

Programme de recherche et budget prévisionnel du **Projet National** « **Ville 10D – Ville d'idées** »

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

Mars 2012

**Ministère de l'Ecologie, du
Développement Durable, des
Transports et du Logement.**
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



TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	2
PREAMBULE	3
1. PRESENTATION GENERALE	4
1.1. CONTEXTE ET MOTIVATIONS DU PROJET	4
1.2. L'ETAT DE L'ART	6
1.3. OBJECTIFS ET CHAMPS DE RECHERCHE DU PROJET	7
1.4. LE CROISEMENT D'UNE APPROCHE PAR THEME ET PAR SITE	9
1.5. COORDINATION ET SYNTHESE	10
2. UNE APPROCHE PAR THEME.....	12
2.1. THEME 1 : SOCIO-ECONOMIE	12
2.2. THEME 2 : ENVIRONNEMENT	19
2.3. THEME 3 : PSYCHOSOCIAL ET SOCIETAL	27
2.4. THEME 4 : VISIBILITE, CONNAISSANCE ET GESTION DES DONNEES	34
2.5. THEMES TRANSVERSAUX.....	41
3. UNE APPROCHE PAR SITE	43
3.1. LE SITE DE PARIS : UNE APPROCHE DES CAVITES ANTHROPIQUES	43
3.2. LE SITE D'ORLY-RUNGIS : UNE APPROCHE DU PLATEAU.....	46
3.3. LE SITE DE LA DEFENSE : UNE APPROCHE DE LA DALLE.....	49
3.4. LE METRO PARISIEN : UNE APPROCHE DES INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES EXISTANTES	53
3.5. LE SITE DE L'EPAMARNE : UNE APPROCHE DE L'INFRASTRUCTURE EN PROJET	56
4. ORGANISATION ET FONCTIONNEMENT	61
4.1. PILOTAGE DU PROJET	61
4.2. FONCTIONNEMENT OPERATIONNEL.....	62
5. BUDGET PREVISIONNEL ET PLAN DE FINANCEMENT	63
5.1. BUDGET PREVISIONNEL GLOBAL.....	63
5.2. PLAN PREVISIONNEL DE FINANCEMENT PN	65
6. PLANNING PREVISIONNEL GENERAL	66
7. VALORISATION ET RETOMBEES	67
7.1. MODES DE VALORISATION.....	67
7.2. RETOMBEE ATTENDUES	68
ANNEXES.....	69
ANNEXE 1 : TABLEAU : LES FACTEURS DE DIFFERENTIATION ENTRE REALISATIONS AU SOL ET REALISATIONS SOUTERRAINES	70
ANNEXE 2 : BIBLIOGRAPHIE	72

PRÉAMBULE

Ce rapport de montage fait suite à l'étude de faisabilité d'un Projet National de Recherche intitulé « Ville 10D-Ville d'idées » - Différentes Dimensions pour un Développement urbain Durable et Désirable Décliné Dans une Dynamique Dessus-Dessous sur le thème suivant :

« la contribution du sous-sol à l'urbanisme durable ».

Cette étude a été déposée en septembre 2010 et présentée au RGCU le 13 janvier 2011. Elle résulte de la volonté de l'AFTES, avec l'appui de l'IREX, de lancer un Programme de Recherche National sur l'utilisation de l'espace souterrain afin de poser les bases d'un nouvel urbanisme qui prendrait en compte toutes les dimensions de la ville.

Depuis des années l'association défend au niveau national et international l'intérêt d'une utilisation raisonnée et optimale de l'espace souterrain. Le sous-sol est largement sous-utilisé en France, du moins dans des usages autres que la recherche de minerais, les canalisations de surface et les parkings. Pourtant certaines pratiques étrangères illustrent l'important potentiel d'aménagement des sous-sols. Afin que la France rejoigne l'exemplarité étrangère notamment canadienne, finlandaise ou encore japonaise, il est nécessaire de rassembler les compétences d'experts divers dont le croisement permettra l'élaboration d'une réflexion sur les possibilités d'un urbanisme souterrain.

Le rapport de faisabilité avait permis de définir une matrice méthodologique dans laquelle avaient été arrêtés cinq types de sites d'études et quatre dimensions à explorer.

Les sites aux « caractéristiques urbaines types » découlent d'une démarche inspirée d'Edouard UTUDJIAN, de Pierre DUFFAUT et des cas d'étude rencontrés. Les échanges avec les partenaires potentiels ont permis de repenser par exemple le site de Paris, notamment à travers ses cavités souterraines et ses infrastructures souterraines de la RATP. Ainsi, les possibilités nous semblent particulièrement intéressantes dans le cas des carrières souterraines, des reliefs en plateaux, dans les cas d'urbanisme de dalle, parmi les infrastructures souterraines existantes et celles en projet.

Ces sites seront analysés sous l'angle des dimensions socio-économiques, géographiques, environnementales, et psychosociales.

Les possibles mises en valeur du sous-sol urbain interrogent tant le monde de la recherche que le monde industriel. Il s'agit de mettre en évidence à la fois les modalités de choix et de hiérarchisation des fonctions urbaines à transférer en sous-sol (lieu de mémoire muséifié, fondations d'un nouveau bâtiment, entrepôts souterrains, axes de communication,...) ainsi que de travailler sur l'épineuse question de leur acceptabilité sociale.

Une fois la phase « faisabilité » validée, il faut noter que la phase « étude de montage » a nécessité un vrai travail de sensibilisation. En effet, pour les personnes approchées, dont les profils sont divers, ce sujet apparaît comme très nouveau. Ces derniers ont donc pris le temps de découvrir, puis de s'approprier le projet avant de pouvoir s'y positionner.

Par ailleurs les divers échanges nous ont permis de reconsidérer la matrice différemment. Nous avons considéré que le blocage n°1 d'un projet souterrain relevait des freins financiers. De ce fait, si l'aboutissement d'un projet souterrain n'est possible qu'à travers sa rentabilité, la dimension socio-économique devient l'angle d'approche premier dans la matrice méthodologique. La visibilité, tout aussi essentielle, à sa place au début et à la fin de la démarche. Au début, car il s'agit de pouvoir saisir les caractéristiques du sous-sol avant d'imaginer un projet souterrain. A la fin, car la démarche du Projet National souhaite parvenir à la réalisation d'outils de visualisation, représentation...

1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE

1.1. CONTEXTE ET MOTIVATIONS DU PROJET

L'objectif du Projet National Ville10D est de permettre au sous-sol des villes de mieux contribuer à leur aménagement durable. Pour faire face aux enjeux sociaux, économiques et environnementaux auxquels elles sont confrontées, les métropoles du XXI^{ème} siècle sont à la recherche de modes de développement urbain plus économes et plus respectueux des ressources et de l'environnement naturel. Dans cette quête, le sous-sol s'avère un espace méconnu, mal utilisé et pourtant riche de potentiel.

Un contexte de dégradation écologique planétaire

En 30 ans, notre planète a perdu 30% de ses ressources naturelles. Aujourd'hui 50% des habitants vivent en ville¹. La ville s'étend, perd ses limites, et les dynamiques centre urbain/périphéries s'accroissent. Ces phénomènes ne vont pas sans générer de nombreuses problématiques : étalement urbain, consommation effrénée d'espaces naturels, dégradation des sols, extension des temps de transport, ségrégation sociale, consommation d'énergie et augmentation des émissions de CO², pollution atmosphérique, changement et réchauffement climatique, risques naturels et technologiques, etc.

Couplé au phénomène d'accroissement et de vieillissement de la population, le phénomène urbain amène à relever des défis tout aussi nombreux : assurer un logement pour tous, préserver et protéger les milieux et les ressources, éviter une périurbanisation galopante, refaire la ville sur la ville tout en assurant une qualité de vie urbaine grâce à une mobilité efficace des hommes et des matières, et grâce à une gestion raisonnée du territoire permettant de consommer moins d'espace et, partant, moins d'énergie...

Des réponses urbaines limitées

Afin de faire face à ces enjeux, il est nécessaire de revoir le modèle de développement urbain et d'innover car il y a urgence à s'adapter aux évolutions et bouleversements en cours sur nos territoires. Les acteurs urbains ont développé de nouveaux modèles de planification afin de résoudre ces problématiques et, parmi ceux-ci, les opérations de renouvellement urbain, de rénovation urbaine ou encore les écoquartiers, bulles d'expérimentation à échelle réduite de ce que pourrait être une ville durable. Le développement durable apparaît toujours comme un objectif majeur de la planification.

L'urbanisme souterrain, un moyen pour répondre aux paradoxes de la ville durable...

En France, comme dans le reste du monde, les métropoles urbaines polarisent la croissance économique et démographique et sont confrontées à l'exigence paradoxale d'accroître leur offre urbaine et de réduire leur empreinte environnementale. Pour freiner la consommation d'espace naturel et favoriser le recours à des modes de déplacements économes en énergie et moins polluants, elles s'orientent vers des stratégies d'aménagement privilégiant la compacité et la densité urbaine tout en préservant la présence d'espace de nature dans la ville.

Dans cette perspective, elles pourraient se tourner vers leur sous-sol afin d'y trouver une nouvelle dimension de leur développement, y implanter des infrastructures ou des lieux urbains et réduire ainsi la pression sur les espaces à l'air libre. La difficulté est que ce sous-

¹ Chiffres clés de GoodPlanet

sol n'est pas d'une approche et d'un aménagement faciles et qu'optimiser son usage suppose anticipation, coordination et rationalisation des interventions et des arbitrages.

...mais un potentiel urbain mal utilisé

Contrairement à l'espace au dessus du sol dont l'usage et l'aménagement sont de longue date maîtrisés et coordonnés par un dispositif complexe de planification urbaine et par des outils de projet et de gestion élaborés, le sous-sol est exploité et occupé au coup par coup, utilisé comme un espace de service, parfois même de rebut, sans souci de rationalisation ni d'optimisation. Il en résulte un véritable gâchis des volumes souterrains et de leurs potentiels mais aussi des désordres et des risques importants sur la sécurité des superstructures et sur la qualité de l'environnement et des ressources naturelles.

Bien que les techniques de construction soient maîtrisées, le recours au sous-sol manque d'une réflexion préalable et d'une gouvernance qui prennent en compte et optimisent à la fois l'occupation de la surface, l'exploitation et la gestion des constituants du sous-sol (eau, minerais, combustibles, matériaux, chaleur) et les utilisations possibles d'espace souterrain.

Un Projet National à la croisée des grands enjeux urbains actuels

Les lois du Grenelle de l'environnement qui ont pour priorité la lutte contre l'étalement urbain, la protection des surfaces agricoles et naturelles et la réduction de consommation énergétique, concernent toutes les politiques urbaines nationales et rejoignent les objectifs du projet.

Les besoins importants en construction, notamment pour le logement, soulèvent la question de la gestion économe des matières minérales. Le secteur du BTP français consomme plus de 400 millions de tonnes de matériaux par an², mais les réserves de matériaux de carrières destinés à la construction sont limitées et les filières de recyclage encore très insuffisantes pour constituer une alternative.

Les projets de la région capitale, en particulier le réseau de métro automatique souterrain du Grand Paris Express, mais aussi la révision du Schéma Directeur de la Région Ile-de-France (SDRIF) et l'élaboration de Contrats de Développement Territoriaux, offrent de nouvelles opportunités de développement urbain, notamment autour des nouvelles interconnexions, des pôles d'échanges et autres pôles gares. Ces derniers qui constituent des points nodaux du système de transport permettront le développement d'espaces souterrains de commerces et de services. Dans ce contexte, le projet de recherche Ville d'Idées-Ville 10D peut apporter des outils utiles qui manquent encore à une pratique généralisée.

La mobilisation des chercheurs, entreprises, organismes et acteurs opérationnels

Cette actualité explique que l'AFTES a réussi à mobiliser autour du projet de recherche Ville 10D des partenaires aussi nombreux que variés : chercheurs de toutes disciplines concourant au développement durable dans le champ économique, social ou environnemental, entreprises du bâtiment, des travaux publics, des transports ou de la logistique, agences et entreprises d'ingénierie urbaines, aménageurs urbains, établissements publics et collectivités territoriales, etc.

² source : Union Nationale des Producteurs de Granulats 2005

1.2. L'ETAT DE L'ART

La problématique de l'articulation du sol et du sous-sol dans le contexte du développement urbain fait l'objet de diverses démarches qui montrent l'intérêt croissant qu'éveille cette question auprès des acteurs de l'aménagement urbain.³

Le GECUS

Fondé en 1933 par Edouard Utudjian, le groupe d'étude et de coordination de l'urbanisme souterrain (GECUS) a animé jusqu'en 1975 des travaux et des réflexions visant à promouvoir la prise en compte du sous-sol dans l'aménagement des villes et l'urbanisme souterrain.

Le GIS Sol urbain

Le groupement d'intérêt scientifique sur le Sol Urbain a lancé en 1998 un projet soutenu par le CNRS pour caractériser le sol urbain et analyser son évolution temporelle à travers une approche multidisciplinaire. Les laboratoires ont collaboré sur quatre sujets : qualité des sols, vieillissement et maintenance des ouvrages, végétation urbaine, sols anciens et patrimoine.

Clé de Sol

Ce Projet National lancé en 1999 s'est attaché à mettre évidence l'intérêt des galeries communes en sous-sol et à les promouvoir auprès des opérateurs des services urbains en réseaux. Il a donné lieu en 2004 à la publication d'un guide à l'attention d'une part des élus, d'autre part des services des villes.

GIS Sol

Le groupement d'intérêt scientifique Sol a été créé en 2001. Il regroupe le Ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche, le Ministère de l'écologie, de l'énergie et du développement durable, l'INRA, l'ADEME, l'IRD et l'IFN. Il a pour objectif de constituer et gérer un système d'information sur les sols.

Riviera

Initié en 2006 par le BRGM et divers partenaires, le projet Riviera vise à mettre au point un outil intégré d'aide à la gestion de l'aménagement urbain pour évaluer les conditions géologiques, géotechniques, hydrogéologiques et archéologiques lors des travaux et de capitaliser les expériences. Il a permis de réaliser une base de données en 3D du sous-sol de l'agglomération de Bordeaux.

Deep City Project

Le projet Deep City est une recherche menée pour le Fond National de la Recherche scientifique de Suisse. Visant à une meilleure prise en compte du sous-sol dans l'urbanisme, il propose une méthodologie conduisant à un aménagement du territoire en trois dimensions. Il traite le sous-sol comme une ressource à usages multiples (construction souterraine, matériaux excavés, géothermie, eau potable) et propose une approche planifiée pour assurer la compatibilité et la synergie entre ces différents usages.

D2SOU

Le projet D2SOU a été déposé par FONDATERRA dans le cadre de l'appel à projet de l'Agence Nationale de la Recherche « Villes durables ». Il vise à 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. A partir de l'analyse de critères de soutenabilité, il s'agit d'établir une architecture organisant des indicateurs pertinents et

³ Cf. Etude de faisabilité du Projet National « Ville 10D-Ville d'idées », Sept. 2010, p 7-12

d'aboutir à un modèle conceptuel représentant la problématique du sous-sol vis à vis des projets.

SDRIF

Le Schéma directeur de la région Ile-de-France (SDRIF) approuvé en 1994 n'avait envisagé le sous-sol qu'en tant que gisement de matériaux dont il s'agissait d'arbitrer les conflits d'usage. Le projet de révision du SDRIF, adopté par la Région en 2008, a amorcé une nouvelle approche du sous-sol en soulignant qu'il devait être considéré comme une ressource stratégique, particulièrement dans les espaces urbanisés, au regard des objectifs concomitants de densification, d'économie d'espace, d'intégration et de sécurisation des équipements. Il considère cependant le sous-sol comme un espace de service sans véritablement envisager son apport potentiel pour le développement urbain. Le projet Ville 10D sera de ce point de vue très utile pour faire évoluer ce document vers une nouvelle dimension valorisant davantage l'espace souterrain et permettant de promouvoir sa contribution à la création d'une métropole plus durable.

L'apport de Ville 10D – Ville d'Idées

Comme déjà annoncé dans l'étude de faisabilité, à travers le Projet Ville10D, il est proposé que la ville soit abordée de manière innovante et d'aller au-delà de ces projets déjà engagés. Ville 10D 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. La particularité de Ville10D est de déboucher sur des recommandations méthodologiques et des outils d'information intéressants les milieux de la recherche mais aussi et surtout ceux de l'aménagement urbain qu'ils soient décideurs ou opérateurs et qu'ils œuvrent à l'échelle locale ou métropolitaine.

1.3. OBJECTIFS ET CHAMPS DE RECHERCHE DU PROJET

Les objectifs

Comme nous l'avancions dans l'étude de faisabilité, l'objet du présent Projet de recherche est de répondre à la question centrale : « l'utilisation optimisée de l'espace souterrain peut-elle contribuer à la mise en œuvre d'un urbanisme durable ? ». Les objectifs du projet seront donc de :

Vérifier les hypothèses émises dans le rapport de faisabilité

- Existe-il des lieux plus propices que d'autres pour une politique d'aménagement faisant davantage appel au potentiel du sous-sol ?
- Le niveau de connaissance en termes de géosciences et les approches environnementale, socio-économique et sociétale permettent-ils de lever tous les freins à l'utilisation de l'espace souterrain ?
- L'utilisation du sous-sol permet-elle d'atteindre l'intensité urbaine recherchée ?

Mettre en place des nouvelles stratégies territoriales et d'urbanisme durable

Au final, il s'agit de penser autrement l'espace et la ville afin d'aller vers un nouveau modèle de ville dense et durable grâce à des actions innovantes en matière de construction et d'aménagement, et de développer de nouvelles démarches, méthodes et outils incluant la prise en compte de tous les espaces dans les systèmes urbains, pour mieux comprendre et maîtriser le fonctionnement des systèmes urbains.

Le projet vise donc à proposer une nouvelle approche et gestion du sous-sol, fondée sur une meilleure connaissance de ses caractéristiques et de ses enjeux. Il s'agira d'élaborer une méthode de planification du sous-sol, articulée à celle du sur-sol, qui permettra de prendre

en compte et d'intégrer tous les points de vue d'un aménagement durable avec ses volets social, économique et environnemental sans négliger les exigences de réversibilité et de résilience.

Les champs de recherche

Croiser quatre thèmes complémentaires de recherche

Cette proposition sera construite en se fondant sur les quatre thèmes de recherche du Projet National :

Le thème "socio-économie" cherchera, grâce à l'aide de l'économie de projet, à rendre plus clair le débat entre réalisations souterraines et réalisations en surface. Le surcoût des excavations et de ce qu'elles entraînent (issues, aérages etc.) peut en effet être compensé et au-delà par des avantages directs et indirects, monétaires et non-monétaires qu'il s'agit, ni d'exagérer, ni de sous-estimer. Cette approche en coût global permettra de mieux apprécier l'intérêt économique (ou à l'inverse le manque d'intérêt) de projets faisant appel partiellement ou totalement à l'espace souterrain. Une retombée de cette approche sera de mettre en exergue les usages préférentiels du sous-sol dans la planification urbaine.

Le thème environnemental a pour objet de permettre d'évaluer et de maîtriser l'impact des projets souterrains à l'échelle du projet et du territoire. Il mettra en évidence les spécificités des aménagements souterrains, et apportera les éléments d'évaluation et de bilans environnementaux qui permettront de justifier du caractère durable de cette nouvelle approche.

Le thème psycho-social cherche comment garantir l'acceptabilité et la qualité des aménagements en déterminant les conditions grâce auxquelles les espaces urbains implantés en sous-sol pourront participer et s'articuler à la ville en offrant des lieux répondant aux attentes d'usage et d'agrément.

Le thème visibilité cherchera comment rendre accessible le sous-sol aux différents acteurs en adaptant la lisibilité de ses données à leurs niveaux de besoins, et apportera les outils nécessaires à la connaissance du sous-sol, aux croisements de ses enjeux et à la maîtrise de l'ensemble des risques inhérents à l'utilisation de l'espace souterrain. Il contribuera à la mise en forme et à l'expression en trois dimensions des stratégies retenues par la planification.

Appliquer la recherche à des sites à enjeux

Chacun des sites d'études (Paris, Orly-Rungis, la Défense, Marne-la-Vallée) s'offrira comme un lieu d'application et d'expérimentation qui pourra être repositionné dans l'espace métropolitain, et plus largement dans la région Ile-de-France, avec le concours de l'IAU-Ile-de-France dont elle est le champ d'étude privilégié. Ils permettront une transcription concrète des recherches qui ouvrira vers des propositions de développement.

Prendre en compte le contexte juridique et ses implications

Le volet juridique, dans une approche transversale, après avoir repéré les contraintes et les freins que la réglementation induit pour la valorisation du souterrain (droit du sol et du sous sol, utilisation des ressources, aspects cindynique et sécurité...), contribuera à envisager les évolutions souhaitables du cadre juridique pour mieux l'articuler à celui du sur-sol (droit de l'urbanisme notamment) et faciliter un usage mieux optimisé et plus durable de l'espace souterrain.

1.4. LE CROISEMENT D'UNE APPROCHE PAR THÈME ET PAR SITE

Une approche nécessairement multidisciplinaire...

Comprendre et donner des solutions à un territoire, c'est d'abord l'aborder par ses enjeux territoriaux, environnementaux, économiques et sociaux. C'est pourquoi a été définie une approche multi-thématique. Ce découpage quelque peu théorique, mais néanmoins propre à tout diagnostic urbain, permet d'appréhender de manière organisée les enjeux d'un territoire urbain et du projet envisagé.

La combinaison des résultats de chaque thème permettra à la démarche d'aménagement de trouver sa cohérence et d'orienter le projet souterrain d'une façon concrète et précise. Tout comme le diagnostic urbain constitue le fondement au travail de planification, l'approche thématique qui prend en compte les dimensions économiques, de représentation, environnementales et sociales représente le préalable à la réalisation d'un projet urbain souterrain.

Au service d'une approche transversale des projets souterrains ...

Rapporté à un projet souterrain, chaque thème apporte des questionnements auxquels il sera important de répondre afin de pouvoir, à l'avenir, faire des choix entre différents scénarios possibles. Pour chaque thème, des entrées communes ont été définies : la problématique et les objectifs, un état de l'art, les freins et potentialités et la méthodologie adoptée. Puis les axes de recherches dans lesquels vont s'inscrire les actions/sujets de recherche ont été construits, chaque thème devant déboucher sur les sorties suivantes :

- Pertinence/contribution (environnementale, socio-économique, sociétale) de l'espace souterrain pour la ville durable,
- Mise en place d'outils et de méthodes pour :
 - une adaptation et une évolution nécessaires du droit (législatif, réglementaire, procédures, textes d'aménagement et d'urbanisme),
 - l'évolution de la gouvernance.

Adossée à une application opérationnelle sur des sites

La particularité de ce projet de recherche tient pour une large part à l'implication de maîtres d'ouvrage de sites comportant des ouvrages souterrains construits ou à construire. Ces sites, par leurs configurations et caractéristiques, constituent l'ébauche d'une typologie. Ainsi Ville 10D souhaite proposer les clés d'une opération d'aménagement consistant en une réutilisation de cavités existantes, en une conquête de l'intérieur d'un plateau, en un urbanisme de dalle, ou encore en une combinaison d'un projet souterrain à une infrastructure existante ou à une infrastructure en cours de projet.

Chacun de ces sites a vocation à être le terrain d'application d'un certain nombre des actions de recherche évoquées ci-avant. Cette démarche est importante à la fois pour faire remonter des données indispensables au travail de recherche, mais aussi pour mettre en œuvre et tester les outils qui sont élaborés dans le cadre du projet de recherche.

Le tableau ci-dessous résume le croisement des approches et des sites par ordre d'implication des sujets (3-très impliqué, 2-moyennement impliqué, 1-impliqué). Ainsi, par exemple, les équipes traitant des aspects socio-économie seront très impliquées sur les sites de Paris, d'Orly-Rungis et de Marne-la-Vallée.

	Types de sites	Réutilisation de cavités existantes	Conquête de l'intérieur d'un plateau	Urbanisme de dalle	Projet combiné à Infrastructures en projet	Projet combiné à Infrastructures existantes
	Sites d'étude	Paris - IDF	Orly-Rungis	La Défense	Marne-la-Vallée	RATP
<i>Dimensions thématiques</i>	Socio-économie	3	3		3	2
	Environnement	1	1		3	3
	Psycho-social			3		1
	Visibilité	3	3	3		3
<i>Dimensions transversales</i>	Juridique/cindynique					
	Coordination					

1.5. COORDINATION ET SYNTHÈSE

Gestion croisée du projet

Le Projet National présente une organisation matricielle à partir d'entrées thématiques croisées avec des entrées par site.

C'est un tableau vertical qui va nécessairement évoluer dans le temps de l'étude en s'adaptant aux opportunités nouvelles, ou à l'évolution des sujets de recherche au fur et à mesure des "découvertes" du projet général. Les projets de recherche s'enrichiront aussi des avancées des projets voisins pour explorer davantage certaines des pistes.

Chaque bilan annuel sera l'occasion de situer les différentes recherches menées, d'en donner une image "spatiale" permettant d'ajuster l'organisation de la recherche pour compléter, orienter, etc.

Synthèse transversale

En s'appuyant sur les travaux conduits par l'ensemble des partenaires du Projet National, un travail de synthèse transversale sera conduit afin de répondre à quatre questions clés :

- Comment donner de la lisibilité au sous-sol, à son usage, à ses contraintes, à ses potentiels ?
- Comment, à quelles conditions et pour quels usages peut-on intensifier l'usage urbain du sous-sol en complémentarité avec le sur-sol ?
- Quels sont et où sont les lieux souterrains stratégiques, ceux dont la préservation est nécessaire, ceux dont l'intensification est possible et souhaitable ?
- Comment construire et exprimer une stratégie de valorisation du sous-sol et quels outils juridiques et sémiologiques peuvent-ils être mis en œuvre ?

L'équipe de coordination pilotée par l'IAU participera aux bilans périodiques des travaux de chaque thème de manière à en tirer les conclusions utiles, à orienter les questionnements et à croiser les résultats. Une lecture transversale des travaux et de ses conséquences sur l'aménagement, la planification et la stratégie urbaine sera proposée lors des séminaires annuels afin de progresser vers une synthèse et des propositions partagées pour une utilisation plus cohérente et optimale de l'espace souterrain au service du développement durable de la métropole.

