

U.N. Progress Report

The Development and Utilization of Subsurface Space

S. Magnus Bergman

Introduction

During the past few years, there has been intensive debates within various international organizations on the use of subsurface space. These debates have been augmented by the many symposia and conferences held throughout the world on subsurface space development. Encouraged by the interest that these activities have generated among both developed and developing countries, the United Nations Committee on Natural Resources adopted subsurface space as part of its program in 1981. During its last meeting (June 8–17, 1983), the committee adopted the following new resolution on the utilization of subsurface space:

DRAFT RESOLUTION VIII Utilization of Subsurface Space

The Economic and Social Council,
Recalling its resolution 1981/82 of 24 July 1981,
Deeply concerned by the problems of population, urbanization and overcrowding, and the need to provide people with food, water and an adequate energy supply,
Recognizing the potential of subsurface space for, *inter alia*, the storage of water, fuel, food and other commodities, as well as for water supply, sewerage and conservation of energy,
Taking into account the experience in the use of subsurface space already existing in many parts of the world and in specialized international organizations, and the long lead time required for the planning and construction of subsurface facilities,
Having taken note of the report of the Secretary-General on the utilization of subsurface space and its potential in developing countries,
 1. *Requests* the Secretary-General to strengthen support mechanisms in the United Nations to make known the scope with respect to the utilization of subsurface space as a potentially important facet of development activity in developing countries, [and]
 2. *Also requests* the Secretary-General to prepare a progress report on the development and utilization of subsurface space and the activities of the relevant organs, organizations and bodies of the United Nations system in this area for the consideration of the Committee at its ninth session.

This report was prepared on behalf of the ITA for the United Nations Department of Technical Cooperation for Development. S. Magnus Bergman, of Itasca Consulting Group, Inc., Minneapolis, Minnesota (U.S.A.), has researched and written extensively on the subject of subsurface planning, development, and use.

Present address: Itasca Consulting Group, Inc., 720 Washington Avenue S.E., P.O. Box 14806, Minneapolis, MN 55414, U.S.A.

Introduction

Au cours de ces dernières années, des débats animés ont été tenus au sein de différentes organisations sur l'utilisation de l'espace souterrain. Ces débats se sont trouvés renforcés par les nombreux symposia et conférences tenus dans le monde entier sur le développement de l'espace souterrain. Encouragé par l'intérêt suscité par ces activités dans les pays développés aussi bien qu'en voie de développement, le Comité des Nations Unies sur les Ressources Naturelles a inscrit l'espace souterrain à son programme et, au cours de sa dernière session du 8 au 17 juin 1984, a adopté une nouvelle résolution sur l'utilisation de l'espace souterrain:

PROJET DE RESOLUTION VIII Utilisation de l'Espace Souterrain

Le Conseil Economique et Social,
Rappelant sa résolution 1981/82 du 24 juillet 1982,
Profondément concerné par les problèmes posés par la population, l'urbanisation et la surpopulation et le besoin d'approvisionner les peuples en aliments et en eau et d'assurer une fourniture adéquate de l'énergie,
Reconnaissant le potentiel qu'offre l'espace souterrain pour, *entre autres*, le stockage de l'eau, des carburants, des aliments et autres ressources, ainsi que pour l'alimentation en eau, l'élimination des eaux usées et la conservation de l'énergie,
Prenant en compte l'expérience en matière d'utilisation de l'espace souterrain qui existe déjà dans de nombreuses parties du monde et dans des organisations internationales spécialisées, ainsi que le délai important nécessaire pour projeter et construire des ouvrages souterrains,
Ayant pris note du rapport du Secrétaire Général sur l'utilisation de l'espace souterrain et de son potentiel dans les pays en voie de développement,
 1. *Demande* au Secrétaire Général de renforcer les structures existant au sein des Nations Unies afin de faire connaître les possibilités importantes qu'offre l'utilisation du sous-sol pour le développement des pays en voie de développement, et
 2. *Demande également* au Secrétaire Général de préparer un rapport sur le développement et l'utilisation de l'espace souterrain, ainsi que sur les activités dans ce domaine des organes, organisations et organismes appartenant aux Nations Unies, pour examen par le Comité au cours de sa neuvième session.

Ce rapport a été préparé par l'AITES pour le Département de la Coopération Technique pour le Développement des Nations-Unies. S. Magnus Bergman est associé avec Itasca Consulting Group, Inc., Minneapolis, Minnesota, U.S.A.

Underground utilization is, for many, still a relatively unknown concept. Due to limited experience, it is often thought to require techniques that are highly sophisticated and therefore expensive. In order to clarify the facts, especially with regard to its use in developing countries, it is important to discuss these general attitudes and identify the cost benefits that can be obtained by utilizing subsurface space.

Considering that the International Tunnelling Association (ITA) has been the most active international organization in the field of sub-surface space development and utilization, and considering that the Secretary-General of the U.N. has been requested to prepare a progress report on this issue, the U.N. Department of Technical Cooperation for Development has asked the ITA to give technical support in this development. This report describes the current state-of-the-art of subsurface space use in the following fields: improved handling of storage of water, food, and energy; improved efficiency in public utility supply and transportation systems; and the planning, financial, and technological aspects of subsurface space use. The report also recommends some steps to be taken to make this valuable resource more available and accepted.

Earlier reports and publications directly or indirectly published by, or in cooperation with, the U.N. Department of Technical Cooperation for Development—such as the Working Paper for the U.N. Workshop in Stockholm, the Special Issue of *Underground Space* (Vol. 7, Nos 4–5, February–April 1983) devoted to the presentations at that workshop, and the U.N. Secretary-General's report to the CNR Eighth Session Meeting in June 1983—have described the basic aspects of subsurface space use. Brief and general descriptions of some of these publications and reports will be presented herein.

Population Growth, Surface Congestion and Subsurface Potential

The population of the world has doubled in the last 40 years. While the growth rate in rural areas has been relatively steady, the population in urban areas has tripled. As noted by Robert W. Fox in his article "The world's urban explosion" (August 1984):

"Human population reached one billion in the early 19th century. But it took little more than another hundred years for that figure to climb to two billion in 1930, and by 1975 the number doubled again. In the remaining years of this century world population will top six billion; by 2025, eight billion. The lion's share of this increase will occur in the emerging nations, already home to most of mankind, and will be concentrated in cities overburdened by their current populations. . . ."

Urban authorities worldwide are declaring their regions to be in crisis situations with drastic shortcomings in housing, water, sewage, transportation, and job opportunities. Lagos, Nigeria, for example, with some five million people and one of the world's highest growth rates, has so far been unsuccessful in planning construction of a citywide sewer system. Urban areas in developing countries are haphazardly spreading far beyond traditional boundaries to accommodate natural population increase and rural migration. Industrial and residential uses and speculation often take over valuable farmland. On the edges of Cairo, prime agricultural land is being lost to the destructive stripping of topsoil for brick-making. Rapid population growth and urbanization will continue into the foreseeable future, with bleak consequences.

Conditions today are only the opening scenes of a drama in which Third World cities, now home to more than one billion people, will hold nearly four billion residents by 2025."

L'utilisation du sous-sol est encore, pour beaucoup, un concept relativement mal connu. Du fait d'une expérience limitée, on a souvent tendance à avoir recours à des techniques hautement sophistiquées, et par conséquent onéreuses. Pour clarifier les faits, plus particulièrement en ce qui concerne l'application dans les pays en voie de développement, il est important d'examiner ces attitudes générales et d'identifier les rapports coûts-bénéfices qui peuvent résulter de l'utilisation du sous-sol.

Considérant que l'Association Internationale des Travaux en Souterrain a été l'organisation internationale la plus active dans le domaine du développement et de l'utilisation de l'espace souterrain, considérant également la demande faite au Secrétaire Général des Nations Unies de préparer un rapport sur ce sujet, le Département de la Coopération Technique pour le Développement des Nations Unies a demandé à l'Association Internationale des Travaux en Souterrain (AITES) de l'aider à réunir les informations en provenance de ses pays membres. Le présent rapport décrit la situation actuelle en matière d'utilisation de l'espace souterrain dans les domaines suivants: amélioration du stockage de l'eau, des aliments et de l'énergie, meilleure efficacité des systèmes de services et de transports publics, et organisation et aspects financiers et techniques de l'utilisation du sous-sol. Le rapport recommande également quelques démarches à suivre pour que cette précieuse ressource soit davantage disponible et acceptée.

Des publications et des rapports précédents, publiés directement ou indirectement par, ou en collaboration avec le Département des Nations Unies de la Coopération Technique pour le Développement (par exemple le document de travail préparé pour le Séminaire de Stockholm des Nations Unies, le numéro spécial de *Underground Space* 7(4–5), février–avril 1983) consacré aux communications présentées lors de ce séminaire, et le rapport du Secrétaire Général des Nations Unies lors de la 8ème session du CNR en juin 1983) ont décrit les aspects fondamentaux de l'utilisation de l'espace souterrain. Nous donnerons ici une description rapide et générale de certaines de ces publications.

Croissance de la Population, Congestion de la Surface et Potentiel du Sous-sol

La population mondiale a doublé au cours des 40 dernières années. Alors que le taux de croissance des zones rurales restait relativement stable, la population des zones urbaines a triplé. Robert W. Fox notait dans son article intitulé "L'explosion urbaine dans le monde" (août 1984):

"La population urbaine atteignait un milliard au début du 19ème siècle. Mais il n'a pas fallu plus de cent autres années pour que ce chiffre grimpe à deux milliards en 1930, et, en 1975, il avait encore doublé. Avant la fin de ce siècle, la population mondiale atteindra six milliards; en 2025, huit milliards. La part du lion de cette croissance sera pour les nations en voie d'émergence, qui abritent déjà la plus grande partie de l'humanité, et la concentration se fera dans des villes actuellement surchargées par leur population. . . ."

Les autorités urbaines, dans le monde entier, déclarent que ces régions se trouvent en état de crise, avec des carences dramatiques en logements, en eau, en égouts, en transports et en travail. Lagos, au Nigéria, par exemple, qui compte quelque cinq millions d'habitants et qui possède l'un des taux de croissance les plus forts du monde, n'a pas encore réussi à planifier la construction d'un système d'égouts couvrant l'ensemble de la ville. Les zones rurales des pays en voie de développement grandissent au petit bonheur, bien au-delà des limites traditionnelles, pour répondre à l'augmentation naturelle de la population et à la migration rurale. Les secteurs industriels et résidentiels et la spéculation réquisitionnent souvent des terres agricoles précieuses. Dans les faubourgs du Caire, des terres agricoles de qualité ont été perdues par la destruction du sol, dénudé pour la fabrication des briques. La croissance rapide de la population et l'urbanisation continueront dans le futur prévisible, avec leurs tristes conséquences.

Les conditions actuelles ne sont que le prologue d'un drame dans lequel les villes du Tiers Monde, qui abritent aujourd'hui plus d'un milliard de

Widespread urbanization will probably continue in both developed and developing countries, and the search for answers to these problems will inevitably result in new technology. In developed nations, this technology may become exceedingly sophisticated and require special materials, equipment, and labor skills. In developing nations, however, the appropriate technological solutions should, most often, be less sophisticated, and they should be flexible enough to meet the needs of both urban and rural communities.

Against the backdrop of urban congestion, shortages in basic human requirements, and unplanned growth, the utilization of subsurface space offers an opportunity to begin anew with a virtually untapped resource the exploitation of which can occur in a planned, rational manner and with benefits that are virtually ensured. Until recently, the subsurface has not generally been investigated as a resource for improving urban and rural environments. Nonetheless, above a certain threshold of development, there is little alternative to utilizing the underground.

Experience in using the subsurface in many countries suggests that this resource presents a valuable means of providing basic human services and easing surface crowding in developing nations. For example:

- Underground transportation through tunnels provides a quick and efficient means of moving large segments of a population into and across central urban districts.
- Locating utility lines for water, electricity, gas, and telecommunications in tunnels independent of surface roadways facilitates, in most cases, maintenance and voids existing utility networks.
- Storage of food, oil, gas, water, and manufactured goods underground has proved an economical alternative to surface installations.
- Producing and storing thermal energy underground can reduce energy waste from thermal loss.

High-Potential Applications of Subsurface Space Use—State of the art

Improved Efficiency in Public Utility Supply and Transportation Systems Through the Use of Subsurface Space

There is a tremendous population explosion occurring in the major cities of the world which is causing an ever-increasing competition for available space. The World Population Conference in Mexico City in July 1984 produced some startling figures.

Only seven urban centers held more than five million in 1950: New York, London, Paris, Germany's Rhein-Ruhr complex, Tokyo-Yokohama, Shanghai, and Buenos Aires. Today, 34 cities boast more than five million residents. By 2025, there will be 93, and 80 of these will be in the emerging nations (see Fig. 1). Jakarta, Shanghai, Dhaka, Calcutta, Bombay, Delhi, Karachi, Cairo, Lagos and Sao Paulo will be in the 20-30 million range by then; Tokyo, Bangkok, Beijing, Tehran, Nairobi, Baghdad, Istanbul, Kinshasa and Rio de Janeiro will have 15-20 million. Lahore and Buenos Aires will have 10-15 million.*

*These estimates are taken from "The world's population explosion," by Robert Fox, published in *National Geographic* 166, (2), August 1984.

personnes, atteindront pratiquement quatre milliards d'habitants en 2025."

L'urbanisation se poursuivra probablement aussi bien dans les pays développés qu'en voie de développement et la recherche des réponses aux problèmes posés aboutira inévitablement à une nouvelle technologie. Dans les pays développés, cette technologie peut devenir excessivement sophistiquée et exiger des matériaux, des équipements et des compétences spéciales. Mais, dans les pays en voie de développement, les solutions technologiques doivent, la plupart du temps, être plus simples et moins coûteuses. Elles doivent aussi être suffisamment souples pour répondre aux besoins des communautés, tant urbaines que rurales.

Sur ce fond de congestion urbaine, de difficulté à répondre aux exigences humaines fondamentales et de croissance non planifiée, l'utilisation de l'espace souterrain offre l'opportunité de partir de nouveau de zéro, grâce à une ressource virtuellement intacte qui peut être exploitée de façon rationnelle et planifiée et dont les bénéfices sont virtuellement assurés. Jusqu'à une date récente, le sous-sol n'a généralement pas été étudié en tant que ressource permettant d'améliorer l'environnement urbain ou rural; mais, une fois franchi un certain seuil de développement, il existe peu d'autres solutions que celle de mettre le sous-sol à profit.

Les expériences réalisées dans de nombreux pays laissent entendre que cette ressource est un moyen précieux pour assurer les services humains fondamentaux et faciliter la croissance en surface dans les pays en voie de développement. Par exemple:

- Les transports en souterrain, empruntant les tunnels, sont un moyen rapide et efficace d'assurer le déplacement d'une partie importante de la population vers ou à travers les centres urbains.
- L'installation des services—eau, électricité, gaz et télécommunications—dans des tunnels indépendants de la voirie de surface facilite, dans la plupart des cas, leur entretien et permet d'éviter les réseaux existants.
- Le stockage en souterrain des aliments, du pétrole, du gaz, de l'eau et des produits manufacturés s'est révélé une alternative économique aux installations de surface.
- La production et le stockage en souterrain de l'énergie peut réduire le gaspillage d'énergie qui résulte des pertes thermiques.

Applications à Haut Potentiel de l'Utilisation du Sous-sol—Situation Actuelle

Meilleure Efficacité des Services Publics et des Systèmes de Transport Grâce à l'Utilisation de l'Espace Souterrain

Il se produit, dans les plus grandes villes du monde, une formidable explosion démographique qui a pour résultat une compétition toujours plus forte pour l'espace disponible. La Conférence sur la Population Mondiale qui s'est tenue à Mexico en juillet 1984 a produit quelques chiffres alarmants.

En 1950, seuls sept centres urbains comptaient plus de cinq millions d'habitants: New York, Londres, Paris, le complexe Rhin-Ruhr en Allemagne, Tokyo-Yokohama, Shanghai et Buenos Aires. Aujourd'hui, 34 villes s'enorgueillissent de posséder plus de cinq millions de résidents. En 2025, elles seront 93, et 80 d'entre elles se trouveront dans des pays en voie d'émergence (Fig. 1). Jakarta, Shanghaï, Dhaka, Calcutta, Bombay, Delhi, Karachi, Le Caire, Lagos et Sao Paulo compteront alors entre 20 et 30 millions d'habitants; Tokyo, Bangkok, Pékin, Téhéran, Nairobi, Baghdad, Istanbul, Kinshasa et Rio de Janeiro en auront de 15 à 20 millions. Lahore et Buenos Aires auront 10 à 15 millions d'habitants.*

*Ces chiffres ont été relevés dans The World's Population Explosion, de Robert Fox, article publié dans *National Geographic* 166(2), août 1984.

Number of cities
with a population
exceeding 5 million

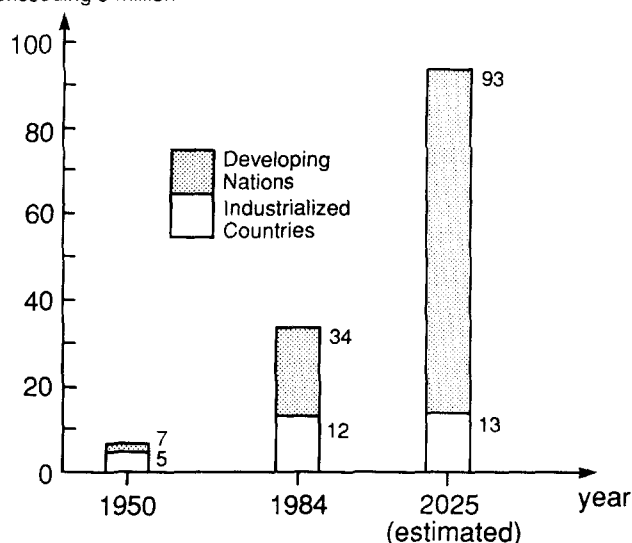


Figure 1. Estimated population growth by the year 2025.

The upsurge in Third World urban populations has overwhelmed resources. Sprawling slums, massive traffic jams, chronic unemployment, regular failure of electric and water services, strained educational and recreational facilities, and skyrocketing food and fuel costs are part of daily existence.

Transportation needs and public utility supply systems are two vital problem areas in which the use of subsurface space can offer significant improvements and escape from the potential chaos now facing these cities.

Underground Mass Transit Systems. The emerging growth pattern described above indicates that developing countries will face serious problems in taking care of the transport needs of their major cities. As was discussed in earlier U.N. reports, by far the most efficient transportation system in dense urban areas is the subway and/or light-rail system (see Tables 1 and 2). It therefore seems apparent that public urban railway systems on separate tracks and partly underground are the best means of improving the current situation in many major cities, as well as the best way to keep pace with the growth foreseen.

Consider the 34 metropolitan areas with a current population greater than 5 million people. Of the 34 cities, 12 are located in industrialized countries, and all have existing public urban railway systems under construction or in operation. Of the remaining 22 cities, in developing countries, eight have subway systems in operation (São Paulo, Rio de Janeiro, Buenos Aires, Calcutta, Mexico City, Beijing, Hong Kong and Seoul) and eight have subway systems either under design or construction (Cairo, Baghdad, Istanbul, Tehran, Karachi, Bombay, Madras and Bangkok). If these figures are any indication, by the year 2025—when there will be 80 cities in developing nations with more than 5 million people—a significant number of those cities will have underground mass transit systems in operation or under development. (See Tables 3 and 4 for a listing of subway systems, currently in operation being planned, designed, or constructed in developing nations.)

When considering mass transit systems, however, the following time aspects must be kept in mind. Basic planning for underground transportation systems takes at least 5 years; the construction time for a single subway line is between 8 and 10 years; and the time for completion of an underground network, including all related installation, is about 30 years. This means that developing countries must start *now* on their transportation systems for the year 2000 and beyond.

