'Aménagement d'Orly-Rungis-Seine-Amont
- FNTP : Fédération National des Travaux Publics
- GDF SUEZ
- GEOLEP : GEOLogie de l'Ecole Polytechnique de Lausanne
- GHYMAC : Laboratoire Géosciences, Hydrosciences, Matériaux et Constructions, Université Bordeaux1
- GRIDAUH : Groupe de Recherche sur les Institutions, le Droit de l'Aménagement, de l'Urbanisme et de l'Habitat
- IAURIF : Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région Ile-de-France
- IGC : Inspection Générale des Carrières service de la Ville de Paris
- INGEROP
- INRETS : Institut de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
- INSA (Institut national de sciences appliquées) de Lyon
- Institut de psychologie de l'Université de Paris 5
- IOSIS
- IREX : Institut pour la Recherche appliquée et l'Expérimentation en Génie Civil
- LAB ESO de l'université de Caen
- LAB'URBA de l'université Paris Est
- LASH

- LATTS : Laboratoire Techniques, Territoires et Sociétés Institut Français d'Urbanisme, UMR CNRS 8134
- LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
- LMDC : Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions de Toulouse
- MDS
- MEEDDM CGDD DRI MGCC
- Mines de Paris
- Mission Grand Paris
- Monique LABBÉ Architectes
- PREDIT
- RATP, DGIDD Délégation Générale Innovation et Développement Durable
- SETEC Ingénierie et conseils dans les domaines du BTP, des transports, de l'industrie, des télécoms et de l'informatique
- SNCF : Société National des Chemins de Fer
- SNIA : Service National d'Ingénierie Aéroportuaire
- SOGARIS
- SOL Data
- Soletanche-Bachy
- Suez Environnement
- SYSTRAL Lyon syndicat mixte des transports Grand Lyon
- UNICEM Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction des carrières
- Ville de Caen
- Ville de Paris

# ANNEXE 1 – PRESENTATION DETAILLEE DES ATTENTES EXPRIMEES PAR LES ACTEURS

## Les partenaires Scientifiques

- **BRGM**, organisme de recherche et outil de service public, a dans ses objectifs de comprendre les phénomènes géologiques, de développer des méthodologies et des techniques nouvelles et de mettre à disposition des outils pertinents pour aider les politiques publiques nécessaires à la gestion du sous-sol et de ses ressources, à la prévention des risques naturels et des pollutions. Il souhaite, dans ce projet, apporter son savoir-faire dans des actions visant à une meilleure disponibilité, visibilité et lisibilité des données du sous-sol à destination des aménageurs. Les principales références du BRGM dans ce domaine, sont la thèse de Jacques Brégeon en 1977, sur l'aménagement du sous-sol, ses travaux et bases de données sur les risques naturels liés au sous-sol, sa participation aux projets de recherche RIVIERA (analyse des risques et modélisation 3D), D2SOU visant à étudier les paramètres d'évaluation de la durabilité d'un projet urbain vis-à-vis de son sous-sol, et le programme Carnot-Fraunhofer Deep-City 3D d'intégration des infrastructures anthropiques dans un modèle géologique 3D, qui vient de débiter. D'autres programmes visent à faciliter la visualisation 3D de données multiples, comme le projet « Espace Curien » financé par le Grand Emprunt pour des téléconférences entre équipes dispersées et pluridisciplinaires.  
Le BRGM souhaite proposer des projets structurants l'aide à la décision dans des projets d'aménagement urbains intégrant des choix d'aménagement du sous-sol
- **IGC, Inspection Générale des Carrières**, service de la Ville de Paris pour la gestion des risques liés aux carrières souterraines sous la ville de Paris et de la petite couronne, a déclaré son intérêt pour les aspects de l'intégration des carrières dans les programmes d'aménagement (réduction des risques et créations d'espaces utiles), et les aspects thermiques de l'utilisation des carrières souterraines.
- **CETU, Centre d'Études des tunnels**, est un service technique central du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer, intervenant dans le domaine des tunnels pour infrastructures de transport. En application des orientations du ministère, le CETU est très intéressé par l'évaluation du potentiel que représente et peut apporter l'espace souterrain (apport de matériaux, énergie, espace de projets, de services, de desserte,...) dans une perspective de ville durable. Au sein d'un programme ambitieux de recherche du Projet National, les actions qu'il conduit avec la profession, et en particulier l'AFTES, pour le développement d'outils capables de prendre en compte l'ensemble des incidences de la réalisation et de l'exploitation d'un tunnel (de type bilan Carbone ou Analyse de cycle de vie), pourraient être approfondis d'une part et recadrés d'autre part dans une approche beaucoup plus large de comparaison globale des projets de surface et des projets souterrains.
- **GHYMAC** Université Bordeaux, forme un laboratoire pluridisciplinaire en recherche appliquée sur l'environnement, naturel et des ouvrages en surface et à faible profondeur. Il possède des compétences en génie civil (structures et matériaux), et en géologie de l'ingénieur (géophysique, hydrologie et hydrogéologie, géochimie).  
Le GHYMAC est impliqué depuis plusieurs années sur des projets de recherche collaboratifs dans le domaine des sols urbains et le domaine des risques de projets

de génie civils complexes et à forts enjeux : RGC&U RIVIERA, PC3 (projet Région Aquitaine), PN RERAU, ANR ARGIC, ANR GERMA, ANR D2SOU... Il est également impliqué dans le projet INCERDD (pour Incertitudes et Développement Durable, démarrage novembre 2010), qui vise le développement d'une méthodologie et d'un ensemble de méthodes permettant d'aider à la prise de décisions en cherchant à expliciter l'influence des incertitudes existantes à différentes échelles du territoire urbain. Concrètement, le projet cherche à évaluer les conséquences d'une décision selon différents critères (économiques, techniques, sociaux, environnementaux...) et selon des approches probabilistes ou possibilistes. Très méthodologique, ce projet s'appuiera sur des problématiques concrètes, dans le domaine de la décision d'aménagement urbain. L'espace souterrain sera bien évidemment concerné, dans la mesure où, par exemple, les risques d'origine géotechnique/géologique d'une part et les problématiques de gestion et maintenance des réseaux enterrés d'autre part seront abordées.