Propositions et recommandations

Les réponses apportées à ces questions par les différents thèmes de recherche permettront de fonder les propositions finales visant à une prise en compte du sous-sol dans la planification et la stratégie urbaine et territoriale. Ces propositions pourront d'une part concerner l'aménagement des sites d'étude, d'autre part l'intégration de la dimension sous-sol dans la planification notamment dans le SDRIF.

Référentiel de bonnes pratiques

Les travaux s'appliqueront principalement au cas de l'Ile-de-France où sont localisés les sites d'étude envisagés à ce jour, mais l'analyse, à partir de sources documentaires, d'autres cas français ou étrangers significatifs permettra des confrontations utiles et constructives à des pratiques diversifiées.

Les « livrables » du Projet National

Les rapports présentant les résultats des recherches thématiques et de leur croisement seront publiés et diffusés sur le site internet du projet.

A l'issue des travaux, le Projet National proposera un document de recommandation à l'attention des acteurs de l'aménagement du sous-sol. Il proposera des axes d'exploitation, de valorisation et d'approfondissement :

- Élaboration d'un guide de préconisation et de bonne pratique pour l'intégration urbaine du sous-sol (ou de l'espace souterrain) dans les projets urbains,
- Propositions et recommandations portant sur le dispositif réglementaire, les documents d'urbanisme et les méthodes d'élaboration de projets urbains impliquant le sous-sol,
- Propositions et recommandations pour la prise en compte du sous-sol dans la planification stratégique et notamment les schémas directeurs (SDRIF, SCOT),
- Conception d'outils d'information en 3D en vue de l'évaluation et de l'aide à la conduite de projets impliquant le sous-sol.

2. UNE APPROCHE PAR THEME

2.1. THÈME 1 : SOCIO-ECONOMIE

2.1.1. Introduction

Problématique et objectifs

Les aspects économiques et financiers des réalisations souterraines sont décisifs. Comment les aborder et les évaluer ? Tel est le questionnement de départ de ce volet qui vise à permettre aux décideurs de mieux saisir l'opportunité de l'exploitation économique du souterrain.

La pratique est aux ouvrages isolés, et rares sont les projets souterrains qui vont permettre d'accueillir une programmation diversifiée dans une organisation aussi complexe que l'est un quartier de ville. Les Halles et, dans une autre démarche, le Grand Louvre, demeurent les uniques exemples français de « programme urbain complexe », l'un créé ex nihilo pour aérer la ville, l'autre conçu sous un prestigieux monument pour mieux le brancher à la ville ; ils sont rejoints par les souterrains hors sol que sont, comme à La Défense, les sous-sols artificiels de l'urbanisme de dalle.

La nécessité d'une recherche appliquée en matière socio-économique part d'un constat : la solution souterraine reste peu attractive pour les élus en raison de son coût jugé globalement plus élevé que celui d'une construction aérienne équivalente.

Rappelons-le : faute d'avoir été appréhendé dans son ensemble, c'est-à-dire en tant que ressource, le sous-sol n'est utilisé que dans une économie de cueillette et non de culture ; en socio-économie plus que dans tout autre domaine, l'expérience acquise du sous-sol et, partant, les retours d'expériences de son utilisation, à force de n'être que partiels, sont partiels ; ils souffrent des clichés, idées préconçues et automatismes réducteurs que l'utilisation convenue du sous-sol a permis d'installer.

Il s'agit donc de reconsidérer, de manière ouverte, les modes de faire, les échelles d'intervention, la culture du sous-sol. Dans ce thème encore plus que dans tous les autres, la question des emboîtements d'échelle est posée : celle du projet, celle du quartier et celle du territoire. Car en effet notre intuition est qu'à partir d'une certaine échelle - à déterminer - et avec certaines pratiques - à construire -, ce sont des considérations socio-économiques qui peuvent inciter à ne plus négliger l'espace souterrain. La raréfaction des espaces disponibles et l'augmentation de leur coût freinent la dynamique économique des villes et leurs capacités d'évolution. Le maintien ou le rétablissement de certaines activités productives (stockage, logistique, traitement des déchets, etc.) dans les centres urbains sont problématiques alors que de telles proximités semblent rendues incontournables dans une prise en compte des empreintes carbone des villes. Aujourd'hui, fluidité, foncier disponible ou augmentation de capacités de construction représentent les nouvelles exigences des villes denses.

Quel espace reste-il donc aux villes pour stimuler leur développement économique, redéployer certaines activités productives, améliorer leurs services publics et supprimer les encombrements ? L'hypothèse est ici faite que, utilisé et géré à bon escient, l'espace souterrain disponible représente une opportunité économique pour la ville. Plus qu'installer des fonctions urbaines, le sous-sol permettrait aussi de recomposer la ville, de créer de nouvelles continuités dessus-dessous des espaces économiques. Il faut comparer le sous-sol cher au manque à gagner socio-économique d'une ville qui n'exploiterait pas son souterrain.

Dans cette approche, il apparaît évident que la question posée ne peut se limiter à celle de "quelles fonctions transférer en sous-sol?", de même qu'utiliser l'espace souterrain ne signifie pas forcément enfouir ou enterrer.

Actuellement, peu de travaux donnent une idée claire de la rentabilité économique des solutions souterraines. L'objectif de ce thème est donc de donner aux décideurs des outils pour mieux appréhender les rentabilités des solutions totalement ou partiellement souterraines sans masquer leurs contraintes par rapport aux solutions aériennes, ainsi que les questions posées par leurs fonctionnements et leurs évolutions. Cela nécessite de comprendre ce que recouvre la notion de rentabilité d'un projet souterrain dans un contexte urbain et d'en donner une définition claire. Il s'agit aussi de montrer les enjeux de la coopération des acteurs et de la mutualisation des projets et des actions. On peut d'expérience imaginer qu'en effet, pour être accessible et rentable, l'aménagement de l'espace souterrain nécessite la mutualisation des projets, et donc des travaux, des infrastructures et des investissements. Le sous-sol est une affaire collective. Mais la coopération ne va pas de soi. C'est pourquoi la volonté politique est si importante. Il s'agira de réfléchir sur les obstacles, les leviers et les gains potentiels de la coopération entre acteurs.

Le groupe « socio-économie » s'efforcera donc à la fois d'apporter aux décideurs des vues claires sur les rentabilités comparées des projets, tout en éclairant sur les logiques et les apports de la mutualisation et de la coopération. Le groupe écartera toutefois d'emblée une tentation : celle de se faire l'avocat systématique des solutions totalement ou partiellement souterraines. Ce serait mal comprendre la question posée et, en fin de compte, rendre un mauvais service à ces solutions elles-mêmes.

L'évaluation socio-économique d'un projet souterrain vise à mesurer son utilité⁴ pour la collectivité en comparant ses effets positifs et négatifs attendus ainsi que ses coûts.

Freins

Du fait d'un manque d'outils adéquats, l'analyse des rentabilités comparées des solutions souterraines et de surface reste complexe et le choix économique reste difficile pour les décideurs.

Si pour un grand nombre de projets de ville dense, la solution souterraine peut s'imposer d'elle-même comme une évidence, à l'inverse, pour d'autres projets, le choix du souterrain peut être écarté sans étude approfondie. Cela se produit lorsqu'une ou plusieurs solutions de surface sont possibles physiquement et lorsqu'il est évident que les coûts induits par le choix du souterrain (excavations mais aussi issues, émergences) chargeront les coûts initiaux à un point tel que la rentabilité comparée de la situation de projet engendrée par le souterrain et de la situation de référence en surface sera catastrophique.

Sans le dire, les décideurs de nombreux projets font des raisonnements implicites de cette nature⁵ sans calculs. Il convient donc d'étudier les choses minutieusement en faisant intervenir des différences, coûts et avantages, "utilités" et "désutilités" comme préfèrent dire de façon plus précise les économistes, qui n'apparaissent pas lorsque les comparaisons portent sur des solutions toutes souterraines ou, à l'inverse toutes en surface ou en élévation. Or, à notre connaissance, le champ des utilités et désutilités propres aux réalisations souterraines n'a jamais fait l'objet d'un examen approfondi. Il apparaîtra donc de

⁴ L'**utilité** (en économie) est une mesure du bien-être ou de la satisfaction obtenue par la consommation, ou du moins l'obtention, d'un bien ou d'un service. Elle est liée à la notion de besoin. (source wikipedia)

⁵ Le décideur doit cependant se méfier de tout raisonnement hâtif. Il existe en effet des cas où l'on a beaucoup trop vite considéré qu'un choix en surface ou au contraire en souterrain s'imposait. L'auteur peut en citer quelques-uns qui n'avaient pas l'évidence qu'on leur a donnée pour faire passer le projet concerné.

plus en plus nécessaire de disposer d'une "boîte à outils" permettant d'évaluer ces utilités et désutilités⁶.

Autre frein, les décideurs n'ont pas de perspective territoriale dans la mise en œuvre de projets souterrains. Chacun travaille de manière isolée. Cela peut nuire à la rentabilité collective du projet souterrain. Une nouvelle culture de projet est donc nécessaire pour une meilleure exploitation économique de l'espace souterrain.

Potentialités

De nombreuses métropoles ont compris que le retour sur investissement des projets d'aménagement souterrain est souvent intéressant. Par exemple, Monaco est souvent présentée comme une ville qui a su exploiter son sous-sol pour se réorganiser et améliorer son fonctionnement et son économie : plates-formes multimodales, véhicules légers de livraison, gare TGV, stations d'épuration, usine de traitement des déchets mais aussi Palais des congrès (le Grimaldi Forum). Autre exemple, Amsterdam, avec le transport souterrain de fleur vers l'aéroport de Schiphol, démontre qu'une filière système telle que la logistique peut se développer à la fois en surface et en souterrain. De même Subtropolis, près de Kansas City, représente un des plus grands complexes d'affaires souterrains du monde. Ses carrières de calcaire sont réutilisées pour lotir et louer à des industriels. Helsinki (Finlande) a développé des équipements logistiques initiés avec entre autres de vastes galeries multi-réseaux ; ainsi, un tunnel routier a été aménagé pour la livraison des surfaces commerciales de centre-ville (route traversante Est-Ouest).

La métropole francilienne présente des pistes importantes de développement. Le projet du Grand Paris Express (GPE) représente une opportunité d'explorer toutes les possibilités du sous-sol. En effet, dans quelle mesure ce projet ne permettrait-il pas une mise en œuvre combinée d'infrastructures, de sites de traitement de déchets, de lieux de stockage ou encore d'activités de fret ? Marne-la-Vallée, qui se prépare à accueillir le métro automatique du GPE, pourrait devenir un site modèle de ces articulations. A Paris et dans sa périphérie, on trouve de nombreuses carrières en périphérie. Dans quelle mesure la présence de ces cavités ne représente-t-elle pas aussi une opportunité pour organiser une logistique urbaine souterraine ? Plusieurs sites de la région parisienne (Orly Rungis, La Défense, etc.) poursuivent une réflexion sur l'aménagement et la restructuration économique de leur territoire. Le souterrain ne peut-il pas représenter une ressource nouvelle pour restructurer et réorganiser leur espace et redéployer un certain nombre d'activités ?

Etat de l'art

Certains travaux scientifiques cherchent à développer des outils d'évaluation du coût global d'un projet souterrain. On peut citer notamment les recherches initiées par Deep city. Une étude néerlandaise cherche à évaluer les différentiels de coûts entre la surface et le souterrain (Résultat d'une étude du Centre for Underground Construction). Cette étude analyse la construction souterraine dans une perspective globale (par rapport notamment au coût d'achat de terrain, au coût d'exploitation, etc.) L'approche de ville 10D reviendra sur ces travaux tout en cherchant à développer des outils clairs d'évaluation des utilités et désutilités.

D'autres travaux tentent d'évaluer les coûts de l'ajout de certaines fonctions dans l'espace souterrain. Ainsi en France, la RATP a lancé plusieurs études prospectives, notamment FILET (sur l'ajout du transport de marchandises), COLIB (retrait de petits colis en gares), TRAMFRET (fret sur tramway). Le but de ces projets est de développer une méthodologie d'évaluation, comme celles utilisées dans le cadre des projets de transport collectif urbain, qui permettrait de valoriser les gains pour la collectivité, les impacts environnementaux et qui intégrerait le projet sur le long terme et non pas sur sa seule rentabilité immédiate. La

⁶ On se reportera au tableau situé en annexe 1 des "facteurs de différenciation des réalisations au sol et des réalisations souterraines".

combinaison des travaux de la RATP, de ceux de la ville de Paris et de Ville 10D permettrait d'éclairer les éventuelles possibilités souterraines de développement d'un système de logistique et de fret sur Paris.

Méthode

Il est difficile au départ d'une recherche, de présumer de ce que l'on obtiendra. Il paraît néanmoins intuitif que le pragmatisme s'impose. La recherche appliquée de ce thème s'organisera autour de deux propositions :

- une boîte à outils

Comme précisé dans l'objectif principal du thème, il s'agit de fournir aux aménageurs une boîte à outils qui leur permette d'analyser et de comparer entre elles des « situations de référence » (projection en surface ou scénario au fil de l'eau) et des « situations de projet » (projection plus ou moins souterraine ou scénario ambitieux).

- une recherche comparative sur des cas concrets, passés et à venir

Une des meilleures façons de faire comprendre la méthode est de l'appliquer, en utilisant les outils de la boîte, à des cas vécus ou à venir. Les cas vécus (analyses *ex post*) sont intéressants car on dispose déjà d'évaluations de composants économiques et financiers. Parallèlement, les cas à venir (projets non réalisés, analyses *ex ante*) permettent de travailler avec des acteurs et des décideurs désireux d'avoir des résultats concrets.

La recherche de ces cas ("chantiers" en langage des Projets Nationaux) est un travail en lui-même qui sera fait en relation étroite avec d'autres groupes thématiques pour plusieurs raisons :

- a) il ne serait pas raisonnable de mobiliser des acteurs au travail, donc aux emplois du temps chargés, sans chercher à optimiser ce qu'ils peuvent apporter à chaque groupe dans des réunions communes ;
- b) les responsables de chantier doivent intégrer eux-mêmes les différentes facettes de la recherche pour être apporteurs.

2.1.2. Axe 1 : Constitution d'une boîte à outils d'évaluation de projets souterrains

La question des rentabilités comparées des projets souterrains de toutes natures avec des solutions de surface constitue principalement l'enjeu de cet axe. Il s'agit de proposer une analyse du coût global des opérations souterraines/celles de surface, en dépassant la simple analyse monétaire pour considérer l'ensemble du projet et son apport global.

Action 1.1 - Etat de l'art –Analyse des méthodes existantes

Certains projets impliquant le sous-sol s'appuient sur une analyse avec des méthodes de calculs et des grilles d'évaluation existantes (parmi elles, citons le rapport Boiteux, la méthode Deep City, ou la proposition issue du PN Clé de Sol).

Il est prévu dans un premier temps de faire le tour des études et projets qui se sont posé la question du coût global d'un projet souterrain et d'analyser la méthodologie suivie. Les résultats de cette action donneront des premières pistes de réflexion sur les critères à approfondir.

Action 1.2 - Analyse socio-économique de réalisations existantes

Cette action s'attachera à analyser rigoureusement des cas emblématiques ex-post tels que

par exemple les projets Isséane, le Grand-Louvre, le tramway des Maréchaux, la gare Olympiades ou encore la collecte souterraine des déchets à Romainville ou à Vitry-sur-Seine.

Ce travail permettra, à partir d'un travail comparatif de solutions souterraines et d'une solution de référence aérienne, d'identifier les critères entrant dans le calcul du coût global. Il s'agira donc d'établir :

- une définition d'un périmètre (échelle projet, échelle urbaine),
- une enquête auprès de décideurs,
- une identification des facteurs de différenciation exclusifs d'une comparaison sous-sol/surface,
- une identification des utilités (gains, avantages, externalités positives) et désutilités (coûts, inconvénients, externalités négatives),
- une identification des critères monétaires et non monétaires (propension à payer) afin de valoriser utilités/désutilités,
- une hiérarchisation des paramètres,

et tout cela dans l'objectif d'élaborer une grille de référence et d'évaluation.

Action 1.3 - Confrontation de la grille d'évaluation à des projets et scénarii de sites de Ville 10D

Les actions précédentes, préalables à celle-ci, devraient permettre de mettre en œuvre un outil d'évaluation socio-économique spécifique au projet impliquant du sous-sol. Cet outil, testé sur les scénarii choisis, pourrait devenir un réel outil d'aide à la décision. Certains sites d'études du Projet de recherche Ville 10D se prêtent bien à l'exercice, notamment ceux de Marne-la-Vallée, Orly-Rungis et Paris. Il est donc prévu :

- d'affiner le choix des sites d'application pertinents
- de conduire une analyse socio-économique comparée.

2.1.3. Axe 2 : Constitution d'une boîte à outils pour la conduite des projets impliquant le souterrain

Cet axe concerne la gouvernance du projet incluant le sous-sol. L'aventure souterraine, pour être rentable, ne peut pas être isolée. Elle suppose une échelle d'intervention suffisamment ample pour ouvrir la possibilité de mutualiser des accès, des infrastructures, etc. Elle doit aussi articuler des échelles de temps différentes, aborder la faisabilité immédiate et le long terme.

L'objet de cet axe est donc mettre en évidence les obstacles et les leviers du processus de décision dans le choix de solutions impliquant le sous-sol et de développer des outils pour convaincre et fédérer les intervenants d'un projet d'aménagement souterrain.

Action 2.1- Etat de l'art – les pratiques de la gouvernance

Comme pour l'axe 1, un premier temps sera consacré à l'analyse critique des organisations et processus de gouvernance actuels. Seront retenues et détaillées en particulier, les notions suivantes :

- L'organisation du temps du projet (identification des besoins, faisabilité, programmation, conception, réalisation, exploitation)
- La mise en évidence des moyens et des leviers pour convaincre et fédérer les acteurs (partenariats, modes de financements, échelles de projet, feed-back, aides à l'innovation, incitations de l'État aux collectivités,...)

Les résultats de cette action donneront des premières pistes de réflexion sur les critères à

approfondir.

Action 2.2- Analyse de la gouvernance de réalisations existantes

Cette action s'attachera à analyser rigoureusement un certain nombre de cas emblématiques ex-post pour lesquels le traitement de la question de la gouvernance de projet est riche d'enseignements.

Le travail de sélection des cas à approfondir est déjà intéressant par l'analyse critique des critères et facteurs de gouvernance qu'il implique.

Action 2.3- Mise en situation : confrontation des modes opératoires sur les sites de Ville 10D

Comme pour le volet économique, les outils et méthodes proposés en tant qu'outils d'aide à la décision seront testés sur plusieurs des sites d'étude du Projet de recherche Ville 10D, avec a priori une préférence pour les secteurs de Marne-la-Vallée, Orly-Rungis et Paris. Ce choix reste à confirmer.

2.1.4. Axe 3. Evaluation des conditions d'implantation d'un système fret-logistique.

La logistique est un enjeu pour les territoires. L'approvisionnement, la production et la distribution des marchandises dans les villes posent de nombreuses questions (livraisons, stockage, etc.). Plus que toute autre activité économique, elle nécessite une implantation au plus près des territoires qu'elle dessert. En conséquence, la ville dense impose de repenser l'ingénierie de la logistique et des déplacements subséquents.

Cette question du fret et de la logistique comme élément significatif sinon déterminant de la pérennité économique de la ville est apparue avec force dans les différents sites d'application de Ville 10D-Ville d'Idées : pour des sites déjà actifs tels que le pôle Orly-Rungis, le quartier de La Défense ou la Ville de Paris, mais aussi pour des pôles en construction comme l'est le futur cluster Descartes à Marne-la-Vallée. Comme il apparaît que l'espace souterrain peut contribuer puissamment au traitement de cette question, il a été décidé de faire de cette question du fret un axe important de recherche du thème socio-économie, cet axe ayant donc, par essence, un caractère transversal.

Paradoxalement, la pratique croissante des achats en ligne par internet ne réduit le volume des flux, la livraison rapide des commandes constituant un nouvel enjeu très important. Cet axe visera à porter un diagnostic sur les solutions proposées, à les comparer entre elles et avec les solutions pragmatiques qui sont apportées aujourd'hui à ces transports.

Action 3.1- Contraintes structurelles pour la mise œuvre du Fret/ logistique souterraine

Il s'agira de déterminer les contraintes structurelles (notamment économiques) qui freinent le développement du fret souterrain et de fournir des éléments de comparaison par rapport à des expériences internationales jugées innovantes. Il s'agira de faire un état de l'art des contraintes et des paramètres / leviers de développement d'un fret souterrain.

L'étude pourra déboucher sur l'établissement d'une typologie des espaces concernés (par exemple en ce qui concerne les carrières/ cavités) pour identifier les configurations les plus adaptées au couple fret/ logistique.

Action 3.2- Conditions de réalisation (économiques)

Il s'agira de savoir à partir de quelle condition il devient intéressant de développer un système de fret souterrain. L'objectif est de définir les conditions sociales, économiques, juridiques et financières pour développer un fret souterrain : quels sont en particulier les

leviers économiques ? Dans quelles conditions le fret peut-il contribuer au développement économique du territoire ? Cette phase permettra de décrire le modèle économique permettant de financer et de développer un fret souterrain, notamment en termes de montage économique et juridique (Quel business model adopter ?)

Action 3.3- Quelle peut être la rentabilité économique des logiques de mutualisation ?

La réflexion sur le fret souterrain peut être l'occasion de repenser toute la chaîne logistique. Aménager le sous-sol, c'est en effet se placer dans une logique de mutualisation et d'anticipation. La mutualisation des capacités et des tournées, notamment, forme aujourd'hui le principal facteur d'amélioration de la logistique urbaine, avec la création de plates-formes mutualisées de distribution (la création de plateformes mutualisées des différents opérateurs est à considérer en terme opérationnel). La logistique souterraine est une longue chaîne dont chaque maillon doit trouver son positionnement géographique optimal. Il ne s'agit pas que chacun creuse sous lui son trou qui sera sans issue. Comment faire « système », intégrer tous les maillons de la chaîne logistique et favoriser une meilleure intégration territoriale du fret ? Quelles fonctions mutualiser ?

2.1.5. Les principaux partenaires ayant contribué à ce jour :

RATP, Inspection Général des Carrières, Conseil Général 94, Interface Transport, INEXIA, Bouygues Habitat, INSA de Lyon, Université Paris Est Marne la Vallée, IAU Ile de France, PN Clé de Sol,...

2.2. THÈME 2 : ENVIRONNEMENT

2.2.1. Introduction

Problématique et objectifs

Le développement et la croissance des grandes agglomérations interrogent sur notre capacité à faire cohabiter habitat, activités, transport et logistique, dans un tissu urbain aménagé pour l'homme et son épanouissement. Avec la densification des villes, les marges de manœuvre se réduisent et obligent à une réflexion plus approfondie sur l'organisation de l'espace et la meilleure utilisation de toutes les potentialités disponibles.

Pilier essentiel pour une approche de la ville durable, le volet environnement se propose d'apporter des éléments de compréhension, d'évaluation, voire de démonstration sur les apports du souterrain d'une part, et sur l'intérêt d'une meilleure articulation entre surface et souterrain d'autre part.

Ces éléments doivent nécessairement être appréhendés à plusieurs échelles, chacune des échelles pouvant conduire à renforcer ou relativiser les conclusions tirées à d'autres échelles. Ainsi l'échelle de l'aménagement ponctuel traite essentiellement des apports et impacts de proximité, tandis qu'à l'échelle de l'agglomération urbaine, c'est une politique d'aménagement ou un schéma directeur qui peut être évalué.

Sur tous ces aspects, un besoin de méthodologies et d'outils existe. L'objectif de ce thème est d'y répondre et de fournir, pour chacune des échelles, les outils appropriés.

Freins

Du fait d'une méconnaissance du sous-sol, d'un cadre réglementaire mal établi et d'un manque d'outils adéquats, l'intégration du sous-sol dans les projets d'aménagement se heurte bien souvent à la difficulté pour aujourd'hui concevoir et évaluer un projet global cohérent mettant à contribution cette dimension souterraine. Elle se heurte aussi à un certain nombre d'idées reçues sur le souterrain, trop souvent perçu de façon très limitative comme le lieu où repousser et enfouir ce qui ne doit pas être vu en surface.

On constate que certaines fonctions urbaines pourraient avantageusement être assurées en souterrain, au grand bénéfice d'une réduction des impacts et nuisances associés, tandis que d'autres ont au contraire vocation à rester en surface, l'important étant que l'ensemble présente un bilan d'impact le plus réduit possible. Cette opportunité de mutualisation des usages avait déjà été clairement mise en évidence lors du projet national Clé de Sol.

Sur le thème de l'environnement, les travaux d'aménagements souterrains en ville s'accompagnent généralement de chantiers importants et de longue durée, surtout si tout ou parties de ces travaux sont réalisés dans des tranchées à ciel ouvert. La réduction des impacts en phase chantier est ainsi un enjeu essentiel qui renvoie à l'organisation du chantier, au mode d'approvisionnement, aux incidences des choix des techniques de creusement, à l'évacuation des matériaux extraits, aux circulations d'engins, ...

Cette préoccupation de réduction des nuisances est également très présente en phase exploitation. Même si l'aménagement souterrain a l'immense avantage de préserver la surface et ses activités, il peut être également source de nuisances, le plus souvent locales par effet de concentration d'émissions (bruit, vibrations par exemple) ou par rejets dans l'eau ou dans l'air, certaines de ces nuisances étant aujourd'hui mal évaluées et sujettes à discussion avec les riverains des aménagements.

A une échelle plus globale, les aménagements souterrains n'ont pas suffisamment donné lieu à des travaux d'évaluation globale susceptibles d'en caractériser les atouts et handicaps

pour la construction d'une ville durable. Des éléments objectifs d'évaluation et de comparaison avec d'autres types d'aménagement doivent être apportés.

