

General Considerations in Assessing the Advantages of Using Underground Space/ *Considérations générales sur l'évaluation des avantages de l'utilisation du sous-sol*

ITA Working Group No. 13, "Direct and Indirect Advantages of Underground Structures"

Prepared by J.-P. Godard, Animateur and R. L. Sterling, Vice-Animateur

Abstract—The ITA Working Group No 13, "Direct and Indirect Advantages of Underground Structures," has begun an analysis of the advantages of underground structures. In presenting some general considerations about the assessment of the advantages of underground space use, this report constitutes a general introduction for a series of reports treating several uses of underground space.

Résumé—Le Groupe de travail n°13 de l'AITES a entrepris l'analyse des avantages des ouvrages souterrains. Le présent rapport, qui a été discuté par le groupe lors de ses réunions du Caire (avril 1994), expose certaines considérations générales sur l'évaluation de ces avantages. Il constitue l'introduction générale à une série de rapports traitant d'utilisations spécifiques de l'espace souterrain.

ITA Working Group No 13, "Direct and Indirect Advantages of Underground Structures," has begun an analysis of the advantages of underground structures. This report, which was discussed by the Group at its Cairo meetings in April 1994, presents some general considerations in assessing these advantages. It constitutes a general introduction for a series of reports treating several types of uses of underground space. The following three papers in this issue of T&UST deal specifically with underground parking structures.

Introduction

Any assessment of the advantages of using underground space poses a number of methodological difficulties. It is advisable to set these out first, in order to have a clear idea of what we are talking about when we discuss the advantages of underground space. To achieve this, we need to ask the following questions:

- On what concepts or principles are the advantages of using underground space based? What qualities does underground space possess that form the basis for these advantages?
- What are the specific advantages of underground space? What matters do they affect? What problems do they enable us to solve?

Le Groupe de travail n°13 de l'AITES a entrepris l'analyse des avantages des ouvrages souterrains. Le présent rapport, qui a été discuté par le groupe lors de ses réunions du Caire (avril 1994), expose certaines considérations générales sur l'évaluation de ces avantages. Il constitue l'introduction générale à une série de rapports traitant d'utilisations spécifiques de l'espace souterrain. Les trois articles suivants dans le présent numéro de T&UST traitent des parcs de stationnement souterrains.

Introduction

L'appréciation des avantages de l'utilisation du sous-sol pose un certain nombre de difficultés méthodologiques qu'il convient d'évoquer au préalable, de façon à «bien savoir de quoi on parle».

A cet égard, les diverses questions que l'on peut se poser sont les suivantes:

- Sur quoi se fondent les avantages de l'utilisation du sous-sol? Quelles sont les qualités du sous-sol qui sont à l'origine de ces avantages?
- Quels sont ces avantages? Dans quels domaines s'exercent-ils? Quels problèmes permettent-ils de résoudre?
- Qui profite des avantages?
- Par rapport à quoi ces avantages sont-ils appréciés?

Present address: J.-P. Godard, RATP, Département Ingénierie des Projets, 21, Blvd. Bourdon, 75180 Paris Cedex 04, France; and Raymond Sterling, Director, Underground Space Center, University of Minnesota, 790 CivEng Building, 500 Pillsbury Drive S.E., Minneapolis, MN 55455 U.S.A.



- Who benefits from the advantages of underground space use?
- What "yardstick" do we need to use in order to assess these advantages?
- Is resorting to the advantages offered by underground space a recent phenomenon?
- Why make a distinction between economic advantages and environmental advantages? Where is the dividing line between these two major categories of advantages?
- What do we mean by "direct" and "indirect" advantages?
- Does the use of underground space also present certain disadvantages? If so, what are they?

Although we have attempted to provide answers to these fundamental questions, readers should note that in all of the discussions herein, the Working Group has implicitly adopted an approach that has as its ultimate aim the construction of an infrastructure or a facility, whatever its intended purpose. Thus, the report does not deal with any uses of underground space that relate to the extraction of natural resources.

To simplify matters, we will refer generally to "structures," meaning the whole range of amenities, installations or infrastructures that can feasibly be placed underground.

The above questions indicate that there are many different ways to approach the study of the advantages of using underground space. From the various approaches available, the Group has chosen one based on the distinction between the "direct" and "indirect" advantages of using underground space.

As we will see below, this method appears to us to be the only one that avoids potential confusion between:

- first, the specific advantages related to placing certain structures underground, i.e., the advantages offered by underground structures as compared to structures that have a similar purpose but which are constructed above ground; and
- second, the services offered by the structures themselves to their users, and the favorable or unfavorable consequences that they represent for all "parties" concerned with their construction, whether they are closely associated with the structure or only peripherally affected by it.

In fact, the difficulty created by such an analysis lies in not confusing the advantages of using underground space with the advantages of the structures themselves—that is, the services offered by them. This assertion calls for some illustration.

Imagine two metro lines, one above ground and the other underground. They have exactly the same layout, with stations positioned at exactly the same locations. They also have identical operational characteristics with regard to capacity, commercial operating speed, train frequency, etc. These two lines offer the same journey possibilities to passengers.

If, under these circumstances, the underground line offers certain advantages over the aboveground line, our task will be to assess the "direct" advantages of using the underground space, "everything else being equal"—i.e., given all of the equivalent services offered by the

- Le recours aux avantages offerts par le sous-sol est-il récent?
- Pourquoi distinguer les avantages économiques et environnementaux? Où se situe la limite entre ces deux grandes catégories d'avantages?
- Qu'entend-t-on par avantages «directs» et «indirects»?
- L'utilisation du sous-sol ne présente-t-elle pas également certains inconvénients? Et quels sont-ils?

