

Les gares et l'urbanisme souterrain : approche architecturale et énergétique

Étudiants

Chamsy Bureauad
Jeanne Rozé
Coralie Coutellec
Marion Gardier
Anne-Claire Jestin
Alexis de La Taille

Commanditaire de l'étude

Efficacity

**Cahiers du DPEA
Architecture Post-Carbone
2016 – 2017**

**École d'architecture
de la ville & des territoires
à Marne-la-Vallée**

Préface

page 5

Historique

page 6

Introduction

page 15

A Place à la Bastille

page 25

Diagnostic : un réseau fonctionnaliste

déconnecté

page 30

Bastille : une plate-forme logistique

page 37

B Villejuif

page 54

Diagnostic : Projet de la gare Villejuif IGR par

l'architecte D. Perrault

page 56

Rendre l'espace souterrain désirable et

soutenable

page 61

Proposition d'amélioration de la gare

page 64

C Le référentiel

page 85

Conclusion

page 106

Annexes

page 110

Bibliographie

page 146

Face aux enjeux démographiques, énergétiques et économiques actuels, des réflexions profondes sur l'aménagement et l'organisation de la ville de demain sont de plus en plus développées par les différents acteurs publics.

De fait, Efficacity, institut de recherche et de développement pour la transition énergétique avec qui nous avons collaboré durant cinq mois, se positionne comme expert des enjeux énergétiques dans les territoires urbanisés. Leur objectif est avant tout la sensibilisation des architectes, urbanistes et ingénieurs aux outils de conception permettant d'agir efficacement pour la ville d'aujourd'hui et de demain. L'étude « pôle gare » menée par cet institut s'inscrit dans cette logique. Elle vise à questionner et promouvoir le développement d'un urbanisme souterrain en prenant comme objet d'étude les stations de métro. Elle interroge la possibilité d'étendre le périmètre des gares dans une troisième dimension, celle de la profondeur, en alternative ou en complément à un aménagement urbain de surface. Ainsi, deux des principaux secteurs de recherche d'Efficacity guideront les études de cas :

- l'énergie, soit l'étude complète de l'analyse de cycle de vie des bâtiments ;
- les services, soit la complémentarité des usages et l'intensification programmatique.

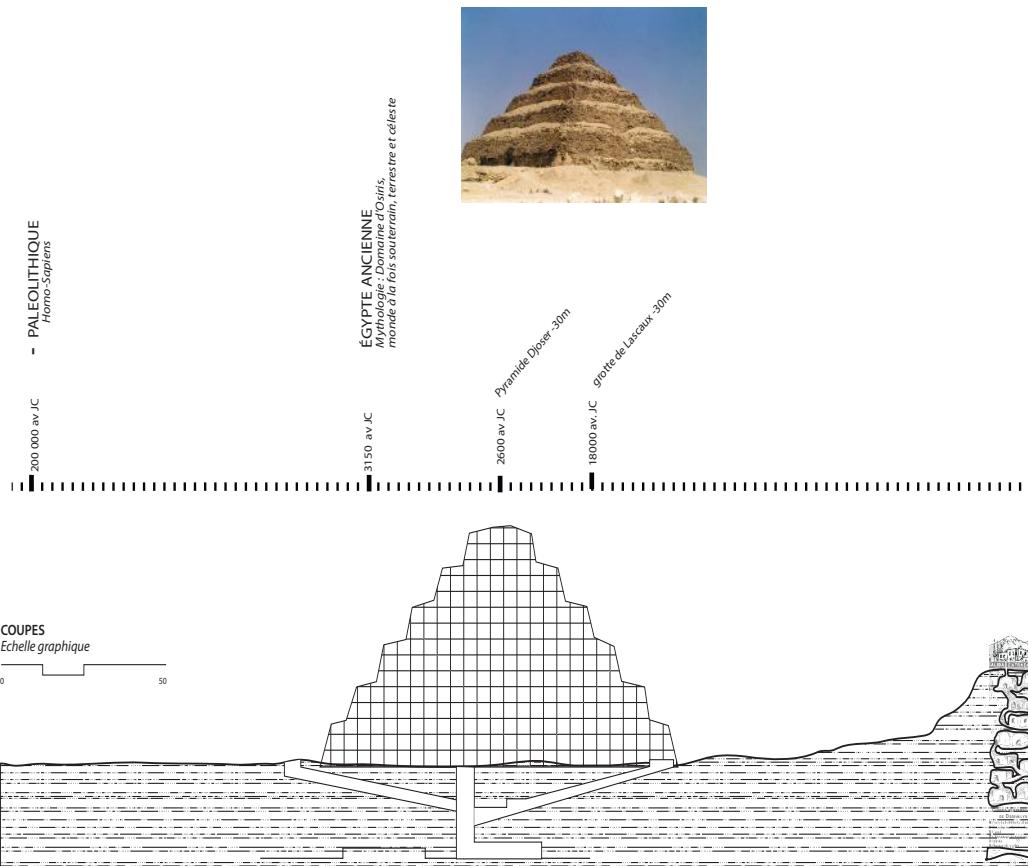
En tant qu'architectes et étudiants au DPEA Architecture Post-Carbone, notre ambition commune est de s'approprier et de repenser les outils de l'ingénieur pour les appliquer au projet d'architecture.

La contextualisation, par le biais de deux études de cas, permettra de mettre en avant des solutions architecturales et urbaines rendant le souterrain intelligible et efficace. Ces propositions permettront également de rendre l'infrastructure souterraine durable et désirable. Enfin, en réponse au constat d'une absence d'outils de planification urbaine globale et cohérente, un référentiel d'urbanisme souterrain sera rédigé, permettant de mutualiser et de diffuser des savoir-faire méthodologiques.

Historique

L'usage du souterrain est utilisé depuis plusieurs années pour des usages divers. Espace protégé, séparé de la surface et de ces nuisances, la souterrain devient tantôt un espace de stockage, tantôt technique ou propice au développement des transports en commun.

Toutefois, les risques géologiques et la méconnaissance de sous-sol freinent son développement. A ceci s'ajoute aussi la claustrophobie et le manque de lumière naturelle, source d'inconfort pour l'homme.

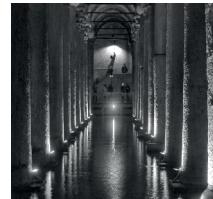




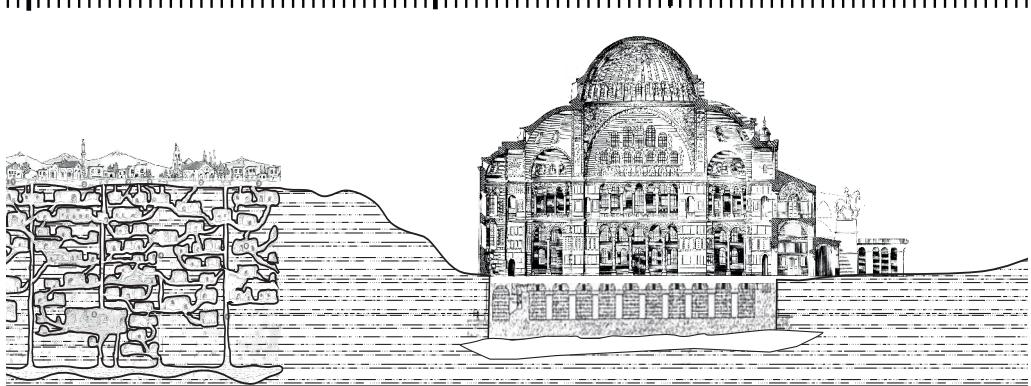
800 av. JC
Ville souterraine de Derinkuyu Turquie 45 m



200
Galerie de service de la Grande Trapezi Villa Adana 7m



532
Citerne Basilique Yerebatan 12m





Mesa Verde USA - 27m
600



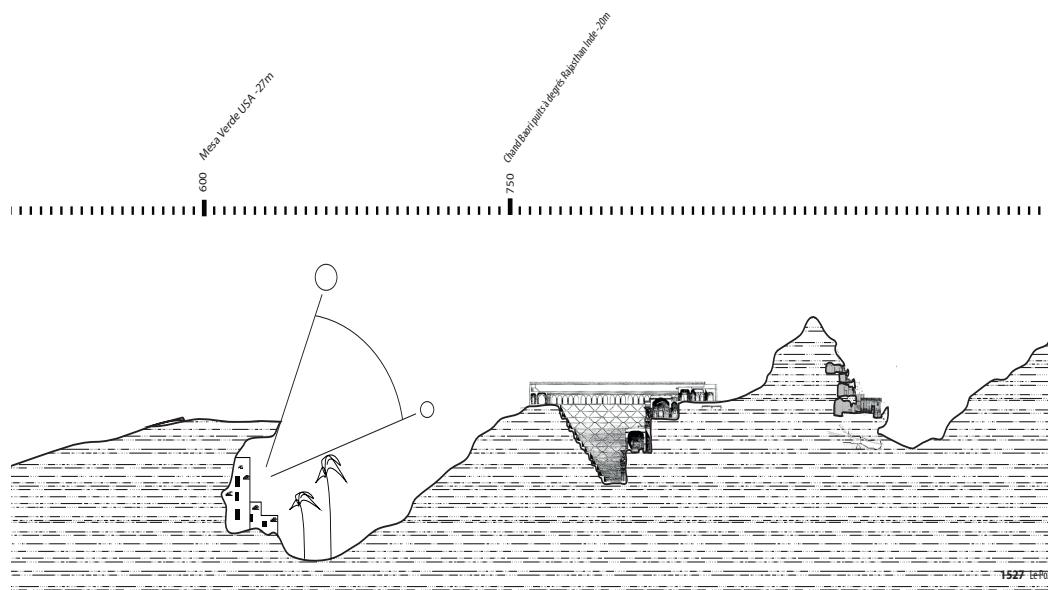
Chand Baori puits à degrés - Rajastan Inde - 200m
750



souterrain de l'abbaye Saint-Sauveur



Le Pozzo di San Patrizio à Orvieto 53m





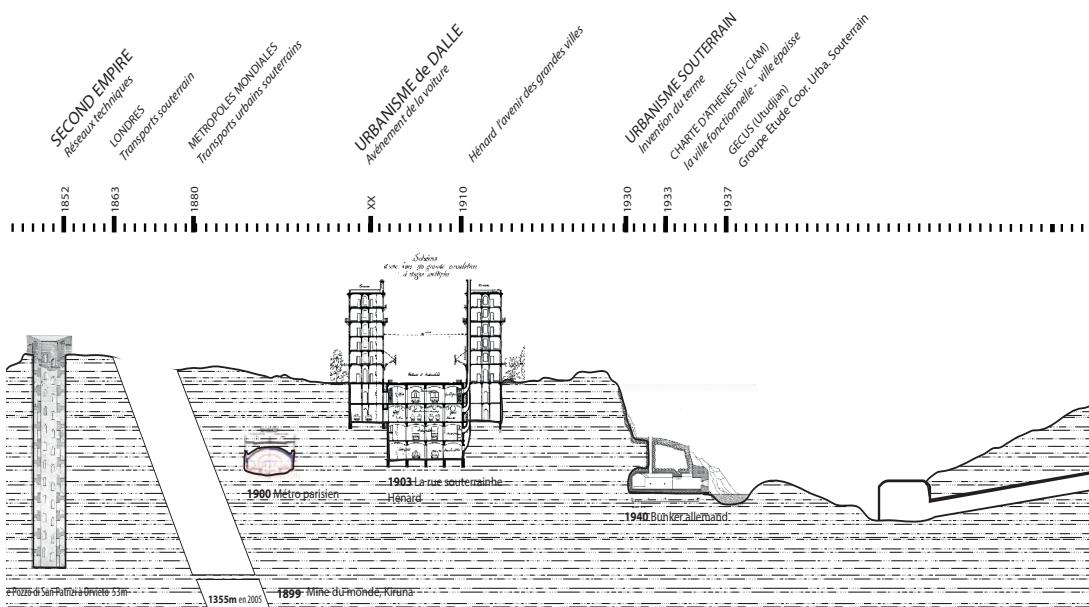
1912 belleville métro -36 m



1940 Bunker allemand



1950 RESO, Montréal -15m

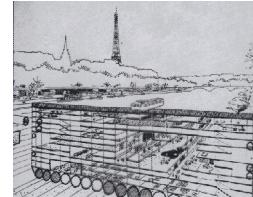




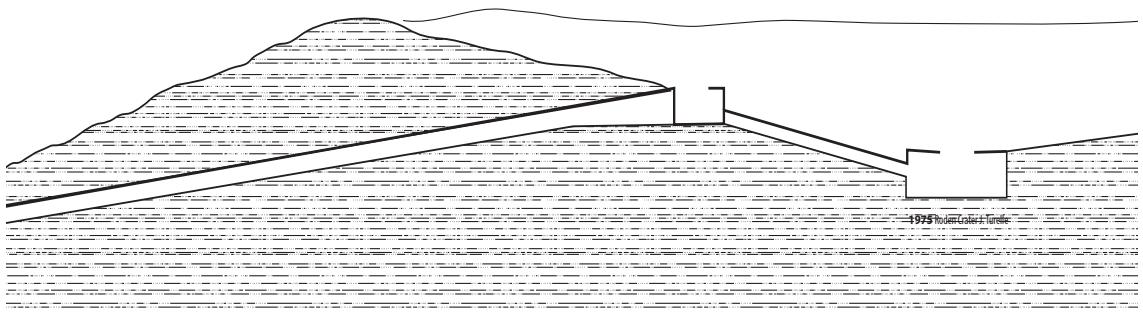
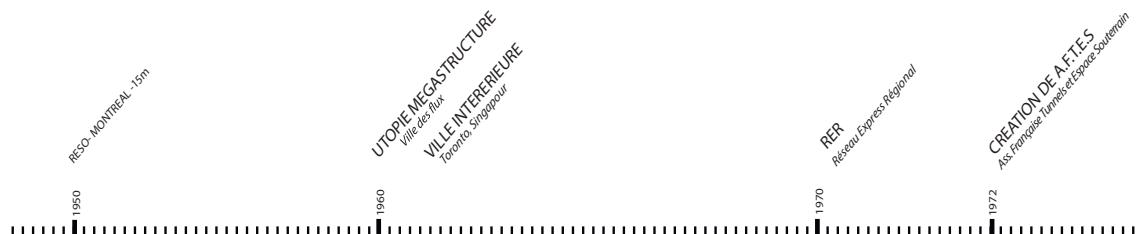
1957 Palabora (Afrique du sud) mine de cuivre 762 m



Max Abramovitz- projet de ville souterraine pour Pittsburgh



1968 Paul Maymont ville souterraine sous la Seine





1975 Roden Crater J. Turrell

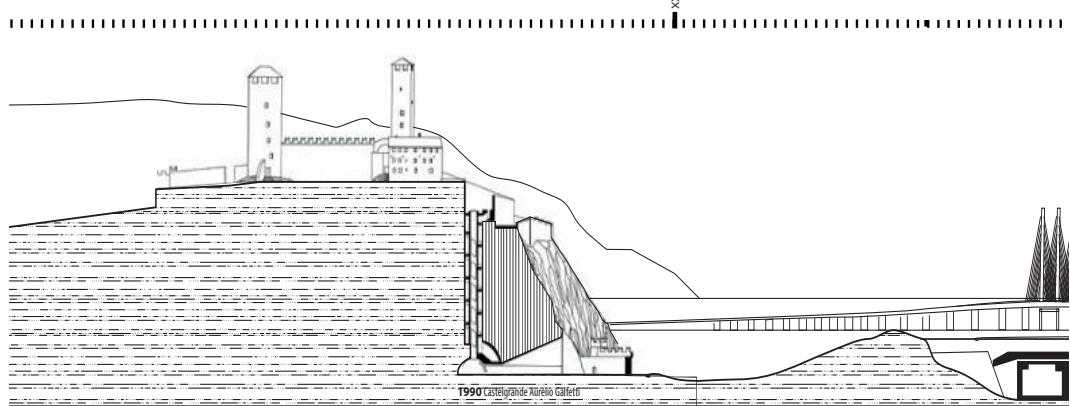


1990 Castelgrande Aurelio Galletti



2004 Chichu Art Museum - 15m

Les grands travaux en souterrain
Le Grand Paris express





2000 déchets nucléaires à Bure 500m prof



2008 Grand collisionneur de hadrons (LHC) 100 m



2011 l'oresundsbron 10 mètres



2010 «Bunker 599» Culemborg, P8



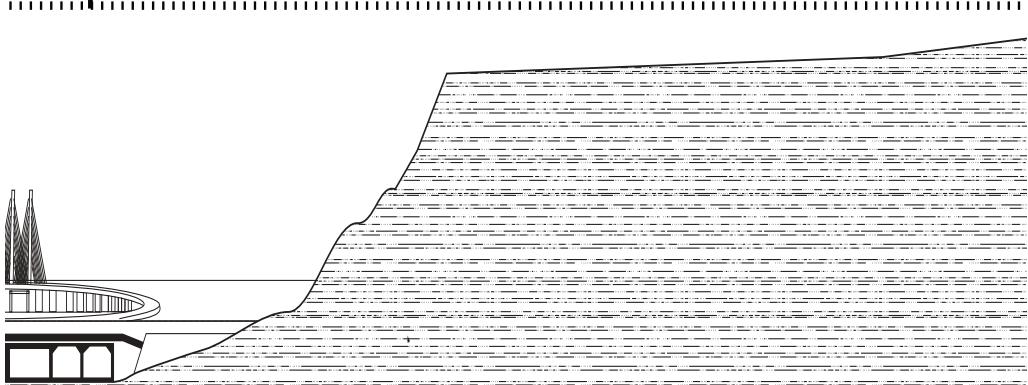
2012 Award ETHZ «Resonance, memory»

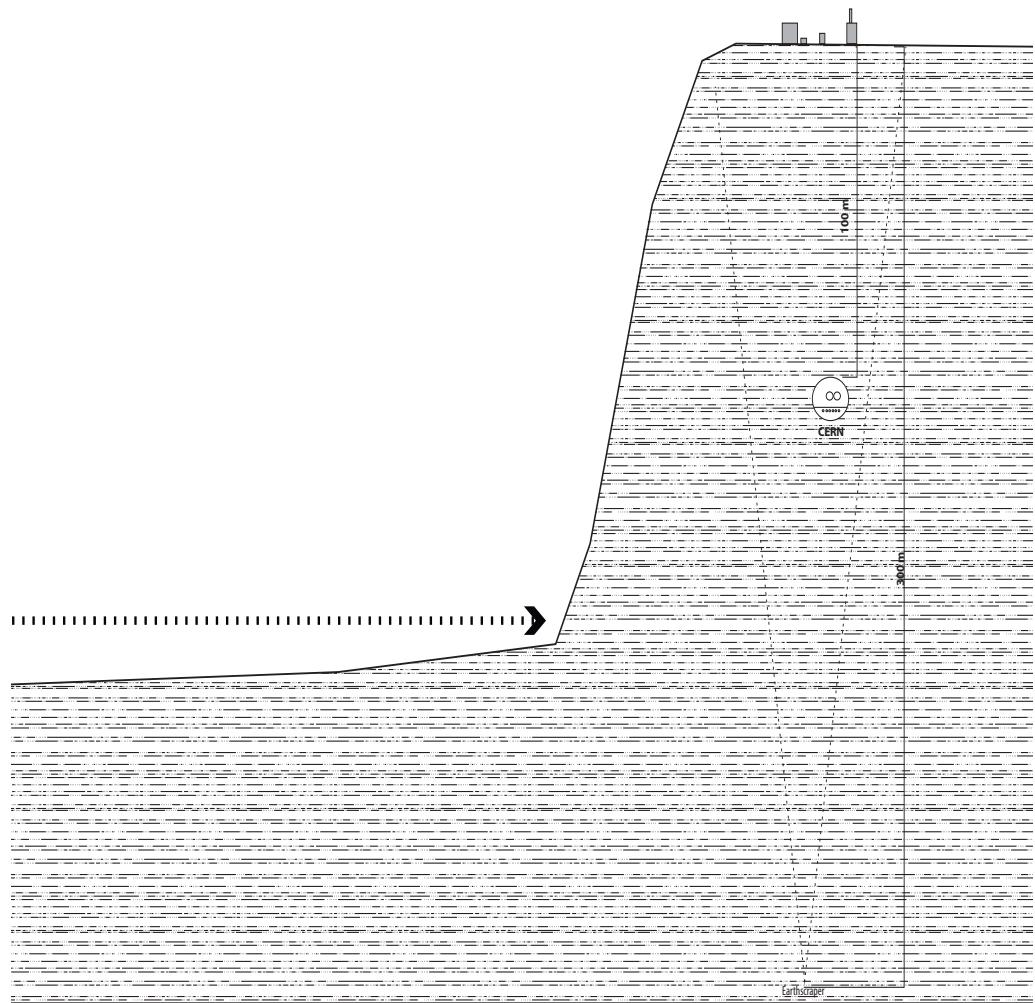


2012 BNKR Arch.

Ville 100

2013





Au cours des dernières décennies, l'utilisation du sous-sol dans les centres urbains s'est intensifiée et diversifiée. Ces espaces, autrefois uniquement dévolus aux services techniques, au stockage, à la protection ou au transport ont peu à peu été investis par des aménagements de plus grande envergure.

Depuis l'aube de l'humanité, le sous-sol a été mis à profit pour puiser de l'eau, extraire des matériaux, stocker des denrées à l'abri des variations de température et même s'abriter. Aujourd'hui, les grands enjeux écologiques conduisent à des révisions de l'organisation et de la gestion de la ville et trouvent dans le souterrain une opportunité d'expansion.

Beaucoup de zones urbanisées dans le monde se sont déjà engagées dans des aménagements systématiques de leurs espaces souterrains, en réaction à des contraintes variées. Ces travaux ont par la même occasion abouti à l'amélioration de l'urbanisme de surface. Les villes scandinaves, canadiennes et japonaises sont celles qui présentent les expériences les plus intéressantes. Les pays scandinaves jouent un rôle pionnier, notamment en Norvège (piscines et salles de sport souterraines), mais aussi en Suède (station d'épuration) et en Finlande où a été mis en place un plan directeur d'occupation de l'espace souterrain dans la ville d'Helsinki. De même, Montréal a choisi d'affronter son climat en créant une « ville intérieure », rassemblant de nombreux centres commerciaux et culturels. La Suisse, bien connue pour sa crainte du nucléaire, a bâti la totalité de ses villes au-dessus d'un vaste réseau de bunkers tous reliés entre eux. Enfin, par manque de place et face à la saturation des transports en surface, plusieurs villes du Japon ont fait le choix de construire sous terre (voir par exemple le musée Naoshima).

Par nature, l'espace souterrain permet une économie de matière première, une protection naturelle (à la fois mécanique, thermique et acoustique) et une économie énergétique, en ayant notamment recours à la géothermie et à l'exploitation des eaux souterraines.

Toutefois, l'absence d'une planification globale du souterrain, du moins en France, pose des contraintes particulières pour l'aménagement de ce dernier. En effet, l'entremêlement des réseaux techniques rend difficile toute modification du sous-sol et constraint les aménageurs à devoir construire toujours plus profond.

Il est fréquent que la perspective d'une intensification d'usage de l'espace souterrain soulève une certaine réticence au motif que les individus ne sont pas fait pour vivre sous terre. Ces espaces restent perçus comme sombres, risqués, inconfortables et générateur d'anxiété. De plus, la lisibilité et l'orientation y sont difficiles, tout comme leur accessibilité.

Le Paris souterrain court sur des centaines de kilomètres. Galeries de carrières, cryptes médiévales, catacombes, égouts haussmanniens, métros et autres ouvrages ferroviaires, galeries techniques diverses, le sous-sol devient un entremêlement de réseaux et d'histoire. Cette superposition échafaude des constructions de plus en plus complexes, qui induisent des morphologies de stations particulières, peu ou très profondes.

L'accessibilité, la pénétration de la lumière naturelle et la gestion de la qualité de l'air deviennent chaque jour plus complexes. Construire et donc pratiquer le souterrain supposent de lever ces obstacles et de mener en amont de tout aménagement un travail transversal associant différents corps de métier.

Sur ce sujet, des recherches sont en cours notamment sous l'action de Pierre Duffaut ou Jean Pirot, deux spécialistes des travaux souterrains au BRGM¹. De même, l'AFTES² se focalise sur la promotion de l'espace souterrain et aide au développement et à la diffusion du savoir-faire de l'ingénierie. Le projet national Ville 10D³ vise le développement d'un nouveau type de planification et d'aménagement des villes par une meilleure prise en compte des interactions positives entre la surface et le sous-sol. Il a pour ambition d'améliorer la connaissance sur les ressources souterraines et de montrer qu'il existe une alternative au seul aménagement de surface, comme a pu l'être le projet des Halles à Paris.

1. Bureau de recherches géologiques et minières, spécialisé dans l'étude des sols et le potentiel géothermie de la région parisienne

2. Association Française des Tunnels et de l'espace souterrain

3. Le projet « Ville 10D – Ville d'idées» vise à développer une recherche appliquée sur la contribution du sous-sol au développement urbain durable.

De fait, les recherches de l'AFTES s'intéressent aux quatre grands aspects de l'aménagement en souterrain, à savoir : une approche cognitive (visibilité du sous-sol), environnementale, sociétale (accessibilité, désirabilité) et enfin une approche économique.

Parmis les multiples usages du souterrain, la station de métro est celle que nous connaissons le mieux. Toutefois, ces espaces souterrains restent voués à la technique et laissent peu de place à l'appropriation humaine. De plus, les infrastructures existantes vieillissent tandis que les nouvelles constructions se confrontent aux contraintes de la profondeur. Ainsi, deux typologies de gares souterraines se démarquent : l'horizontale et la verticale. Les nombreuses différences entre ces morphologies ont engendré les deux études de cas suivantes :

- la station Villejuif IGR⁴, une gare du Grand Paris Express de type « puits », verticale et profonde de 50 mètres ;
- la station Bastille, une station de métro existante, de type « rhizomatique », horizontale et peu profonde.

Quelles seront les réponses architecturales apportées pour répondre au confort des usagers et au besoin énergétiques de ces espaces?

De fait chacune des propositions ci-après exposeront des stratégies différentes tout en traitant la question énergétique et l'optimisation des espaces.

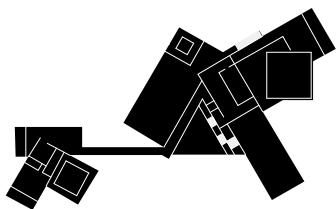
Un premier chapitre présentera la réhabilitation de la station Bastille dont l'enjeu principal est la création d'une gare efficiente et attractive, au service de la ville et de ses usagers.

Un second traitera de la requalification de la station Villejuif IGR dont le travail sera concentré sur la morphologie architecturale en lien avec l'apport de lumière naturelle.

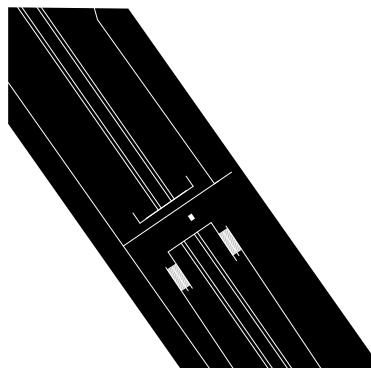
Une dernière partie développera et analysera le référentiel établi avec le commanditaire en parallèle de cette étude. Cet outil méthodologique permettra la comparaison de projets souterrains.

4. Institut Gustave Roussy

Différentes morphologies d'espaces souterrains, en plan.
Le Rockefeller Center est un bon exemple de gare de faible profondeur, qui s'étend de façon rhizomatique.