Potentialités

- Amélioration du cadre législatif concernant les déblais de chantier

Avec une lecture au sens du développement durable, les atouts du sous-sol en ville sont de plusieurs ordres :

- un apport direct par les matériaux qu'il met à disposition ou par les usages qui peuvent être faits de ses ressources énergétiques et en particulier thermiques, ou encore de ses ressources en eau ;
- un apport indirect par l'espace qu'on peut y aménager, espaces de stockage et d'approvisionnement, espaces de transport et de réseaux divers, espaces de services multiples au grand bénéfice d'une réduction à la fois des surfaces consommées à l'air libre, et des nuisances de tous ordres pour les riverains.

Le projet de recherche Ville 10D se focalise sur le second type (apport indirect) à savoir l'espace disponible en souterrain, sa valorisation et son utilisation. Les aspects matériaux, énergie ou hydrauliques ne seront approfondis que par leurs interfaces avec l'aménagement souterrain et l'examen de la manière dont un espace souterrain peut tirer profit ou valoriser ces différents aspects.

Les potentialités ouvertes par le Projet National en matière d'environnement sont alors nombreuses :

- Le Projet National doit se faire l'écho et mettre en valeur un certain nombre d'initiatives des entreprises qui ont d'ores et déjà imaginé et proposé des aménagements souterrains innovants (parkings en silo, stations d'épuration souterraines, ...), autant de solutions qui ne demandent qu'à être connues et évaluées dans un contexte plus global de projet urbain.
- Le Projet National doit également mettre en évidence les évolutions techniques en matière d'ouvrages souterrains ou de produits innovants qui rendent aujourd'hui possibles des projets considérés comme peu réalistes hier, et cela avec des coûts et des délais beaucoup plus acceptables. Beaucoup de ces évolutions permettent une plus grande maîtrise des nuisances ou des incidences liés aux chantiers, ainsi qu'à l'exploitation.
- Par ailleurs, le Projet National doit aider à concevoir, réaliser et exploiter les ouvrages souterrains avec une approche plus complète et transparente des incidences, positives ou négatives, sur l'environnement. A l'heure où s'esquissent notamment les perspectives d'aménagement pour les stations de métro du Grand Paris Express, cet enjeu prend une acuité particulière.
- Enfin, le Projet National doit apporter la méthode et les moyens de conduire des évaluations du potentiel offert par les espaces souterrains de façon la plus complète possible en prenant en compte tout le référentiel du développement durable, et notamment en abordant l'ensemble de la vie des ouvrages, les conditions de leur vieillissement et de leur adaptation aux évolutions des pratiques et des usages.

De manière plus générale, le Projet National doit permettre de mettre en évidence les situations, les fonctions ou les caractéristiques favorables du contexte pour lesquelles l'utilisation de la ressource du souterrain s'avère la solution la plus efficace dans une approche globale des critères du développement durable.

Etat de l'art

Dans le rapport de faisabilité du projet national, ont été rappelés les positionnements respectifs des principaux programmes de recherche relatifs à cette thématique : D2SOU, DEEP CITY, ou encore CLE DE SOL. On pourrait citer également d'autres projets ne visant pas spécifiquement le sous-sol, mais contribuant à la réduction des incidences des projets ou des chantiers en ville, ou encore à la mise au point de techniques mieux à même de réduire les interactions avec les avoisinants.

En ce qui concerne les impacts sur l'environnement (impacts de proximité), on peut se référer aux recommandations éditées par l'AFTES, ou encore au dossier pilote «environnement» du CETU dont la mise à jour récente (2011) a permis de faire le point des connaissances sur toutes les facettes de la problématique. Ce dernier document relatif aux tunnels passe en revue ces mêmes thèmes et évoque également la problématique des tassements de surface, des vibrations solidiennes et des surpressions aériennes, ainsi que la consommation d'énergie et l'effet de serre. Pour chaque thème, il précise les principaux impacts, les moyens de les évaluer, et les mesures de réduction envisageables.

Il apparaît ainsi clairement que les impacts des réalisations d'ouvrages souterrains urbains sont aujourd'hui bien évalués et maîtrisés pour ce qui concerne les thématiques bruit, pollution de l'air ou encore qualité des eaux, mais que d'autres sujets restent mal connus (vibrations solidiennes ou aériennes par exemple).

Plus globalement, au regard des indicateurs généraux du développement durable, les outils d'évaluation des projets d'aménagements souterrains ne sont pas encore disponibles. Il conviendra de voir dans quelle mesure les développements en cours pour les infrastructures de transport et les constructions, sont plus généralement transposables aux infrastructures ou espaces souterrains. Les approches d'évaluation actuelles distinguent en général les évaluations qualitatives des évaluations quantitatives.

L'évaluation qualitative

Il existe un certain nombre de grilles d'analyse dites grille multicritères pour lesquelles toutes les dimensions du développement durable sont concernées. On citera par exemple la grille RST02 qui a été développée au sein du Réseau Scientifique et Technique (RST) du Ministère de l'Ecologie (MEDDTL) par le CERTU⁷ et les CETE⁸. La grille RST02 permet, d'analyser un projet ou une réalisation, de le questionner vis-à-vis du développement durable et d'identifier des marges de progrès pour l'améliorer. Les projets peuvent être de nature variable.

L'évaluation quantitative

Ces méthodes, qui considèrent l'ensemble du cycle de vie d'un projet, se focalisent la plupart du temps sur l'aspect environnemental. On distinguera les approches multicritères du type Analyse du Cycle de Vie (ACV), de celles monocritères, du type évaluation carbone. L'intérêt majeur des méthodes multicritères réside dans le fait qu'elles permettent d'éviter les transferts de pollution d'un milieu vers un autre et leur report dans le temps. En France, l'ACV est déjà appliquée aux produits de construction et aux bâtiments, et les exemples d'application se multiplient ces dernières années : citons l'ACV d'un pont (CIMBETON), ou l'existence de différents logiciels orientés « métiers » dont certains sont dédiés aux infrastructures par exemple, comme ECORCE (IFSTTAR⁹), SEVE (USIRF¹⁰), etc.). La mise en oeuvre de ces méthodes nécessite la définition de périmètres et fait également appel à des bases de données environnementales ou bien à des facteurs d'émissions. Concernant ce dernier point, il n'est pas toujours possible de trouver de telles informations pour tous les

7 : Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les Constructions

8 : Centre d'études Techniques de l'Equipement

9 : Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux

10 : Union des Syndicats de l'industrie Routière Française

produits et les procédés spécifiques au souterrain. C'est alors à la profession de favoriser le développement de bases de données mieux adaptées. On évoquera également la question du choix et de la définition des indicateurs d'impacts dans le cas des approches multicritères. Des évolutions normatives sont encore attendues en ce sens, mais des réflexions complémentaires pourraient donner lieu au développement d'indicateurs spécifiques au souterrain.

Cet état de l'art souligne l'ampleur des travaux qui restent à conduire pour mettre en place des méthodologies et des outils d'évaluation aptes à rendre compte de manière pertinente de l'ensemble des incidences d'une politique ou d'un choix d'aménagement intégrant la dimension souterraine. Le Projet national Ville 10D se propose de transposer aux espaces souterrains et d'adapter ou compléter si nécessaire les approches existantes, pour bien prendre en compte des spécificités de ce type d'aménagement.

Méthodologie adoptée

L'organisation du thème permet de passer progressivement de l'évaluation d'un projet isolé à celle d'un ensemble de projets, voire d'une politique d'aménagement. Les différentes actions apportent aussi les méthodes et outils qui doivent permettre d'apprécier les incidences d'un projet très détaillé (niveau avancé de définition), mais aussi celles d'une « idée de projet » dont seules les grandes lignes sont connues au moment où les premiers choix se font.

Il est important que ces méthodes et outils soient mis en application sur certains des sites pilotes associés au projet national, ou si le contexte de ces sites ne s'y prête pas, sur d'autres chantiers pour lesquels on dispose de mesures ou de données utilisables.

Les axes du thème abordent successivement :

- **les liens entre un ouvrage souterrain et son environnement de proximité** : connaissances des impacts de la réalisation et de l'exploitation de l'ouvrage, qualification du périmètre d'impact, méthodes et moyens envisageables pour rendre l'ouvrage souterrain plus en harmonie avec son environnement.

- **les possibilités d'améliorer la conception des infrastructures souterraines** pour les rendre intrinsèquement plus aptes à satisfaire aux exigences d'une ville durable, mais aussi pour qu'elles deviennent elles mêmes une ressource supplémentaire pour la ville.

L'amélioration de la conception peut se faire soit par le choix de matériaux innovants, soit par des procédés de dimensionnement ou de réalisation mieux adaptés, soit par une meilleure maîtrise de l'ensemble des entrants et des sortants dans le processus de construction et d'exploitation des ouvrages.

Face à l'évolution des attentes et des pratiques, la capacité à s'adapter, à se transformer pour répondre aux besoins nouveaux est une qualité essentielle, qualité qui n'est pas évidente pour les réalisations souterraines. Ce point doit faire l'objet d'un approfondissement particulier.

La capacité pour l'espace souterrain à constituer une ressource supplémentaire pour la ville sera appréciée à travers les opportunités qu'il peut amener au plan énergétique, ou encore de la ressource en matériau.

- **les bilans environnementaux à une plus large échelle** : après une analyse des spécificités des aménagements souterrains en regard des attentes d'une ville durable (avantages et inconvénients d'être en souterrain), les indicateurs usuellement utilisés pour quantifier les incidences seront ensuite testés et si nécessaire adaptés pour permettre une évaluation plus complète.

L'approche développée dans ce dernier axe doit permettre de mieux comparer les réalisations souterraines et les réalisations de surface, mais aussi d'apporter des bilans quantifiés à l'appui des choix à faire par les décideurs.

Les sites pilotes viennent en appui de ces actions, soit parce qu'il existe déjà une structure souterraine qui peut être analysée (données issues du creusement, pathologies de vieillissement...), soit parce que les méthodes d'analyse préconisées doivent mettre en évidence l'intérêt de solutions souterraines (aménagement d'une nouvelle gare par exemple).

Les axes et actions susceptibles de composer le thème

Le thème Environnement est structuré de manière cohérente avec la méthodologie présentée ci-avant. Il se décline en 3 axes, recouvrant eux-mêmes plusieurs actions dont il est donné une brève description.

2.2.2. Axe 1 : Connaissance et amélioration des relations de l'aménagement souterrain avec son environnement

Cet axe vise à une meilleure connaissance et maîtrise des impacts des travaux souterrains ou de l'utilisation des espaces souterrains sur l'environnement de proximité. Il se focalise sur des thématiques aujourd'hui peu connues et pour lesquelles les préoccupations sont nombreuses et de nature à cristalliser des oppositions à la réalisation des aménagements souterrains.

Action 1.1 - Impacts et nuisances générés par les vibrations, l'excavation et l'exploitation des tunnels et espaces souterrains en site urbain

La présente action a pour objectif d'améliorer l'évaluation de l'impact de nuisances générées par l'excavation à l'explosif ou au tunnelier d'ouvrages souterrains réalisés en site urbain. Les conséquences sur le bâti existant peuvent être analysées par modélisation numérique.

Action 1.2 - Vieillesse des ouvrages souterrains et interactions à court et à long terme avec les constructions de surface

La présente proposition vise à améliorer la prise en compte du comportement à court et à long terme des ouvrages souterrains dans la description de l'interaction entre l'ouvrage et les structures de surface.

Pourront être considérés dans cette étude : la diversité des phénomènes de vieillissement, le traitement de la complexité des ouvrages et de leurs interactions avec le terrain encaissant, l'effet du temps sur les différents matériaux...

Cette étude pourra déboucher sur la mise au point d'un outil méthodologique d'aide à la décision pour la conception et la maintenance des ouvrages souterrains en site urbain.

Action 1.3 - Vulnérabilité et résilience des structures enterrées face aux sollicitations accidentelles

Les structures et ouvrages souterrains sont réputés aptes à beaucoup mieux résister aux séismes que leurs équivalents en surface. Cette action se propose d'apporter des éléments de démonstration et de quantifier la vulnérabilité de ces structures face aux sollicitations dynamiques.

Action 1.4 - L'apport des innovations techniques dans la réduction des impacts liés à la réalisation d'infrastructures souterraines

Il est envisagé de confier un travail bibliographique et de synthèse à un groupe de travail de l'AFTES rassemblant des professionnels, avec l'objectif de mettre en évidence et de valoriser les évolutions techniques et technologiques récentes. Ce travail pourra aussi conduire à approfondir un certain nombre d'aspects.

2.2.3. Axe 2 : Conception environnementale des ouvrages et valorisation des ressources offertes par les aménagements souterrains

Cet axe traite des améliorations qui peuvent être apportées à la conception et à la réalisation des structures enterrées, dans un souci d'aller vers des solutions plus respectueuses de l'environnement. Il aborde aussi la capacité du souterrain à être une véritable ressource qui offre de nombreuses opportunités face aux attentes d'une ville résolument durable.

Action 2.1 - Optimisation de la conception de la structure (au sens des enjeux du développement durable)

Les avancées réalisées depuis plusieurs années dans le domaine des modélisations numériques permettent une conception optimisée des structures (économie de matières premières et diminution des émissions de gaz à effet de serre par exemple), une réalisation de choix technologiques pertinents en construction et en réparation (impacts environnementaux et coûts minimisés) tout en maîtrisant la durée de vie des constructions dans leur environnement spécifique.

L'action visera à examiner comment les nouveaux outils peuvent conduire à proposer des solutions techniques innovantes de conception des structures souterraines.

Action 2.2 - Développement d'un procédé constructif multi-fonctionnel et recherche d'un démonstrateur

La prise en considération des conditions d'environnement spécifiques aux ouvrages souterrains, la volonté d'assurer une interaction sous-sol/surface active notamment dans le cas des échanges thermiques et énergétiques et enfin la préoccupation de rendre les aménagements sûrs, agréables et attractifs pour l'homme, peuvent guider le travail d'innovation technologique.

Dans le cas de la présente action et en liaison avec le thème 4, il est envisagé de développer un procédé constructif multifonctionnel à base de ciment et de textile renforcé : « SUP » (Smart Underground Panel). Ce procédé pourra être testé sur un site pilote par un démonstrateur. D'autres procédés pourraient également être étudiés dans le cadre de cet axe.

Action 2.3 - Valorisation des matériaux extraits du sous-sol dans un souci d'économie globale

Le devenir et la valorisation des matériaux extraits lors du creusement des ouvrages souterrains est un problème important pour lequel des solutions à la fois administratives et techniques doivent être trouvées. Un état des lieux des pratiques actuelles en matière de valorisation des matériaux extraits du sous-sol, constituera un préalable nécessaire à l'identification et à l'évaluation de filières ou de solutions de valorisation. Ces questions seront replacées dans le contexte urbain.

En effet, la prise en compte de la dimension urbaine dans cette action conduit à s'interroger sur la nature hétérogène et spécifique des matériaux extraits, sur la problématique de l'approvisionnement en matériaux, ainsi que sur les possibilités de production et de réemploi sur site. Cependant, l'urbanisation et la prise en compte des nuisances pour les riverains

peuvent rendre quasiment impossible la libération des emprises nécessaires aux installations techniques. L'analyse des projets d'aménagement souterrain doit donc intégrer les contraintes spécifiques aux sites urbains en tenant compte des possibilités offertes par le projet lui-même.

Action 2.4 - Valorisation énergétique des infrastructures souterraines

Cette action ciblera l'intégration de la fonction énergétique (thermique) dans le milieu souterrain à travers la ressource géothermale, propre au sous-sol. L'utilisation de la ressource géothermale peut en effet permettre de réduire considérablement les consommations en énergie primaire des bâtiments. Cependant, cette technologie peut se montrer peu attrayante du point de vue économique en raison des coûts importants de mise en œuvre. S'ajoutent à cela des réglementations très strictes en matière d'exploitation du sous-sol pour de grandes profondeurs, ou dans le cas de géothermie sur aquifère (protection des nappes).

L'objectif sera d'étudier le potentiel d'intégration de capteurs géothermiques dans les infrastructures urbaines (tunnels routiers ou ferroviaires, parkings, canalisations, fondations, ...), en limitant ainsi les coûts de mise en œuvre de systèmes géothermiques. Il s'agira d'étudier la capacité de ces infrastructures à assurer, en plus de leur fonction première, une fonction de production d'énergie thermique. Il est en effet essentiel d'évaluer les capacités de cette technologie à s'intégrer dans le neuf mais aussi dans l'existant. Différents cas d'étude réels pourront être sélectionnés et instrumentés pour évaluer les performances énergétiques et environnementales potentielles.

Action 2.5 - Contribution du souterrain à la réalisation d'opérations d'aménagement à énergie globale positive

De même que pour les bâtiments en surface, une réflexion sur l'autonomie énergétique des aménagements souterrains sera conduite, en intégrant le contexte particulier et généralement favorable que constitue le sous-sol. Cette réflexion pourra également porter sur d'autres aspects que l'énergie (ressources en matériaux, en eau, etc.).

Action 2.6 - La mutabilité des espaces souterrains et leur capacité d'adaptation à l'évolution des besoins

Cette action portera sur le développement de méthodologies et d'outils de conception permettant d'intégrer l'évolution inéluctable des fonctionnalités des aménagements souterrains dans le temps. En effet, force est de constater que les réhabilitations lourdes ou les transformations des structures en vue d'un réaménagement fonctionnel des espaces sont délicates pour les structures souterraines, d'où un handicap auquel il nous faut apporter des solutions.

2.2.4. Axe 3 : Bilan environnemental des ouvrages et des aménagements souterrains (aspects méthodologiques) ; prise en compte des effets d'échelle

Chaque opération qu'elle soit souterraine ou de surface a une incidence qui dépasse le seul environnement de proximité. Chaque tâche élémentaire a un impact environnemental qui peut être chiffré, sous réserve toutefois que les informations nécessaires à ce chiffrage soient disponibles. Ce dernier axe se propose de faire le point sur les méthodes et outils d'évaluation existantes ou transposables à partir d'autres secteurs, avec l'objectif d'établir une méthodologie qui permette de bien prendre en compte les spécificités des aménagements et espaces souterrains.

Action 3.1 - Définition d'indicateurs d'impacts adaptés au souterrain

Cette action visera dans un premier temps à réaliser une étude approfondie de projets de constructions souterraines de façon à mettre en évidence les spécificités des aménagements souterrains, leurs atouts, mais aussi leurs handicaps principaux dans une démarche de construction de la ville durable. Les travaux déjà initiés sur ce sujet pourront être consolidés et complétés. Ce travail permettra de faire ressortir les indicateurs d'impact susceptibles de faire l'objet d'adaptation ou de développement. Ces indicateurs se devront d'être replacés dans le cadre normatif européen et international.

A partir des indicateurs ainsi définis, la méthodologie d'évaluation des projets souterrains pourra être établie et appliquée à un certain nombre de réalisations pilotes.

Action 3.2 - Evaluation des impacts environnementaux de projets souterrains

Il s'agira de conduire une évaluation détaillée de type ACV sur une réalisation souterraine et de mettre en évidence les pistes d'approfondissement pour la bonne mise en œuvre de ce type de méthode dans le cadre des ouvrages souterrains. Plusieurs types de projets sont susceptibles d'être évalués.

Action 3.3 - Prise en compte des aménagements souterrains dans le cadre de l'adaptation de la ville au changement climatique

Cette action visera à étudier la contribution possible du sous-sol à la ville résiliente, c'est-à-dire la manière avec laquelle le sous-sol peut rendre la ville moins vulnérable, plus apte à se remettre d'une évolution de fond comme le changement climatique.

Après un état des lieux des connaissances existantes sur les nouveaux scénarios de changement climatique et plus particulièrement en Ile-de-France, il s'agira de se focaliser sur les risques naturels qui pourraient en découler. L'objectif est de travailler sur les sites du projet Ville 10D pour établir l'apport que peut avoir le souterrain dans des stratégies de résilience propres à ces territoires. L'action prévoit de passer ensuite des expériences locales à la construction d'un outil applicable sur d'autres territoires, avec pour but de proposer un outil d'aide à la décision à destination de tous les gestionnaires, et des guides portant sur l'évaluation de la résilience des espaces souterrains et, plus globalement, de la ville face aux risques naturels, technologiques et nuisances environnementales. Les besoins de recherches futures les plus pertinentes à conduire pourront être également identifiés.

2.2.5. Les principaux partenaires ayant contribué à ce jour:

BRGM, CETU, CSTB, Cycleco, IAU Ile de France, IFSTTAR, LGCIE-INSA de Lyon, Institut Navier (ENPC), LEESU (UPEMLV: Université Paris Est Marne la Vallée), Ligeron (Sonovision), EGIS, Cimbéton,...

2.3. THÈME 3 : PSYCHOSOCIAL ET SOCIÉTAL

2.3.1. Introduction

Problématique et objectif

Ce thème interroge le sous-sol dans ses liens avec la ville, en s'intéressant aux espaces souterrains habités et pratiqués par l'homme. Il cherche à comprendre la manière dont le dessous est investi -en complémentarité ou en opposition à la surface- et les tensions qui se cristallisent à l'interface sol/sous-sol.

Identifier les conditions de l'inscription urbaine du sous-sol nécessite de comprendre les rapports complexes que les individus entretiennent avec le sous-sol : la manière dont l'homme l'aménage, les comportements qu'il y adopte, les usages qu'il en fait, les perceptions qu'il en a et les représentations qu'il y projette. Le souterrain est soumis à des attentes contradictoires, selon qu'il est considéré comme un objet technique, une ressource foncière ou énergétique, un substrat fertile, ou encore un espace de vie imaginé, perçu, utilisé. Questionner les liens avec la ville, c'est envisager ces attentes en termes d'usages, de désir et d'attractivité, c'est-à-dire du point de vue de la pratique de la ville autant que de celui de son aménagement. Cela conduit à examiner les choix et les contradictions que l'aménagement soulève, autant que les interactions qui apparaissent dans l'usage, dans la programmation ou dans le fonctionnement. Le but est d'identifier les capacités des espaces souterrains à accueillir une vie souterraine et à devenir des composantes du paysage urbain.

Ce thème propose de regarder, depuis le sous-sol, les pratiques et l'aménagement de la ville, en mettant en avant la valeur ajoutée du sous-sol, en termes d'aménités et d'organisation urbaine. Elle sera traduite sous forme d'outils d'évaluation des qualités spatiales et d'outils d'aide à la décision et à la conception pour programmer des espaces souterrains en complémentarités avec la surface.

Freins

Cette inversion du regard ne va pas de soi. Elle se heurte à des représentations, des habitudes ou des modes de faire pour lesquels le dessous reste à la marge. Dans leur fonctionnement, les espaces souterrains sont souvent représentés en négatif par rapport à la surface. Ce sont des espaces à part, dans lesquels l'accès marque la séparation entre deux mondes. Pourtant c'est la continuité, la fluidité, la mixité d'usage qui caractérisent l'urbanité. Pourquoi en est-il autrement quand la ville se prolonge en souterrain ?

Parce que l'idée d'habiter sous la ville déstabilise. Les individus ne sont pas faits pour vivre sous terre. Les lieux enterrés évoquent la mort. Ils sont perçus comme sombres, risqués, inconfortables, générateurs de mal-être ou d'anxiété. Ces représentations renvoient à une situation spatiale subie où l'homme est récepteur de stimuli négatifs et où il peine à s'orienter et à trouver sa place. Parce que l'aménagement a tendance à reléguer et à accumuler en sous-sol ce qui encombre le sol de la ville, ce que l'on veut cacher (catacombes, égouts, transports) ou ce qui est censé ne pas avoir besoin de lumière naturelle (commerces, logistiques, équipements). Cette partition efficace peut s'avérer intéressante dans le fonctionnement urbain, mais il est dommageable qu'elle résulte d'un parti pris pour la surface. De fait, un choix s'opère entre ce qui est qualifié d'urbain, au-dessus, et ce qui l'est moins, en sous-sol, ou ce qui est "acceptable" enterré, parce que l'on y passe un temps limité. Dans ces choix, en arrière fond, il est présumé que le sous-sol est espace de service pour l'urbain.

Quel est le poids de l'habitude ? Où est la part du réel, de l'imaginaire, du symbolique dans ces craintes ? Cela reste à identifier. Il s'agit de confronter ces barrières à la réalité de la pratique de la ville et de tester leur permanence face à l'évolution des enjeux urbains.

Potentialités

Dans la pratique, les espaces souterrains ouverts au public (galeries de liaisons, espaces commerciaux, équipements) font partie de la ville. La relation dessus/dessous est une expérience spatiale et temporelle de la ville, mais c'est une expérience particulière car elle s'inscrit dans des imaginaires et dans des ambiances très différents. Plus intériorisés, les lieux souterrains n'ont pas les mêmes systèmes de repères. Fonctionnant rarement 24h/24h et majoritairement privés, ils n'obéissent pas aux mêmes règles de comportement ou d'aménagement. Malgré cela, les espaces enterrés ne sont jamais déconnectés des espaces de surface. Il y a une complémentarité dans l'usage, dans la mémoire, dans les déplacements. Cette richesse dans la pratique de la ville reste à rendre lisible et à aménager de manière confortable.

De fait, dans la compréhension du fonctionnement urbain, les transitions entre sol et sous-sol constituent des situations charnières. Leur rôle évolue avec l'essor de l'intermodalité, de la mobilité et la transformation du rapport à l'espace et au temps des individus. Ils passent de plus en plus de temps en mouvement, à surfer d'un usage à un autre, à mélanger temps du loisir et temps du travail. Les espaces du trajet correspondent à des attentes plus complexes. De nouveaux imaginaires urbains émergent, de nouveaux espaces publics apparaissent là où convergent des pratiques individuelles et des interactions sociales. Un paysage souterrain se dessine. La conception et la programmation des espaces en tiennent encore rarement compte.

Ces évolutions commencent à retenir l'attention des acteurs de l'aménagement. Les lieux souterrains, longtemps associés à des sujets techniques, intéressent l'urbanisme. Le développement des partenariats entre acteurs privés et publics permet d'envisager des évolutions réglementaires, de nouveaux montages (juridiques ou financiers) et des mutualisations (de services ou d'espaces) favorables aux constructions en sous-sol. L'urbanisme souterrain sort progressivement du cadre de l'utopie, vu comme un moyen de rendre la ville plus durable (compacte, mixte, économe en énergie ou en échange matière, etc). Ces potentiels ne peuvent être développés distinctement de leurs potentiels d'urbanité. Les lieux souterrains sont aussi des espaces du vivre ensemble. Pour que l'aménagement des espaces souterrains se développe, il doit aussi y avoir de l'urbain en souterrain.