Nous allons essayer d'apporter des réponses à ces questions fondamentales, étant observé que, dans tout ce qui suit, nous nous placerons implicitement dans le cas de la démarche conduisant à la réalisation d'un aménagement ou d'une infrastructure, quelles qu'en soient les fonctions. Nous ne traiterons donc pas ici des utilisations du sous-sol relatives à l'extraction de ressources minérales.

Pour simplifier, nous appellerons indistinctement "ouvrage" les diverses natures d'aménagements, d'installations ou d'infrastructures susceptibles d'être mis en souterrain.

Les questions précédentes montrent qu'il existe bien des manières d'aborder l'étude des avantages de l'utilisation du sous-sol. Parmi ces diverses manières, nous avons privilégié l'approche basée sur une distinction entre avantages «directs» et «indirects» de l'utilisation du sous-sol.

Cette méthode, ainsi que nous le verrons ci-après, nous a en effet paru être la seule permettant d'éviter la confusion entre:

- d'une part, les avantages spécifiques liés à la mise en souterrain de certains ouvrages, c'est-à-dire les avantages que les ouvrages souterrains présentent par rapport à des ouvrages ayant des fonctions similaires, mais établis en surface,
- d'autre part, les services offerts par les ouvrages eux-mêmes à leurs utilisateurs et les conséquences, favorables ou défavorables, qui en découlent pour toutes les «parties» concernées de près ou de loin par leur réalisation.

En effet, la difficulté d'une telle analyse est bien de ne pas confondre les avantages de l'utilisation du sous-sol avec ceux des installations proprement dites, c'est-à-dire les services qu'elles offrent. Cette affirmation mérite une illustration.

Imaginons deux lignes de métro, l'une aérienne, l'autre souterraine, ayant strictement le même tracé et des stations localisées aux mêmes endroits, ainsi que des caractéristiques d'exploitation identiques (capacité, vitesse commerciale, fréquence, etc.). Ces deux lignes offrent les mêmes possibilités de déplacement aux voyageurs.

Si, dans ces conditions, la ligne souterraine offre certains avantages par rapport à celle établie à l'air libre, il faudra apprécier ces avantages «directs» de l'utilisation du sous-sol «toutes choses égales par ailleurs», c'est-à-dire à services offerts équivalents, de façon à ne pas tomber dans la confusion évoquée ci-dessus.

two options—so as not to fall into the confusion trap referred to above.

On the other hand, if, for whatever reasons, the underground solution is the only one which makes it possible for us to construct the metro line along the layout in question, and for the given positioning of the stations, it would be logical to attribute credit for all of the "indirect" advantages relating to the construction of a metro line to the use underground space for the line.

In the final analysis, we should observe that in many cases, the advantages that we are able to identify will, in fact, be simply the "overcoming of disadvantages" associated with surface structures.

On What Are The Advantages of Using Underground Space Based?

The direct and indirect advantages of underground structures arise from our using certain intrinsic qualities of underground space to the best advantage. In order to understand the nature of these advantages clearly, we need to remind ourselves what these characteristics are.

- First, the underground medium is a "space", available everywhere or almost everywhere, which can provide the setting for activities or infrastructures that are difficult or impossible to install above ground, or whose presence above ground is unacceptable or undesirable.

- Another fundamental characteristic of underground space lies in the natural protection it offers to whatever is placed underground. This protection is simultaneously mechanical, thermal, acoustic and hydraulic (i.e., watertight). It is effective not only in relation to the surface, but also within the underground space itself.

- In counterpoint, the confinement created by underground structures has the advantage of protecting the surface environment from the risks and disturbances inherent in certain types of business activities.

- Another important feature of underground space is its opacity. Thanks to the natural visual screen created by the geological medium, an underground structure is only visible at the point(s) where it connects to the surface. This quality can be exploited, in particular, to hide unattractive technical facilities, and thereby to resolve certain aesthetic problems.

Difficulty In Making a Global Analysis of the Advantages of Using Underground Space

Obviously, the nature and extent of the advantages offered by the properties of the underground environment vary, depending on:

- The type and functions of the structure under consideration;
- Its positioning—whether in an urban site, in the open countryside, in a mountainous area, or in a nature reserve;
- The specific impact that the structure, by its very nature, will have on the environment ("external" effects);
- The level of protection which, given the nature and purpose of the structure, it will be necessary to guarantee, with respect to certain risks created by its environment;

Par contre si, quelles qu'en soient les raisons, la solution souterraine est la seule qui rende possible la réalisation de la ligne de métro sur le tracé considéré et pour une implantation donnée des stations, il est alors logique de porter au crédit de l'utilisation du sous-sol l'ensemble des avantages «indirects» liés à la réalisation de la ligne de métro.

Observons enfin que, dans bien des cas, les avantages que nous identifierons seront en fait des «suppressions d'inconvénients» inhérents aux ouvrages établis en surface.

Sur quoi se fondent les avantages de l'utilisation du sous-sol ?

Les avantages directs et indirects des ouvrages souterrains résultent de la mise à profit de certaines caractéristiques spécifiques du sous-sol. Pour bien comprendre la nature de ces avantages, il convient de rappeler quelles sont ces caractéristiques :

- En premier lieu, le sous-sol constitue un «espace» partout disponible ou presque, pouvant accueillir des activités ou des infrastructures qu'il est difficile, impossible ou inacceptable d'implanter en surface.
- Une autre caractéristique essentielle du sous-sol réside dans la **protection naturelle** qu'il offre à ce qui est mis en souterrain. Cette protection est à la fois mécanique, thermique, acoustique et hydraulique (étanchéité). Elle s'exerce non seulement vis-à-vis de la surface mais également au sein même du sous-sol.
- Inversement, le **confinement** créé par les ouvrages souterrains offre l'avantage de protéger l'environnement de surface vis-à-vis des risques et des nuisances inhérents à certaines activités.
- Une autre importante caractéristique du sous-sol est son **opacité**. Grâce à l'écran visuel naturel créé par le milieu géologique, les installations souterraines ne sont visibles qu'au droit de leurs liaisons avec la surface. Cette faculté peut donc être mise à profit notamment pour dissimuler aux regards les installations techniques disgracieuses, et régler de ce fait certains problèmes d'esthétique.

