



Journées techniques GC'2017 (3^e partie) Le Génie Civil et l'Aménagement des Grandes Métropoles

CONTRIBUTION DES ESPACES SOUTERRAINS À LA VILLE DURABLE

UNDERGROUND SPACE CONTRIBUTION TO A SUSTAINABLE CITY

**Yaarob AUDI⁽¹⁾, Laetitia D'ALOIA SCHWARTZENTRUBER^{(2)*},
Adélaïde FERAILLE⁽³⁾, Agnès JULLIEN⁽⁴⁾**

⁽¹⁾Laboratoire EASE, IFSTTAR

⁽²⁾Centre d'Etudes des Tunnels, CETU/MEEM

⁽³⁾Laboratoire Navier, Ecole des Ponts ParisTech

⁽⁴⁾Directrice des affaires européennes et internationales, IFSTTAR

* auteur correspondant : laetitia.daloia@developpement-durable.gouv.fr

1. INTRODUCTION

Dans un contexte urbain dense et fortement contraint, où les besoins en logements, équipements, mobilité et les attentes en matière d'activités culturelles et sociales, sont en pleine mutation et ne cessent de croître, on peut s'interroger sur la place occupée par le souterrain. En effet, penser la verticalité de la Ville en intégrant le sous-sol à travers une conception optimisée de l'espace fonctionnel et des structures, offre de réelles opportunités de rendre la ville de demain plus efficiente (consommation d'énergie, de matériaux, d'espace, confort, etc.) et plus résiliente face notamment au changement climatique et aux risques naturels et technologiques. Les outils d'évaluation existants considèrent très partiellement les spécificités du souterrain. Ils ne permettent donc pas de prendre en compte correctement les

externalités positives qu'il peut offrir dans le cadre du processus décisionnel amont (surface libérée, gain de temps, isolation climatique, etc.).

L'objet de cet article est de présenter une nouvelle méthodologie d'évaluation des impacts et de la qualité des ouvrages de construction souterrains, au sens du développement durable. Cette méthodologie a été développée dans le cadre de travaux de thèse soutenus par le Projet National « Ville d'idées – Ville 10D »¹ [AUDI 2016]. Elle s'inspire de méthodes plus classiques comme l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et les évaluations de types multicritères. Basée sur l'analyse des périmètres physiques et fonctionnels, elle permet enfin de comparer et de hiérarchiser des variantes d'aménagements en partie et/ou intégralement en souterrain, selon un système de notation et d'indicateurs spécifiques.

1. Projet de recherche collaborative soutenu par la Direction de la Recherche et de l'Innovation (DRI) du Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM) dans le cadre du dispositif des « Projets Nationaux ». « Ville d'idées – Ville 10D » porte sur la conception et l'aménagement du sous-sol pour la ville durable.

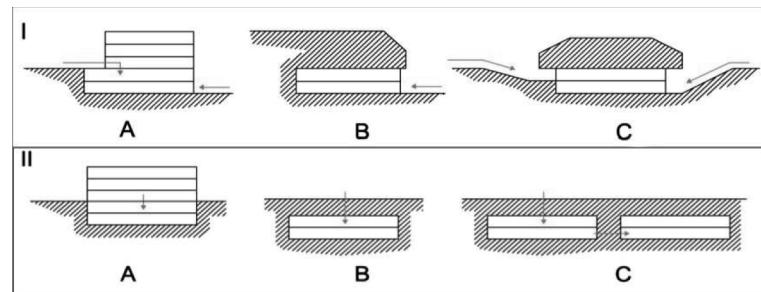


Figure 1 : L'accès aux ouvrages souterrains – Cas I : Accès de plain-pied à des ouvrages partiellement souterrains – Cas II : Accès à des ouvrages entièrement souterrains depuis la surface.
D'après une classification proposée par Labs et citée par Carmody et Sterling [Carmody and Sterling 1993].

2. LES OUVRAGES DE CONSTRUCTION SOUTERRAINS ET LEUR RELATION À LA VILLE

2.1. De l'espace souterrain à l'ouvrage souterrain

Historiquement, les différentes utilisations du sous-sol à travers les siècles ont façonné une image souvent négative et parfois angoissante de l'espace souterrain. Ce dernier peut être d'origine **naturelle** (cavernes) ou **anthropique** (« fabriqué » et utilisé par l'homme) [Carmody and Sterling 1993]. Cependant, l'homme a toujours utilisé cet espace que ce soit pour exploiter ses ressources, s'y cacher, se protéger ou par manque de place. Depuis le 19^e siècle, le sous-sol a été dévolu aux ouvrages techniques en même temps qu'il est devenu le lieu de l'excellence technique et le domaine des ingénieurs [Labbe 2016]. En revanche, en France comme dans de trop nombreux pays, aucune organisation ni planification, aucun schéma directeur n'a régi son occupation. Le 20^e siècle est également marqué par des avancées technologiques en matière de construction souterraine et de géotechnique. Ces avancées ont permis le développement de l'espace souterrain dans des villes denses en parallèle de leur croissance démographique comme à Paris, Stockholm et Tokyo par exemple [Bobylev 2009].