Nombre de cités
avec une population
de plus de 5 millions

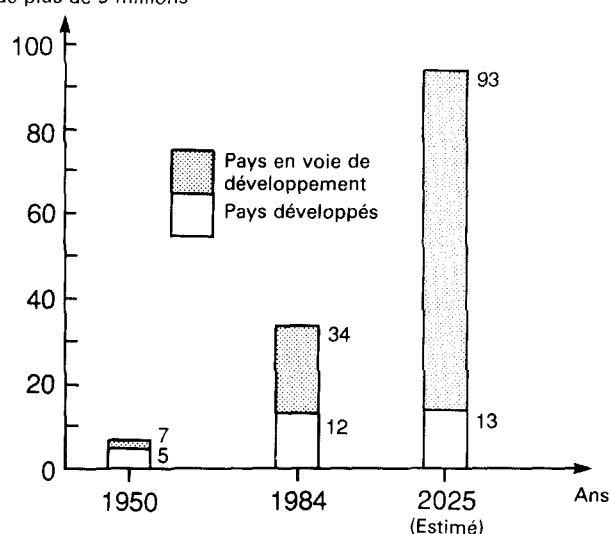


Figure 1. Estimation de l'accroissement de la population avant l'an 2025.

Le raz-de-marée des populations urbaines du Tiers Monde a des conséquences accablantes. L'extension des taudis, les embouteillages monstres, le chômage chronique, les coupures systématiques d'eau et d'électricité, les difficultés rencontrées dans l'enseignement et les loisirs, et des prix d'alimentation et de combustible qui montent en flèche font partie de l'existence quotidienne.

Les besoins en transport et en réseaux de services publics constituent deux domaines vitaux dans lesquels l'utilisation de l'espace souterrain peut offrir des améliorations significatives et la possibilité d'échapper au chaos latent auquel nous sommes actuellement confrontés.

Réseaux de Transports Publics en Souterrain. Le schéma de croissance que nous venons de décrire indique que les pays en voie de développement se heurteront à des problèmes graves lorsqu'ils voudront résoudre les besoins en transports dans leurs grandes villes. Des rapports précédents des Nations Unies ont déjà démontré que le système le plus efficace en site urbain dense est le métro et/ou un réseau ferroviaire léger (tableaux 1 et 2). Il semble donc évident que les réseaux ferroviaires publics urbains en site propre et partiellement en souterrain représentent le meilleur moyen d'améliorer la situation actuelle dans de nombreuses grandes villes, ainsi que le meilleur moyen de préserver l'espace pour la croissance envisagée.

Examinons les 34 métropoles dont la population actuelle dépasse les 5 millions d'habitants. Parmi ces 34 villes, 12 se trouvent dans des pays industrialisés, et toutes ont des réseaux ferroviaires urbains de transports publics en construction ou en service. Parmi les 22 villes restantes, qui se trouvent dans des pays en voie de développement, huit ont des métros en service (São Paulo, Rio de Janeiro, Buenos Aires, Calcutta, Mexico City, Pékin, Hong Kong et Séoul) et huit des métros soit à l'étude, soit en construction (Le Caire, Baghdad, Istanbul, Téhéran, Karachi, Bombay, Madras et Bangkok). Si ces chiffres peuvent donner une indication, en 2025, lorsque les pays en voie de développement compteront plus de 80 villes de plus de 5 millions d'habitants, un grand nombre de ces villes disposeront de réseaux de transports publics souterrains en service ou en cours d'achèvement (Tableaux 3 et 4).

Cependant, quand on examine les réseaux de transports publics, il faut garder à l'esprit les données de délais suivantes. L'étude de base d'un système de transports publics en souterrain demande au moins 5 ans; le délai de construction d'une ligne simple de métro se situe entre 8 et 10 ans; et le délai d'achèvement d'un réseau souterrain incluant toutes les installations annexes est d'environ 30 ans. Ceci signifie que les pays en voie de développement doivent démarrer maintenant leurs systèmes de transport pour l'an 2000 et au-delà.

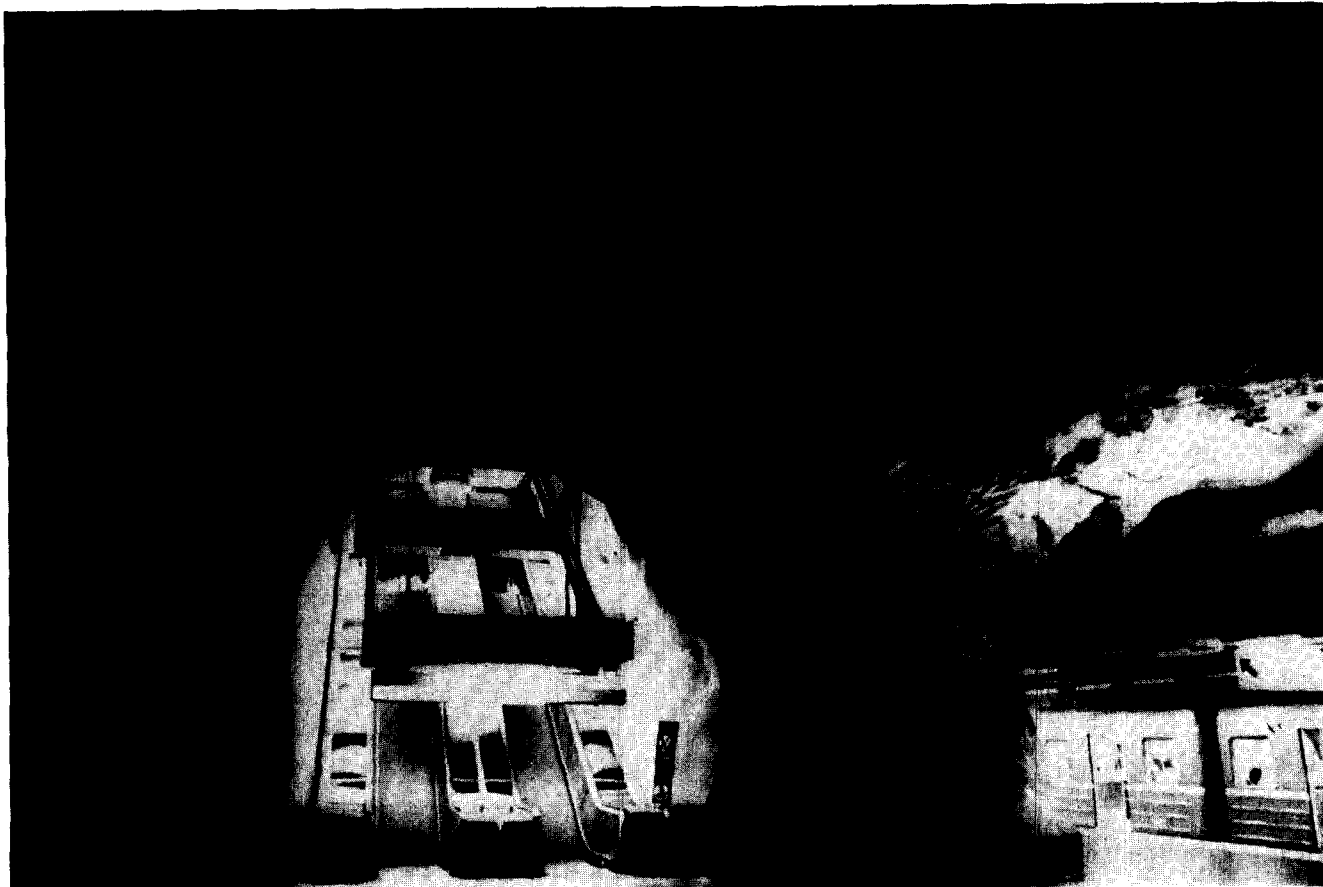


Figure 2. Artists have transformed the bare rock overlying this Stockholm subway station to create a visually appealing environment.

Figure 2. Des artistes ont transformé l'aspect neutre de la roche de cette station de métro à Stockholm afin de créer un environnement visuel agréable.

In order to develop a reasonable approach to public transportation that might include an underground portion as a potential part of the system, it is important to develop a local long-range planning program, particularly in terms of reserving corridor space in the city. There is also a continuous need for feasibility studies, including geotechnical and technical studies, to support the planning program. Cost analyses are especially needed. Some items to consider in the development of such a plan are noted below.

Pour mettre au point une approche raisonnable d'un système de transport public susceptible d'inclure une section souterraine, il est important d'établir un programme local de planification à long terme, en particulier en ce qui concerne les couloirs à réserver dans la ville. Il existe aussi un besoin permanent d'études de faisabilité, incluant des études géotechniques et techniques, pour appuyer le programme de travail. Il faut en particulier procéder à des analyses de coût. Voici quelques points qui doivent être pris en considération dans l'établissement d'un tel plan.

- Overall integrated city and transportation planning is recommended to initially plan for public transportation corridors in urban areas. These corridors could be used by buses, early on; at a later stage, by light-rail systems on the surface; and, finally, by an underground subway system. Over time, this approach will be invaluable as a means of avoiding costly processes when subway systems do become necessary 10, 20, or 50 years into the future.

- Planning and construction for surface urbanization and public transportation must be done at the same time and in a coordinated manner. Only in this way can optimal solutions at low costs be achieved. The location of urban utility lines and sewers is influenced by the choice of public transportation modes, especially when underground systems may be employed. In developing countries, whenever a removal of utilities from aboveground into the underground is planned, the potential space for a transport system has to be reserved. Therefore, early feasibility studies on the best applicable transportation solution are urgently needed in these cities to avoid waste of money.

- Construction costs must be kept as low as possible—e.g. by using metro systems only when very high passenger loads

- On recommande de mettre au point, en premier lieu, un plan d'ensemble intégré ville et transports pour définir les couloirs de transports publics en zone urbaine. Ces couloirs peuvent être empruntés dès le début par les bus, puis, ultérieurement, par des réseaux ferroviaires légers de surface et, enfin, par un réseau de métropolitain. Avec le temps, cette approche devient un moyen inestimable d'éviter des processus coûteux lorsque les réseaux de métro deviennent véritablement nécessaires, 10, 20 ou 50 ans plus tard.

- Les travaux de conception et de génie civil en vue de l'urbanisation de surface et des transports publics doivent être menés de front et de manière coordonnée. Ce n'est que de cette façon que l'on peut arriver à des solutions optimales à bas prix. L'implantation des réseaux de services publics et d'égoûts est influencé par le choix des modes de transports publics, en particulier si l'on a recours à des systèmes souterrains. Dans les pays en voie de développement, si l'on projette de déplacer les services de la surface au sous-sol, il est nécessaire de réserver l'espace pouvant accueillir le système de transport. Il existe donc, dans ces villes, un besoin urgent d'études préliminaires de faisabilité sur la meilleure solution applicable aux transports, si l'on veut éviter un gaspillage financier.

- Les coûts de construction doivent être maintenus aussi bas que possible, par exemple en n'ayant recours au métro

Table 1. Land requirements for 30,000 passengers in various transit modes (traffic per hour in one direction at peak hour). (Barbier, 1983)

Mode	Traffic and right of way	Number of lanes for one direction	Total right of way for both directions
Passenger car	1000 vehicles per lane per hour 1.5 passengers per car 3-m width for one lane	20	120m
Bus or trolley	1-min interval 80 passengers per vehicle 3.5-m width for one lane	6	42m
LRT	1.5-min interval 350 passengers per train 3-m width for one track	2	12m
MRT or commuter train	2-min interval 1000 passengers per train 3.5-m width for one track	1	7m

System	Average passenger load (Passengers per day in both directions)
Metro	170,000–500,000
Light rail	20,000–110,000
Tram	10,000–30,000

Table 2. Real average passenger loads for metro, light rail, and tramway systems in Germany (upper and lower limits; only the lower limit is given for lines not yet fully operative). (Girna, 1983)

Table 3. Subway systems operating in 1983 in developing countries.

Country	City	Population served (1983) (in millions)	Status
China	Beijing	7.8	Full metro. 40-km system in operation. 13-km system under construction.
	Harbin	1.1	Full metro. 9-km system in operation. 24-km system planned.
	Tianjin	3.2	Full metro. 12-km system in operation.
Hong Kong		4.5	Full metro. 26-km system in operation. 12.5-km system under construction.
India	Calcutta	10.0	Full metro. 16.4-km system in operation (1984 or 1985). 8.1-km system under construction.
North Korea	Pyongyang	1.5	Information not available

Contd

Tableau 1. Espace requis pour 30,000 passagers selon différents modes de transport (trafic par heure dans chaque direction aux heures de pointe). (Barbier, 1983)

Mode de transport	Traffic et priorité	Nombre de voies dans une direction	Nombre total de priorités dans les deux directions
Voiture particulière	1000 véhicules par voie et par jour 1,5 passagers par voiture 3 m de largeur pour chaque voie	20	120m
Bus ou trolley	1 min d'intervalle 80 passagers par véhicule 3,5 m de largeur pour chaque voie	6	42m
Réseau ferré léger	1,5 min d'intervalle 350 passagers par train 3,0 m de largeur pour chaque voie	2	12m
Réseau ferré inter-médiaire ou train de banlieu	2 min d'intervalle 1000 passagers par train 3,5 m de largeur pour chaque voie	1	7m

Système	Traffic passager moyen (nombre de passagers par jour dans les deux directions)
Métro	170.000–500.000
Réseau ferré léger	20.000–110.000
Tramway	10.000–30.000

Tableau 2. Trafic passager moyen pour les systèmes de métro, réseau ferré léger et tramway en Allemagne Fédérale (limites inférieure et supérieure). (Girna 1983)

Tableau 3. Systèmes de métro en service dans les pays en voie de développement—1983.

Pays	Ville	Population desservie (1983) (en millions)	Statut
Chine	Beijing	7,8	Métro: 40 km de lignes en service. 13 km de lignes en construction.
	Harbin	1,1	Métro: 9 km de lignes en service. 24 km de lignes prévu.
	Tianjin	3,2	Métro: 12 km de lignes en service.
Hong Kong		4,5	Métro: 26 km de lignes en service. 12,5 km de lignes en construction.
Inde	Calcutta	10,0	Métro: 16,4 km de lignes en service (1984 ou 1985). 8.1 km de lignes en construction.
Corée du Nord	Pyongyang	1,5	Informations non disponibles.

Contd

Table 3. (Contd.)

Country	City	Population served (1983) (in millions)	Status
South Korea	Seoul	8.2	Full metro. 23.7-km system in operation.
Argentina	Buenos Aires	8.4	34-km system in operation. 4.9-km system under construction.
Brazil	Rio de Janeiro	9.0	Full metro. 30-km system in operation.
	Sao Paulo	6.3	Full metro. 24-km system in operation. 7-km system under construction. Total of 139-km system planned.
Chile	Santiago	4.0	Full metro. 23.3-km system in operation.
Venezuela	Caracas	3.2	12.3-km metro system in operation (1984). 18.7-km metro system under construction.
Mexico	Mexico City	9.2	Full metro. 111.4-km system in operation. Total of 400 km network system planned by the year 2000.
	Guadalajara	1.5	Pre-metro. 5.2-km two-line trolley bus system (built for conversion to rail) in operation.

Source: *Mass Transit* 10(10), October 1983.

Table 4. Subway systems under planning, design and construction in developing countries.

Country	City	Population served (1983) (in millions)	Status
China	Guangzhou	3.4	Full metro. 33-km system under construction.
India	Bombay	6.0	Two-line 78.1-km system under planning.
	Madras	3.0	8.4-km combined light-rail and subway system under construction.

Contd

Tableau 3. (Contd.)

Pays	Ville	Population desservie (1983) (en millions)	Statut
Corée du Sud	Séoul	8,2	Métro: 23,7 km de lignes en service.
Argentine	Buenos Aires	8,4	34 km de lignes en service. 4,9 km de lignes en construction.
Brésil	Rio de Janeiro	9,0	Métro: 30 km de lignes en service.
	Sao Paulo	6,3	Métro: 24 km de lignes en service. 7 km de lignes en construction. 139 km de lignes est prévu.
Chili	Santiago	4,0	Métro: 23,3 km de lignes en service.
Vénézuéla	Caracas	3,2	12,3 km de lignes en service (1984). 18,7 km de lignes en construction.
Mexique	Mexico	9,2	Métro: 111,4 km de lignes en service. Un réseau total de 400 km est prévu avant l'an 2000.
	Guadalajara	1,5	Pré-métro. Un système de bus trolley (construit avec l'idée d'une conversion en réseau ferré) à deux voies est en service.

Source: *Mass Transit* 10(10), Octobre 1983.

Tableau 4. Systèmes de métro prévus en préparation et en construction.

Pays	Ville	Population desservie (1983) (en millions)	Statut
Chine	Guangzhou	3,4	Métro complet. 33 km de système en construction.
Inde	Bombay	6,0	Système à deux voies de 78,1 km de long prévu
	Madras	3,0	Système mixte de métro et d'un réseau ferré léger de 8,4 km de long en construction.

Contd

Table 4. (Contd.)

Country	City	Population served (1983) (in millions)	Status
Iran	Teheran	4.5	Scaled-down version of a 64-km system under consideration.
Iraq	Baghdad	2.8	5.5-km metro system under construction. In total, a 32-km system is planned.
South Korea	Pusan	2.5	26-km metro system under construction. 50-km system is planned by year 2000.
Pakistan	Karachi	5.5	8.8-km metro system is planned.
	Lahore	2.2	6.5-km light-rail or subway system under planning.
Singapore		2.4	17.1-km subway system under construction. In total, a 70-km metro system is planned.
Thailand	Bangkok	4.5	59-km metro system under design.
Turkey	Ankara	1.5	11.4-km rail transit system under construction.
	Istanbul	2.5	14-km metro system under planning.
Algeria	Algiers	1.3	10-km urban rail line under construction, partly underground. 12-km system under planning.
Egypt	Cairo	5.0	42-km rapid transit rail line and 4-km subway system under construction. 22-km metro system under planning.
Ivory Coast	Abidjan	1.0	Plans for a 36-km rail transit system with 3.5-km subway.
Morocco	Casablanca	1.8	10-km light-rail system under consideration.

Contd

Tableau 4. (Contd.)

Pays	Ville	Population desservie (1983) (en millions)	Statut
Iran	Téhéran	4,5	Version réduite d'un réseau de 64 km en considération.
Irak	Baghdad	2,8	Métro de 5,5 km de long en construction. Un total, de 32 km est prévu.
Corée du Sud	Pusan	2,5	Métro de 26 km de long en construction. Un total de 50 km est prévu avant l'an 2000.
Pakistan	Karachi	5,5	Métro de 8,8 km de long est prévu.
	Lahore	2,2	Réseau ferré léger ou bien un métro de 6,5 km de long en préparation.
Singapour		2,4	Métro de 17,1 km de long en construction. Un total de 70 km est prévu.
Thaïlande	Bangkok	4,5	Métro de 59 km de long en préparation.
Turquie	Ankara	1,5	Train de banlieu de 11,4 km de long en construction.
	Istanbul	2,5	Métro de 14 km de long est en préparation.
Algérie	Alger	1,3	10 km de lignes urbaines, en partie sous terre, sont en construction. Système de 12 km de long prévu.
Egypte	Le Caire	5,0	42 km de lignes de trains de banlieu rapides et 4 km de métro en construction. Métro de 22 km de long prévu.
Côte d'Ivoire	Abidjan	1,0	Plans pour un réseau de trains de banlieu de 36 km de long dont 3,5 km sous terre.
Maroc	Casablanca	1,8	Réseau ferré léger de 10 km de long en considération.

Contd

Table 4. (Contd.)

Country	City	Population served (1983) (in millions)	Status
Nigeria	Lagos	3.0	28.5-km metro system under design. Major portions elevated.
Tunisia	Tunis	0.9	30-km light-rail transit system under construction. Partly subway.
Brazil	Belo Horizonta	2.7	57-km light-rail transit system under design. Partly underground.
	Porto Alegre	0.8	Small rail transit system, partly subway, in downtown.
Columbia	Bogota	2.9	Engineering studies completed for city metro system.
	Medellin	1.5	22.5-km metro system under design.
Cuba	Havana	1.9	12.5-km metro system under planning.
Yugoslavia	Belgrade	1.6	14.2-km metro system under construction. 68-km metro system planned by year 2000.

Source: *Mass Transit* 10(10), October 1983.

are expected, by taking light-rail systems with separate right-of-way into account whenever this seems to be a possible solution, and by keeping the tunnel sections of a line as short as possible and using low-cost tunneling construction methods.

Underground Public Utilities. As noted above, all projections of the world population through the year 2025 conclude that higher concentration of people in urban environments are to be expected. Most of the projected new large population centers will be in developing countries, where there will be an increased need for the utility supply of fresh water, waste water, electricity, telecommunications, gas, etc.