État de l'art

Les connaissances historiques et archéologiques sur les souterrains habités forment la base des réflexions de l'urbanisme souterrain qui sont largement développées et diffusées par l'AFTES, l'ACRUUS, l'OVI de Montréal ou l'AES. Nombre de problématiques des constructions souterraines en milieu urbain ont été identifiées. La richesse des réflexions a été mise en évidence dans deux inventaires bibliographiques couvrant les périodes entre 1970 et 1995 (Barles-Gely-Guillaume - LMU & Sol Urbain) et entre 1995 et 2003 (Negrón-Boisvert - Paris 8 & OVI de Montréal). Ce travail montre une évolution notable en faveur des aspects urbains aux dépens de l'ingénierie. Il met également en avant l'actualité de l'insertion des installations souterraines dans la ville.

Par contre, cette insertion a essentiellement fait l'objet de recherches privilégiant une entrée disciplinaire spécifique ou des approches thématiques. Elle est abordée au travers de la planification et de la gestion des équipements souterrains (Barles ; Besner), dans le rôle central des partenariats public/privé dans la production des espaces souterrains (Bélanger ; Besner), ainsi que dans son évolution vers une planification verticale (Boisvert ; Kurokawa). La complémentarité entre le souterrain et la rue a aussi été étudiée en lien à l'implantation ou au fonctionnement des réseaux de transports (Allard-Lambert-Lebreton-Terade ; Scholey-Lowe-Amar), mais là aussi du point de vue des implantations et des pratiques commerciales (Beaudet-Lewis ; Smits). Malgré tout, la spécificité des objets analysés occulte encore de larges pans du fonctionnement urbain. Il est à noter que les réflexions sur les transports, les stationnements et les réseaux comportent un volet sur l'accessibilité et la sécurité des

piétons qui ouvre sur la prise en compte des ambiances, des perceptions et de la qualité des environnements en sous-sol. Le laboratoire CRESSON est largement pionnier dans ce domaine (Chelkoff ; Thibaud). En revanche, les thèmes du paysage et de l'espace public restent encore émergents (Bertholon ; Tanaka), tandis que l'imaginaire, le ressenti corporel et cognitif sont cantonnés à l'architecture.

Ces recherches constituent une matière riche, mais rarement transdisciplinaire. Le programme Deep City (Blunier-Parriaux & Maire-Thalmann-Kaufmann) constitue une exception notable. Il s'intéresse au rôle actif du souterrain dans la ville durable. La démarche cherche à appréhender la globalité des réalités de l'aménagement du territoire, avec un horizon de recherche comparable au programme Ville 10D. Toutefois, la dimension sociétale, dans le programme Deep City, est abordée sous l'angle de l'acceptabilité afin d'identifier des fenêtres de tir pour savoir ce qui peut être transféré vers les profondeurs et déterminer les conditions sociologiques d'un tel transfert. De fait, ce point de vue met au second plan les qualités spatiales des souterrains.

Méthodologie adoptée

L'ambition du projet « sous les pavés, la ville : aménager la rencontre entre deux mondes » est de dépasser la question de l'acceptabilité pour s'attacher aux conditions d'une inscription urbaine des espaces souterrains. Elle vise la prise en compte conjointe de dimensions généralement convoquées séparément dans l'aménagement urbain et a fortiori en souterrain. Cela implique de mettre sur un même plan la complexité de l'organisation urbaine et la spécificité des modes d'être dans des espaces enterrés ou ressentis comme tels.

C'est une recherche-action qui mobilise, au-delà des structures institutionnelles, les communautés d'intérêt, de voisinage et les associations d'individus en s'appuyant sur l'efficacité de la gestion collective de biens communs (Elinor Ostrom). L'objectif est de favoriser les interactions entre acteurs et chercheurs pour, d'une part, permettre l'expression de représentations, de ressentis ou de vécus difficiles à décrire et, d'autre part, tester des questionnements ou des scénarii prospectifs. Ce parti pris méthodologique implique de disposer d'un terrain habité et accessible au plus grand nombre. De ce point de vue, parmi les sites "pilotes" du Projet National, La Défense constitue un objet d'étude privilégié. C'est un ensemble urbain sur dalles, vécu comme un espace souterrain et dans lequel les liens à la ville sont au centre des réflexions. Les problématiques d'aménagement de La Défense constituent un socle riche pour élaborer des outils et des préconisations opérationnelles.

Compte tenu de la spécificité de La Défense, il est important de confronter la problématique de cette recherche à d'autres terrains ressources ou de comparaison. Nous proposons une méthodologie comparatiste analysant des expériences innovantes d'aménagements souterrains et s'appuyant sur les réflexions initiées par l'Observatoire de la Ville Intérieure de Montréal. L'objectif est de mettre en avant des solutions novatrices, pour l'intensité de la vie souterraine, mais aussi de confronter l'inscription urbaine de la Défense à des terrains présentant une configuration spatiale et urbaine comparable (quartier Barbican à Londres et Centro Direzionale de Naples). Il s'agit de prendre du recul par rapport à la spécificité de la Défense et de tester la capacité de généralisation des résultats de cette recherche dans des univers culturels élargis.

C'est une recherche transdisciplinaire qui fait appel à des champs d'expertises multiples et nécessite des articulations régulières entre les disciplines. Les lieux souterrains sont abordés du point de vue de l'espace et de la spatialité (axe 1), de l'interaction entre des individus et des qualités physiques (axe 2), de l'aménagement et de ses acteurs (axe 3) ; selon des outils d'analyse propres à différents champs disciplinaires. Par contre, ces expertises seront conduites dans un même cadre méthodologique défini par croisements, mutualisations et articulations des questionnements et des résultats tout au long de la recherche. Les conditions d'une inscription urbaine du dessous articulent forcément ces dimensions

multiples de l'espace souterrain. Cela implique de croiser différentes expertises autour de son aménagement.

2.3.2. Axe 1 - Transitions

Identifier les situations de transition sol/sous-sol, les caractériser et les représenter graphiquement.

Cet axe pose le cadre spatial des interfaces sol/sous-sol et des liens vers la ville. Il vise à identifier et à caractériser les situations de transitions, y compris dans ce qui s'y passe.

Action 1.1- Morphologies des transitions : trame urbaine et paysage en souterrain

L'objectif est de questionner l'espace souterrain et ses transitions en tant qu'espaces publics potentiels, participant à l'organisation de la ville et au réseau des espaces urbains. L'accessibilité à tous a envahi la sphère privée dans les gares et certains équipements commerciaux ou de loisirs. Cela nécessite un élargissement des grilles de l'analyse urbaine pour examiner les transitions sol/sous-sol du point de vue des configurations spatiales et du paysage urbain. Il s'agit de comprendre comment s'opère le passage dessus/dessous ou dedans/dehors en identifiant les configurations formelles des espaces souterrains et en interrogeant la réalité d'un paysage urbain qui se prolonge en souterrain.

Action 1.2- Expériences kinesthésiques¹¹ de l'espace souterrain

1.2a - Expériences de la ville souterraine et des transitions : spatialités

1.2b - Stratégies cognitives pour la navigation en sous-sol en 3D

Les transitions sol/sous-sol se révèlent au travers de l'expérience de l'espace. Le sentir est actif dans le rapport de tout individu à son milieu. Pour être compris, l'espace est éprouvé, parcouru, en lien au passage du temps, aux intempéries. Les stratégies cognitives de son exploration sont liées aux capacités motrices, aux intentions et aux activités (visite, travail, consommation, etc.). Il s'agit d'étudier le milieu construit et ses interactions avec les personnes dans leurs modes de déplacement, de repérage, d'évitement ou d'attraction, au travers : a) du vécu corporel de la qualité des espaces et b) de la connaissance des stratégies cognitives de navigation 3D des déplacements en souterrain. Ces connaissances visent à enrichir la programmation et la conception des espaces souterrains en lien à notre compréhension de l'espace et aux interactions homme/milieu qui la rendent possible.

Action 1.3- Représentations cartographiques du souterrain

La compréhension du sous-sol renvoie à des codes de représentations 3D, difficiles à convoquer face à des systèmes dominants 2D dans la cartographie urbaine. Les espaces souterrains font partie des zones blanches des plans de ville. Situationnistes, psychogéographes, artistes ou collectifs pluridisciplinaires ont tenté de rendre lisible cette part occultée, en introduisant le vécu dans l'expression cartographique. En dehors de ces quelques expériences, la cartographie urbaine privilégie la représentation des pleins, des vides et des itinéraires. A contrario, les plans du sous-sol détaillent sans hiérarchie les occupations. Questionner les espaces souterrains en lien à la ville de surface, c'est aussi s'interroger sur le passage entre deux univers de représentation cartographique : celui de l'espace intérieur -privé et contrôlé- et celui de l'espace extérieur -public- qui sont produits selon des logiques (commerciales, domaniales, etc.) très différentes. L'objectif est de concevoir une cartographie pour aider au repérage et rendre lisible l'organisation de l'espace souterrain dans ses relations à l'espace urbain.

¹¹ "Kinesthésie" (du grec) : *kinesis* signifiant "mouvement" et *aisthesis* : sensibilité. La kinesthésie est une perception consciente de la position et des mouvements des différentes parties du corps (source Larousse)

2.3.3. Axe 2 - A[e]-ntre-ville

Comprendre les représentations et les perceptions en souterrain pour caractériser les ambiances.

Cet axe aborde les manières dont l'homme s'inscrit dans des lieux souterrains au travers des interactions entre individus et qualités physiques. Il vise à caractériser les ambiances des espaces souterrains et à déterminer les conditions de confort de l'utilisateur.

Action 2.1- Caractériser la qualité des ambiances par l'implication des acteurs

Questionner la qualité des ambiances, c'est impliquer l'ensemble des acteurs de l'espace urbain et des expertises (conceptuelle, scientifique, technique, institutionnelle, d'usage). L'observation des phénomènes physiques vise la compréhension des perceptions et la caractérisation des ambiances pour adapter les dispositifs techniques au confort des usagers. Elle s'appuie sur les facteurs d'usage, les conditions de vie, la mémoire des espaces ou sur les stratégies des groupes et des individus. L'objectif est de confronter les évaluations des usagers à des relevés objectivables de la situation environnementale dans laquelle se trouve l'utilisateur. Une mise en situation de réflexion des partenaires permet de croiser des regards experts et profanes sur les paramètres de confort et d'orientation pour prendre en compte la parole des usagers dans l'aménagement. L'articulation des analyses (scientifique, polysensorielle, individuelle) confronte mémoires vives des usagers et points de vue panoptiques des experts pour initier un processus de préconisations opératoires et partagées pour l'ensemble des acteurs.

Action 2.2- Explorer les qualités des ambiances lumineuses des espaces fermés

Le manque de lumière naturelle, le confinement ou l'absence de lien visuel avec l'extérieur sont des facteurs récurrents de mal-être et de désorientation spatiale et temporelle. Comment retrouver ce lien entre qualité de vie et ambiances lumineuses dans les espaces fermés ? Cette question renvoie autant à des préconisations techniques qu'à des attentes ou à des aptitudes physiques. L'objectif est de faire évoluer les techniques d'éclairage pour rendre ces espaces hospitaliers, mais aussi viables énergétiquement. La démarche est comparative et expérimentale. Elle s'appuie sur l'analyse de bonnes pratiques et sur des relevés de situations spatiales souterraines et non souterraines. Il s'agit de mettre en avant des liens entre caractéristiques physiques et effets psychophysiologiques (bien-être, mal-être, signes de dépression, maladies), notamment au travers des interférences avec les rythmes biologiques de l'individu. L'objectif est de tester - en simulations de réalité virtuelle et in situ - des variations d'ambiance lumineuses en fonction de l'heure de la journée ou de paramètres climatiques extérieurs pour en étudier l'impact sur les usagers.

Action 2.3- Imaginaire des profondeurs

Les espaces souterrains font l'objet d'un aplatissage lié à des peurs : de la terre où les morts sont ensevelis, d'un espace sombre où la sécurité est menacée et où la vie ne se développe pas. Paradoxalement, ces lieux ont été aussi des lieux protecteurs : sources de vie et lieux de communication avec l'au-delà. L'imaginaire des lieux souterrains est multiple et ambivalent. Pourtant, il a plutôt apporté des préjugés négatifs, favorisant des aménagements fonctionnels pour réduire la puissance de ces images. L'hypothèse est que ce n'est qu'en réhabilitant les différentes dimensions imaginaires et symboliques de ces espaces que l'on pourra humaniser les peurs et activer un intérêt à la fréquentation des lieux souterrains. Il s'agit d'identifier les freins et les facilitateurs de l'appropriation imaginaire des espaces souterrains. Comment rendre les différents imaginaires utiles et utilisables dans l'aménagement des espaces souterrains ? L'objectif est d'élaborer des scénarii d'infléchissement imaginaire de la perception des souterrains pour les transformer en lieux appropriables, en lieux de séjours ou d'habitat.

2.3.4. Axe 3 - Cohabitations

Caractériser les connexions surface/sous-sol en lien aux acteurs de l'aménagement.

Cet axe s'intéresse aux oppositions et les complémentarités avec les espaces de surface et leur organisation, du point de vue des pratiques, des temporalités et des acteurs.

Action 3.1- Utilisations entre sol et sous-sol

Les espaces souterrains des métropoles fonctionnent plus systématiquement en réseau que les lieux de surface. Ils sont reliés entre eux de manière connexe - par des réseaux techniques - plutôt que de manière contiguë, de proche en proche. Il y a donc un enjeu à comprendre comment ces espaces souterrains sont reliés aux espaces de surface et comment sont vécus les passages de l'un à l'autre. Quelle répartition des pratiques et des fonctions entre souterrains et surface ? Les pratiques sont-elles les mêmes pour des fonctions identiques ? L'objectif est de constituer un répertoire pour a) identifier des organisations urbaines innovantes et b) comprendre les répartitions, a priori et en pratique, entre souterrains et surface. Il s'agit d'identifier l'existence ou non d'une communauté de pratiques, dans l'ensemble que forment les espaces souterrains et les espaces de surface. En confrontant fonctions et usages, l'objectif est d'évaluer le degré de conformité ou de transgression dans les usages du souterrain.

Action 3.2- Chronotopies urbaines : temporalités, rythmes et passages

Les temporalités de l'espace urbain redessinent sa géographie et modifient son fonctionnement, selon les ouvertures, fermetures, spécialisations fonctionnelles, tandis que dans les espaces souterrains, il n'y a pas de repères spatio-temporels naturels. Poser la question de la synchronisation avec la ville, c'est poser la question de l'articulation des temporalités entre dessus et dessous et de l'évolution de rythmes cycliques de moins en moins naturels. Est-ce qu'il y a des synchronisations, des continuités, des ruptures dans les variations d'intensité urbaine ? Est-il possible de se repérer sans horaire et sans montre ? Faut-il par n'importe quel moyen conserver la synchronisation avec le dessus ou en faire le lieu de la ville en continu ? Quelle symbiose et/ou complémentarité entre les deux ? Cela conduit à s'interroger sur les signes du passage -en souterrain, à l'air libre et entre les deux- dans la répartition des fonctions urbaines et dans l'imaginaire des espaces. L'objectif est d'aboutir à des transitions entre dessus et dessous, qui outrepassent l'ustensilité pure au profit du nomadisme urbain.

Action 3.3- Synergies, conflits et frictions liés aux aménagements

La réflexion sur le sous-sol de la ville, dans une optique d'aménagement urbain durable, implique d'arbitrer entre des usages antagonistes ou des incompatibilités dans la mobilisation des ressources. Les politiques de développement durable sont dépendantes de la culture locale, de la législation, du mode de planification, mais aussi des valeurs attribuées aux différents biens environnementaux. Aussi leur opérationnalité réside en grande partie dans la définition de ce qui constitue le "bon" environnement pour les sociétés concernées : celui dans lequel l'amélioration des conditions environnementales conduiront à une amélioration des conditions de vie ; celui dans lequel les dispositifs techniques pourront être appropriés dans de nouveaux modes de vie. Les antagonismes se règlent par des choix collectifs, qui résultent de la confrontation ou de la synergie de choix effectués par une myriade d'acteurs agissant chacun selon ses priorités et sa vision de monde. Derrières les règles d'arbitrage, il s'agit de savoir comment se construisent les préférences collectives ? C'est-à-dire, in fine, comment les individus s'approprient-ils, ou non, les stratégies de développement qui leur sont proposées ? L'objectif est de donner des clés pour l'action aux décideurs et aux futurs acteurs de la ville souterraine.

2.3.5. Axe 4 - Articulations

Construire une approche transdisciplinaire de l'inscription urbaine du souterrain pour mieux l'habiter.

Cet axe vise la transdisciplinarité des approches pour des résultats synthétisant la complexité des paramètres de l'aménagement et de l'habitabilité des espaces souterrains habités.

Action 4.1- Définir et animer une méthodologie transdisciplinaire

L'inscription urbaine des lieux souterrains et les liens dessus/dessous, implique plusieurs domaines d'expertises s'intéressant à la manière dont l'homme aménage les espaces souterrains, aux comportements qu'il y adopte, aux usages qu'il en fait, aux perceptions qu'il en a et aux représentations qu'il y projette. Cette complexité ne peut s'appréhender par une compilation d'expertises. Elle nécessite de les faire interagir en établissant un cadre méthodologique commun pour élaborer des outils ou des préconisations, pour la conception d'espaces urbains en souterrain, conciliant le sensible, l'usage et l'intérêt. C'est la condition pour considérer l'aménagement du point de vue de l'ensemble des acteurs. Cela implique :

- de se donner un cadre de dialogue entre disciplines pour travailler en complémentarité et déterminer, dès le démarrage de la recherche, des questionnements communs,
- de constituer une base vivante de données et de connaissances relatives aux problématiques opérationnelles et aux pratiques des espaces comme ceux du site de La Défense, pour partager et diffuser les données produites par chacune des équipes du thème 4 et enrichir le fond documentaire initial,
- de synthétiser, dans la rédaction du rapport final, les conditions de l'inscription urbaine des lieux souterrains sous forme d'outils d'aide à la conception et à la décision.

Au centre de ce cadre transdisciplinaire, il y a des acteurs à concilier pour que les espaces souterrains participent à l'organisation de la ville et à sa transition durable. Comment considérer les lieux souterrains comme des espaces ressources pour la ville ? Et pour quel homme : celui qui aménage, celui qui utilise ou celui qui flâne ? Comment croiser des mécanismes de valorisation et de dévalorisation qui relèvent du sensible, de l'usage, de l'intérêt ?

2.3.6. Les principaux partenaires ayant contribué à ce jour:

HABITER / Université de Reims ; ENSA Paris Val-de-Seine ; GRECAU / ENSAP Bordeaux ; IAU île de France ; INGELUX ; INSERM-SBRI Lyon ; IRPhiL / Lyon 3 ; LACTH / ENSAP Lille ; LADYSS / Paris 8 ; LPPA / Collège de France ; LASH / ENTPE Lyon

2.4. THÈME 4 : VISIBILITÉ, CONNAISSANCE ET GESTION DES DONNEES

2.4.1. Introduction

Problématique et objectif

Le sous-sol est un espace mal appréhendé par la majorité d'entre nous. Cependant la connaissance du potentiel de ce milieu est essentielle pour envisager de l'utiliser à des fins d'aménagement, et la connaissance plus fine de ses caractéristiques est indispensable pour y concevoir chaque projet d'aménagement ou de construction. Dans le cas des projets souterrains, la majorité des constructions est trop souvent réalisée dans un milieu mal ou insuffisamment connu, voire même considéré comme propice à des aléas et des dérives dans la maîtrise technique et financière des opérations.

L'objectif principal du thème est donc la connaissance des caractéristiques favorables ou défavorables du sous-sol, et de sa capacité à pouvoir accueillir les structures ou aménagements qui pourraient y être localisés. Cela concerne aussi bien la phase de réalisation de l'aménagement que celle de son utilisation. Cette connaissance doit être supportée par des techniques et des outils d'investigations, de compilation et d'interprétation des données, d'évaluation des incertitudes et risques, ou encore des moyens de planification et de visualisation.

Ces éléments de connaissance doivent être restitués dans une forme qui les rende utilisables par les architectes et urbanistes, et qui mette en valeur la capacité du milieu souterrain à être un espace pour des projets de qualité.

Freins

Les activités d'investigation et d'évaluation des propriétés physiques du milieu souterrain et de leur variabilité sont souvent considérées comme trop coûteuses par les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre. Elles sont réalisées avec une très grande parcimonie très en amont du projet et débouchent sur un modèle de comportement du milieu qui n'est pas systématiquement réévalué au regard de la conception des structures et qui n'intègre pas la variabilité parfois importante des caractéristiques du milieu souterrain à l'échelle du projet.

Cette difficulté est encore accrue en site urbain par l'impossibilité physique de réaliser des reconnaissances géologiques et géotechniques depuis la surface. Il y a donc une part importante d'interprétation et d'extrapolation à partir des quelques données disponibles, avec tous les risques que cela comporte.

L'évaluation de la robustesse de la conception vis-à-vis de ces incertitudes n'est pas chose aisée, et est souvent passée sous silence. Il n'existe pas à ce jour d'outils intégrés opérationnels qui permettent d'évaluer les incertitudes liées à la connaissance du milieu et l'impact potentiel notamment en risque financier qu'elles induisent dans le projet.

De la même manière, il est difficile d'établir des maquettes ou de représenter les projets qui se caractérisent par l'absence de façades, et pour lesquels l'utilisateur se trouve positionné à l'intérieur même de l'objet à réaliser. Ne sachant pas montrer les aménagements, comment les faire voir ?

La prise en compte de l'ensemble des données (y compris les incertitudes) qui concernent un projet en sous-sol nécessitent la conception et l'utilisation d'outils de visualisation et d'évaluation pour permettent une intégration adéquate par l'ensemble des acteurs (décideurs, urbaniste, architectes et ingénieurs).

Potentialités

Face à ce constat des actuelles insuffisances, différents apports sont envisagés dans le cadre du présent projet de recherche :

- Développer des méthodologies d'acquisition qui permettent d'améliorer la connaissance du sous-sol et de sa variabilité ;
- Bancariser l'ensemble des données naturelles et anthropiques concernant le sous-sol et son utilisation dans des formats qui permettent leur interopérabilité¹². La mise en place de cette disposition permettrait de réduire les notablement les coûts d'investigation en limitant leur nombre et de réduire les incertitudes en concentrant les moyens dans les endroits les plus propices ;
- Développer des modèles qui permettent d'intégrer la variabilité du sous-sol tant naturelle qu'anthropique (cavités souterraines, réseaux, vestiges archéologiques, pollutions industrielles) s'appuyant sur des données nouvelles ou existantes et bancarisées ;
- Pouvoir visualiser l'ensemble des données et proposer des méthodes pour déterminer et gérer les incertitudes géologiques et géotechniques ainsi que les risques au niveau des projets (construction et exploitation) et intégrer en amont ces données dans les documents de planification urbaine et technique (DCE...) ;
- Faire le bilan des outils actuels de visualisation des projets souterrains et proposer d'autres systèmes pour mieux les mettre en valeur à destination des architectes, urbanistes mais également les pouvoirs publics et décideurs.

Etat de l'art

Les projets cités dans le rapport de faisabilité et brièvement en introduction peuvent être considérés participant à l'état de l'art de la thématique. On rappellera que dans les projets :

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

Le BRGM, l'Université Bordeaux 1, la Mairie de Pessac, le Service Régional d'Archéologie et la Lyonnaise des Eaux ont mis au point un outil intégré d'aide à la gestion de l'aménagement urbain pour évaluer les conditions géologiques, géotechniques, hydrogéologiques ou archéologiques lors de travaux et capitaliser les expériences.

« D2SOU », Développement Durable et SOI Urbain

Le BRGM, en partenariat avec FONDATERRA (Fondation Européenne pour des Territoires Durables), l'Université Bordeaux 1, le C3ED, Geocarta et le Club D2C, ainsi que les communes de Pessac et d'Achères ont développé 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).

DEEP City 3D

Les initiateurs de ce projet ont réalisé l'intégration visuelle des infrastructures anthropiques dans les modèles géologiques 3D par la définition et l'utilisation de standard d'interopérabilités à destination des logiciels de visualisation de telles structures. C'est un projet européen entre le BRGM et l'institut Franhauffer.

¹² L'interopérabilité est la capacité que possède un produit ou un système, dont les interfaces sont intégralement connues, à fonctionner dans d'autres contextes existants ou futurs et ce sans restriction d'accès ou de mise en œuvre. Pour un format de données cartographiques, il s'agit donc de sa capacité à rendre intégrables les données qu'il supporte dans le plus grand nombre de systèmes permettant de les visualiser, modifier ou traiter.

Méthodologie adoptée

Pour répondre aux questionnements et objectifs de développement du thème, trois axes ont été proposés pour l'aborder :

- *Axe 1 : Chaîne et qualité de la connaissance*
- *Axe 2 : Gestion des risques et des projets d'aménagement souterrain*
- *Axe 3 : Formalisation - Visualisation.*

Ces axes s'articulent avec la démarche de l'aménagement : de la donnée de terrain à la conception du projet, puis à la présentation des solutions pour une prise de décision éclairée.

Certaines actions qui semblaient prioritaires sont déjà évoquées dans les descriptions de chaque axe. Elles pourront être modifiées ou complétées par d'autres au fur et à mesure de l'avancement du Projet National.

2.4.2. Axe 1 : Chaîne et qualité de la connaissance

Réaliser un projet souterrain nécessite l'acquisition d'informations multiples et nombreuses sur de site et son contexte. En se limitant aux informations techniques, elles peuvent être classifiées suivant le schéma suivant :

a) informations naturelles

- géologiques (stratigraphie ; lithographie, géologie structurale...)
- géotechniques (propriétés physiques et mécaniques des formations) ;
- hydrogéologiques (propriétés hydrauliques des formations) et géothermiques.

b) informations anthropiques

- structures fonctionnelles enterrées (réseau et cavité en cours d'exploitation)
- structures oubliées et/ou non fonctionnelles (carrières, vestiges archéologiques)
- pollutions.