Le GHYMAC souhaite proposer un travail sur la gestion durable des risques liés à la non détection des réseaux enterrés par des intervenants sur le sol urbain. Ce projet, né d'une réflexion menée avec la FNTP, viserait à apporter des réponses pour :

- l'amélioration des techniques de repérage des réseaux,
  - la mise en place d'outils et méthodes opérationnelles pour gérer les informations relatives aux réseaux, dans une logique collective,
  - le développement d'outils d'analyse des risques pour faciliter les prises de décision,
  - la modification des schémas d'intervention des acteurs urbains.
- **INSA de Lyon**, déjà très impliqué dans les aspects techniques de réalisation des tunnels en milieu urbain (comportement des terrains, incidences sur le bâti), travaille aussi sur les ambiances et en particulier sur les retours d'expérience thermiques, olfactifs et tactiles des aménagements souterrains, qui sont des éléments importants de l'acceptabilité sociale de ces aménagements.
  - **IAU**, est intéressé par les aspects environnementaux des espaces souterrains, les possibilités d'implantation d'équipements nécessaires à la ville et actuellement refoulés à l'extérieur de celle-ci (parc d'exposition, incinération et traitement des déchets ménagers, etc.) et d'une façon générale, les gains d'espaces que pourrait procurer le développement de l'utilisation de l'espace souterrain. D'autres aspects lui semblent intéressants, comme la valorisation d'anciennes carrières, les aspects historiques et pédagogiques de ces aménagements.  
Les impacts et perturbations sur les ressources, que peuvent entraîner les aménagements souterrains sont des sujets importants, quoique neufs pour l'IAU. Ils ont été abordés dans la préparation du SDRIF, mais il convient d'aller plus loin.
  - **GEOLEP Lausanne**, Laboratoire auteur et réalisateur du projet « Deep City » vient de rendre public le rapport final de ce projet. Les excellents contacts établis avec ce laboratoire sont prometteurs sur les possibilités d'appuis, voire de collaborations dans le cadre du projet national.
  - **LCPC** s'intéresse avec **l'INRETS** aux aspects techniques. Les laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées sont très actifs sur le plan des carrières souterraines. Le LCPC a une capacité de recherche mobilisable dans le domaine de l'instrumentation, de la surveillance des grands linéaires d'ouvrage, et du comportement des ouvrages souterrains, dans la réutilisation des matériaux pour limiter leur transfert, Le LCPC travaille également sur la modélisation et l'imagerie de l'environnement proche des ouvrages souterrains.

- **Université Paris Est** : 1500 chercheurs, ingénieurs et doctorants à la Cité Descartes sur la thématique « Ville, environnement et leur ingénierie ». Le Laboratoire d'urbanisme du pôle Paris Est souhaite intervenir sur l'identification des enjeux urbains (choix et interactions surface et souterrain), l'évaluation socio-économique, les surcoûts et la rentabilité globale comparée des solutions, la valorisation du sur-sol, l'impact sur les valeurs foncières, l'impact sur la mobilité et les transports, et enfin la partie réglementaire.

## Les Collectivités et Aménageurs

- **EPAMARNE**, a des projets de développement importants centrés sur le cluster de développement durable de la Cité Descartes, avec la création d'une connexion nord sud, la connexion RER E et RER A, la venue du métro automatique du réseau du Grand Paris. Ces projets pourraient être l'occasion de réflexions sur l'apport d'aménagements souterrains en 3 dimensions, autour de ce carrefour de communications qui arrivent à des niveaux différents.
- **EPADESA (La Défense et Seine-Arche)** a une expérience dans l'exploitation d'espaces sur dalles, et se confrontent aux problèmes que pose la gestion de cette infrastructure et à la nécessité de la faire évoluer.  
Plusieurs questions pourraient intéresser les programmes de recherche visant à une meilleure utilisation de l'espace souterrain en milieu urbain :
  - Quelles rentabilités des aménagements souterrains ?
  - Comment gérer la maintenance de ces infrastructures ?
  - Comment gérer le franchissement des infrastructures souterraines et les raccorder aux structures existantes, utiliser des espaces souterrains non utilisés ?
  - Comment travailler le concept de la « rue souterraine » (gestion des dessertes intérieures, développement de réseau de galeries techniques...)
  - Comment modifier les constructions surplombant les voies couvertes ?
  - Comment réduire l'opposition entre dessus et dessous qui existe en France ?
  - Quels moyens d'orientation à développer pour les espaces souterrains ?
  - Problème de l'harmonisation des réglementations des différents types d'espaces souterrains pour s'affranchir des fonctions dévolues et favoriser la création d'espaces multi-usages.
  - Quelle évolution de la réglementation pour pouvoir être plus innovants et plus attractifs ?
  - Les aspects logistiques font déjà l'objet de travaux avec la RATP.
- **Ville de Paris**, travaille à un repositionnement des espaces logistiques dans la ville, et utilise déjà des parties disponibles de parkings publics à cet effet. Certaines carrières souterraines de la ville seraient elles aménageables à cet effet ? De plus l'ancrage des immeubles sur des zones de carrières souterraines très présentes sous la ville, nécessitent parfois des fondations spéciales dont le coût très élevé pourrait être mis en regard avec celui de l'intégration de ces vides dans le projet d'aménagement pour récupérer de l'espace utile et faire disparaître les zones fragiles qui nécessitent des surveillances particulières.
- **Agglomération de Saint Quentin en Yvelines**, est intéressée par la suite du projet en raison des développements urbains qu'elle envisage.