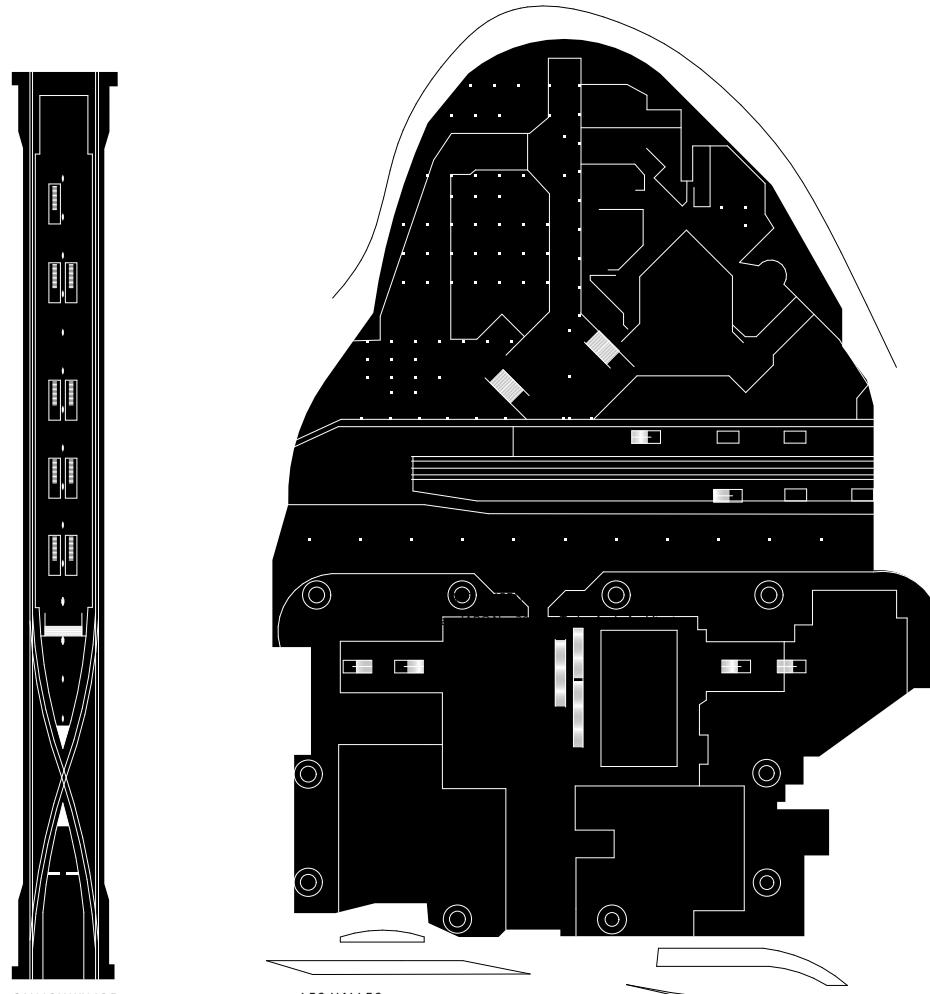


CHICHU ART MUSÉE
JAPON - 2002



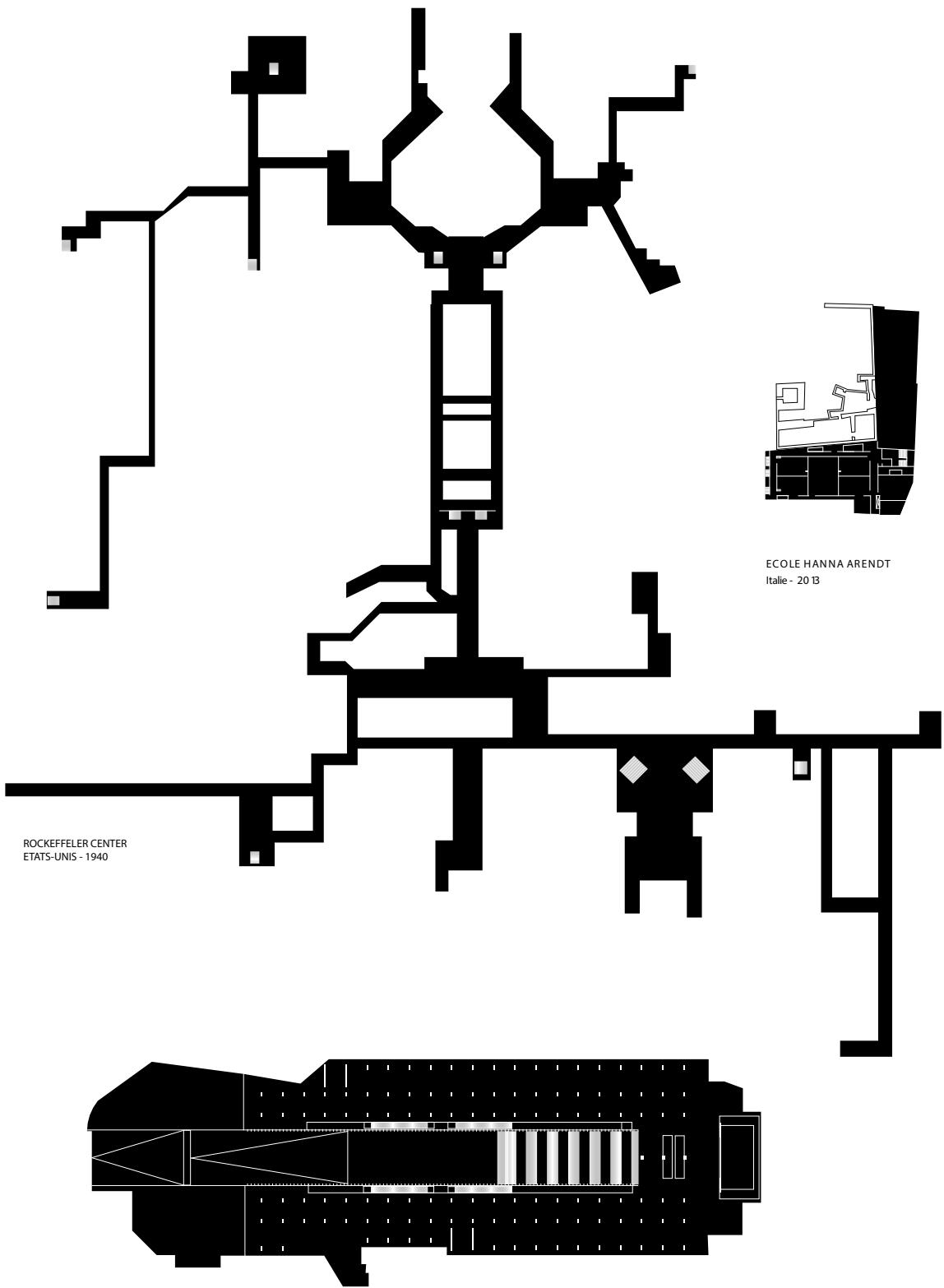
HYLLE MALMÖ STATION
Suède - 2010

10m 20m 50m



CANARY WHARF
UK - 1999

LES HALLES
France - 2017

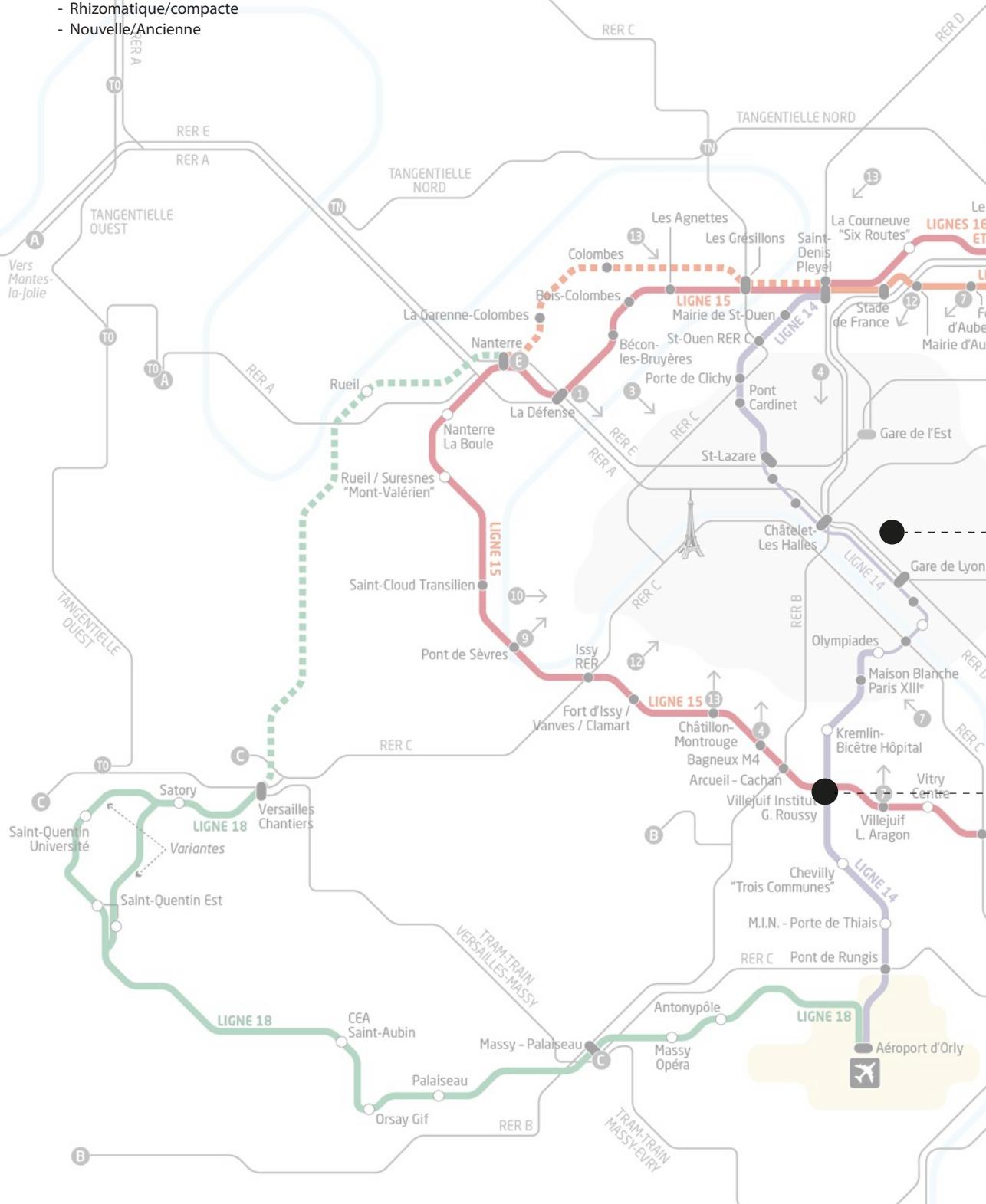


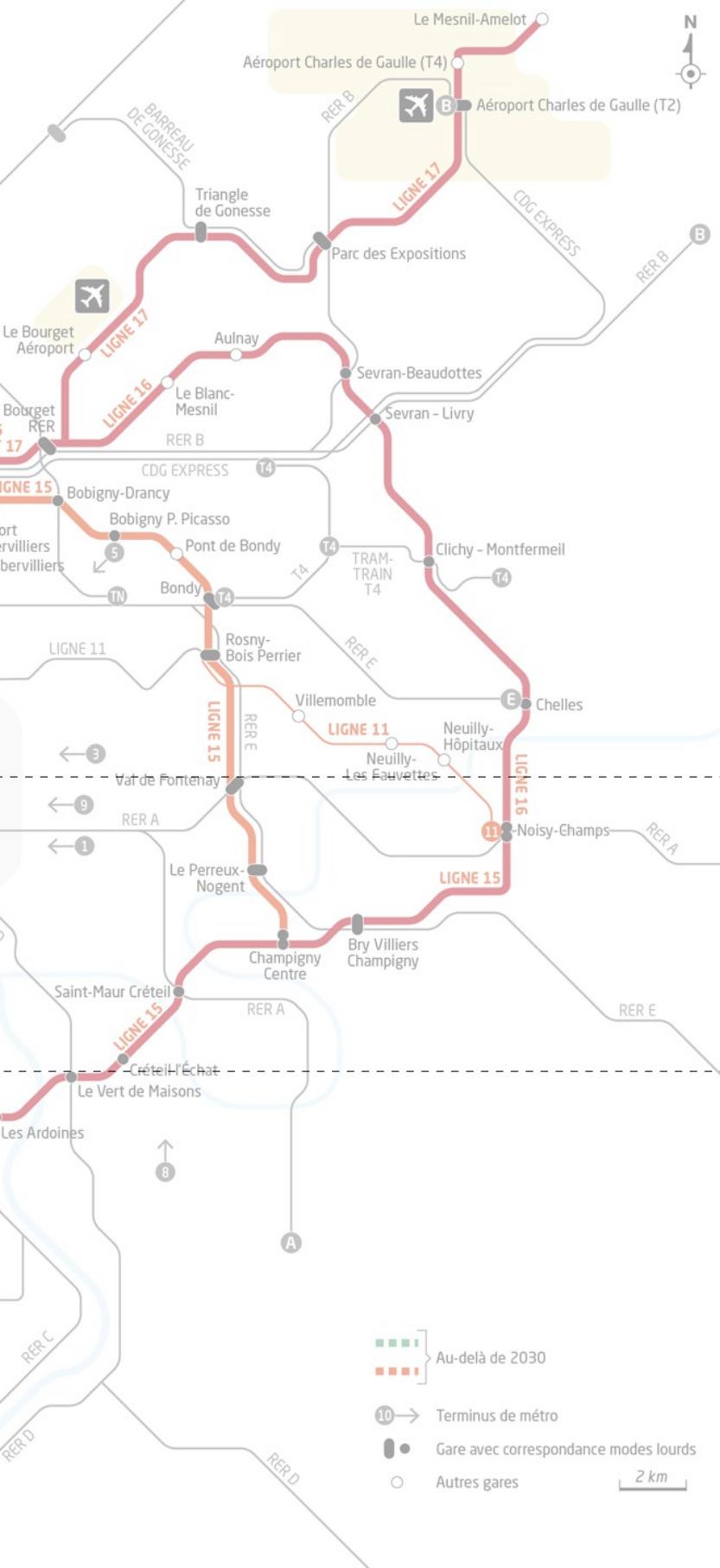
UNIVERSITE FEMININE Ewha
Corée du Sud - 2008

Carte du Grand Paris Express.

Les deux stations de métro choisies symbolisent les deux typologies exposées précédemment, soit:

- Horizontale/verticale
- Rhizomatique/compacte
- Nouvelle/Ancienne

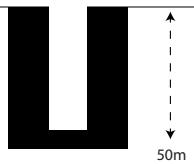




Station de Bastille



Station de Villejuif IGR



 Au-delà de 2030

10 → Terminus de métro

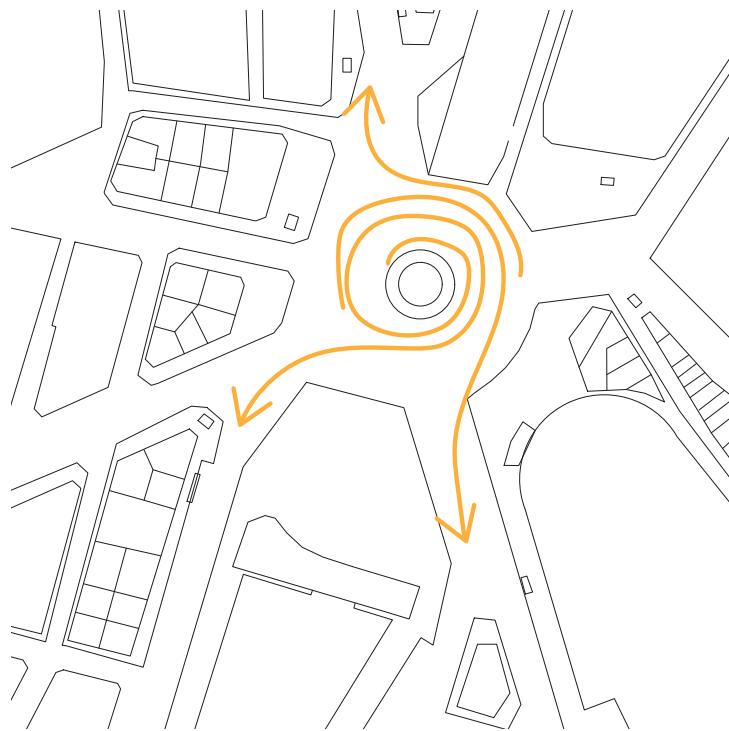
• Gare avec correspondance modes lourds

○ Autres gares

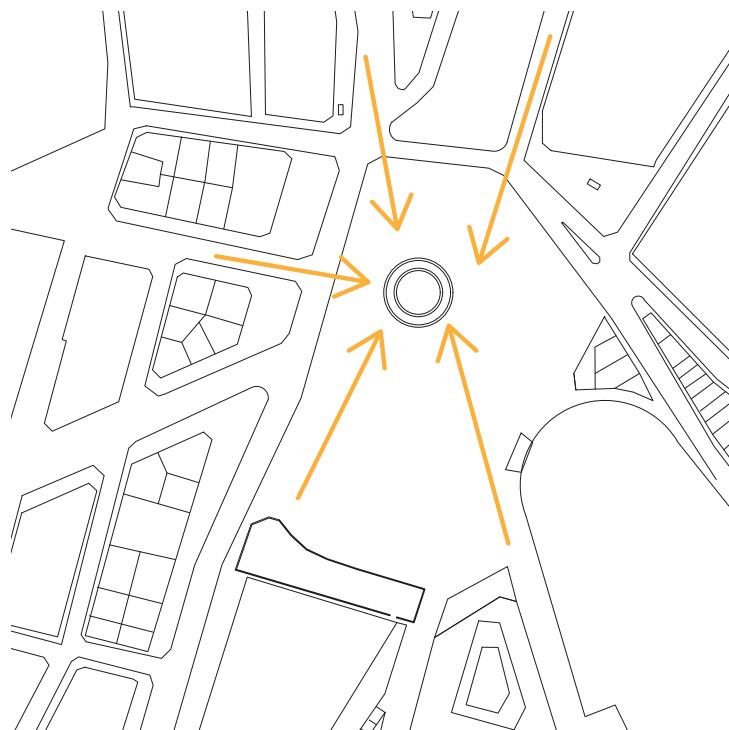
2 km

A

« Place à la Bastille : le
pari du souterrain »



Aujourd'hui : une place centrifuge, dédiée à la voiture



Demain : une place centripète, lieu de rencontre et d'animation

Introduction

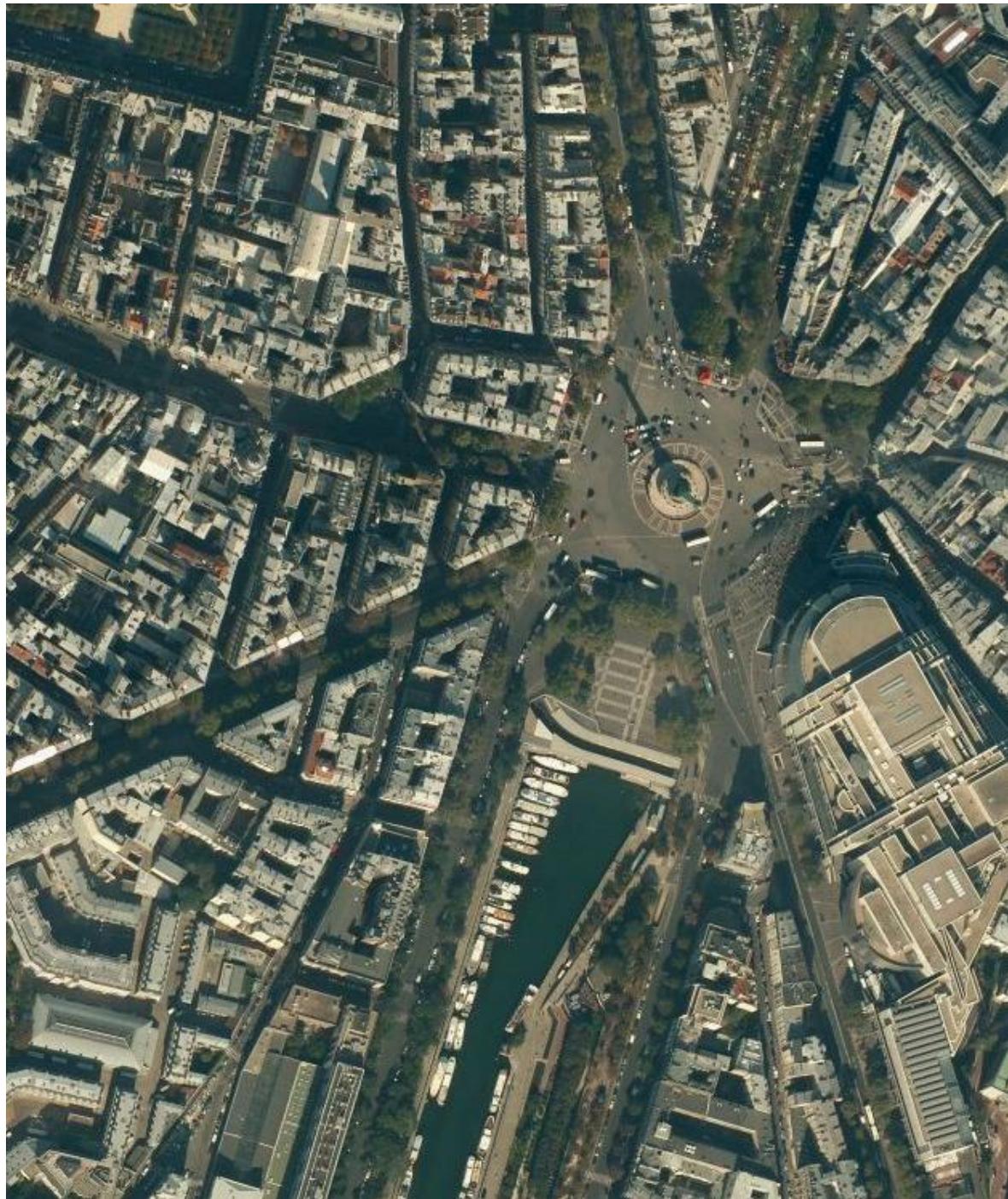
La place de la Bastille, lieu symbolique de la Révolution française, est aujourd’hui un espace de superposition de strates historiques dissociées les unes des autres.

S’y trouvaient autrefois la gare de Vincennes et le port de l’Arsenal, aujourd’hui remplacés par un flux continu de voitures. Autour du rond-point qui cercle la colonne de Juillet, la place centrifuge renvoie à sa périphérie les modes de transport doux et les entrées du métropolitain.

Ce dernier est un enchevêtrement de couloirs, organisation spatiale caractéristique du réseau parisien. Les espaces y sont peu lisibles, l’orientation complexe. Le résultat est une succession d’espaces en rupture les uns avec les autres.

De nombreuses stations du métro parisien sont ainsi déconnectées de leur environnement urbain, sans autre fonction que le transport de personnes. En réaction, notre projet se présente comme un manifeste pour la réhabilitation de ces gares, espérant encourager les politiques urbaines à réinventer les interfaces entre les deux milieux, urbain et souterrain.

La place de la Bastille aujourd'hui

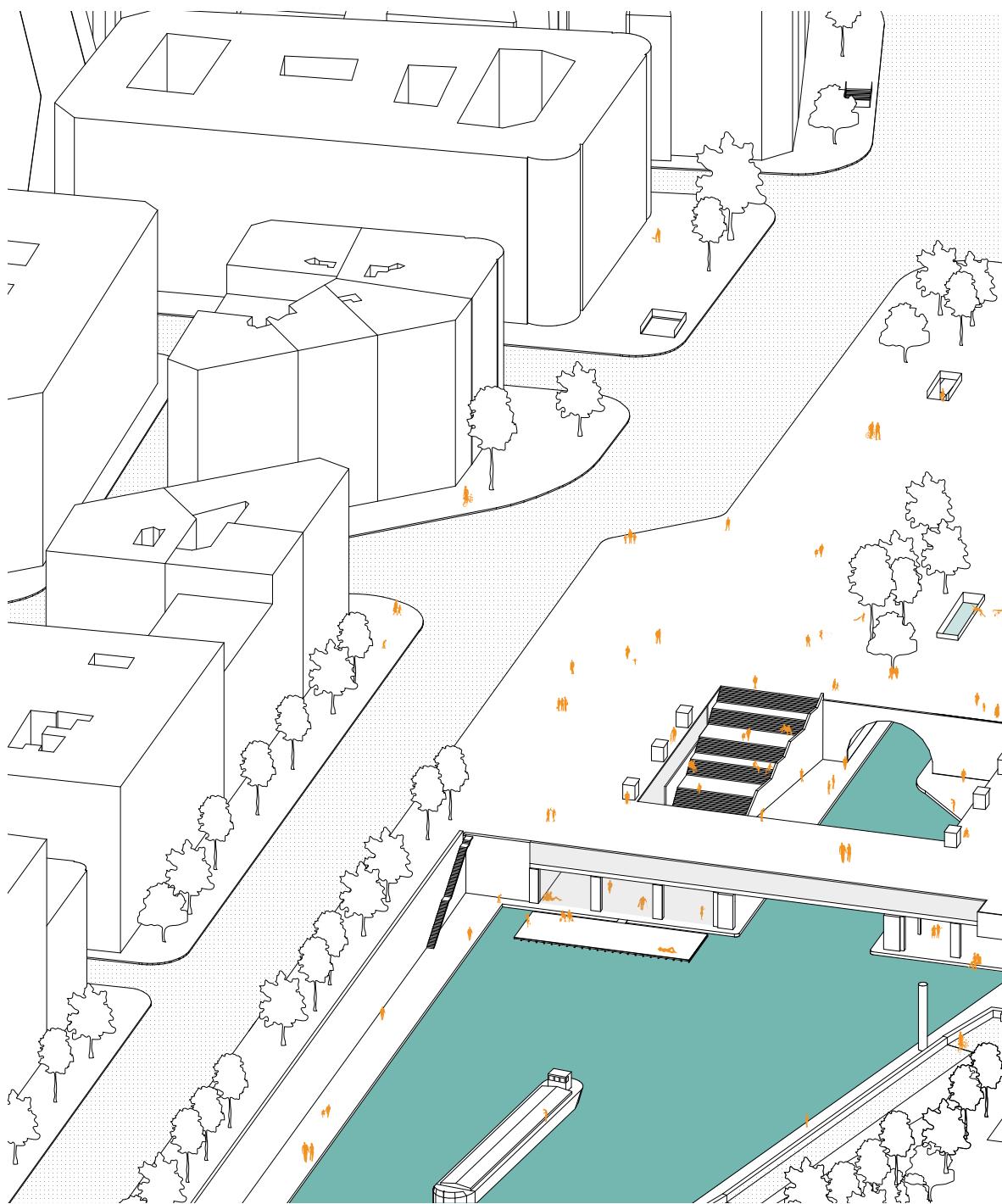


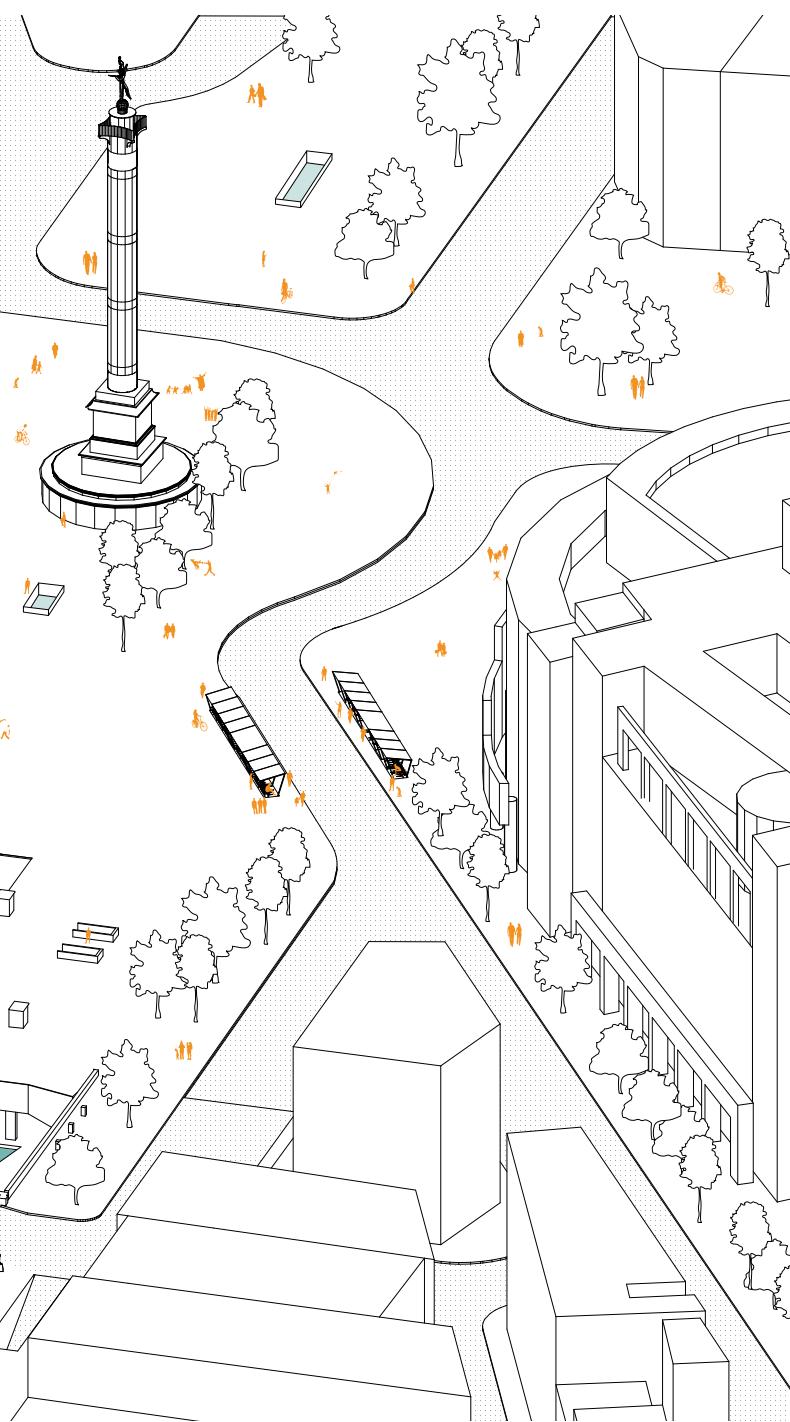


La place de la Bastille aujourd'hui, dédiée presque exclusivement aux voitures qui s'enroulent autour de la colonne de Juillet. L'emprise des transports en commun en souterrain n'apparaît pas dans l'espace public.



La place de la Bastille demain





Axonométrie de la nouvelle place de la Bastille et de sa gare, prolongation de l'espace public et lien entre la colonne et le canal.

I. Diagnostic : un réseau fonctionnaliste déconnecté

a. Un espace souterrain fragmenté

En surface comme en sous-face, des ruptures physiques et sociales empêchent une lisibilité globale de l'espace urbain et de ses potentialités. En effet, l'organisation et l'utilisation de la place de la Bastille va à l'encontre de la définition même d'une place publique, qui se voudrait être un espace de rencontre animé, une centralité urbaine réservée à l'usage strict des mobilités douces. Toutefois, cette place s'assimile davantage à un grand rond-point où piétons, vélos et entrées du métro sont chassés sur les îlots et rues avoisinants. Les traversées sont rendues difficiles et l'expérience piétonne désagréable. La perception de l'espace urbain par ses points de repère devient impossible. Aussi, la station Bastille est composée de huit entrées pour les lignes de métro 1, 5 et 8, apparues successivement en 1901, 1906 et 1913 et aux profondeurs respectives de 3, 8 et 15 mètres. Conséquence de cette chronologie, les lignes de métro 1 et 5 sont relativement proches et s'entrelacent à hauteur du canal. Quant à la ligne 8, elle se tient excentrée et croise le canal par le dessous. Cet entrelacs est donc nécessairement relié par un réseau de couloirs complexes et inefficaces. Le temps de trajet moyen d'une bouche de métro jusqu'au milieu d'un quai est d'environ trois minutes (barrières de sécurité ou excès d'affluence non compris). La station Bastille s'illustre donc par ses 70 % de surfaces dédiées à la circulation, conçus dans une logique purement monofonctionnelle et nullement mis à profit pour d'autres programmes. Ces milliers de mètres carrés ne pourraient-ils pas devenir le support de nouveaux usages, et ainsi offrir une nouvelle dimension à l'espace souterrain ?

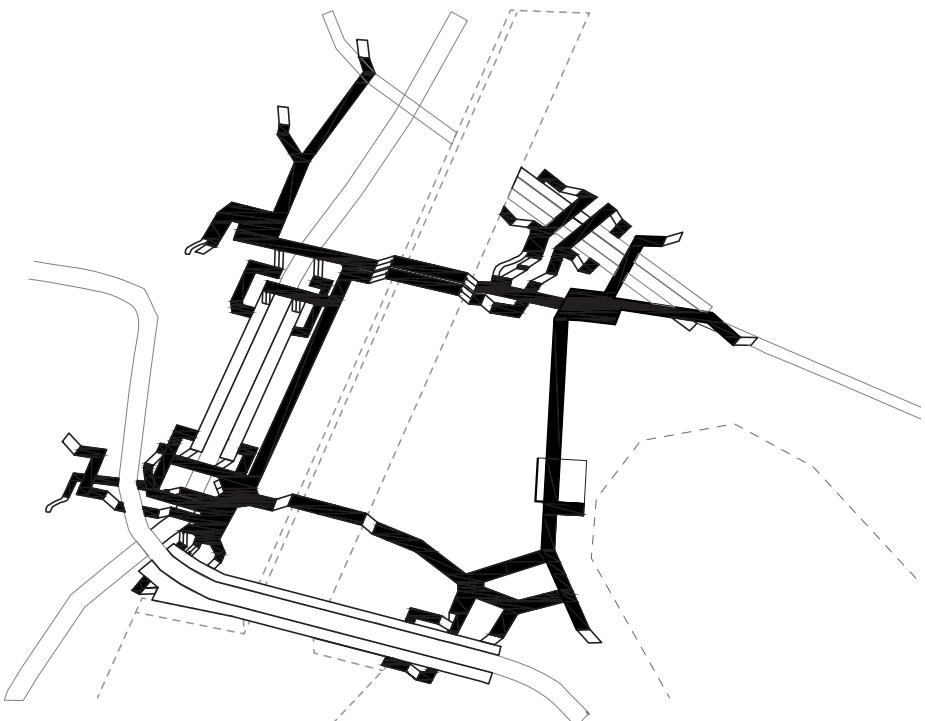
b. Un espace monofonctionnel sans interface entre la surface et la sous-face

La mono-fonctionnalité du tissu souterrain et de l'urbanisme de surface renforce la ségrégation et l'absence de dialogue, empêchant la station Bastille de devenir une véritable gare.

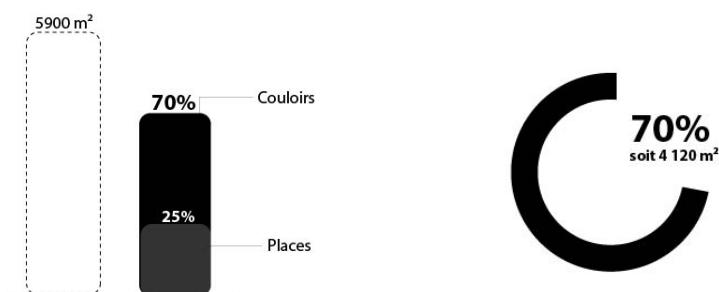
Pathologie commune à la majorité des stations de métro à Paris, cette absence d'interface est également une limite à l'accessibilité pour tous (PMR, poussettes, personnes âgées, etc.). De surcroît, le peu de services mis à disposition n'incite

pas l'usager à se promener ou à ralentir le pas. Ainsi, chaque usager a le même comportement dans ces espaces, les rythmes se lissent et les pics d'affluence deviennent pénibles voire intolérables.

Ce diagnostic met en évidence les problématiques énoncées dans l'état de l'art, à savoir une fracture dessus/dessous, une mono-fonctionnalité des réseaux et, par conséquent, l'absence d'une interface. Le projet de Bastille a donc pour ambition de rentabiliser et d'intensifier l'infrastructure existante, de la rendre multifonctionnelle, de créer une interface surface/sous-face et de réutiliser le potentiel fluvial du canal. Le tout grâce à une nouvelle centralité : la gare de la Bastille.