Ces informations peuvent être acquises par différents moyens très variés (forages et essais de laboratoire, géophysique, essais in-situ, etc.) ou sont déjà disponibles totalement ou partiellement dans des bases de données existantes.

Les informations doivent être analysées en termes de nature et de sens (ce qui peut signifier un traitement particulier), de densité et de précision. Le manque de précision dans les données peut provenir de la stratégie de collecte/échantillonnage, de l'échelle de représentation, de la variabilité intrinsèque des sols,...

Les pistes de progrès pouvant être suivies pour cet axe portent notamment sur :

- L'analyse des critères qui permettent de cibler les données (en nature, densité, précision) les plus utiles à un stade donné du projet,
- Le développement et la qualification de méthodes (ou de techniques) de collecte de données « optimales » (au sens du rapport coût/précision) à un stade donné d'avancement du projet,
- La manière avec laquelle des données disparates, acquises par des moyens divers à des échelles variées peuvent être « agrégées » pour construire un « meilleur état possible » de la connaissance ; les questions de manque de précision, voire de contradictions potentielles, pourront être traitées ici,

- Le développement de méthodes permettant de travailler dans une logique d'amélioration continue de la connaissance (indépendamment des supports – cf Axe 3), qui conduit à élaborer un modèle évolutif, progressivement affiné, du sous-sol urbain,
- La qualification des incertitudes relatives aux sous-sols pour un état donné de la connaissance. Cela repose sur la possibilité d'interpoler les données connues à l'ensemble du domaine 3D, et d'évaluer la précision des interpolations.

A noter que le projet de recherche se concentrera sur les spécificités des contextes urbains. En effet si certaines bases de données publiques et privées existantes peuvent fournir des informations concernant la nature géologique des terrains – c'est notamment le cas de la base de données Infoterre du BRGM qui comprend une quantité importante de sondages avec pour certains les descriptions géologiques associées-, il n'existe pas à notre connaissance de base de données qui intègre des données géotechniques et qui soit disponible publiquement, alors qu'en zones urbaines ces données seraient indispensables pour permettre de mieux cerner la variabilité des formations géotechniques.

Ces bases de données contiennent souvent des données factuelles ou pour lesquelles une interprétation standardisée a été réalisée. Les informations contenues doivent donc être généralement traitées et propagées dans l'ensemble de la zone concernée, comme les données acquises spécifiquement pour le projet, pour permettre une conception.

Action 4.1.1- Bases de données dédiées à la connaissance du sous-sol

Dans ce domaine, certains développements sont déjà réalisés et opérationnels. L'intégration cependant de nombreuses données de géophysique et de géotechnique serait nécessaire et profitable, au travers notamment du développement d'outils spécifiques qui permettraient l'interrogation, la visualisation et le traitement des données issues de divers horizons des géosciences. Des conditions d'interopérabilités pour certaines données sont sans doute à développer également.

Certaines données peuvent être aussi intégrées au projet sans être publiquement disponibles. Il s'agit principalement des données concernant la géométrie d'infrastructures souterraines ou de cavités qui sont stockées sous différents formats numériques et papier et qui peuvent devoir être intégrées au modèle géométrique 3D du site. Certaines de ces informations n'existent pas sous forme tridimensionnelle et demandent une reconstruction spécifique pour être intégrées dans une évaluation qui se doit d'être tridimensionnelle. Des outils et des méthodologies pourront être adaptés ou développés.

Action 4.1.2- Intégration des méthodes d'acquisition indirectes dans la construction des modèles géométriques

Les modèles géométriques tridimensionnels (vrai 3D ou 2,5D) qui sont réalisés actuellement sont principalement des modèles basés sur la stratigraphie géologique. L'objectif de cette action est de construire ces modèles en y incluant en données d'entrée les résultats des différentes mesures directes ou indirectes réalisées : mesures géotechniques (essais in situ), géophysiques (sismique, électrique, électromagnétique) et/ou hydrogéologiques (essais de puits).

Des données de types qualitatives et quantitatives pourront être intégrées dans la construction des modèles. De plus, en fonction du type de mesure, le poids affecté à chacune des variables d'entrée pourra être différent afin de mettre un poids plus important sur des données obtenues de manières directes (forages) que sur des données indirectes (image géophysique par exemple).

Enfin, un volet important dans la construction de ces modèles est la quantification des incertitudes. Ces dernières sont de différentes natures : si l'incertitude ou variabilité naturelle

est prise en compte par les méthodes géostatistiques, les incertitudes de mesure et de modélisation ont un rôle très important dans l'interprétation du modèle construit.

Action 4.1.3- Système d'Information et modèle de données pour un urbanisme souterrain (SIMDUS)

L'urbanisation du souterrain doit inventer un management de projet spécifique en réponse aux particularités notamment des constructions, des acteurs, des ingénieries. Par son ambition, le projet Ville 10D nécessite un accompagnement spécifique dans la gestion des données. En effet, dans ce projet, c'est tout un ensemble de métiers qui vont devoir cohabiter pendant les études amont, pendant la durée de conception/réalisation du projet, et pendant la durée d'exploitation et d'adaptation des espaces.

Cette action d'ingénierie de gestion de données aura pour but de permettre le travail concourant des différents acteurs (urbanistes, concepteurs, des économistes, experts, responsables des réseaux, paysagistes...) et de fournir des méthodes pour une gestion patrimoniale des données utiles à la conception et à l'exploitation de l'aménagement. Les résultats attendus de cette action sont de :

1. Permettre l'échange, la mutualisation des données afin que le projet ville 10D se réalise dans des bonnes conditions,
2. Décrire et caractériser les besoins des acteurs,
3. Aider à la hiérarchisation des différents besoins de données en lien avec leurs qualités,
4. Construire un cahier des charges de bonne gestion des données pour les projets urbains souterrains. Le modèle de données proposé permettra une gestion rationnelle et cohérente de l'ensemble des informations techniques de l'ouvrage souterrain, de ses parties et composants, des caractéristiques techniques et économiques associées, et la possibilité de calculs techniques élaborés, et ce en fonction des différentes échelles pertinentes,
5. Etablir un retour d'expérience sur la gestion des données dans le cadre du projet ville 10D.

2.4.3. Axe 2. Gestion des risques et des projets d'aménagement souterrain

L'ensemble des acteurs du souterrain mettent toujours en exergue que les travaux en souterrain s'inscrivent dans un milieu qui n'est qu'imparfaitement connu, d'où une crainte d'une mauvaise maîtrise des incidences techniques et financières. Même les campagnes de reconnaissance les plus détaillées ne sont effectivement pas en mesure de caractériser complètement la complexité du sous-sol, qu'il s'agisse d'une complexité naturelle (géologie, hydrogéologie) ou héritée (vestiges et structures enterrées, réseaux mal documentés...).

Les incertitudes et une insuffisante maîtrise des risques qui en découlent peuvent conduire à des accidents aux conséquences spectaculaires, du fait en particulier de la densité des enjeux et des activités urbaines en surface. Parallèlement, la reconnaissance préalable du sous-sol a un coût important, et peut même être très difficile à réaliser en milieu urbain dense. En outre, même avec une campagne de reconnaissance adéquate, des aléas subsistent. Sur ces bases, on devrait disposer des éléments d'évaluation permettant de **définir un degré d'investigation « optimal »**, en fonction de la nature du projet (enjeux, complexité technique) et de la complexité du sous-sol.

La comparaison de l'alternative aménagement souterrain/aménagement en surface peut être légitimement pensée sous le double angle des risques et des opportunités offertes par les deux options. Faire une telle comparaison suppose que l'on dispose d'outils et de méthodes adaptées : pour identifier les risques, pour les quantifier, pour estimer la capacité à les maîtriser. Dans l'idéal, si l'on parvenait à évaluer l'ensemble des coûts réels et prospectifs

d'un projet, une stratégie optimale devrait reposer sur un compromis entre l'ensemble des coûts imputés au projet (investigations, évaluations des risques, dysfonctionnements, exploitation et maintenance).

Toute décision (de poursuivre ou d'abandonner le projet, de choisir telle ou telle option technique ou urbanistique...) est prise en domaine incertain. Une vision du projet « par les risques » est une garantie d'une certaine cohérence et continuité dans la logique de décision. Il faut donc mettre en place un cadre d'analyse et de gestion des données qui permette de **comparer les options pour le projet et de fournir les éléments de base pour les décisions.**

Il faut donc disposer de méthodes robustes permettant d'identifier et d'apprécier les risques à partir des informations disponibles, ainsi que d'outils de représentation et de supports d'aide à la décision.

Il est important de noter que les risques ne découlent pas uniquement des données provenant de l'environnement du projet, mais aussi des méthodes de conception et de réalisation des infrastructures qui peuvent, à leur tour, « impacter » l'environnement. A ce titre, l'évaluation des risques d'un projet ne découle donc pas uniquement de la qualité des données acquises ou disponibles du sous-sol mais déborde sur d'autres thèmes du Projet National et notamment le thème 2 qui porte sur l'environnement dans son sens large (y compris socio-économique).

Action 4.2.1 - La caractérisation des incertitudes et des risques en souterrain.

Cette action est à mener en liaison forte avec l'axe 1 sur l'acquisition des données. Il s'agira de savoir comment évaluer les incertitudes de toutes origines attachées à un projet, avec un approfondissement sur les spécificités urbaines et souterraines. Quels sont les pratiques actuelles, les moyens de reconnaissances disponibles et leurs limites ? Comment quantifie-t-on les incertitudes ? Comment les représente-t-on ? (liaison avec l'axe 3 – cf. 2.4.4)

La notion de risque dépasse largement celle d'incertitude. Il s'agit ici, dans une logique de « projet d'aménagement souterrain » d'identifier, de caractériser, d'établir des moyens d'évaluation des risques de projet. Ce travail requiert :

- une prise en compte du caractère multi-acteurs des projets,
- une prise en compte du caractère prototypique des projets, mais de l'existence probable de typologies (pour l'espace souterrain, pour le projet...) qui permettront d'établir des outils génériques.

Cette démarche pourra valablement s'appuyer sur un retour d'expérience sur des réalisations récentes d'ouvrages souterrains urbains, avec une identification des principaux risques en liaison avec les caractéristiques des sites.

Action 4.2.2- Gestion dynamique des incertitudes et des risques.

Il s'agit ici de développer des outils et méthodes pour accompagner le projet, en termes de maîtrise des risques et des incertitudes. Il faut donc savoir comment se propage l'incertain, du présent au futur, ou du localisé au global, qu'il s'agisse d'échelle géométrique, ou d'un acteur isolé à l'ensemble des acteurs.

Il sera en particulier possible de dresser une typologie des contextes urbains susceptibles de présenter ou non un certain nombre de risques en cas d'aménagement souterrain. Les moyens pertinents pour maîtriser ces risques dans chacune des typologies seront précisés. Ces méthodes pourront être testées dans les sites partenaires du projet (notamment les sites d'Orly-Rungis et de Marne la Vallée)

Action 4.2.3 - Outils d'aide à la décision et accompagnement des projets.

Dès le démarrage du projet, la disponibilité d'outils d'aide à la décision peut être d'un grand secours pour faire les premiers choix stratégiques. Ces décisions doivent s'appuyer sur divers indicateurs de performance (techniques, socio-économiques, environnementaux, financiers, etc.) qui doivent être définis, testés et validés (auprès de l'ensemble des acteurs et utilisateurs potentiels). Lors du déroulement du projet, les mêmes outils pourraient être mis à profit pour suivre et éventuellement agir, si le projet est susceptible de s'écarter des objectifs visés.

Il s'agit ici de mettre au point à la fois des outils de représentation des risques, visualisables sous une forme directement compréhensible par les utilisateurs (maîtres d'ouvrage, chef de projet,...), mais aussi de fournir des livrables comme des « cahiers techniques – risques types », sur lesquels les acteurs pourront s'appuyer, lors des différentes phases pour mettre en œuvre les procédures garantissant une maîtrise convenable des risques.

2.4.4. Axe 3. Formalisation - Visualisation

Les actions de cet axe portent principalement sur la conception, voire la réalisation de prototypes, d'outils destinés à la visualisation et la communication des informations entre les différents acteurs au niveau d'un aménagement (avant-projet, avant-projet détaillé).

L'interopérabilité, qui si elle existe déjà entre certains domaines, reste à développer voire à valider, devrait permettre de visualiser de nombreuses données provenant de divers univers (géologie, hydrogéologie, géophysique, géotechnique, risques naturels pour les sciences de la terre, architecture, urbanisme, génie civil, réseaux pour les concepteurs, etc.)

Action 4.3.1 - Développement d'outils de visualisation pour la conception des aménagements

Le développement d'outils opérant sur internet et capables, grâce à l'interopérabilité, de représenter et de confronter des données du sous-sol, des structures enterrées ou de surface, mais aussi des incertitudes et les emboitements d'échelle, permettrait aux différents acteurs du projet (géologues, géotechniciens, architectes, ingénieurs et décideurs) de communiquer et d'échanger sur des bases communes, tout en étant capable d'utiliser les données spécifiques à leurs objectifs. Cette visualisation est essentielle pour permettre une approche concertée de la planification urbaine, tant pour les structures de surfaces que pour les structures enterrées.

L'état actuel des outils logiciels disponibles met en évidence que chaque domaine dispose souvent d'outils de visualisation 3D dédiés. Par contre, aucun outil n'est à ce jour disponible pour co-visualiser l'ensemble des données requises par les différents opérateurs.

Un tel outil de co-visualisation devra par ailleurs prendre en compte le fait que les diverses données sont détenues par des producteurs différents, avec souvent des systèmes de coordonnées, des échelles hétérogènes. Il s'agit donc de mettre en œuvre des dispositifs d'accès à des données distantes en utilisant des protocoles de transfert, de traitement et de représentation normalisés comme ceux proposés par l'Open Geospatial Consortium (OGC). De nombreuses données issues de SIG n'étant disponibles qu'en 2D, il conviendra également de proposer des modes de représentation 3D de ces objets par des techniques de modélisation procédurales adaptées et pouvant tirer parti des métadonnées disponibles.

La création de dispositifs spécifiques permettant la visualisation et l'appréhension des incertitudes par les différents intervenants des projets devrait également s'intégrer dans les outils développés.

Action 4.3.2 - Développement d'outils de visualisation pour la communication et la mise en valeur des possibilités de l'espace souterrain

Cette action vise davantage la sensibilisation pour une prise de conscience par l'ensemble des acteurs mais également par le citoyen, des nombreuses possibilités de réaliser des aménagements fonctionnels et agréables en sous-sol.

Elle se propose de travailler sur les méthodes et outils de représentation pour les adapter à ces constructions sans façades extérieures que sont les constructions souterraines, et proposer des solutions de nature à davantage intéresser les urbanistes à l'urbanisme souterrain.

2.4.5. Les principaux partenaires ayant contribué à ce jour:

BRGM, Université Marne-la-Vallée, Université de Paris VI, Université de Bordeaux 1 (GHYMAC), INA de Lyon, CETU, Université Pierre et Marie Curie (UMR7619- Isyphe), Ecole des Mines de Nancy, IFSTTAR, IAU Ile de France,...

2.5. THÈMES TRANSVERSAUX

2.5.1. Aspects réglementaires et juridiques

Le code de l'urbanisme a été pensé pour l'aménagement du sol et non du sous-sol. A l'heure actuelle, les règles juridiques représentent un obstacle et réduisent considérablement les possibilités d'utilisation optimale du sous-sol.

Une évolution vers un cadre juridique plus approprié pour les projets impliquant les espaces souterrains est indispensable, notamment pour envisager des projets souterrains présentant une mixité de fonctions ou d'usages. En effet, la réglementation foncière en cours rend difficile voir impossible les espaces à fonctions multiples, en dehors des lieux souterrains dédiés au transport.

Pour les partenaires approchés à ce sujet, la recherche juridique gagne beaucoup à être une recherche appliquée à des cas concrets. Les problèmes juridiques à résoudre concernant le sous-sol émergeront mieux à travers une méthode d'audit de sites. De ce fait, une ou des études spécifiques aux sites choisis (La Défense, Marne-la-Vallée, Orly, etc.) où le sous-sol a été mis en valeur constitueront une étape essentielle de cette recherche.

A partir de l'identification des problèmes juridiques des sites, ces audits pourront se poursuivre par des études complémentaires à caractère général, telles que l'acquisition du foncier en sous-sol ou l'adaptation de l'urbanisme au sous-sol.

Par ailleurs, des études de faisabilité juridique concentrées sur des projets spécifiques tels que des gares, des voies de communication, des galeries commerciales, des équipements publics (complexes sportifs, station d'épuration, etc.) se révéleront également indispensables car les contraintes juridiques ne sont pas les mêmes selon les projets et leur éventuel emplacement.

Il pourrait en outre être envisagé de faire des études comparatives, notamment de solutions juridiques retenues dans d'autres pays. Ce genre d'études de droit comparé s'imposent pour

apprécier si les outils et les montages juridiques utilisés dans des pays ayant mis en valeur leurs sous-sols sont transposables en France et selon quelles modalités. La liste des expériences étrangères étant longue, nous en retiendrons seulement deux ou trois à choisir parmi les cas les plus connus (Montréal, Pays-Bas, Monaco, Helsinki).

Notez qu'il convient de séparer d'une part ce qui a trait à la réalisation des ouvrages du sous-sol et d'autre part ce qui se rapporte à l'utilisation des ouvrages. Il est proposé de limiter l'étude juridique à la réalisation des ouvrages et d'envisager le droit relatif à l'utilisation seulement dans le cas où il impacte les conditions de réalisation.

2.5.2. Cindynique

Par delà les appréhensions ressenties par un certain nombre de personnes lorsqu'elles doivent évoluer dans un espace souterrain, il existe des dangers spécifiques et bien réels liés au caractère confiné de ces espaces. Cela s'est traduit dans le passé par une réglementation assez stricte et contraignante, adaptée des dispositions et procédures définies dans les établissements recevant du public mais qui constitue un frein pour de nombreuses initiatives d'aménagement ou d'utilisation de l'espace souterrain. On cite souvent l'impossibilité de descendre à plus de 6 mètres dans les établissements recevant du public.

Ce constat est d'autant plus vrai que le développement des gares souterraines n'a été possible qu'en l'accompagnant d'une réglementation spécifique et dérogatoire par rapport aux règles générales. Cela a permis de réaliser des gares profondes jusqu'à près de 30 mètres.

Le Projet National se propose de préciser cette problématique et les enjeux associés, et de définir des pistes de travail, notamment dans les dispositions et procédures de sécurité et de sûreté qui rendent envisageables les aménagements souterrains. Ces éléments devront permettre de conduire un dialogue avec les pouvoirs publics et les services de secours afin d'arrêter ensemble les évolutions souhaitables des textes de réglementation. Ce dialogue sera d'ores et déjà entrepris dans le cadre du Projet National.

Ces évolutions pourront s'inspirer des dispositions déjà mises en place pour les infrastructures de transport souterraines pour lesquelles des analyses de risques sont aujourd'hui conduites de manière à appréhender complètement d'ensemble du système et proposer des solutions adaptées à chaque configuration (conception de la ventilation et du désenfumage, gestion centralisée des équipements, contrôle des accès, modalités d'intervention des secours, évacuation,...). Elles pourront également tirer des enseignements très utiles des aménagements souterrains réalisés à l'étranger.

Les sites d'application et notamment celui de la Défense qui dispose d'un vaste réseau de voiries et d'espaces souterrains sont particulièrement attentifs à cette question.

3. UNE APPROCHE PAR SITE

3.1. LE SITE DE PARIS : UNE APPROCHE DES CAVITÉS ANTHROPIQUES

3.1.1. Eléments de contexte

Paris, vue de dessus : un territoire densément urbanisé en manque de foncier.

Sur une superficie de 105 km² et rassemblant plus de 10 millions d'habitants, la ville de Paris, représente la ville la plus densément peuplée de France. Capitale économique et commerciale, elle voit la pression foncière augmenter d'année en année. Certaines entreprises sont alors obligées de se rendre en périphérie, là où le foncier est disponible et moins cher. Il est important de faire également allusion aux matériaux de construction, dont certains commencent à manquer. L'Île-de-France consomme en effet plus de matériaux qu'elle n'en produit et se voit donc contrainte d'importer sables, graviers et granulats d'autres régions et d'économiser ses ressources en développant l'utilisation des matériaux de substitution.

Paris vue de dessous : un important espace souterrain disponible

Le sous-sol parisien se caractérise par la présence de nombreuses carrières. Ces dernières résultent de l'exploitation de matériaux de construction divers : calcaire et meulière pour construire, gypse pour le plâtre, les argiles plastiques, les sables. Elles sont le témoignage d'une activité industrielle passée intense.

Après l'arrêt de leur exploitation, certaines ont été le siège d'activités humaines épisodiques au XX^{ème} siècle : culture du champignon, chais, brasseries, ouvrages de défense passive, galeries techniques, musées ou encore ossuaire municipal.

Aujourd'hui, les carrières représentent plus de 15 000 hectares dans Paris, 10 000 hectares en grande couronne, avec plus de 150 km de galeries maçonnées.

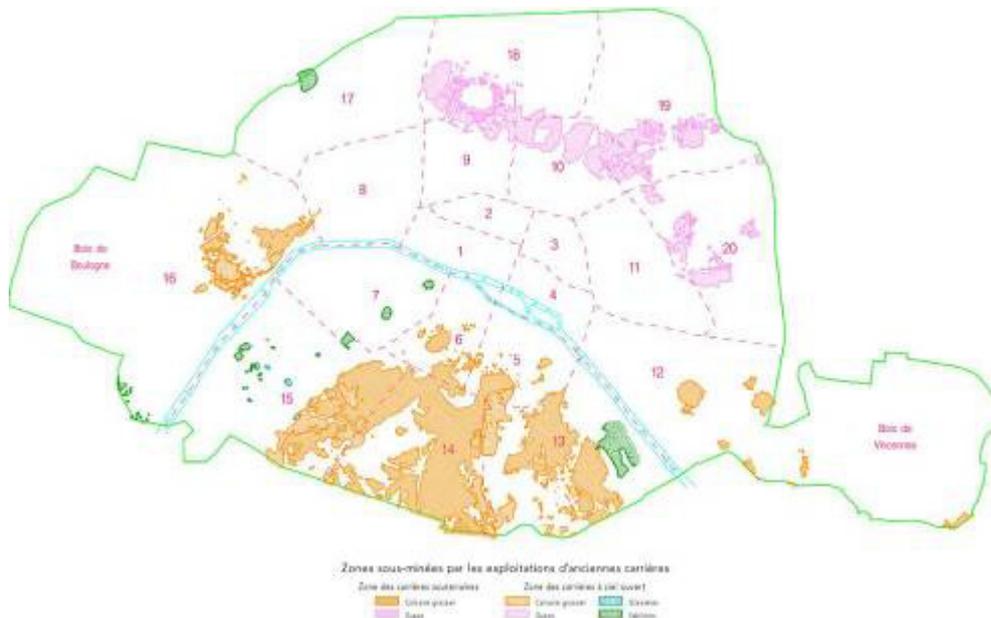


Figure 1 Les carrières souterraines de Paris (©: IGC)

L'Inspection Générale des Carrières (IGC)

L'IGC est en charge de la gestion des risques liés aux anciennes carrières et à la dissolution du gypse à Paris et dans les Hauts-de-Seine, le Val-de-Marne et la Seine-Saint-Denis. Elle a pour compétences :

- la connaissance du sous-sol et des risques associés,
- la diffusion de l'information pour les particuliers, les collectivités, les concessionnaires, etc.
- la surveillance du risque,
- la mitigation du risque et à ce titre :
 - o émet des recommandations et prescriptions sur les travaux à réaliser,
 - o peut assurer une assistance technique pour les travaux de reconnaissance et consolidation des sols sous le domaine public,
 - o assure à Paris la mise en sécurité du domaine public,
- l'assistance technique en cas d'incident.

L'existence des cavités souterraines est souvent méconnue. Abandonnées depuis des années, oubliées voire ignorées, elles sont parfois découvertes au hasard de travaux. Autrefois situées en périphérie des villes, les cavités se trouvent désormais fréquemment sous des zones habitées, du fait de l'extension progressive des centres urbains. Selon l'INERIS, près de 3 000 communes pourraient être concernées directement par la présence de plusieurs milliers de carrières auxquelles il faut ajouter les 4 000 sites du réseau minier.

Les anciennes carrières représentent un risque pour la ville : en effet, à défaut de surveillance et de confortation, les carrières abandonnées ou sous des zones habitées peuvent s'effondrer localement ou en masse, le toit (plafond), les parois, les piliers ou le mur (plancher) de l'exploitation se dégradant lentement.

Les méthodes de sécurisation des carrières présentant des risques d'effondrement sont, dans le meilleur des cas, la consolidation. Parfois les pieux de fondations traversent les cavités et vont s'ancrer plus bas dans le bon sol.

Aujourd'hui, afin d'assurer la sécurité de la surface, d'éviter leur fréquentation et d'assurer un débouché aux déblais des grands projets urbains, les carrières sont de plus en plus systématiquement comblées, au préjudice du patrimoine et des réseaux qu'elles constituent. En effet, si le comblement a l'avantage de remplir deux fonctions : il annule le risque d'effondrement d'une cavité en même temps qu'il permet de servir de décharge/stockage pour des matériaux inertes généralement issus de déblais/provenant de fouilles de chantier, il présente l'inconvénient grave d'interrompre des réseaux de galeries ou de cavités dont il interdit définitivement l'accès et donc la surveillance voire le réemploi.

3.1.2. Enjeux et problématiques de ce site

Les problématiques liées aux carrières

Certaines difficultés peuvent constituer en fait des opportunités. Ces carrières abandonnées constituent des friches industrielles dont il peut être judicieux de considérer les possibilités d'évolution et de mutations au même titre que pour le patrimoine industriel de surface. Il est indispensable de ne pas appliquer des solutions systématiques et d'avoir un autre regard sur ce patrimoine qui peut se révéler riche de potentiels.