L'**espace souterrain** est défini par Monique LABBE comme un espace en dessous du terrain naturel. Dans un terrain vallonné, c'est un espace qui fait usage des pentes pour être accessible à n'importe quel niveau. Sur un terrain plat, c'est simplement un espace du dessous, dans un paysage urbain qui peut ainsi être considéré comme « approfondi » et développé dans toutes ses dimensions. La notion de terrain naturel devrait donc être reconstruite afin de repenser l'espace souterrain moderne ainsi

que sa relation et son articulation avec la surface [Labbe 2016]. L'ouvrage de construction souterrain peut être ainsi, partiellement ou totalement enterré avec un accès de plain-pied (Cas I - Figure 1) ou bien accessible par le biais d'un autre bâtiment en surface ou à travers sa couverture (Cas II - Figure 1).

Un **ouvrage de construction souterrain** est un ainsi un **ouvrage de génie civil**, mais aussi une sorte de **bâtiment**, une **infrastructure** placée en sous-sol. Il représente un espace anthropique, construit et aménagé au sous-sol pour une utilisation civile ou militaire, publique ou privée. Deux grandes méthodes de construction peuvent être distinguées, le creusement en souterrain ou la construction en tranchée couverte : le terrain est d'abord déblayé, l'ouvrage construit à ciel ouvert puis remblayé.

2.2. La classification des espaces souterrains

Indépendamment de leur accessibilité et de leur articulation avec la surface, les ouvrages souterrains peuvent être classés de deux manières : selon la nature de l'ouvrage, i.e. la géométrie, et selon l'usage, i.e. la fonction (cf. Figure 2). Quelques exemples d'ouvrages linéaires dédiés à la circulation (trafic, réseaux techniques...) mono et multi-fonctionnels, d'autres de types ponctuels ou encore des combinaisons d'ouvrages linéaires et ponctuels, sont présentés en figure 3 [Audi 2016]. La multifonctionnalité permet bien souvent au souterrain d'être « rentable ». Elle permet la densification des zones urbaines en déplaçant certaines activités de la surface vers le sous-sol. Ce qui permet alors, de préserver l'espace en surface pour d'autres usages. Le classement des ouvrages souterrains selon la nature de leur usage a été adoptée en particulier par Carmody et Sterling qui retiennent quatre catégories de fonctions urbaines : résidentielle, non résidentielle, infrastructure et militaire [Carmody et

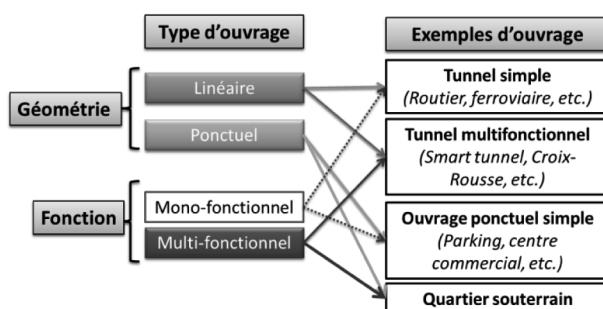


Figure 2 : Les ouvrages souterrains selon leur géométrie et leur fonctionnalité [Audi 2016].