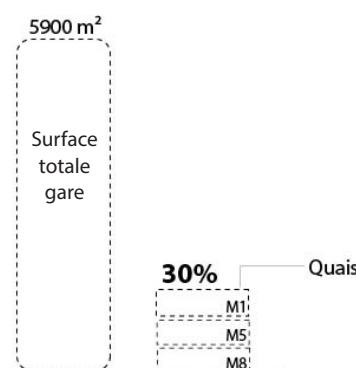
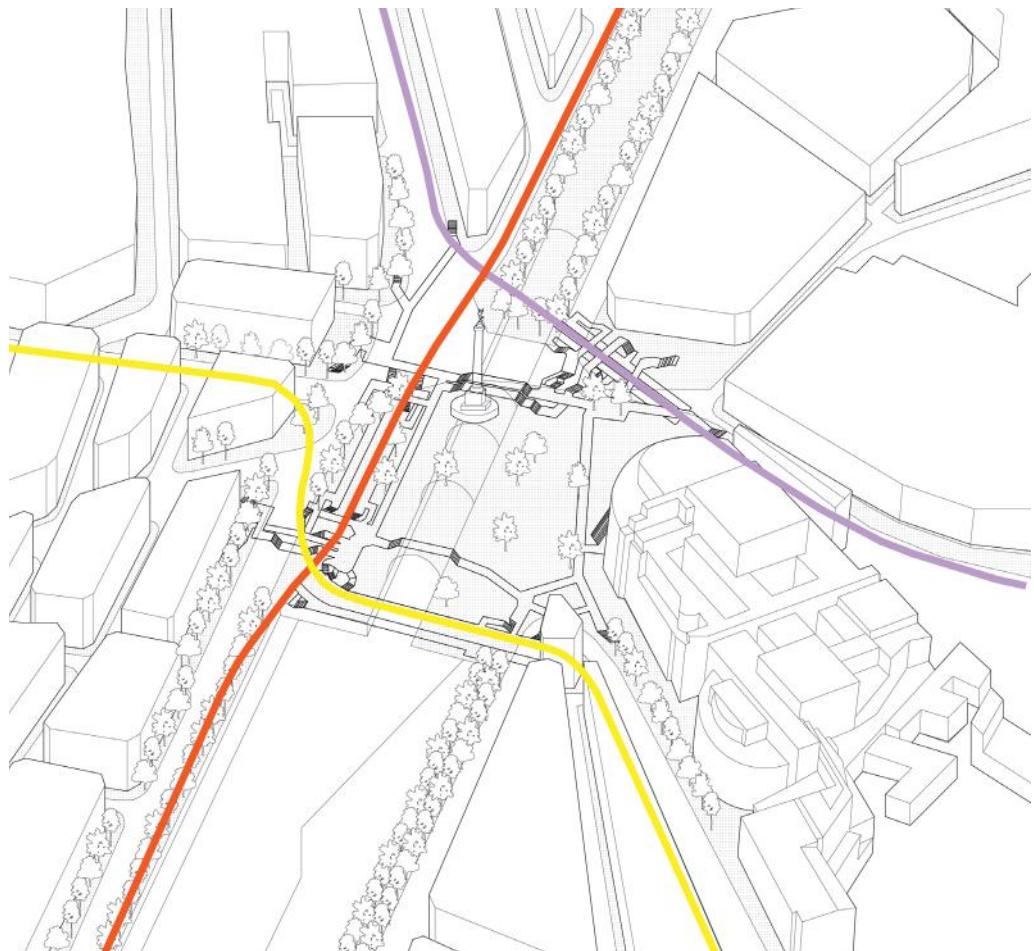


Une station composée pour l'essentiel de couloirs



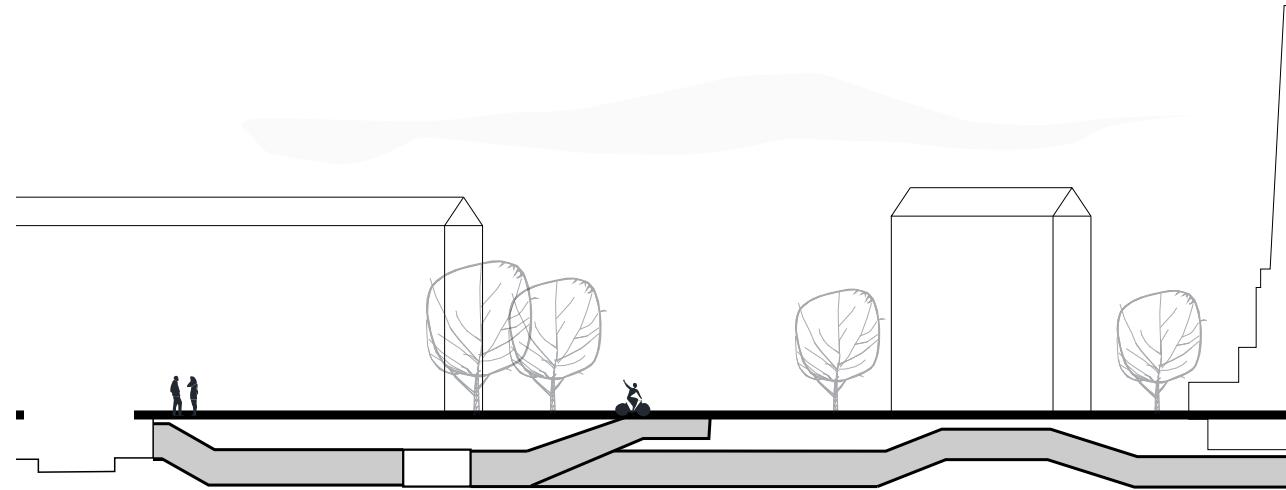


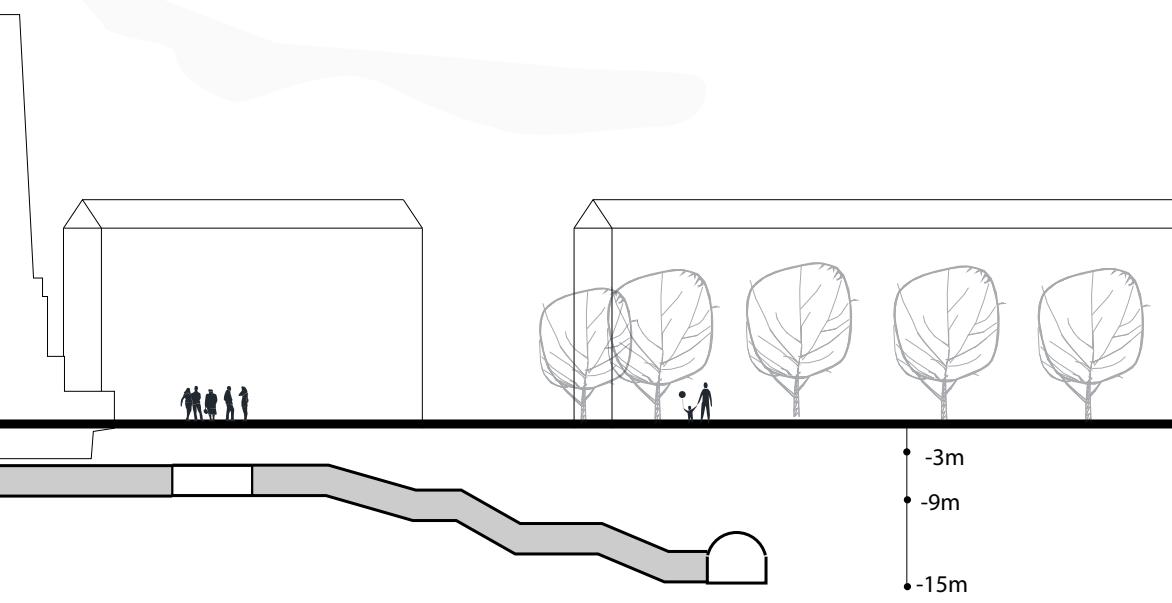
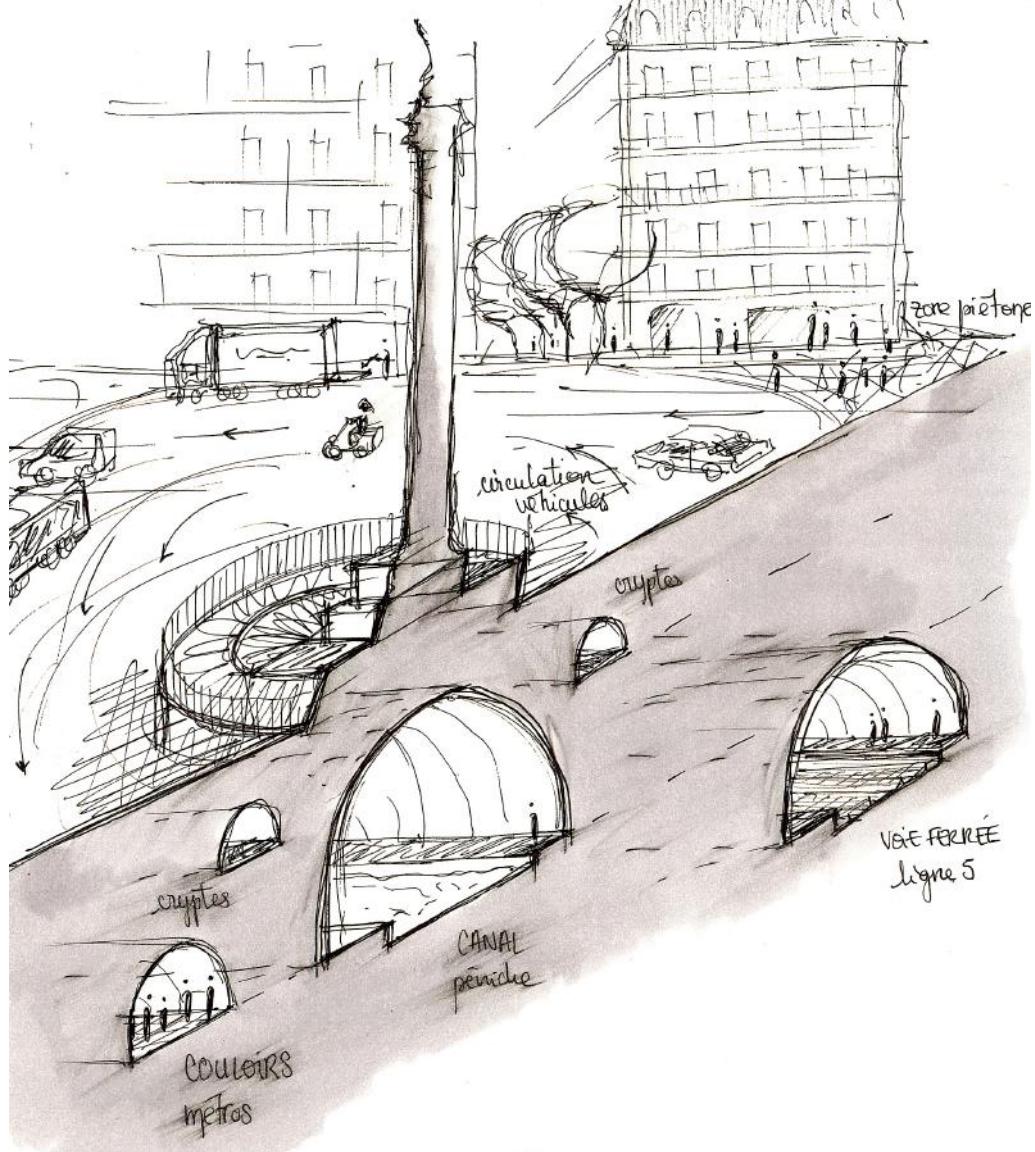
Un espace souterrain morcelé,
composé principalement de couloirs.
On observe que la ligne 8 est éloignée des lignes 1
et 5, ce qui la rend difficile à intégrer au projet.



Bas : coupe longitudinale entre le canal et la colonne de juillet : une absence d'interface
Droite : coupe schématique sur la place actuelle

On y voit la place importante donnée à la voiture ainsi que la fracture entre la surface et la sous-face.







Le canal Saint-Martin servait à une époque de port, pour approvisionner le quartier de la Bastille et le reste de Paris en marchandises. Aujourd'hui, plus rien de cela n'existe, mais la renaissance du port de l'Arsenal est proche.

Pour des raisons techniques d'alimentation du quartier Bastille, le fret ne transitera pas directement de la

navette fluviale au métro mais sera acheminé de la navette à des vélos.

De même, les trajets retours des péniches, optimisés par l'évacuation des déchets permettront la diminution de la circulation de camions dans Paris.

II. Bastille : une plate-forme logistique

« *Les problèmes d'embouteillage furent récurrents dès le Moyen-Âge. La pollution due aux déplacements hippomobiles engendrait déjà nuisances et insalubrité. L'évacuation de déchets de toutes sortes imposait aux autorités de légiférer en conséquence. L'approvisionnement de la capitale demeura en permanence un enjeu politique majeur.*

Les chevaux ont été remplacés par les véhicules à moteur. La poussée démographique et l'étalement urbain ont modifié le contexte socio-économique. Pourtant, nous nous apercevrons très vite que la base du problème encore aujourd'hui est identique : comment acheminer les marchandises au cœur des villes tout en générant le minimum de nuisances ? »¹

Cet extrait met en évidence l'enjeu majeur que représente le transport fluvial dans le contexte géopolitique d'aujourd'hui. Pour une ville comme Paris, déjà congestionnée par les véhicules personnels, le transport de marchandises nécessite 120 000 véhicules de livraison par jour, émettant chacun 200 g de CO₂ par kilomètre. La recrudescence des échanges maritimes nous rappelle que ce mode de transport est nettement moins polluant (30 g CO₂/km) et hautement plus responsable pour l'environnement et le bien-être des habitants (nuisances sonores des camions de livraison, collecte des déchets, etc.).

Il n'est cependant pas prouvé que le remplacement des camions par des péniches Freycinet puisse faire diminuer les émissions de GES de la ville de Paris. Elles participeraient certes à décongestionner les rues parisiennes, mais seule une utilisation optimale rentabilisant les trajets aller et retour aurait un impact notable.

Ainsi, charger ces péniches de déchets pour leur trajet retour, habituellement effectué à vide, pourrait théoriquement faire diminuer de 0,4 % les émissions de GES intra-muros.

Comme le montre la carte qui suit, Bastille occupe une position géostratégique à l'échelle de Paris. Aux abords du canal et donc en lien direct avec la Seine, ce site profite également de la présence des lignes de métro 1 et 5. A l'image des villes romaines, ces voies ferrées desservent les axes nord-sud et est-ouest.

¹ COLLOT, Jacques, *Peut-on intégrer un maillon fluvial dans la logistique urbaine ?*, mémoire de fin d'études, 2012

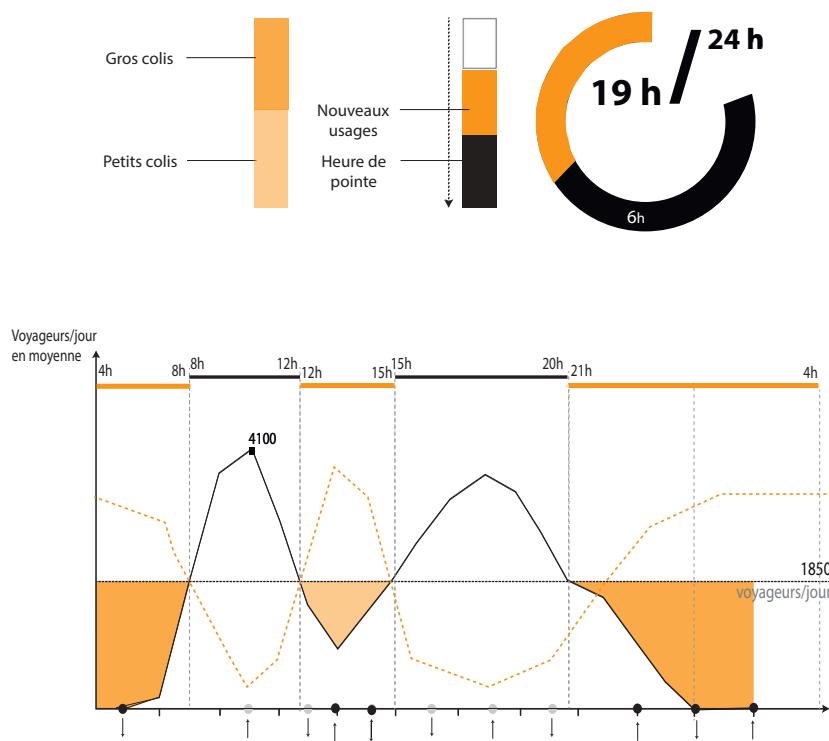


Nouveau réseau logistique créé Nord/Sud via la ligne 5 et Est/Ouest via la ligne 1 permettant l'optimisation de l'infrastructure existante et réduction des transports de marchandises par camions dans Paris.

Le projet vise à relier le canal et les lignes de chemin de fer, notamment afin d'assurer l'échange de marchandises en période creuse (lorsqu'aucun passager n'est présent). Les livraisons peuvent ainsi s'effectuer du canal vers le quartier mais également du canal vers le métro grâce à des wagons spécifiques.

Facilitant ainsi le dernier kilomètre parcouru par les marchandises, cette alternative permettra de réduire le nombre de camions entrants et sortants dans le quartier, de réduire les nuisances sonores et d'obtenir un meilleur bilan carbone. Cette plate-forme logistique permet de palier à l'actuelle inutilisation de la gare hors période d'ouverture. Afin d'intensifier cette utilisation, une ré-organisation de l'installation actuelle est indispensable et sera un axe majeur du projet architectural.

La création à Bastille d'une plate-forme logistique fait partie d'une démarche de multi-modalité. Elle intensifie l'usage du lieu dans le temps. Comment se manifeste cette intensification dans l'espace ?



Utilisation des heures creuses et des heures de fermeture de la station pour le transport de marchandises

III. Le projet d'une reconnexion

a. Rendre sa place à la Bastille

Au vu du diagnostic développé précédemment, il semble nécessaire de réintroduire les modes de mobilité douce (piétons, cyclistes, etc.) au cœur même de la place.

Dans un premier temps, un traitement urbain et une requalification de la place est indispensable. Ce projet s'inscrit d'ailleurs dans la démarche urbaine Réinventons nos places ! initiée par la mairie de Paris en juin 2015. Les axes majeurs reposent sur un nouveau traitement de sol ainsi que sur une franche intervention végétale. A l'image de la nouvelle place de la République conçue par l'agence TVK, ces travaux doivent permettre aux habitants de retrouver le désir de s'approprier l'espace public.

Au-delà de cette intervention en surface, le projet de la gare s'engage à être un véritable support de la multi-modalité (Vélib', Autolib', bus, zones d'auto-partage, etc.). La création de mobiliers urbains intelligents doit permettre l'installation de 400 m² de panneaux photovoltaïques dont la production représentera plus de trois fois l'énergie nécessaire à l'éclairage de la gare.

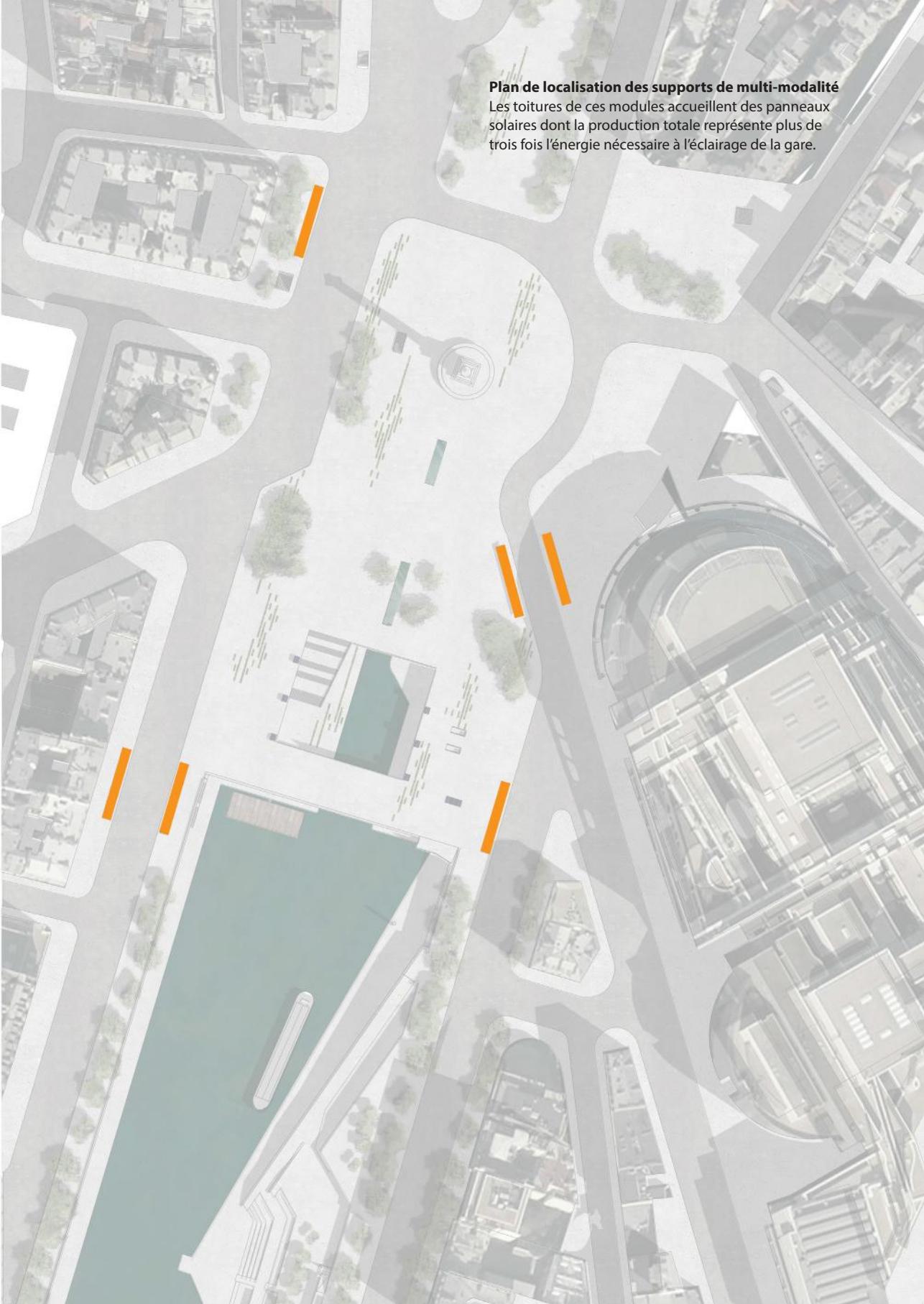
Dans un second temps, il s'agira de simplifier le tissu souterrain existant en clarifiant le fonctionnement général de la station : un accès principal unique situé au sud de la place et une circulation simplifiée sur deux niveaux principaux. L'entrée de la gare de la Bastille devient ainsi le centre névralgique de la place.

Afin d'améliorer l'attractivité et l'efficacité des conditions d'accès au souterrain, une continuité urbaine est proposée depuis la colonne de Juillet jusqu'au canal. Celle-ci est permise par la couverture complète de la ligne 1 et la création d'un escalier monumental, à la manière des vastes emmarchements devant l'entrée des deux Opéras parisiens, ou encore en référence au parvis du Centre Georges Pompidou. Des paliers fréquents permettront des accès efficaces aux différentes lignes de métro 1 et 5, tout en proposant une promenade architecturale. Associé à ces dispositifs, un recul des zones de contrôle est prévu au niveau des quais de chaque ligne, prolongeant définitivement l'espace public vers l'espace souterrain.

L'installation de six ascenseurs s'ajoute au projet afin d'en éliminer définitivement le caractère ségrégatif. Ainsi, à seulement trois mètres en contrebas, les quais de la ligne 1 sont en continuité avec le plancher haut de la gare qui devient le niveau principal où se retrouvent la plupart des locaux de service. Quant au

Plan de localisation des supports de multi-modalité

Les toitures de ces modules accueillent des panneaux solaires dont la production totale représente plus de trois fois l'énergie nécessaire à l'éclairage de la gare.



niveau bas, il est en continuité avec les quais du canal permettant ainsi une circulation fluide depuis l'espace public existant. Située 1,5 mètres en contrebas, la ligne 5 devient plus facilement accessible.

La création de l'entrée principale est rendue possible par la démolition d'une partie de la voûte supportant la voirie au-dessus du canal. Un vide sur double-hauteur dégage ainsi des vues croisées vers l'eau et les usagers des espaces en surface et en sous-sol. Le projet s'enroule ainsi autour d'un puits, accueillant des services de proximité ainsi que des espaces de stockage nécessaires au bon fonctionnement de la plate-forme logistique.

La nouvelle gare de la Bastille joue sur le registre architectural de la transparence. Cela permet un apport de ventilation et de lumière naturelles dans des espaces anciennement clos tout en créant de nouveaux points de vue vers le canal et les programmes proposés, mettant en scène le métro dans son environnement.

Ainsi, anciennement au cœur du port de l'Arsenal, le canal renaît visuellement grâce à la gare et à sa plate-forme logistique qui lui rendra son rôle historique de support de flux.

b. L'efficacité par l'intensification

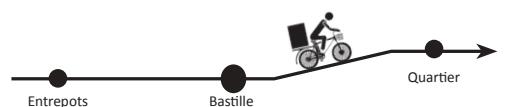
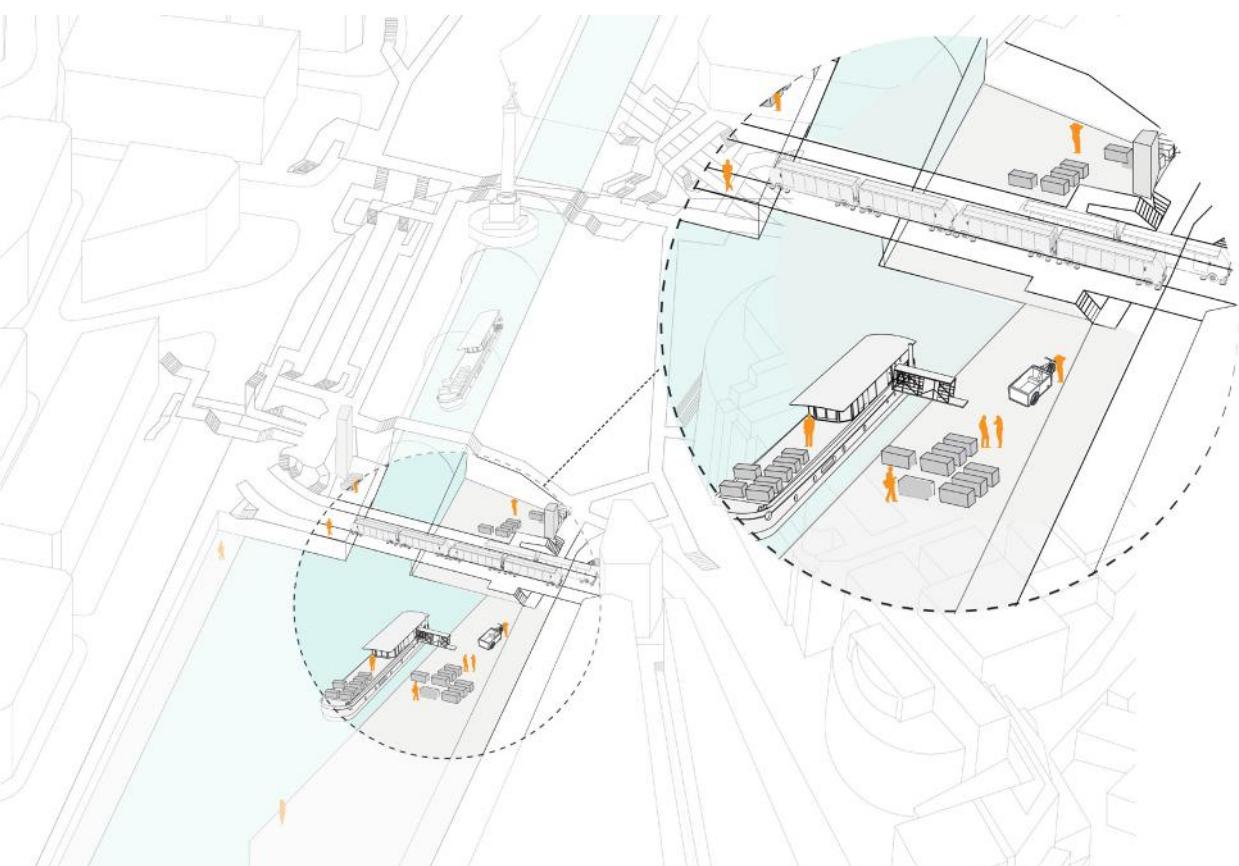
Dans la partie est du puits, à la hauteur du canal, les péniches Freycinet viennent débarquer leurs marchandises. Trois options s'offrent alors :

- une livraison directe par vélo pour les commerces, les hôtels et les restaurants du quartier ;
- une redistribution vers les quais de la ligne 1 ;
- un entreposage dans un local d'environ 150 m² prévu à cet effet.

Des monte-charges de dimensions différentes facilitent la circulation des marchandises entre les quais, le canal et la voirie en surface.

D'une capacité de stockage d'environ 600 m³, les péniches doivent être mises à profit une fois déchargées. Pour cela, elles serviront à vider quotidiennement les trois grandes cuves à déchets creusées dans le soutènement plus en aval du canal. Les péniches achemineront ces déchets vers les centres de valorisation prévus à cet effet. A proximité, le SYCTOM d'Ivry-sur-Seine brûlera une

Schéma du déchargement des péniches au niveau des quais du canal



grande partie des déchets recyclables et la chaleur récupérée sous forme de vapeur d'eau servira à alimenter le chauffage urbain pour bon nombre de parisiens (système actuellement en service avec le CPCU¹).

Accolé à l'entrepôt de stockage, un vaste espace de vente de 250 m² est créé. Faisant face à la gare, ce local profite d'une vue sur le canal ainsi que d'une orientation sud-ouest. La ressourcerie/recyclerie de la Bastille voit alors le jour. Elle sera gérée et approvisionnée par un centre d'accueil de type refuge social. Un atelier de réparation d'objets et de confection de 120 m² emploiera une vingtaine de personnes, également logées dans des dortoirs adjacents. Il est possible d'imaginer qu'un habitant du quartier vienne déposer son vélo ou sa chaise cassée, afin qu'ils soient remis en état puis vendus dans la recyclerie. Les bénéfices permettraient de subvenir aux besoins des usagers du centre social, à l'image d'un Emmaüs.

c. L'attractivité par la diversité

L'installation étant maintenant rentabilisée par la plate-forme logistique, il est aussi important de replacer l'usager au centre de ce système. Surtout développés dans la partie ouest du puits, ces nouveaux services répondront aux besoins du quartier : conciergerie, bornes colis libre-service, pressing, service de locations de véhicules, billetterie (transport et espaces culturels), distributeurs, etc. Anciennement limités à 2 % de la station, ces espaces servants occuperont environ 14 % de la surface de la gare.

Au sein même des quais existants, les panneaux d'affichage seront remplacés par des panneaux multi-transports, annonçant les temps d'attente pour chaque mode de transport depuis le quai (bus, Vélib', Autolib', Utilib', métro).

Dans une logique permanente d'efficacité, une application pour tout support numérique sera créée. Elle réunira l'ensemble des services proposés, en les géolocalisant et en indiquant le temps de trajet nécessaire à leurs accès. Ainsi, un usager arrivant sur le quai de la ligne 1 et voyant que le prochain bus 76 n'arrive que 12 minutes plus tard pourra se diriger vers la conciergerie afin d'y récupérer un colis ou du linge déposé le matin même.

1 Compagnie Parisienne du Chauffage Urbain

Remplaçant les i-services actuels et démultipliant les offres de services proposées aux usagers, la gare de la Bastille devient un « organe vivant » du quartier, encourageant son usage et animant la place.

Enfin, ciment indispensable à la cohésion du projet, le café-restaurant de la RATP viendra prendre place à proximité du canal sous les quais de la ligne 1, dans la partie ouest du puits. Chacun pourra venir s'installer dans un cadre atypique, ouvert 24h/24 et 7j/7, bénéficiant d'une terrasse flottante orientée sud et protégée des nuisances sonores par le décaissé du canal. A chaque heure de la journée, cet espace pourra accueillir des usages multiples : d'une réunion de professionnels aux rendez-vous de sortie des écoles, en passant par les classiques *happy-hour* parisiens. Cet espace est avant tout créé comme un foyer de la mixité sociale. Ses horaires d'ouverture sécurisent la gare de jour comme de nuit et facilitent les transitions d'usage entre le fret et la station de transport.

d. Analyse du cycle de vie (ACV)

Dans le cadre du DPEA Architecture Post-Carbone et afin d'apporter des réponses quantifiées à Efficacity, nous avons réalisé une série de calculs permettant d'évaluer le potentiel énergétique et l'impact environnemental du projet. L'analyse du cycle de vie de chaque gare a été réalisé avec le logiciel Elodie, développé par le CSTB.

Dans un premier temps, l'estimation de la consommation énergétique a révélé un bilan à l'équilibre entre la gare existante et la gare projetée, soit environ 300 MWh/an pour une surface totale de 10 000 m². Cette consommation moyenne représente donc 30 kWh/m²/an et correspondrait théoriquement au label BBC RT2012². Or, la réglementation thermique 2012 prend uniquement en compte les besoins en chauffage, en climatisation, en eau chaude sanitaire et en éclairage. L'énergie spécifique, l'énergie grise et les transports liés à cette construction ne sont pas comptabilisés. Les émissions de GES³ quant à elles, sont limitées à 10 kg CO₂-eq./m²/an pour le niveau BBC lorsque notre projet avoisine les 25 kg CO₂-eq./m²/an.

² Bâtiment Basse Consommation Réglementation Thermique 2012

³ Gaz à Effet de Serre

Il nous est donc apparu indispensable de réaliser une analyse du cycle de vie⁴ considérant une durée de vie de la gare de cent ans. Cette analyse permet d'étendre les évaluations précédentes aux impacts écologiques induits depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la déconstruction de l'ouvrage en passant par la fabrication, le transport, la construction et l'usage. C'est également le meilleur moyen de comparer les deux projets de gare étudiés pour Efficacity. Ainsi, nous découvrons que l'énergie primaire consommée par le projet est de 153 kWh/m²/an, soit cinq fois l'énergie finale calculée initialement !

Ces résultats mettent en évidence les limites des certifications et incitent à faire des choix cohérents dès la conception, tant en terme de matériaux qu'en terme de source d'énergie. Il est d'ailleurs intéressant d'intégrer au processus même de conception des considérations relatives à la fin de vie de l'ouvrage (pourcentage de matériaux recyclés, valorisation de certains déchets, etc.). L'ensemble de ces données et de leurs méthodes de calcul sont de fabuleux outils de projet mais leur manipulation reste délicate. Une bonne interprétation de chaque facteur permet de faire des choix stratégiques et justifiés, contredisant parfois les idées reçues et les objectifs visés.