Situées en zone dense, les cavités préexistantes souvent reliées en réseaux. Ne permettraient-elles pas de répondre aux enjeux urbains de densification, de mixité urbaine...? Occuper des carrières représente sans doute le meilleur moyen de contrôler leur évolution.

Si ces opportunités ne sont pas abordées, ce qui est le cas jusqu'à présent, le risque réside en leur disparition totale - notamment par souci de débouché pour les millions de mètres cubes déblayés par le Grand Paris Express – et la perte définitive d'une possibilité offerte.

3.1.3. Etudes réalisées ou en cours

- L'IGC met à jour l'atlas des anciennes carrières de Paris et de la petite couronne qui comprend 458 cartes au 1/1000, les cartes géologiques de Paris et de la banlieue au 1/5000 et les bases de données liées au sous-sol (sondages, incidents...).
- Un recensement des cavités souterraines est également en cours par le Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM).
- Depuis 1980, le service suit un réseau de 330 piézomètres qui mesure le niveau des nappes phréatiques dans la capitale. Les informations recueillies servent notamment à élaborer des cartes de circulation des eaux en période de crues de la Seine.
- De plus, il conduit des études générales à caractère géologique, hydrogéologique et géotechnique, seul ou en partenariat avec des organismes de recherches.
- Cartographie au 1/1000 des zones de carrières.

Il existe des exemples de réemplois de carrières ou de cavités pour des valorisations culturelles (en France aux Baux-de-Provence), des équipements de soins (Thermes de Gonzac en France), des stockages ou, comme à Kansas City (EUA), des parcs d'immobilier d'entreprises.

3.1.4. Propositions d'actions de recherche et partenariats possibles

La réflexion sur les carrières est concernée par tous les thèmes de recherche du PN.

Thème 1 – socio-éco

- Coûts/avantages d'un réaménagement de carrières souterraines et dans quelles conditions (caractéristiques géologiques, état, forme, situation, accessibilité,...) ?
- Quelles possibilités de développer un système de fret souterrain dans des carrières souterraines ?
- Croisement des possibilités d'accueil du sous-sol avec les demandes en bureaux.

Thème 2 – environnement

- Coûts/avantages environnementaux d'un réaménagement de carrières souterraines par rapport à un abandon.
- Evaluation des impacts évités par l'intégration de cavités et carrières dans un projet (articulation des aménagements de surface et de sous-face, excavation limitée, etc.).
- Surveillance et impact sur le bâti existant.
- Exploitation énergétique des carrières (puits canadiens, etc.)

Thème 3 - sociétal

- La valeur patrimoniale des carrières
- Comment réaménager des carrières souterraines ?

Thème 4 - visibilité

- Représentation, inventaire et classement des espaces souterrains abandonnés (site carrière, RATP, La Défense)

Partenariats possibles : IGC, IAU, Ecole des mines de Nancy, RATP, Logisticiens

3.2. LE SITE D'ORLY-RUNGIS : UNE APPROCHE DU PLATEAU

3.2.1. Eléments de contexte

Un relief approprié pour l'utilisation de l'espace souterrain

Le territoire du Pôle Orly-Rungis, situé à environ 10 km au sud de Paris, a un périmètre qui équivaut au Paris intramuros. Il est situé sur un plateau, encerclé des vallées de la Bièvre (rivière enterrée) et de la Seine. L'altitude du plateau est d'environ 85 m pour la plateforme aéroportuaire et la Seine est à 33 m. La différence de niveau est très perceptible pour les avions approchant de l'est ; le chemin de fer qui dessert Rungis la négociant par une rampe de 2 km environ, l'A86 par une rampe plus courte contournant le cimetière.

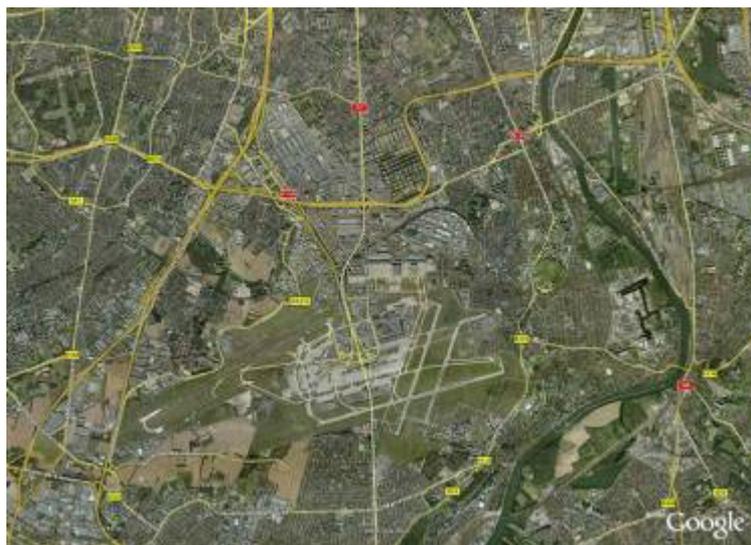


Figure 2 Vue aérienne d'Orly-Rungis

Un poumon économique essoufflé

Le pôle Orly-Rungis comporte deux sites d'exception : le Marché d'Intérêt National (MIN), 1^{er} marché au monde pour les produits frais et 2^{ème} pôle économique francilien après la Défense, et l'aéroport d'Orly, 2^{ème} aéroport de France.

À ces sites s'ajoutent cinq grands propriétaires: SENIA (logistique), SOGARIS (logistique), SILIC (tertiaire), Belle Epine (Centre Commercial) et Euro Delta (hôtels+logistiques). À eux seuls, ils représentent 10 000 ha et concentrent 60 000 emplois.

Malgré cette concentration d'activité, le site est en perte de vitesse, « le commerce de gros et les transports ont perdu 25% d'emplois entre 1994 et 2004 »¹³. Les difficultés d'accessibilité en transport en commun et par le réseau routier, les bouchons sur l'A86, et le déficit d'image ont participé à la réduction d'activité. En effet, le site est une mosaïque de zones d'activités fermées et de zones d'habitat faiblement connectées.

3.2.2. Problématiques et enjeux de territoire

Enjeux liés à l'attractivité du site

L'Établissement public d'aménagement, en charge de la coordination du projet, élabore le plan stratégique directeur (PSD) du territoire avec 4 enjeux essentiels :

- *accroître et affirmer la visibilité du territoire dans l'espace francilien,*

¹³ Estimations de Pierre Simon, Président de la CCIP

- être le catalyseur d'une production de richesses permettant le maintien des fonctions de production et un juste retour vers les populations,
- créer les conditions d'émergence d'un territoire économiquement robuste à même de faire face aux mutations économiques impactant l'Île de France,
- sécuriser l'atteinte des objectifs de création d'emplois arrêtés dans le protocole d'accord de l'OIN (1000 emplois/an).

Pour répondre à ces enjeux stratégiques, on peut relever quelques opérations d'aménagement et d'urbanisme prévues sur le territoire, notamment :

- La requalification du quartier des Ardoines sur Vitry-sur-Seine. Ce secteur industriel extensif et fermé devient un nouveau pôle urbain d'importance métropolitaine, doté d'une accessibilité exceptionnelle suivant le plan guide conçu avec l'agence d'architecture et d'urbanisme Seura.
- La conception de l'Eco-quartier des portes d'Orly (ZAC Anatole France et Triangle des Meuniers à Chevilly-Larue).
- L'aménagement de la plaine de Montjean en écoparc partagé entre habitat, nature, loisirs, activités horticoles et agricoles. Ce projet prévoit le renforcement de la trame verte qui relie la Bièvre à la Seine, le désenclavement du site, et le réaménagement de la gare de la Fraternelle. Le secteur concerné est à 3 km du terminal sud d'Orly.
- La candidature en cours pour le projet Thiais Orly rugby (2011). Ce projet s'inscrit dans un environnement urbain nouveau de 60 ha avec : nouvelle gare de Pont-Rungis, parc urbain (15 ha) avenue de l'aéroport (RD7), Cité de la gastronomie et future ZAC de Chevilly-Larue.

Les problématiques du territoire

Le diagnostic fait état des difficultés suivantes :

- un territoire morcelé et insuffisamment structuré,
- un déséquilibre entre activités économiques et place donnée aux habitants des lieux (piétons, cyclistes, actifs),
- des nuisances (bruit) et les risques (inondation, Seveso),
- des possibilités de liaisons et d'extension limitées.

Les voies rapides sont omniprésentes au détriment des voies secondaires. Ces voies, privilégiées sur un axe nord-sud, contribuent au morcellement du territoire et génèrent congestion urbaine et pollution. Par ailleurs, la desserte en transport en commune est limitée, le réseau ferré reste incomplet, le tronçon du RER C qui traverse le plateau et relie Massy à Valenton est utilisé à la fois pour le transport de voyageurs et de fret et le TGV.

Concernant le tissu urbain, une zone monofonctionnelle à usage logistique essentiellement joue en défaveur du cadre de vie et présente des barrières physiques. Cette problématique pose des questions quant à l'identité et l'image des lieux.

En ce qui concerne les nuisances, on peut relever leur niveau élevé en raison du bruit de l'aéroport, de la pollution de l'air, du risque d'inondation et du risque Seveso (les dépôts d'hydrocarbures de la Société de manutention de carburants aviation (SMCA) à Athis-Mons et du Groupement Pétrolier du Val-de-Marne (GPVM) à Villeneuve-le-Roi, l'usine de dépollution Seine amont du Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP) à Valenton.

La configuration du site nécessite d'innover dans la gestion des flux dans ce territoire atypique et d'apporter des réponses nouvelles. Ainsi le MIN, enfermé dans des limites qui ne permettent aucune extension en surface, ne doit-il pas regarder vers le sous-sol ?

3.2.3. Etudes réalisées ou en cours

1. Le schéma de principe du secteur des Ardoines à Vitry-sur-Seine.

L'objectif de ce schéma qui fonde les enjeux urbains est de préciser les mutations à promouvoir. (Agence SEURA, 2008).

2. Etude « Les territoires d'« Orly-Rungis Seine Amont »

Le but de cette étude fut d'apporter des éclairages complémentaires, de clarifier les convergences et les alternatives, et de nourrir l'articulation entre les projets locaux d'ampleur métropolitaine et la vision à la grande échelle. (Cinq équipes du Grand Paris, 2009).

3. Une étude portant sur les déplacements au sein du territoire

Les objectifs de cette étude sont d'évaluer et anticiper l'accroissement des besoins de mobilité et d'intermodalité. (Cabinet INGEROP, 2010)

4. Une étude portant sur l'insertion urbaine des gares

Les objectifs étaient d'élaborer des scénarios d'évolution des gares et de leurs abords immédiats, et de répondre à la question "comment réaménager les gares pour qu'elles anticipent l'évolution des besoins, s'insèrent mieux et rayonnent dans la ville ? (AREP, 2010)

3.2.4. Propositions d'actions de recherche et partenariats possibles

Le projet d'une utilisation raisonnée du sous-sol au bénéfice de l'aménagement urbain durable du Pôle d'Orly-Rungis repose sur deux opportunités. La première est qu'on ne creuse pas le plateau à partir de la surface mais qu'on le perce au niveau des vallées, le relief de plateau permettant d'accéder au sous-sol par les flancs de coteaux et de se mettre au niveau des vallées, un peu à l'image de Subtropolis. La deuxième est de profiter de la coordination des grands propriétaires et de leur intérêt à une mutualisation de l'espace, afin de réaliser une ZAC souterraine.

Un tel projet intéresse très directement les thématiques du PN :

Thème 1- socio-éco

- Une connexion souterraine directe entre Paris et le Pôle d'Orly-Rungis pour transport voyageurs-marchandises. Quelle synergie ? Quelles dispositions prendre ?
- Un hub aéroport, gare, MIN. Etude de faisabilité et intérêt économique ?

Thème 2 environnement

- La réutilisation de la chaleur du réseau souterrain pour des locaux. Des besoins existent-ils sur le territoire ? Comment la mettre en place pour l'optimiser ?
- La réutilisation des déblais. Des projets paysagers sont-ils envisagés ? Les matériaux peuvent-ils être recyclés en matériaux de construction ? Dans ce cas, avec quels coûts ?

Thème 4- visibilité

- Opportunité des caractéristiques souterraines locales pour un développement souterrain
- Application de la méthodologie d'évaluation des incertitudes et des risques
- Simulation 3D d'un projet souterrain sur le plateau d'Orly-Rungis

Thème transversal

- Définition d'un schéma d'aménagement du sous-sol

Partenariats possibles : BRGM, Cabinet Labbé, Université Marne-la-Vallée, IAU, partenaires des thèmes cités ci-avant...

3.3. LE SITE DE LA DÉFENSE : UNE APPROCHE DE LA DALLE

3.3.1. Eléments de contexte

Un urbanisme sur dalle, dont le dessus est réservé aux habitants-piétons...

L'aménagement du quartier nouveau de La Défense a été confié par l'État en 1958 à l'Etablissement Public pour l'Aménagement de la région de la Défense (EPAD), dont le périmètre d'intervention a été réduit en 2000, puis élargi en 2010, devenant l'Établissement Public d'Aménagement de la Défense Seine Arche (EPADESA) afin de mettre en œuvre un projet cohérent de la Seine à la Seine. Le périmètre d'action de cette entité s'étend désormais sur les communes de Puteaux, Courbevoie, Nanterre et La Garenne-Colombes.

Territoire majeur du Grand Paris, premier quartier d'affaire européen, le quartier de La Défense étendu sur 160 hectares, regroupe principalement des immeubles de grandes hauteurs constituant des bureaux (3 millions de m²), des logements (600 000 m²) et des commerces. Environ 20 000 habitants y résident et 180 000 salariés y travaillent.

La rue traditionnelle est éclatée en plusieurs niveaux fonctionnels, la dalle constitue ainsi un vaste espace public (30 ha) dédié à la circulation exclusive des piétons et des véhicules de secours.

Depuis 2009, le quartier d'affaires est exploité par De facto, qui entretient les espaces publics, et qui s'occupe de la promotion et de l'animation de la Défense.

... et le dessous constitue un sous-sol artificiel, réservé à la circulation et aux galeries techniques

L'une des particularités de La Défense est sa circulation souterraine. Avec 6 km de galeries et environ 100 000 automobilistes qui circulent chaque jour sous la dalle, La Défense est une ville sous la ville. Les voies souterraines y représentent le plus long tunnel routier d'Ile-de-France et l'un des plus fréquentés. A l'exception du boulevard circulaire qui est en partie à ciel ouvert, toute la circulation routière se fait en sous-sol (en « sous-dalle ») sous les pieds des piétons. Ces routes servent pour le transit mais aussi en grande partie pour les livraisons des immeubles qui ont généralement deux accès : un souterrain pour les livraisons et VIP et l'autre à la surface pour les salariés et visiteurs. Les commerces dont le centre commercial des Quatre Temps sont également desservis.

Toutes ces voies sont ventilées par des extracteurs d'air qui rejettent l'air vicié notamment par les cheminées monumentales situées sur l'esplanade (Cheminée Moretti...). Par ailleurs, 10 km de galeries techniques desservent les immeubles et parkings du quartier en énergie, téléphonie, évacuations, etc. ces dernières sont fermées au public pour des raisons de sécurité (présence de câbles haute tension de 2 000 volts par exemple).

Une scission dessus/dessous et de nombreux espaces souterrains délaissés

Véritable mille feuilles, La Défense renferme des zones totalement inexploitées. Lors de la création du parvis, les ingénieurs et architectes se sont penchés sur le projet de passage du RER, de l'autoroute, des parkings, du métro sur des couches superposées de couloirs et de galeries situées sous le parvis. Le chantier s'est déroulé à ciel ouvert dans les années 60, et a dégagé des espaces vides qui restent inexploités du fait d'accès fortement restreints. Ces espaces, sans valeur commerciale à ce jour, mais impressionnants par leur taille et leur surface, obstruent et neutralisent une très grande surface souterraine.

Quelques chiffres sur le site de La Défense (source EPAD en chiffres) :

- 265 usines pour le traitement de l'air et la ventilation
- 90 000 m de voiries (dont 60 000 couverts)
- desservie par : T2, transilien Paris-Saint-Lazare, RER A, ligne 1 du métro parisien et 16 lignes bus RATP
- 17 km de canalisations
- 10 km de réseaux d'assainissement
- 10 km de galeries techniques
- 31 ha pour l'espace piétonnier, divisé en 12 secteurs
- 14 000 foyers d'éclairage public
- 100 ascenseurs
- 7 monte-charges
- 50 escaliers mécaniques
- 60 sculptures d'art contemporain monumentales
- 11 ha d'espaces verts
- 20 bassins (dont 2 monumentaux : la fontaine d'Agam et le bassin de Takis)
- 10 km de réseau automatique d'arrosage

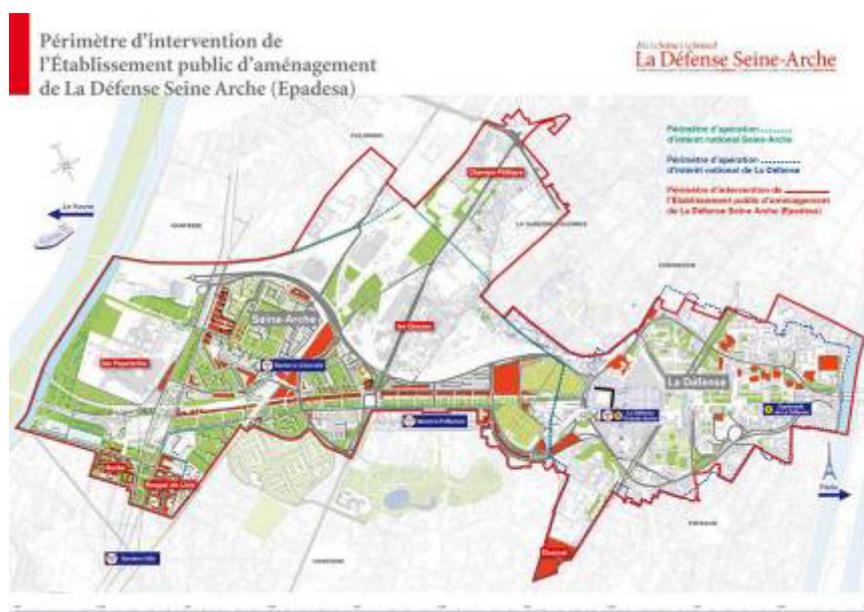


Figure 3 Périmètre de l'EPADESA

3.3.2. Enjeux et problématiques de ce site

Enjeux liés à l'attractivité du site

Pour l'EPADESA, restructurer le site de la Défense est essentiel pour maintenir son dynamisme économique et son attractivité. Il est crucial de répondre à des enjeux liés à l'économie, au social, à la mobilité et à la qualité urbaine. Ainsi, l'EPADESA a établi une stratégie qui repose sur les points suivants :

- *Mettre en œuvre une restructuration urbaine,*
- *Développer l'importance financière de Paris en Europe,*
- *Redonner de la place aux habitants des lieux (piétons, cyclistes, actifs).*

L'EPADESA prévoit la rénovation des tours obsolètes en fonction des nouvelles normes internationales de bureaux et de développement durable avec une augmentation des surfaces (+ 300 000 m² de bureaux, + 100 000 m² de logements) tout en s'engageant dans la promotion d'une architecture ambitieuse et durable. S'ajoutant à cela, la modernisation et le renforcement des transports en commun, notamment de proximité, l'amélioration de la qualité de vie par la restauration et le réaménagement des accès et des circulations, la création et la requalification de places publiques et d'espaces paysagers, le développement des services nécessaires aux salariés comme aux habitants ainsi qu'une politique d'animation culturelle et commerciale, la mise en place de procédures visant à garantir la sécurité et la continuité des activités.

Les problèmes liés à la dalle

La réalisation de ces objectifs nécessite de régler certains points liés à la structure sur dalle, et notamment les éléments suivants :

- *la structuration des réseaux existants de transports de voyageurs et de marchandises et l'arrivée de nouvelles infrastructures de transport,*
- *la mise aux normes des tunnels sous la dalle,*
- *l'amélioration de la qualité de l'air et de la luminosité des espaces sous dalle,*
- *la connexion sous et sur dalle.*

Concernant la restructuration des transports, on peut relever quelques dates clés pour répondre aux nouveaux besoins de mobilité :

- 2012 : automatisation partielle de la ligne 1 et prolongement du T2 au Nord jusqu'à Bezons,
- d'ici 2020, le prolongement d'Eole et la nouvelle ligne du GPE connecteront directement le quartier d'affaires à Mantes-la-Jolie, Marne-la-Vallée, les gares du Nord et de l'Est, ainsi qu'aux aéroports internationaux de Roissy-Charles-de-Gaulle et d'Orly.

En ce qui concerne les galeries et autres tunnels, il convient d'assurer des conditions de sécurité pleinement satisfaisantes. Des travaux de mises aux normes sont programmés et s'accompagnent de l'interdiction de certaines pratiques comme le stationnement sauvage sur les places réservées aux pompiers. Il faut en effet rappeler que les tunnels constituent l'unique voie d'accès au quartier d'affaires pour des milliers de salariés. Ce problème fait actuellement l'objet d'un travail conjoint avec la police.

Concernant l'amélioration de la qualité de l'air et l'éclairage, les enquêtes ont révélé que les usagers ne se sentaient guère rassurés, notamment en raison d'un éclairage très insuffisant.

Ces difficultés posent des problématiques importantes, comme :

- *Comment de nouvelles infrastructures peuvent-elles s'insérer dans le sous-sol artificiel de la Défense déjà très encombré ?*
- *Comment permettre une mixité d'utilisation des voies et des espaces souterrains réunissant à la fois les secours, les transports en commun, les livraisons, les véhicules particuliers et les usagers piétons ?*
- *Des questions des points de vue de la réglementation, du repérage, de la qualité des ambiances, du bon fonctionnement.*

3.3.3. Etudes réalisées ou en cours

L'EPADESA a déjà entamé plusieurs études, parmi lesquelles :

- une étude sur l'analyse prospective du quartier d'affaires de la Défense. Réalisée en 2006 à partir de près de 60 entretiens auprès d'investisseurs internationaux, acteurs

publics et institutionnels et utilisateurs de la Défense, analyse documentaire, audit de 71 immeubles, analyse détaillée de 8 tours et réunion de cadrage sur 4 thématiques.

- un Plan de renouveau de la Défense en 2006. L'objectif est de remettre aux normes des tours obsolètes, ainsi que construire 100 000 m² de logement, transformer le boulevard circulaire en boulevard urbain et renforcer la desserte en transport en commun
- une étude sur la faisabilité d'utiliser les transports alternatifs au mode routier (Castram consultants 2009)
- différentes études sur la perception des espaces souterrains par les usagers,
- une étude sur le potentiel géothermique du territoire de La Défense Seine Arche pour une meilleure consommation et une meilleure maîtrise de l'énergie (BRGM 2011).

3.3.4. Propositions d'actions de recherche et partenariats possibles

Lors des réunions de travail, l'EPADESA a indiqué parmi ses préoccupations majeures qui pourraient être abordées dans le Projet National : *SIG : le bâtir et le faire vivre, Gouvernance des données : centraliser les données et coordonner les acteurs, Evolutivité des espaces existants*. Le site de la Défense est intéressant pour plusieurs thématiques :

Thème 1 – socio-économie

- Développement d'un nouveau modèle économique de la logistique

Thème 2 – environnement

- La prise en compte du vieillissement des structures souterraines, leur adaptabilité à l'évolution des attentes
- L'apport des innovations techniques dans la réduction des impacts liés à la réalisation d'infrastructures souterraines existantes et complexes

Thème 3 - sociétal

- Morphologies des transitions sol/sous-sol : trame "urbaine" et "paysage" en souterrain.
- Expérimentations kinesthésiques de l'espace souterrain
- Caractériser la qualité des ambiances
- Imaginaire des profondeurs
- Caractériser les rythmes

Thème 4 - visibilité

- Développement d'un outil de compréhension-visualisation des espaces
- La gouvernance et la normalisation des données
- Développement d'un outil d'aide à la décision

Thèmes transversaux

- La mutabilité des espaces souterrains et leur capacité d'adaptation à l'évolution des besoins en matière de service
Les possibilités d'une meilleure utilisation par une mutualisation des usages et les conséquences en matière d'évolution de la réglementation relative à la sécurité.

Partenariats possibles : *Université Marne la Vallée, BRGM, IFSTTAR, CSTB, Sociétés d'ingénierie, HABITER / Université de Reims; ENSA Paris Val-de-Seine; GRECAU / ENSAP Bordeaux ; IAU île de France; INGELUX ; INSERM-SBRI Lyon ; IRPhIL / Lyon 3; LACTH / ENSAP Lille; LADYSS / Paris 8; LPPA / Collège de France ; LASH / ENTPE Lyon...*

3.4. LE MÉTRO PARISIEN : UNE APPROCHE DES INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES EXISTANTES

3.4.1. Eléments de contexte

Le réseau de la RATP, un souterrain bien distribué

La Régie Autonome des Transports Parisiens (RATP) 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.

Le réseau dispose de 14 lignes de métro, 2 lignes de RER, 3 lignes de tramways, plus de 350 lignes de bus et la desserte de 2 aéroports. Sur le réseau francilien, plus de 50 ateliers de proximité entretiennent 5 000 voitures de métro et RER, plus de 4 500 bus et une centaine de tramways.

Du transport à la mobilité

Forte de sa maîtrise opérationnelle des systèmes complexes et de son expertise technique, la RATP s'attache à l'évolution des usages, de la mobilité, des liens entre transport et ville. Elle s'intéresse ainsi à la transversalité des modes de transport et depuis peu au transport de marchandises en ville (TMV).

Un patrimoine appréciable et discret

Le métro parisien utilisé par les voyageurs comporte 300 points d'arrêts, témoins des techniques, des arts décoratifs et de l'histoire de Paris. Parallèlement, le réseau est parcouru d'espaces moins connus, parmi eux : les espaces de maintenance, les centres de formation de la RATP ou encore les stations fantômes (une dizaine). Ces dernières, inutilisées, inaccessibles ont été fermées depuis 1939, recyclées ou conçues sans desserte de métro.