- **Ville de CAEN**, qui possède beaucoup de carrières souterraines à haute hauteur de voute. Les carrières représentent dans cette ville, un patrimoine culturel et historique que la Ville souhaite mettre en valeur. Ces carrières représentent également un risque naturel géré par un service particulier. La Ville est en pleine extension avec le développement de quartiers situés au dessus des carrières souterraines. Pour l'instant, la présence de ces vides souterrains, y limite l'utilisation du sous-sol, la création de parkings souterrains et crée un problème d'approche des centres commerciaux. Une réflexion sur les usages économiquement possible de ces vides serait intéressante.
- **EPA ORSA**, suite à un premier contact, souhaite développer des discussions sur ce que pourrait apporter les sujets développés par le Projet National à ses préoccupations d'aménagement du plateau Orly-Rungis. EPA ORSA est intéressé par les possibilités qu'offre l'utilisation du sous-sol d'harmoniser le développement des activités économique des entreprises et en particulier celui des plateformes d'échange et le développement et la satisfaction des besoins des zones urbaines habitées.
- **ADOR** – Association pour le développement économique du pôle Orly - Rungis. Elle s'affiche comme le 1<sup>er</sup> pôle d'emploi du sud de l'Île-de-France avec plus de 4 000 entreprises, 63 000 emplois répartis sur 2000 hectares. Son ambition est d'accroître l'offre foncière et immobilière, d'améliorer l'accessibilité routière, de développer la vocation internationale de l'aéroport d'Orly, de mieux desservir le pôle par les transports en commun et de développer un plan de déplacement domicile - travail pour les entreprises présentes sur le territoire. L'ADOR est intéressée par les facilités que pourrait apporter le sous-sol à ces réalisations.
- **Comité d'Agglomération Melun Val de Seine**, considère que l'aménagement souterrain peut apporter des réponses dans l'aménagement urbain.
- **Mission Grand Paris**, et les infrastructures de transport envisagées. La prise en compte des concepts développés par le comité Espace souterrain de l'AFTES pourrait servir le développement du Grand Métro. Des contacts en ce sens ont été établis par l'AFTES.
- **CA Melun Val de Seine** (14 communes et plus de 108 000 habitants) a mis en place un projet de territoire "Cap 2013" pour lequel l'utilisation de l'espace souterrain pourrait apporter des solutions originales. En particulier, le CAMVS étudie un projet de gare (programme urbain et multimodale) où le sous-sol pourrait être une réponse dans la prise en compte de l'aménagement urbain.
- **Sytral Lyon**, syndicat mixte des transports des 57 communes du Gand Lyon et de 7 communes limitrophes, élabore le Plan de déplacements urbains. Il consacre d'importants moyens pour l'information, l'accessibilité et la sécurité des voyageurs de son réseau. Plusieurs thèmes abordés par l'étude de faisabilité pourraient l'intéresser.

## Les Entreprises et organismes

- **Solétanche - Bachy**, a travaillé sur le concept de la ville dense et autonome par l'insertion de fonctions nécessaires à la ville, souvent mises actuellement à l'extérieur de celle-ci, par la création des modules enterrées ou semi-enterrées de traitement des eaux usées et des centrales en béton en bord de rivière. Les modules de traitement des eaux usées sont d'ores et déjà opérationnelles et ont fait l'objet d'un brevet. Il peut être intéressant d'analyser comment de tels modules peuvent évoluer pour se connecter de manière cohérente aux autres fonctionnalités de la ville.

- **RATP**, a plusieurs études en cours sur la mobilité et le transport / stockage des marchandises en milieu urbain pour approvisionner les commerces de Paris pour participer au décongestionnant de la ville d'une partie du transport de ses marchandises (actuellement ce transport surface représente 10% du trafic et 40% des émissions polluantes). Elle conduit par ailleurs des réflexions sur l'accessibilité, les odeurs, les ambiances lumineuses, le confort et la sécurité. Parmi ces études, l'une sera rendue au deuxième semestre 2011, une autre fin 2012.
- **SNCF** Gare et Connexion : beaucoup de références, dont des recouvrements de voie (gare Austerlitz) ou des réalisations en sous-sol innovantes, comme l'agrandissement par « en dessous » de la gare Saint-Lazare, par création en sous-sol d'un grand centre commercial de 10 000 mètres carrés, ouvert sur trois étages et deux niveaux de parkings, avec une verrière éclairant l'ensemble jusqu'au niveau du métro, avec fluidité des passagers vers les différents secteurs, faisant appel à un financement privé pour la réalisation et l'exploitation de l'espace commercial intégré à la gare (ouverture 2012).
- **GDF Suez**, considère que le sous-sol peut aider à créer la ville de demain et qu'il est important de réfléchir aux outils d'exploitations de tels aménagements.
- **Eiffage TP**, est intéressé au projet.

### Les Ingénieries

- **SNIA - Ingénierie aéroportuaire** : ce service intervient comme service d'Ingénierie pour le Ministère de la Défense qui a un large parc immobilier dont certaines parties (y compris souterraines) sont rétrocédées aux activités civiles. Ces rétrocessions nécessitent des études d'aménagement et de maintenance des ouvrages dont certaines rejoignent les préoccupations du Projet National sur les aménagements de l'espace souterrain.
- **IOSIS**, est intéressé par le projet.