4 Qu'on appellera ACV



Coupe nord/sud orientée Ouest, dans l'axe du canal.
La gare comme espace de transition entre le souterrain
et l'espace en plein air.



Conclusion

La renaissance de la gare de la Bastille sera donc un projet manifeste pour la réhabilitation des stations de métro par son modèle connecté à l'environnement urbain et par sa volonté de s'ouvrir physiquement et visuellement sur l'extérieur. L'espace ainsi créé est agréable à pratiquer et surtout accessible à tous.

Ainsi, alors que les récents projets de réaménagement des places parisiennes (Réinventons nos places !) se concentrent sur l'amélioration de l'urbanisme de surface sans jamais mentionner son rapport étroit avec le souterrain, le projet de Bastille démontre qu'il existe un lien évident entre les réseaux souterrains et l'espace urbain. Penser le réaménagement de la surface devrait être un prétexte systématique pour la reconnecter avec son souterrain.

A l'inverse des projets d'aménagement urbain classiques, les projets de gares souterraines sont nécessairement pensés en lien avec leur environnement urbain. La qualité de ces connexions (et leur quantité) fait la différence entre une station de métro parisienne et une véritable gare souterraine. En effet, alors qu'une station se veut efficace en terme d'acheminement de ses usagers vers leurs destinations, une gare est plus qu'un lieu de passage : c'est une centralité, attractive et animée. Cette attractivité se fait par l'intensification et la pluralité des services proposés. La nouvelle gare de la Bastille permet cette reconnexion qualitative et offre à cet espace un statut urbain. Le parti pris architectural de rendre visible l'espace souterrain depuis la surface contribue à son attractivité et, par extension, à son efficacité.

La gare de la Bastille et son café de la RATP, vue depuis le canal.





B

Gare de Villejuif IGR



Gare projetée par Dominique Perrault

Une émergence discrète.

La particularité de cette gare est de ne pas être surmontée d'un bâtiment. C'est une architecture de plein air recouverte par deux vastes auvents superposés et circulaires. Les limites entre la ville et la gare sont floues.

Cette force centripète permet de reconnecter les mouvements horizontaux de la ville avec les dynamiques verticales d'accès au réseau de transport.

Les enjeux d'une gare de grande profondeur

C'est dans le cadre du Grand Paris Express que la gare de Villejuif IGR (Institut Gustave Roussy) a été imaginée par l'architecte Dominique Perrault. Située entre le parc départemental des Hautes Bruyères et le centre de lutte contre le cancer, le site est aujourd'hui très mal desservi par les transports en commun. Il faut marcher environ 12 minutes depuis les stations alentours pour y accéder.

De plus, ce quartier affiche une faible densité de population - environ 66 habitants à l'hectare.¹ Ceci s'explique par la présence de vastes espaces verts et de nombreux équipements (IGR, centre de recherche, activités sportives, châteaux d'eaux, caserne militaire, etc.). Le projet de réaménagement du quartier ZAC Campus Grand Parc inclut la gare de Villejuif-IGR et entend ainsi contribuer au désenclavement du quartier. Cette dernière s'implantera au croisement du prolongement de la ligne 14 et de la nouvelle ligne 15. À une cinquantaine de mètres de profondeur, elle sera la plus profonde de France.

Gare emblématique du futur réseau de transport, le bâtiment accueillera plus de 100 000 voyageurs par jour et un maximum de 10 000 voyageurs à la minute en heure de pointe.

Nous proposons de revenir sur le projet de Dominique Perrault pour mieux comprendre les enjeux d'une gare de grande profondeur. Une fois les leviers d'action identifiés, l'étude portera sur les morphologies associées à la future gare dans le but d'en améliorer l'expérience et ainsi ses consommations énergétiques. De cette recherche émergera la morphologie la mieux adaptée afin de développer le projet autour des enjeux de lumière naturelle en souterrain.

1 Données APUR, monographie du quartier de gare Villejuif Louis Aragon

I. Projet de la gare Villejuif IGR par l'architecte D. Perrault

a. Principe du projet

La gare IGR dessinée par l'agence Dominique Perrault fait partie du projet de réaménagement d'un nouveau territoire du Grand Paris. Elle est située à l'intersection entre la ville bâtie et le parc paysager. Il s'agit de connecter l'hôpital avec le futur campus à travers cette plate-forme d'échange qui doit assurer une multi-modalité efficace.

En souterrain, la gare est une cavité cylindrique de 70 mètres de diamètre qui se développe jusqu'à 50 mètres de profondeur. Cette particularité a beaucoup influencé sa conception architecturale. Un deuxième cylindre évidé de 30 mètres de diamètre est créé au centre du cylindre principal. Le volume est organisé autour de balcons et accueillera en son centre les escaliers mécaniques nécessaires aux cheminement des usagers vers les quais.

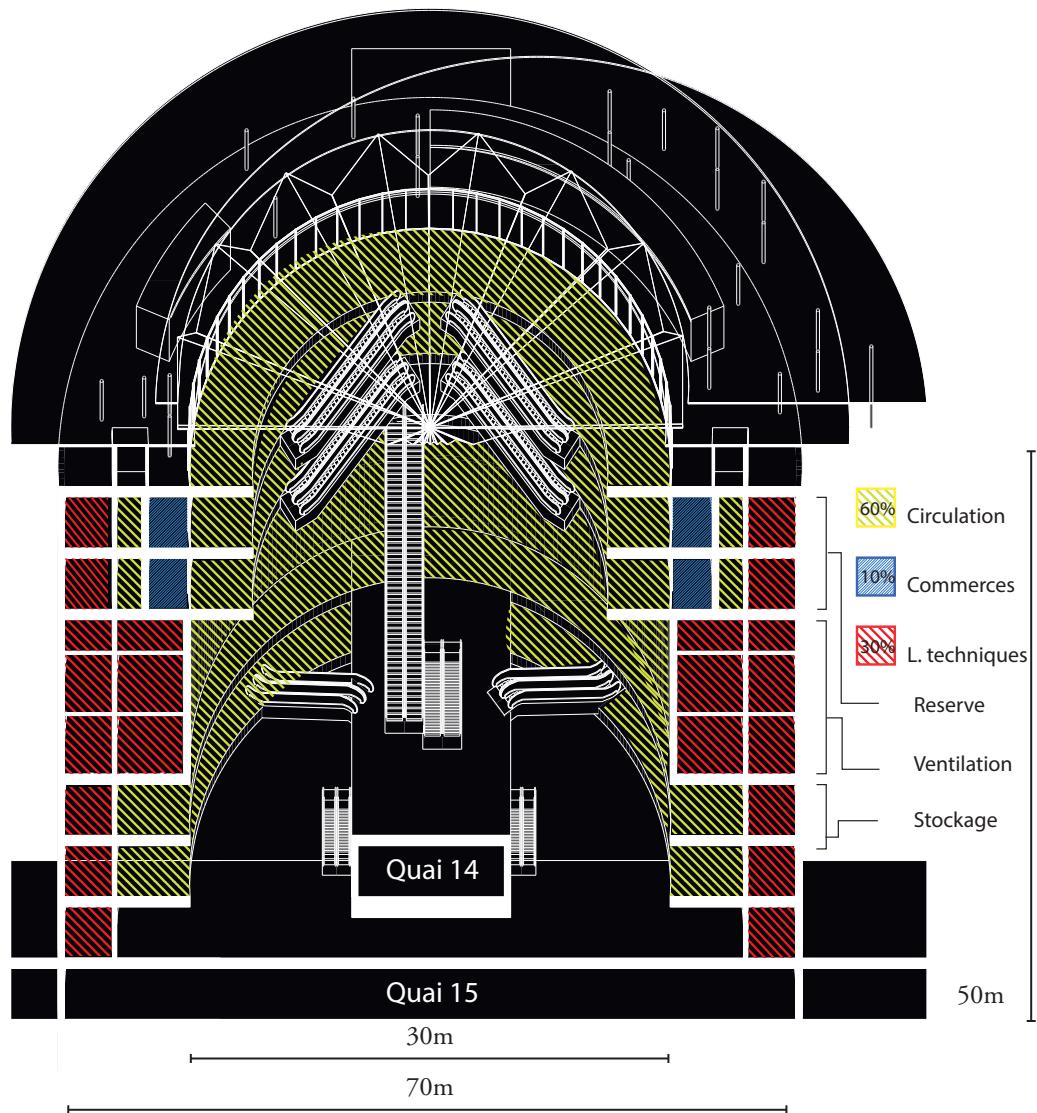
Cet espace à l'air libre est ventilé naturellement. Ainsi les usagers pourront pratiquer le souterrain tout en étant en contact avec l'air et la lumière extérieure. En attirant les éléments naturels de surface jusqu'en profondeur, les voyageurs oublient qu'ils sont à 50 mètres sous terre. Ce choix architectural laisse apprécier l'expérience monumentale de la descente sous terre - encore faut-il ne pas avoir peur du vide - mais va en contrepartie diminuer l'apport de lumière naturelle jusqu'en profondeur.

b. Programme

Répartie sur neuf étages et sur 20 000 m² de surface de planchers, la gare est fragmentée par catégorie de services. Les niveaux les plus profonds sont occupés par les espaces dédiés aux transports en commun : quais, plate-forme d'échange, salles de commande, stockage... Les suivants sont inaccessibles au public : on y trouve seulement les locaux techniques nécessaires au bon fonctionnement de la gare. Il faut donc prendre l'escalator central pour traverser cette zone de fracture. Trois étages plus haut, cette fracture se matérialise par la ligne de contrôle qui est repoussée jusqu'à l'étage commercial ouvert à la ville. Cette zone est alors accessible aux utilisateurs de la gare ainsi qu'aux riverains.

Nord

Sud



Une gare de grande profondeur : un défi architectural.

En souterrain, la gare est un trou cylindrique de 70 mètres de diamètre qui se développe jusqu'à 50 mètres de profondeur. Un deuxième cylindre évidé de 30 mètres de diamètre est créé au centre du cylindre principal. Les circulations horizontales (balcons) et les

circulations verticales (escalateurs mécaniques) sont placées au centre du volume. En conséquence, ce choix architectural diminue l'apport de lumière naturelle jusqu'en profondeur.



Une gare connectée avec son environnement.

La gare IGR dessinée par l'architecte D. Perrault, fait partie du projet de réaménagement d'un nouveau territoire du Grand Paris. Elle est située à l'intersection entre la ville urbaine et paysagère. Il s'agit de connecter l'hôpital avec le futur campus à travers cette plateforme d'échange qui doit assurer une multimodalité efficace.

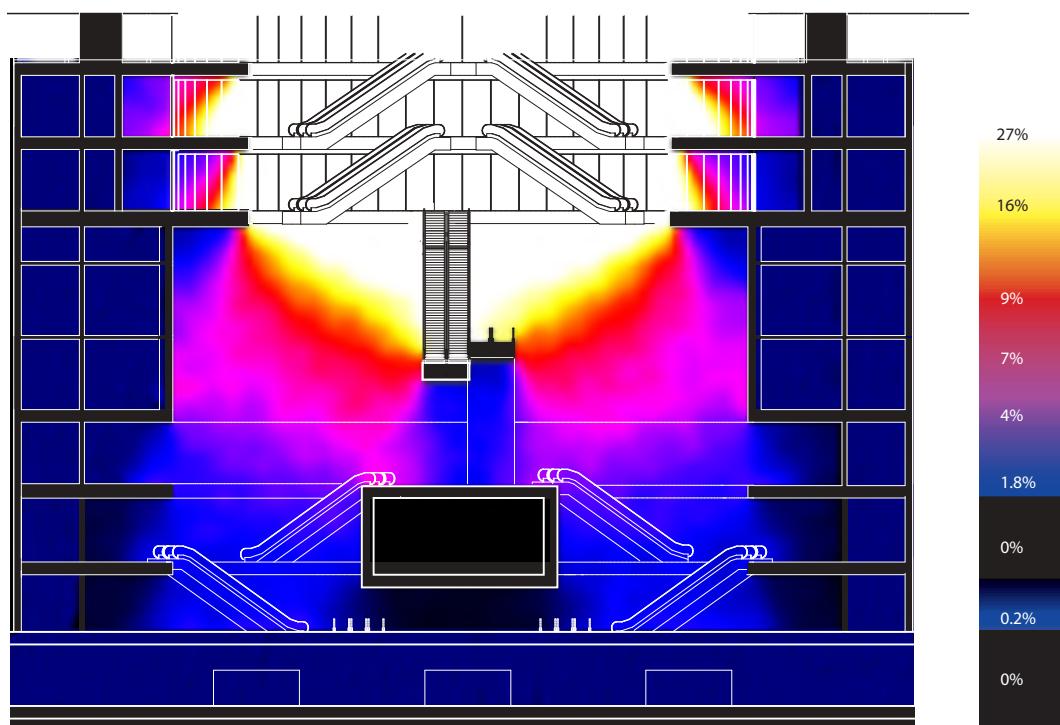
- 2 Le FLJ est le rapport de l'éclairement naturel intérieur reçu en un point (généralement le plan de travail ou le niveau du sol) à l'éclairement extérieur simultané sur une surface horizontale, en site parfaitement dégagé, par ciel couvert. Il s'exprime en pourcentage. Facteur Lumière du Jour obtenu grâce au logiciel Archiwizard

c. Axe d'étude

Dès le lancement de la commande, Efficacity a exigé d'assurer au minimum un niveau d'éclairage de 200 lux en souterrain. De là, nous nous sommes interrogés sur la superficie des espaces éclairés naturellement à moins de 200 lux. Ceci nous a permis de déterminer la consommation électrique de la gare due à l'éclairage artificiel.

Pour cela, nous avons réalisé une étude du facteur lumière jour (FLJ)². Par exemple, si on note à Paris un éclairage lumineux extérieur d'environ 20 000 lux, correspondant à un ciel nuageux à midi, et que le FLJ d'un espace donné est de 1 %, alors on peut en déduire que la surface en ce point reçoit 200 lux. A partir de cette méthode, nous avons pu déduire la consommation énergétique en électricité de la gare résultant de l'éclairage, elle est équivalente à : 47 MWh/an.

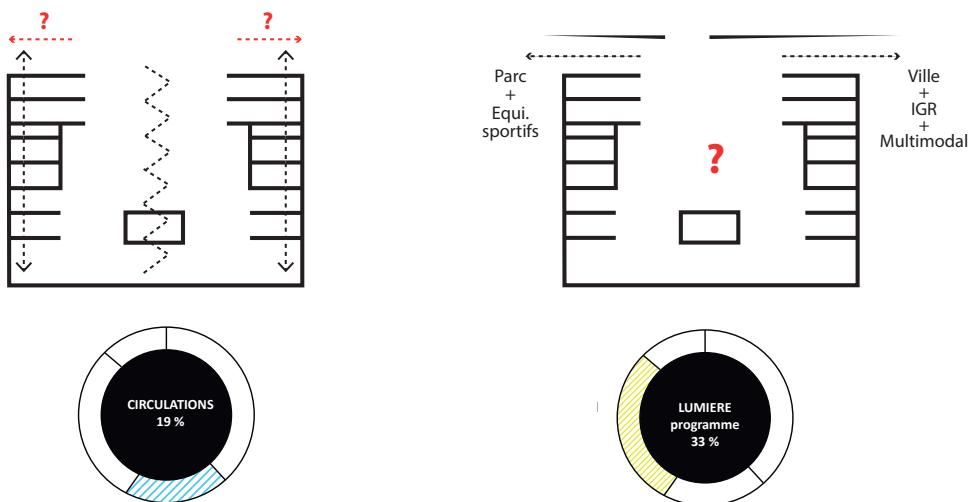
Par ailleurs, les 32 circulations mécaniques fonctionnent de jour comme de nuit. Elles consomment 63 MWh/an contrairement aux ascenseurs qui peuvent consommer 21 MWh/an.



d. Les enjeux

A partir de ce diagnostic contextuel, architectural et énergétique, nous avons pu conclure que la volonté d'amener la lumière naturelle en profondeur doit être motrice dans la conception du projet. Par ailleurs, l'étude énergétique ainsi que les informations données par Efficacity montrent que l'éclairage artificiel est le secteur le plus consommateur d'électricité.

Afin d'améliorer l'attractivité et l'efficacité énergétique de la gare Villejuif-IGR, le traitement des apports de lumière naturelle nous guidera tout au long de l'étude. En parallèle, l'objectif est de proposer un réaménagement et une complémentarité des services afin de créer une continuité de la surface vers les transports souterrains. Cette transition sera aussi améliorée par la modification des circulations verticales qui doivent être plus efficaces sur le temps de descente et sur leur consommation énergétique.

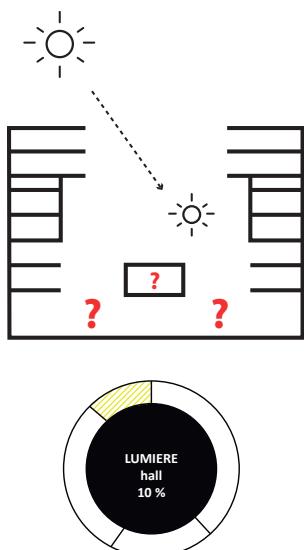


II. Rendre l'espace souterrain désirable et soutenable

a. Amener la lumière naturelle au cœur du projet

La lumière naturelle est l'un des enjeux principaux de toute conception architecturale. Elle se décompose sous forme de rayons directs, réfléchis et diffus³. L'enjeu majeur d'une gare de cette profondeur est d'amener jusqu'en souterrain cette lumière. Accessible librement et en grande quantité, elle permet de moduler les relations entre l'intérieur et l'extérieur. L'objectif est donc de trouver une morphologie qui permette de capter un maximum de lumière du jour en la distribuant et en la conduisant dans la gare enterrée.

La géométrie du puits et sa matérialité (paramètres de transmission et de réflexion) sont à prendre en compte dans l'aboutissement de la morphologie. Les saisons et les heures de la journée, l'orientation et l'inclinaison sont déterminantes pour obtenir un bon éclairement.



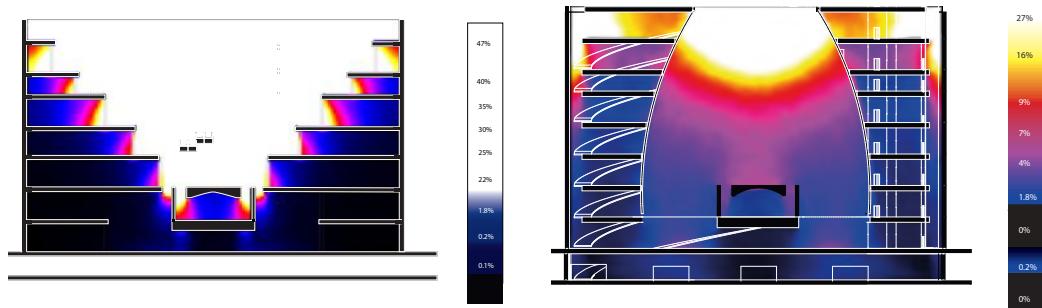
- 3.. La lumière directe atteint directement la surface à éclairer, elle est réfléchie lorsqu'elle atteint le sujet après réflexion. Elle est diffuse lorsque les rayons sont transmis à travers un matériau translucide.

b. La morphologie de sphère et de gradins

A la suite d'une recherche morphologique - la pyramide, le cône, la sphère, le gradin, le gruyère - nous avons étudié le potentiel de ces formes dans un calcul du FLJ à l'aide du logiciel Archiwizard. Cette analyse nous a permis de mettre en évidence les qualités lumineuses de la morphologie en gradins et de celle de la sphère.

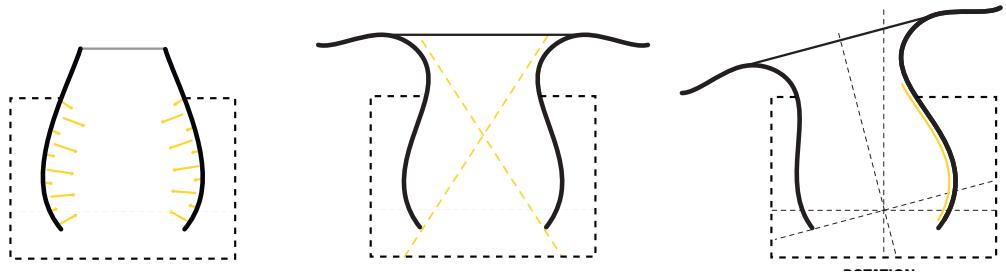
Avec une ouverture plus petite en surface, la sphère permet toutefois d'obtenir une lumière plus intense. Ses parois captent la lumière et la diffusent de manière homogène dans son intérieurité. Elle est alors transmise par réflexion dans les étages inférieurs et guidée jusqu'au quai le plus profond.

La morphologie en gradins, par son élargissement progressif, offre des espaces à l'air libre qui bouleversent la limite entre l'intérieur et l'extérieur. La lumière du hall est donc plus intense, au détriment du confort des espaces de service dont les surfaces les plus importantes se situent aux derniers étages.



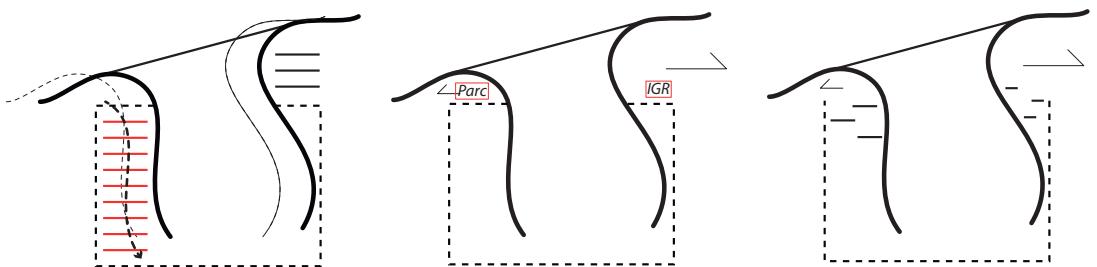
c. Une morphologie hybride

La sphère permet de capter un maximum de lumière dans son intérieurité. La matière de cette enveloppe, plus large au sud, joue le rôle de réflecteur. La lumière est alors emprisonnée dans le vide central. Évaser les parties supérieures de la sphère permet de faire pénétrer les rayons (directs, réfléchis et diffus) à incidences variées dans le volume. La coque s'oriente vers le sud avec une inclinaison de 15° et capte ainsi une plus grande quantité de lumière.



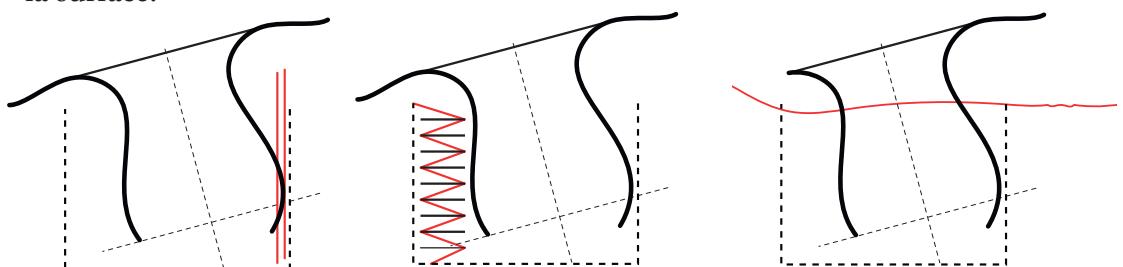
La coque est décalée vers le nord pour dégager en direction du parc une surface de plancher utile plus importante. Avec cette modification, nous obtenons une succession verticale de services, créant une continuité de la surface jusqu'au quai le plus profond. Au rez-de-chaussée, les services répondent aux besoins du futur quartier.

Cette morphologie offre une surface totale de planchers plus importante que celle proposée par Dominique Perrault, grâce notamment à la double courbure qui se rétrécit à certains étages. Elle permet alors l'intensification programmatique et offre une multiplicité de vues entre les services.

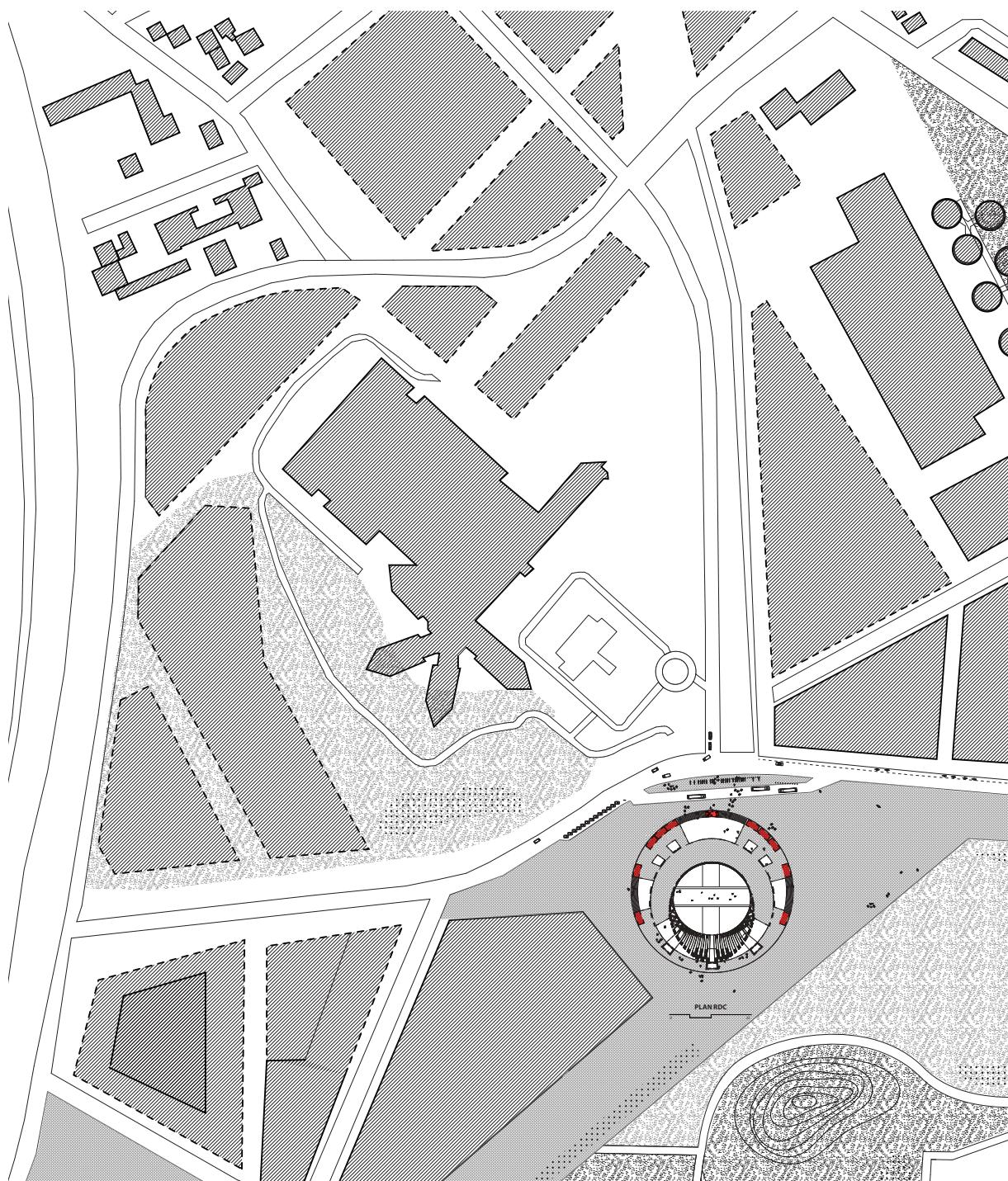


La répartition des circulations n'est alors plus symétrique mais répond au contexte urbain. En effet, cette dissymétrie s'oriente au profit d'une intensification des services côté ville et une réduction côté parc.

La circulation rapide et efficace par les ascenseurs est multipliée alors que le nombre d'escalateurs mécaniques est diminué. L'ascenseur, moins énergivore que l'escalier mécanique, est privilégié dans le nouveau projet. Il permet également de diminuer considérablement le temps de parcours entre les quais et la surface.



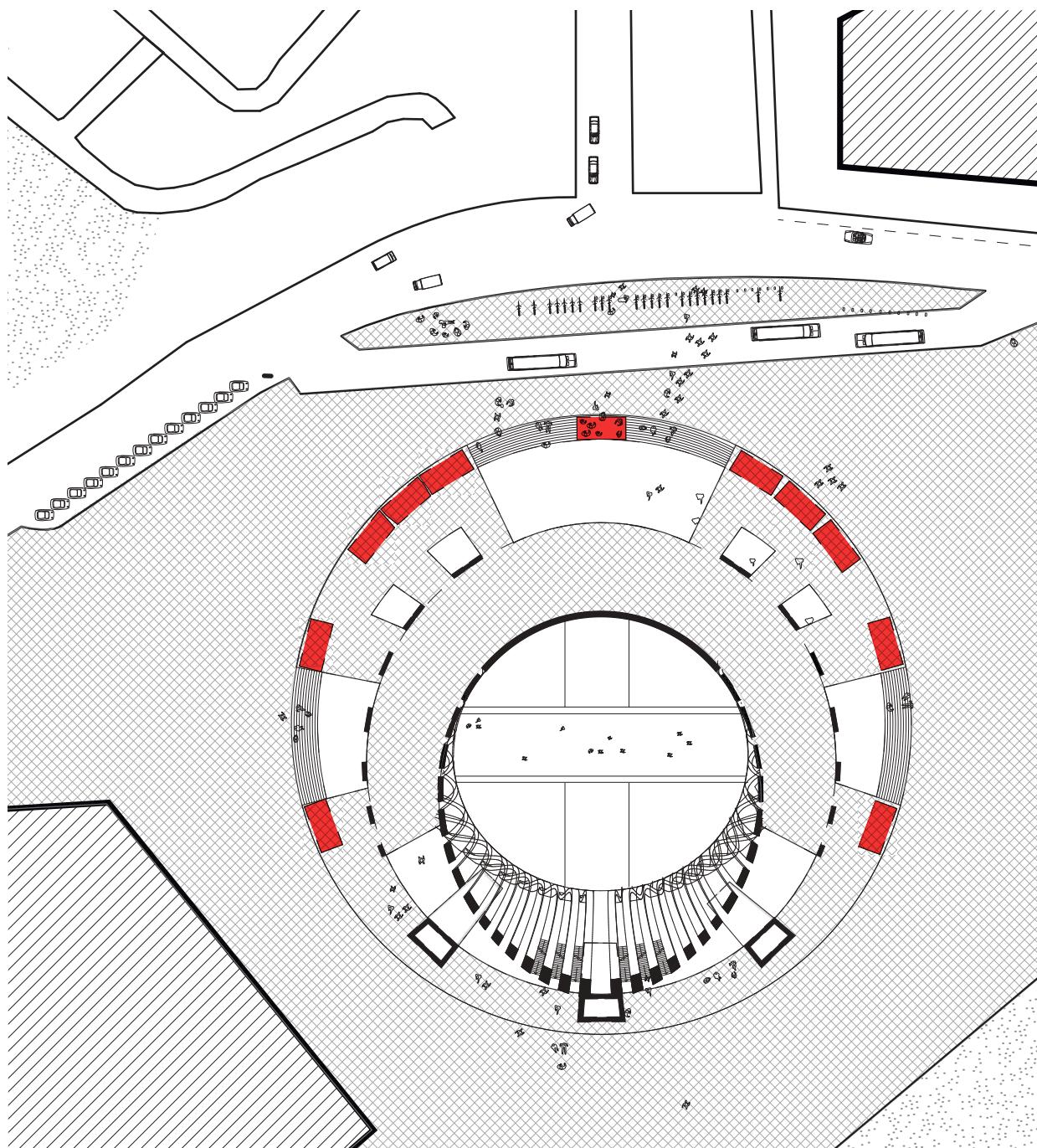
Proposition d'amélioration de la gare IGR

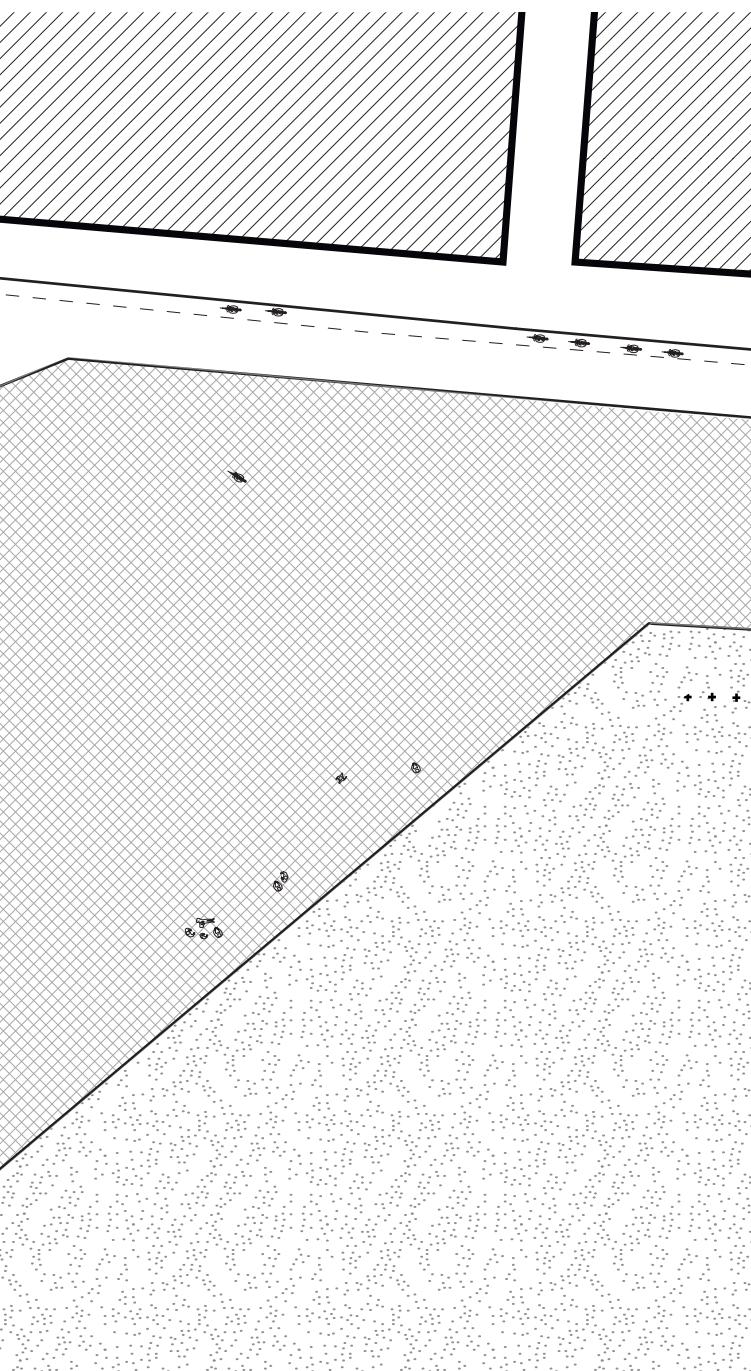




Condition de projet

Le génie civil de 70 mètres de diamètre et de 50 mètres de profondeur est gardé pour la conception du projet. Les quais de la ligne 14 et 15 restent à la même profondeur.