3.4.2. Problématiques et enjeux de territoire

Les enjeux stratégiques de la RATP

Le marché du transport urbain est voué à grandir fortement dans les années à venir, du fait des besoins croissants en termes de mobilité d'une mégapole. Comment y répondre ? L'entreprise inscrit dans une stratégie de développement durable 5 axes :

- *soutenir et prendre part au projet du Grand Paris Express,*
- *se développer en France et à l'international,*
- *moderniser l'entreprise,*
- *renforcer la qualité de service pour tous ses clients,*
- *être exemplaire en matière de développement durable.*

Ces 5 chantiers prioritaires, fixés par le Président de la République Nicolas Sarkozy en juillet 2009, sont en continuité avec les orientations du plan d'entreprise 2008-2012. Le groupe RATP entend être l'un des acteurs majeurs de la mise en œuvre des projets de transport du Grand Paris Express. Il met, au service de ces projets, son savoir-faire en ingénierie et son expérience en gestion d'infrastructures de transport.

Par ailleurs, le groupe RATP entend, avec ses filiales, renforcer ses positions en France et sur le marché international. Il est déjà présent en Afrique, en Asie, en Europe et en Amérique. L'ensemble du management et des salariés du groupe RATP se mobilise pour

améliorer la performance de l'entreprise, moderniser son fonctionnement et l'adapter à un environnement concurrentiel en pleine évolution. Le groupe ambitionne d'être une entreprise leader dans le domaine de la qualité et l'innovation de service. Il modernise pour cela ses structures et investit dans des solutions innovantes. Entreprise de transport collectif, le groupe RATP est par nature inscrit dans une logique de développement durable. Il investit et s'est organisé pour réduire ses émissions et mieux insérer son activité dans les territoires. L'égalité des chances, la solidarité, l'ouverture et le dialogue avec l'ensemble des parties prenantes internes et externes sont des éléments constitutifs de la culture de l'entreprise.

Les problématiques du réseau souterrain

La RATP est aujourd'hui confrontée à un triple objectif :

- anticiper l'obsolescence des équipements des lignes de métro,
- adapter le réseau de transport à l'évolution des rythmes urbains et à une fréquentation de plus en plus importante,
- répondre aux demandes de clients de plus en plus exigeants en matière de sécurité, de confort, de régularité, de flexibilité et d'information.

Afin de répondre à une demande croissance, la RATP a déjà prévu 4 prolongements de ligne :

- *Prolongement de la ligne 4 de Porte d'Orléans à Mairie de Montrouge (phase 1) et Bagneux (phase 2),*
- *Prolongement de la ligne 8 de Créteil-Préfecture à Pointe du Lac,*
- *Prolongement de la ligne 12 de Porte de la Chapelle à Proudhon-Gardinoux (phase 1) et à Mairie d'Aubervilliers (phase 2),*
- *Prolongement de la ligne 14 de Saint-Lazare à Mairie de Saint-Ouen.*

3.4.3. Etudes réalisées ou en cours

La RATP exerce en permanence une activité de veille et d'expertise sur la qualité de l'air circulant dans les enceintes ferroviaires souterraines. Ponctuellement elle a conduit :

- le Projet Ticket to Kyoto : projet partenarial sur 4 ans (2010-2014), regroupant 5 réseaux de transport d'Europe : STIB à Bruxelles, RET à Rotterdam, MoBiel à Bielefeld, GMPT à Manchester et la RATP,
- la mise en place d'un système de pompe à chaleur permettant de récupérer de l'énergie dans le métro : dans l'air et dans les eaux d'exhaure,
- une étude approfondie sur l'éclairage d'une portion de ligne pilote du réseau métro,
- un programme de recherche baptisé M21 pour Métro du 21ème siècle. La démarche associe des experts RATP de tous les secteurs (exploitation, ingénierie, architecture, finance, conduite de projet, relations institutionnelles, marketing, prospective, développement durable) à des entreprises d'autres secteurs (EDF, GDF Suez, Groupe Lagardère, SFR, La Poste, Renault, FNAC, Air Liquide, Macif...), des collectivités (Ville de Paris), des organismes culturels (Cité des Sciences, Le Laboratoire...), des experts...
- le Projet Station Osmose : étude prospective sur les stations de métro du XXIe siècle dans la zone agglomérée dense autour de Paris. Réalisé avec trois agences d'architecture et d'urbanisme internationales, c'est un condensé d'idées audacieuses et innovantes pour la ville de demain, applicables au projet Grand paris Express.

Toutes ces études cadrent tout à fait avec les objectifs du PN Ville 10D.



Figure 4 Station Osmose, le "métro ouvert" de Foreign Office Architects (@FOA)

3.4.4. Propositions d'actions de recherche et partenariats possibles

Les infrastructures de la RATP peuvent être considérées dans le PN sous l'angle de la mutualisation avec l'ajout d'une fonction de transport de marchandises en ville. Ce sujet intéresse plusieurs thématiques du PN :

Thème 1- socio-éco

- Comparaison économique d'un Transport de marchandises en ville de surface et en sous-sol.

Thème 2 environnement

- Etude d'impact de l'ajout d'une activité supplémentaire (mesure CO2, externalités positives : congestion, qualité de l'air...)
- Les réseaux existants peuvent-ils être utilisés dans le cadre de la valorisation énergétique des infrastructures souterraines ? (Intégration de capteurs géothermiques).
- En termes d'impacts de proximité, on peut s'interroger sur l'incidence de l'environnement sur le vieillissement des galeries souterraines.

Thème 4- visibilité

- Transition sol/surface d'un point d'insertion d'une fonction économique (solutions du dernier kilomètre au client).

Partenariats possibles : RATP, Interface transport, Université Marne-la-Vallée, BRGM, Ateliers Monique Labbé, autres partenaires des thèmes 1, 2 et 4.

3.5. LE SITE DE L'EPAMARNE : UNE APPROCHE DE L'INFRASTRUCTURE EN PROJET

3.5.1. Eléments de contexte

De la ville nouvelle...

La ville nouvelle de Marne-la-Vallée, située à quelques kilomètres à l'est de Paris, a été créée par l'Etat en 1972 afin de faire face au développement rapide de l'agglomération parisienne et rétablir l'équilibre entre l'est et l'ouest de l'Île-de-France. Le projet de Marne-la-Vallée se découpe en 4 secteurs (1. les Portes de Paris, 2. le Val Maubuée, 3. le Val de Bussy et de Lagny et 4. le Val d'Europe initié en 1987) et regroupe 26 communes sur 3 départements. L'extension de la ville nouvelle a été conduite en largeur, à partir des petites villes afin de créer plusieurs centres urbains reliés entre eux par l'autoroute et le RER. Ces liaisons constituent les axes majeurs de la ville nouvelle. Par ailleurs, le site jouit d'importantes disponibilités foncières (emprises ferroviaires, etc.).

Aujourd'hui, Marne-la-Vallée contribue comme une « vraie ville » à l'évolution des dynamiques territoriales en IDF. Devenu principal pôle d'emplois de l'est parisien avec 130000 emplois et plusieurs milliers d'entreprises, ce territoire de 300 000 habitants représente la 1^{ère} destination touristique d'Europe, le 1^{er} centre de conventions et de congrès, le 2^{ème} pôle hôtelier de la région IDF et le 3^{ème} pôle tertiaire d'IDF¹⁴.

... à la ville durable

Bien que présentant une configuration socio-spatiale différente de la ville traditionnelle (ville compacte), les taux de satisfaction du quartier y sont élevés, 92 % des habitants de Marne-la-Vallée trouvent leur quartier agréable à vivre (86 % en moyenne en Île-de-France).¹⁵

Les habitants de Marne-la-Vallée bénéficient d'une offre équilibrée de logement, d'équipements de qualité, d'un bon réseau de transport (RER A, RER E...) et d'un environnement privilégié (près de 3 800 hectares d'espaces verts aménagés). Le site dispose de nombreux sites touristiques : châteaux, musée, parcs d'attraction...

Marne-la-Vallée a développé en son centre un pôle d'excellence du développement durable sur la Cité Descartes. Etendue sur 123 hectares au cœur de Marne-la-Vallée (commune de Champs-sur-Marne), la Cité Descartes concentre un pôle tertiaire supérieur et un pôle de recherche et d'enseignement de très haut niveau. Les thèmes de prédilection sont la Ville, la mobilité durable, l'environnement, l'énergie, l'eau.

Afin de préserver ses atouts, continuer à innover dans l'organisation fonctionnelle de la ville et aller vers une urbanité exemplaire, le site ne mériterait-il pas d'intégrer l'urbanisme souterrain comme thème d'innovation complémentaire ?

3.5.2. Enjeux et problématiques du territoire

Les enjeux liés à l'attractivité du site

La stratégie territoriale de l'EPAMARNE repose sur des projets de développement importants centrés autour du développement d'un cluster tourisme autour de Val d'Europe et des parcs Disney et d'un cluster de développement durable de la Cité Descartes.

¹⁴ Source : Cahier d'acteur EPAMARNE EPAFRANCE

¹⁵ Source : Note rapide de l'aurif n°419 de Novembre 2006

Le premier cluster a pour vocation de :

- *créer un pôle d'excellence consacré aux filières des loisirs, des sports et des grands événements,*
- *accueillir un pôle d'enseignement supérieur et de recherche dédié aux métiers du tourisme, de l'hôtellerie, du loisir et du patrimoine.*

Le second cluster a pour vocation de :

- *devenir un catalyseur d'innovations ainsi que le futur pôle mondial de référence de la construction, de la maintenance et des services de la ville durable,*
- *permettre la création de liens entre les laboratoires de recherche, les universités et grandes écoles, les entreprises et les services publics,*
- *s'étendre et lancer des projets sur cinq polarités : Neuilly-sur-Marne, Bry-Champigny-Villiers, Torcy, Chelles-Vaires, Noisy-le-Grand (voir ci-dessous en encadré).*

Neuf filières de développement économique sont principalement portées par le cluster Descartes : services urbains traditionnels (transports, réseaux, infrastructures), réalité virtuelle pour la conception et la gouvernance, capteurs en temps réel, nouveaux services urbains, nouveaux matériaux de construction, énergie dans le bâtiment et dans la ville, gestion et traitement de l'eau, stockage du CO2 et finance « verte ».

Quelques détails sur les projets des 5 polarités :

- *Neuilly-sur-Marne : 2 projets importants : - le site des hôpitaux : restructuration, et accueil des PME tournées vers l'éco-construction. - le site de la pointe du Gournay, aujourd'hui inondable : étude de faisabilité pour la construction d'une Cité lacustre, quartier expérimental du Cluster. Potentiel de développement avec la restructuration de la gare de triage.*
- *Bry-Champigny-Villiers (emprise de la voie de desserte orientale, dont le projet d'autoroute a été abandonné, tissu de PME peu dense, habitat pavillonnaire et TPE) : mettre cette zone en relation avec le Cœur du Cluster, de la densifier, tout en diversifiant les activités, pour une plus grande mixité fonctionnelle. Un des 3 ateliers de maintenance possible.*
- *Torcy (pôle administratif important) : secteur à vocation à devenir champ d'expérimentation de programmes de recherche sur la mobilité.*
- *Chelles-Vaires : restructuration des emprises ferroviaires, dans le but d'y implanter un centre expérimental de logistique urbaine, qui aurait pour rayon d'action l'ensemble de la ville nouvelle.*
- *Noisy-le-Grand (pôle tertiaire incontournable de l'Est parisien) : accueil d'entreprises de service prêtes à soutenir et à s'associer au projet de Cluster Descartes (en projets équipements de santé, collège, lycée international).*

Les problématiques liées à la ville nouvelle

Afin d'atteindre les objectifs cités, le site de l'EPAMARNE devra veiller à la bonne réussite et à l'insertion de deux principaux chantiers :

- *l'arrivée du Grand Paris Express et de ses nouvelles gares,*
- *le développement de plus de 200 000 m² supplémentaires d'espaces tertiaires.*

En effet, le site de l'EPAMARNE s'inscrit pleinement dans le Projet Grand Paris Express. Marne-la-Vallée sera desservie directement par deux gares du Grand Paris Express qui devraient être opérationnelle dès 2018 :

- *La gare de « Noisy-Champs », située au cœur du cluster Descartes, viendra compléter par une nouvelle liaison Nord-Sud les grands axes de déplacement radiaux, ferroviaires et routiers, qui desservent ce territoire suivant une orientation Est-Ouest. Elle sera*

également en correspondance avec la ligne desservant le centre de la Seine-Saint-Denis depuis «Saint-Denis Pleyel» et permettra de relier le Pont de Sèvres.

- La gare «Bry-Villiers-Champigny», sera quant à elle située dans une zone à fort potentiel de développement du fait des emprises disponibles issues du projet d'autoroute abandonné «Voie de Desserte Orientale». La création d'un nouvel arrêt sur la branche Tournan du RER E pourrait renforcer la constitution d'un pôle multimodal autour de cette gare et permettre les correspondances en direction de la Seine-et-Marne, de la Seine-Saint-Denis et de Paris.

En ce qui concerne les futurs 200 000 m² d'espaces tertiaires, 42 000 m² seraient destinés au Pôle scientifique et technique du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement. Les autres surfaces seraient dédiées aux services, à l'accompagnement de la vie des entreprises et du confort des salariés, ainsi qu'à la recherche et l'enseignement.

3.5.3. Etudes réalisées ou en cours

L'établissement public d'aménagement de Marne-la-Vallée, EPAMARNE, a choisi l'équipe des Ateliers Lion, constituée par les Ateliers Lion architectes-urbanistes (Etienne Lénack, Yves Lion), mandataire commun, et Alfred Peter paysagiste, Y Ingénierie, Sol Paysage, Ingérop Conseil & Ingénierie, Transsolar et Citec Ingénieurs Conseil, pour assurer la maîtrise d'œuvre urbaine et paysagère du cœur du Cluster Descartes.

Le projet des Ateliers Lion s'articule autour des questions d'infrastructures, de transports et de mobilité, tout en s'appuyant sur les espaces naturels. Il propose une suite de centralités et de « repères urbains » structurés le long du boulevard du ru du Nesle qui accueillerait un projet de transport en commun en site propre (TCSP) avec le prolongement de la ligne de tramway T4, de Clichy Montfermeil jusqu'aux Yvris.

Le projet se déploiera en deux phases : la définition du plan d'aménagement d'ensemble de septembre 2010 à janvier 2011, qui sera suivi par l'aménagement des espaces publics.

3.5.4. Propositions d'actions de recherche et partenariats possibles

L'EPAMARNE est sur le point de creuser une tranchée longue de 1,4 km, large de 50 m pour accueillir le tracé des métros automatiques du Grand Paris et permettre l'implantation d'une nouvelle gare. Dans ce cadre, elle souhaiterait une contribution des partenaires du projet Ville10D afin de réfléchir aux opportunités à saisir et réaliser une « tranchée modèle » reproductible dans le territoire.

Cette réflexion entre en adéquation avec les axes identifiés dans le cadre du rapport de faisabilité. Le rapport avait notamment suggéré la réalisation d'un urbanisme intégré surface /sous face à l'occasion de l'implantation d'infrastructures en projet

Le site de l'EPAMARNE pourrait illustrer la combinaison d'espaces souterrains projetés avec les d'infrastructures existantes. Ainsi il s'agirait de mesurer la faculté des infrastructures existantes à combiner leur vocation propre et la création d'espaces souterrains complémentaires et d'envisager un développement urbain qui intègre les contraintes et opportunités de la surface et du sous-sol.

Certains aspects peuvent relever de plusieurs thèmes du projet Ville 10D :

Thème 1 – socio-éco

- la rentabilité socio-économique d'une mise en souterrain de fonctions urbaines : comparaison des coûts engendrés et de la plus value urbaine générée.
- le transport voyageurs-marchandises. Quelle synergie ?

Thème 2 environnement

- la réutilisation de la chaleur du réseau souterrain. Des besoins existent-ils sur le territoire ? Comment la mettre en place pour l'optimiser ?
- la réutilisation des déblais. Des projets paysagers sont-ils envisagés ? Les matériaux peuvent-ils être recyclés en matériaux de construction ? Dans ce cas, avec quels coûts ?
- les impacts et les incidences créées par l'implantation d'activités humaines supplémentaires sur le milieu souterrain et le milieu de surface.
- Les indicateurs pertinents à prendre en compte pour l'établissement des bilans environnementaux (au sens développement durable)
- réflexion conduite sur la contribution du souterrain à la réalisation d'opérations d'aménagement à énergie globale positive.
- étude de la prise en compte des aménagements souterrains dans le cadre de l'adaptation de la ville au changement climatique.

Thème 3 - sociétal

- les liaisons surface-sous-sol. Combien d'accès d'interface, avec quels aménagements en surface ? l'insertion urbaine des accès (en exploitation et en situation d'urgence).
- L'aménagement de l'espace souterrain

Thème 4- visibilité

- La nature du sous-sol et sa capacité à recevoir (ou non) des fonctions urbaines choisies. (géomatériaux, caractéristiques géotechniques, accès possibles...)
- Application de la méthodologie d'évaluation des incertitudes et des risques
- La transmission d'informations géologiques aux aménageurs et décideurs locaux

Thèmes transversaux

- la mixité fonctionnelle dessus/dessous. Quels sont les projets envisagés sur le territoire ? Comment les regrouper ?
- le réseau souterrain. Comment mettre en place à la fois une galerie multi-réseaux, un système de collecte de déchets et un système de transport de marchandise dans le même tronçon ? Avec quel raccordement aux réseaux existants ?
- les espaces souterrains. Peut-on anticiper des besoins d'espaces mutables ? comment les concevoir ?
- Cas d'une planification stratégique d'ensemble tirant parti de l'implantation d'une future infrastructure de transport.

Partenariats possibles : Université Marne-la-Vallée, Partenaires des 4 thèmes du PN,...

Tableau Matriciel synthétisant les principaux croisements des sujets de recherches avec les sites d'études

TYPOLOGIE	• Cavités anthropiques existantes	• Plateau • Sous-sol libre • Fort enjeu économique en surface	Urbanisme de dalle : site souterrain artificiel existant à fort enjeu économique	Réseau souterrain existant Capacité d'évolution	Dessus et dessous en projet	Sites pouvant être proposés par les partenaires en fonction des besoins et opportunités
SITES	Paris Île-de-France	Orly-Rungis	La Défense	Réseau RATP	Marne-la-Vallée Cité descartes	Autres Sites
	Sites à repérer + • Villejuif : Cancer Campus et station GPE	Projets de gares + Scénarii à développer	Existant et projet de Rem Koolhas (?)	sites existants à choisir + Scénarii à créer	Projet de gare + Scénarii à créer	
1. Approche socio-économique						
1.1 Constitution d'une boîte à outils d'évaluation de projets souterrains						
1.2 Constitution d'une boîte à outils de conduite de projet souterrain						
1.3 Evaluation des conditions d'implantation d'un système fret-logistique						
2. Approche environnementale						
2.1 Connaissance et amélioration des interactions de la structure ou de l'aménagement avec son env.						
2.2 Conception environnementale des ouvrages et valorisation des ressources offertes par les aménagements souterrains						
2.3 Bilan environnemental des ouvrages et des aménagements souterrains (aspects méthodologiques)						
3. Approche sociétale						
3.1 Transitions						
3.2 A(e)ntre-ville						
3.3 Cohabitations						
4. Visibilité, connaissance et gestion des données						
4.1 Chaîne et qualité de la connaissance						
4.2 Gestion des risques et des projets d'aménagement souterrain						
4.3 Formalisation - Visualisation						

4. ORGANISATION ET FONCTIONNEMENT

4.1. PILOTAGE DU PROJET

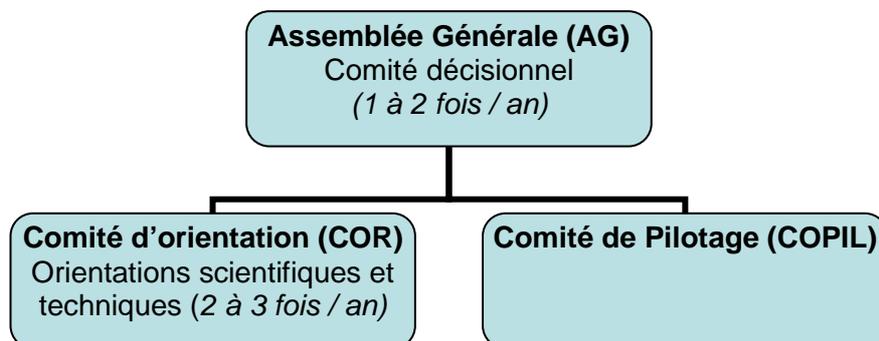
Le projet de Charte du projet VILLE10D, joint en annexe au présent rapport, précise l'organisation et le mode de fonctionnement du projet, ainsi que les droits et obligations des partenaires.

Les pouvoirs de décision concernant le déroulement du Projet National VILLE10D sont confiés à une Assemblée Générale. Elle est composée d'un représentant de chacun des partenaires, chacun d'eux disposant d'une voix, et est conduite par le Président du projet. Assisteront également à l'Assemblée Générale, avec voix consultative, le Directeur du Projet, le Directeur Opérationnel, et quatre Conseillers Scientifiques et Techniques ainsi que le représentant de l'IREX. Les représentants de la DRI assistent de droit à toute réunion de l'Assemblée Générale.

L'Assemblée Générale se réunit ordinairement 1 ou 2 fois par an, mais elle peut être convoquée de façon extraordinaire. Les attributions et le fonctionnement de l'Assemblée Générale sont définis dans la Charte.

Le Président de l'Assemblée Générale est élu lors de l'Assemblée Constitutive du projet VILLE 10D.

L'Assemblée Générale est assistée par deux comités : un comité d'orientation et un comité de pilotage définis ci-après :



Comité d'Orientation (COR)

Le Comité d'Orientation, dont les attributions sont indiquées dans la charte, définit les orientations scientifiques et techniques du projet. Il est composé des membres suivants : le Président, le Directeur du Projet, le Directeur Opérationnel, la Direction Administrative représentée par l'IREX, quatre Conseillers scientifiques et techniques représentant du monde de l'entreprise, du monde scientifique et du monde des collectivités publiques, les pilotes des thèmes (y compris les thèmes transversaux), les représentants des sites, et un coordinateur aménagement.

Le Comité d'Orientation se réunit deux à trois fois par an. Une réunion élargie réunissant les membres réguliers du comité et tous les partenaires qui souhaitent y participer sera programmée une fois par an.

Comité de Pilotage (COPIL)

Le Comité de pilotage coordonne le projet et prend toute décision ne pouvant attendre les réunions de l'Assemblée Générale. Il est mandaté par l'Assemblée Générale. Le Comité de Pilotage regroupe : le Directeur du Projet, le Directeur Opérationnel, la Direction Administrative représentée par l'IREX et les quatre Conseillers scientifiques et techniques représentant du monde de l'entreprise, du monde scientifique et du monde des collectivités publiques.

Le Comité de Pilotage, animé par le Directeur du Projet et assisté par le Directeur Opérationnel, se réunit autant que besoin.

4.2. FONCTIONNEMENT OPÉRATIONNEL

Ce projet s'adresse à des équipes de recherche spécialisées en sciences de la terre, en sciences humaines, en ingénierie, et restent ouvertes à d'autres disciplines. Les équipes peuvent privilégier un ou plusieurs axes en fonction de leurs compétences et intérêts. Ce projet privilégie l'approche pluridisciplinaire et tient à associer à la fois chercheurs et praticiens.