These cities, in most cases, do not have adequate supply systems to provide for even the populations they have today. While the cost of land, of course, is of concern to all, the availability of land for utility systems is almost nonexistent in crowded urban areas. Therefore, based on the long and positive experiences of developed countries, it appears obvious that the

Tableau 4. (Contd.)

Pays	Ville	Population desservie (1983) (en millions)	Statut
Nigéria	Lagos	3,0	Métro de 28,5 km en préparation. Les portions principales seront aériennes.
Tunisie	Tunis	0,9	Réseau ferré léger de trains de banlieu de 30 km de long en construction dont une partie sous terre.
Brésil	Belo Horizonta	2,7	Réseau ferré léger de trains de banlieu de 57 km de long en préparation dont une partie sous terre.
	Porto Alegre	0,8	Petit système de trains de banlieu, en partie sous terrains, dans le centre ville.
Colombie	Bogota	2,9	Les études préalables techniques sont achevées pour un métro de ville.
	Medellin	1,5	Métro de 22,5 km de long en préparation.
Cuba	La Havane	1,9	Métro de 12,5 km de long prévu.
Yougoslavie	Belgrade	1,6	Métro de 14,2 km de long en construction. Métro de 68 km de long est prévu avant l'an 2000.

Source: *Mass Transit* 10(10), Octobre 1983.

que si l'on prévoit une charge très importante de passagers, en choisissant des systèmes ferroviaires légers en site propre lorsqu'ils représentent une solution possible, en gardant des sections de tunnel aussi courtes que possible et en utilisant des méthodes de construction à bas prix.

Services Publics en Souterrain. Ainsi que nous l'avons dit précédemment, toutes les prévisions concernant la population mondiale jusqu'en 2025 concluent à des concentrations de population en augmentation dans les zones urbaines. La plupart des nouveaux grands centres prévus se trouveront dans des pays en voie de développement, où il y aura un besoin croissant en fourniture de services: eau potable, eaux usées, électricité, télécommunications, gaz, etc.

Ces villes, dans la plupart des cas, n'ont pas de réseaux d'approvisionnement adéquats, même pour leur population actuelle. Alors que le prix du terrain est naturellement le souci de tous, en ce qui concerne les services, la disponibilité du terrain est pratiquement inexistante dans les zones urbaines

location of utilities underground for major cities and crowded urban centers is an alternative that developing countries may well have to consider. In many instances, it may be the only solution for the growing spatial problems of public utility supply.

With large concentrations of people in limited space, it has become necessary to utilize the subsurface for locating certain critical services. In almost every country, at least the use of near-surface ground for covering pipes and cables is a routine activity. In the course of planning, fresh water, wastewater, electricity, telecommunication lines, and gas supply lines are put underground to minimize their interference with surface activities. However, in most cases, these installations are designed to conform to the basic pattern of the overhead surface plan. Pipes, ducts, and cables follow the street in more or less rigid fashion and utilize only the upper few meters of subsurface space (see Fig. 3). As an area increases in density, this space becomes cluttered with supply lines. These systems are generally underdimensioned and urgently need rebuilding and adjusting to meet today's most basic needs. Many of the utility systems in developing countries were planned and built this way during the nineteenth century and have grown simply by the addition of parallel lines to the existing, aged infrastructure.

One way to accommodate the growing demand for conduits is to place them in somewhat deeper tunnels freed from the general plan of the surface. Excavated in soft ground or rock, these utility tunnels are not bound primarily to the surface design.

The underground invites a bolder approach to this utility problem. Recent studies show that some kinds of utility corridors independent of the surface plan are an economical

surpeuplées. Si l'on se base donc sur les expériences positives rassemblées au cours d'un grand nombre d'années dans les pays développés, il semble évident que l'implantation en souterrain des services dans les grandes villes et les centres urbains surpeuplés soit une solution que les pays en voie de développement devraient prendre en compte. Dans de nombreux cas, ce peut être la seule solution pour le problème de plus en plus crucial des espaces nécessaires pour les services publics.

Avec une forte concentration de population dans un espace limité, il devient indispensable de mettre à profit le sous-sol pour implanter certains services critiques. Dans presque chaque pays il est devenu routinier d'utiliser au moins le proche sous-sol pour y poser les conduits et les câbles. Dans les études de planification, les réseaux d'approvisionnement en eau potable, eaux usées, électricité, lignes de télécommunication et gaz sont mis en souterrain pour minimiser leur interférence avec les activités de surface. Dans la plupart des cas, cependant, ces installations sont conçues en conformité avec le modèle de base du plan de surface. Les conduites et les câbles suivent le tracé de la voirie d'une façon plus ou moins rigide et n'utilisent que les quelques mètres supérieurs du sous-sol (Fig. 3). Lorsqu'une zone augmente en densité, cet espace se trouve encombré par les réseaux d'approvisionnement. Ces réseaux sont généralement sous-dimensionnés et doivent être reconstruits et ré-adaptés d'urgence pour répondre aux besoins actuels. Une grande partie des réseaux, dans les pays en voie de développement, ont été conçus et construits de cette façon au cours du 19^{ème} siècle, puis se sont agrandis simplement par l'adjonction de lignes parallèles à l'infrastructure existante et vieillie.

L'une des façons de répondre à la demande croissante en conduites est de les installer dans des tunnels à plus grande profondeur, indépendants du plan général de surface. Créusés en terrain meuble ou dans la roche, ces tunnels ne sont pas immédiatement liés à la voirie de surface.

Le sous-sol invite à une approche plus hardie de ce problème des services. Des études récentes montrent que certains types de couloirs indépendants du plan de surface constituent une

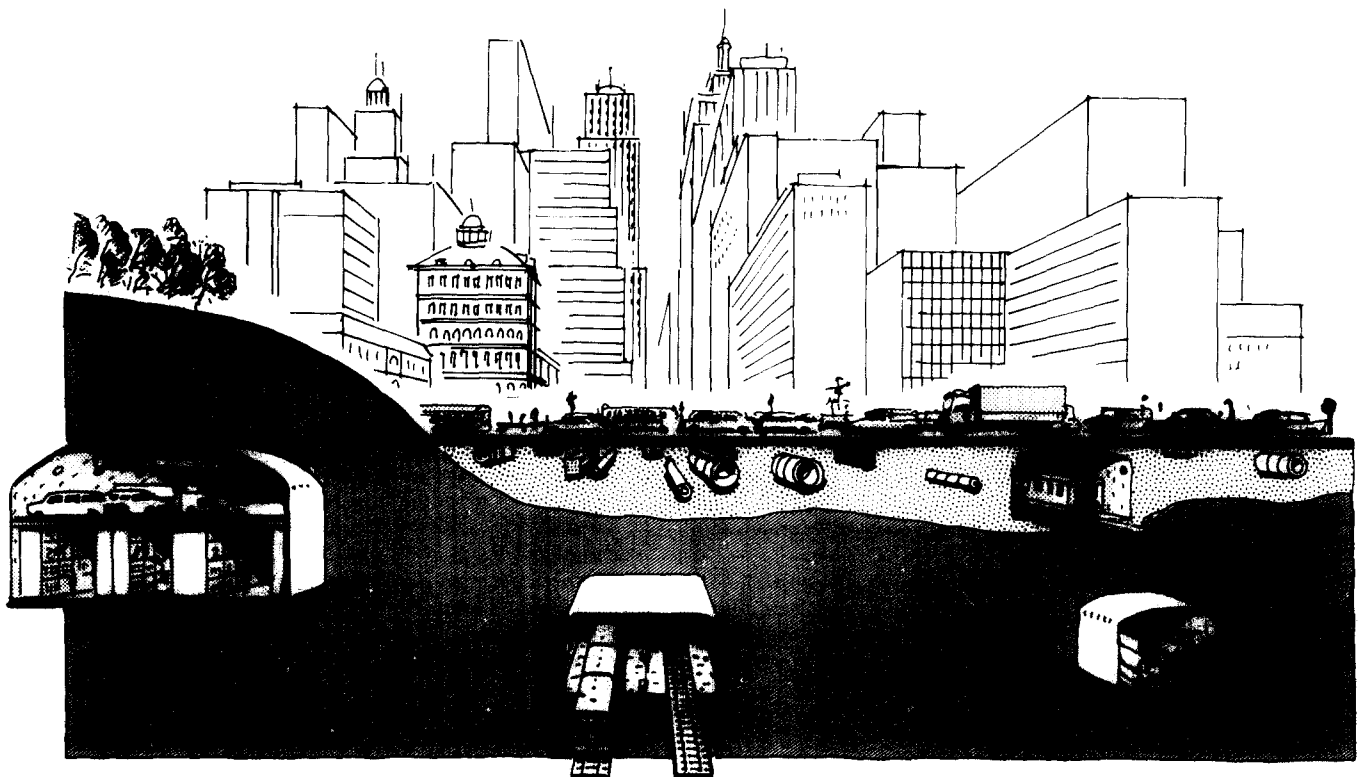


Figure 3. Large town and cities have reached their limits of expansion—on the surface. Below ground, however, subsurface space offers great potential and is a resource that is so far virtually unexploited.

Figure 3. Les grandes villes et les grandes cités ont atteint leurs limites d'expansion—à la surface. Sous terre, toutefois, l'espace présent offre de grandes possibilités et représente une ressource qui a été, jusqu'à maintenant, pratiquement inexploitée.

alternative to pipelines buried in trenches that follow the layout of surface roadways. Because such tunnels are generally situated deeper than trench pipes, they are able to avoid the aged near-surface infrastructure during construction. Moreover, because these supply lines are tunneled rather than dug directly from the surface, there is no interruption of surface traffic. When compared with "cut-and-cover" trenches, utility tunnels cause less disruption and damage to existing installations.

In industrialized countries, the trend over the last decades has been to construct public utility systems underground, especially for sewage and water supply. The World Health Organization (WHO), which is highly involved in the development of public utility systems in developing countries, notes the advantages of locating pipes underground and offers the following comments on subsurface public utility systems.

- (1) The decision as to whether to go overground or underground is primarily related to the following factors:
 - (a) technical considerations;
 - (b) cost consideration for capital and operation and maintenance;
 - (c) availability of appropriate material and human resources;
 - (d) environmental considerations such as noise, odor, air and water pollution, and aesthetics; and
 - (e) access and convenience.
- (2) The factors cited above make it essential that a full feasibility analysis, including site exploration, be undertaken before a decision can be made.
- (3) Thus, any of these factors can influence the decision and not merely the problem of congestion. In most developing countries, the trade-off leans more in favor of overground structures, primarily because of costs and appropriate technology considerations. However, for gravity-functioning sewer network and water distribution systems, subterranean lines would be the more appropriate and economical in all countries.
- (4) In all cases, it would be appropriate to consider the feasibility of future design and construction of multi-utility tunnels. This is a long-envisioned goal which has not become a reality in most countries in view of the institutional and cost constraints. The institutional constraints are magnified by the multiplicity of agencies responsible for the various utilities.

This long-term goal of concentrating utilities (at least, the main lines) in tunnels will probably be the only way to accommodate the necessary circulation system in such a way that it will not occupy too much space and will be reachable without disrupting life on the surface on a regular basis, as it would if streets were broken up. Tunnels such as these are used in Paris, London, Tokyo, Madrid, Stockholm and Brussels, among others (See Fig. 4).

Due to increased tunnel construction in developed countries, cost-efficient construction methods are now common practice. Because cost is one of the prohibitive factors of deep tunneling in developing countries, a technology transfer program would help those countries gain access to more beneficial and cost-effective deep tunneling methods for their development of public utility supply systems over the next few decades.

Handling and Storage of Food, Water and Energy Through the Use of Subsurface Space

Subsurface Storage of Foodstuffs (see Fig. 5). Food spoilage before distribution is a major contributor to world hunger.

alternative économique aux pipelines enterrés dans des tranchées suivant le tracé de la voirie de surface. Ces tunnels étant généralement à plus grande profondeur que les conduites en tranchée, peuvent éviter l'infrastructure vieillie proche de la surface. En outre, ces réseaux étant creusés plutôt que construits à partir de la surface, la circulation en surface n'est pas interrompue. Si on les compare aux tranchées couvertes, les tunnels techniques causent moins de coupures et de dommages aux installations existantes.

Dans les pays industrialisés, la tendance au cours des dernières décennies a été de construire des réseaux de services publics en souterrain, en particulier pour les eaux usées et l'approvisionnement en eau. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) qui est largement impliquée dans le développement des systèmes de services publics dans les pays en voie de développement, a indiqué les avantages de la mise en souterrain des conduites et donné les commentaires suivants sur les systèmes de services publics souterrains.

- (1) La décision de choisir la surface ou le sous-sol est liée en premier lieu aux facteurs suivants:
 - a. Considérations techniques;
 - b. Considérations de coût pour le capital investi, l'exploitation et l'entretien;
 - c. Disponibilité du matériel approprié et des ressources humaines;
 - d. Considérations touchant l'environnement, par exemple bruit, odeurs, pollution de l'air et de l'eau, considérations esthétiques; et
 - e. Accès et commodité.
- (2) Les facteurs cités précédemment montrent à l'évidence qu'une analyse détaillée de faisabilité, incluant l'exploration du site, doit être entreprise avant qu'une décision puisse être prise.
- (3) Ainsi, l'un quelconque de ces facteurs peut avoir une influence sur la décision, et pas seulement le problème de la congestion. Dans la plupart des pays en voie de développement, les prêts sont accordés de préférence aux structures de surface, principalement pour des raisons de coût et de technologie appropriée. Cependant, pour des égoûts et des systèmes de distribution d'eau fonctionnant par gravité, des lignes souterraines seraient les mieux appropriées et les plus économiques dans tous les pays.
- (4) Dans tous les cas, il est bon d'examiner la faisabilité de la conception et de la construction, dans le futur, d'un tunnel multi-objectif. Ceci est un but à long terme, qui est devenu une réalité dans la plupart des pays compte tenu des contraintes institutionnelles et financières. Les contraintes institutionnelles se trouvent amplifiées par la multiplicité des instances responsables des différents services.

Cet objectif à long terme, qui est la concentration des services (tout au moins des lignes principales) dans des tunnels, représentera probablement le seul moyen d'aménager le système de circulation nécessaire de telle sorte qu'il n'occupe pas un espace trop important et qu'il soit accessible sans interrompre la vie en surface de façon régulière, ce qui serait le cas si les rues étaient coupées. Des tunnels de cette sorte sont en service à Paris, Londres, Tokyo, Madrid, Stockholm et Bruxelles, entre autres villes (Fig. 4).

Les méthodes de construction rentables sont devenues pratique commune du fait du nombre de plus en plus grand de tunnels construits dans les pays en voie de développement. Le coût étant l'un des facteurs prohibitifs de la construction de tunnels à grande profondeur dans les pays en voie de développement, un programme de transfert de technologie aiderait ces pays à accéder à des méthodes de creusement de tunnels plus avantageuses et plus rentable pour développer leurs systèmes de services publics au cours des prochaines décennies.

Manipulation et Stockage des Denrées Alimentaires, de l'Eau et de l'Energie grâce à l'Utilisation de l'Espace Souterrain

Le Stockage en Souterrain des Denrées Alimentaires (Fig. 5). Le gaspillage des aliments avant leur distribution est l'une des

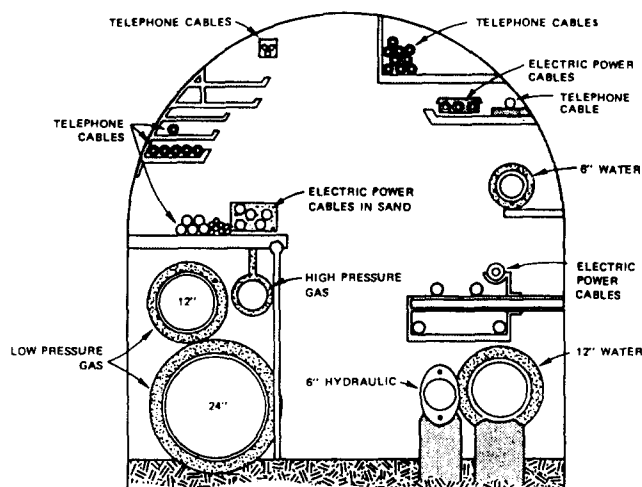


Figure 4. Arrangement of utilities in a multi-purpose tunnel in London. (van Lohuizen 1983)

There is a need for inexpensive storage facilities that can hold large volumes of raw and processed foodstuffs, especially in developing countries, where refrigeration is at a premium and transportation systems can fail to move food quickly from supply points to consumer destinations. Since as much as 80% of grain is stored where it is produced locally, efficient storage techniques take on special significance in rural areas.

Storage losses occur because of such factors as rain, humidity, heat, frost, insects, molds, bacteria, rodents, birds, sprouting, rancidity, and overripening. To solve the storage problem at farms and trading centers, as well as at ports, national governments—with the assistance of the World Bank and FAO—are spending very large amounts of money. They are concerned about the storage of such grains as wheat, rice, corn, legumes, and other perishable commodities such as fruits, vegetables and fish.

FAO estimates that the available storage capacity for food commodities in developing countries—excluding storage at farms and figures for China—is about 70 million tons, of which 3 million tons are underground. According to FAO, an additional storage capacity of 20 million tons is estimated to be required by 1990, with an additional 25 million tons needed between 1990 and 2000.

Development of additional storage capacity, therefore at as low a cost as possible, is a basic necessity for many developing countries. The main constraint is the availability of funds. For the utilization of subsurface space for food storage, the main consideration would be the comparative cost of constructing similar facilities above ground.

Eighty to eighty-five percent of the total volume of grain remains in the rural areas and is stored and consumed locally. This indicates that small-scale storage using local materials is very important. Grain for trading is usually handled in 50–100-kg bags. Village stores usually have capacities of 50–500 tons and larger town stores usually have capacities of 2000–10 000 tons. Bulk storage of grains is rare in developing countries because it requires a very specific distribution system and is likely to remain so in the near future. To compete with conventional storage, underground storage must be constructed for less than \$U.S. 150 per ton for long-term storage and less than \$U.S.400 per ton for silo storage. Individual projects require detailed feasibility studies.

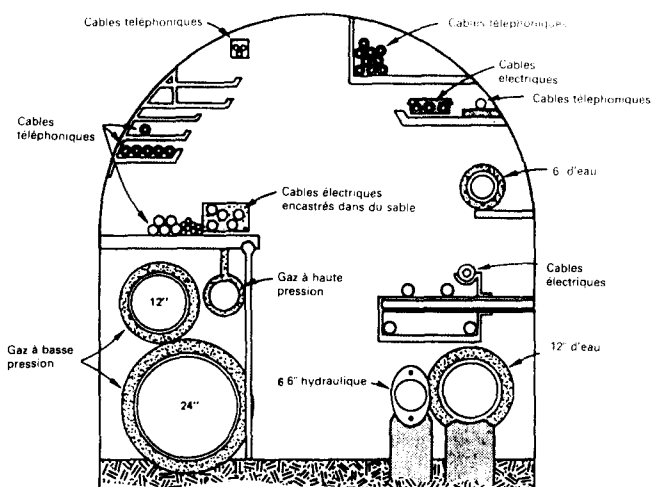


Figure 4. Disposition des réseaux d'équipement dans un tunnel à fonctions multiples à Londres. (van Lohuizen 1983)

principales causes de la faim dans le monde. Il existe un besoin d'installations de stockage peu onéreuses, pouvant contenir des quantités importantes de denrées alimentaires brutes ou préparées, en particulier dans les pays en voie de développement, où la réfrigération apporte un avantage et où l'on peut manquer de systèmes de transport pour transporter rapidement les aliments de leur lieu de production à leur lieu de consommation. Près de 80% des céréales étant stockées là où elles sont produites, des techniques efficaces de stockage prennent une importance toute particulière dans les zones rurales.

Les pertes qui surviennent pendant le stockage sont dues à des facteurs comme la pluie, l'humidité, la chaleur, le gel, les insectes, les moisissures, les bactéries, les rongeurs, les oiseaux, la germination, la rancissure, l'excès de maturation. Des sommes très importantes sont dépensées pour résoudre le problème du stockage dans les fermes et les centres de commerce, ainsi que dans les ports, par les gouvernements nationaux, avec l'aide de la Banque Mondiale et du FAO. Ils se préoccupent du stockage de céréales comme le blé, le riz, le maïs, les légumineuses, et d'autres denrées périssables comme les fruits, les légumes et le poisson.