Difficulté d'une analyse globale des avantages de l'utilisation du sous-sol

La nature et l'importance des avantages offerts par les propriétés du sous-sol sont évidemment variables selon :

- La nature et les fonctions de l'ouvrage considéré;
- Sa localisation: site urbain, rase campagne, massif montagneux, zone naturelle protégée;
- Les impacts spécifiques que, par sa nature, l'ouvrage a sur l'environnement (effets «externes»);
- Le niveau de la protection que, compte tenu de sa nature et de ses fonctions, il convient de lui garantir vis-à-vis de certains risques créés par son environnement;
- La sévérité plus ou moins grande des contraintes économiques qui pèsent sur sa réalisation et son exploitation;

- The greater or lesser severity of economic constraints that apply to its construction and its operation; and
- The role that the building of the structure takes on in relation to the policies implemented by government authorities (whether local, regional or national).

An assessment of the advantages offered by using underground space cannot be carried out globally for all types of structures or facilities that may be placed underground.

Such an analysis needs to be undertaken for each type of structure, particularly taking into account the greater or lesser influence of the factors listed above.

Who Are the "Parties" Concerned with the Advantages of Using Underground Space?

An advantage can only exist from the point of view of the various "parties" concerned with the building of a given structure. The term "party" is used herein to indicate all socioeconomic groups: "physical persons" (individuals) on the one hand; and "corporate bodies" on the other, meaning companies, organisations, associations, local, regional and national government entities, together with institutional and political organisations.

Each party will have its own expectations, requirements and objectives with regard to the structure under consideration. Moreover, experience shows that these expectations, requirements and objectives are more often than not incompatible overall. In fact, in the majority of cases, the creation of an advantage for one party implies a disadvantage for one or more of the other parties.

If we consider the matter in general terms, these "parties" can be divided into two major categories:

1. The parties who are directly involved with the considered structure, i.e.:

- The owner;
- The users of the facility or services provided;
- The operating company;
- The employees of the operating company;
- The institutional and political bodies that have a functional and/or territorial responsibility with regard to the structure under consideration.

2. The various parties involved directly or indirectly with the consequences (the "effects") of the creation of the structure, throughout its operating life (building, operation and maintenance). This category consists of the parties concerned with the neighbouring activities or structures (whether already in existence or planned for the future), and with the natural environment. As above, we can list these categories:

- The owners of neighbouring structures and of planned structures and facilities;
- The users of the neighbouring structures and the "users" of the natural environment;
- The companies operating neighbouring structures;
- The employees of the companies operating such structures;
- The institutional and political organisations that have a functional and/or territorial responsibility for neighboring structures and for the natural environment.

- Enfin, le rôle que revêt la réalisation de l'ouvrage vis-à-vis de la mise en œuvre des politiques des Pouvoirs publics locaux, régionaux ou nationaux

Ce qui précède montre que l'appréciation des avantages offerts par l'utilisation du sous-sol ne peut être effectuée globalement pour l'ensemble des types d'aménagements susceptibles d'être implantés en souterrain.

Un telle analyse doit donc être conduite pour chaque type d'ouvrage, en tenant compte notamment de l'influence plus ou moins forte des facteurs cités ci-dessus.

Quelles sont les «Parties» concernées par les avantages de l'utilisation du sous-sol ?

Un avantage ne peut exister que du point de vue des diverses «parties» concernées par la réalisation de l'ouvrage considéré. Ce terme de «partie» sera employé pour désigner l'ensemble des groupes socio-économiques, qui comprennent, d'une part, les **personnes physiques** (individus), d'autre part, les **personnes morales**, à savoir les sociétés, entreprises, associations, les collectivités locales, régionales, nationales, ainsi que les organismes institutionnels et politiques.

Chaque partie en présence a ses propres attentes, exigences et objectifs vis-à-vis de la création de l'ouvrage considéré. L'expérience montre d'ailleurs que ces attentes, exigences et objectifs sont le plus souvent globalement incompatibles. En effet, dans la majorité des cas, la création d'un avantage pour une partie implique un inconvénient pour une ou plusieurs autres parties.

Dans le cas le plus général, ces «parties» peuvent être réparties en deux grandes catégories :

1. Les «parties» directement concernées par l'ouvrage considéré, à savoir:

- Le maître de l'ouvrage;
- Les utilisateurs;
- La société exploitante;
- Les employés de la société exploitante;
- Les organismes institutionnels et politiques qui exercent une responsabilité fonctionnelle et/ou territoriale vis-à-vis de l'ouvrage considéré.

2. Les diverses «parties» concernées directement ou indirectement par les conséquences (les «effets») de la création de l'ouvrage, tout au long de sa durée de vie (réalisation, exploitation, maintenance). Il s'agit là des parties concernées par les activités et ouvrages environnants (existants et/ou projetés), et par l'environnement naturel. On y retrouve les mêmes catégories que ci-dessus, à savoir :

- Les propriétaires des ouvrages environnants et les maîtres d'ouvrage des aménagements projetés;
- Les utilisateurs des ouvrages environnants et les «utilisateurs» de l'environnement naturel;
- Les sociétés exploitant les ouvrages environnants;
- Les employés des sociétés exploitantes;
- Les organismes institutionnels et politiques qui exercent une responsabilité fonctionnelle et/ou territoriale vis-à-vis des ouvrages environnants et de l'environnement naturel.

It is in relation to the "point of view" (expectations, requirements and objectives) of these various "parties" that we need to assess the advantages of using underground space. Let us turn next to these points of view.