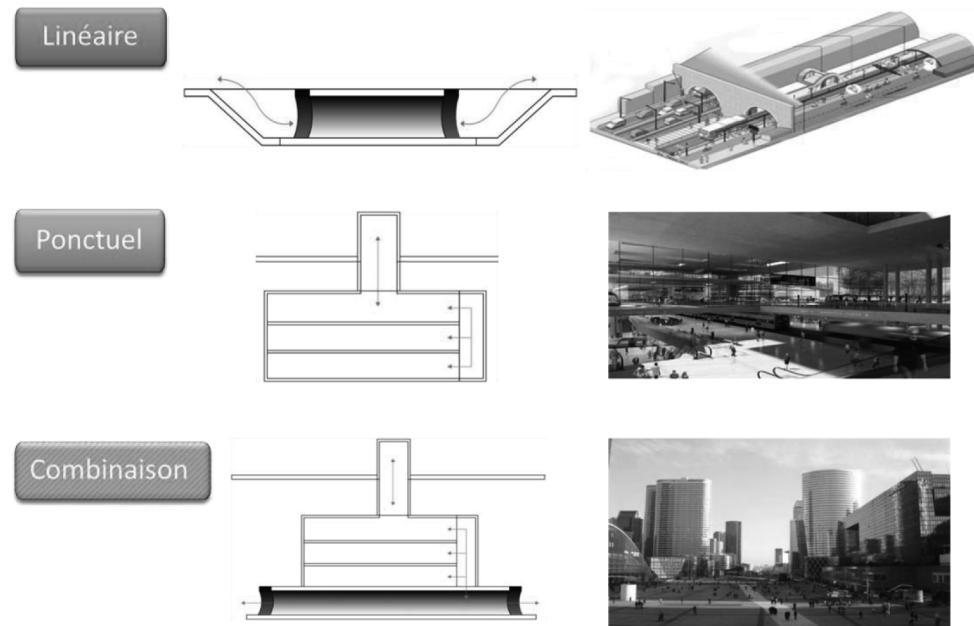


Figure 3 : Exemples d'ouvrages souterrains types [Audi 2016].

Sterling 1993]. D'autres classifications plus ou moins similaires ont également été proposées [Edelenbos *et al.* 1998] [Parker 2004] [Admiraal 2007] [Duffaut 2010] [Thewes *et al.* 2012] [Gautier *et al.* 2014a et 2014b]. Barles et Jardel donne quant

à eux un exemple d'analyse des équipements souterrains de la ville de Montréal basée sur leur géométrie [Barles et Jardel 2005]. La classification proposée et retenue dans le cadre du travail de thèse est présentée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Proposition de classification des ouvrages souterrains selon leur géométrie et leur fonctionnalité [Audi 2016].

Type d'ouvrage	Type de fonction	Activités correspondantes	Exemple d'ouvrages
Linéaire	Circulation	Transport de biens	Galeries techniques, conduites de gaz, d'eau...
		Transport de personnels et de fret	Tunnels routiers, ferroviaires, piétonniers...
		Stationnement public	Parking public
		Gare	Station de métro ou gare ferroviaire, routière
	Résidentielle	Habitat	Etage en sous-sol d'un bâtiment, maison (semi-) enterrée
		Annexes techniques	Annexes de logement, stationnement...
	Non résidentielle	Activités agricoles et forestières	Caves, abris pour les animaux...
		Activités culturelles et spirituelles loisirs	Salle de sport, piscine, cinéma, théâtre, centre religieux, bibliothèque, salle de congrès, spectacles...
		Activités d'intérêt général : administratives, financières sanitaires et sociales	Bureaux, banques, studios de radio et de télévision, poste, laboratoires et centres de recherches, hôpitaux, cimetières
		Activités économiques, industrielles	Supermarché, magasin, station-service, centre d'achats, discothèque, restaurant, bar...
	Logistique	Vocation industrielle	Installations industrielles, usine de traitement des eaux usées, installation pour le chauffage urbain...
		Stockage	Stockage de marchandises commerciales, salle d'archives, data center, réservoirs d'eau, d'hydrocarbures...



Tableau 2 : Profondeur des espaces souterrains selon leur usage [Carmody and Sterling, 1993].

	Services locaux	Bâtiment	Services régionaux/ transit urbain	Exploitation minière
Espace proche	0-2m	0-10m	0-10m	0-100m
Espace à profondeur moyenne	2-4m	10-30m	10-50m	100-1000m
Espace lointain	>4m	> 30m	> 50m	> 1000m

2.3. Le zonage vertical

L'étude des fonctions urbaines dans un plan vertical nécessitent que l'on s'intéresse à la compatibilité de ces fonctions avec l'espace souterrain aménagé. Boivin avait identifié trois espaces souterrains en termes de profondeur : le proche-espace, le moyen-espace et le lointain-espace [Boivin 1989]. L'objectif était d'établir non seulement la compatibilité de certaines activités et fonctions avec une localisation en souterrain mais aussi de définir leur position verticale selon les contraintes liées à la mobilité. Cette dernière peut concerter aussi bien les personnes que les marchandises. Ainsi, les commerces ou les industries qui manipulent des objets lourds ou de grandes dimensions devront être implantés près de la surface. Carmody et Sterling ont ainsi identifié les profondeurs moyennes des espaces souterrains mentionnés par rapport à l'usage (cf. Tableau 2) [Carmody and Sterling, 1993]. Il est cependant nécessaire de souligner que la réglementation française apporte des contraintes sur la conception des ouvrages de construction souterrains. Ces contraintes concernent le plus souvent l'accessibilité, la sécurité incendie et les délais d'évacuation des personnes. C'est ainsi que la mise en sous-sol de certaines fonctions urbaines peut s'avérer limitée à une profondeur maximale donnée, voire interdite. Un important travail de synthèse portant sur les aspects juridiques (bâtiment, tunnel, Etablissements Recevant du Public (ERP)) a été réalisé dans le cadre du thème 5 du Projet National Ville10D [Cocquière 2014].