### Les Associations professionnelles

- **AFTES**, association française des tunnels et de l'espace souterrain travaille depuis plus de 40 ans au développement des techniques et des pratiques dans les travaux souterrains. Elle compte aujourd'hui près de 700 membres, maîtres d'ouvrage, sociétés d'ingénierie, centres de recherche, entreprises et industriels qui travaillent ensemble pour promouvoir et faire connaître le savoir-faire français dans ce domaine. Une vingtaine de groupes de travail sont en permanence actifs pour élaborer des recommandations et coordonner les pratiques. Au sein de l'association, le Comité Espace souterrain anime tout particulièrement les réflexions pour une meilleure mise en valeur des ressources offertes par le sous-sol, et tout spécialement en matière d'aménagement. De nombreuses initiatives ont d'ores et déjà été prises pour mobiliser autour de cette thématique. Cette association est à l'origine de la proposition d'un Projet National de recherche, afin d'accélérer une prise de conscience indispensable par les décideurs et les aménageurs et d'élaborer pour eux les outils nécessaires. L'AFTES s'engagera autant que nécessaire pour la réussite de ce projet.
- **FNTF**, a un rôle transverse. Elle possède plusieurs comités, dont un Comité des sols, un Comité matériaux et un Comité Travaux souterrains qui pourraient mobiliser les

entreprises pour une forte implication dans le projet. La FNTP est également partie prenante au sein de l'AFTES et s'est d'ores et déjà déclarée intéressée par de nombreux thèmes du projet.

**COFHUAT**, Confédération Française pour l'habitat, l'urbanisme et l'aménagement du territoire aborde avec ses membres tous les aspects de la notion de développement durable, la question du partenariat public privé, le développement des technologies nouvelles de télécommunications dans l'ensemble du territoire... toujours en s'appuyant sur un réseau international permettant des comparaisons.

Cette association œuvre aussi pour permettre une meilleure circulation possible d'informations et de connaissances entre ses membres dans les domaines : □

- de l'habitat,
- de l'aménagement urbain et de l'urbanisme
- de l'aménagement du territoire et des régions
- de l'environnement et du paysage
- des transports

Les occasions de rencontres publiques avec les décideurs et techniciens, tant au niveau national qu'international, et la constitution de réseaux d'opérateurs pluridisciplinaires peuvent constituer un appel à de nouveaux partenaires.

- **UNICEM**, organisation professionnelle des carriers, doit être consultée sur les possibilités de réutilisation des matériaux extraits lors d'un chantier souterrain important. L'UNICEM s'intéresse en particulier à l'utilisation de matériaux locaux, même de qualité moindre, qui après traitement ont des caractéristiques équivalentes aux matériaux classiques. Plusieurs de ces études ont montré que cela pouvait être économiquement viable.

# ANNEXE 2 - GRILLE DE QUESTIONNEMENTS THEMATIQUES : DIMENSIONS COGNITIVE, ENVIRONNEMENTALE, SOCIO-ECONOMIQUE ET SOCIETALE

---

## 1. DIMENSION COGNITIVE :

### VISIBILITE, CONNAISSANCE ET GESTION DES DONNEES

*Lever les freins sur la méconnaissance du sous-sol / maîtriser et diminuer les conséquences de l'aléa géologique et de l'imprécision des données / optimiser l'utilisation des ressources vis-à-vis des opportunités ou des contraintes du sous-sol*

#### 1.1. CONNAISSANCE DU SOUS-SOL

##### 1.1.1. Améliorer les outils de connaissance géologique et de recueil de données

▪ Les bases de données existantes :

Il y a une réelle difficulté d'accéder aux données du sous-sol. En effet, s'il existe de nombreuses bases de données publiques, d'autres bases sont privées et le nombre de gestionnaires et les formats différents ne facilitent pas leur utilisation conjointe dans un même projet. Pour gagner en efficacité et en temps, le seul moyen réellement disponible actuellement est la reprise de travaux de reconnaissance sans pouvoir utiliser au mieux les données existantes.

- Le BRGM est la principale source d'information publique sur les données du sous-sol. Il fournit, au travers du portail géomatique « Info Terre », un accès à de nombreuses données géoscientifiques publiques : cartes géologiques du 1/1000000 au 1/50000, dossiers de la Banque de données du Sous-Sol qui rassemblent toutes les données ponctuelles issues des déclarations de forage de plus de 10 m de profondeur et leurs logs géologiques, cartes des risques naturels (cavités souterraines, mouvements de terrain, remontées de nappes, sismicité) et anciens sites industriels, sites et sols pollués, données sur les eaux souterraines, occupation des sols...  
InfoTerre™ utilise exclusivement les standards de l'interopérabilité internationale édités par l'Open Geospatial Consortium (OGC). Il est cohérent avec les obligations techniques de la Directive européenne INSPIRE.
  - D'autres bases de données sur certaines données du sous-sol sont gérées par d'autres organismes publics. D'autres organismes enfin disposent de données qu'il n'est pas possible de consulter directement.
  - La difficulté d'accès à beaucoup de données du sous-sol acquises au cours des travaux par les bureaux d'études et les entreprises, est un double frein à l'utilisation de celui-ci : un frein économique, car les reconnaissances y sont chères et un frein entraîné par les délais de réalisation de ces travaux de reconnaissance. L'insuffisance de données entraîne également une incertitude sur les coûts de réalisation, des exemples de surcoûts en fin de travaux qui sont nombreux, qui sont des freins aux projets. Il serait nécessaire de réfléchir aux moyens de mutualiser les données existantes, par exemple sur le modèle du Code Minier qui a rendu obligatoire la déclaration des forages de plus de 10 m de profondeur et a missionné un organisme public pour mettre à disposition de tous, les données déclarées sur ces ouvrages pour limiter les reconnaissances aux acquisitions complémentaires nécessaires. Cela donnerait une plus grande visibilité au sous-sol et à ses ressources, et rendrait son approche moins coûteuse et plus aisée pour les aménageurs et les maîtres d'ouvrages, et aiderait à mieux comprendre que la ville a une "épaisseur" et que des projets peuvent s'y insérer.
  - L'interopérabilité des bases des données, qui permet au producteur de données, de garder la propriété et la maîtrise de sa production, allié à un portail de données particulier fédérant les acteurs, serait une piste intéressante à étudier.
- L'apport des moyens de reconnaissance géophysique : la reconnaissance de la structure des sols urbains reste une préoccupation majeure pour des raisons environnementales, historiques,

et techniques. Ces sols sont caractérisés par leur grande complexité structurelle qui rend nécessaire une approche pluridisciplinaire. Les méthodes géophysiques qui permettent d'acquérir rapidement des informations de façon non destructives sont d'un enjeu très important. Cependant, le contexte urbain (structures 3D superposées, espaces accessibles limités, perturbations électromagnétiques) limite considérablement le champ des méthodes adaptées à ce type de reconnaissance et des développements scientifiques et techniques restent à proposer.