Points of View of Parties Concerned with the Advantages of Using Underground Space

We will examine the points of view of the two major categories of "parties" defined above as:

1. "Parties" who are directly concerned with the considered structure; and
2. "Parties" who are concerned with neighbouring activities and structures, and with the natural environment.

Point of View of Parties Who Are Directly Concerned with the Considered Structure

The owner

The aim of the owner of the structure is to be given the opportunity to build a structure that satisfies the requirements of future users at the desired date. To achieve this aim, the owner would like to be granted the necessary permissions to undertake the work on the structure quickly and easily. Owners seek to reduce the costs of construction work and maintenance, and to increase the return on their investment. Finally, they wish to protect their structure in relation to any possible hostile elements in its environment or surrounding area.

The users

Above all, the users wish to enjoy high-quality services and to pay the lowest possible price for the use of such services. They also wish to enjoy a comfortable, pleasant and healthy setting, and to feel completely safe within the structure.

The operating company

The main aim of the structure's operating company (which in certain circumstances may be the final user) is to reduce its operational costs and to simultaneously increase its receipts, while still projecting a good image to its "customers" (the users). However, the operating company also will seek solutions to avoid any conflicts with its employees, especially those that might particularly result from working conditions. From the safety aspect, the company must also ensure that it retains full control over the space in which it operates.

The employees

The expectations of the employees of the company exploiting the structure relate mainly to:

- The suitability of the various installations of the structure for carrying out their work;
- The comfort of their working environment within the structure;
- The safety of their place of work; and
- Their remuneration.

Institutional and political bodies

Regarding the type of structure in question and the type of commercial activities that it involves, with respect to which they have some level of functional and/or territorial responsibility (as for public infra-

C'est par rapport au «point de vue» (attentes, exigences et objectifs) de ces diverses «parties» qu'il convient d'apprécier les avantages de l'utilisation du sous-sol. Voyons quelles sont ces points de vue.

Point de vue des "Parties" concernées par les avantages de l'utilisation du sous-sol

Nous examinerons successivement les points de vue des deux grandes catégories de «parties» définies précédemment:

1. «Parties» directement concernées par l'ouvrage considéré.
2. «Parties» concernées par les activités et ouvrages environnants, et par l'environnement naturel.

Point de vue des «Parties» directement concernées par l'ouvrage considéré

Le maître de l'ouvrage

L'objectif du maître de l'ouvrage est d'avoir la possibilité de réaliser, à la date souhaitable, l'ouvrage répondant aux besoins des futurs utilisateurs. Dans ce but, il souhaite obtenir facilement et rapidement les autorisations nécessaires à l'établissement de l'ouvrage. Il cherche par ailleurs à réduire les coûts de réalisation et de maintenance, et accroître la rentabilité de ses investissements. Enfin, il cherche à protéger son ouvrage vis-à-vis des éventuels éléments hostiles de son environnement.

Les utilisateurs

Les utilisateurs souhaitent avant tout bénéficier d'une bonne qualité de service et payer le prix le moins cher possible pour l'utilisation des services. Mais ils désirent également bénéficier de conditions de séjour saines, confortables et agréables, et être en sécurité dans l'ouvrage.

La société exploitante

La société exploitante, qui dans certains cas peut être l'utilisateur final, a pour objectif principal de réduire ses coûts d'exploitation et d'augmenter corrélativement ses recettes, tout en offrant une bonne image à ses «clients» (utilisateurs). Mais elle cherche également les solutions tendant à éviter les conflits avec ses employés, notamment du fait des conditions de travail. Par ailleurs, elle s'efforce de garder la maîtrise des espaces qu'elle exploite (aspect sécurité).

Les employés

Les attentes des employés de la société exploitante portent essentiellement:

- Sur l'adaptation des installations de l'ouvrage considéré à l'exercice de leur métier;
- Sur les conditions de séjour dans l'ouvrage;
- Sur la sécurité dans leur lieu de travail; ainsi que
- Sur leur rémunération.

Les organismes institutionnels et politiques

Vis-à-vis du type d'ouvrage considéré et des domaines d'activités qui s'y rattachent et sur lesquels ils exercent une responsabilité fonctionnelle et/ou territoriale (équipements et infrastructures publics), les organismes institutionnels et politiques ont pour objectif essentiel la mise en oeuvre de leurs politiques et l'optimisation de l'utilisation des fonds publics.

structures or amenities), the main aims of institutional and political organisations are to implement their policies and to optimise the use of public funds.

Point of View of Parties Concerned with Neighbouring Activities and Structures, and the Natural Environment

The considerations of these parties are similar to those of the parties who are directly concerned with the structure under consideration. However, in this case, their points of view relate to what consequences the creation of the structure may have for them, during both the construction phase and the operational phase.

Therefore, these parties do not wish to suffer any losses or injuries from the building of the considered structure; and, obviously, they would like to benefit from any improvements that it might bring.

Property owners

The owners of existing structures would like their structures:

- Not to suffer any disruption or financial losses as a result of the building work or operation of the considered structure; and
- To experience some sort of financial gain as a result of the structure being built.

The point of view of the owners of existing or planned structures is the same as the point of view of the owner of the considered structure (as discussed above).

The users, the operating companies of other structures, and their employees

The points of view of these parties are the same as those of their counterparts for the considered structure (as discussed above).

Institutional and political bodies

The point of view of the institutional and political bodies is similar to that discussed above. However, in this case, the aim that they seek to satisfy is not limited merely to the implementation and optimisation of a "sector by sector" policy, but also involves:

1. The optimisation of the "working of society" in general, i.e., all aspects of economic, social, cultural and educational life.
2. The protection of the environment, including the preservation and enhanced value of areas of beauty and the natural environment.
3. The overall management of public finances.