2.4. Les périmètres spatiaux et les populations affectées

La définition des différents périmètres spatiaux concernés par la réalisation d'un ouvrage de construction souterrain ainsi que la définition des populations, dont certaines sont d'ailleurs

associées à ces périmètres, constituent un des éléments clés de l'évaluation au sens du développement durable de l'ouvrage. Périmètres spatiaux et populations vont permettre de mieux appréhender l'insertion de l'ouvrage de construction souterrain dans son environnement (i.e. son intégration urbaine) et d'évaluer ses impacts de manière plus pertinente. Les périmètres spatiaux sont délimités par les contours physiques des structures souterraines et correspondent également aux différents espaces de surface en interaction avec l'ouvrage. Quatre périmètres sont ainsi retenus (Figure 4) :

- **Le périmètre structurel** qui comprend les structures répondant aux fonctions principales de l'ouvrage ainsi que leurs structures annexes associées ;
- **Le périmètre opérationnel** qui représente la zone géographique où se situent toutes les opérations d'aménagement accompagnant la réalisation de l'ouvrage ;
- **Le périmètre territorial** décomposé en un périmètre **local** qui représente la zone urbaine proche concernée par la réalisation de l'ouvrage souterrain. Les impacts qui affectent cette zone sont des impacts de proximité comme le bruit ou les vibrations ; et un périmètre **global** qui représente la zone géographique affectée globalement par la réalisation de l'ouvrage. Il s'agit d'impacts globaux comme le réchauffement climatique.

3. QUELQUES MÉTHODES D'ÉVALUATION ET LEURS LIMITES

Concernant le volet environnemental, parmi les différentes méthodes d'évaluation des impacts développées ces dernières années, l'Analyse de Cycle de vie (ACV) se révèle être une méthode particulièrement intéressante. Faisant l'objet d'un cadrage normatif, multicritère et prenant en compte l'ensemble

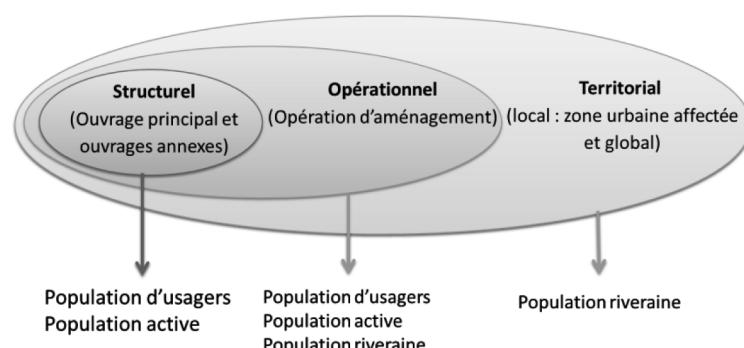


Figure 4 : Représentation schématique des périmètres spatiaux et populations associées [Audi 2016].



du cycle de vie d'un produit ou service, elle est désormais appliquée au bâtiment, au quartier, aux travaux publics, aux ponts. Quelques applications existent également dans le domaine des ouvrages souterrains linéaires et monofonctionnels (i.e. les tunnels) [D'Aloia *et al.* 2010] [Stripple *et al.* 2010] [Boulenger 2011] [Morel 2012]. Dans le cadre du travail de thèse, cette méthode a été appliquée au tube modes doux du tunnel de la Croix-Rousse à Lyon [Audi *et al.* 2015]. Ce tunnel a été retenu car il constitue un exemple de complexe souterrain multimodal et multifonctionnel. L'objectif de l'étude était de dégager les éléments méthodologiques pertinents pour les ouvrages de construction souterrains en général. Cependant, si l'ACV se révèle essentielle du point de vue de l'environnement, elle ne permet de rendre compte de certains aspects comme la libération ou la préservation d'espace en surface alors disponible pour d'autres usages ou bien encore l'exploitation de ressources en matériaux ou celles énergétiques comme la géothermie, facilitée par la nature du projet lui-même. Cette approche environnementale doit être également complétée par des considérations sociales et économiques et des indicateurs spécifiques aux ouvrages souterrains doivent être définis. Ces indicateurs peuvent s'appuyer sur le système de populations introduit au paragraphe 2.4.

La démarche HQE (Haute Qualité Environnementale) constitue une méthode particulièrement intéressante pour couvrir les volets sociaux et économiques dans la mesure où elle considère les différentes parties prenantes. La Qualité Environnementale (QE) d'un ouvrage de construction est évaluée à partir du référentiel HQE [HQE 2001]. Ce référentiel présente, pour chacune des cibles identifiées, les exigences et indicateurs (qualitatifs ou quantitatifs, orientés résultats ou moyens) nécessaires à leur prise en compte. D'abord développée pour le bâtiment (HQE Bâtiment), elle a été étendue aux routes (Route Durable) et enfin aux ensembles urbains (HQE Aménagement et l'application au projet HQE²R). Quelle que soit sa forme, elle n'est cependant pas adaptée aux ouvrages souterrains. Dans ses volets socio-économiques, la méthode HQE a donc également été appliquée au tunnel de la Croix Rousse avec pour objectif principal le développement d'objectifs, de sous-objectifs et d'indicateurs adaptés aux différents types d'ouvrages de construction souterrains.