Selon une estimation du FAO, la capacité de stockage disponible pour les denrées alimentaires dans les pays en voie de développement, à l'exclusion du stockage dans les fermes et des chiffres pour la Chine, est d'environ 70 millions de tonnes (dont 3 millions en souterrain). Selon le FAO, on estime que 20 millions de tonnes supplémentaires de stockage seront nécessaires d'ici 1990, et encore 25 millions de tonnes entre 1990 et 2000.

Le développement d'une capacité supplémentaire de stockage, à un prix aussi bas que possible, est par conséquent une nécessité fondamentale pour de nombreux pays en voie de développement. La contrainte principale est la disponibilité des fonds. Si l'on veut mettre à profit l'espace souterrain pour stocker les aliments, le principal critère doit être le coût comparatif d'installations similaires en surface.

Quatre-vingts à quatre-vingt cinq pour cent du volume total de céréales restent dans les zones rurales et sont consommés localement. Ceci indique que le stockage à petite échelle, utilisant des matériaux locaux, est très important. Les céréales destinées au commerce sont généralement manutentionnées en sacs de 50 à 100 kg. Les entrepôts des villages ont généralement une capacité de 50 à 500 tonnes, ceux des villes plus importantes une capacité de 2000 à 10 000 tonnes. Le stockage en vrac des céréales est rarement utilisé dans les pays en voie de développement car il réclame un système de distribution très spécifique, et il est probable qu'il continuera à le réclamer dans le proche avenir. Pour être compétitif, le coût de construction d'un stockage souterrain doit être inférieur à \$US 150 par tonne pour le stockage à long terme et à US\$ 400 par tonne pour le stockage en silo. Chaque projet individuel doit faire l'objet d'une étude de faisabilité détaillée.

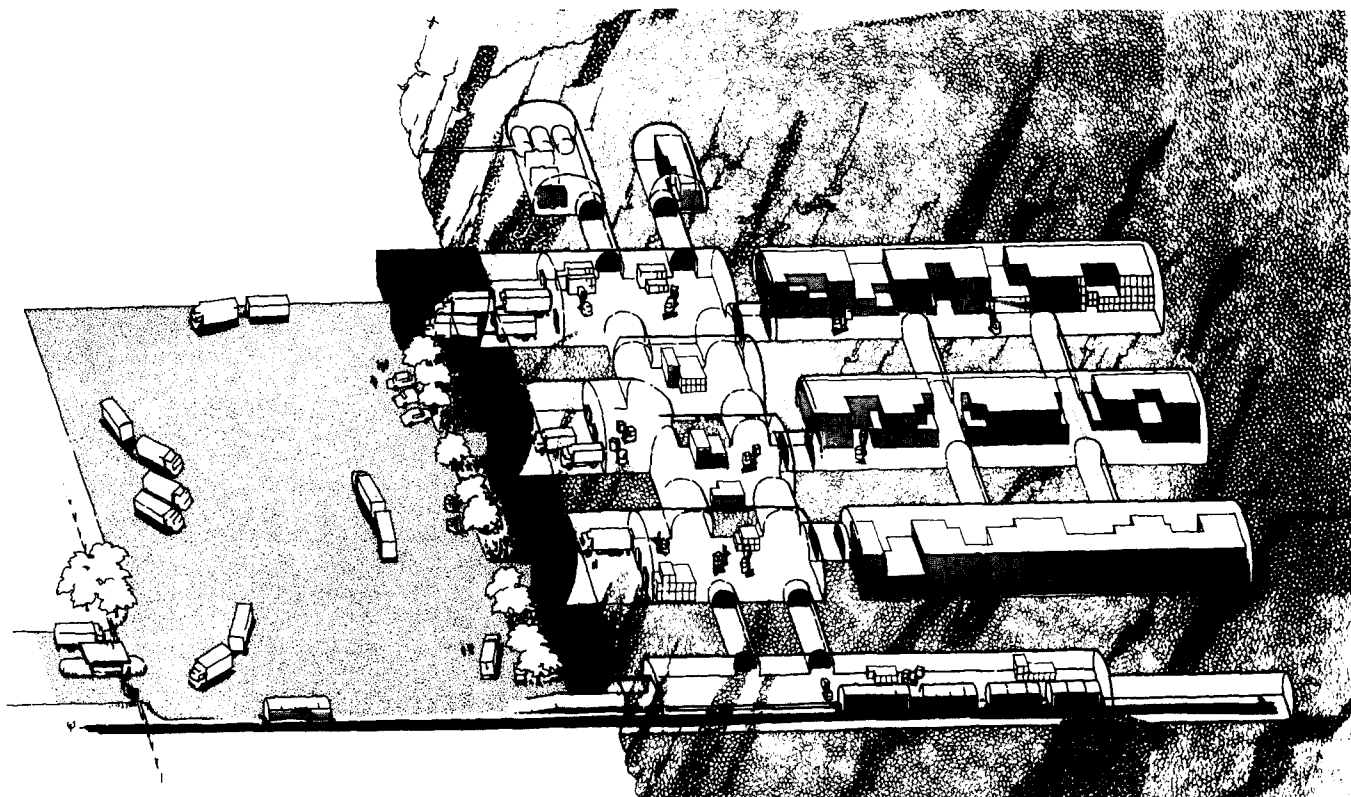


Figure 5. Underground food storage facilities can keep storage losses to a minimum.

Figure 5. Des entrepôts de nourriture sous terre peuvent permettre de réduire les pertes à un minimum.

In China, the underground storage of grain is common practice. Although their technical methods have been described in earlier U.N. reports, it is important to point out that, based on the experience of the Chinese, the cost of their underground storage facilities are cost-competitive with the cost of surface storage facilities. In Egypt, where a large harbor terminal underground grain storage project in vertical rock caverns was recently designed, its cost level was considered to equal that of building a surface storage facility.

The storage of perishable food in refrigerated stores is increasing in developing countries, and costs are often in the range of \$U.S.250–350 per m^3 . Technically, underground storage of perishable and semi-perishable foods has many advantages: constant low temperature, low maintenance costs, long lifetime, utilization of local materials, rodent and insect proofing, and the potential of surviving long power outages. The disadvantages are: potential damaging humidity, handling requirements, access and transport, inventory control, utilization of imported machinery for blasting and excavating, and relatively high cost.

In general, the decision to go underground for food storage in developing countries would depend upon the following factors: (1) comparative cost; (2) availability of a suitable site; and (3) availability of appropriate technology.

Subsurface Storage of Water. The storage of water underground can be presented in two basic categories. The first is the use of traditional methods of recharge into nonconsolidated formations such as porous alluvial material, into consolidated formations such as porous (karstified) limestone and sandstone aquifers, and into crystalline rock formations. (These methods will not be discussed here, because they fall outside the scope of this report.) The second category is the use of new methods of storage in man-made caverns and reservoirs.

There are a number of factors favoring the construction of underground water storage facilities. These include the high degree of safety, constant water temperature, invisibility,

En Chine, le stockage souterrain des céréales est pratique courante. Les techniques utilisées dans ce pays ont été décrites dans des rapports de l'ONU, mais il est important de signaler que, sur la foi des expériences chinoises, le coût des installations de stockage en souterrain est compétitif avec celui des équipements de stockage de surface. En Egypte, où l'on a récemment étudié, pour un port, le projet d'un stockage souterrain de grandes dimensions pour des céréales dans des cavités rocheuses verticales, le niveau de prix a été considéré comme équivalant à celui d'une installation de surface.

Le stockage des denrées périssables dans des entrepôts réfrigérés prend de l'ampleur dans les pays en voie de développement, et les coûts se situent souvent entre \$US 250 et \$US 350 par m^3 . Techniquement, le stockage souterrain des denrées périssables et semi-périssables présente de nombreux avantages: température peu élevée constante, faibles coûts d'entretien, longue durée de vie, mise à profit des matériaux locaux, protection contre les rongeurs et les insectes, possibilité de résister à des pannes prolongées de courant. Les désavantages sont les suivants: possibilité d'endommagement par l'humidité, besoins en manutention, accès et transport, contrôle d'inventaire, utilisation de machines importées pour le creusement et le tir à l'explosif et coût relativement élevé.

D'une façon générale, la décision de choisir le sous-sol pour stocker les aliments dans les pays en voie de développement dépendrait des facteurs suivants: (1) coût comparatif; (2) disponibilité d'un site favorable; (3) disponibilité d'une technologie appropriée.

Le Stockage de l'Eau en Souterrain. Le stockage de l'eau en souterrain peut entrer dans deux catégories. La première utilise les méthodes traditionnelles de rechargement des formations non consolidées comme les matériaux alluviaux poreux, des formations consolidées comme les nappes aquifères des grès et des calcaires (karsifiés) poreux et des formations rocheuses cristallines. (Nous ne parlerons pas ici de ces méthodes qui n'entrent pas dans le cadre de notre rapport.) La seconde catégorie est l'utilisation des nouvelles méthodes de stockage dans des cavités et des réservoirs creusés par l'homme.

Il existe un certain nombre de facteurs en faveur de la construction d'installations souterraines pour le stockage de l'eau. Ce sont un degré élevé de sécurité, une température

protection from evaporation, and low maintenance costs. There are also certain unfavorable factors, such as the seepage of polluted groundwater into high-quality water-bearing formations, or leaks through the rock mass. Apart from these positive and negative factors, the decision to store water underground rests primarily on the comparative cost of the facilities constructed above and below ground.

With regard to the location of underground water storage facilities, however, site selection is the most important factor. Intimate knowledge of regional, as well as local, geological, hydrological, and engineering conditions is a prerequisite to any decision on construction of underground water storage. Such information is necessary not only for the utilization of porous sedimentary rock for storage but also for the development of caverns in hard rock.

Regarding the utilization of the subterranean for unconstrained groundwater storage, whether as a part of sand and gravel aquifers or in fissures of hard rock formations, public health requirements dictate that such storage can only be recommended in sparsely-populated areas that are relatively free from water pollution and contamination (WHO recommendation). Unfortunately, no such conditions prevail in most urban areas because of the high densities and the continued discharge of wastewater and excreta into the subterranean, especially in the majority of the developing countries.

Norway's experience in storing water in rock caverns (see Fig. 6) indicates that, given reasonable geologic conditions, underground water storage caverns are less expensive than the conventional aboveground concrete and steel tanks when the capacity is 8000 m³ or more. Large-scale storage facilities in Brazil have realized a 50–60% savings over surface storage installations.

For countries situated in arid or semi-arid zones, where strong climatic fluctuations are characteristic, underground storage of water offers an attractive alternative, especially for storage of rain water. Instead of resorting to surface storage, which is subject to intensive evaporation and sedimentation, storage in hard rock, which underlies many regions, may be an appropriate alternative. Again, in situations where natural water supplies such as surface water and groundwater vary considerably over the year due to climatic conditions, water storage in natural fractures of rock can be adopted in hard rock areas with suitable tectonic and topographic conditions.

The experience gained from several countries leads to the conclusion that practical techniques are available for the storage of water in different geologic formations as well as in excavated caverns in hard rock. Some of these techniques are currently in use in developing countries while others, particularly excavation in hard rock, are not prevalent. The developed countries can make a contribution by assisting in the transfer of technology as well as in the collection, collation and interpretation of geological data for surface water storage.

Using the Subsurface for Energy Efficiency and Cost Savings. At present, subsurface space is frequently used for a number of energy applications, including oil and gas storage facilities, hydropower plants, thermal storage, and nuclear waste disposal facilities.

While the rate of production of oil and gas often remains quite constant, the demand for finished petroleum products varies widely from season to season in most countries. This creates a need to "stockpile" petroleum reserves in planning for distribution throughout the energy year. Several new methods of underground storage have been developed for this purpose

constante de l'eau, l'invisibilité, la protection contre l'évaporation et de faibles coûts d'entretien. Il existe aussi un certain nombre de facteurs défavorables, comme les infiltrations d'une nappe phréatique polluée dans des formations aquifères de grande qualité ou des fuites à travers la masse rocheuse. Mis à part ces facteurs positifs et négatifs, la décision de stocker l'eau en souterrain réside en premier lieu dans le coût comparatif des installations à construire au niveau du sol ou en-dessous.

Cependant, en ce qui concerne l'implantation des installations souterraines, le choix du site est le facteur le plus important. La condition préliminaire à toute décision de construire un stockage souterrain est la connaissance approfondie des conditions aussi bien régionales que locales, géologiques, hydrologiques et de génie civil. Ces informations sont nécessaires, non seulement pour utiliser les roches sédimentaires poreuses en vue du stockage, mais aussi pour le développement des cavernes en roche dure.

En ce qui concerne l'utilisation du sous-sol pour stocker l'eau sans contrainte, soit dans les nappes aquifères de sables ou graviers ou dans des fissures de formations rocheuses dures, les conditions d'hygiène publique imposent de ne recommander un tel stockage que dans des zones à faible densité de population, relativement libres de toute pollution et contamination de l'eau (recommandation OMS). Malheureusement, de telles conditions ne prévalent pas dans la plupart des zones urbaines en raison des densités élevées de population et du rejet permanent des eaux usées et des excréments dans le sous-sol, en particulier dans la majorité des pays en voie de développement.

L'expérience de la Norvège en matière de stockage de l'eau dans des cavernes rocheuses (Fig. 6) montre que, dans des conditions géologiques raisonnables, les cavernes utilisées pour le stockage de l'eau sont moins chères que les réservoirs traditionnels de surface en béton et acier lorsque la capacité est de 8000 m³ ou plus. Les installations de stockage à grande échelle du Brésil ont permis une économie de 50 à 60% par rapport aux installations de surface.

Pour les pays situés en zone aride ou semi-aride, qui se caractérisent par de fortes fluctuations climatiques, le stockage de l'eau en souterrain offre une alternative intéressante, en particulier pour le stockage de l'eau de pluie. Au lieu de recourir au stockage de surface, soumis à une évaporation intensive et à la sédimentation, on peut choisir comme alternative appropriée le stockage dans la roche dure qui se trouve dans de nombreuses régions. Une fois encore, lorsque les approvisionnements en eau naturelle, comme l'eau de surface et l'eau de la nappe phréatique, varient énormément dans le courant de l'année en raison des conditions climatiques, il est possible d'adopter un stockage de l'eau dans les fractures naturelles de la roche, dans les régions de roche dure présentant des conditions tectoniques et topographiques adéquates.

Les expériences recueillies dans plusieurs pays mènent à la conclusion que des techniques pratiques sont disponibles pour stocker l'eau dans différentes formations géologiques ainsi que dans des cavernes creusées dans la roche dure. Certaines de ces techniques sont couramment utilisées dans les pays en voie de développement, alors que d'autres, en particulier le creusement en roche dure, ne sont pas prédominantes. Les pays développés peuvent apporter leur contribution en aidant au transfert de la technologie et à recueillir, rassembler et interpréter les données géologiques en vue du stockage des eaux de surface.

Utilisation du Sous-sol en Vue du Rendement de l'Energie et des Economies de Coût. Actuellement, on utilise fréquemment le sous-sol pour un certain nombre d'applications dans le domaine de l'énergie, par exemple le stockage du gaz et du pétrole, les centrales hydro-électriques, le stockage thermique et la destruction des déchets nucléaires.

Alors que le taux de production du gaz et du pétrole reste souvent très constant, la demande en produits pétroliers finis varie considérablement d'une saison à l'autre dans la plupart des pays. Ceci crée le besoin "d'empiler" des réserves de pétrole en vue d'une distribution tout au long de l'année énergétique. Plusieurs méthodes nouvelles de stockage en souterrain ont été



Figure 6. Example of an unline cavern for water storage at Steinan, Trondheim, Norway, viewed from the dam wall.

Figure 6. Exemple d'une caverne sans revêtement pour entreposer de l'eau à Steinan, Trondheim, Norvège; vue du barrage.

over the last 30 years, and these methods have, in many instances, proven to be very cost-effective for bulk storage when compared to storage in surface tanks (see Fig. 7). Considerable progress has been made in the field of oil, gas and energy storage underground in the industrialized countries.

Most developing countries are importers of oil and have low per capita consumption of energy. In these countries, cost plays an important role in the decision to store energy underground. The biggest problem, however, is purchasing oil. The storage facility, in itself, represents only 10–15% of the total cost; the cost of the oil makes up the remaining percentages. Underground oil storage should be investigated in cases where appropriate hard rock is available and the quantity of oil to be stored is sufficiently large.

With regard to the location of underground hydroelectric power plants and nuclear reactors, much greater safety can be assured, including the reduction of radioactive exposure for the public as case of accidents.

A new concept for underground space use is the location of hydroelectric pumped storage below ground. This can provide a larger head of water—up to 1500 m, compared with the 100–500 m of traditional pumped storage. Since developing countries have almost 50% of the world's hydroelectric potential, the location of hydroelectric power plants underground offers an attractive proposition, particularly where geologic conditions are favorable and the construction costs comparable (see Fig. 8). Hydroprojects with major underground portions under development are reported in Turkey, New Guinea, China, Indonesia, India, Sri Lanka, Burundi, Venezuela, Kenya, Tanzania, Lesotho, Ethiopia, Columbia, Brazil, Equador and Peru, among others. Some of these projects are for combined hydro and irrigation purposes.

Another area of increasingly international focus is radioac-

misés au point dans ce but au cours des 30 dernières années et se sont révélées, dans de nombreux cas, très rentables pour le stockage en vrac, par comparaison avec le stockage en surface dans des citernes (Fig. 7). Des progrès considérables ont été faits dans le domaine du stockage souterrain du pétrole, du gaz et de l'énergie dans les pays industrialisés.

La plupart des pays en voie de développement sont importateurs de pétrole et ont une faible consommation d'énergie par habitant. Dans ces pays, le coût joue un rôle important dans la décision de stocker l'énergie en souterrain. Mais le plus grand problème reste l'achat du pétrole. L'équipement de stockage, en lui-même, ne représente que 10 à 15% du coût total; le coût du pétrole représente le reste du pourcentage. Le stockage souterrain du pétrole devrait être étudié dans les cas où l'on dispose d'une roche dure appropriée et où la quantité de pétrole à stocker est suffisamment importante.

En ce qui concerne l'implantation des centrales hydro-électriques et des réacteurs nucléaires souterrains, il s'agit d'assurer une sécurité bien plus grande, incluant une exposition réduite du public à la radio-activité en cas d'accident.

Une conception nouvelle consiste à implanter en souterrain la réserve de pompage de la centrale. Ceci peut donner une hauteur d'eau plus importante, jusqu'à 1500 m au lieu des 100 à 500 m des réserves de pompes traditionnelles. Comme les pays en voie de développement possèdent près de 50% du potentiel hydroélectrique mondial, l'implantation des centrales hydro-électriques en souterrain offre une proposition intéressante, particulièrement lorsque les conditions géologiques sont favorables et les coûts de construction comparables (Fig. 8). Des projets comportant des parties souterraines importantes sont actuellement mis au point en Turquie, en Nouvelle-Guinée, en Chine, en Indonésie, en Inde, au Sri Lanka, au Burundi, au Vénézuéla, au Kenya, en Tanzanie, au Lesotho, en Ethiopie, en Colombie, au Brésil, en Equateur et au Pérou, entre autres. Certains de ces projets sont mixtes: hydro-électricité et irrigation.