- Le développement d'outils de détection des structures enterrées est également un enjeu très important. Les dommages sur réseaux enterrés représentent annuellement en France d'une dizaine de millions d'Euros par an et sont potentiellement :
  - des atteintes à la sécurité des biens et des personnes ;
  - des retards dans les chantiers ;
  - des interruptions de fournitures d'énergies pour les clients domestiques et industriels ;
  - des fermetures de voies de communications.

De plus, les accidents survenus récemment lors de travaux près de réseaux enterrés (Bondy, Noisy, etc.) ont montré qu'un repérage précis des réseaux, un accès rapide aux informations et une bonne fiabilité des données sont des facteurs essentiels. Un travail en ce sens paraît primordial pour assurer la sécurité des biens et des personnes et accompagner le développement de l'usage des espaces souterrains.

#### 1.1.2. Intégration des outils : guide méthodologique de connaissance du sous-sol en milieu urbanisé Ce guide traiterait :

- De la reconnaissance de la présence d'ouvrage, des caractéristiques géologiques, eau,..)
- du niveau d'incertitude résiduel et de l'aléa géologique et des moyens permettant de les dépasser.

## 1.2. LA REPRESENTATION DU SOUS-SOL ET DE SES AMENAGEMENTS

### 1.2.1. Les outils de restitution de l'information et de visualisation du sous-sol à destination des acteurs de la ville :

- le passage de la connaissance à la représentation : les données sur le sous-sol peuvent être :
  - ponctuelles, comme les données des forages (plusieurs milliers de forages pour une ville moyenne, disponibles dans la base des données du sous-sol (BSS) accessible via le site Internet du BRGM) ou dans d'autres bases de données de diffusion plus restreinte, ou
  - surfaciques comme les données des cartes géologiques, ou encore
  - suivant des coupes verticales du terrain, comme celles obtenues par des moyens géophysiques.

Ces données, d'origines diverses, doivent être interprétées et représentées sous une forme particulière pour rendre une information accessible, synthétique et compréhensible pour l'aménageur. Cette interprétation doit tenir compte de l'échelle d'acquisition des données, des imprécisions qu'entraîne leur extension à la représentation d'un volume, des incertitudes qui subsistent naturellement et des impacts de ceux-ci sur l'élaboration des projets, des coûts des travaux, des compléments de reconnaissance éventuellement souhaitables, pour réduire l'incertitude du coût des réalisations. Une représentation difficilement lisible, une incertitude trop importante, feront rejeter l'étude des apports du sous-sol dans un projet d'aménagement.

De même, il existe actuellement une réelle difficulté à l'interopérabilité des différentes sources de données. Ainsi, les standards des données géoréférencées (OGC), les standards de visualisation graphiques de la ville (CITY GML) ; les standards de modélisation des bâtiments (IFC), les standards d'échange de données géologiques (GeoSciML), doivent pouvoir être interopérables pour permettre une réelle visualisation des interactions des conditions naturelles du sous-sol et de ses aménagements.

- la modélisation 3D du sous-sol et de l'aléa géotechnique : actuellement, le grand nombre de données à traiter, leur différence de nature, font que les représentations qui semblent les plus pertinentes pour l'aménageur, soient des modélisations en trois dimensions, associées à des

outils de visualisation, en volumes, en coupes, pouvant gérer facilement le changement d'échelle d'observation et la co-représentation d'autres informations comme les éléments d'origine anthropique (constructions, carrières, réseaux enterrés, aménagements souterrains, etc.). Des avancées techniques importantes ont déjà été faites dans ce domaine, mais d'autres progrès restent à faire, la représentation conjointe des éléments naturels et ceux d'origine anthropiques restant difficile, en raison des différences dans les données, dans les formats et dans les logiciels de représentation de chaque type d'information.

- définition d'une typologie pour caractériser les types de ressources : Les données de base sont techniques. Elles doivent être agglomérées en unités lisibles par des non spécialistes, et doivent être « traduites » dans un langage parlant aux aménageurs. Ainsi, un des résultats du projet Deep City suisse, a été de traduire les éléments géologiques en éléments de même caractéristiques géotechniques parlant aux aménageurs. Ce travail de regroupement typologique doit également varier pour pouvoir tenir compte de l'échelle d'observation, entre l'échelle d'un quartier ou d'une ville, pour l'évaluation des particularités des différents secteurs, et l'échelle de détail qui pourra redonner l'information ponctuelle collectée à la base. Des méthodologies doivent être proposées pour permettre une standardisation de ces représentations.
- les différentes échelles de travail et le lien avec la planification : le zoom des lectures des informations, depuis la vision globale de la ville vers le niveau du quartier ou du bâtiment est un autre chantier important.

#### 1.2.2. Les outils de visualisation des projets réalisés en souterrain

- les limites des outils existants : les données sont multiples, dispersées, souvent méconnues. Leur mise à disposition doit être améliorée. Leur visualisation est complexe et ne rend pas compte des incertitudes. Les représentations courantes ont également tendance à entraîner une sous-estimation des lacunes de connaissance. Ces aspects constituent des freins à l'utilisation du sous-sol, par manque de connaissance et difficulté dans la maîtrise des coûts des aménagements.
- le développement d'outils de conception, d'outils de communication, etc. : il convient de développer des outils de visualisation et de synthèse des informations. Les travaux de recherche envisagés, concernent l'intégration d'informations de milieux continus (géologie, etc.) et celles concernant les infrastructures géométriques (réalisations anthropiques).