4. DÉVELOPPEMENTS MÉTHODOLOGIQUES : LES PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA MEDDAS

L'objectif principal du travail de thèse était de développer une méthodologie d'évaluation des impacts des ouvrages de construction souterrains. Cette méthodologie devait permettre la comparaison de variantes d'aménagement : souterraines, aériennes ou mixtes, sous un angle « avantages/inconvénients ». Elle devait également prendre en compte le cycle de vie de l'ouvrage et permettre de rendre compte des spécificités du souterrain et de ses apports à la ville durable.

La méthodologie développée s'appuie ainsi sur l'ACV et la HQE (cf. paragraphe 3). Baptisée MEDDAS (méthodologie d'évaluation au sens du développement durable des aménagements souterrains) elle est présentée ci-après dans ses grandes lignes.

4.1. La définition de jeux d'indicateurs du développement durable

Plusieurs jeux d'indicateurs environnementaux, sociaux et économiques ont été définis pour les ouvrages de construction souterrains. Ces indicateurs ne constituent pas une liste exhaustive et pourront être complétés à l'avenir. Ils couvrent ainsi les trois dimensions du développement durable. Les indicateurs environnementaux s'appuient en grande partie sur ceux proposés par l'ACV. Ils sont complétés par quelques indicateurs permettant de mettre en lumière les avantages spécifiques offerts par le souterrain. Les indicateurs sociaux et économiques s'appuient quant à eux sur la méthode HQE. D'autres références bibliographiques et textes normatifs ont permis de faire des propositions complémentaires. Ces indicateurs sont classés par objectifs et sous-objectifs.

Outre le fait qu'ils soient adaptés aux ouvrages souterrains, les indicateurs doivent être sélectionnés en fonction du projet évalué. Ils doivent donc être en lien avec les fonctions évaluées, avec les structures associées ou bien avec les deux à la fois. Ils sont ainsi liés à l'ensemble « fonction/structure ».

Les différents jeux d'indicateurs proposés et adaptés aux ouvrages souterrains sont présentés en figure 5 dans le cadre de l'étude menée sur le tunnel de la Croix Rousse. La représentation est inspirée des cercles HQE²R de la durabilité. Le centre est constitué par les trois dimensions du développement durable, le deuxième cercle est composé des objectifs, le troisième des sous-objectifs, le quatrième des indicateurs, le cinquième des résultats obtenus pour les différentes variantes étudiées. A noter qu'il reste utile de sélectionner le plus grand nombre possible d'indicateurs pour évaluer convenablement les objectifs visés dans chacune des dimensions du développement durable. Cependant, le développement d'un système de notation afin de pouvoir rassembler les différents résultats sur une seule échelle apparaît nécessaire.

4.2. Les trois principales étapes de la MEDDAS

La MEDDAS comprend trois étapes (cf. Figure 6) : la définition de l'ensemble « fonction – structure » ; la sélection des indicateurs de développement durable et leur calcul pour chaque variante ; enfin la notation et la synthèse des résultats obtenus. Ces trois étapes sont détaillées ci-après.

- **La définition de l'ensemble « fonction-structure » :** cette étape consiste à identifier les besoins principaux pour lesquels le projet urbain est envisagé. Il faut ensuite définir l'ensemble « fonction - structure » qui répond à ces besoins. Une approche s'appuyant sur l'analyse fonctionnelle permet de définir les différentes fonctions qui peuvent être principales, annexes ou secondaires.
- **La sélection et le calcul des indicateurs de développement durable :** il s'agit de retenir parmi les jeux d'indicateurs proposés ceux les plus adaptés au contexte du projet. Ils doivent être liés à l'ensemble « fonction - structure » des différentes variantes. Une aide à la sélection des indicateurs est proposée afin d'écartier toute subjectivité dans leur choix. Dans un premier temps, les sous-objectifs qui ne sont pas pertinents au regard de l'ensemble « fonction-structure » sont écartés. Dans un second temps, seuls les sous-objectifs