Factors to Be Considered in Assessing the Advantages of Underground Space Use

The factors to be taken into account in order to assess the advantages of using underground space can be deduced from the points of view that have been briefly examined above.

These factors are numerous, reflecting the variety of points of view that can be foreseen. We can observe that they correspond to those points of view which, in general terms, need to be taken into account in the creation of any infrastructure or facility, whether it is above or below the ground level.

Here again, we have divided these factors into two main categories:

Point de vue des «Parties» concernées par les activités et ouvrages environnants, et par l'environnement naturel

Les points de vue de ces «parties» sont de même nature que ceux des «parties» directement concernées par l'ouvrage considéré. Mais, dans le cas présent, ces points de vue portent sur les conséquences que la création de l'ouvrage peut avoir pour elles, aussi bien en phase de construction qu'en phase d'exploitation.

Ces «parties» souhaitent donc ne pas subir de dommages du fait de la création de l'ouvrage considéré et, si possible, bénéficier d'améliorations grâce à celui-ci.

Les propriétaires et maîtres d'ouvrages

Les propriétaires des ouvrages existants souhaitent que leurs ouvrages:

- Ne subissent aucun désordre ni préjudice financier du fait de la réalisation ou de l'exploitation de l'ouvrage considéré,
- Bénéficient si possible d'une plus-value grâce à la réalisation de l'ouvrage.

Le point de vue des maîtres d'ouvrage des ouvrages projetés sont de même nature que celles du maître de l'ouvrage considéré (voir ci-dessus).

Les utilisateurs, les sociétés exploitantes et leurs employés

Les points de vue de ces parties sont de même nature que celles des parties correspondantes de l'ouvrage considéré (voir ci-dessus).

Les organismes institutionnels et politiques

Le point de vue de ces organismes institutionnels et politiques est de même nature que celui exprimé précédemment. Cependant, dans le cas présent, l'objectif poursuivi ne se limitera à la réalisation et à l'optimisation d'une politique «sectorielle», mais portera:

1. Sur l'optimisation du fonctionnement de la société en général, c'est-à-dire de l'ensemble de la vie économique, sociale, culturelle, éducative,
2. Sur la protection de l'environnement, ainsi que la préservation et la valorisation des sites et de l'environnement naturel.
3. Sur la gestion globale des finances publiques.

Quels facteurs prendre en compte pour l'appréciation des avantages?

Les facteurs à prendre en compte dans la pratique pour l'appréciation des avantages de l'utilisation du sous-sol se déduisent des points de vue qui viennent d'être sommairement recensés.

Ces facteurs sont très nombreux, compte tenu de la variété des points de vue envisageables. Observons qu'ils correspondent à ceux qui, d'une manière générale, doivent être pris en considération pour la création de tout aménagement ou infrastructure, que ceux-ci soient établis en surface ou en souterrain.

Là encore, nous classerons ces facteurs en deux grandes catégories :

1. Les facteurs relatifs à l'ouvrage considéré.
2. Les facteurs relatifs aux effets externes générés par la construction et l'exploitation de l'ouvrage sur son environnement.

1. The factors relating to the considered structure.

2. The factors relating to the external effects generated by building and to operating the structure in its environment.

Factors Relating to the Considered Structure

The following conditions relate to the integration of the structure into its environment:

- Natural obstacles (mountains, isolated geographical relief features, water courses and straits).
- Topography.
- Obstruction or congestion of surface space.
- Building conditions.

The following conditions relate to protection that the structure offers against hostile elements of the environment:

- Climatic conditions: temperature level and variation, and adverse weather conditions.
- Natural risks: earthquakes, landslides and floods.
- Attacks, terrorism and sabotage.
- Acts of war.

The following factors relate to the quality of services provided to users:

- The location of the structure.
- Accessibility of the structure.
- The environmental conditions within the structure, e.g., hygiene, comfort, attractiveness.
- Personal safety within the structure.

The following factors relate to construction costs:

- Land acquisition costs.
- The construction and additional works costs incurred in clearing rights of way to the structure.
- Any returns from the sale of materials or natural resources extracted from the ground in the construction phase.

The following factors relate to operating costs:

- Staff.
- Energy.
- Maintenance.
- Insurance.

Factors Related to the External Effects Generated by the Building and Operation of the Structure

The external effects generated by the structure are the overall consequences—whether favorable or unfavorable—that the building and operation of the structure inflict on the other parties in close proximity to it.

Identifying the following factors and taking them into account is of the utmost importance, because they are usually the cause of either opposition to the building of the structure; or, on the contrary, encouragement or even pressure to build it.

The following factors relate to nuisance caused by the structure:

- Noise and vibrations.
- Visual impact.
- Isolation and alteration of communities.

Facteurs relatifs à l'ouvrage considéré

Conditions d'insertion dans son environnement:

- Obstacles naturels (montagnes, reliefs isolés, cours d'eau, détroits).
- Topographie.
- Encombrement de l'espace en surface.
- Conditions de réalisation.

Protection contre les éléments hostiles de l'environnement:

- Conditions climatiques: niveaux et variations des température, intempéries.
- Risques naturels: séismes, glissements de terrain, inondations.
- Aggressions, terrorisme, sabotage.
- Faits de guerre.

Qualité des services offerts aux utilisateurs:

- Localisation de l'ouvrage.
- Accessibilité à l'ouvrage.
- Conditions de séjour dans l'ouvrage: hygiène, confort et agrément.
- Sécurité des personnes dans l'ouvrage.

Coûts de réalisation:

- Coût des acquisitions foncières.
- Coût de construction et des travaux annexes nécessités par la libération des emprises de l'ouvrage.
- Recettes éventuelles liées à la phase de construction (vente de matériaux extraits).

Coûts d'exploitation:

- Personnel.
- Energie.
- Maintenance.
- Assurances.