### 1.3. LA GESTION DES DONNEES ET LEUR MISE A DISPOSITION

#### 1.3.1. Les impératifs pour permettre les échanges des données. Ces impératifs concernent :

- les outils de recueil et les bases de données existantes
- les standards à définir, l'interopérabilité des bases de données
- les règles de précaution et la fiabilité des données
- l'organisation pour gérer la donnée et pérenniser la mise à jour – quelle gouvernance (politique, technique,..) ?

#### 1.3.2. L'optimisation des projets d'aménagement

Dans ce domaine, les travaux à poursuivre concernent :

- La mise à disposition de l'information en fonction des besoins de « l'aménageur »
- Les méthodologies d'optimisation interactive entre géologie, géotechnique et aménagement
- La gestion des incertitudes

---

## 2. DIMENSION ENVIRONNEMENTALE : RAPPORT AVANTAGES/INCONVENIENTS ET GESTION DE LA RESSOURCE :

*Comment l'utilisation du sous-sol peut être le levier d'un politique d'aménagement durable - Mutualisation - Développement d'outils et d'indicateurs pour quantifier les impacts environnementaux des solutions souterraines - Complémentarité du sol et du sous-sol.*

## **2.1. APPORTS ET INCONVENIENTS DE L'UTILISATION DU SOUS-SOL EN SITE URBAIN DENSE SUR LE PLAN DE L'ENVIRONNEMENT**

2.1.1. Identification et caractérisation environnementale des enjeux urbains impactés par le choix d'un aménagement en surface ou en souterrain. Incidences sur :

- gestion de l'espace de surface
  - mobilité, transport et desserte de personnes et de marchandises
  - services aux personnes et aux entreprises
  - aménagement urbain et cadre de vie
  - risques naturels
  - qualité de l'air
  - réduction des gaz à effet de serre,..

2.1.2. Nuisances, difficultés et risques environnementaux

- chantiers urbains
- exploitation des ouvrages souterrains

2.1.3. Bilans énergétiques

2.1.4. Enjeu et adaptation de la ville aux incidences du changement climatique

## **2.2. APPROCHE SYSTEMIQUE ET GESTION DE LA RESSOURCE SOUS-SOL**

2.2.1. L'articulation de l'aménagement avec la valorisation ou la protection des ressources du sous-sol

2.2.2. La ressource offerte par le matériau extrait

- réutilisation suivant les matériaux et les techniques de creusement
- contraintes diverses

2.2.3. Les apports énergétiques des projets souterrains

2.2.4. L'exploitation ou la préservation de la ressource en eau - Incidences hydrogéologiques - La cartographie des ressources souterraines

2.2.5. Méthodologie de choix et d'arbitrage entre les divers usages possibles du sous sol

2.2.6. L'apport d'une approche systémique de l'aménagement et de la ressource

## **2.3. LES OPPORTUNITES « ENVIRONNEMENTALES » OFFERTES PAR LA MUTUALISATION DES ESPACES**

2.3.1. Les conséquences de la séparation des usages (encombrement, incohérence, etc.)

2.3.2. L'exemple des galeries multi-réseaux

2.3.3. Les apports de la mutualisation

## **2.4. LES OPPORTUNITES « ENVIRONNEMENTALES » OFFERTES PAR L'UTILISATION DE CARRIERES SOUTERRAINES EXISTANTES**

2.4.1. Les problèmes liés à la présence de cavités délaissées

2.4.2. Les opportunités au plan d'une utilisation thermique

2.4.3. Les incidences sur l'environnement d'une réhabilitation de carrières existantes

2.4.4. L'intégration des carrières souterraines dans les projets d'aménagement

2.4.5. Les solutions techniques de requalification des carrières souterraines

## **2.5. LES METHODES ET OUTILS D'EVALUATION DES IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT**

2.5.1. Les approches qualitatives – analyse multi-critères

- la méthodologie classique de l'étude d'impact est-elle adaptée ?
- la définition des critères environnementaux appropriés pour évaluer un aménagement souterrain
- comparaison aménagement en surface et aménagement en souterrain

2.5.2. Les approches quantitatives

- les limites des méthodes existantes
- le bilan carbone et l'Analyse de Cycle de Vie (ACV)
- la définition d'indicateurs spécifiques aux aménagements souterrains
- Comparaison aménagement en surface et aménagement en souterrain

---

### **3. DIMENSION ECONOMIQUE : COÛTS, MUTUALISATION, OPPORTUNITES, EVALUATION**

*Méthodes d'évaluations socio-économiques des projets - Mutualisation - Les services associés.*

#### **3.1. ASPECTS FINANCIERS**

- 3.1.1. Surcoûts et rentabilité globale des projets en souterrain
- 3.1.2. Econométrie des projets d'aménagement souterrain
- 3.1.3. Possibilités de valorisation du sur-sol et incidences sur le bilan global

#### **3.2. OPPORTUNITES « SOCIO-ECONOMIQUES » OFFERTES PAR LA MUTUALISATION DES ESPACES**

- 3.2.1. Les nouveaux modes de financement de projet
- 3.2.2. Les gains de rentabilité liés à la mutualisation
- 3.2.3. Les adaptations souhaitables des procédures d'aménagement

#### **3.3. OPPORTUNITES « SOCIO-ECONOMIQUES » OFFERTES PAR L'UTILISATION DE CARRIERES SOUTERRAINES EXISTANTES**

- 3.3.1. Les coûts liés à la présence de cavités délaissées
- 3.3.2. L'intégration des carrières souterraines dans les projets d'aménagement