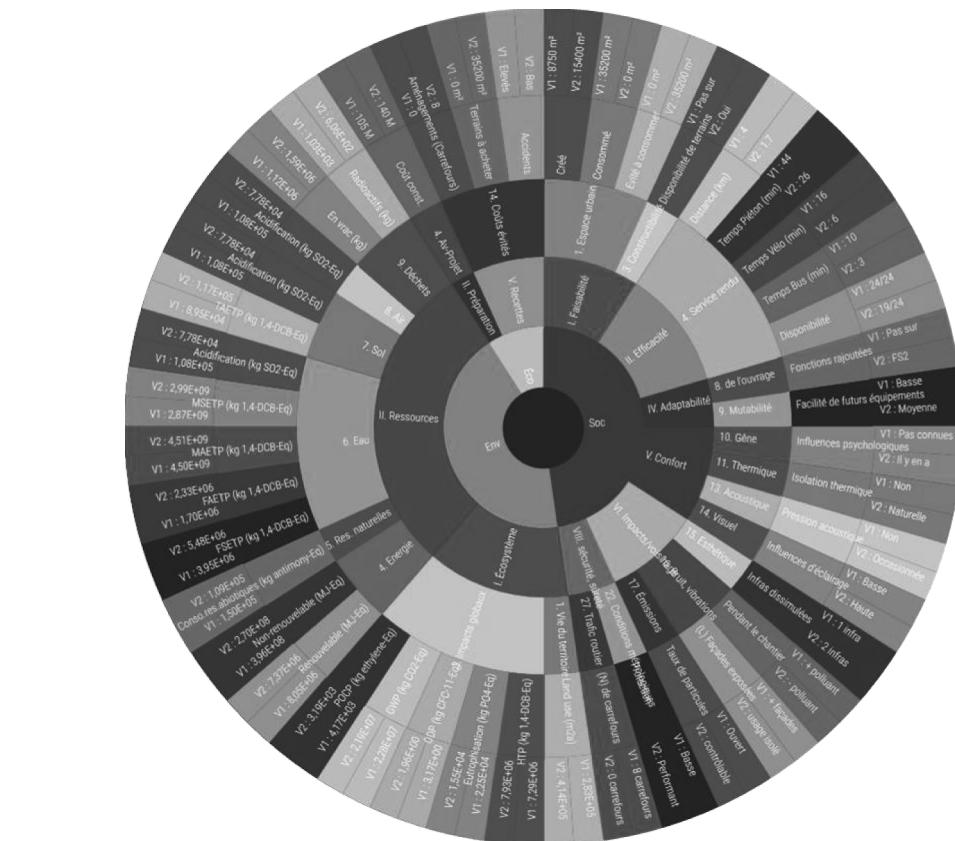


Figure 5 : Résultats obtenus en appliquant la MEDDAS au tunnel de la Croix Rousse [Audi 2016].

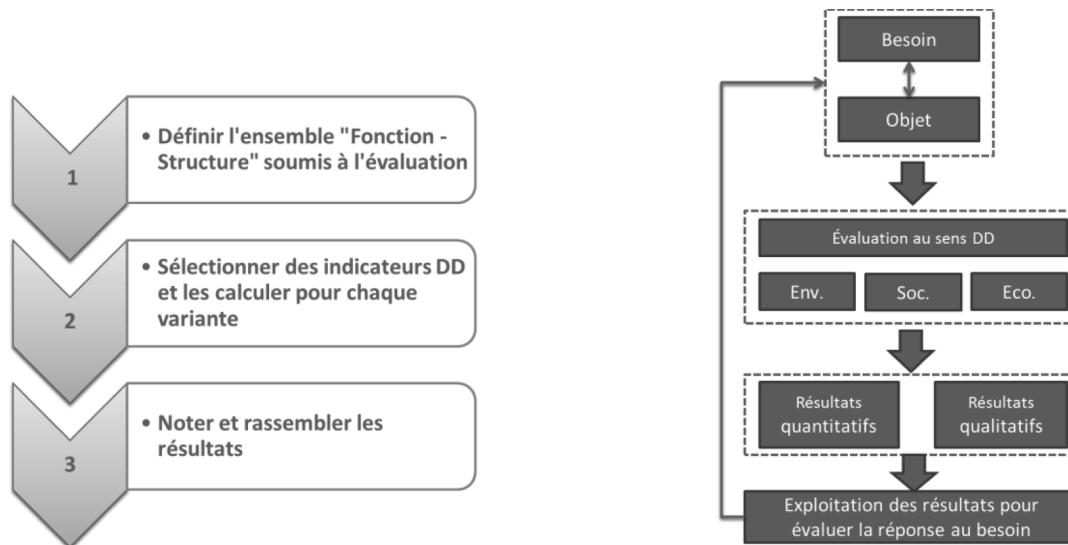


Figure 6 : Les principales étapes de la MEDDAS [Audi 2016].

- les plus « robustes » sont conservés².
- **La notation et la synthèse des résultats :** dans le cadre du travail de thèse, un système de notation défini sous l'angle avantage/inconvénient et a été développé. Il permet d'organiser les nombreux résultats quantitatifs et qualitatifs obtenus sur une même échelle et de faciliter le choix d'une variante (cf. figure 7).