Un autre domaine d'intérêt croissant pour la communauté

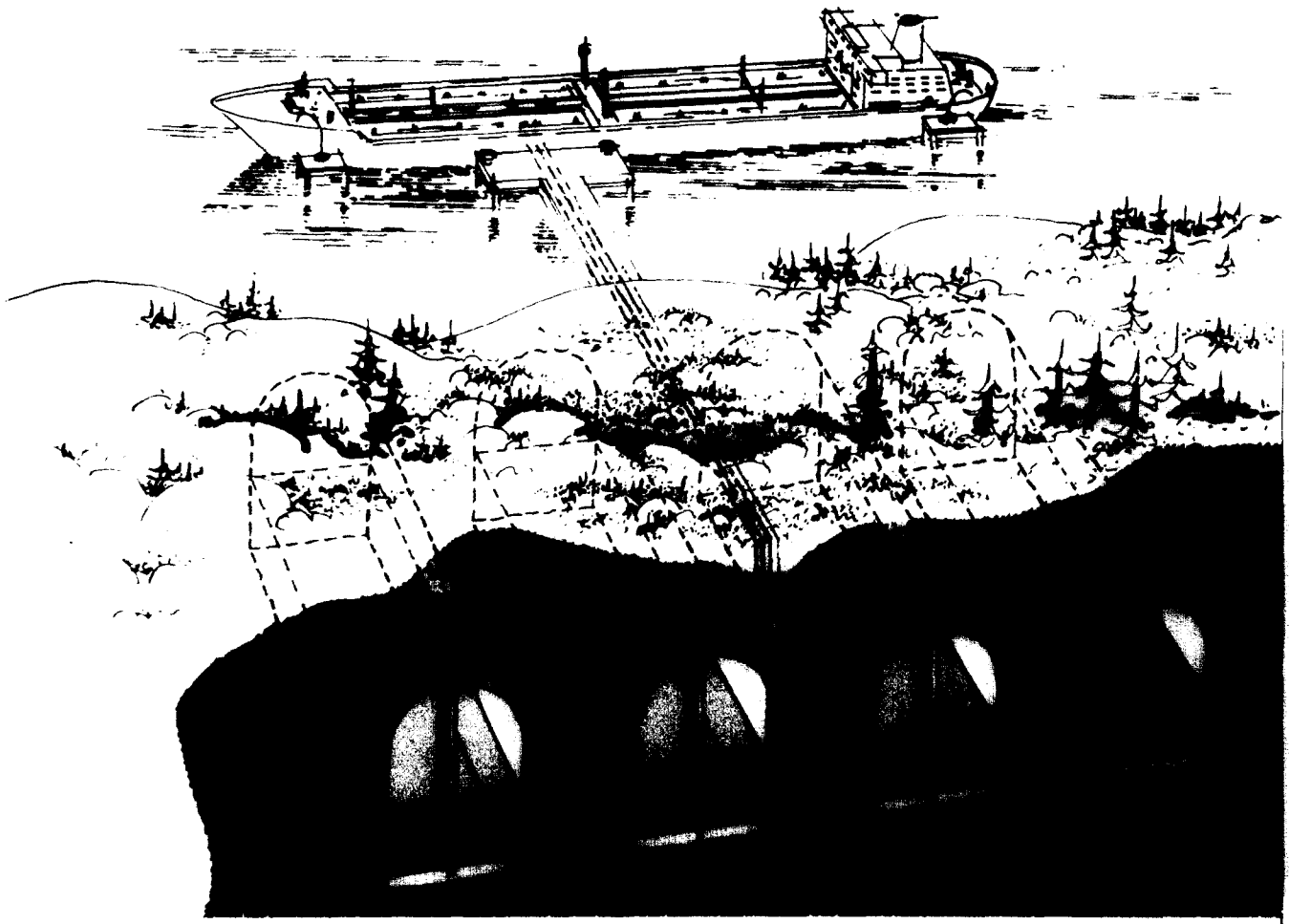


Figure 7. Basic principle for a system of storage caverns.

Figure 7. Principe de base d'un système de cavernes entrepôt.

tive waste disposal. With a growing number of developing countries acquiring nuclear technology in the form of nuclear electrical power reactors, this is no longer a problem confined to industrialized countries. In addition to the 22 industrialized countries that have nuclear reactors on-line or under construction, the following developing countries currently have nuclear reactors on-line or under construction: Argentina, Brazil, China, Cuba, India, Republic of Korea, Mexico, Pakistan and the Philippines.

Coordination of Planning, Financial and Technological Aspects of Subsurface Use. From the subsurface applications discussed above, it is evident that subsurface planning is a common priority item that must be addressed separately. The planning of subsurface space use should be regarded as an extension of the concept of physical planning to comprise both surface and subsurface utilization. Although based on the same general conditions that govern planning of surface use, planning of the subsurface displays several different additional features. These can be summarized under three headings:

- knowledge of geology and its characteristics;
- a conception of the potential underground installation and its construction; and
- conditions for the use of subsurface space for human, social and technical activities.

A necessary condition for subsurface development is the existence of a general awareness among planners, developers, and policy-makers of the availability of the subsurface resource. They must be familiarized with the potential uses of the subsurface in their areas and with technology that is competitive with surface techniques.

internationale est l'élimination des déchets radio-actifs. Avec l'augmentation du nombre de pays en voie de développement acquérant la technologie nucléaire sous la forme de réacteurs, ceci n'est plus un problème uniquement réservé aux pays industrialisés. En plus des 22 pays industrialisés qui ont des réacteurs nucléaires en service ou en construction, les pays en voie de développement suivants ont actuellement eux aussi des réacteurs en service ou en construction: Argentine, Brésil, Chine, Cuba, Inde, République de Corée, Mexique, Pakistan et les Philippines.

Coordination des Aspects Conceptuels Financiers et Technologiques de l'Utilisation du Sous-sol. Les applications du sous-sol discutées jusqu'ici montrent bien que l'aménagement du sous-sol est un point d'intérêt commun, qui doit être abordé de façon indépendante. L'aménagement de l'espace souterrain devrait être considéré comme une extension du concept de l'aménagement physique de façon à cerner tout aussi bien l'utilisation de la surface que l'utilisation du sous-sol. Bien que basé sur les mêmes conditions générales qui gouvernent l'aménagement de la surface, l'aménagement du sous-sol présente quelques caractéristiques supplémentaires différentes. Elles peuvent être résumées sous les trois dénominations suivantes:

- connaissance de la géologie et de ses caractéristiques
- conception de l'installation souterraine potentielle et de sa construction
- conditions d'utilisation de l'espace souterrain pour les activités humaines, sociales et techniques.

Une condition nécessaire pour le développement du sous-sol est qu'il existe, parmi les responsables des projets, du développement et les autorités politiques, la conscience générale qu'une ressource souterraine est disponible. Ils doivent être familiarisés avec les utilisations potentielles du sous-sol

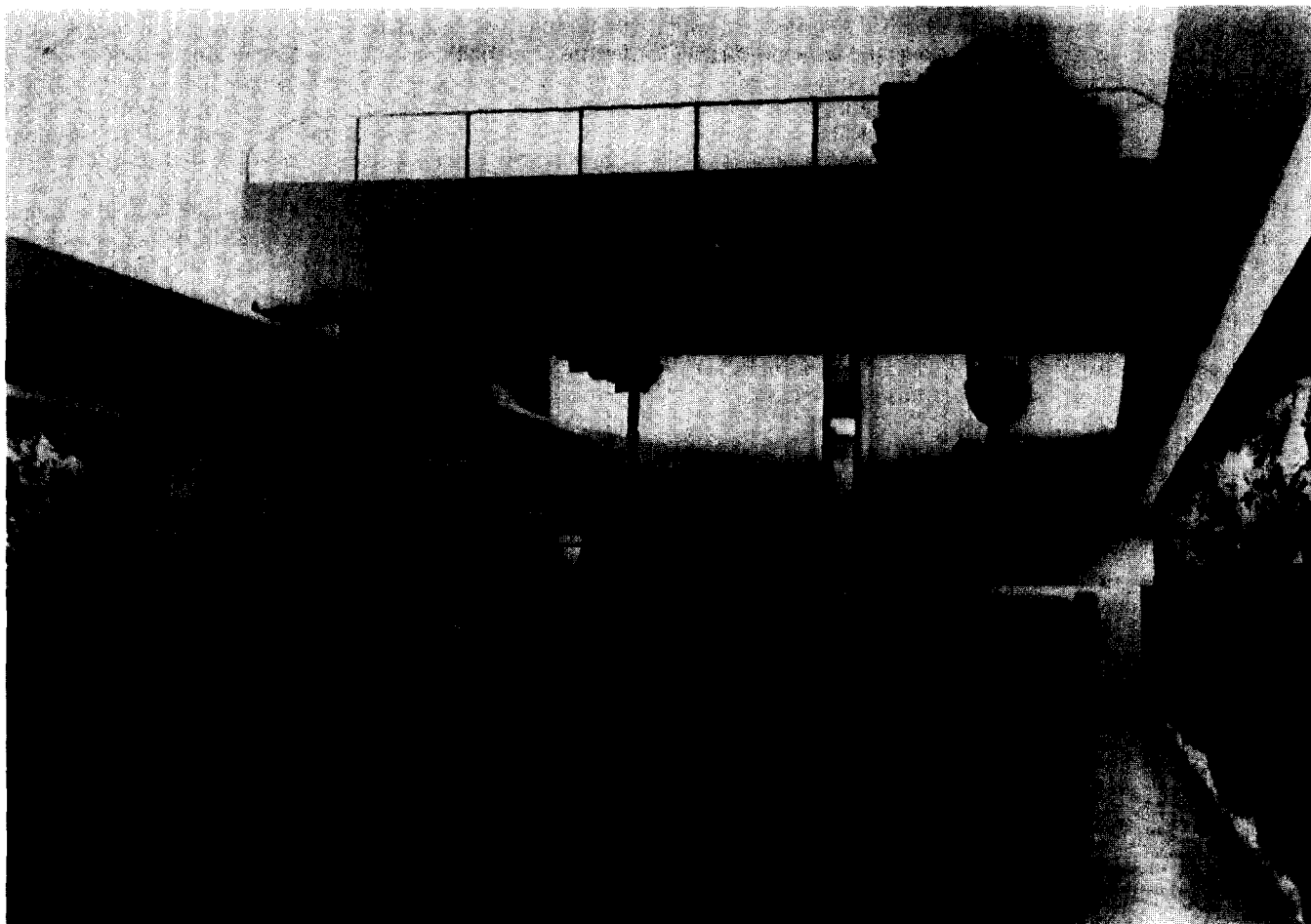


Figure 8. Duge hydropower station in Norway has an installed capacity of 2×50 MW.

Figure 8. La centrale hydroélectrique de Duge en Norvège a une capacité installée de 2×50 MW.

It is quite apparent that it is a lack of knowledge of subsurface potential, rather than a reluctance to develop the resource, that presents an obstacle to further subsurface use. The implementation of demonstration projects in developing countries, based on local conditions and using appropriate technology, will be of great value in this respect; education is also needed to promote the use of subsurface space.

The objective of preliminary planning is to indicate a preliminary pattern of land use for various needs and purposes. The planning process includes presentation of relevant basic data (current land use, geology, technical supply, etc.), indication of planning goals, reasons for choosing a certain alternative, and the social and environmental effects of proposed land use. An important part of the procedure is to coordinate the interest of the different groups representing planning—specialized government departments, financial organizations, social agencies and energy planners. Specific problems of feasibility and economics must be addressed.

Overall planning, which covers whole municipal areas, will identify unique resources and general features with regard to subsurface space. Siting of specified subsurface uses and installations should be dealt with and recommendations on future subsurface use and construction should be given.

Detailed planning is preparatory to implementation in the form of construction and land use. In this phase of the development, from idea to reality, the complete integration of basic conditions, the demand expressed, and subsurface and surface

dans leurs propres domaines et avec la technologie qui peut entrer en compétition avec les techniques de surface.

Il est tout à fait évident qu'il s'agit davantage d'un manque de connaissance du potentiel offert par le sous-sol que d'une répugnance à développer cette ressource, et que c'est ce manque de connaissance qui constitue un obstacle à une plus vaste utilisation. L'implantation d'ouvrages de démonstration dans les pays en voie de développement, basés sur les conditions locales et utilisant une technologie appropriée, sera très précieuse de ce point de vue; l'éducation est elle aussi nécessaire pour promouvoir l'utilisation de l'espace souterrain.

Un aménagement préliminaire a pour but de donner un premier schéma de l'utilisation du terrain, pour différents besoins et objectifs. Le processus d'aménagement inclut la présentation des données de base correspondantes (utilisation actuelle du terrain, géologie, fournitures techniques, etc. . .), indication des buts de l'aménagement, raisons du choix d'une certaine alternative et effets sociaux et sur l'environnement de l'utilisation proposée. Une partie importante du processus consiste à coordonner les intérêts des différents groupes représentant les services gouvernementaux spécialisés dans l'aménagement, les organisations financières, les institutions sociales et les responsables de l'énergie. Il faut traiter les problèmes spécifiques de faisabilité et d'économie.

L'aménagement d'ensemble, qui couvre tous les domaines municipaux, devra identifier les ressources uniques et les caractéristiques générales pour ce qui concerne l'espace souterrain. La localisation des installations et des usages souterrains spécifiés doit être traitée, et il faut produire des recommandations quant aux futures utilisations et construction en souterrain.

L'aménagement détaillé prépare l'implantation sous forme de construction et utilisation du terrain. Dans cette phase du développement, de l'idée à la réalité, il faut effectuer l'intégration complète des conditions de base, la demande exprimée et

installations should be carried out. Detailed knowledge concerning the conditions for planning is essential if the necessary integration into overall planning is to be achieved. In particular, detailed planning aims at coordinating both specific installations and the functional and physical relationships between what is on and under the surface (see Fig. 9).

The *geologic conditions* of a given locale determine its potential for underground space development, so the first step in planning will be to identify the geologic strata that underlie the area. Besides disclosing where conditions are suitable for underground space development, geologic data will reveal where potential mineral deposits or building materials such as sand and gravel are likely to occur. Excavation conditions will be predictable, to a great extent, from this basic information.

Whatever the technology, advantage must be taken of the current ability to undertake high-quality investigations of the ground, and care should be taken to exercise the highest standards in the interpretation of geological and geotechnical data. The costliest aspects of tunneling arise from unexpected hazards, usually avoidable by prior high-quality studies, investigations and assessments. Successful engineering of tunnels requires an ability to combine a thorough understanding of theory and practice.

Appropriate technology is not second-rate engineering, but engineering that endeavors to satisfy social as well as economic goals. At present, economics tends imperfectly to represent the real costs of labor and the costs associated with introducing new techniques of high technology into a developing country. Because labor-intensive tunnel construction methods may be slower than highly mechanized methods, the initial planning stage should allow sufficient time to consider labor-intensive options without delaying a project overall.

In the past, financing either has concentrated predominantly on the economic rate of return from projects or has been concerned mainly with social and environmental impacts, with

les installations de surface et en souterrain. Une connaissance précise des conditions d'aménagement est essentielle si l'on veut mener à bien l'intégration nécessaire dans l'aménagement d'ensemble. En particulier, l'aménagement détaillé a pour but de coordonner les installations spécifiques et les relations fonctionnelles et physiques entre ce qui se trouve sur la surface et ce qui se trouve au-dessous (Fig. 9).

Les *conditions géologiques* d'un emplacement donné déterminent son potentiel pour un développement de l'espace souterrain, la première étape de l'aménagement consiste donc à identifier les couches géologiques sous-jacentes. Les données géologiques précisent si les conditions sont favorables à la mise en valeur du sous-sol, elles révèlent aussi où se trouvent des dépôts miniers potentiels ou des matériaux de construction comme les sables et les graviers. C'est à partir de ces informations de base que l'on peut, dans une large mesure, prévoir les conditions de creusement.

Quelle que soit la technologie, il faudra tirer profit des possibilités actuelles d'entreprendre des études de grande qualité du sol et il faudra veiller à mettre en pratique les niveaux les plus élevés d'interprétation des données géologiques et géotechniques; les éléments les plus onéreux, dans les travaux en souterrain, proviennent des risques non prévus que l'on aurait généralement pu éviter en commençant par des études, des recherches et des évaluations de grande qualité. La réussite d'un tunnel exige une capacité à combiner la pratique à une connaissance approfondie de la théorie.

Une *technologie appropriée* n'est pas une ingénierie de second ordre, mais une ingénierie qui s'efforce de satisfaire à des objectifs sociaux aussi bien qu'économiques. Actuellement, les études économiques tendent imparfaitement à représenter les coûts réels de main-d'oeuvre et les coûts liés à l'introduction, dans un pays en voie de développement, des nouvelles techniques relevant d'une technologie avancée. Les méthodes de construction de tunnels demandant une main-d'oeuvre importante peuvent être plus lentes que des méthodes très mécanisées, et le stade initial de planification doit offrir un délai suffisant pour examiner les options demandant une forte main-d'oeuvre sans retarder le projet dans son ensemble.

Autrefois, le financement se concentrait surtout sur le taux de rapport des projets ou se préoccupait principalement des impacts sur la société et l'environnement, cette différence

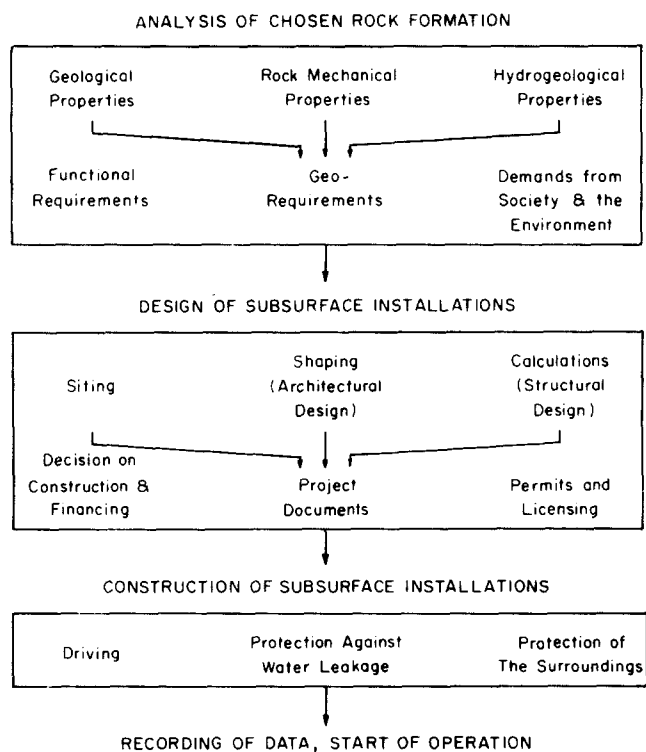


Figure 9. Flow chart analysis of planning for a specific underground project. (Jansson 1983).

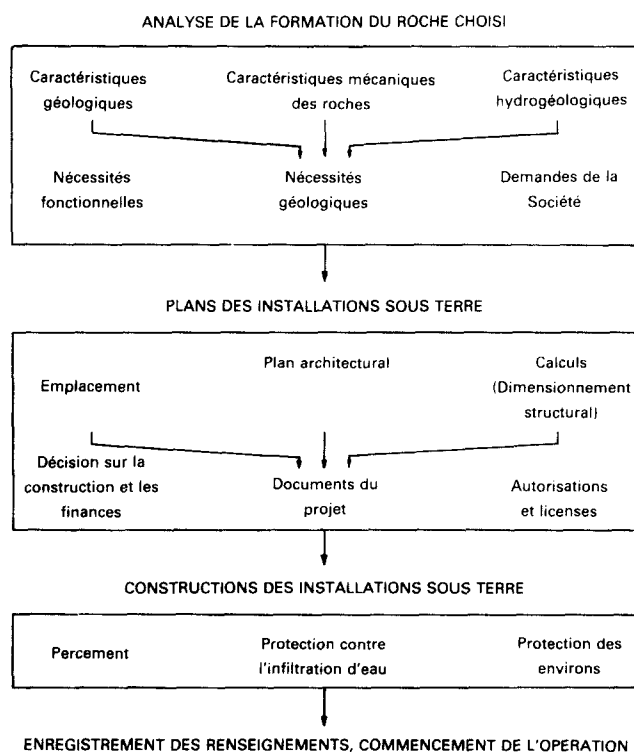


Figure 9. Organigramme pour le planning d'un projet sous terre particulier (Jansson 1983).

this difference largely representing the difference between finance for commercial and for infrastructural projects. The two approaches have been converging on the use of *cost-benefit analysis*, in which the costs and benefits comprise commercial aspects and broader economic aspects, together with social and environmental factors, only some of which are expressible in economic terms. Generally accepted methods for performing cost-benefit appraisals must be developed.

Subsurface Space Activities in Progress and Under Development

For several thousand years, humankind has constructed and used underground installations for a variety of purposes. During the last few decades, however, this activity has greatly increased, due in large part to the accelerated rate of urbanization world-wide. There are many underground installations in operation, under construction, or under development, and there is a wealth of information and experience to be gained from those involved in these numerous projects. However, documentation of these projects is, to a great extent, site specific and must be transformed into a useful general format that can be generally understood by engineers, planners, legislators and decision-makers not involved in a specific project.

Today, due to lack of communication, much of the documentation of these projects is stored on shelves or in archives and is not available to those who need the data. Some of the developmental work in progress in the field of subsurface space use has, as its objective, the dissemination of the practical knowledge that has been gained. This documentation process is the key to opening the door to wider subsurface space use for the benefit of mankind. Unfortunately, very few organizations are attempting to address and resolve this problem.