Facteurs relatifs aux effets externes générés par la construction et l'exploitation de l'ouvrage

Les effets externes générés par l'ouvrage sont l'ensemble des conséquences, favorables ou défavorables, que la construction et l'exploitation de celui-ci impose aux autres «parties» en présence.

L'identification et la prise en compte des facteurs qui suivent est essentielle car ce sont eux qui sont à l'origine:

- Soit des oppositions à la réalisation des ouvrages,
- Soit, inversement, des encouragements, voire des pressions, pour les réaliser.

Nuisances:

- Bruits, vibrations.
- Impact visuel.
- Effet de coupure.

Risques pour l'environnement:

- En phase de construction, vis-à-vis de la stabilité des constructions environnantes
- En phase d'exploitation, en raison du caractère dangereux:
 - soit des activités exercées dans l'ouvrage;
 - soit des produits contenus dans l'ouvrage (déchets toxiques, déchets radioactifs).

The following factors relate to risks to the surrounding area:

- During the construction phase, risks to the stability of the neighbouring structures.
- Risks in the operational phase, due to the dangerous nature of:
 - the type of activities carried out within the structure; or
 - the nature of the products held within the structure (e.g., toxic waste, radioactive waste).

The following factors relate to the impact on the natural environment:

- Air pollution.
- Water pollution.
- Toxic waste pollution.
- Impact on natural landscapes.

The following factors relate to town and country planning (local, regional and national):

- Occupation of surface space.
- Dividing up of space among various uses (particularly in an urban area).

The following factors relate to the social costs of the structure:

- External economies and expenditures: financial consequences (whether positive or negative) on the other parties or economic players (whether individual or corporate).
- External costs financed by the community.

The following factor relates to the economic defence for building a structure:

- The possibility of creating various strategic energy reserves (hydrocarbons, gas), and reserves of primary resources and floodstuffs.

The following factors relate to civil protection offered by the structure:

- Protection against natural risks: earthquakes, landslides and floods.
- Protection against major technological risks: explosions, the effects of blasts, radiation, radioactive fall out, thermal effects.
- Protection against attack, terrorism and sabotage.

The "Direct" Advantages of Using Underground Space

According to standard practice, and based on the concepts set out above, the "direct" advantages of underground structures are those that are observed in comparison with structures built above ground and which have the same purpose, i.e., those that provide the same type of services.

Analysing these advantages for a given type of structure, constructed in a considered environment, involves evaluating the ways in which the use of underground space is beneficial (thanks to the profitable exploitation of its intrinsic qualities), when considering the five main groups of factors listed above.

The approach used, depending on each type of structure, is justified because it corresponds to real situations that are encountered within the scope of the decision-making process regarding the construction of a structure or infrastructure.

Impacts sur l'environnement naturel:

- Pollution de l'air.
- Pollution des eaux.
- Pollution par les déchets.
- Impacts sur les paysages naturels.

Aménagement du territoire (local, régional, national):

- Occupation de l'espace en surface.
- Répartition entre les diverses fonctions (notamment en site urbain).

Coûts sociaux:

- Economies et déséconomies externes : effets pécuniaires (positifs ou négatifs) sur les autres «parties» ou agents économiques (individus et entreprises).
- Coûts externes financés par la collectivité.

Défense économique:

- Possibilité de créer certaines réserves stratégiques en énergie (hydrocarbures, gaz), matières premières, et denrées alimentaires.

Protection civile:

- Protection contre les risques naturels: séismes, glissements de terrain, inondations.
- Protection contre les risques technologiques majeurs: explosions, effet de souffle, radiations, retombées radioactives, effets thermiques.
- Protection contre les agressions, le terrorisme, le sabotage.

Avantages «Directs» de l'utilisation du sous-sol

Par convention, et conformément à ce qui a été dit précédemment, nous appellerons avantages «directs» des ouvrages souterrains les avantages qu'ils présentent par rapport à ceux établis à l'air libre et ayant les mêmes fonctions, c'est-à-dire offrant les mêmes natures de services.

L'analyse de ces avantages consistera, pour un type d'ouvrage à créer dans un environnement donné, à évaluer en quoi l'utilisation du sous-sol, grâce à la mise à profit des qualités intrinsèques de celui-ci, est favorable au regard des deux grandes familles de facteurs listés précédemment.

Cette approche par type d'ouvrage trouve sa justification dans le fait qu'elle correspond aux situations concrètes rencontrées dans le cadre du processus de décision relatif à l'aménagement d'un ouvrage ou d'une infrastructure.

Très souvent, sont présentées des analyses «thématiques» des avantages des ouvrages souterrains. Ces analyses se limitent généralement à l'examen d'un ou plusieurs des facteurs listés ci-dessus (par exemple : ouvrages souterrains et économies d'énergie, ouvrages souterrains et protection de l'environnement, etc...).

Ce type d'analyse n'a pas notre préférence, car elle recouvre généralement une trop grande variété de situations et, plus grave, elle ignore le caractère «direct» ou «indirect» des avantages offerts, distinction qui paraît essentielle pour ne pas confondre les

The advantages of using underground space are often analysed on a subject by subject basis. This type of analysis is usually limited to a examination of one or several of the factors listed above (e.g., underground structures and energy savings, underground structures and protection of the environment, etc.).

We do not favour this type of analysis because it covers too wide a variety of situations. More importantly, it leaves out any consideration of the "direct" or "indirect" nature of the advantages offered. This is a distinction which appears to us to be essential, so as not to confuse the advantages of the underground solution with the actual services provided by the installations or infrastructures.

The "Indirect" Advantages of Using Underground Space

It is commonly recognised that using underground space is often the only foreseeable technical solution available—or, at least, the only one that will permit a "consensus" to be reached among the different parties involved in the building of certain structures or infrastructures.