2. Cette robustesse se mesure par le nombre d'aspects spécifiques au souterrain que peut revêtir chaque sous-objectif. Il traduit son degré de pertinence au regard des ouvrages souterrains. Si le nombre d'aspects spécifiques est supérieur ou égal à 4 (sous objectif particulièrement pertinent), le sous objectif est de rang 1, s'il est de 2 ou 3, le sous objectif est de rang 2, s'il est strictement inférieur à 2 (sous objectif moins pertinent), le sous objectif est de rang 3.

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Une méthodologie d'évaluation au sens du développement durable des ouvrages souterrains a été proposée. Baptisée MEDDAS, cette méthodologie s'inscrit dans une optique avantage/inconvénients. Elle permet la comparaison de variantes d'aménagement et leur classement par le biais d'un système

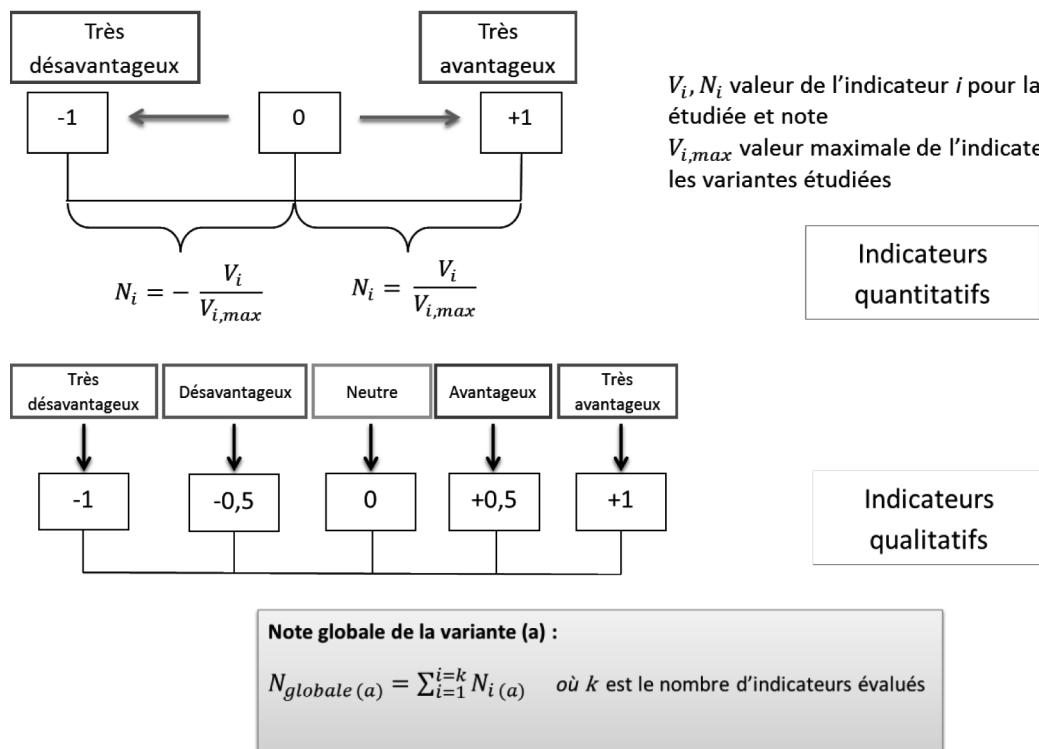


Figure 7 : Le système de notation proposé dans le cadre de la MEDDAS [Audi 2016].

de notation. La mise en œuvre de cette méthode a été illustrée dans le cas du tube modes doux du tunnel de la Croix Rousse à Lyon. Elle doit cependant être encore appliquée à d'autres catégories d'ouvrages souterrains, notamment à des ouvrages ponctuels de types gares ou centres commerciaux par exemple. On notera que cette méthode est évolutive et que de nouveaux indicateurs peuvent être proposés.

Enfin, signalons que dans le cadre du travail réalisé, les notes partielles étaient sommées pour chacune des dimensions du développement durable, ce qui conduisait à 3 notes distinctes. L'objectif était uniquement d'illustrer la façon de noter et de choisir la variante. Cependant, dans certains cas, la notation peut dépendre de la partie prenante concernée. Pour cela une proposition complémentaire pourrait être faite à l'avenir et les objectifs, sous-objectifs ou indicateurs intéressants chaque partie prenante ou population, pourraient être distingués et regroupés.

6. REMERCIEMENTS

Le travail a été réalisé dans le cadre d'une thèse IFSTTAR (départements AME et MAST, laboratoires EASE et Navier) – CETU, avec le soutien financier du Projet National «Ville 10D – Ville d'idées» que les auteurs remercient.