#### **3.4. LES METHODES ET OUTILS D'EVALUATION DES IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES**

- 3.4.1. Les approches qualitatives – analyse multi-critères
  - Définition des critères socio-économiques appropriés pour évaluer un aménagement souterrain
  - Comparaison aménagement en surface et aménagement en souterrain
- 3.4.2. Les approches quantitatives
  - Notion de coût global
  - Prise en compte des aspects sociaux à travers des indicateurs spécifiques
  - Comparaison aménagement en surface et aménagement en souterrain

---

### **4. DIMENSION SOCIETALE : COMPORTEMENTS, GESTION DU RISQUE EN EXPLOITATION, CONDITIONS D'ACCEPTABILITE**

*Rapport de l'homme au sous-sol et aux aménagements souterrains -*

#### **4.1. ASPECTS SOCIAUX ET SOCIETAUX LIES A L'UTILISATION DU SOUS-SOL EN SITE URBAIN DENSE**

- 4.1.1. Regard historique sur l'utilisation du sous-sol en France et dans le monde
- 4.1.2. Le rapport culturel de l'homme au sous-sol et au souterrain
- 4.1.3. Le niveau de connaissance générale en ce qui concerne le sous-sol et son potentiel
- 4.1.4. Les incidences sur le comportement et les attentes des personnes utilisant des souterrains
- 4.1.5. L'acceptabilité sociale et ses fondamentaux
- 4.1.6. Les solutions pour améliorer le ressenti des usagers :
  - l'aménagement de l'interface en surface et souterrain, le traitement des accès
  - les transports verticaux profonds
  - le travail sur l'ambiance, la lumière, l'éclairage, le traitement des parois, etc.
  - le travail sur les sons et les odeurs
  - le repérage et l'orientation des personnes
- 4.1.7. La comparaison entre un espace aérien fermé et un espace souterrain

#### **4.2. ASPECTS RISQUES ET PERCEPTION DU RISQUE EN EXPLOITATION**

- 4.2.1. L'identification des risques spécifiques liés au souterrain
- 4.2.2. Comparaison du risque réel et du risque ressenti
- 4.2.3. Le cas de l'incendie (réglementations, freins et solutions)
- 4.2.4. La sécurité des personnes vis à vis d'agressions
- 4.2.5. La comparaison entre un espace aérien fermé et un espace souterrain

## ANNEXE 3 – BIBLIOGRAPHIE

Les documents de cette bibliographie sont classés par type de support puis par ordre chronologique de publication.

### Ouvrage

- HENARD E., *Etudes sur les transformations de Paris et autres écrits sur l'urbanisme*, Paris, Editions L'équerre, [1ère éd. 1903-1910], 1982.
- UTUDJIAN E., *L'urbanisme souterrain*, ed. Paris Presses universitaires de France, 1952, 102 p.
- UTUDJIAN E., *L'Encyclopédie du monde souterrain*, 8 volumes parus (éditions du GECUS, MS), 1936-1964.
- UTUDJIAN E., *L'Architecture et l'urbanisme souterrain*, Paris, éd. Laffont, 1966.
- LEGGET R., *Cities and Geology*, New York, ed. Mc Graw Hill, 1973, 624 p.
- CARMODY J. & STERLYNG R.L., *Underground Space Design – A guide to Subsurface utilization and design for people in underground spaces*, NY, ed. Van Nostrand Reinhol, 1993.
- BARLES S., GELY M., GUILLERME A., *Bibliographie sur les constructions souterraines en milieu urbain (1970-1995)*, Champs: Laboratoire TMU/GDR.
- BARLES S., GUILLERME A., *L'urbanisme souterrain*. Paris PUF coll. « Que sais-je ? » n°533, 1995. 126 p.
- BARLES S., BREYSSE D., GUILLERME A. & LEYVAL C. (Collectif), *Le sol urbain*. Paris, éd. Anthropos (collection Villes), 1999, 278 p.
- VON MEISS P., RADU F. (Collectif), *Vingt mille lieux sous les terres: Espaces publics souterrains*, Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 2004
- BREYSSE D., KASTNER R. (Collectif), *Sols urbains*. Paris : Hermès / Lavoisier (coll. « Mécanique et ingénierie des matériaux »), 2003. 462 p.
- NEGRON P., BOISVERT M., *Bibliographie sur les constructions souterraines en milieu urbain (1995-2003)*, Montréal: Observatoire de la Ville Intérieure - Champs: Laboratoire TMU, [2004].
- BRETON M. & BOISVERT M., *Les usagers de la ville intérieure. Résultats préliminaires d'une enquête réalisée en juin et novembre 2003*. Montréal : Observatoire de la ville intérieure, [2004]. 41 p.
- BERTHOLON P. & HUET O. *Habitat Creusé, le patrimoine troglodytique et sa restauration*, éd. Eyrolle, 2005, 224 p.
- Clé de Sol (Collectif), *Guide pratique des galeries multi-réseaux*, Technicités, Voiron, 2005, 225 p. + CD.

### Mémoire, thèse, rapport de recherche

- BREGEON J., *L'aménagement du sous-sol*, thèse Marseille, 1983.
- BILLET P., *La protection juridique du sous-sol en droit français*, thèse université Jean Moulin, Lyon 3, 1994, 879 p.
- BARLES S. & GUILLERME A., *Espace et urbanisme souterrains : État des lieux et perspectives. Rapport de recherche pour le compte de la Direction générale de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction du ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement*. Champs-sur-Marne : Laboratoire TMU (UMR 7543) / ARDU, mars 2001. 112 p.
- BARLES S. & JARDEL S., *L'urbanisme souterrain : étude comparée exploratoire*, Paris, Rapport de recherche pour le compte de l'APUR, 2005.
- BLUNIER P., *Méthodologie de gestion durable des ressources du sous-sol urbain*, thèse Lausanne, EPLF, 2009.