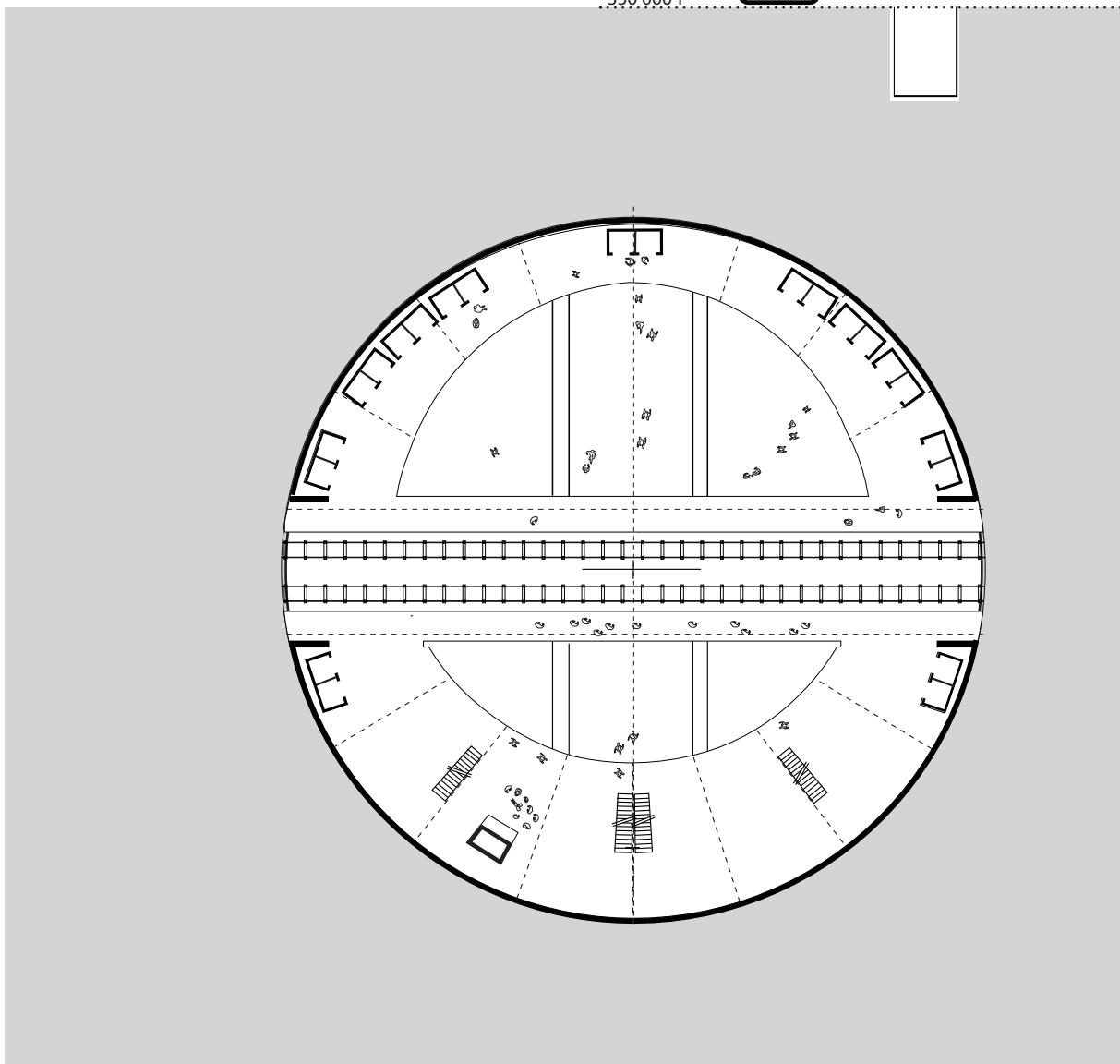
Plan du rez-de-chaussée.

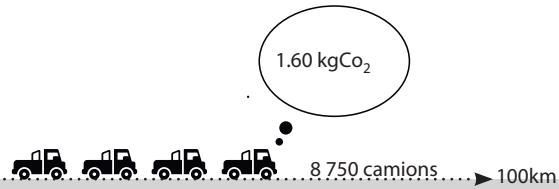
L'inter-modalité proposée dans ce projet assure les connections entre les arrêts de bus, de Vélib', d'Autolib' et le métro.

0 35 m



350.000 T.



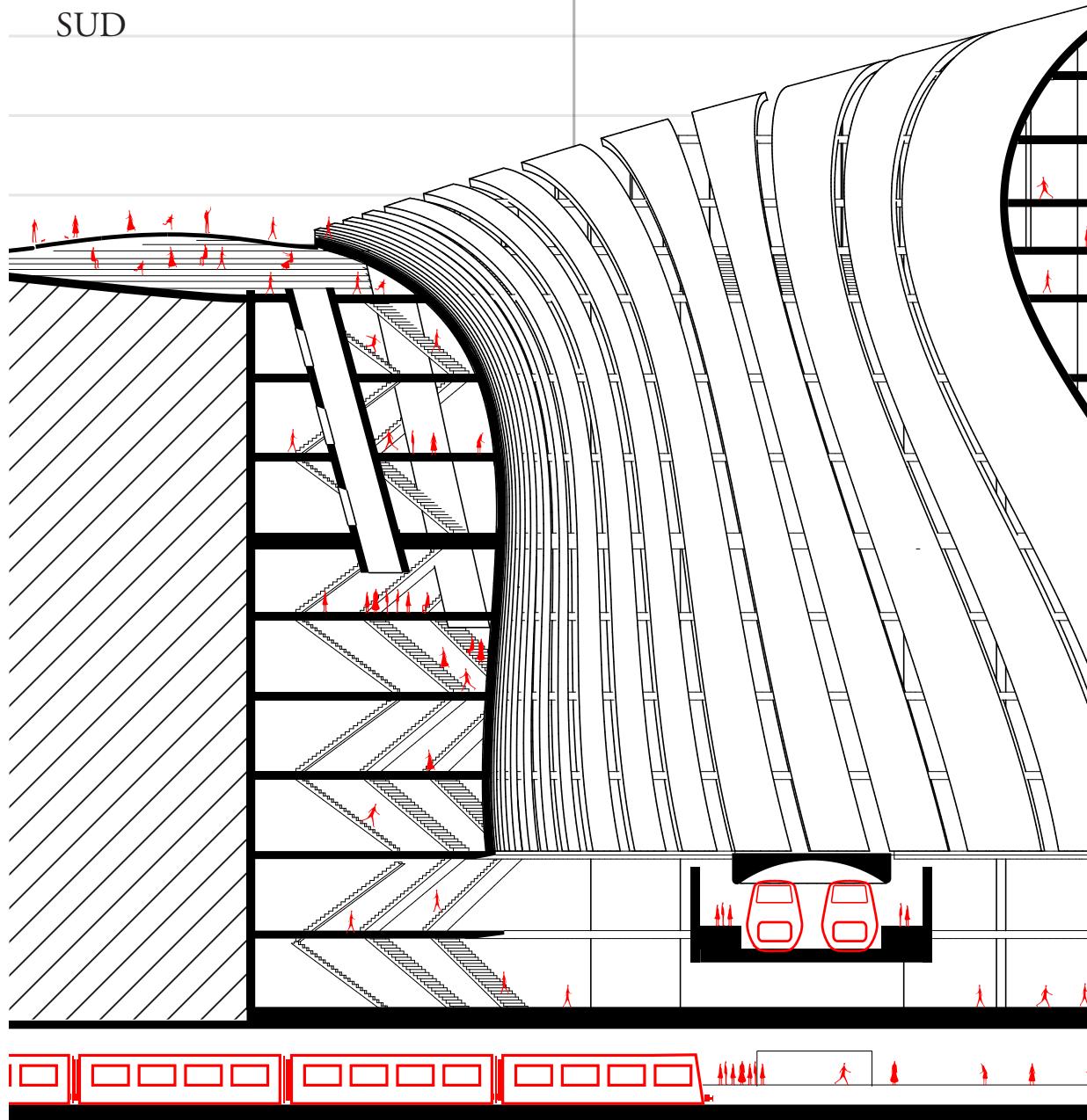


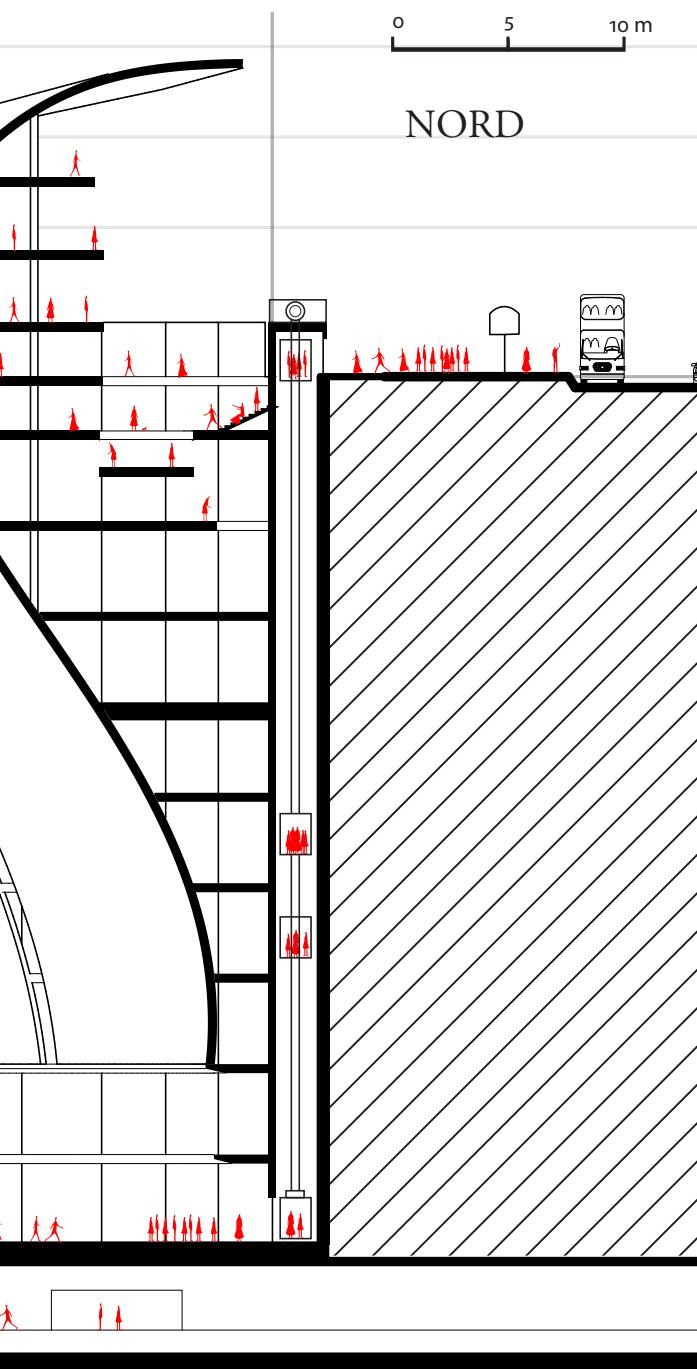
Plan du quai n°1 : ligne 14 et coupe de transport de la terre

Pour la construction de la gare, il faudra excaver 350 000 T de terre qui seront par la suite transportés par 8 750 camions de 40T sur une distance de 100 km.

- Un camion de 40T rejette 1.73×10^{-1} kgCo₂/T. km de gaz à effet de serre , c'est à dire que 8 750 camions parcourant 100 km rejettent $8750 \times (0.73/4000) = 1.60$ kgCo₂

SUD



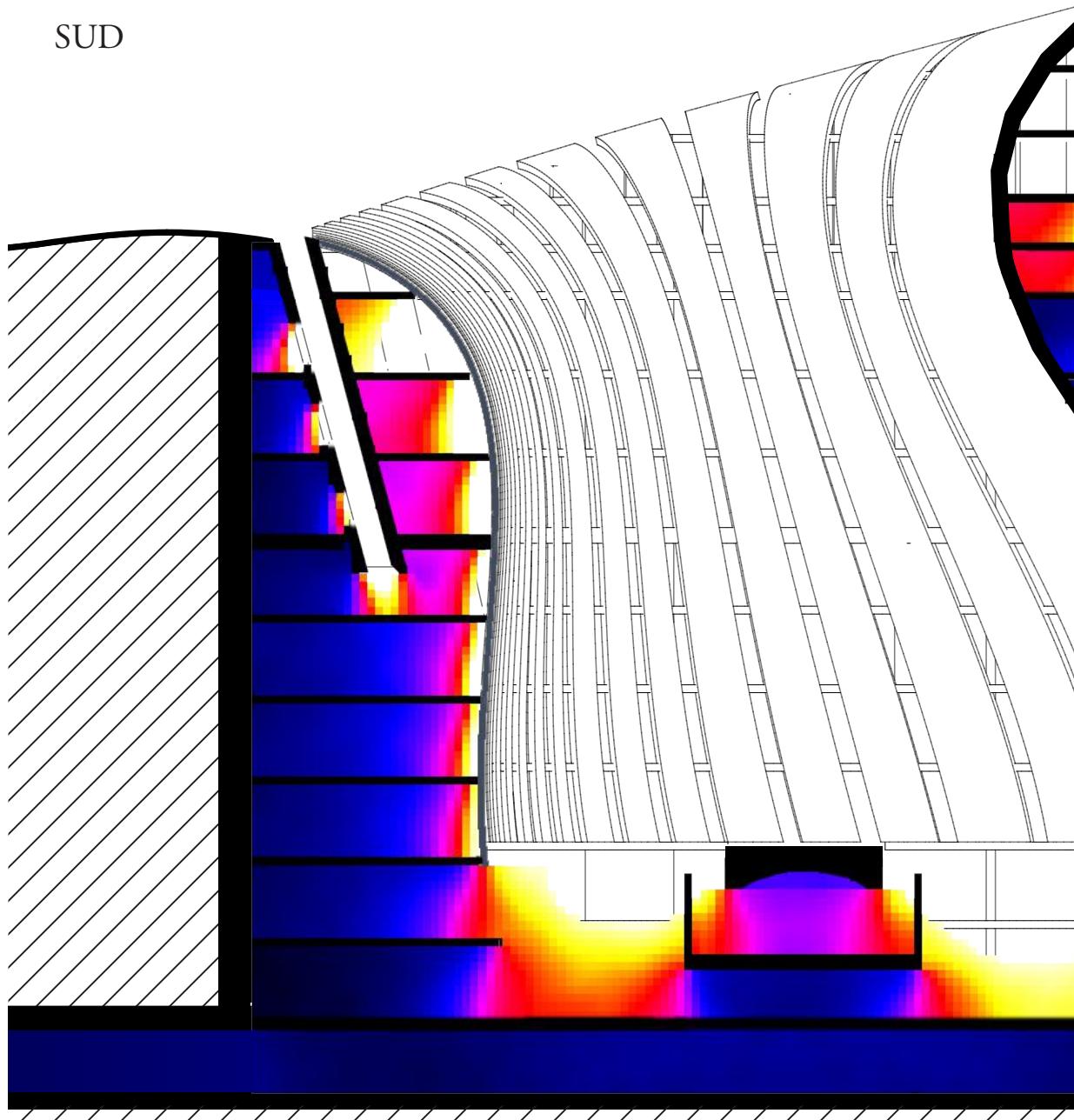


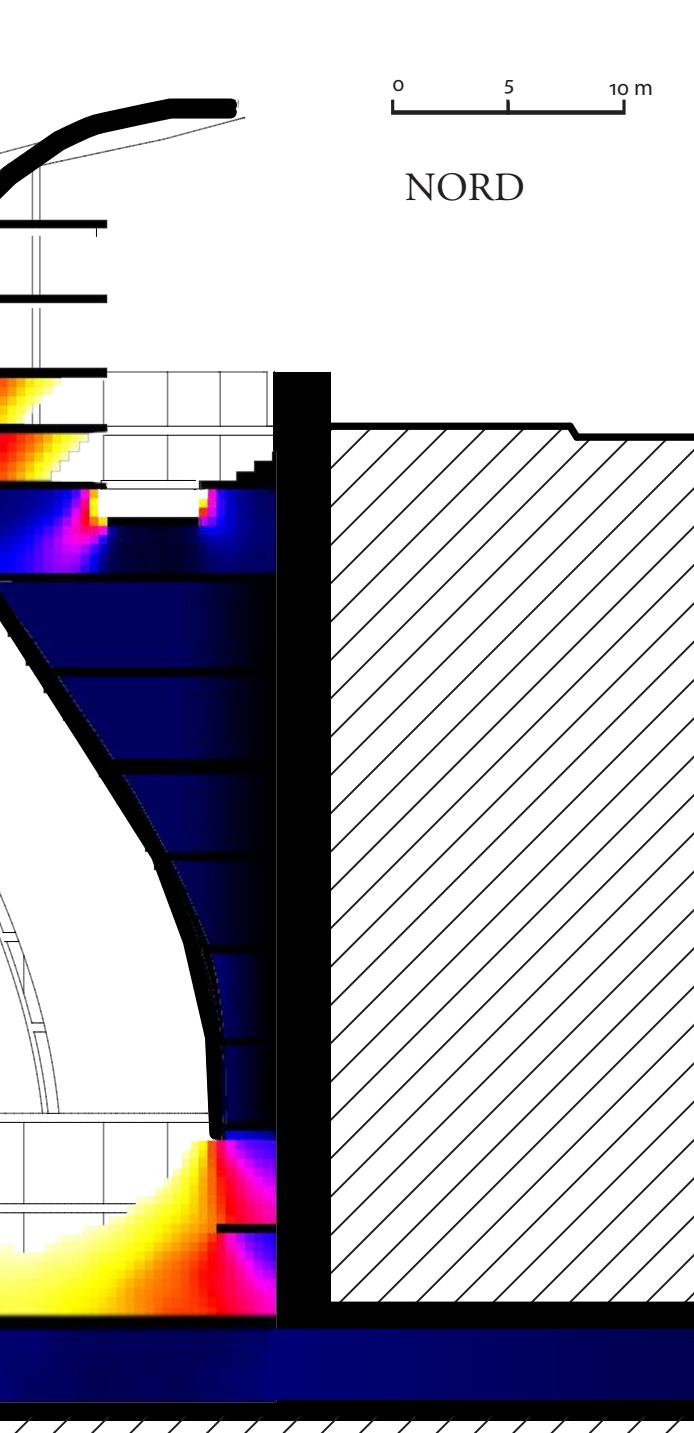
Coupe nord-sud.

Des espaces aménagés autour de plusieurs patios offrent la possibilité d'attendre agréablement son bus. La toiture est orientée nord et protège des vents dominants en hiver, orientés sud-ouest. Ceux-ci entraînent la pluie avec eux, en dehors de la zone d'attente. En été, les vents qui viennent principalement du nord rafraîchissent l'air ambiant.

Du parvis, on peut se rendre directement au métro. Vingt-quatre ascenseurs permettent de descendre rapidement avec un temps de trajet sensiblement réduit : moins de deux minutes sont nécessaires pour atteindre le quai le plus profond.

SUD





0 5 10 m

NORD

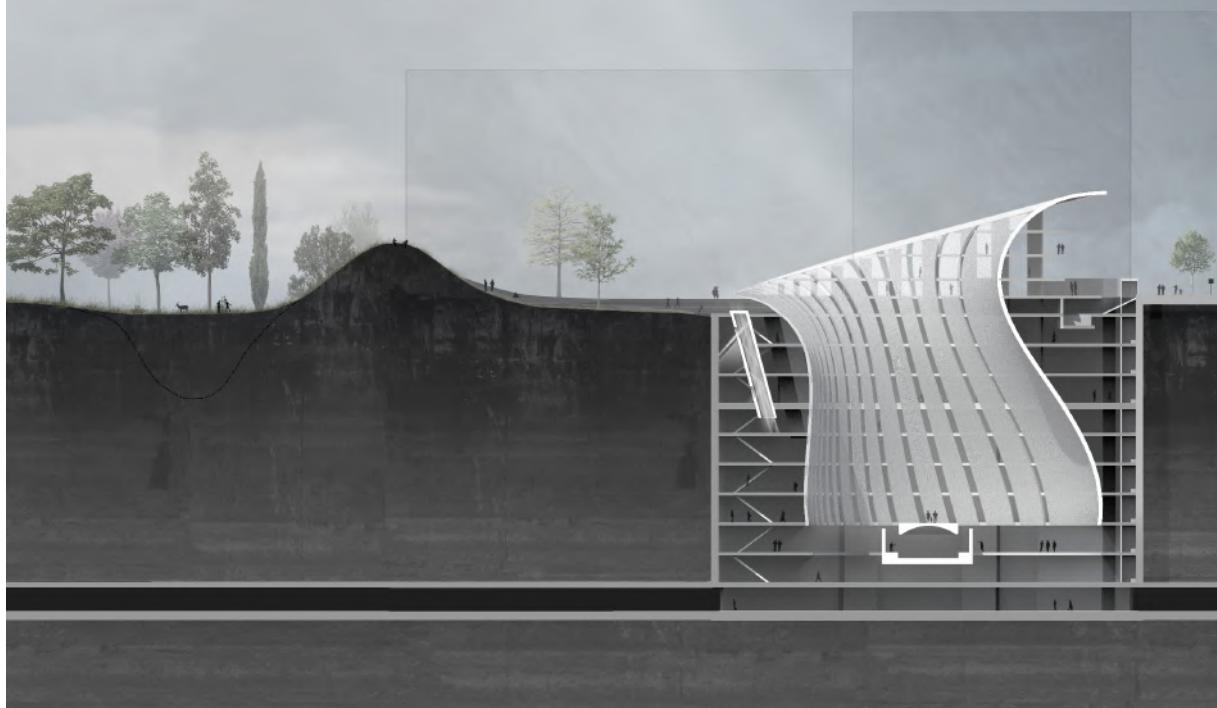
Coupe FLJ

La morphologie centrale présente de nombreuses qualités lumineuses. Les sept premiers étages bénéficient d'une lumière de même intensité que celle de l'extérieur puis se dégrade jusqu'aux quais les plus profonds. Les étages de service sont pour la plupart éclairés naturellement, ce qui permet de diviser par trois la consommation électrique due à l'éclairage artificiel, atteignant ainsi 16 MWh / an.

Afin d'améliorer l'expérience dans les étages, nous avons également mis en place deux autres dispositifs architecturaux : le patio et le canon à lumière. Ce dernier transforme l'espace, il met en scène des événements et propose des moments de respiration ponctuels.

Autour de ces aménagements sont recréés des places publiques, des espaces de rencontre et d'attente qui aident le voyageur à se repérer dans la gare. Plus lumineux, ils rendent la descente plus agréable et dynamique. En offrant des points de vue diversifiés, l'espace souterrain de la gare prend une dimension urbaine.

SUD



0 5 10 m

NORD

Coupe territoriale.

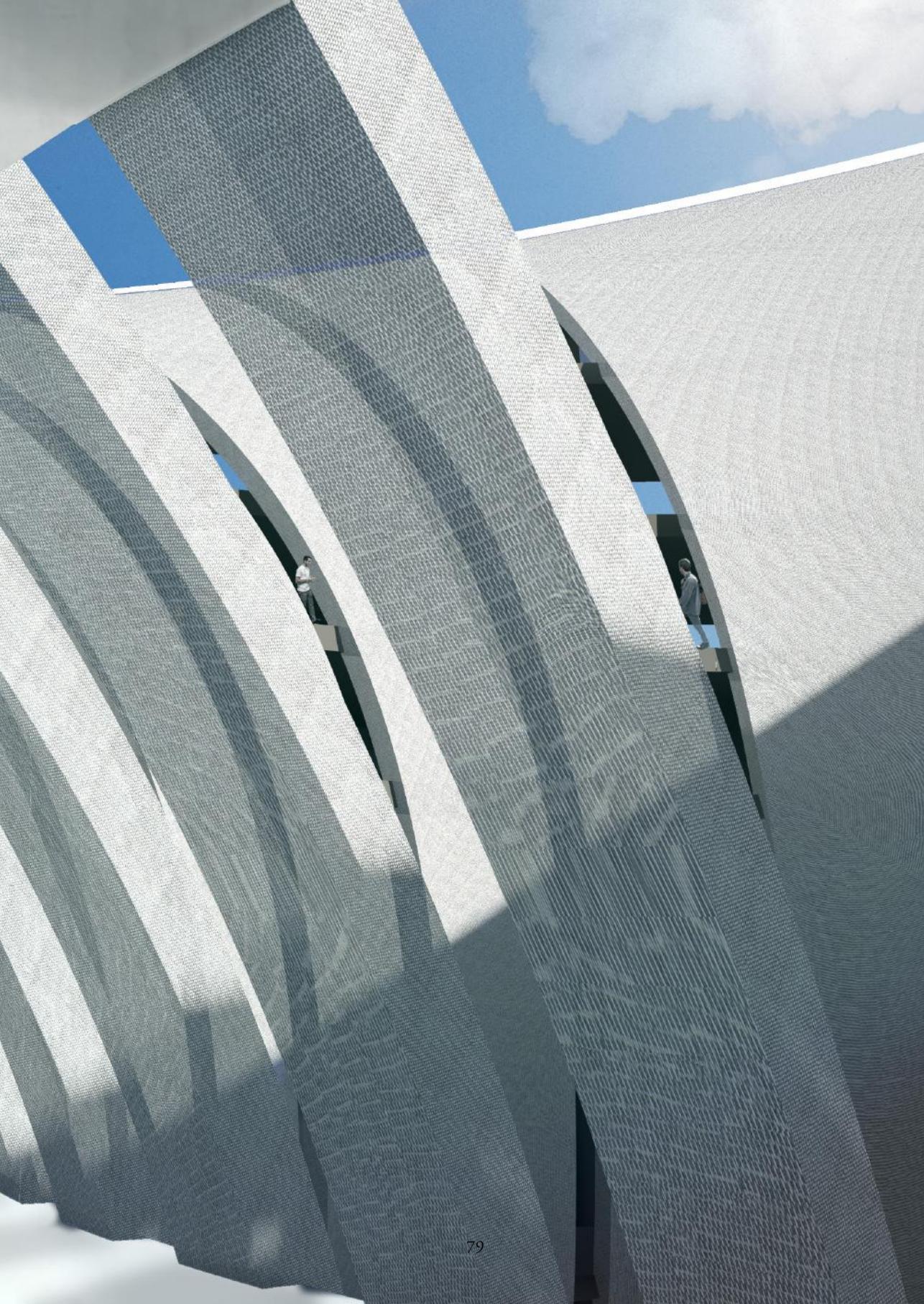
A l'échelle urbaine, on remarque la présence de plusieurs patios dans l'IGR auxquelles s'ajoute le trou du silence situé dans le parc. Le lien physique et sensible entre ces différents éléments inscrit la gare dans un urbanisme d'épaisseur. Alors, elle n'est plus qu'un simple percement à l'image du réseau métropolitain.

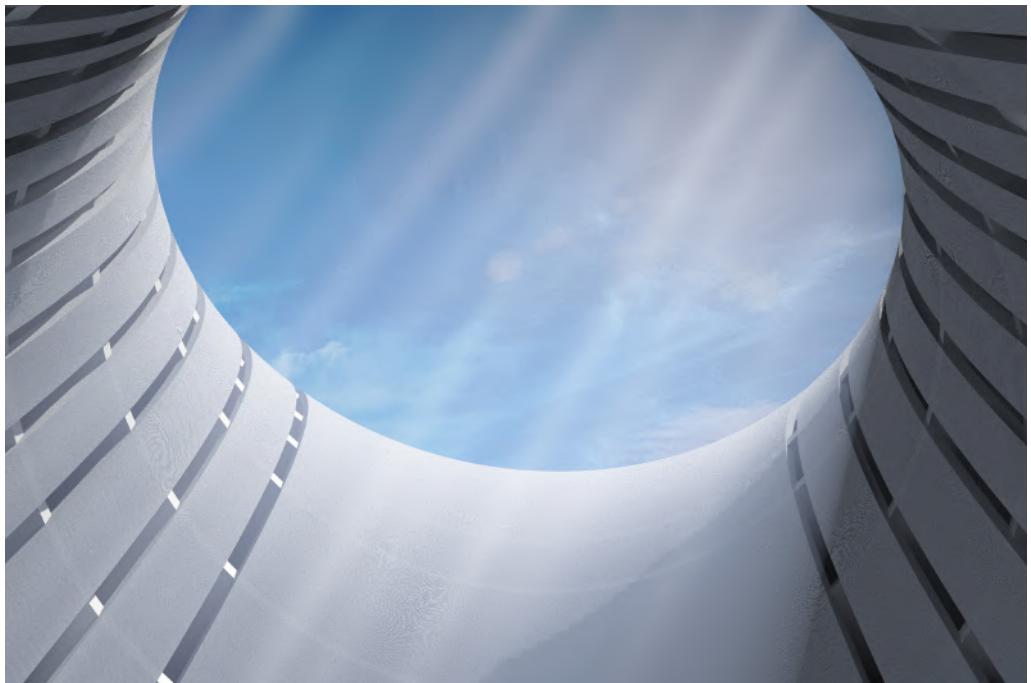












Conclusion

Le diagnostic du projet de Dominique Perrault nous a permis de mieux comprendre les enjeux relatifs à la construction d'une gare de grande profondeur. L'étude s'est orientée autour des problématiques liées au manque de lumière naturelle provoqué par le souterrain. Nous avons pu constater que la lumière naturelle améliore l'expérience de la gare tout en réduisant ses consommations énergétiques. Afin d'optimiser au maximum cet apport lumineux, nous avons porté l'étude vers une réflexion morphologique.

Située dans un contexte urbain bien précis, la gare s'oriente en fonction des caractéristiques lumineuses du site. Ces données climatiques peuvent s'appliquer à l'ensemble des gares du GPE, mais cette méthodologie pose la question de l'adaptabilité d'une telle forme dans des contextes urbains différents.

En effet, les nouvelles gares emblématiques du Grand Paris Express seront construites sur des sites très différents. La lumière naturelle sera sûrement occultée par les masques environnants. On peut alors imaginer une forme évolutive dans l'espace et le temps, la paroi réfléchissante orientée au sud devient un réflecteur mobile commandé par la course du soleil. La matérialité de ce dernier est pensée afin d'y transmettre la meilleure luminosité dans la gare.