7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [Admiraal 2007] : Admiraal H. (2007). « Address by the chair of ITA committee on underground space », UN workshop, 14 décembre 2007.
- [Audi *et al.* 2015] : Audi Y., Jullien A., D'aloia Schwartzentruber L., Feraille A. and Lorino T. (2015). « Building
- underground : Which benefits from a sustainable point of view? ». International conference ITA WTC 2015, Dubrovnik, Croatia. 22-28 mars 2015, 8p.
- [Audi 2016] : « Méthodologie d'évaluation au sens du développement durable des aménagements souterrains ». Mémoire de thèse de l'Ecole Centrale de Nantes. ED : SPIGA. Soutenue le 9 décembre 2016, 258p.
- [Barles et Jardel 2005] : Barles S and Jardel S. (2005). « L'urbanisme souterrain : étude comparée exploratoire ». Technical report, Laboratoire Théorie des mutations urbaines, UMR 7136 Architecture, urbanisme, sociétés, CNRS/Université Paris 8.
- [Bobylev 2009] : Bobylev N. (2009) « Mainstreaming sustainable development into a city's master plan: A case of urban underground space use ». In Land Use Policy. Elsevier Science.
- [Boivin 1989] : Boivin D. (1989). « De l'occupation du sous-sol urbain à l'urbanisme souterrain ». Cahiers de géographie du Québec, 33 N 88, pp. 37-49.
- [Boulenger 2011] : Boulenger M. (2011). « Life Cycle Assessment of concrete structures using public databases: comparison of a fictitious bridge and tunnel ». Thèse de master the Royal Institute of Technology (KTH) in Stockholm. 151p.
- [Carmody and Sterling 1993] : Carmody J., Sterling R. (1993). « Underground space design: Part 1: Overview of subsurface space utilization. Part 2: Design for people in underground facilities ». University of Texas Press, 328p.
- [Coquière 2014] : Coquière A. « Rapport de synthèse portant sur la réglementation nationale ». (2014). Rapport du thème 5 du Projet National Ville 10D – Ville d'idées. 133p.
- [D'Aloia *et al.* 2010] : D'aloia Schwartzentruber L., Rival F. et Kote H. (2010). « LCA for evaluating underground infrastructures like tunnels: potential environmental impacts



- of Materials ». Proceeding of the Second International Symposium on Service Life design for Infrastructure, 46th October 2010, Delft, The Netherlands, Vol. 1, p. 453-460.
- [Duffaut 2010] : Duffaut P. (2010). « L'espace souterrain au service du développement durable ». Dans Colloque Franco-Suisse sur la gestion de l'espace sous la ville : des géosciences à l'urbanisme. EPFL, Lausanne, 8p.
- [Edelenbos *et al.* 1998] : Edelenbos J., Monnikhof R., Haasnoot J., Van der Hoeven F., Horvat E., and Van der Krog R. (1998). « Strategic study on the utilisation of underground space in the Netherlands ». Tunnelling and underground space technology, 13 N 2: pp. 159-165.
- [Gautier *et al.* 2014a] : Gautier P., Jehanno A., Subitte A., Bossin P., Labbé M., and Belmekki M. (2014). «  t  t de l'art des outils d'évaluation socio-économique et de la monétarisation des externalités environnementales ». Technical report, Systra - Interface transport - Les ateliers Monique Labbé, Projet National ville 10D - ville d'idées. 77 p.
- [Gautier *et al.* 2014b] : Gautier P., Jehanno A., Subitte A., Bossin P., Debysier C., Labbé M., and Belmekki M. (2014). « Boîte   t de projets souterrains ». Technical report, Systra - Interface transport - Les ateliers Monique Labbé, Projet National ville 10D - ville d'idées. 114p.
- [HQE 2001] : HQE. (2001) « Environnementale, H. H. Q. Définition explicite de la qualité environnementale, EDQE et SME ». Référentiels des caractéristiques HQE. Paris, Association HQE, document, 44 pages.
- [Labbé 2016] : Labbé M. (2016). « Architecture of underground spaces: From isolated innovations to connected urbanism ». Tunnelling and Underground Space Technology. 23p.
- [Morel 2012] : Morel A. «   valuation des impacts environnementaux d'un chantier de construction d'un tunnel par la méthode d'analyse du cycle de vie » (2012). Mémoire de stage de TFE de l'ENTPE, juin 2012.
- [Parker 2004] : Parker H. (2004). « Underground space: good for sustainable development, and vice versa ». In International tunnelling association ITA Open session world tunnel congress, Singapore. 17p.
- [Stripple *et al.* 2010] : Stripple H. and Uppenberg S. (2010). « Life cycle assessment of railways and rail transports - Application in environmental product declarations (EPDs) for the Bothnia Line - IVL Svenska Milj  nstitutet ». 190p.
- [Thewes *et al.* 2012] : Thewes M., Godard J. P., Kocsanya F. P., Nisji J., Arends G., Broere W. and Sterling R. (2012). « Report on Underground Solutions for Urban Problems ». ITA, rapport N  11, 2012.