### Revue et article

- GODARD J.P., « Utilisation du sous-sol urbain », *Tunnels et ouvrages souterrains* (spécial), avril

- 1981, p. 143-151.
- « Un schéma directeur pour le sous-sol », *Tunnels et ouvrages souterrains* (96), 1989, p. 265-266.
  - GODARD J.P & STERLING R.L, « General consideration in assessing the advantages of using underground space ». *Tunneling and underground space technology*, 10, 287-297, 1995.
  - DUFFAUT P. & LABBÉ M., « Les réseaux comme germe de l'urbanisme souterrain », *Tunnels et ouvrages souterrains* (130), Juil-août. 1995, p. 255-260.
  - DUFFAUT P. & LABBÉ M., « Underground space inside a hilltop », *Tunnelling & Underground Space Technology*, Minneapolis (Etats-Unis), volume 10 n°2, 1995.
  - BARLES S. & GUILLERME A. « L'urbanisme souterrain », *AMC* (100), sept. 1999, p. 46-47.
  - BARLES S., « La valeur du tréfonds », *Études foncières* (85), Winter 1999-2000, p. 28-32.
  - H. SATO, « Perspectives d'utilisation du sous-sol au Japon au XXI<sup>ème</sup> siècle », *Tunnels et ouvrages souterrains* (160), Juil-août., 2000, p. 198-202.
  - BARLES S., « Urbanisme et sous-sol : une rencontre difficile », *Tunnels et ouvrages souterrains*, 166, juillet/août 2001, p. 202-205.
  - BESNER J., « La ville souterraine », *Urbanisme* (340), août 2000, p. 75-78.
  - BARLES S., « Un plan d'urbanisme pour le sous-sol », *Études foncières* (90), Mars-avril 2001, p. 26-28.
  - LABBE M., « Dimension architecturale de l'espace souterrain », *Tunnels et Ouvrages Souterrains*, juin - juillet 2004.
  - LABBE M., « Paris souterrain, l'autre ville », *Le Nouvel Observateur*, n°2160, avril 2006.
  - DUFFAUT P., « Panorama de l'urbanisme souterrain », *Techniques de l'ingénieur*, C3061, Paris, 2007, 13 p.
  - DUFFAUT P., « Demandes, offres, contraintes et avantages », *Techniques de l'ingénieur*, C3062, Paris, 2007, 13 p.
  - Collectifs, Villes et géologie urbaine, *Géosciences Paris BRGM*, n° 10, 2009, 108 p.
  - BREYSSE D. (eds), « GERMA un projet de recherche pour la maîtrise des risques de projet », *Préventique Sécurité* n°113, sept-oct 2010, p.8-16.

#### Contribution et Acte de colloque

- DUFFAUT P. & BRIGEON J., La variante souterraine comme solution aux problèmes d'environnement; Journées Géotechniques Nantes, Rev. Franç. Géotechnique 1979.
- Collectif, Colloque « Connaître le sous-sol, un atout pour le développement des villes », Lyon, Bull. BRGM 1981.
- LEGRAND (ed.), Collectivités territoriales et utilisation du sous-sol, proceedings of the AFTES conference, Bordeaux, 21-23 Oct. 1987, Rotterdam : Balkema, 1988.
- Urban Underground Utilization'91, Rapport final de la 4th International Conference on Underground Space and Earth Sheltered Buildings, Tokyo, déc. 1991. Tokyo : USCJ, 1992. 493 p.
- BOYER, L. (ed.). 5th International Conference on Underground Space and Earth Sheltered Structures. Actes du colloque de Delft, 3-5 août 1992. Delft : Delft University Press, 1992. 873 p.
- BARLES S. (ed.) Espace et Urbanisme souterrain / Underground Space and Urban Planning. Actes de la 6<sup>ème</sup> Conférence Internationale organisée par le Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines GDR 1101 Sol urbain, Paris La Villette, 1995. Champs-sur-Marne : Laboratoire TMU URA CNRS 12444, 1995, 654 p.
- Indoor cities of tomorrow / Villes intérieures de demain. Actes de la 7<sup>ème</sup> Conférence Internationale de l'ACUUS, Montréal, sept. 1997. Montréal : ACUUS, 1997. pag. mult., 1 CDRom.
- Agenda and Prospect for the Turn of the Century. Actes de la 8<sup>ème</sup> Conférence Internationale de l'Association des Centres de Recherche sur l'Utilisation Urbaine du Sous-sol (ACUUS), Xi'an

(Chine), 27-30 sept. 1999. vi + 516 p.

- Urban Underground Space : A Resource for Cities. Actes de la 9<sup>ème</sup> Conférence Internationale de l'ACUUS, Turin, nov. 2002. Turin : Politecnico di Torino / Montréal : ACUUS, 2002. 1CDRom.
- BOISVERT, M. (ed.). Le développement de la ville intérieure et la révision en cours du Plan d'urbanisme. Compte-rendu des séminaires organisés par l'Observatoire de la ville intérieure de janv. à avr. 2004. Montréal : Observatoire de la ville intérieure, mai 2004. 53 p.
- LABBÉ, DUFFAUT, « Contribution du sous-sol au métabolisme urbain », *in: Proceedings of the EMUE Conference*, organisé par le Laboratoire TMU, Paris, Mai 2006, CD Rom
- Ville durable : quelle contribution du sous-sol ? ¶ Actes du Colloque du 23 octobre 2006 ¶ TOS 203 - septembre /octobre 2007

#### Autre

- "Proposition de Loi, relative à l'amélioration de la connaissance et de l'aménagement du sous-sol", sur le net [[www.senat.fr/leg/pp199-160.html](http://www.senat.fr/leg/pp199-160.html)].