Of such cases, we could therefore say, to simplify matters, that:

- In the worst case, "It is the underground option or nothing at all"; and
- In the best case, "It is the underground option or another (above ground), less efficient solution," from the point of view of the parties directly concerned with the considered structure (especially its location and the quality of services); or of those parties concerned with neighbouring activities and structures, and with the natural environment.

In such circumstances, the underground option should not be compared with a hypothetical aboveground option (presenting the same functional features) that is technically impossible or which has been almost unanimously rejected by the parties. Instead, the underground alternative may be compared either with:

- The option to keep the existing situation as it is or develop it within its existing framework, which is often an unattractive option (i.e., "do nothing at all"); or
- Another (aboveground) solution, which is less efficient from the point of view of the various concerned parties.

In this case, it is therefore quite logical to credit the use of underground space entirely with all of the advantages that result from the services provided by the considered facility or infrastructure. The fact, in reality, that only the underground solution is a possible or acceptable answer to the problem is always based on one or more of the four intrinsic qualities of underground space set forth above: i.e., an "area" providing space, protection, confinement, and opacity.

The advantages, and the parties who enjoy them, obviously depend upon the function of the considered structure. In fact, in most cases the advantages really amount to a question of "doing away with" some of the potential disadvantages.

Thus, in order to identify the indirect advantages of using underground space, we need to ask ourselves, for each type of structure:

What are the advantages to be gained from building this type of structure (underground), compared with the following alternative options:

avantages des solutions souterraines avec les services rendus par les installations ou infrastructures considérées.

Avantages «Indirects» de l'utilisation du sous-sol

Il est bien connu que l'utilisation du sous-sol est souvent la seule solution techniquement envisageable ou permettant d'obtenir un «consensus» entre les diverses «parties» concernées par la réalisation de certains ouvrages ou infra-structures.

Dans de telles situations, on peut alors dire en schématisant que:

- Dans le pire des cas, «c'est la solution souterraine ou rien du tout»;
- Dans le meilleur des cas, «c'est la solution souterraine ou une autre solution (aérienne) moins performante» du point de vue des "parties" directement concernées par la réalisation de l'ouvrage (localisation, qualité de service notamment), ou des "parties" concernées par les activités et ouvrages environnants, et par l'environnement naturel.

Dans de telles situations, il convient donc de comparer la solution souterraine, non plus avec une hypothétique solution à l'air libre (présentant les mêmes caractéristiques fonctionnelles), laquelle s'avère techniquement impossible ou est rejetée presque unanimement, mais avec :

- Soit la solution correspondant au maintien et à l'évolution, souvent défavorable, d'une solution existante consistant «à ne rien faire»,
- Soit avec une autre solution (aérienne) moins performante du point de vue des diverses «parties» concernées.

Il est alors logique de porter intégralement au crédit de l'utilisation du sous-sol l'ensemble des avantages qui résultent des services offerts par l'ouvrage ou l'infrastructure en question. En effet, le fait que seule la solution souterraine soit possible ou acceptable repose toujours, dans de tels cas, sur une ou plusieurs des quatre propriétés intrinsèques du sous-sol cités précédemment: «gisement» d'espace, protection, confinement, opacité.

Ces avantages et les bénéficiaires correspondants dépendent bien évidemment de la fonction de l'ouvrage considéré, étant observé que, pour la plupart d'entre eux, il s'agit souvent en fait, là encore, de «suppression d'inconvénients».

Ainsi donc, pour identifier les avantages indirects de l'utilisation du sous-sol, il convient de se poser la question suivante pour chaque type d'ouvrage:

Quels sont les avantages apportés par la réalisation (en souterrain) de tel type d'ouvrage par rapport aux alternatives suivantes:

- Soit, ne rien faire;
- Soit, adopter un autre type d'ouvrage n'imposant pas le recours à la solution souterraine, mais répondant de façon moins favorable aux attentes des diverses «parties» concernées?

Il est clair qu'il n'est pas possible d'apporter une réponse globale à cette question. On peut cependant donner quelques exemples d'avantages indirects pour certaines catégories d'ouvrages, en

- **Doing nothing at all;**
- **Opt for another type of solution, which does not oblige us to build underground, but which meets the expectations of the various concerned parties in a less effective way.**

Obviously, it is not possible to provide a general answer to this question. However, we can offer a few examples of indirect advantages for certain categories of structures, identifying the aims and objectives that resulted in the decisions to build them.

The main indirect advantages of underground infrastructures in urban public transport are:

- Passenger journey time saved.
- Fewer congestion problems for motorists, due to a reduction in road traffic.
- Better distribution of surface space among different possible uses.
- Conditions that are more favorable for urban development.
- Savings in energy consumption.
- A reduction in nuisances such as noise and pollution.
- A decrease in the number of road accidents.

The main indirect advantages of underground storage of hydrocarbons are:

- Protecting the economy against any problem connected with any interruption in supplies.
- The ability to make adjustments between supply and consumption levels.

The main indirect advantages of underground car parks are:

- Implementing policies favoring urban transport communications in order to help surface modes of public transport.
- Not having a damaging effect on economic life in general.

How to Place a Value on the Advantages of Using Underground Space

This study of the various types of advantages associated with underground space use is doubtless far from perfect. Nevertheless, it helps us identify advantages related to real categories of structures.

Whatever the case may be, when we have to choose between undertaking construction work or "not doing anything," or when we have to select either the aboveground or the underground option, the question of assessing the "value" of the effects of the various relevant factors that come into play in the considered case needs to be asked—and answered—early on.

The various factors discussed above do not offer the same opportunities when their "value" is assessed, for the following reasons:

- Some factors can be assessed in terms of a **monetary value**. This is the case with construction and operating costs and certain social costs.
- Other factors can only be given a value in **non-monetary quantitative terms**, for example: noise, pollution, lost time due to traffic congestion, space consumption, etc.
- Still other factors can only be expressed in **"descriptive" terms**. This is the case particularly for certain qualitative factors, especially those relating to the natural environment.