The International Tunnelling Association (ITA) is one such organization. ITA has defined a number of topics of particular interest and has formed a number of working groups, which have as their task the collection, organization, and dissemination of the knowledge and experience available regarding a specified topic. Each working group includes representative from several countries so that differences in various national habits and traditions can be noted.

General Topics

A number of questions related to subsurface space use are of a general nature and cover all applications. These topics can briefly be categorized as planning, technical, and economic issues.

Subsurface Planning. A prerequisite for useful subsurface space development is a reliable planning procedure that incorporates the different issues pertaining to underground construction and subsurface space use, such as technology, economics, legal issues and functional demands. Although integrated surface and subsurface planning is not yet routine even in developed countries, the benefits to be derived from such integrated planning in the future are judged to be of considerable importance for every country.

The ITA Working Group on Subsurface Planning is a professional group considering the benefits of integrated surface and subsurface planning. Since the mid-1970s, this group, consisting of representatives from 13 countries, has frequently met to present papers and data on subsurface space installations in those countries and to elicit discussion on planning aspects, advantages and disadvantages, and the need for revised planning procedures, with special emphasis given to the integration of surface and subsurface planning.

représentant largement la différence entre les projets commerciaux et les projets d'infrastructure. Ces deux approches ont convergé pour aboutir à l'*analyse coût-bénéfice*, les coûts et les bénéfices comportant des aspects commerciaux et des aspects économiques plus larges, ainsi que des facteurs sociaux et d'environnement, dont quelques-uns seulement peuvent être exprimés en termes économiques. Il est nécessaire de mettre au point des méthodes d'évaluation coûts-bénéfices qui soient universellement acceptées.

Activités en Cours ou en Développement dans l'Espace Souterrain

Pendant plusieurs milliers d'années, l'homme a construit et utilisé des installations souterraines pour un certain nombre d'objectifs. Au cours des quelques dernières décennies, cependant, cette activité a subi une forte augmentation due, pour une large part, au taux accéléré d'urbanisation dans le monde entier. Il existe un très grand nombre d'installations souterraines en service, en construction ou en développement et elles peuvent donner lieu à une abondance d'informations et d'expériences. Mais la documentation qui se rapporte à ces ouvrages est très largement spécifique du site et doit être transposée à un modèle plus général qui puisse être universellement compris par les maîtres d'œuvre, les projeteurs, les législateurs et les décideurs qui ne se trouvent pas impliqués dans un projet spécifique.

Aujourd'hui, à cause du manque de communication, une grande partie de la documentation concernant ces ouvrages est stockée sur des rayons ou dans des archives et ne se trouve pas à la disposition de ceux qui en ont besoin. Certains de ces travaux faits dans le domaine de l'utilisation de l'espace souterrain ont pour objectif de diffuser les connaissances pratiques acquises. Ce processus de documentation est la clé qui ouvre la porte d'une utilisation plus large de l'espace souterrain pour le bien de l'humanité. Malheureusement, les organisations qui tentent de résoudre ce problème sont en très petit nombre.

L'Association Internationale des Travaux en Souterrain (AITES) est l'une de ces organisations. L'AITES a défini un certain nombre de thèmes qui présentent un intérêt particulier et constitué un certain nombre de groupes de travail qui ont pour tâche de recueillir, d'organiser et de diffuser les connaissances et les expériences qui existent dans ces thèmes spécifiques. Chaque groupe de travail se compose de représentants venant de différents pays, de sorte que l'on peut noter les différences entre les diverses habitudes et traditions nationales.

Thèmes Généraux

Un certain nombre de questions relatives à l'utilisation de l'espace souterrain sont d'ordre général et recouvrent toutes les applications. Ces thèmes peuvent être brièvement classés en questions d'aménagement, de technique et d'économie.

Aménagement du Sous-sol. Une condition préalable au développement utile de l'espace souterrain est un processus fiable d'aménagement qui tient compte des différentes questions se rapportant à la construction en souterrain et à l'utilisation du sous-sol, comme la technologie, l'économie, les questions juridiques et les besoins fonctionnels. Un aménagement surface et sous-sol intégré n'est pas encore devenu une routine, même dans les pays développés, mais on considère que les bénéfices qui découlent d'un aménagement intégré de cette sorte seront considérables pour tout pays dans l'avenir.

Le groupe de travail de l'AITES sur l'Urbanisme Souterrain réunit des experts qui examinent les bénéfices que l'on peut tirer d'un aménagement intégré surface et sous-sol. Ce groupe, que se compose des représentants de 13 pays, a eu, depuis le milieu des années 70, de nombreuses réunions au cours desquelles ont été présentées des communications et des données sur les installations souterraines dans ces pays et où l'on a discuté des aspects de l'aménagement, des avantages et inconvénients et de la nécessité d'une révision des processus d'aménagement en mettant tout particulièrement l'accent sur

From 1981 through 1984, the ITA Working Group on Subsurface Planning has focused on the energy-savings potential possible through subsurface space use. The group is presently examining the nontechnical aspects of subsurface space development, particularly the legal and economic aspects. Its success in these areas makes possible the sharing of information among member nations and the development of acceptable criteria for planners to use in their normal planning procedures.

Technological Aspects of Subsurface Space Use. The technology of subsurface construction is complex and varied. It involves the use of techniques ranging from the simple and traditional to the highly sophisticated and innovative. "Appropriate technology" is, thus, a key phrase that demands qualified international cooperation and the efficient coordination of the dissemination of information.

Some major considerations in choosing the proper construction methods are the state of the local technological development, the experience of the local contractor, the availability of necessary equipment, the nature of the work force and social conditions, and national policy pertaining to imported technologies. These issues, of course, imply that there is great need for communication within a country as well as between interested organizations in different countries in order to evaluate the appropriate technology for a particular country and situation.

The ITA has also defined a number of topics pertaining to the technical aspects of subsurface installations and has created several working groups to examine them. Two of these groups, the Working Group on the Design of Tunnels and the Working Group on Seismic Effects on Underground Structures, are developing recommendations on the appropriate technical responses for these two topics.

Another area of importance is the question of repair and maintenance of existing tunnels. While the significance of these topics is obvious (retrofitting existing—and, perhaps, decaying—sewer and water tunnels and designing new tunnels lessen the cost of repair and maintenance), these issues have not generated strong interest on the part of engineers or their clients. While repair and maintenance may lack the glamour and challenge of major construction work, it is an undeniable necessity. As a result, the ITA established the Working Group on Repair and Maintenance of Underground Structures. In two years, this group intends to produce recommendations and state-of-the-art reports to assist engineers faced with problems associated with the deterioration of underground structures. These recommendations may also lead to improvement of underground facility design. Knowledge of repair and maintenance, which is necessary for any underground facility, is currently in high demand in industrialized nations as well as in developing nations. The objective of the ITA's working group is to encourage large-scale participation of ITA member nations in preparing for the future development of this area.

Economic Issues. When considering subsurface facilities, it is possible to distinguish between two general types of installations—compact and (mostly) commercial facilities such as oil or food storage facilities, and spread-out public service installations such as public transportation and public utility facilities. Facilities such as those for the underground storage of oil or food can be well defined in a cost-benefit perspective when construction and operation costs are considered. A considerable amount of data is available and direct cost comparisons between surface and underground installations can be made.

l'intégration du sous-sol et de la surface dans les études d'aménagement.

De 1981 à 1984, le groupe de travail AITES sur l'Urbanisme Souterrain s'est concentré sur les possibilités d'économies d'énergie rendues possibles par l'utilisation du sous-sol. Le groupe examine actuellement les aspects non techniques du développement de l'espace souterrain, en particulier les aspects juridiques et économiques. Son succès dans ce domaine rend possible le partage des informations parmi les nations membres et l'élaboration de critères acceptables susceptibles d'être utilisés par les projeteurs dans leurs processus normaux d'aménagement.

Aspects Technologiques de l'Utilisation du Sous-sol. La technologie des travaux en souterrain est complexe et variée. Elle implique l'usage de techniques qui vont de la technique simple et traditionnelle à la technique hautement sophistiquée et innovatrice. La "technologie appropriée" est une phrase-clé qui exige une coopération internationale qualifiée et la coordination efficace de la diffusion de l'information.

On peut citer parmi les considérations majeures qui interviennent dans le choix des méthodes de construction appropriées, le niveau du développement technologique local, l'expérience des maîtres d'œuvre locaux, la disponibilité des équipements nécessaires, la nature de la main-d'œuvre et les conditions sociales, ainsi que la politique nationale en ce qui concerne l'importation des technologies. Ces considérations impliquent naturellement qu'il existe un besoin important en communications à l'intérieur d'un pays ainsi qu'entre les organisations intéressées dans différents pays, afin que l'on puisse évaluer quelle est la technologie qui convient pour un pays et une situation donnés.

L'AITES a également défini un certain nombre de thèmes se rapportant aux aspects techniques des installations souterraines et créé plusieurs groupes de travail pour les examiner. Deux de ces groupes, Dimensionnement des Tunnels et Effets Sismiques sur les Ouvrages Souterrains, mettent au point des recommandations sur les réponses techniques appropriées que l'on peut apporter dans ces deux domaines.

Une autre question importante est celle de la réparation et de l'entretien des tunnels existants. Bien que leur importance soit évidente (rétrograder des tunnels pour égouts ou d'approvisionnement en eau existants et peut-être en train de se délabrer, et projeter de nouveaux tunnels diminue les coûts de réparation et d'entretien), ce ne sont pas des thèmes qui ont soulevé un grand intérêt chez les maîtres d'œuvre ou leurs commanditaires. Il leur manque l'attrait et le défi que représentent de grands travaux de construction, bien que leur nécessité soit indéniable. L'AITES a par conséquent créé le groupe de travail Entretien et Réparation des Ouvrages Souterrains. Ce groupe, après deux ans de fonctionnement, projette d'établir des recommandations et des rapports sur la situation actuelle, afin d'aider les maîtres d'œuvre confrontés aux problèmes liés à la détérioration des ouvrages souterrains. Ces recommandations peuvent aussi conduire à l'amélioration du dimensionnement des ouvrages souterrains. Les connaissances en matière d'entretien, et de réparation sont nécessaires pour quelque ouvrage souterrain que ce soit, et la demande en est actuellement élevée, aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en voie de développement. Le groupe de travail de l'AITES a pour but d'encourager la participation, sur une grande échelle, des nations membres de l'AITES dans la préparation des développements futurs dans ce domaine.

Questions Economiques. Lorsque l'on considère les ouvrages souterrains, on peut distinguer deux types d'installation—les installations compactes et (la plupart du temps) commerciales comme les équipements de stockage du pétrole et de denrées alimentaires, et les installations ouvertes au public, comme celles destinées aux transports publics et aux services publics. Des ouvrages tels que ceux prévus pour stocker le pétrole ou les aliments peuvent très bien être définis dans une perspective coût-bénéfice si l'on prend les coûts de construction et de fonctionnement. On dispose d'un nombre considérable de données et des comparaisons de coût peuvent être faites

With regard to infrastructure facilities, however, a very complex economic situation exists. Common practice in public works planning is to select one alternative from among many on the basis of financial feasibility. The development of subsurface space often is dismissed at this stage because of the lack of comprehensive studies documenting the costs and benefits of underground installations. This, in turn, is due to the fact that a large number of unknown, site-specific factors in subsurface construction make the compilation of required data more difficult than for surface construction.

Promising attempts are being made to provide accurate cost-benefit information for planning considerations. It is clear that many benefits available through subsurface installation cannot easily be quantified, and that it remains difficult to assign a value to them.

Planners and policymakers should be made aware that, despite the large capital outlay that infrastructure projects, in general, and subsurface projects, in particular, often require, the benefits that can be derived have many positive and wide-ranging social and economic implications that will extend far into the future. A common language or standard analysis of these factors remains to be developed. One such step toward this commonality was taken two years ago, when the ITA began a working group to examine the cost benefits of urban underground transportation (see *Subsurface Transportation Systems* below).

In considering projects in developing nations, international lending agencies and financing institutions, as well as local authorities, require detailed cost analyses to determine the type and amount of loan needed to ensure the completion of the project. If these data are not available, the projects will be discouraged and, perhaps, not funded. Thus, at present, projects that incorporate development of subsurface space are often at a disadvantage, especially if they are innovative in nature. Traditional surface solutions to space problems and time-tested methods of construction are often considered to carry a lower risk, and the lack of specific local experience in a given area of construction may make it difficult to convince lenders and local clients to support projects involving subsurface construction.

Unfortunately, underground construction will always be an activity that involves a certain amount of risk. Construction cost estimates for underground facilities are more open to discussion and opinion in the early planning stages than are construction estimates for surface facilities. This assessment of risk is, in practical terms, very much an economic factor. For example, it is not reasonable for a contractor to assume all the risk because there is no way that the geotechnical aspects of the project can be completely determined in advance. On the other hand, it is not practical to assign all the risk to the owners, because some judgement calls must be made by contractors based on their qualifications and experience.

ITA identified this problem several years ago and created a working group on Contractual Sharing of Risks. This group, which comprises representatives from several nations, includes owners, consultants, and contractors in order to develop a reasonable approach for improving contracting practices in the early feasibility and design stages as well as during the construction and operational phases.

This working group has prepared and published a number of reports and discussion papers on this topic and has made

directement entre les installations de surface et celles construites en souterrain.

Par contre, en ce qui concerne les équipements d'infrastructure, on se trouve face à une situation économique extrêmement complexe. La pratique courante, en matière de planification de travaux publics, consiste à choisir une alternative parmi de nombreuses autres, sur une base de faisabilité financière. C'est souvent à ce stade que l'on abandonne la solution souterraine, en raison d'un manque d'études détaillées précisant les coûts et les bénéfices des installations souterraines. Ceci, à son tour, est dû au fait qu'un grand nombre de facteurs spécifiques du site ne sont pas connus, ce qui rend la compilation des données requises plus difficile que pour la construction en surface.

Des tentatives prometteuses ont été faites pour donner des informations coûts-bénéfices précises en vue d'une planification. Il est absolument évident qu'un grand nombre de bénéfices apportés par une installation en souterrain ne peuvent pas être quantifiés facilement et qu'il reste encore difficile de leur assigner une valeur.

Il faudrait que les projeteurs et les responsables politiques soient conscients du fait qu'en dépit de l'investissement important en capital que demandent souvent les projets d'infrastructure d'une façon générale et les ouvrages souterrains en particulier, les bénéfices qui peuvent en découler ont des implications nombreuses et positives, dans un grand nombre de domaines sociaux et économiques. Il reste à développer un langage commun ou une analyse standard de ces facteurs. Un pas a été fait vers cette "communalité" il y a deux ans, lorsque l'AITES a mis sur pied un groupe de travail pour analyser les coûts-bénéfices des transports publics urbains en souterrain (voir *Systèmes de Transport en Souterrain*, ci-dessous).

Lorsqu'il s'agit de projets dans les pays en voie de développement, les organismes de prêt et les institutions financières internationales, tout autant que les autorités locales, ont besoin d'analyses de coût détaillées pour déterminer le type et le montant du prêt nécessaire pour assurer la réalisation du projet. Si ces données ne sont pas disponibles, les projets ne recevront pas d'appui et peut-être pas de financement. Ainsi, actuellement, des projets qui comportent des équipements souterrains sont souvent désavantagés, en particulier s'ils sont de nature novatrice. Les solutions traditionnelles en surface aux problèmes d'espace et les méthodes de construction qui ont fait leurs preuves seront souvent considérées comme présentant un risque moindre, et l'absence d'expérience locale spécifique dans un domaine de construction donné peut rendre difficile la tâche de convaincre les prêteurs et les maîtres d'ouvrage locaux de soutenir des projets comportant des équipements souterrains.

Les travaux en souterrain seront malheureusement toujours une activité qui implique une certaine somme de risques. Les devis des coûts de construction sont souvent plus sujets à discussion dans les premiers stades de la planification que pour les ouvrages de surface. En termes pratiques, cette évaluation du risque est très largement un facteur économique.

Il n'est pas raisonnable, par exemple, pour un maître d'œuvre, d'évaluer la totalité des risques, parce que les aspects géotechniques du projet ne peuvent en aucune façon être déterminés complètement à l'avance. Par ailleurs, il n'est pas pragmatique non plus d'assigner tous les risques au maître d'ouvrage, car certains appels de jugement doivent être faits par le maître d'œuvre en fonction de ses qualifications et de son expérience.

L'AITES a identifié ce problème il y a plusieurs années et créé un groupe de travail sur le Partage Contractuel des Risques. Ce groupe rassemble des représentants de plusieurs nations et se compose de maîtres d'ouvrages d'ingénieurs-conseils et de maîtres d'œuvre soucieux de mettre au point une approche raisonnable qui permette d'améliorer les pratiques contractuelles dès les premiers stades de faisabilité et de dimensionnement ainsi que pendant les phases de construction et d'exploitation.

Ce groupe de travail a préparé et publié un certain nombre de rapports et de textes de discussion sur ce sujet et établi des

recommendations for more equitable sharing of risk in underground projects. The group is now examining such topics as protection of adjacent structures, extraordinary water problems, rights-of-way and permits, and alternative tenders. A reasonable sharing of the risks involved can benefit both potential lenders and owners, and can lead to more constructive project evaluation.

Specific Applications

In addition to the general activities in the subsurface space field, there are works in progress and under development specific to each application. These include subsurface transportation systems, underground public utilities, underground food storage facilities, and energy-related activities.

Subsurface Transportation Systems. Efficient public transportation systems, which likely include subsurface sections, are one tool for improving the possibility of the survival of large cities. A public transportation system is one of the most vital parts of a city's supply network. Unfortunately, it is an expensive function. The responsibility of national and municipal governments to cities and its citizens does not, however, allow for consideration of improvement in public transportation systems merely from a cost perspective. Costs must be weighed against social benefits and, in many developing countries, a city's means of functioning.

Throughout the world, more than 150 underground subway systems are currently in operation, under construction, or in the advanced stages of design. Although these projects are all very costly, in parts of the world where cities are very dense and crowded, the rationale for using underground space for transportation systems is readily accepted. Thirty-eight of the current subway systems are located in less-developed countries in Africa, South America and Asia (see Tables 3 and 4).

The decision to build subway systems in Cairo, Mexico City and Calcutta, for example, was not only a result of economic feasibility but, to a large extent, a matter of survival for the cities themselves. Their development was forced by the need to match transportation services with uncontrolled development and the desire for a vital central business district, with its demands for connected travel routes in and out of the city. Many other large cities in developing countries will certainly also be forced to consider public transportation systems that include major sections located underground in the central downtown area if they are to meet the demands of the unavoidable growth they face.

One of the key elements in the preparatory discussions for a transportation system is cost-benefit analysis. The cost-benefit issue in such a situation is treated differently in each country and even in each city. As a consequence, two years ago the ITA created the Working Group on Cost Benefits in Underground Public Transportation. One of its first tasks was to collect data from different countries where underground transportation systems were in operation. The draft report of these findings, which is now being completed, summarizes the experiences of six nations. The following direct and indirect benefits of underground mass transit are discussed in the report:

Underground transportation. Regularity, punctuality, and speed of movement are invaluable assets to the modern inner-city area.

Conservation of surface space. Underground rail systems permit the surface to be developed for some essential needs, such as commercial and industrial space, residential neighborhoods, and open space for recreation.

Provision of a backbone structure for urban planning. The impact of underground transport arteries on city growth is immense, and

recommandations pour un partage plus équitable des risques dans les travaux en souterrain. Il examine actuellement des thèmes comme la protection des ouvrages voisins, les problèmes exceptionnels posés par l'eau, les servitudes de passage et les permis, ainsi que les variantes d'offre. Les prêteurs, tout autant que les maîtres d'ouvrage, pourraient tirer profit d'un partage raisonnable des risques encourus et une estimation économique du projet serait plus constructive.

Applications Spécifiques

En dehors des activités générales dans le domaine de l'espace souterrain, des travaux sont en cours dans chaque domaine particulier. Ils concernent les systèmes de transport, les services publics, les installations de stockage des aliments et les activités liées à l'énergie.