C

Le référentiel

Introduction

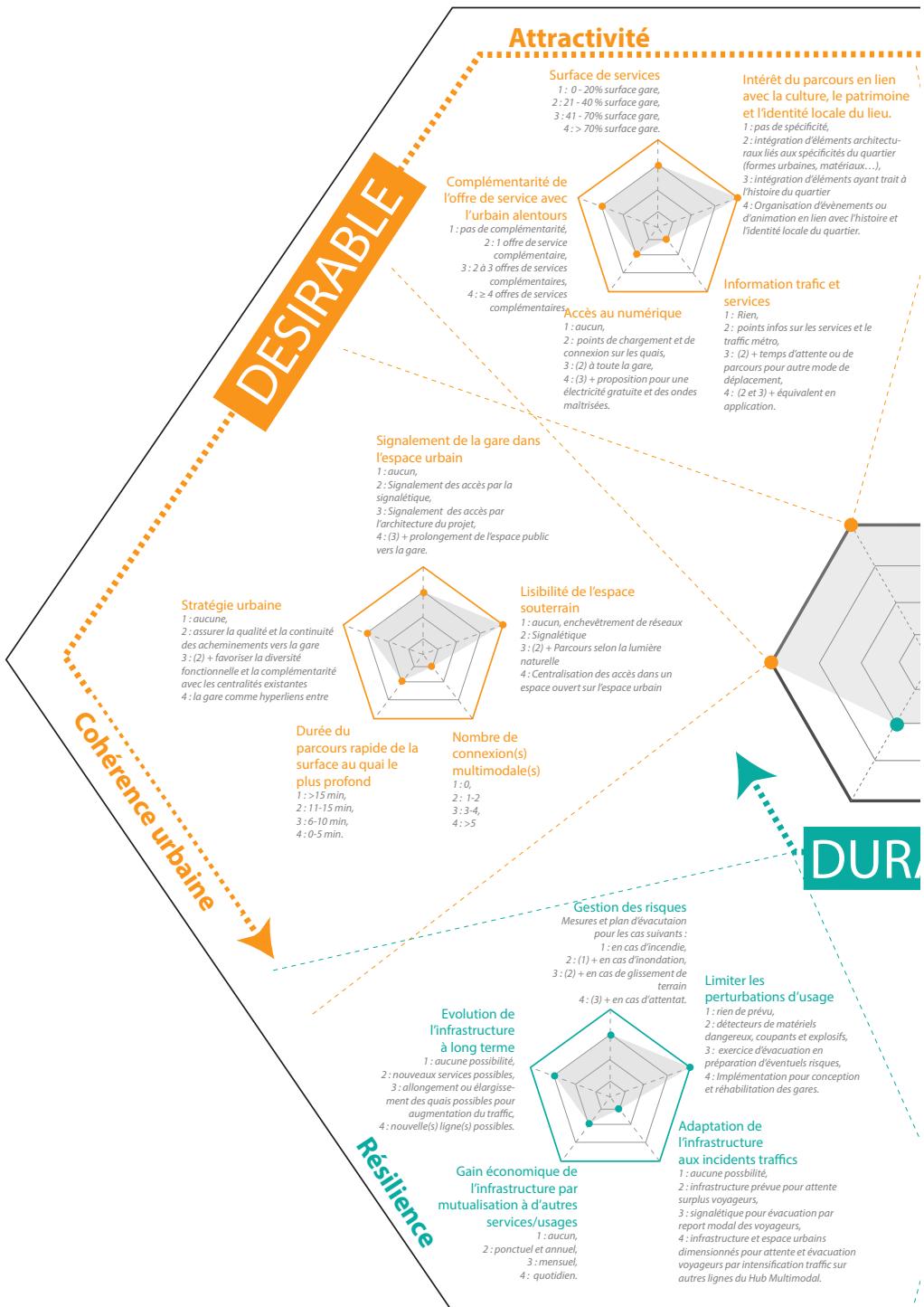
Le référentiel qui suit est un outil qui synthétise en un seul document les enjeux principaux de l’urbanisme souterrain. Il définit les principales thématiques à traiter pour les projets de gares souterraines, neuves ou en réhabilitation. Il a été remanié à de nombreuses reprises tout au long de la conception des deux projets, afin de soulever les thématiques les plus judicieuses possibles.

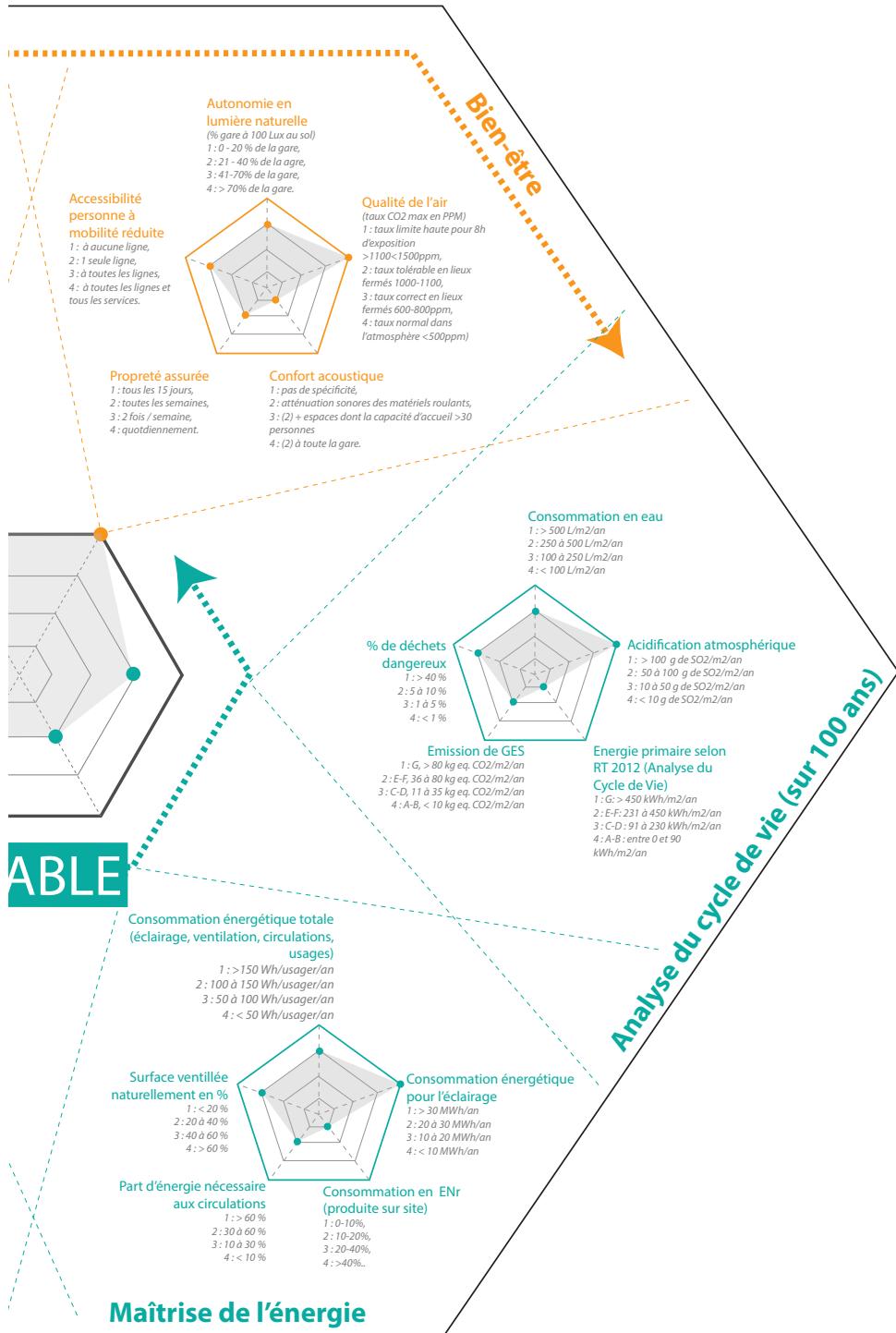
Le référentiel a vocation à :

- proposer une méthodologie de conception de projet ;
- définir les principales thématiques à traiter pour l’urbanisme de gare ;
- fixer des engagements qualitatifs et quantitatifs.

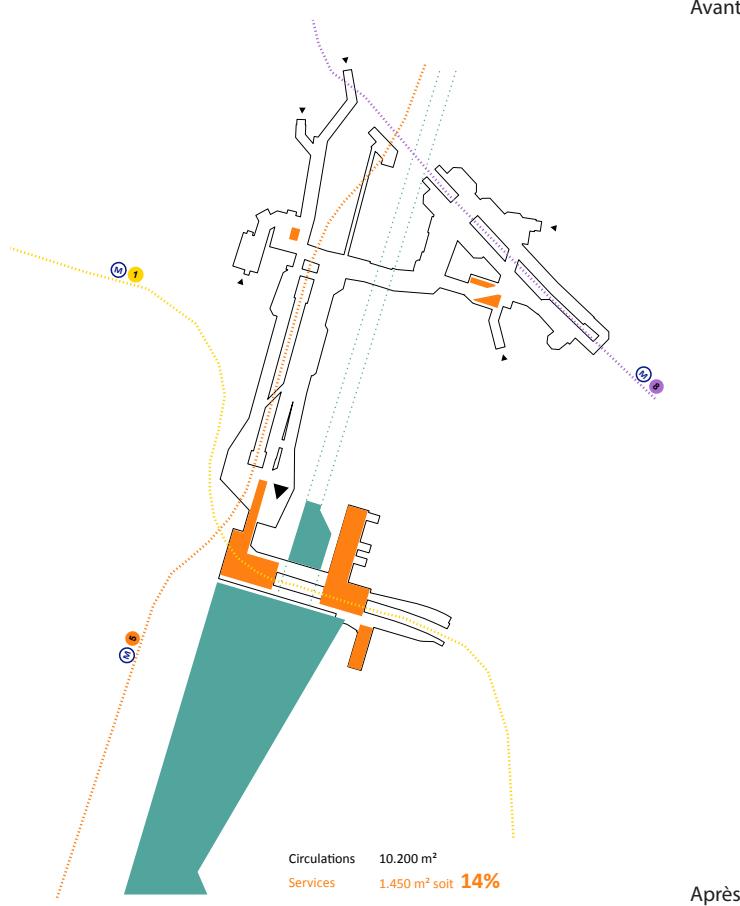
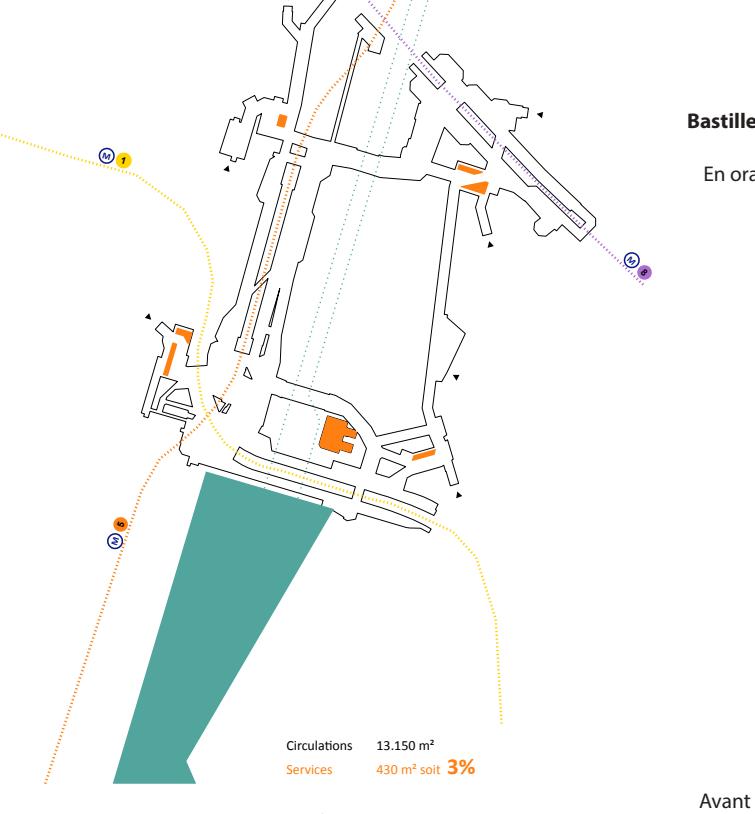
Le référentiel ci-après représente donc une stratégie d’évaluation et d’amélioration pour toutes les phases d’évolution d’un projet.

Il a été décidé de ne développer que certains indicateurs. En effet, lors de l’application du référentiel aux deux études de cas, il s’est avéré que certains points étaient plus pertinents que d’autres pour la comparaison des projets. Tous ont donc été évalués mais seule une partie sera présentée dans ce livret.





Bastille, évolution de l'emprise souterraine et des temps de trajet
En orange, les surfaces de commerce avant/après.



DÉSIRABLE

Attractivité

Critère 1 / Surface de services

En tant que polarités urbaines et outils au service du développement des villes, les gares se doivent d'être attractives. Rendre agréable le temps passé à les parcourir est un véritable enjeu pour augmenter l'attractivité des transports publics. Si leur intégration est réussie, ces services ont aussi un fort potentiel économique.

Effectivement, l'importante fréquentation des transports publics font des gares un lieu propices au développement des commerces. Celles emblématiques du Grand Paris sont d'ailleurs pensées en lien étroit avec la rentabilité commerciale. On pourrait notamment se questionner sur le caractère « durable » d'une gare reposant sur un modèle de développement consumériste. Face à une gare qui se voudrait publique et ouverte à tous, le modèle de la gare-centre commercial est très ségrégatif. Dans le livre *Fantasmagorie du capital* de Marc Berdet, la question de l'environnement contrôlé induit par les centres commerciaux est soulevée. Ce modèle voulu « confortable » pour les consommateurs pose un problème éthique. Où se situe la limite entre espace public et privé dans ces espaces ?

La diversité et la flexibilité des services proposés, leur adaptation aux contraintes du voyageur en correspondance ou encore leurs horaires d'ouverture conditionnent l'attractivité de la gare en contribuant également à la rendre plus sûre. L'attractivité des gares renvoie aussi à leur animation en dehors des heures de pointe.

Le projet pour la Bastille propose de rendre agréable, voire utile, le temps passé en gare par les voyageurs. Déposer un vêtement et le récupérer le soir nettoyé et repassé au sortir de son train, faire réparer son vélo dans la journée, faire des courses de premières nécessités, retirer un colis... Autant de services de proximité qui ont pour objectif d'améliorer le confort quotidien des usagers.

La gare de l'IGR propose de très nombreux commerces qui se développent dans les premiers niveaux de la gare, à proximité et en lien étroit avec l'espace public de surface. Il est prévu d'accueillir 30 millions d'usagers par an dont 80 % n'utiliseront l'espace souterrain que pour les commerces qui s'y trouvent !

Application de la Bastille

En plus d'un accès gratuit au WIFI dans toute la gare, l'application Bastille a été mise en place afin de faciliter le parcours de ses usagers et de rendre toutes les informations de trafic et d'usage disponibles en temps réel.



DÉSIRABLE

Attractivité

Critère 2 / information trafic et services

Une des difficultés principales rencontrées dans les stations de métro francilien est le peu de lisibilité des parcours. C'est d'ailleurs pour cela que l'on fait toujours référence à des stations et non à des gares.

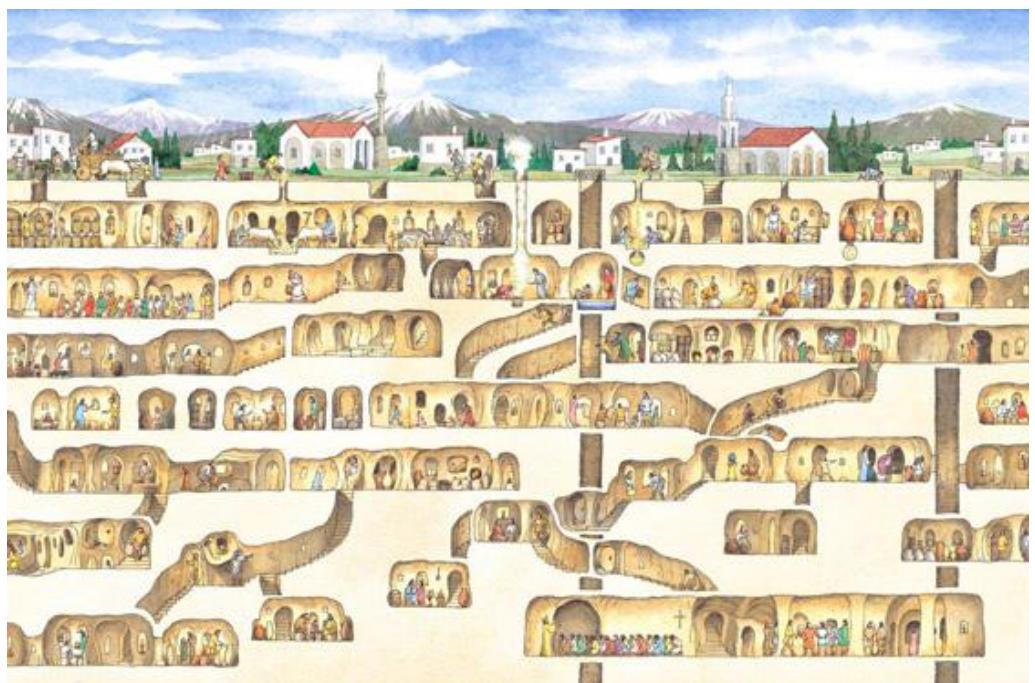
« Station : synonyme vieilli de gare. Endroit où s'arrêtent les véhicules de transport en commun. »¹

Lorsque l'on observe aujourd'hui une station de métro ou de Transilien, son incapacité à accueillir d'autres fonctions est manifeste. Les quelques distributeurs sur les quais ou les rares points Relay en sont la preuve. Ils sont peu utilisés, souvent mal positionnés et trop souvent dégradés. En réalité, ce n'est pas tant le choix de ces types de service qui n'est pas approprié mais plutôt le contexte dans lequel ils s'insèrent. Une station reste un espace de transit au sens strict du terme et ne peut en rien s'apparenter à une gare.

L'efficacité d'une station se doit donc d'être infaillible et, par extension, son système d'information opérationnel et précis. Le voyageur sait qu'il est en correspondance et n'exige aucun service autre que la lisibilité des informations. *A contrario*, dans une gare, ce dernier est accueilli à un autre rythme et peut jouir d'une offre variée de services.

Le nouveau dessin de l'espace souterrain, induit par le parcours du voyageur depuis la surface jusqu'au quai du métro, se transforme en une nouvelle expérience. Son trajet est limpide et les services qui lui sont proposés sont positionnés là où il est susceptible de les utiliser.

1 Définition du CNRTL



Ville souterraine de Derinkuyu, Turquie

800 avant J.C.

Source google image

DÉSIRABLE

Cohérence urbaine

Critère 1 / Lisibilité de l'espace souterrain

Au sein des gares de métro actuelles, l'espace souterrain n'est jamais lisible et perd l'usager dans un dédale de couloirs bruyants. Il est évident que l'architecture joue un rôle majeur dans la lisibilité de l'espace souterrain et dans sa cohérence avec sa fonction.

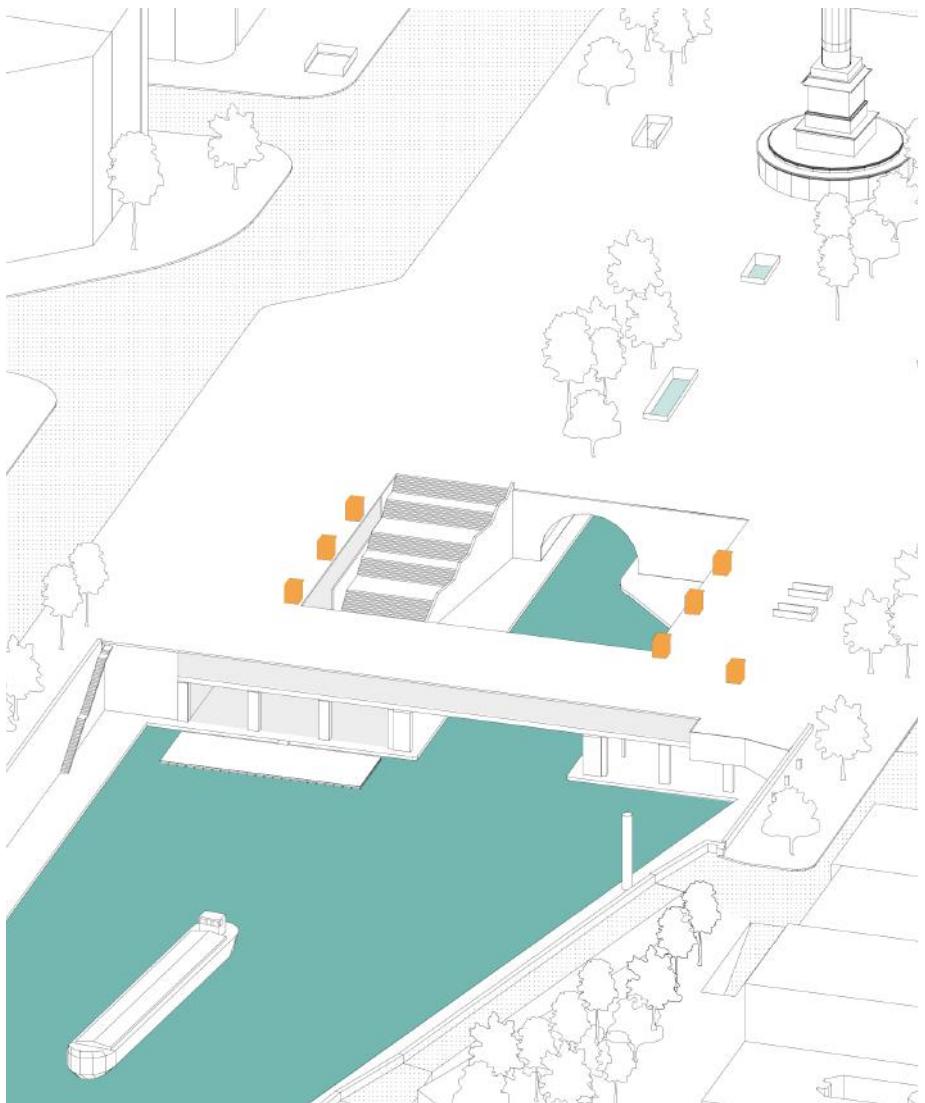
La clarification de la signalétique et la mise en place de dispositifs architecturaux participe à la clarification des parcours.

Dans la construction neuve, la lisibilité de l'espace souterrain est une demande de la maîtrise d'ouvrage. En priorité, un espace simple à saisir est un espace sûr pour l'usager. Servant aussi à l'entretien et à la maintenance, un espace souterrain facilement praticable participe assurément à rendre la gare plus efficace.

La gare de l'IGR, par le vide autour duquel elle s'organise, propose un parcours centralisé selon la lumière naturelle. Cette lumière accompagne le voyageur dans sa descente vers le métro ou dans son ascension vers la surface. Quant à Bastille, l'ouverture sur le canal rend le parcours agréable mais aussi intéressant sur un plan touristique.

Faciliter les accès

Les deux études de cas posent la question de l'accessibilité pour tous, qui est au centre des projets.



DÉSIRABLE

Bien-être

Accessibilité

Les stations de métro parisiennes sont souvent ségrégatives. L'accès pour les PMR¹, les poussettes, les personnes âgées ou encore les jeunes enfants est très compliqué voire impossible dans la majeure partie des cas.

L'accessibilité représente un enjeu majeur pour la SGP² et les gares de demain, mais le sujet est peu abordé lorsqu'il s'agit des stations existantes. Afin de faciliter les déplacements par transports en commun et donc de rendre les gares praticables par tous, il est essentiel de revoir le réseau de transport dans sa globalité.

Souvent contraint par la multitude de réseaux souterrains différents et par des concessionnaires variés, les percements verticaux sont rarement envisagés en milieu dense. Ils représentent des engagements financiers colossaux et finissent par être abandonnés. La création de ces circulations mécaniques est assurément très coûteuse tout comme la consommation énergétique associée à leur fonctionnement. Par contre, si leurs usages sont démultipliés, la logique est tout autre. Dans le cas d'une utilisation des voies ferrées comme moyen de transport de marchandises en période de fermeture au public, ces ascenseurs se transforment en monte-charges et permettent de rentabiliser leur installation.

Repenser l'accessibilité comme une porte d'entrée vers d'autres fonctions permet d'envisager les circulations verticales d'une autre manière. L'enjeu de l'hybridation des installations est à envisager dès la conception.

1 Personne à Mobilité Réduite

2 Société du Grand Paris

DURABLE

Analyse du cycle de Vie

Critère 1 / émission de GES

Le poids des émissions de GES dans l'agglomération parisienne est considérable et s'amenuise à mesure qu'on s'éloigne du centre de Paris. Cette prédominance intra-muros s'explique par la densité des émissions sur une surface restreinte. En partie responsable du réchauffement climatique, la ville de Paris veut réduire de 75 % ses émissions de GES d'ici à 2050. Les secteurs les plus polluants sont l'énergie de fonctionnement des bâtiments, le transport des personnes et celui des marchandises. Les projets de gares emblématiques du Grand Paris sont au cœur de ces préoccupations énergétiques alors que les stations de métro existantes semblent négligées. Les sites choisis pour cette étude permettent de comparer deux typologies : la réhabilitation d'une station existante en milieu dense et la construction neuve d'une gare profonde en périphérie.

Dans les deux cas, la mission de l'architecte est étendue. La conception de chacune de ces typologies demande une prise en compte fine de l'ensemble du cycle de vie. Le choix des filières de matériaux, des modes de transport de ces derniers et des types d'énergie utilisés pour les bâtiments sont fondamentaux. Une conception architecturale permettant une réduction réelle des émissions de GES est complexe pour l'architecte et l'ingénieur mais demande aussi un soutien de la part de la maîtrise d'ouvrage.

La gare emblématique de l'IGR démontre que le secteur des transports de marchandises est très émissif. Près d'un quart des émissions de GES proviennent du transport par camions de la terre excavée pour créer le puits de cinquante mètres de profondeur. En comparaison, la majeure partie des déchets engendrés par la démolition d'une partie de la station Bastille sont transportés directement par voie maritime et ne provoque pas de tels résultats.

Au-delà des émissions produites lors du cycle de vie par le bâtiment, ses usages peuvent être à l'origine de réductions de GES. Le cas de la plate-forme logistique de Bastille, grâce à sa liaison avec le canal Saint-Martin, est une solution pour la réduction des GES dans Paris. L'utilisation des péniches Freycinet pour les livraisons de marchandises ainsi que la collecte des déchets lors de leurs trajets retour permet une nette réduction des camions dans le quartier. La diminution des émissions de GES de deux tonnes d'équivalent CO₂ par jour s'associe dans ce cas à une amélioration du confort urbain, par la réduction des nuisances sonores et le désengorgement des rues du quartier.

DURABLE

Analyse du cycle de Vie

Critère 2 / énergie primaire

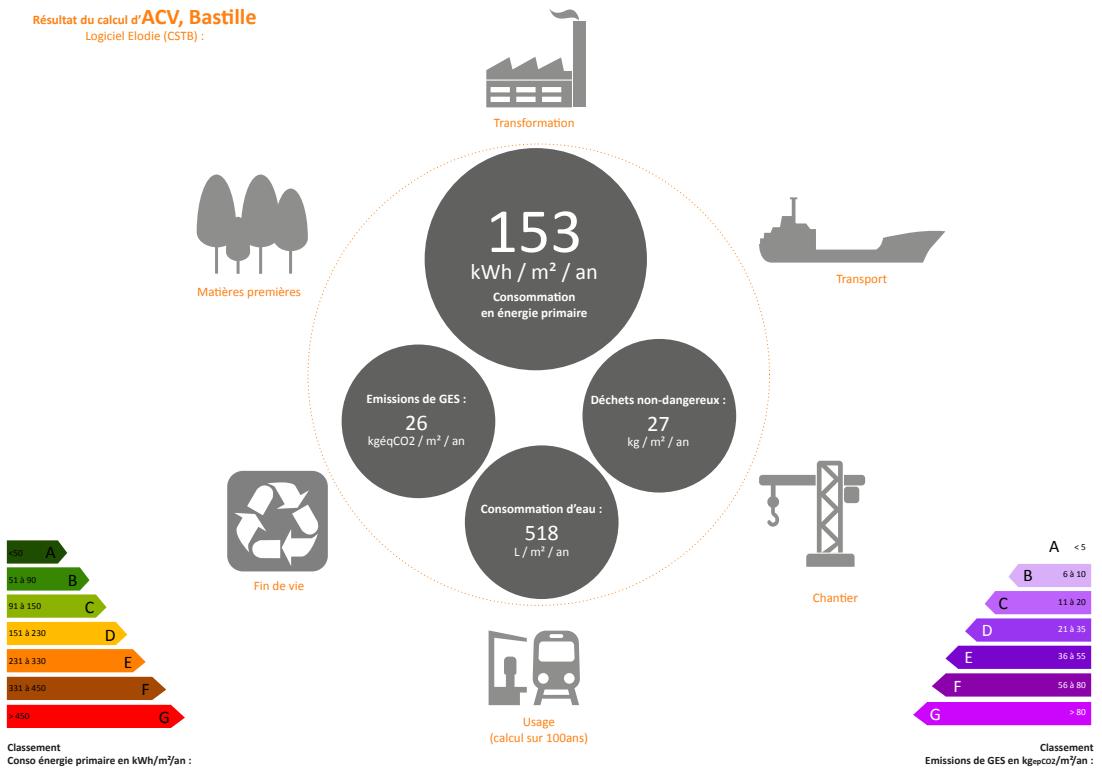
Par nature, l'énergie primaire est disponible dans notre environnement sous sa forme la plus tangible : la matière combustible (biomasse, gaz, pétrole, charbon, énergie solaire, hydraulique, etc.). Cette énergie dite fossile est ensuite transformée pour devenir une énergie secondaire (essence, hydrogène, électricité). Une fois transportée, l'énergie fournie à l'utilisateur est appelée énergie finale. Cette dernière forme d'énergie, bien que dématérialisée, est facilement quantifiable. L'ensemble des indicateurs actuels permettant de comparer des projets architecturaux sur le plan énergétique se concentrent donc sur l'énergie finale consommée par un bâtiment à un instant précis.

La méthode de l'ACV permet de comparer la consommation de ces projets en énergie primaire sur l'ensemble de leur durée de vie. Ces valeurs prennent en compte les projets dans leur globalité, que nous pourrions résumer à la construction, l'utilisation et la destruction des bâtiments. Elles semblent plus pertinentes pour comparer l'impact environnemental réel des constructions. L'utilisation de ce critère dans le référentiel met en évidence les limites de la réglementation thermique et des nombreux labels concentrés sur les consommations en énergie finale. Par exemple, un bâtiment peut obtenir le label BBC₁₀ RT₂₀₁₂ lorsque sa consommation en énergie finale ne dépasse pas les 50 kWh/m²/an alors qu'une ACV démontre souvent que sa consommation en énergie primaire atteint 250 kWh/m²/an.

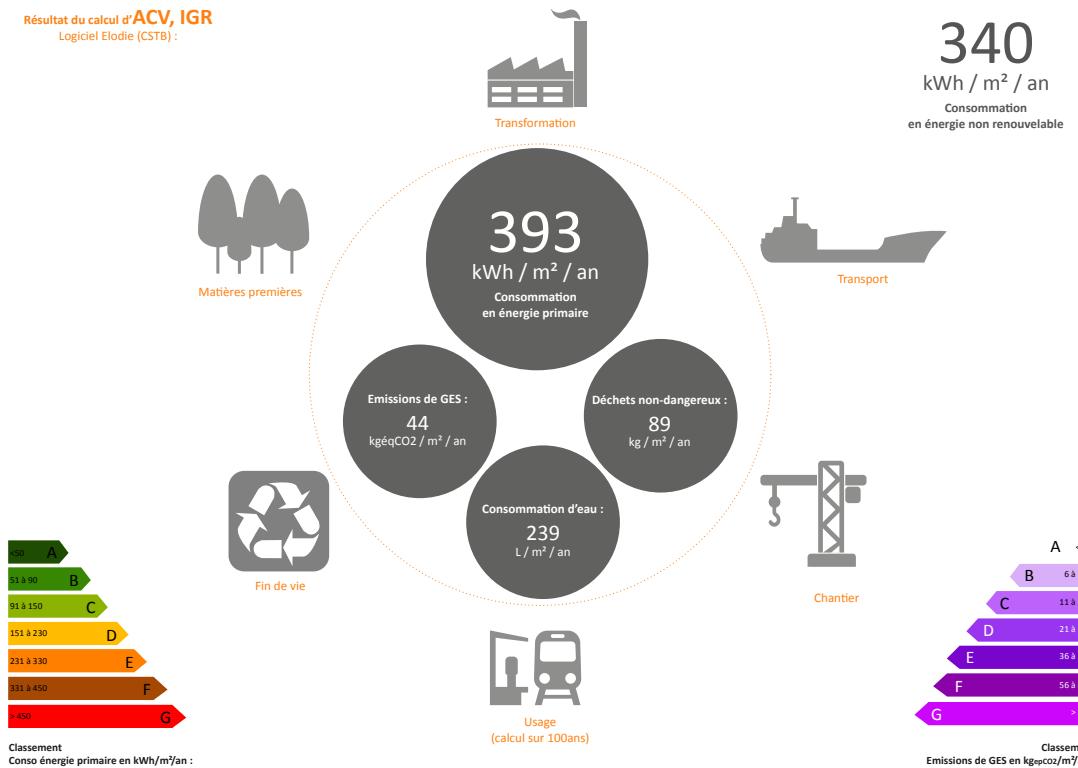
Il paraît logique qu'un bâtiment neuf, conçu selon des normes toujours plus exigeantes, obtienne des résultats plus performants qu'un bâtiment ancien réhabilité. Or, le cas de Bastille tend à prouver le contraire. Lors d'une réhabilitation, l'impact environnemental du bâtiment existant n'est pas pris en compte et le bilan sur l'ensemble du cycle de vie du projet est bien plus intéressant. Ces résultats mettent en évidence l'enjeu de la réhabilitation dans le contexte du Grand Paris.