The ideal situation for helping to rationalise investment choices properly would be to be able to give all of

se référant aux objectifs qui président aux décisions de les réaliser.

Pour les infrastructures souterraines de transport public urbain, les principaux avantages indirects sont les suivants :

- Des gains de temps de déplacement pour les usagers,
- Pour les automobilistes, une réduction des encombrements suite à une diminution du trafic routier.
- Une meilleure répartition de l'espace en surface.
- Des conditions plus favorables au développement urbain.
- Des économies d'énergie.
- Une réduction des nuisances: pollution, bruit.
- Une réduction des accidents de la circulation.

Pour les stockages souterrains d'hydrocarbures, les principaux avantages indirects sont les suivants:

- Protection de l'économie vis-à-vis d'une interruption des approvisionnements.
- Ajustement entre l'approvisionnement et la consommation.

Pour les parcs de stationnement souterrains, les principaux avantages indirects sont les suivants:

- Mise en oeuvre de politiques de déplacements urbains favorable aux transports publics de surface,
- Ne pas pénaliser la vie économique.

Valorisation des avantages de l'utilisation du sous-sol

La typologie des avantages qui vient d'être présentée est sans doute encore très imparfaite. Elle constitue néanmoins une aide à l'identification des avantages pour des cas concrets d'ouvrages.

Quoi qu'il en soit, lorsqu'il s'agit de choisir, soit «de faire ou de ne pas faire» un aménagement, soit entre une solution à l'air libre et une solution en souterrain, **très vite se pose la question de la valorisation des incidences des divers facteurs intervenant dans le cas traité.**

Or, ces divers facteurs n'offrent pas les mêmes possibilités en matière de valorisation :

- Certains peuvent être valorisés sous **forme monétaire**: c'est le cas des coûts de réalisation, d'exploitation et de certains coûts sociaux,
- D'autres ne peuvent être valorisés que sous une **forme quantitative non monétaire**, par exemple : le bruit, les pollutions, le temps perdu en raison des encombrements de la circulation, la consommation d'espace, etc.
- D'autres enfin ne peuvent être exprimés que sous une **forme «descriptive»** ; c'est le cas en particulier pour certains facteurs à caractère qualitatif relatifs notamment à l'environnement naturel.

L'idéal vis-à-vis de la rationalisation des choix des investissements serait bien sûr de pouvoir valoriser à l'aide d'une unité commune, monétaire par exemple, l'ensemble des facteurs considérés, de façon à pouvoir agréger de façon simple leurs incidences et dégager une valorisation (une «note») globale pour chaque solution étudiée et partant un choix de «la meilleure solution».

the factors that need to be considered a value, with the help of a common unit, such as money, so as to judge their effects more easily and to reach an overall figure or "mark" for each possible solution being studied, in order to be able, in the final analysis, to choose "the best solution".

Alas, this is not the case! It is commonly known that a particular option is selected mainly on the basis of factors that can be translated into monetary terms, and, often, solely on the basis of construction costs.

Factors relating to the environment, which are, for the most part, difficult to quantify and even more difficult to put into monetary terms, are therefore not easily included in the factors that justify decisions in economic terms. It is not surprising that they are very often only taken into account in the form of hostile opinions expressed by some concerned parties or pressure groups.

The construction costs of underground structures are generally higher than those of building in the open air. However, these extra costs are usually justified by environmental considerations. Underground structures often are "penalized" because of the difficulty, or even impossibility, of attaching a real value to these advantages.

In its role of promoting the use of the underground space, the International Tunnelling Association is conscious of this problem. In 1991, the ITA established a working group on the topic of "Direct and Indirect Advantages of Underground Structures", and, as a priority, assigned the Group the task of finding a means of quantifying these advantages.

A task that is so difficult to carry out will certainly not be accomplished without the cooperation of all of the professions concerned, particularly the economists. In fact, economics is an essential discipline in the proper management of the environment. In this respect, one of the main future tasks facing the Working Group is to investigate the relationship between economics and environmental policy, as they exist at present.

Tel n'est hélas pas le cas ! Il est bien connu en effet que les choix sont effectués principalement en fonction des seuls facteurs monétarisables, et particulièrement des coûts de réalisation.

Les facteurs relatifs à l'environnement, dont la plupart sont par nature difficilement quantifiables et encore plus difficilement monétarisables, sont par conséquent mal intégrés dans les justifications économiques. Rien d'étonnant donc qu'ils ne soient le plus souvent pris en considération que sous l'effet des hostilités exprimées par certaines "parties" ou groupes de pression.

Les ouvrages souterrains, dont les coûts d'établissement sont très généralement supérieurs à ceux établis à l'air libre et qui de surcroît se justifient le plus souvent par des considérations de protection de l'environnement, se trouvent ainsi en quelque sorte «pénalisés» par la difficulté, voire l'impossibilité, de valoriser leurs réels avantages.

L'Association Internationale des Travaux en Souterrain (AITES), consciente de cette difficulté dans le cadre de son rôle de promotion de l'utilisation du sous-sol, a constitué un groupe de travail sur le thème des «Avantages directs et indirects des ouvrages souterrains», en lui donnant précisément comme principal objectif celui de quantifier ces avantages.

Une tâche d'une telle difficulté ne sera pas accomplie sans le concours de l'ensemble des professionnels concernés, en particulier des économistes. En effet, l'économie constitue désormais une discipline essentielle de la gestion de l'environnement. A cet égard, il sera sans doute indispensable pour le groupe de travail d'analyser les relations entre l'économie et les politiques de l'environnement, telles qu'elles se présentent actuellement.