Le fonctionnement opérationnel est assuré par l'intermédiaire des responsables des thèmes du projet VILLE10D. Quatre thèmes principaux correspondant à des domaines de recherche ont été retenus :

- Thème 1 : Socio-économie
- Thème 2 : Environnement
- Thème 3 : Sociétal
- Thème 4 : Visibilité

Trois autres thèmes sont à caractère plus transversal :

- Aspects réglementaires et juridiques
- Coordination opérationnelle
- Valorisation

La matrice fonctionnelle ci-après sert de support pour le fonctionnement du projet et permet d'identifier les responsables opérationnels (animateurs et co-animateurs) :

Matrice fonctionnelle		Thèmes principaux			
Thèmes transversaux		Thème 1 Socio- économie	Thème 2 Environ- nement	Thème 3 Sociétal	Thème 4 Visibilité
Aspects réglementaires et juridiques	A déterminer	Michel GERARD	Laetitia D'ALOIA	Sylvie SALLES	Luc CLOSSET
Coordination opérationnelle	Jean-Pierre PALISSE	Pierre Étienne GAUTIER	Bruno BARROCA	François MANCEBO	Antoine MARACHE
Valorisation	Monique LABBE Michel DEFFAYET				

5. BUDGET PRÉVISIONNEL ET PLAN DE FINANCEMENT

5.1. BUDGET PRÉVISIONNEL GLOBAL

Thèmes d'études	Sujets de recherche	Budget en € HT	Financement PN
1. Approche socio-économique			
1.1.2. Axe 1	Constitution d'une boîte à outils d'évaluation de projets souterrains	262 000	86 460
1.1.1	Etat de l'art - analyse de méthodes existantes		
1.1.2	Analyse socio-économique de réalisations existantes		
1.1.3	Confrontation de la grille d'évaluation à des projets et scénarii de sites de Ville 10D		
1.2	Constitution d'une boîte à outils de conduite de projet souterrain	227 000	74 910
1.2.1	Etat de l'art - les pratiques de la gouvernance		
1.2.2	Analyse de la gouvernance de réalisations existantes		
1.2.3	Mise en situation : confrontation des modes opératoires sur les sites de Ville 10D		
1.3	Evaluation des conditions d'implantation d'un système fret-logistique.	328 000	108 240
1.3.1	Contraintes structurelles pour la mise œuvre du Fret/ logistique souterraine		
1.3.2	Conditions de réalisation (économiques)		
1.3.3	Quelle peut être la rentabilité économique des logiques de mutualisation ?		
1.4	Animation et coordination du thème	83 000	27 390
1.4.1	Animation et coordination - établissement d'un rapport de synthèse des études du thème 1		
	sous total thème 1	900 000	297 000
2. Approche environnementale			
2.1	Connaissance et amélioration des interactions de la structure ou de l'aménagement avec son environnement	185 000	61 050
2.1.1	Impacts et nuisances générés par les vibrations provoquées par l'excavation des tunnels en site urbain		
2.1.2	Vieillessement des ouvrages souterrains et interactions à court et long terme avec les constructions de surface		
2.1.3	Résilience et vulnérabilité des structures enterrées face aux sollicitations accidentelles		
2.1.4	L'apport des innovations techniques dans la réduction des impacts liés à la réalisation d'infrastructure souterraine		
2.2	Conception environnementale des ouvrages et valorisation des ressources offertes par les aménagements souterrains	230 000	75 900
2.2.1	Optimisation de la conception de la structure (au sens des enjeux du développement durable) à travers l'utilisation des		
2.2.2	Développement d'un procédé constructif multi-fonctionnel : TRC (Textile Reinforced Cement) et recherche d'un		
2.2.3	Réutilisation des matériaux extraits du sous-sol dans un souci d'économie globale et de valorisation des ressources		
2.2.4	Valorisation énergétique des infrastructures souterraines : Intégration de capteurs géothermiques		
2.2.5	Contribution du souterrain à la réalisation d'opérations d'aménagement à énergie globale positive		
2.2.6	La mutabilité des espaces souterrains et leur capacité d'adaptation à l'évolution des besoins		
2.3	Bilan environnemental des ouvrages et des aménagements souterrains (aspects méthodologiques)	440 000	145 200
2.3.1	Définition d'indicateurs d'impacts adaptés au souterrain		
2.3.2	Evaluation des impacts environnementaux de projets souterrains		
2.3.3	Prise en compte des aménagements souterrains dans le cadre de l'adaptation de la ville au changement climatique		
2.3	Animation et coordination du thème	45 000	14 850
	Animation et coordination - établissement d'un rapport de synthèse des études du thème 2		
	sous total thème 2	900 000	297 000
3. Approche sociétale			
3.1	Transitions	264 184	87 181
3.1.1	Morphologies des transitions sol/sous-sol : trame urbaine et paysage en souterrain.		
3.1.2	Expérimentations kinesthésiques de l'espace souterrain		
3.1.2a	Expériences de la ville souterraine et des transitions (spatialités)		
3.1.2b	Stratégies cognitives pour la navigation en sous-sol en 3D		
3.1.3	Explorer les représentations cartographiques du souterrain		
3.2	A(e)ntre-ville	312 370	103 082
3.2.1	Caractériser la qualité des ambiances par l'implication des acteurs		
3.2.2	Explorer les qualités des ambiances lumineuses		
3.2.3	Imaginaire des profondeurs		
3.3	Cohabitations	199 073	65 694
3.3.1	Les utilisations sol/sous-sol		
3.3.2	Chronotopies urbaines : temporalités, rythmes et passages		
3.3.3	Synergies, conflits et frictions liées aux aménagements		
3.4	Articulation	79 373	26 193
3.4.1	Construire une approche transdisciplinaire		
3.4	Animation et coordination du thème	45 000	14 850
	Animation et coordination - établissement d'un rapport de synthèse des études du thème 4		
	sous total thème 4	900 000	297 000

4. Visibilité, connaissance et gestion des données				
4.1 Chaîne et qualité de la connaissance			300 000	99 000
4.1.1	Bases de données dédiées à la connaissance du sous-sol			
4.1.2	Intégration des méthodes d'acquisition indirects dans la constructions des modèles géométriques			
4.1.3	Système d'information et modèle de données pour un urbanisme souterrain			
4.1.1	Schéma d'aménagement du sous-sol, SA2S, le cas du plateau d'Orly-Rungis			
4.2 Gestion des risques et des projets d'aménagement souterrain			300 000	99 000
4.2.1	La caractérisation des incertitudes en souterrain			
4.2.2	La caractérisation des risques en souterrain			
4.2.3	Gestion dynamique des incertitudes et des risques			
4.2.4	Outil d'aide à la décision et accompagnement des projets			
4.3 Formalisation - Visualisation			255 000	84 150
4.3.1	Développement d'outils de visualisation			
4.3.2	A la conquête du SIG			
4.4 Animation et coordination du thème			45 000	14 850
	Animation et coordination - établissement d'un rapport de synthèse des études du thème 3			
sous total thème 1			900 000	297 000
5. Thèmes transversaux : Aspects réglementaires et Juridiques - Cyndinique				
5.1 Aspects réglementaires et juridiques			345 000	207 000
	Etats des lieux de la réglementation souterraine			
	Etudes des solutions juridiques et réglementaires pour dépasser les freins actuels.			
5.2 Cyndinique			75 000	22 500
5.3 Cohérence globale du projet (ou conduite scientifique)			245 000	147 000
	Coordination avec les sites			
	Coordination avec les thèmes			
5.4 Animation et coordination			22 000	5 500
sous total thème 5			687 000	382 000
6. Coordination du Projet National				
6.1 Conduite opérationnelle du projet			180 000	108 000
6.2 Planification stratégique de l'aménagement du sous-sol			175 000	52 500
sous total thème 5			355 000	160 500
7. Valorisation				
	Création d'un site internet-intranet et son exploitation.		20 000	15 000
	Rédaction et édition d'une synthèse des résultats et recommandations (techniques, environnementales, urbaines et juridiques) français/anglais et diffusion.		150 000	70 000
	Frais de traduction français - anglais.		30 000	15 000
	Mission de transfert et de valorisation		40 000	20 000
	Organisation d'un séminaire à mi-parcours de coordination générale et d'évaluation des premiers résultats des études.		20 000	10 000
	Présentations publiques des résultats, conférences et actions d'information.		70 000	35 000
sous total thème 7			330 000	165 000
Total en € HT			4 972 000	1 895 500
Gestion administrative et financière du projet 5%			248 600	248 600
Total en € HT			5 220 600	2 144 100
Total en € TTC			6 243 838	

6. PLANNING PRÉVISIONNEL GÉNÉRAL

	1ère Année		2ième année		3ième année		4ième année	
	Mois 1-6	Mois 7-12	Mois 1-6	Mois 7-12	Mois 1-6	Mois 7-12	Mois 1-6	Mois 7-12
1. Approche socio-économique								
1.1 Constitution d'une boîte à outils d'évaluation de projets souterrains								
1.2 Constitution d'une boîte à outils de conduite de projet souterrain								
1.3 Evaluation des conditions d'implantation d'un système fret logistique.								
2. Approche environnementale								
2.1 Connaissance et amélioration des interactions de la structure ou de l'aménagement avec son environnement								
2.2 Conception environnementale des ouvrages et valorisation des ressources offertes par les aménagements souterrains								
2.3 Bilan environnemental des ouvrages et des aménagements souterrains (aspects méthodologiques)								
3. Approche sociétale								
3.1 Transitions								
3.2 A(e)ntre-ville								
3.3 Cohabitations								
3.4 Articulations								
4. Visibilité, connaissance et gestion des données								
4.1 Chaîne et qualité de la connaissance								
4.2 Gestion des risques et des projets d'aménagement souterrain								
4.3 Formalisation - Visualisation								
5. Thèmes transversaux : Aspects réglementaires et Juridiques - Cyndinique								
5.1 Aspects réglementaires et juridiques								
5.2 Cyndinique								
5.3 Coherence globale du projet (ou conduite scientifique)								
6. Coordination du Projet National								
6.1 Conduite opérationnelle du projet								
6.2 Planification stratégique de l'aménagement du sous-sol								
7. Valorisation								
Site internet-intranet								
Synthèse des résultats et recommandations (français/anglais)								
Séminaire à mi-parcours								
Présentations, conférences et actions d'information.								

7. VALORISATION ET RETOMBÉES

7.1. MODES DE VALORISATION

Au lancement du projet

- Création d'un site internet et d'un extranet

Le site internet présentera le programme du projet, son budget et la liste des partenaires du Projet. Ouvert à tous publics, il sera un moyen d'informations permettant de communiquer sur l'avancement du projet Ville 10D et de diffuser ses résultats.

- Réunion de lancement du projet

Les programmes définitifs seront présentés à tous les partenaires ainsi qu'à d'autres organismes et sociétés susceptibles d'être intéressés.

Pendant la réalisation du projet

- Séminaires périodiques

Un séminaire réunira chaque année l'ensemble des partenaires du projet afin de croiser les recherches et de débattre des acquis et de l'orientation des travaux. Ce séminaire sera ouvert aux organismes et institutions susceptibles de bénéficier du projet ainsi qu'à des praticiens de l'aménagement et des chercheurs étrangers susceptibles de faire bénéficier le projet de leur expertise.

- Séminaires in situ

Chacun des sites d'étude organisera une rencontre avec des représentants des quatre thèmes et de la coordination où seront confrontés sur le terrain les travaux de recherche et les questionnements des aménageurs et collectivités locales.

- Publications

Les rapports d'étape de chaque thème et la synthèse transversale établis pour les séminaires annuels et les séminaires in situ ainsi que le compte-rendu de ces rencontres, seront publiés sur le site internet du projet.

Des articles proposés par les chercheurs et validés par le comité de pilotage du projet pourront être publiés dans la presse spécialisée.

A la fin du projet

- Rédaction et publication d'une synthèse des résultats

La compilation des rapports finaux de chaque thème, des rapports par site et de la coordination transversale sera publiée sur le site internet du projet. Un rapport de synthèse sera établi et fera l'objet d'une édition et d'une large diffusion. Ce rapport de synthèse sera traduit en anglais pour publication sur le site internet.

- Publication des recommandations et propositions

Un document spécifique formulera les propositions issues du projet portant sur la diffusion des bonnes pratiques, les suggestions d'évolutions législatives et réglementaires, les recommandations en matière de planification et les propositions pour la constitution d'outils d'information et d'aide à la conduite de projet. Ce document sera publié sur le site internet et édité en vue d'une large diffusion.

- Colloque conclusif

Un colloque international réunissant l'ensemble des partenaires du projet et des experts internationaux et ouvert à tous les acteurs de l'aménagement urbain susceptible d'œuvrer

sur le sous-sol permettra de valoriser et diffuser largement les résultats des travaux. Ses actes seront publiés.

7.2. RETOMBÉE ATTENDUES

Progrès économiques

Il est attendu du projet qu'il fournisse une méthode efficace pour une évaluation comparative du bilan économique global de projets impliquant plus ou moins l'aménagement et l'usage du sous-sol de manière à permettre un arbitrage raisonné entre différentes stratégies de valorisation de l'espace souterrain.

Progrès techniques

Il est attendu du projet, d'une part qu'il permette le développement de systèmes d'information géographiques en 3D adaptés aux problématiques du sous-sol et à ses enjeux d'aménagement, d'autre part qu'il précise les conditions techniques et morphologiques d'acceptabilité d'un usage social du sous-sol.

Progrès environnementaux

Il est attendu du projet qu'il fournisse une méthodologie permettant d'évaluer la qualité et la durabilité environnementale des projets en sous-sol et leur résilience et de prendre en compte dans ces projets l'objectif de réduction de leur empreinte environnementale notamment en matière de préservation des ressources.

Progrès réglementaires

Il est attendu du projet qu'il permette de clarifier le cadre juridique et réglementaire relatif à l'aménagement du sous-sol et de proposer des modes de planification urbaine et territoriale permettant d'articuler l'aménagement du sol et du sous-sol et de mieux exploiter ses potentiels de développement.

ANNEXES

Annexe 1 :

Tableau illustrant les facteurs de différenciation entre réalisations au sol et réalisations souterraines pour l'approche socio-économique

Annexe 2 :

Bibliographie

ANNEXE 1 : TABLEAU : LES FACTEURS DE DIFFÉRENTIATION ENTRE RÉALISATIONS AU SOL ET RÉALISATIONS SOUTERRAINES

Le tableau ci-après présente un recensement synthétique des facteurs de différenciation entre réalisations au sol et réalisations souterraines d'inventaire et des utilités et désutilités auxquelles elles correspondent pour le domaine souterrain.

Facteur de différenciation	Utilités	Désutilités	Exemples
Coût foncier	Les souterrains reviennent dans la majorité des cas à de la création de surfaces (ou de volumes) qui ne préexistaient pas, d'un grand intérêt dans des occupations fortes du sol superficiel	Coûts d'excavation et coûts annexes (issues p.ex.) Coûts d'acquisition (expropriation éventuelle)	Transformateurs ERDF dans les villes denses Surfaces commerciales sur les grandes artères des villes denses Parcs et garages automobiles versus Installations de surface remplissant les mêmes fonctions
Masquage total ou partiel	Sécurité à l'égard d'agression extérieures ; protection de sites sensibles ; protection des vues d'autrui		Centres militaires de Houilles et de Taverny (dissuasion nucléaire) Centre de gestion du RER et du métro (masquage partiel) Projet d'hôtel enterré à Machu-Pichu Centre Grimaldi à Monaco (hauteur limitée dans un site théâtre) Data centers enterrés versus Masquages artificiels
Insensibilité relative aux séismes, aux explosions extérieures, aux inondations (sous condition)	Risques moindres de dégradation des ouvrages, protection des biens et des personnes	Coûts supplémentaires (hors excavations et annexes) de certaines protections	Réserves des banques et notamment de la BDF, en plein Paris. Nombreuses réalisations de bureaux au Japon Galeries multiréseaux de Prague, protégeant les réseaux contre les inondations de la Vltava versus EPR de Flamanville, en surface, protégé par du béton très épais et très ferrillé Sites nucléaires à l'air libre
Insensibilité aux radiations électromagnétiques extérieures et aux rayons cosmiques	Protection nécessaire à des degrés divers	Coûts supplémentaires des profondeurs importantes et des protections des nappes hydrauliques	CERN (banlieue de Genève) Installations hospitalières IRM et analogues
Insensibilité aux vibrations extérieures, limitation des émissions de vibrations	Protection nécessaire à des degrés divers		Hôpitaux Studios d'enregistrement Salles de spectacles

vers l'extérieur			
Stabilité thermique	Economies de chauffage et de climatisation Gains de CO2 émis Vente de calories ou de frigories	Coûts d'aérages si une ventilation naturelle n'est pas possible	Stations souterraines du métro Ville souterraine de Montréal versus Stations aériennes Magasins sur rues
Excavations et charges connexes		Coût élevé auquel il faut ajouter tout ce qui est lié à la création d'un univers vivable	Cette désutilité majeure du souterrain ne nécessite pas de commentaire particulier car elle est naturellement prise en compte dans les coûts d'investissement, puis dans l'entretien.
Limitation des entrées de lumière naturelle (à la fois utilité dans certains cas, désutilité dans une majorité)	Protection contre les UV Avantage pour les stockages de produits sensibles (livres, aliments etc.)	Désagréments, voire troubles, physiologiques et psychologiques pour des séjours de longue durée et/ou des travaux en sites artificiellement éclairés	Bibliothèques enterrées versus Bibliothèques non enterrées
Appréhension psychologique		Sujet difficile car les réactions sont très différentes selon les individus (idem bruit) Depuis Désorientation et surcoûts liés Accentuation de certaines réactions répulsives (au bruit, à l'usage systématique de la artificielle p.ex.) Jusqu'à Claustrophobie irrépressible Surcoûts de création d'ambiance rassurante Amenée de lumière naturelle par différents procédés	Exemples multiples

ANNEXE 2 : BIBLIOGRAPHIE

Les documents de cette bibliographie sont classés par type de support puis par ordre alphabétique des auteurs.

Ouvrage

- BARLES S., BREYSSE D., GUILLERME A. & LEYVAL C. (Collectif), Le sol urbain. Paris, éd. Anthropos (collection Villes), 1999, 278 p.
- BARLES S., GUILLERME A., L'urbanisme souterrain. Paris PUF coll. « Que sais-je ? » n°533, 1995, 126 p.
- BERSANI Catherine, MARTINAND Claude, MATHIVAT Jacques, DAZELLE Pierre, La Ville Souterraine, Société d'Éditions du Bâtiment et des Travaux Publics, 1995, 142 p.
- BERTHOLON P. & HUET O. Habitat Creusé, le patrimoine troglodytique et sa restauration, éd. Eyrolle, 2005, 224 p.
- BREYSSE D., KASTNER R. (Collectif), Sols urbains. Paris : Hermès / Lavoisier (coll. « Mécanique et ingénierie des matériaux »), 2003. 462 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.
- Clé de Sol (Collectif), Guide pratique des galeries multi-réseaux, Technicités, Voiron, 2005, 225 p. + CD.
- GAILLARD A. (dir.), L'Imaginaire du souterrain, Paris, L'Harmattan, 1998.
- HENARD E., Etudes sur les transformations de Paris et autres écrits sur l'urbanisme, Paris, Editions L'équerre, [1ère éd. 1903-1910], 1982.
- LEGGET R., Cities and Geology, New York, ed. Mc Graw Hill, 1973, 624 p.
- UTUDJIAN E., L'Architecture et l'urbanisme souterrain, Paris, éd. Laffont, 1966.
- UTUDJIAN E., L'Encyclopédie du monde souterrain, 8 volumes parus (éditions du GECUS, MS), 1936-1964.
- UTUDJIAN E., L'urbanisme souterrain, éd. Paris Presses universitaires de France, 1952, 102 p.
- VON MEISS P., RADU F. (Collectif), Vingt mille lieux sous les terres: Espaces publics souterrains, Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 2004, 167 p.

Mémoire, thèse, rapport de recherche

- 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.
- BILLET P., La protection juridique du sous-sol en droit français, thèse université Jean Moulin, Lyon 3, 1994, 879 p.
- BLUNIER P., Méthodologie de gestion durable des ressources du sous-sol urbain, thèse Lausanne, EPLF, 2009.

- BREGEON J., L'aménagement du sous-sol, thèse Marseille, 1983.
- 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.
- BOUCHEZ S, Espaces souterrains : quel rôle dans un nouveau paradigme de développement urbain au service de la ville durable ? Mémoire de Master MOPU, IUP UPEC, 2011, 98 p.
- CHELKOFF G, THIBAUD JP, Ambiances sous la ville, une approche écologique des espaces publics souterrains, Rapport de recherche N°37 du CRESSON, 1997, 314 pages.
- MAIRE P., 2011, Etude multidisciplinaire d'un développement durable du sous-sol urbain. Aspects socio-économiques, juridiques et de politique urbaine, thèse de doctorat présentée le 15 juin 2011, EPFL, 225 p.
- PARRIAUX A., BLUNIER P., MAIRE P., DEKKIL G., TACHER L., « Ressources du sous-sol et développement urbain durable », Projet Deep City, rapport, EPFL, Lausanne, 2010, consulté le 17.11.2011
(http://www.nfp54.ch/files/nxt_projects_82/19_07_2011_09_48_23NFP54UNTERGRUNDProjectDEEPCITY.pdf)
- PODEVIN C, Clé de Sol, démarche de progression pour les galeries multi-réseaux, mémoire d'ingénieur, Ecole Supérieure des Géomètres et Topographie, CNAM, 1998, 138 p.

Revue et article

- « Un schéma directeur pour le sous-sol », *Tunnels et ouvrages souterrains* (96), 1989, p. 265-266.
- ALLARD S., LAMBERT M., LEBRETON A.S. & TERADE A., "Gare Saint-Lazare. De la porte de ville à l'interconnexion des transports", *Annales de la Recherche Urbaine*, n° 71, juin 1996, pp. 24-33.
- AMAR G., « Pour une écologie urbaine des transports », *Annales de la recherche urbaine*, n° 59-60, p.140-151, 1993.
- BARLES S, « La valeur du tréfonds », *Études foncières* (85), Hiver 1999-2000, p. 28-32.
- BARLES S. & GUILLERME A. « L'urbanisme souterrain », *AMC* (100), sept. 1999, p. 46-47.
- BARLES S., « Un plan d'urbanisme pour le sous-sol », *Études foncières* (90), Mars-avril 2001, p. 26-28.
- 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*, n°313, août 2000, pp. 75-78.
- BREYSSE D. (eds), « GERMA un projet de recherche pour la maîtrise des risques de projet », *Préventive Sécurité* n°113, sept-oct. 2010, p.8-16.
- CHELKOFF G., THIBAUD J.P., Un nouvel objet d'ambiances : la ville souterraine. In : Mattei M.F. ; Pimain D., *Données Urbaines*, n°3, Collection Villes. Paris: Anthropos, 2000, pp. 419-426.
- CLOT-GOUDARD, R., TILLOUS, M., L'espace du réseau : du flux au territoire. Le tournant pragmatiste engagé par Isaac Joseph, *Tracés*, 15, 107-126, 2008.
- Collectifs, Villes et géologie urbaine, *Géosciences Paris BRGM*, n° 10, 2009, 108 p.
- 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.
- DUFFAUT P., « Demandes, offres, contraintes et avantages », *Techniques de l'ingénieur*, C3062, Paris, 2007, 13 p.
- DUFFAUT P., « Panorama de l'urbanisme souterrain », *Techniques de l'ingénieur*, C3061, Paris, 2007, 13 p.

- 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.
- GODARD J.P., « Utilisation du sous-sol urbain », *Tunnels et ouvrages souterrains* (spécial), avril 1981, p. 143-151.
- H. SATO, « Perspectives d'utilisation du sous-sol au Japon au XXI^{ème} siècle », *Tunnels et ouvrages souterrains* (160), Juil-août., 2000, p. 198-202.
- 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.
- MALLET S., « La Défense, ombre et lumière », *Urbanisme*, HS n°34, 2008, pp. 47-48.
- THIBAUD J.P., Mouvement et perception des ambiances souterraines. *Les annales de la recherche urbaine*. n° 71, juin 1996, pp. 144-152 <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00379498/fr/>

Contribution et Acte de colloque

- Agenda and Prospect for the Turn of the Century. Actes de la 8^{ème} 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.
- AMAR G., "Transport intermodal et urbanisme souterrain, le projet cœur transport de Paris-la Défense", Actes de la 7^{ème} conférence internationale de l'ACUUS, Montréal, 1997
- AMAR G., KETOFF M., « La Défense : cœur d'avenir ? », Architecture des lieux-mouvements et conception de réseaux, Actes du séminaire « Les lieux-mouvements de la ville », t. II, Paris, RATP, 1996.
- BARLES S. (ed.) Espace et Urbanisme souterrain / Underground Space and Urban Planning. Actes de la 6^{ème} 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.
- BEAUDET G., LEWIS P., "La répartition des commerces de vêtements dans les galeries marchandes et sur les artères commerciales du centre-ville de Montréal : complémentarité ou concurrence ?", Actes de la 7^{ème} conférence internationale de l'ACUUS, Montréal, 1997
- BELANGER J., "Espace souterrain : villes intérieures de demain, partenariats et signalisation dans la ville intérieure de Montréal", Actes de la 7^{ème} conférence internationale de l'ACUUS, Montréal, 1997.
- BESNER J., "Les défis du partenariat dans le développement souterrain des grandes métropoles". Espace et urbanisme souterrains, Actes de la 6^{ème} conférence internationale, Paris, 26-29, 1995.
- BOISVERT M., "Le zonage vertical : pour un nouvel aménagement de la fonction restauration dans la ville intérieure montréalaise", Actes de la 7^{ème} conférence internationale de l'ACUUS, Montréal, 1997
- 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.
- 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.
- Collectif, Colloque « Connaître le sous-sol, un atout pour le développement des villes », Lyon, Bull. BRGM 1981.
- DUFFAUT P. & BREGEON J., La variante souterraine comme solution aux problèmes d'environnement; Journées Géotechniques Nantes, Rev. Franç. Géotechnique 1979.
- GODARD, JP. : Urban Underground Space and Benefits of going underground. In World Tunnel Congress 2004. ITA, mai 2004.

- Indoor cities of tomorrow / Villes intérieures de demain. Actes de la 7ème Conférence Internationale de l'ACUUS, Montréal, sept. 1997. Montréal : ACUUS, 1997. pag. mult., 1 CDRom.
- KUROKAWA T., "Planning of Tokyo Central Station Area: Ground Level and Underground", Urban underground space: a resource for cities. Actes de la conférence internationale de l'ACUUS, Torino, 2002.
- 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
- LEGRAND (ed.), Collectivités territoriales et utilisation du sous-sol, proceedings of the AFTES conference, Bordeaux, 21-23 Oct. 1987, Rotterdam : Balkema, 1988.
- SCHOLEY J. & LOWE W., "The Development of Underground Space for Intermodal Transport Interchanges", Urban underground space: a resource for cities. Actes de la conférence internationale de l'ACUUS, Torino, 2002.
- SMITH F., "Les impacts des galeries marchandes intérieures sur les commerces de la rue Sainte-Catherine (Montréal)". Espace et urbanisme souterrains, Actes de la 6ème conférence internationale, Paris, 1995.
- TANAKA T. & AL., "A Consideration about the Amenity of Lightning Space in Underground - At the Point of the Visual Elements", Urban underground space: a resource for cities. Actes de la conférence internationale de l'ACUUS, Torino, 2002.
- TANAKA T. & AL., "A study of landscape for underground", Actes de la 8ème conférence internationale de l'ACUUS sur l'espace souterrain, Xi'An Chine, sept. 27-30 1999, pp. 273-280.
- THIBAUD J.P., Les cadres sensibles de l'espace souterrain. In : ACUSS ; Ville de Montréal. Proceedings of the 7th International Conference, Underground Space: Indoor Cities of Tomorrow, 1997, Montréal, 15 p.
- Urban Underground Space: A Resource for Cities. Actes de la 9ème Conférence Internationale de l'ACUUS, Turin, nov. 2002. Turin : Politecnico di Torino / Montréal : ACUUS, 2002. 1CDRom.
- 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.
- Ville durable : quelle contribution du sous-sol ? □ Actes du Colloque du 23 octobre 2006 □ TOS 203 - septembre /octobre 2007

Autre

- BARLES S., GUILLERME A., GELY M., Bibliographie sur les constructions souterraines en milieu urbain 1970-1995, LMU-GRS, 1996.
- BOISVERT M., NEGRON P., GELY M., Bibliographie sur les constructions souterraines en milieu urbain 1995-2003 ; OVI, Institut d'urbanisme, Faculté de l'aménagement, Université de Montréal – LMU, Institut Français d'Urbanisme, Paris 8, 2004.
- "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].
- Films : Métropolis de Fritz Lang, Subway de Luc Besson, La Grotte des Rêves Perdus de Werner Herzog.