Résultat du calcul d'ACV, Bastille

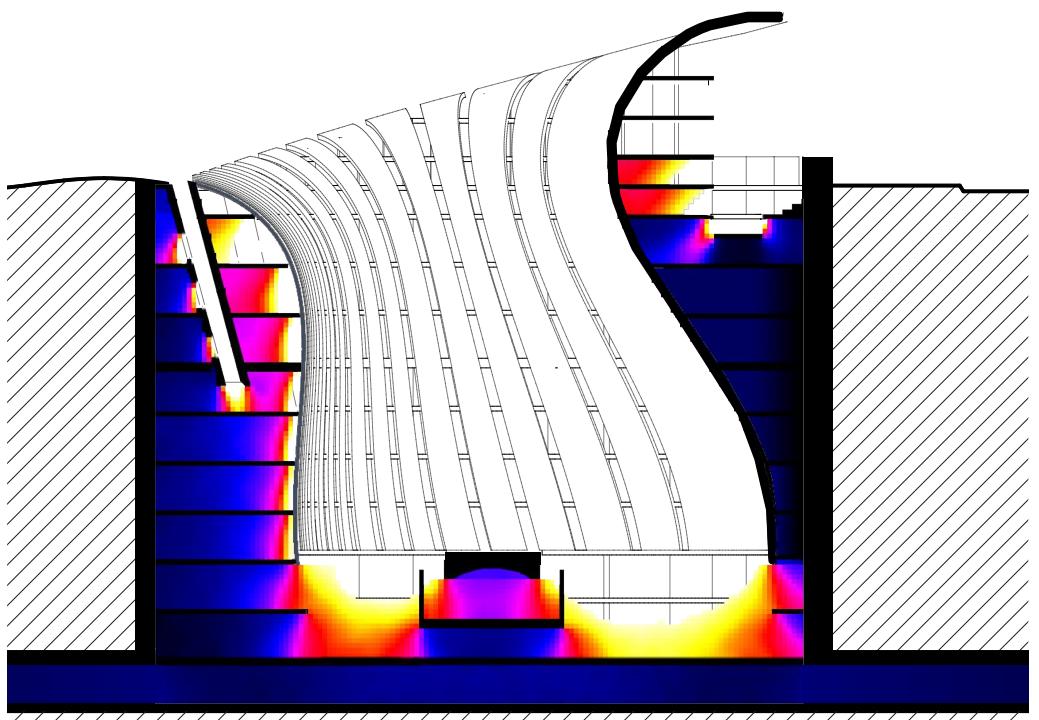
Logiciel Elodie (CSTB) :



Résultat du calcul d'**ACV, IGR**
Logiciel Elodie (CSTB) :



Coupe du FLJ,
réalisée avec Archiwizard



DURABLE

Stratégie environnementale

Critère 1 / consommation électrique pour l'éclairage

Principale source de consommation énergétique, l'éclairage artificiel est certainement le plus grand responsable des lourds bilans économiques de fonctionnement des gares. La multitude de panneaux d'affichage, les balises de sécurité, les modules publicitaires, les barrières de contrôle, sont assurément consommateurs d'électricité. Or, les installations lumineuses sur les quais, dans les couloirs et aux entrées de stations sont des objets énergivores par excellence. Permettant d'assurer une intensité lumineuse minimum pour la lisibilité des panneaux et la sécurité des voyageurs (200 lux aux murs et 100 lux au sol), ces luminaires sont allumés 20h/24 et représentent près de 30 % de la consommation énergétique d'une gare.

Certains projets innovants proposent de remplacer l'ensemble des tubes fluorescents par des LED, améliorant ainsi les rendements de chaque luminaire et sa durée de vie.

L'intérêt d'intégrer ces données dès le processus de conception architectural est grand. Des études de cas ont montré qu'une bonne gestion de la lumière naturelle permet des économies d'énergie très importantes.

La capacité d'un projet souterrain à s'ouvrir vers la surface dépend du contexte dans lequel il s'inscrit. Une gestion réfléchie des matériaux et des formes permet un accroissement considérable des apports lumineux. Ainsi, le flux de lumière peut-être capté et réfléchi afin d'en faire profiter au maximum le souterrain. Le calcul du FLJ a montré qu'une manipulation précise de l'enveloppe du bâtiment peut optimiser les apports de lumière en profondeur et diminuer d'autant l'éclairage artificiel.

La modification de la typologie d'ouverture pour la gare IGR a permis une réduction de 60 % de la consommation électrique liée à l'éclairage.

Module d'arrêts multimodaux

Dans le dessin même du mobilier urbain, les arrêts multimodaux prévus à Bastille offrent une surface de toiture considérable et particulièrement bien orientée. L'option de les occuper de panneaux solaires photovoltaïques permettrait une production d'électricité couvrant trois fois les besoins nécessaires à l'éclairage artificiel de la gare.



DURABLE

Stratégie environnementale

Critère 2 / part d'énergie renouvelable dans le bilan total

La consommation d'énergie finale en France repose largement sur une énergie primaire d'origine fossile : 45 % de pétrole, 20 % de gaz et 3 % de charbon (source ADEME).

Aujourd'hui, les énergies renouvelables représentent 15 % de notre production. La loi pour la transition énergétique promulguée en août 2015 fixe l'objectif de 32 % d'énergie d'origine renouvelable d'ici à 2030. Pour soutenir cette évolution, des technologies performantes existent déjà et ne cessent de se développer. Dans le cas de l'électricité, les panneaux solaires photovoltaïques ont des rendements de plus en plus intéressants.

Rapidement, le cas des gares a été mis en lien avec le potentiel de production d'énergie par le solaire. Dans le cas de la place de la Bastille et du parc départemental des Hautes-Bruyères pour l'IGR, la libération d'un vaste espace public non bâti permet un ensoleillement maximal dégagé des masques solaires. Cette opportunité d'apports presque continus est l'occasion d'installer des panneaux solaires photovoltaïques.

Solution d'ampleur, les panneaux solaires ne sont pas l'unique solution à mettre en place dans les gares. Il est aussi possible, à une échelle plus réduite, d'installer des solutions stratégiques telles que le remplacement des dalles de sol (type pavés piézoélectriques), les échangeurs thermiques, la fibre optique pour la circulation de l'électricité produite sur site, les paraboles réfléchissantes, etc.

Le mobilier urbain des arrêts multimodaux prévus à Bastille offre une surface de toiture considérable et particulièrement bien orientée. L'option de les couvrir de panneaux solaires photovoltaïques permettrait une production d'électricité couvrant trois fois les besoins énergétiques nécessaires à l'éclairage artificiel de la gare.

Conclusion

Buckminster Fuller,
modèle de tenségrité



Les recherches formelles menées sur les sites de Bastille et de Villejuif aboutissent à deux typologies opposées. Alors que la gare de l'IGR est un objet architectural autonome, la gare de la Bastille renforce une urbanité dans un contexte déjà très urbain. Dans le premier cas, l'architecture est le résultat d'une étude focalisée sur les apports en lumière naturelle dans une infrastructure de grande profondeur. Dans le deuxième cas, le dessin s'attache à tisser des continuités entre l'espace public extérieur et la station de métro souterraine.

Quoiqu'il en soit, dans les deux cas l'architecture se révèle être une machine à circuler, contrainte par les conditions d'accès et de circulation. Les typologies de souterrain sont donc fortement contraintes par les différents flux qui les traversent. C'est ce qui fait d'IGR un puits et qui a entraîné à Bastille la création d'une centralité.

Mais au-delà de la question des flux, un projet de gare se doit d'assurer l'accessibilité de tous ces espaces souterrains. L'efficacité énergétique de la gare et celle des services vient parfaire le modèle d'accessibilité. En effet, le choix du type de service ainsi que ses connexions aux outils numériques améliore les trajets habituellement monotones. Ainsi, une offre étendue de services permet à la gare une dynamique multifonctionnelle et au quartier existant de centraliser ses flux. L'efficacité énergétique et de services des gares en souterrain se conçoit parallèlement à leur accessibilité et à leur visibilité. Il appartient donc au projet architectural de fabriquer ces efficacités.

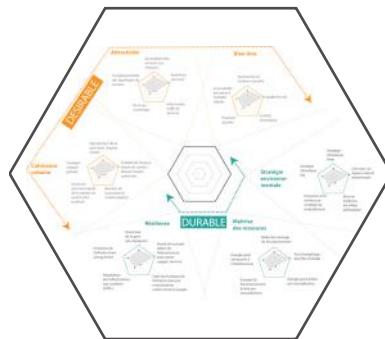
Un projet architectural ne peut pas se concevoir comme un référentiel, dont les indicateurs donnent des pistes d'action, mais est un tout, indissociable. L'efficacité de chaque projet dépend donc de la capacité de l'architecte à être le chef d'orchestre de tous ces indicateurs.

Cependant, afin de réaliser des diagnostics de gares existantes, le référentiel peut s'avérer être un outil intéressant. En développer un sous forme de réseau et non comme une liste figée d'éléments permettrait peut-être d'affiner les critères d'évaluation, et surtout de préciser les connections qu'il y a entre eux. À la manière de Buckminster Fuller et de ses modèles de tenségrité, il s'agirait de penser le référentiel comme un système et non comme un ensemble de noeuds déconnectés. L'efficacité d'une gare souterraine dépendrait ainsi de la faculté de ses composants (critères) à se stabiliser par un jeu de forces (connexions) qui s'y répartissent et s'y équilibrivent.

Annexes

Désirable murable

Référentiel urbanisme souterrain
& architecture des mobilités



Mobilité
UrbaIne
Qualité ?
Souterraine Architecturale





L'urbanisme sensoriel touche simultanément le local et le global, le plus grand et le plus petit, il oblige à penser les liens tissés entre les corps individuels et le cosmos.

[...]

L'essentiel est en effet de rappeler que l'urbanisme doit rendre possible des mobilités, des mises en mouvement engageant les «corps» et les «sens» des individus.

[...]

Un urbaniste soucieux du sensoriel ne doit pas favriser n'importe quel type de mobilité, mais inciter à «écrire» la ville avec ses jambes et ses pieds si l'on est pas écrivain.



Olivier Mongin - Place Publique urbaine Juillet-Août 2010, n°22, P79.

Olivier Mongin est directeur de la revue *Esprit* et membre du comité de rédaction de la revue *Urbanisme*, chargé de cours à l'école Nationale de Versailles, et auteur dont *Vers la troisième ville?*, préface rédigée par Christian de Portzamparc.

ÉLABORATION & COMPOSITION

FR

Enjeux

Aujourd’hui il n’existe pas d’outil pour mesurer la qualité urbaine et architecturale d’un projet souterrain, aucun outil n’a été développé pour mettre en corrélation les projets de surface et en sous-sol.

Objectifs

- Evaluer la qualité du projet, la mesurer, la comparer,
- Créer 1 outil d’aménagement et de développement urbain et architectural souterrain.

Utilisation

Le référentiel s’organise selon deux axes : **désirable** (l’humain, au cœur du projet) et **durable** (vers une infrastructure soutenable à court, moyen et long terme). Chacun de ces deux axes est décomposé en trois thèmes. Cinq leviers d’action évaluent la qualité du projet sur chaque thème. Le référentiel affiche ainsi un profil par thème, et un profil global, qui affiche au centre de l’outil la tendance générale du profil du projet. L’outil présente donc à la fois une approche détaillée et synthétique.

EN

Issues

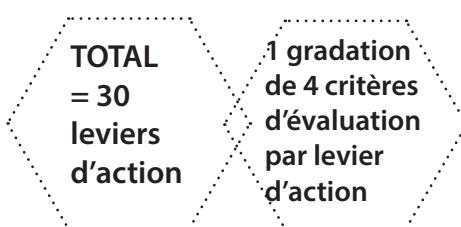
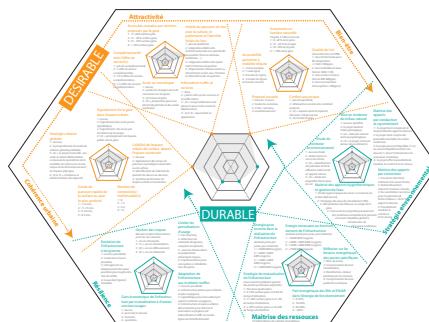
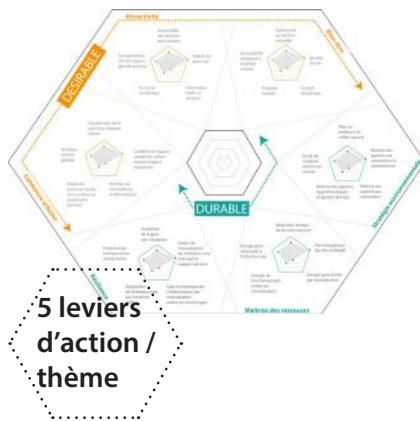
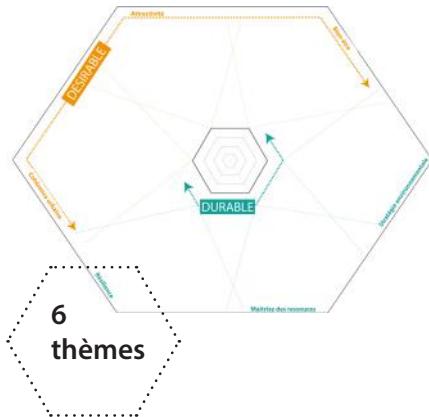
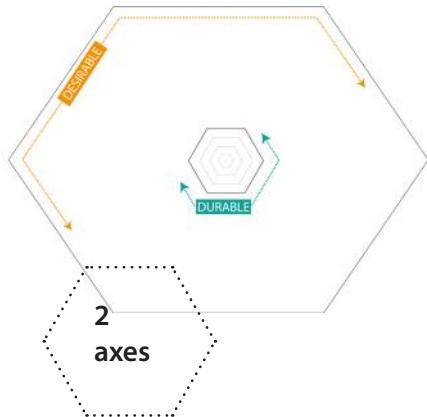
Today there are no tool to measure the urban and architectural quality of an underground project, no tool have been developed to correlate surface and underground projects.

Aims

- Evaluate the quality of the project, measure it, compare it,
- Create 1 tool for urban planning and urban development and underground architecture.

Use

The repository is organized along two lines: **desirable** (human, at the heart of the project) and **sustainable** (towards a sustainable infrastructure that can be used in the short, medium or long term). Five levers of action evaluate the quality of the project on each theme. Thus, the repository displays in one hand the profile by theme, and in an other hand a global profile, which shows the general trend of the project, in the center of the tool. The tools is therefore both a detailed and synthetic approach.



PRÉSENTATION DES LEVIERS ET CRITÈRES D'ÉVALUATION THÈME PAR THÈME

AXE 1 : DÉSIRABLE

Thème 1 - cohérence urbaine

«En surface, quels que soient les volumes que l'on construit pour créer de l'habitat, des équipements publics ou privés, quelles que soient leurs positions relatives, leur interrelation-que celle-ci soit pensée ou négligée-, ces volumes construits peuvent toujours être visibles et accessibles sur leurs façades depuis l'espace extérieur qui est pratiquement infini. En sous-sol, logique inverse, l'espace entre volumes bâties est rare et précieux, car il est lui-même creusé. En fait, le sous-sol commence par de l'espace de desserte et de circulation, puisqu'il est l'espace d'accès et se poursuit à l'intérieur des équipements qu'il dessert, dans une continuité «obligée». Là réside la clé de la conception des espaces souterrains.»



Sous la direction de Bruno Barroca, *Penser la ville et agir par le souterrain*, Monique Labbé, Chapitre 2: *Faut-il passer par le sous-sol pour mieux concevoir la ville?* Presses des Ponts, 2014.



FR

Constat actuel

Les premières lignes de métro, ont été creusées en tranchées sous les boulevards, puis recouvertes, suivant pour majorité le tracé urbain de surface. Les lignes qui ont suivi, plus profondes, n'ont pas nécessairement calqué au modèle urbain en surface. Dans les deux cas, les gares, espace fonctionnaliste d'échanges de voyageurs, situées à la jonction des lignes, ne se sont pas développées par rapport à la surface. L'interface n'est présente que par les points d'accès, les «bouches de métro», attendant grandes ouvertes le flux de voyageurs, à travers des couloirs sombres, étroits et sinueux.

Ainsi, le milieu souterrain ne présente aucune lecture commune avec la surface.

Volonté du référentiel

L'objectif est de mettre en cohérence les tissus urbains, leur lisibilité d'accès de l'un par rapport à l'autre et la cohérence globale de la mobilité qu'ils offrent.

EN

Current situation

The first metro lines were dug under the boulevards and then covered, mostly following the urban surface pattern. The metro lines that followed, deeper, did not necessarily follow the urban model on the surface. In both cases, the stations, a functionalistic space for passenger exchanges, located at the junction of lines, have not been developed in relation to the surface. The interface is present only by the access points, the «metro mouths», wide open waiting for the flow of travelers, through dark, narrow and sinuous corridors.

Thus, the underground medium has no common reading with the surface.

The repository will

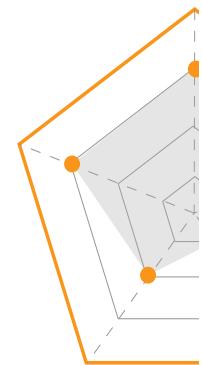
The objective is to bring together urban tissues, their legibility of access from one to the other and the overall coherence of the mobility they offer.

Signaleme dans l'espa

1 : aucun,
2 : Signalemer
signalétique,
3 : Signalemer
l'architecture
4 : (3) + prolonger
public vers la g

Stratégie urbaine globale

1 : aucune,
2 : le projet découle d'une étude urbaine globale préalable,
3 : (2) + le projet rassemble une seule et même MOA urbaine composée de spécialistes de la mobilité, du volet socio-économique et du dimensionnement de l'espace physique,
4 : (2 et 3) + cohérence et hiérarchisation des objectifs



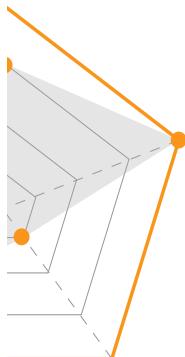
Durée du parcours rapide de la surface au quai le plus profond

1 : >15 min,
2 : 11-15 min,
3 : 6-10 min,
4 : 0-5 min.

nt de la gare ice urbain

rit des accès par la

rit des accès par
du projet,
agement de l'espace
gare.



Lisibilité de l'espace urbain de surface depuis l'espace souterrain

- 1 : aucune
- 2 : Signalement des temps de parcours à privilégier souterrains ou de surface,
- 3 : Identification de l'identité du quartier du dessus au dessous.
- 4 : Symétrie de lla trame de l'espace urbain et souterrain.

Nombre de connexion(s) multimodale(s)

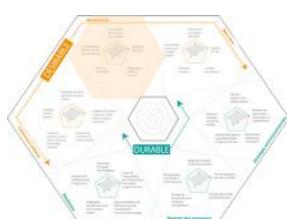
- 1 : 0,
- 2 : 1-2
- 3 : 3-4,
- 4 : >5

PRÉSENTATION DES LEVIERS ET CRITÈRES D'ÉVALUATION THÈME PAR THÈME

AXE 1 : DÉSIRABLE

Thème 2 - Attractivité

« Le parcours quotidien n'est pas simplement un rituel de mobilité la nature des ambiances du parcours influence le processus d'habituation (au niveau sensori-moteur) et réciproquement le processus d'habituation génère une ambiance particulière (nature de l'ambiance) dans le parcours [...]. Le fait de déambuler, de passer, de repasser, d'entendre, de cumuler les informations, il se fait l'assemblage de séquences et de gestes élémentaires. [...] La déambulation dans les couloirs du métro est significative du respect des routines normatives, transformées en véritables marqueurs de l'espace collectif et témoins du polissage culturel! »



Hanène Ben Slama,
Parcours urbains quotidiens. L'habitude dans la perception des ambiances, Doctorat de l'Université Pierre Mendès France « Urbanisme mention Architecture »



FR

Constat actuel

Les gares offrent peu de services, ou à l'inverse une offre essentiellement commerciale, regroupant de nombreuses franchises internationales. Cette offre est déterminée par le nombre de passagers drainés via le noeud de mobilité. Elle peut alors créer un déséquilibre en surface, ou ne pas y attirer passagers et riverains. La ligne de contrôle détermine la mise en relation et l'accessibilité des services.

Une majorité des stations se ressemble par la banalité des parcours proposés. Enfin, les gares ne donnent pas accès au numérique, sauf pour quelques exemples étrangers.

Volonté du référentiel

- favoriser l'accès des riverains aux services des infrastructures de mobilité pour inciter les continuités urbaines, en complémentarité de celle en surface,
- donner de l'intérêt au parcours permettant de s'y repérer, d'éveiller les sens, favoriser un processus d'«habituat» agréable,
- donner du confort numérique pour plus de souplesse aux usagers; pour ainsi rendre ces lieux attrayants.

EN

Current situation

Railway stations offer few services, or at the contrary an essentially commercial offer, grouping many international franchises. This offer is determined by the number of passengers drained via the mobility node. It can then create an imbalance on the surface, or not attract passengers and neighbors. The control line determines the connection and accessibility of services.

A majority of the railway stations is similar in the banality of the proposed routes. Finally, stations do not give access to the digital world, except for a few foreign examples.

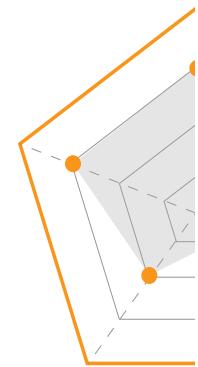
The repository will

- promote the access of residents to the services of mobility infrastructures to encourage urban continuities, complementary to that on the surface,
- to give interest to the journey to find one's self, to awaken the senses, to encourage a pleasant process of «habituation»,
- to give digital comfort for more flexibility to users; thus making these places attractive.

Accès d
aux ser
à la gare
1 : 0 - 20%
2 : 21 - 40%
3 : 41 - 70%
4 : > 70%

Complémentarité avec l'offre de service(s)

1 : pas de complémentarité,
2 : 1 offre de service
complémentaire,
3 : 2 à 3 offres de services
complémentaires,
4 : ≥ 4 offres de services
complémentaires.



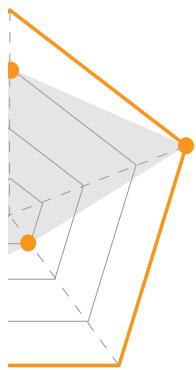
Accès au numérique

1 : aucun,
2 : points de chargement et de
connexion sur les quais,
3 : (2) à toute la gare,
4 : (3) + proposition pour une
électricité gratuite et des ondes
maîtrisées.

es riverains ervices proposés

3

é surface gare,
% surface gare,
% surface gare,
surface gare.



Intérêt du parcours en lien avec la culture, le patrimoine et l'identité locale du lieu.

- 1 : pas de spécificité,
- 2 : intégration d'éléments architecturaux liés aux spécificités du quartier (formes urbaines, matériaux...),
- 3 : intégration d'éléments ayant trait à l'histoire du quartier
- 4 : Organisation d'évènements ou d'animation en lien avec l'histoire et l'identité locale du quartier.

Information traffic et services

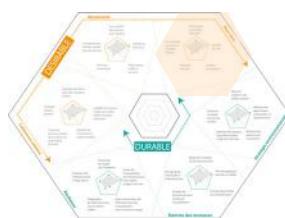
- 1 : Rien,
- 2 : points infos sur les services et le traffic métro,
- 3 : (2) + temps d'attente ou de parcours pour autre mode de déplacement,
- 4 : (2 et 3) + équivalent en application.

PRÉSENTATION DES LEVIERS ET CRITÈRES D'ÉVALUATION THÈME PAR THÈME

AXE 1 : DÉSIRABLE

Thème 3 - Bien-être

«La notion du bien-être thermique est plus large que celle de confort thermique car elle fait intervenir celle du plaisir, qui commence par le ressenti conscient de l'ambiance thermique, celui par exemple que l'on éprouve en hiver lorsque le soleil nous réchauffe le corps, ou quand une brise nous rafraîchit en été. Il est lié à la notion de variation des ambiances. Il s'accompagne d'autres ressentis : visuels, auditifs, tactiles et psychologiques, dont joue aussi l'architecture bioclimatique, pour créer au-delà de la simple absence d'inconfort, un art de vivre avec les éléments naturels».



Samuel Courgey
et Jean-Pierre
Oliva,
La conception
bioclimatique,
Terres vivantes,
2006.



FR

Constat actuel

L'image des stations est bien souvent sombre, malodorante et inaccessibles aux personnes limitées dans leur mobilité ou aux familles avec poussettes, par exemple.

Organisées aux grès des besoins de mobilité et des contraintes géotechniques, des servitudes et aujourd’hui de la sécurité incendie, les stations n’ont eu peu de place à consacrer à l’usage et le bien-être du voyageur.

La lumière cependant, devient un paramètre essentiel dans la conception des nouvelles stations.

Volonté du référentiel

Au-delà de l’aspect lumineux naturel, il s’agit de favoriser un confort et un bien-être sensitif, qui passe par la vue (lumière), l’ouïe (la gestion des bruits), l’odorat (l’encouragement à plus de propreté), le toucher (par l’accessibilité) et enfin un critère de santé évalué par la qualité de l’air.

EN

Current situation

The image of the stations is often dark, smelly and inaccessible to people limited in their mobility or to families with strollers, for example.

Organized to the needs of mobility and geotechnical constraints, easements and today fire safety, stations have had little room to devote to the use and well-being of the traveler.

Light, however, becomes an essential parameter in the design of new stations.

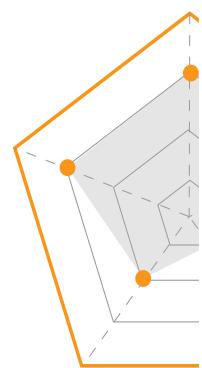
The ripostory will

Beyond the natural light aspect, it is to promote a comfort and a sensory well-being, which passes through the sight (light), the hearing (the management of the noises), the smell (the ‘Encouragement of cleanliness), touch (through accessibility) and finally a health criterion assessed by the quality of the air.

Autonomie
lumière
(% gare à
lumière)
1 : 0 - 20 %
2 : 21 - 40 %
3 : 41 - 70 %
4 : > 70 % c

Accessibilité personne à mobilité réduite

1 : à aucune ligne,
2 : 1 seule ligne,
3 : à toutes les lignes,
4 : à toutes les lignes
et tous les services.



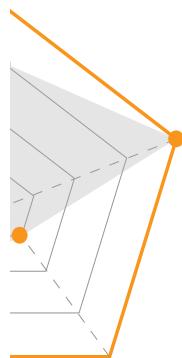
Propreté assurée

1 : tous les 15 jours,
2 : toutes les semaines,
3 : 2 fois / semaine,
4 : quotidiennement.

mie en naturelle

100 Lux au sol)

- 1 de la gare,
- 2 de la gare,
- 3 de la gare,
- 4 de la gare.



Qualité de l'air

(taux CO₂ max en PPM)

- 1 : taux limite haute pour 8h d'exposition >1100<1500ppm,
- 2 : taux tolérable en lieux fermés 1000-1100,
- 3 : taux correct en lieux fermés 600-800ppm,
- 4 : taux normal dans l'atmosphère <500ppm)

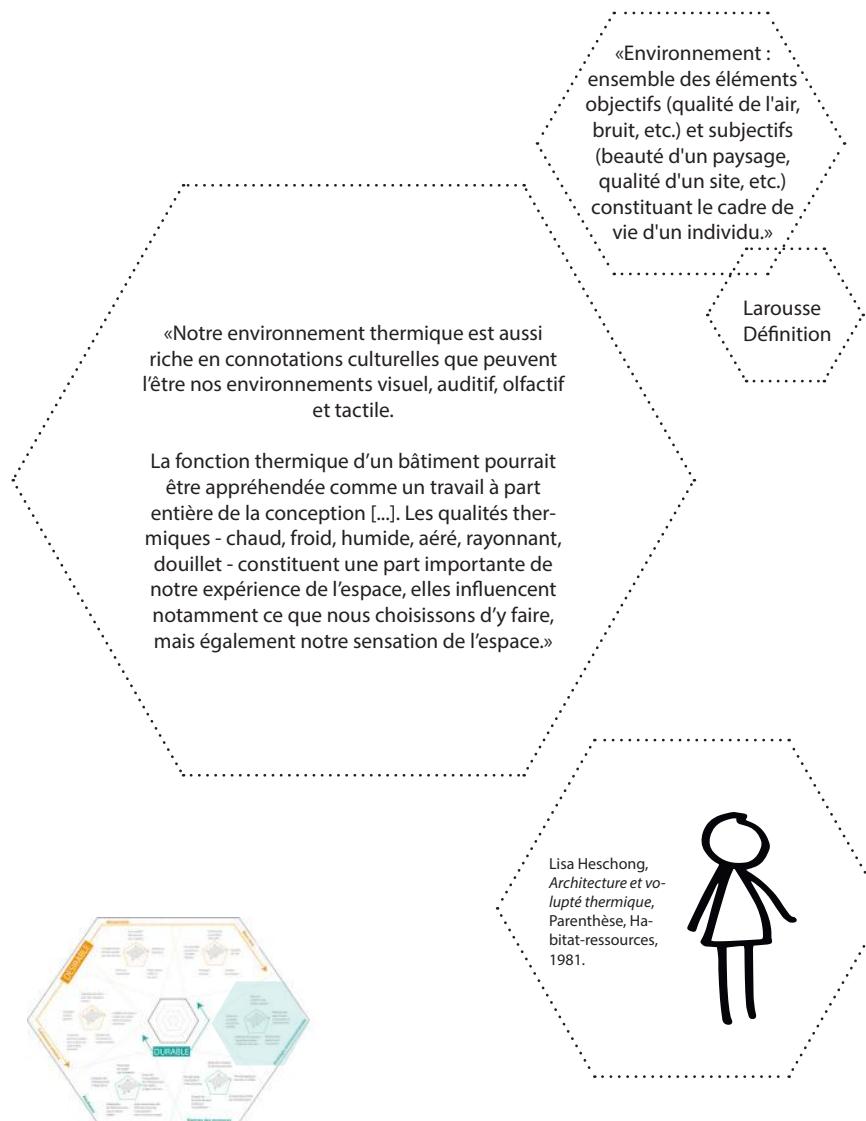
Confort acoustique

- 1 : pas de spécificité,
- 2 : atténuation sonores des matériels roulants,
- 3 : (2) + espaces dont la capacité d'accueil >30 personnes
- 4 : (2) à toute la gare.

PRÉSENTATION DES LEVIERS ET CRITÈRES D'ÉVALUATION THÈME PAR THÈME

AXE 2 : DURABLE

Thème 4 - Stratégie environnementale



FR**Constat actuel**

Du fait du positionnement urbain indépendant et en retrait vis-à-vis de la surface des stations de métro, celles-ci n'offrent pas ou très peu d'interaction avec le milieu qui l'entoure.

En conséquence, ces espaces se détournent d'une réflexion bio-climatique globale, participant à la maîtrise des ressources (thème 5) et au bien-être thermique et sensitif (thème 3).

Par ailleurs, aucune station à Paris ne donne à voir sur le milieu géologique, dans lequel s'implante pourtant chaque station.

Volonté du référentiel

Assumer l'aspect souterrain du milieu, le révéler, le mettre en évidence, ainsi que d'autres éléments naturels environnants.

Adapter les critères du bioclimatisme aux infrastructures de la mobilité, majoritairement souterraines : maîtrise des apports par conduction, rayonnement, convection et hygrothermie en s'appuyant sur les propriétés du milieu souterrain existant et des propriétés des nouveaux matériaux introduits.

EN**Current situation**

Due to the independent urban positioning, which is set back from the surface of the metro stations, these stations offer little or no interaction with the surrounding environment.

As a consequence, these spaces are diverted from a global bioclimatic reflection, participating in the control of resources (theme 5) and in thermal and sensory well-being (theme 3).

Moreover, no station in Paris gives to see on the geological environment, in which is established however each station.

The repository will

To assume the underground aspect of the environment, to reveal it, to highlight it, as well as other natural elements surrounding it.

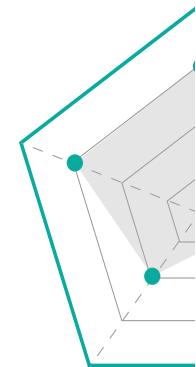
To adapt the bioclimatic criteria to mobility infrastructures, mostly underground, which means: control the conductive, radiative, convective and hygrothermal inputs, basing the project strategy on the properties of the existing underground environment and the properties of new materials introduced.