Systèmes de Transport en Souterrain. Les systèmes de transports publics efficaces qui, très vraisemblablement, comportent des sections souterraines, constituent un instrument qui permet d'améliorer les possibilités de survie des grandes villes. Un système de transports publics est l'une des composantes vitales d'un réseau d'approvisionnement d'une ville. Malheureusement, cette fonction est onéreuse. La responsabilité des autorités nationales et municipales envers les villes et leurs habitants ne permet cependant pas d'examiner l'amélioration des systèmes de transports publics du simple point de vue du coût. Les coûts doivent être pesés par rapport aux bénéfices sociaux et, dans un grand nombre de pays en voie de développement, par rapport aux moyens dont dispose une ville pour son fonctionnement.

Il existe actuellement, de par le monde, plus de 150 métros en service, en construction ou à un stade avancé de conception. Ces projets sont tous très coûteux mais, dans les parties du monde où les villes sont très denses et très peuplées, la raison d'être de l'utilisation de l'espace souterrain pour les systèmes de transport est facilement acceptée. Trente-huit des métros actuels se trouvent dans les pays les moins développés d'Afrique, d'Amérique du Sud et d'Asie (voir Tableaux 3 et 4).

La décision de construire des métros au Caire, à Mexico et à Calcutta, par exemple, ne résulte pas seulement d'une étude de faisabilité mais est, dans une large mesure, une question de survie pour les villes elles-mêmes. Elle a été rendue indispensable par le besoin de faire coïncider les services de transport avec un développement incontrôlé et aussi de faire coïncider le désir d'un centre, vital pour les affaires, avec ses besoins en accès et en sorties. Un grand nombre d'autres métropoles, dans les pays en voie de développement, seront certainement obligées, elles aussi, de prendre en compte des systèmes de transports publics qui comporteront des sections importantes en souterrain dans le centre, s'ils ne peuvent plus répondre aux besoins de l'inévitable croissance à laquelle ils se trouvent confrontés.

L'un des éléments-clés des discussions préparatoires, pour un système de transport, est l'analyse coût-bénéfice. La rentabilité, dans un tel cas, se traite différemment dans chaque pays, et même dans chaque ville. En conséquence, l'AITES a créé, voici deux ans, le groupe de travail sur les Coûts-Bénéfices dans les Transports Publics en Souterrain. L'une de ses premières tâches a été de rassembler des données en provenance des différentes pays où des systèmes de transport souterrains sont en service. Le projet de rapport de cette enquête est en cours d'achèvement, et résume les expériences de six nations. La discussion porte sur plusieurs bénéfices directs et indirects des transports publics en souterrain:

Transports en souterrain. La régularité, la ponctualité et la vitesse de mouvement sont des atouts inestimables pour les centres des villes modernes.

Préservation de la surface. Les systèmes ferroviaires souterrains permettent de mettre en œuvre le terrain en surface pour quelques besoins essentiels, par exemples besoins commerciaux et industriels, banlieues résidentielles et zones de loisirs en plein air.

Apport d'une structure "vertébrale" pour l'urbanisme. L'impact des artères des transports en souterrain sur la croissance de la ville

these systems are a major tool in the renewal and redevelopment of depressed urban areas. Both the surface area above the underground structures and the immediate underground level itself are available for development, and convenient movement throughout the system encourages patronage of the affiliated enterprises. Public amenities, recreation and sports facilities, and business districts are accessible to larger and more diverse groups of people. Thus, the city can focus its activities without having to concentrate all of them in the central business district.

Increased safety. Compared with private cars and buses, underground rail systems provide a very safe means of movement through a city. The pedestrian enjoys a safer environment when congestion on the surface is reduced, and the installation of an underground railway often incorporates a system of underground pedestrian walkways completely independent of dangerous surface corridors.

Environmental improvement. Both noise and air pollution are reduced when major transportation systems are placed in well-planned subsurface corridors.

The final report of this group will include other data from the countries examined.

The other task of the Working Group on Cost Benefits of Urban Public Transportation was to collect and discuss cost-benefit calculation methods. The group's research has shown a great difference exists in the cost-benefit methods now used in different countries—and even in different cities within the same country. Currently, the group is evaluating the different methods used and will make recommendations for their applicability. An increasing number of participants from different countries are being added to this group, and it is assumed that the information obtained will yield useful guidelines for other countries and cities considering underground mass transit systems.

Underground Public Utilities. The use of near-surface ground for covering pipes and cables is common practice in most countries. In many large cities, somewhat deeper subsurface structures (in the form of tunnels) are used for public utilities. Consideration of public utility tunnel installations directly beneath a densely populated urban area requires careful integration with surface planning, since every underground installation is also linked to the surface at several points for access.

In industrialized countries there is an increasing trend toward putting utility pipes for water and sewage in tunnels. Because this trend has not yet reached developing countries, there is not very much readily available information on such projects. Some ongoing wastewater tunnel projects in Cairo, Egypt, El Harrach, Algeria and Mexico City, Mexico, can be mentioned as examples.

With increased urbanization combined with access to less expensive and more efficient tunneling methods, the subsurface alternative for public utility systems for sewage and water seems to be a reasonable solution. In many instances, it may be the only solution for the growing spatial problems of public utility supply. With proper advance planning and investigations, an adequate efficient and cost-effective utilization of the subsurface can be achieved. Essential services properly located in the subsurface can be justified, particularly when conceived on a life-cycle basis. Cost of operation and maintenance of each utility system must be weighed against the initial cost of installation to arrive at an appreciation of total cost of service to the community.

As a consequence, it is vitally important that existing project experience from underground public utility supply installations be documented and disseminated in the same fashion as the

est immense, et ces systèmes constituent un outil majeur dans le renouvellement et le re-développement des zones urbaines en stagnation. Aussi bien la surface au-dessus des ouvrages souterrains que le sous-sol immédiat lui-même restent disponibles pour le développement, et la commodité des mouvements dans l'ensemble du système encourage le parrainage des entreprises affiliées. Les services publics, les installations sportives et de loisirs et les centres d'affaires sont accessibles à des groupes plus importants et plus diversifiés. La ville peut alors faire converger ses activités sans avoir à les concentrer toutes dans le centre.

Sécurité accrue. Par comparaison avec les voitures particulières ou les bus, les systèmes ferroviaires souterrains offrent un moyen de circulation sûr à travers la ville. Les piétons bénéficient d'un environnement plus sûr lorsque les embouteillages sont réduits en surface et la mise en place d'un chemin de fer souterrain inclue souvent un système de passages souterrains pour piétons totalement indépendants des couloirs en surface dangereux.

Amélioration de l'environnement. L'installation des principaux systèmes de transport dans des couloirs souterrains bien conçus permet de réduire aussi bien le bruit que la pollution atmosphérique.

Le rapport définitif du groupe comportera d'autres données en provenance des pays considérés.

Le groupe de travail coûts-bénéfices des Transports Publics Urbains a une autre tâche, qui est de rassembler et de discuter les méthodes de calcul de la rentabilité. Ce travail est en cours, et il a été démontré qu'il existe une grande différence dans les méthodes actuellement utilisées dans les différents pays—voire dans les différentes villes d'un même pays. Le groupe est en train d'évaluer les différentes méthodes utilisées et produira des recommandations sur leur applicabilité. Le groupe s'est trouvé augmenté d'un nombre croissant de participants venant de différents pays et l'on espère que les informations obtenues donneront lieu à des directives utiles pour les autres pays ou villes envisageant des systèmes de transports publics en souterrain.

Services Publics en Souterrain. L'utilisation du sol proche de la surface pour recouvrir les câbles et conduites est d'une pratique courante dans la plupart des pays. Dans de nombreuses grandes villes, on a recours à des ouvrages quelque peu plus profonds (sous la forme de tunnels) pour les services publics. Envisager de mettre en place des tunnels techniques directement au-dessous d'une zone à population dense demande que l'on intègre soigneusement le plan d'urbanisme de surface, puisque chaque installation souterraine est reliée en plusieurs points à la surface, par ses accès.

Dans les pays industrialisés, on constate une tendance croissante à abriter les conduites techniques pour l'eau potable et les eaux usées dans des tunnels. Cette tendance, cependant, n'a pas encore fait jour dans les pays en voie de développement. On ne dispose par conséquent pas d'un grand nombre d'informations rapidement disponibles sur de tels projets, mais on peut mentionner, par exemple, les projets de tunnels pour égouts du Caire en Egypte, d'El Harrach en Algérie et de Mexico au Mexique.

Avec une urbanisation accrue combinée à l'accession à des méthodes moins onéreuses et plus efficaces, la solution souterraine semble être raisonnable pour des services publics comme les égouts et l'approvisionnement en eau. Dans de nombreux cas, elle est l'unique solution aux problèmes de place de plus en plus importants pour les approvisionnements publics. Avec une planification et des études préliminaires bien menées, on peut arriver à une utilisation adéquate, efficace et rentable du sous-sol. Les services essentiels convenablement implantés en souterrain se justifient, en particulier sont conçus sur la base d'un cycle de vie. On peut évaluer le coût d'exploitation et d'entretien de chaque système en fonction du coût initial d'installation pour arriver à une appréciation du coût total du service rendu à la communauté.

Il est vital en conséquence que les expériences existant dans ce domaine soient mises sous forme de documents et diffusées de la même façon que pour les installations souterraines dont

other subsurface applications discussed above. The question of repair and maintenance of existing tunnels is an important issue in this context. The existing infrastructure for public utility supply was developed originally for a relatively small population many years ago. We now face the situation of expanding that infrastructure or replacing it. The work in progress on this subject is very adequate for public utility applications (see *Technological Aspects of Subsurface Space Use*, above).

Underground Food Storage. Developing countries rely on grains more heavily than do developed countries. However, their reduced self-sufficiency has led to increased trade, which, along with increased urbanization, promotes increased storage requirements. Historically underground grain storage has been very widespread, and has been in use for more than 5000 years in China and other places. Large quantities of grain are still stored in underground silos in China (see Fig. 10). In some areas, especially in Kenya and China, experimentation with economical methods of constructing underground storage have shown them to look promising. These developments are of significant value to developing countries, which must rely on local materials, manpower and technology to a larger extent than do industrialized nations.

FAO has been working on the documentation of economic aspects of underground storage for several years, as have a number of individual countries. For example, in Egypt proposals have been made to store grain in underground silos and to store refrigerated food products in underground cold-storage facilities. Such facilities are being designed and discussions are underway on the financing and economic aspects of such installations. Unfortunately, there is not much information readily available on these projects. Cold-storage facilities are in commercial use in a number of industrialized countries such as Sweden, Norway and the U.S.

To enable developing countries to build underground storage facilities for food commodities, a number of major issues have been identified for further action. Some of these issues are now being addressed by a number of countries and private groups in their various aid programs, and the documentation from these research activities should prove invaluable.

nous avons parlé précédemment. La question de la réparation et de l'entretien des tunnels existants est un point important dans ce contexte. L'infrastructure en place a été développée à l'origine pour une population très réduite, il y a un grand nombre d'années. Nous sommes à présent confrontés au problème de l'extension de cette infrastructure ou de son remplacement. Les travaux en cours sur ce sujet conviennent tout particulièrement aux applications des services publics.

Stockage en Souterrain des Denrées Alimentaires. L'économie des pays en voie de développement est largement plus fondée sur les céréales que celle des pays développés. Mais leur autarcie est en diminution, ce qui a conduit à un commerce accru qui, avec une urbanisation en augmentation, a donné lieu à une croissance des besoins en stockage. Le stockage souterrain des céréales est largement répandu, historiquement, il existe depuis plus de 5000 ans en Chine et dans d'autres pays. D'importantes quantités de céréales sont encore stockées dans des silos souterrains en Chine (Fig. 10) et, dans certains endroits, particulièrement au Kenya et en Chine, on a procédé à des expériences recourant à des méthodes économiques de construction d'entrepôts souterrains qui semblent prometteuses. Ces développements ont une valeur significative pour les pays en voie de développement qui doivent se reposer dans une plus grande mesure que les pays industrialisés sur la main-d'œuvre, la technologie et les matériaux locaux.

Le FAO fait des recherches documentaires sur les aspects économiques du stockage en souterrain depuis plusieurs années maintenant, ainsi qu'un certain nombre de pays. En Egypte par exemple, on a proposé de stocker les céréales dans des silos souterrains et les produits alimentaires réfrigérés dans des chambres froides souterraines. Ces installations sont en cours d'élaboration et des discussions ont lieu actuellement sur leur financement et leurs aspects économiques. Il existe malheureusement peu d'informations disponibles sur ces projets. Les installations réfrigérées sont utilisées commercialement dans un certain nombre de pays industrialisés comme la Suède, la Norvège et les Etats-Unis.

Un certain nombre de points majeurs ont été identifiés pour une action future, pour permettre aux pays en voie de développement de construire des stockages souterrains pour les aliments. Certains pays et des groupes privés ont inclus quelques-uns de ces points dans leur programme d'aide et la documentation qui résulte de leurs recherches s'est révélée extrêmement précieuse.

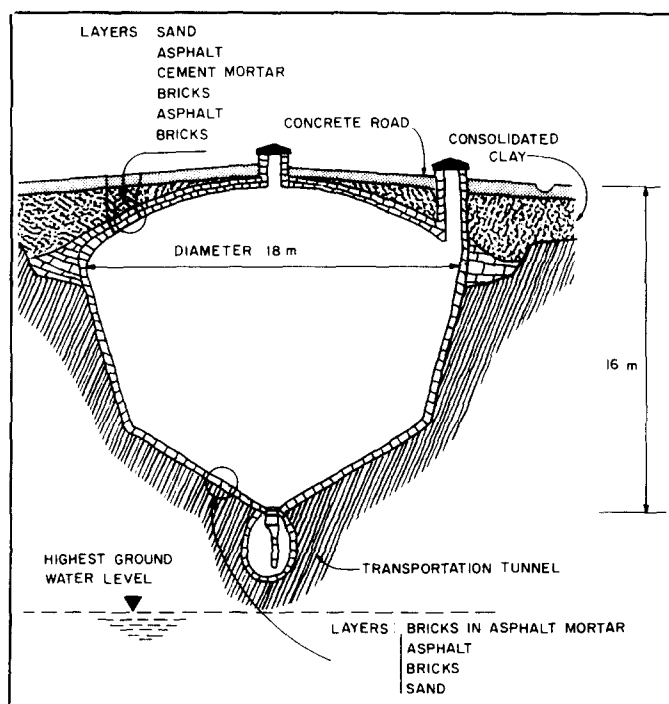


Figure 10. This underground wheat storage facility in China has a capacity of 1500 tons. (Lundström 1983)

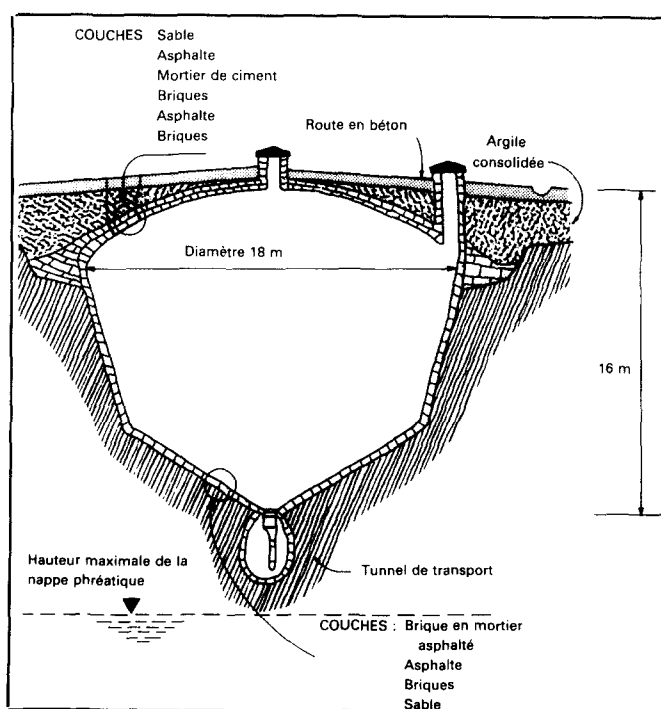


Figure 10. Cet entrepôt de blé sous terre en Chine a une capacité de 1500 tonnes. (Lundström 1983).

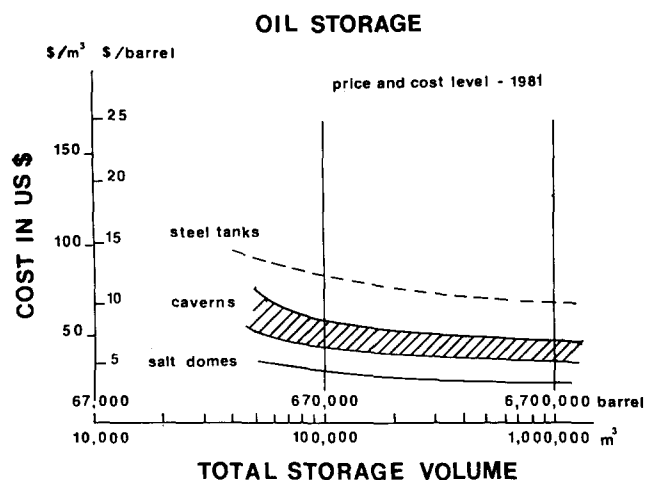


Figure 11. Comparative costs of various types of oil storage facilities.

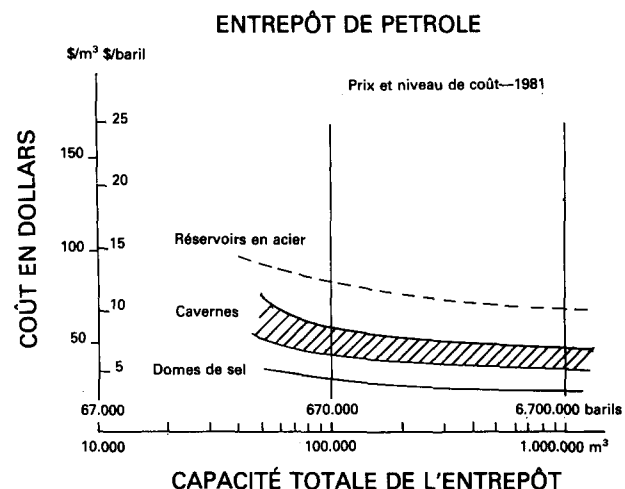


Figure 11. Coûts comparatifs de différents types d'entrepôts de pétrole.

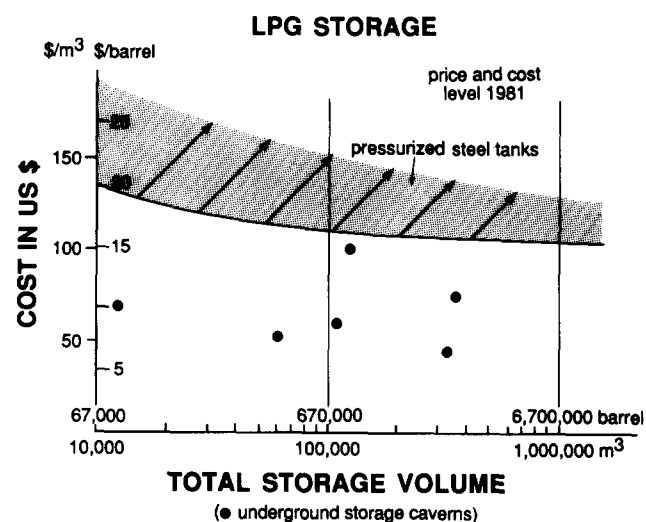


Figure 12. Comparative costs of aboveground LPG storage.

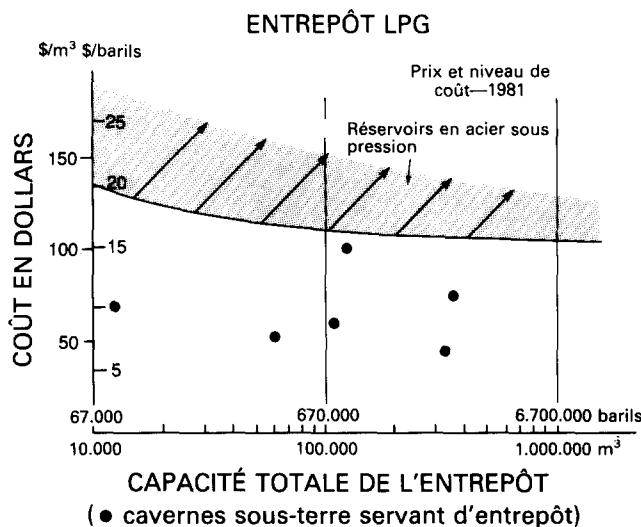


Figure 12. Coûts comparatifs d'entrepôts LPG sous terre et à la surface.