Mise en du milie

1 : aucune
2 : le proje
géologiqu
3 : (2) + él
autre que
4 : (3) + le
autour de

Etude du contexte environnemental

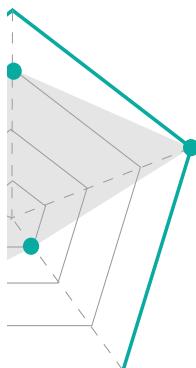
1 : aucune étude,
2 : étude macro et
micro du climat,
3 : (2) + identification des
périodes de forte affluence
retranscrite
en apport interne,
4 : (3) + étude des propriétés
thermiques du sol.



Maitrise des apports hygro- thermiques et gestion de l'ea

1 : Etude hygroscopique du sol et, si
concerné, du milieu déjà excavé,
2 : Pompage des eaux de ruissellement
(ER),
3 : Récupération des ER pour un usage
de la gare,
4 : Conserver les propriétés perspirante
des matériaux naturellement présents
et assurer l'équilibre global si introduc-
tion de nouveaux matériaux.

l'évidence
du naturel
? spécifité,
et révèle le milieu
ie,
ément naturel
géologique,
projet s'articule
ces éléments.



Maitrise des apports par conduction et rayonnement

- 1 : le projet tient compte de la temporalité des apports internes,
- 2 : le projet tient compte des propriétés inertielles du milieu souterrain,
- 3 : le projet poursuit l'équilibre (1+2) ou assure l'équilibre inertiel non trouvé (1+2) par l'introduction de nouveaux matériaux,
- 4 : Possibilité de moduler le confort à la mi-saison.

Maitrise des apports par convection

- 1 : Courants d'air froid maîtrisés à la saison froide,
- 2 : Rafraîchissement naturel à la saison chaude,
- 3 : Sur-ventilation nocturne pour les périodes de fortes chaleurs + forts apports internes,
- 4 : Possibilité de moduler le confort à la mi saison..

PRÉSENTATION DES LEVIERS ET CRITÈRES D'ÉVALUATION THÈME PAR THÈME

AXE 2 : DURABLE

Thème 5 - maîtrise des ressources

« C'est une évidence : nos besoins en énergie sont intimement liés à notre mode de vie. Les équipements que nous utilisons, les biens et les services que nous consommons nécessitent des quantités plus ou moins grandes d'énergie pour être fabriqués, pour être acheminés et pour fonctionner. Ainsi, la première étape de la transition énergétique est d'interroger cette consommation.»



Extrait du scénario négawatt 2017-2050, Partie 3 : des orientations renforcées P14, Association à but non-lucratif créée en 2001, dirigée par un collège de membres actifs, qui rassemble une vingtaine d'experts impliqués dans des activités professionnelles liées à l'énergie.



FR

Constat actuel

La stratégie environnementale du projet peut bien évidemment impacter la consommation des énergies nécessaires au fonctionnement, cependant l'énergie nécessaire à la réalisation ou à l'extension de stations est très impactante par rapport à un projet de surface; à tel point qu'on peut se demander si de tels projets peuvent prétendre être durables.

Volonté du référentiel

Encourager la prise de conscience de l'énergie grise nécessaire.

Favoriser une intensification grammaticale par mutualisation de l'infrastructure.

Se pencher sur les postes énergétiques, nécessaires au fonctionnement de la gare, pour lesquels le bioclimatisme n'aura pas d'impact et notamment la question de la publicité numérique.

Connaitre la part des ENR et ENR&r dans l'énergie de fonctionnement.

Particularité

Comparer les paramètres en KWh/voy/ an pour ne pas évincer des gares qui accueillent de nombreux voyageurs et justifient ainsi leur empreinte énergétique.

EN

Current situation

The environmental strategy of the project can obviously affect the consumption of the energies necessary for the operation, but the energy required for the realization or the extension of stations is very impactful, compare to a surface project; so much so that one can wonder whether such projects can claim to be sustainable.

The repository will

To encourage awareness of the embodied energy needed.

To encourage programmatic intensification by pooling the infrastructure.

To consider the energy stations needed for the station's operation, for which bioclimatization will have no impact, and in particular the issue of digital advertising.

To know the share of renewable energy and recovery energy in operating energy.

Special features

To compare the parameters in KWh / user / year so as not to foreclose stations that welcome many travelers and thus justify their energy footprint.

AXE 2 : DURABLE

Thème 5 - Maitrise des ressources

Cadrage de l'étude

Hors étude

Energie nécessaire à la propreté

Energie nécessaire à la réalisation du matériel roulant

Energie nécessaire à la traction des trains

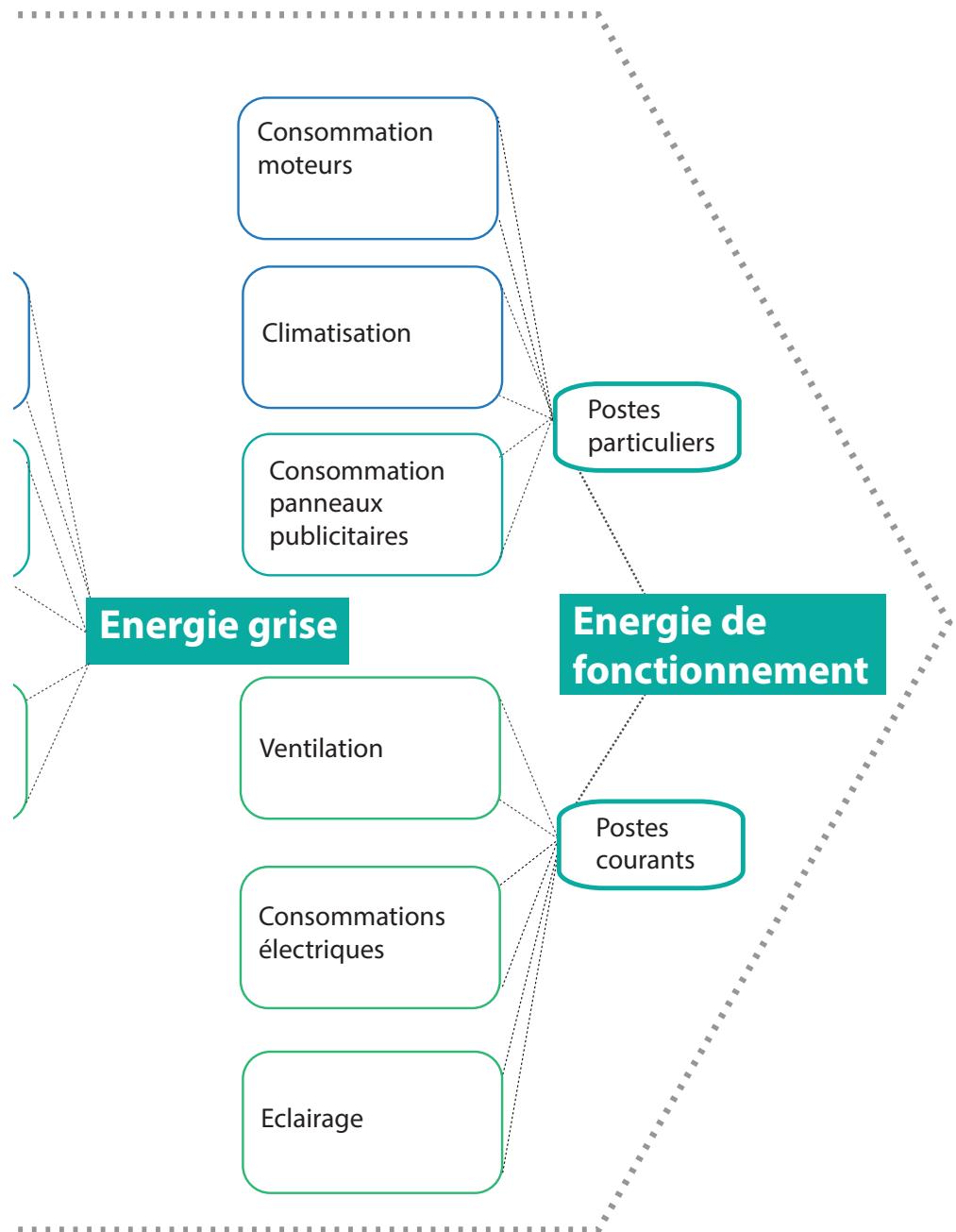
Périmètre étude

thème 5 - Maitrise des ressources

Energie nécessaire à l'évacuation des déchets

Energie nécessaire à la provenance des matériaux

Energie nécessaire au creusement des espaces



Energie de la construction de l'infrastructure

(évaluée poste par poste)

1 : >5000 kWh/

2 : >2000 <5000

3 : >1000 <2000

4 : <1000 kWh/

Energie grise investie dans la réalisation de l'infrastructure

(évaluée poste par poste, puis totalisée)

1 : >5000 kWh/voyg/an,

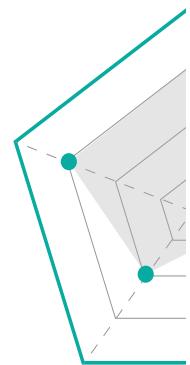
2 : >2000 <5000

kWh/voyg/an,

3 : >1000 <2000

kWh/voyg/an,

4 : <1000 kWh/voyg/an.



Stratégie de mutualisation de l'infrastructure en vue de la maîtrise des ressources

(avec scénario global et gestion des points particuliers explicités)

1 : Pas de mutualisation,

2 : 0-10% surface gare ou 0-8h de temps d'utilisation,

3 : 11-30% surface gare ou 9-16h de temps d'utilisation,

4 : ≥ 30% surface gare ou 16-24h de temps d'utilisation.

fonctionnement

structure

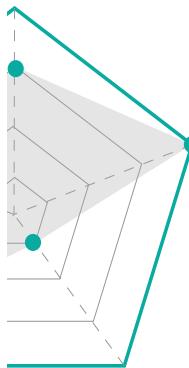
par poste, puis totalisée)

voyg/an,

0 kWh/voyg/an,

0 kWh/voyg/an,

voyg/an.



Réflexion sur les besoins énergétiques des postes spécifiques

1 : Rien de prévu,

2 : Compensation besoins climatisation,

3 : Réutilisation chaleur produite par les moteurs,

4 : Compensation besoins publicité numérique.

1
de
2S

Part énergétique des ENr et ENr&R dans l'énergie de fonctionnement

1 : 0-10%,

2 : 10-20%,

3 : 20-40%,

4 : >40%.

le

le

PRÉSENTATION DES LEVIERS ET CRITÈRES D'ÉVALUATION THÈME PAR THÈME

AXE 2 : DURABLE

Thème 6 - Résilience

« L'idée d'une décroissance des déplacements ordinaires fait son chemin »

Thierry Paquot,
Ecologik n°53,
Mars, avril, mai
2017, Dossier
Ecomobilités
P69



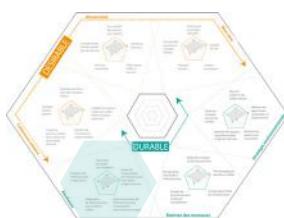
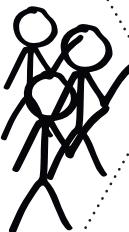
« Les connexions et les interconnexions multimodales, [...] ont des temporalités et se sont fabriquées parfois de manière opportuniste [...]. Optimiser, c'est savoir prévoir des branchements futurs »

David Mangin
Paris-Babel Une
Mégalopole
européenne.



« La résilience urbaine est dans cette perspective considérée comme la capacité de la ville à absorber une perturbation puis à récupérer ses fonctions à la suite de celle-ci (Lhomme et al., 2010). [...] Deux leviers permettent alors d'améliorer cette résilience urbaine de temps court : 1) Une stratégie technique visant à limiter le degré de perturbation du système par une meilleure capacité de résistance et d'absorption (Serre, 2011); 2) Une stratégie plus organisationnelle visant à accélérer le retour à la normale par une gestion optimisée des moyens et des ressources, et une bonne accessibilité. »

Marie Toubin, Serge Lhomme, Youssef Diab, Damien Serre et Richard Laganier,
« La Résilience urbaine : un nouveau concept opérationnel vecteur de durabilité urbaine ? », Développement durable et territoires, Vol. 3, n° 1 | Mai 2012, <http://developpementdurable.revues.org>



FR

Constat actuel

Les besoins de mobilité sont toujours plus croissants du fait de l'explosion des loisirs, des mouvements pendulaires domicile-travail, la congestion des traffics urbains qui encouragent un report modal et enfin les volontés politiques de ralentir le traffic lié à la mobilité individuelle; les transports ferrés souterrains ont certainement un bel avenir urbain.

Cependant, Thierry paquot lui évoque «la décroissance des déplacements ordinaires», alors comment adapter au mieux les infrastrctures souterraines, sans connaitre les réelles évolutions à venir ?

Volonté du référentiel

Par ce dernier thème, le référentiel d'urabnisme souterrain et d'ar- chitecture des mobilités a pour objectif d'assurer la résilience du projet : s'adapter aux évolutions à moyen et long termes, s'adapter aux incidents et à encourager la pérénité économique de l'in- frastructure.

EN

Current situation

Mobility needs are even most increasing due to an explosion of leisure, daily mobility movements between work and home, congestion in urban traffics which encourage modal shift, and also political will to slow traffic on individual mobility; underground rail transport certainly has a strong urban future.

However, Thierry Paquot mentions «the decay of ordinary displacements», then how to adapt the underground infrastrctures in the best way, without knowing the real evolutions to come?

The riposity will

The aim of this last theme is to ensure that the project is resilient: adapting to medium- and long- term changes, adapting to inci- dents and encouraging economic sustainability of the infrastructure.

Gestion

Mesures en place

pour les constructions

1 : en cas de

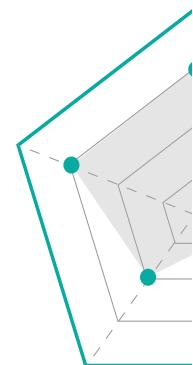
2 : (1) + en

3 : (2) + en

4 : (3) + en

Evolution de l'infrastructure à long terme

- 1 : aucune possibilité,
- 2 : nouveaux services possibles,
- 3 : allongement ou élargissement des quais possibles pour augmentation du trafic,
- 4 : nouvelle(s) ligne(s) possibles.



Gain économique de l'infrastructure par mutualisation à d'autres services/usages

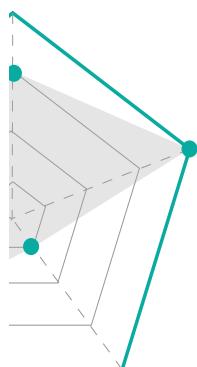
- 1 : aucun,
- 2 : ponctuel et annuel,
- 3 : mensuel,
- 4 : quotidien.

des risques

Le plan d'évacuation

les suivants :

- ✓ cas d'incendie,
- ✓ cas d'inondation,
- ✓ cas d'éboulement,
- ✓ cas d'attentat.



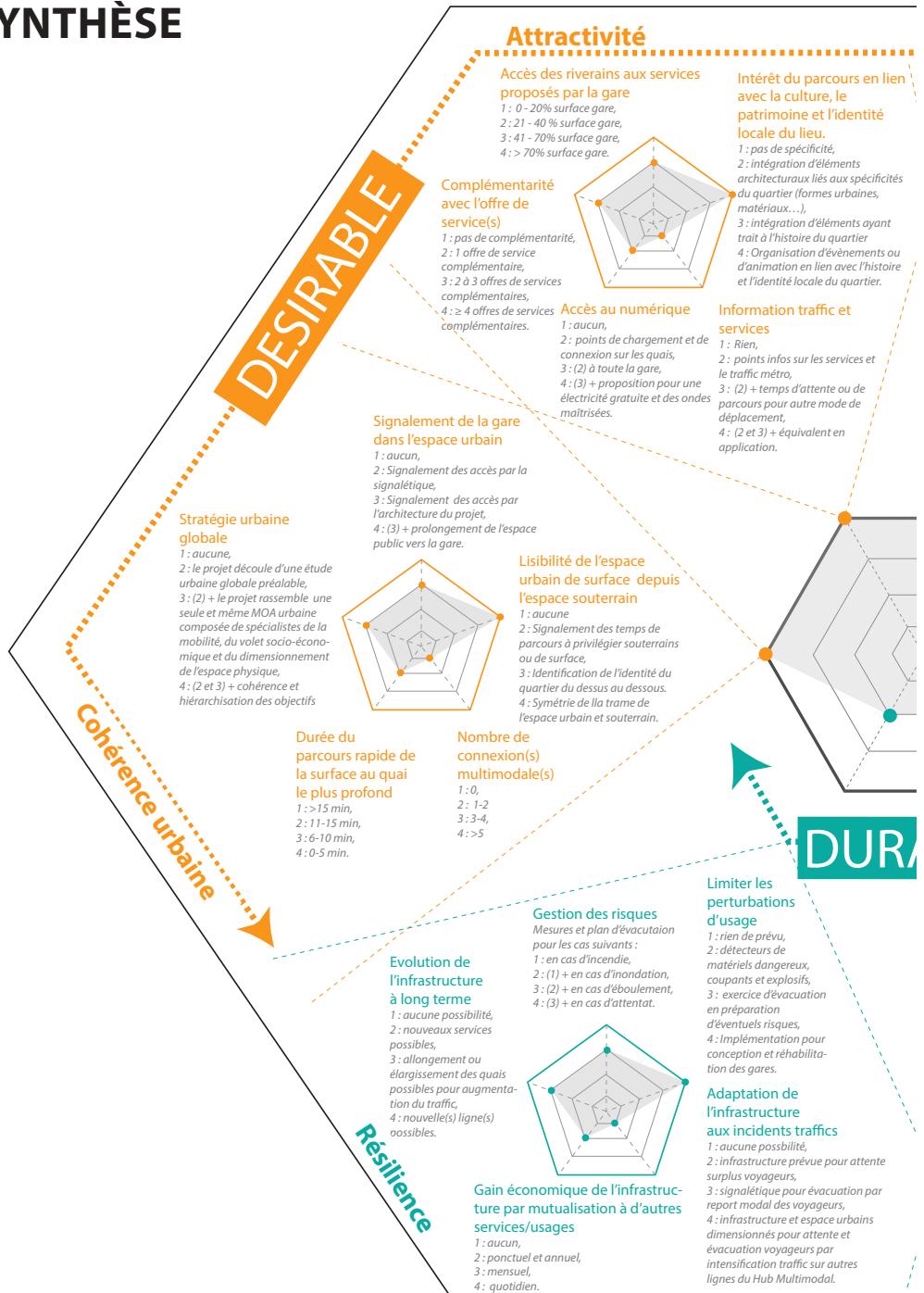
Limiter les perturbations d'usage

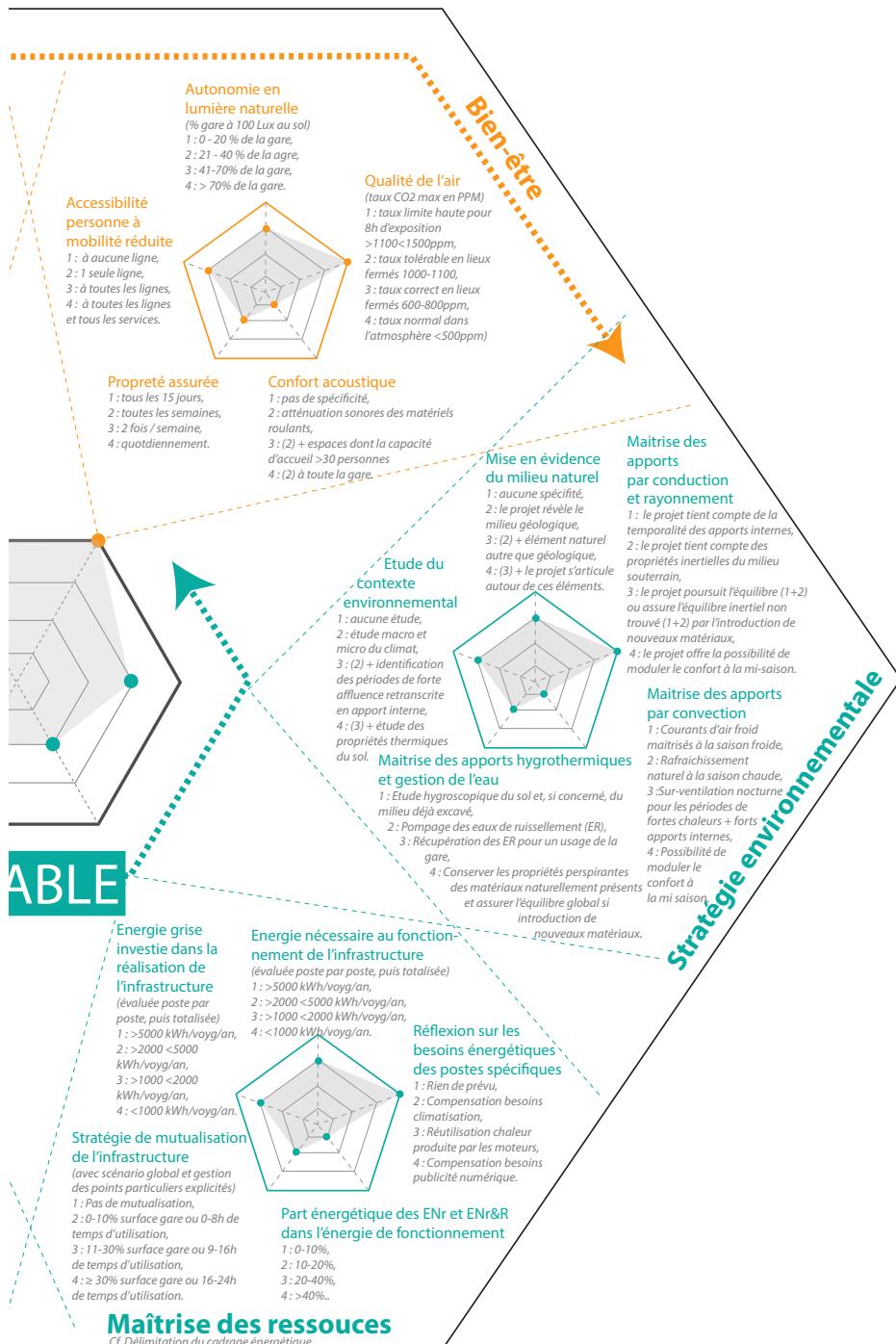
- 1 : rien de prévu,
- 2 : détecteurs de matériels dangereux, coupants et explosifs,
- 3 : exercice d'évacuation en préparation d'éventuels risques,
- 4 : Implémentation pour conception et réhabilitation des gares.

Adaptation de l'infrastructure aux incidents traffics

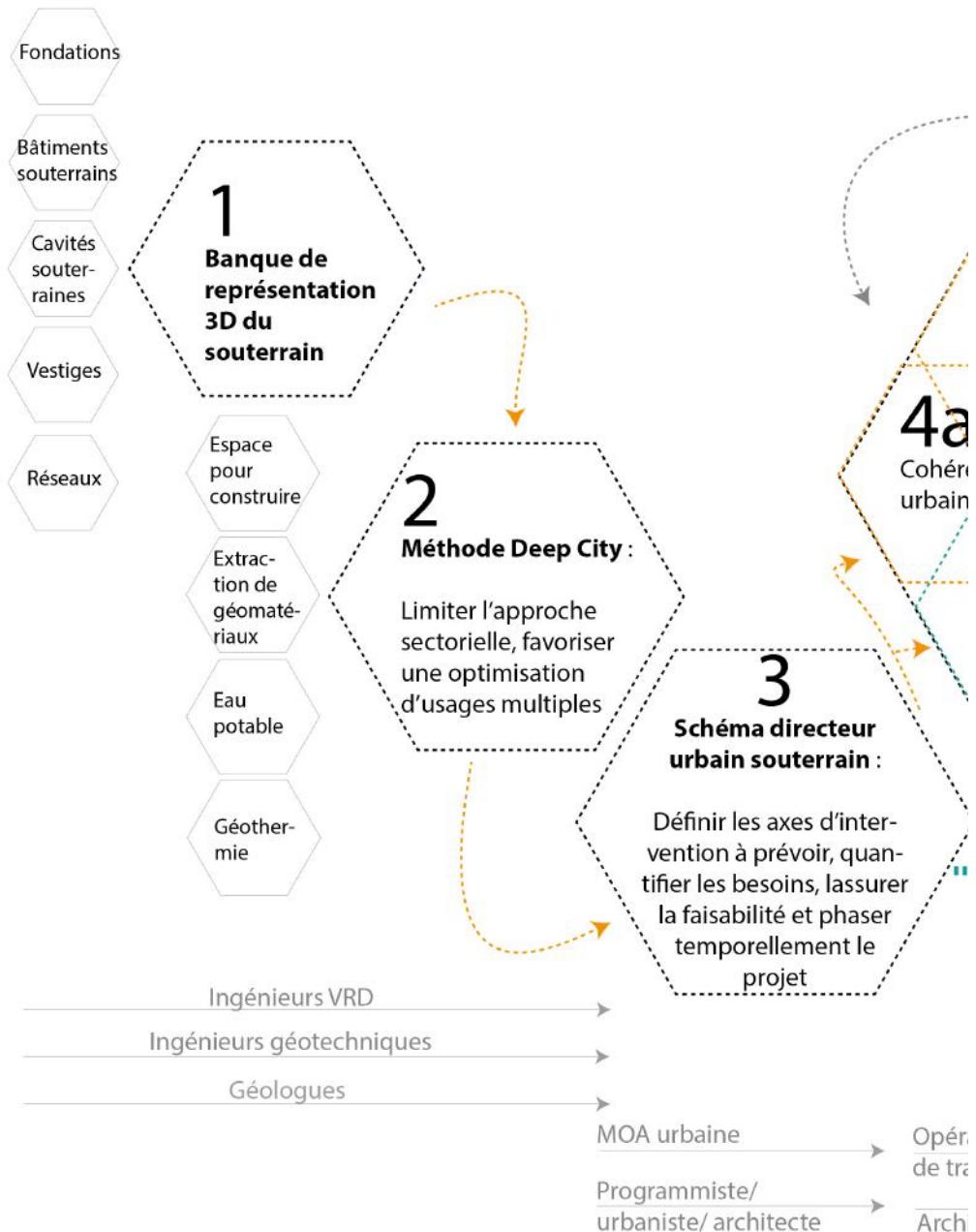
- 1 : aucune possibilité,
- 2 : infrastructure prévue pour attente surplus voyageurs,
- 3 : signalétique pour évacuation par report modal des voyageurs,
- 4 : infrastructure et espace urbains dimensionnés pour attente et évacuation voyageurs par intensification traffic sur autres lignes du Hub Multimodal.

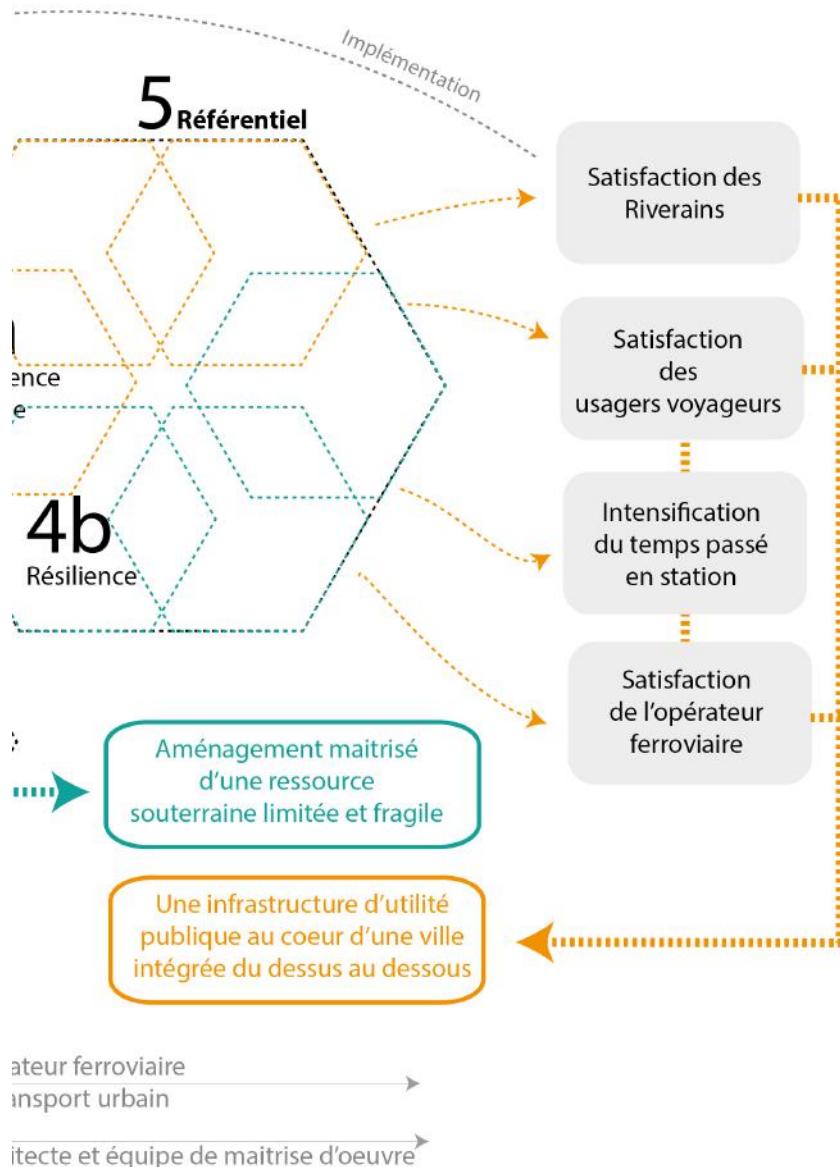
SYNTHÈSE





VISION PROSPECTIVE





Bibliographie

1. Ouvrages

- BARROCA Bruno, *Penser la ville et agir par le souterrain*, Paris :Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, 2014, 278 p.
- BERDET Marc, *Fantasmagories du capital. L'Invention de la ville marchandise*, Editions La Découverte, Paris, 2013.
- BOWIE Karen, *Paris et ses chemins de fer*, Paris, Action artistique de la ville de Paris, 2003, 288 p.
- CLEMENT, Alain, *Atlas du Paris souterrain : la doublure sombre de la ville lumière*, Parigramme, Paris, 2001, 200 p.
- GIRODO. Marion et MANGIN. David, *Mangroves urbaines, du métro à la ville : Paris, Montréal, Singapour*, Dominique Carré éditeur, Paris, 2016, 300 p.
- PERRAULT, Dominique, *Ground scapes, autres topographies*, édition HYX, Orléans, 2016, 207p.
- VON MEISS, Pierre, *Vingt mille lieux sous les terres : espaces publics souterrains*, PPUR, architecture, Lausanne, 2004, 169 p.

2. Articles de revues

- AR'SITE. « Souterrain: architecture paysage ». Association Ar'site, Janvier 2000, no 17, p. 40-47.
- BOIVIN. D. « De l'occupation du sous-sol à l'urbanisme souterrain », *Cahiers de géographie du Québec*, vol.33, Juin 1989, no88, p. 37-49.

- LE MONIER.M. « Épaisseur et profondeurs de la ville ». *Diagonal*, avril 1995, no 112, p.48-49.

3. Documents électroniques

Article pdf

- Atelier parisien d'urbanisme. « L'urbanisme souterrain, étude comparée exploratoire », Septembre 2005, 107.p.

Compte rendu colloque

- Colloque CESR-AFTES. « L'espace souterrain, une chance pour l'Île-de-France », Hémicycle régional du conseil économique et social régional de l'Île-de-France, Juin 2010. 68p.

SNCF: « Le programme Smart grid de SNCF », [consulté le 25 Novembre 2016]. Disponible sur : www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=sncf

SNCF réseau, 2015, [Consulté le 2 Décembre 2016]. Disponible sur : www.sncf-reseau.fr/fr

Les gares et l'urbanisme souterrain : approche architecturale et énergétique

Étudiants

Chamsy Bureaud

Coralie Coutellec

Marion Gardier

Anne-Claire Jestin

Alexis de La Taille

Jeanne Rozé

Cette étude a été menée d'octobre 2016 à mars 2017 dans le cadre de l'atelier de projet du DPEA Architecture Post-Carbone, encadré par Jean-François Bassel et Raphaël Ménard.

La rédaction du présent cahier a été accompagnée par Jean Souviron et sa mise en page par Julien Martin.

Commanditaire de l'étude

Efficacity

**Diplôme propre aux écoles d'architecture
Architecture Post-Carbone, délivré par le ministère
de la Culture et de la Communication, dirigé à
l'École nationale supérieure d'architecture de la
ville & des territoires à Marne-la-Vallée par Jean-
François Bassel, Raphaël Ménard, architectes et
ingénieurs**

Coordination administrative

Nathalie Guerrois

tél. +33 (0)1 60 95 84 66

nathalie.guerrois@marnelavallee.archi.fr

**École nationale supérieure d'architecture
de la ville & des territoires à Marne-la-Vallée
12 avenue Blaise Pascal, Champs-sur-Marne
77447 Marne-la-Vallée Cedex 2
www.marnelavallee.archi.fr**