Energy-Related Activities. Several hundred completed underground oil and gas storage projects currently exist, mostly in industrialized countries. Cost figures (see Figs. 11 and 12) and technical descriptions are readily available in the literature (see the proceedings from *Rockstore 77* and *Rockstore 80*). The U.N. Economic Commission for Europe (ECE), through its Gas Committee Project 07.3.5 on the development of underground gas storage facilities, is studying the various aspects of underground gas storage and related problems, including:

- ways of increasing productivity of underground storage wells and increasing the gas flow to the well bottom in terrigenous and carbonate reservoir beds;
- criteria for evaluating tightness of gas traps for the creation of underground gas storages and during use;
- storage of large quantities of LPG; and
- problems of storage of two gases in one underground storage.

This work is undertaken by the Group of Experts on the Transport and Storage of Gas, whose objective is to exchange information and experience with a view toward increasing underground storage facilities (including LPG and LNG storages).

The International Atomic Energy Agency (IAEA) is one of the main organizations coordinating the international development work on radioactive waste disposal. Some of the agency's comments on subsurface space development are given below:

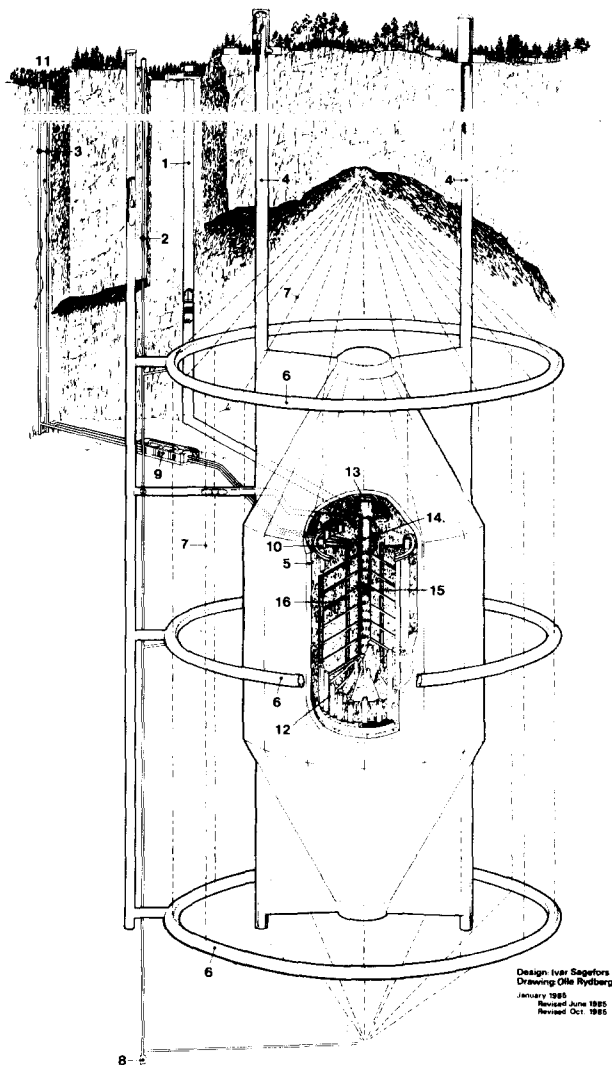
Activités Liées à l'Energie. Il existe actuellement plusieurs centaines d'installations souterraines de stockage du gaz et du pétrole, pour la plupart dans les pays industrialisés. Les coûts chiffrés (Figs 11 et 12) et les descriptions techniques sont facilement disponibles dans la littérature (voir les comptes-rendus de *Rockstore 77* et *Rockstore 80*). La Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies (ECE), par l'intermédiaire de son Projet de Comité pour le Gaz 07.3.5 sur le développement des installations de stockage souterrain du gaz, étudie actuellement les différents aspects du stockage du gaz en souterrain et des problèmes annexes, à savoir:

- les moyens d'augmenter la productivité des puits de stockage souterrain et d'augmenter le courant de gaz vers le fond du puits dans des couches réservoirs terrigènes et carbonates,
- les critères permettant d'évaluer la hauteur des siphons de gaz pour créer des stockages souterrains, puis pendant leur utilisation,
- le stockage de grandes quantités de LPG,
- les problèmes posés par le stockage de deux gaz dans un seul dépôt souterrain.

Ces travaux ont été entrepris par le Groupe d'Experts en Transport et Stockage du Gaz dans le but d'échanger les informations et les expériences et dans l'intention d'augmenter le nombre d'installations de stockage en souterrain (y compris les stockages de LPG et LNG).

L'Agence Internationale pour l'Energie Atomique (AIEA) est l'une des principales organisations qui coordonnent les travaux internationaux sur l'élimination des déchets radioactifs. Nous donnons ci-après un aperçu des remarques

EXCAVATION AND REFILLING OF SLOT



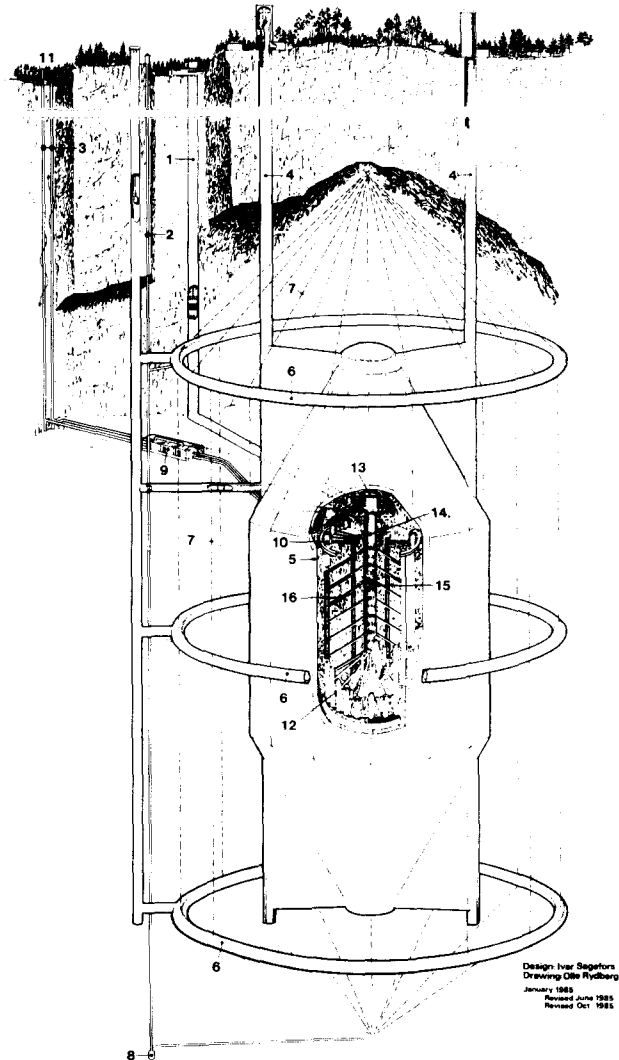
- | | |
|---|---|
| 1. Transportation of canisters | 9. Intermediate ventilation room |
| 2. Manway passage | 10. Primary ventilation room |
| 3. Ventilation shaft | 11. Secondary ventilation room |
| 4. Main shaft for excavation and refilling of slot | 12. Storage ventilation shaft |
| 5. Bentonite-quartz barrier with a thickness of 5m. | 13. Hoisting equipment |
| 6. Drift for hydraulic cage | 14. Main shaft for storing of canisters |
| 7. Drillhole for hydraulic cage | 15. Device for remote controlled storing of canisters |
| 8. Pump station | 16. Canisters in storage position |

Figure 13. The WP-Cave for isolating high-level radioactive waste (Sagefors 1985).

● One of the main applications currently being found for subsurface space in relation to nuclear power generation is radioactive waste disposal. The option of waste disposal in deep geological formations, in salt domes, and shallow ground increasingly is being viewed as the current most appropriate and practicable method for isolating the potentially harmful waste products of nuclear power generation from man's environment (see Fig. 13).

● Currently, subsurface waste disposal repositories are being planned and operated mainly in developed countries. However, as nuclear power becomes increasingly adopted as a source of energy by developing countries, it seems likely that the same option for waste disposal will be chosen.

EXCAVATION ET REMBLAIEMENT DE LA PERCEE



- | | |
|--|---|
| 1. Transport des réservoirs métalliques | 9. Pièce intermédiaire de ventilation |
| 2. Trou d'homme | 10. Pièce principale de ventilation |
| 3. Puit de ventilation | 11. Pièce secondaire de ventilation |
| 4. Puit central d'excavation et de remblaiement | 12. Puit de ventilation de réserve |
| 5. Barrière de bentonite-quartz de 5 m d'épaisseur | 13. Matériel de pavage et d'entreposage |
| 6. Percée horizontale pour cage hydraulique | 14. Puit central pour l'entrepôt de réservoirs métalliques |
| 7. Percée verticale pour cage hydraulique | 15. Système de télécommande pour l'entrepôt de réservoirs métalliques |
| 8. Station de pompage | 16. Réservoirs métalliques en position |

Figure 13. La caverne WP pour l'isolement de déchets hautement radio-actifs (Sagefors 1975).

formulées par l'Agence sur le développement de l'espace souterrain.

● Actuellement, l'une des principales applications de l'espace souterrain en relation avec la production d'énergie nucléaire est l'élimination des déchets radio-actifs. L'option d'une élimination des déchets dans des formations géologiques profondes, dans des dômes salins et à faible profondeur est de plus en plus envisagée comme la méthode la plus appropriée et la plus pratique pour isoler de l'environnement humain les déchets, potentiellement nocifs, résultant de la production d'énergie nucléaire (Fig. 13).

● Actuellement, les dépôts souterrains de déchets nucléaires sont projetés et exploités surtout dans les pays développés. Cependant, l'énergie nucléaire étant de plus en plus adoptée comme source d'énergie par les pays en voie de développement, il

● *The IAEA has been active in the field of radioactive waste management since its inception in 1957. Its current program of radioactive waste management is aimed at providing advice and guidance on the most up-to-date philosophies and technologies for the safe management of radioactive waste. IAEA publishes safety guides, recommendations, advice on procedures and data, and technical reports on this subject.*

● *The criteria developed by IAEA for the disposal of radioactive wastes underground define the nature of the subsurface environments suitable for radioactive waste disposal. For instance, an underground disposal site should be located in a geological formation which is stable with respect to seismic and tectonic activity, has hydrogeological features that limit groundwater flow within the repository, and is unlikely to be subject to manmade disturbances in the future e.g. presence of potentially valuable minerals or other resources.*

Conclusions and Recommendations

It is evident that subsurface space offers promising opportunities for alleviating existing space problems and for reducing future difficulties in developing regions of the world. This is especially true for crowded urban areas where subsurface space may be the only area available for development. Because economic factors will be a major consideration in subsurface project feasibility studies in developing countries, adequate cost-benefit information is crucial in all stages of project development.

Advocates of underground space use have just begun to present their case to the public. Until their message has been heard by planners, architects, policymakers and administrators in a language all can understand, no prudent development of subsurface space will be ensured.

The necessary communications process is complex. With regard to developing countries, technical expertise and practical experience must be transmitted efficiently to people who, though in great need, are often unaware of the present potential of subsurface space to solve some of their problems. It is encouraging to see that many professionals have already formed organizations such as the International Tunnelling Association (ITA) to begin communicating the benefits of subsurface technology to those countries unfamiliar with that technology. Such efforts can make specialized language and technical applications more comprehensible to novices in the underground space field.

To overcome this communication problem, it is crucial that the work being done in different parts of the world, and through different organizations, be coordinated so that it can be shared with those who have not yet developed the necessary knowledge on their own. Such a coordinated effort would contribute greatly to the legitimization of subsurface projects and would make policymakers aware of this largely untapped resource.

Some intergovernmental organization, preferably within the United Nations system, should develop an efficient support mechanism to enhance and strengthen the current efforts and developments concerning subsurface space use. Such an international subsurface-use clearing house should include the work done by other U.N. agencies, the ITA, and other groups already working on subsurface space development. These active groups should oversee the development and adaptation of technology within their different fields under the guidance and direction of the selected executive U.N. agency. They should share the responsibility for collecting and disseminating

semble probable que ceux-ci choisissent la même option pour l'élimination de leurs déchets.

● *L'AIEA travaille sur cette question de la gestion des déchets radio-actifs depuis sa création en 1957. Son programme actuel a pour but de donner des conseils et des orientations sur les philosophies et les technologies de pointe pour une gestion sûre des déchets radio-actifs. L'AIEA publie des guides de sécurité, des recommandations, des avis quant aux procédures et données, ainsi que des rapports techniques.*

● *Les critères d'élimination des déchets radio-actifs dans le sous-sol mis au point par l'AIEA définissent la nature des environnements souterrains qui conviennent. Par exemple, un site souterrain d'élimination doit être situé dans une formation géologique stable vis-à-vis de l'activité sismique et tectonique, il doit présenter des caractéristiques hydrogéologiques qui limitent l'écoulement de la nappe phréatique à l'intérieur même du dépôt et il ne doit pas être sujet à perturbations futures du fait de l'homme (par ex. présence de minerais de valeur potentielle ou autres ressources).*

Conclusions and Recommendations

Il est évident que l'espace souterrain offre des opportunités prometteuses pour résoudre les problèmes d'espace actuels et réduire les difficultés à venir dans les régions en voie de développement. Ceci est particulièrement vrai pour les zones urbaines surpeuplées dans lesquelles il se peut que le sous-sol soit l'unique espace disponible pour le développement. Mais parce que c'est aux facteurs économiques que sera portée la plus grande attention dans les études de faisabilité des projets souterrains dans les pays en voie de développement, il est crucial d'avoir une bonne information coût-bénéfice à tous les stades de développement du projet.

Il est bien évident que les zéloteurs de l'espace souterrain viennent tout juste de commencer à défendre leur cause devant le public. Avant que leur message ait été transmis aux projeteurs, aux architectes, aux politiciens et aux administrateurs, dans un langage que tous peuvent comprendre, nous ne sommes assurés d'aucun développement prudent de l'espace souterrain.

Le processus nécessaire de communication est évidemment complexe. En ce qui concerne les pays en voie de développement, les expertises techniques et les expériences pratiques doivent être transmises de façon efficace aux gens qui, bien qu'ils en aient le plus grand besoin, sont souvent inconscients du potentiel qu'offre actuellement l'espace souterrain pour résoudre certains de leurs problèmes. Il est encourageant de voir que de nombreux spécialistes ont déjà constitué des organisations comme l'Association Internationale des Travaux en Souterrain, pour commencer à communiquer les bénéfices de la technologie des travaux souterrains aux pays qui ne sont pas familiarisés avec elle. De tels efforts peuvent rendre le langage spécialisé et les applications techniques plus compréhensibles aux novices dans ce domaine.

Pour surmonter ce problème de communication, il est crucial que le travail fait dans les différentes parties du monde, et par des organisations différentes, soit coordonné, de façon à pouvoir être partagé avec ceux qui n'ont pas encore développé par eux-mêmes les connaissances nécessaires. Cet effort de coordination contribuerait grandement à la légitimisation des projets souterrains et ferait prendre conscience aux politiciens de cette ressource largement inexploitée.

Une organisation inter-gouvernementale, de préférence dans le cadre des Nations-Unies, devrait développer ce mécanisme efficace de soutien pour accroître et renforcer les efforts et développements faits actuellement dans le domaine de l'utilisation du sous-sol. Cet organisme chargé d'élucider ces questions devrait inclure les travaux faits par d'autres organes des Nations Unies, l'AITES et d'autres groupes qui travaillent déjà sur le développement du sous-sol. Ces groupes actifs devraient surveiller le développement et l'adaptation de la technologie dans leurs différents domaines, sous la direction et la férule de l'organisme des Nations Unies choisi. Ils devraient partager la

information on the technological and economic aspects of subsurface development and undertake the tasks listed below with a view toward encouraging the appropriate use of the subsurface in all countries, though their needs might differ:

- Collect information and draw up reports on subsurface space use.
- Produce a resource guide on subsurface space and case studies on the most widely-applied techniques of underground development.
- Identify the most promising areas of underground research and development, especially with regard to the adaptation of technology to the conditions in various countries.
- Construct cost-benefit models for analysis of subsurface projects to aid planners and decision-makers during feasibility studies.
- Directly address the matter of planning subsurface space in coordination with surface planning and construct planning models.

Such a cooperative effort would encourage the incorporation of subsurface space into the agenda for planning and development in countries the world over. Of course, this must be made part of the long-term development plans within the framework of the countries' respective national development priorities.

An organization such as the one described above would aid the current activities in the field of subsurface space development and would potentially enhance the value and efficiency of regularly produced understandable documentation of the readily available data for the benefit of developing countries. If a U.N. agency provides the proposed coordinating function, the following activities would provide great international benefit:

(1) Governments in industrialized countries with experience in subsurface space utilization would find it easier to support such programs in their aid programs to developing countries. As with all aid programs, the recipient country must identify and actively promote the projects in its own funding programs. It is unrealistic, however, to expect an organization in a responsible position in any country to promote a program such as subsurface space installation if that program is unfamiliar. In acting as a clearinghouse, it is important that the U.N. agencies involved make available, in the earliest phases of development, the information required to make subsurface space use a viable alternative. The objective is not to create the need but, rather, to help a country identify its needs. Simply by having adopted subsurface space use in its program, the U.N. will potentially enlarge the planning phase to include that alternative.

(2) International organizations active in the field of subsurface space use, geology, and geotechnology, such as the International Tunnelling Association, the International Society for Rock Mechanics, and the International Association of Engineering Geology, among others, should be invited to contribute to these planning activities. The ITA, for example, organizes workshops and symposia annually in different parts of the world. Because ITA's programs are already in advanced stages, it seems reasonable to include their efforts in delivering information to developing countries in a more systematic U.N. communication network.

responsabilité du recueil et de la diffusion des informations sur les aspects technologiques et économiques du développement du sous-sol et entreprendre les travaux répertoriés ci-dessous, en vue d'encourager une utilisation appropriée du sous-sol dans tous les pays, en dépit des possibilités de divergence de leurs besoins:

- Recueil des informations et établissement de rapports sur l'utilisation de l'espace souterrain.
- Établissement d'un guide des ressources offertes par le sous-sol et cas concrets des techniques les plus largement utilisées dans le développement du sous-sol.
- Identification des domaines de recherche et de développement les plus prometteurs, en particulier en ce qui concerne l'adaptation de la technologie aux conditions rencontrées dans les différents pays.
- Mise au point de modèles coût-bénéfice pour l'analyse des projets souterrains afin d'aider les projeteurs et les décideurs au cours des études de faisabilité.
- établir un lien direct entre l'aménagement de l'espace souterrain et l'aménagement en surface et mettre sur pied des modèles de planification.

Un tel effort de coopération encouragerait l'inscription de l'espace souterrain à l'ordre du jour des programmes d'aménagement et de développement des pays du monde entier. Ceci doit naturellement se concevoir comme un élément des plans de développement à long terme, dans le cadre des priorités nationales respectives.

Un comptoir central répondant à cette définition apporterait une aide dans les activités poursuivies actuellement dans le domaine du développement de l'espace souterrain et pourrait mettre en valeur l'utilité et l'efficacité d'une documentation compréhensible et renouvelée régulièrement sur les données disponibles pour le profit des pays en voie de développement. Si c'est un organisme appartenant aux Nations Unies qui assure cette fonction de coordination, un grand bénéfice pourrait en être retiré sur le plan international.

(1) Les gouvernements des pays industrialisés ayant une expérience dans l'utilisation de l'espace souterrain trouveraient plus de facilité à appuyer de tels programmes dans leurs plans d'aide aux pays en voie de développement. Comme pour tous les programmes d'aide, le pays bénéficiaire doit identifier et promouvoir activement les projets dans son propre programme de financement. Cependant, il est irréaliste d'attendre d'une organisation ayant une position de responsabilité, dans quelque pays que ce soit, qu'elle puisse promouvoir un programme tel qu'une installation souterraine, si elle n'est pas familiarisée avec ce genre de programme. Agissant comme comptoir central, il est important que les organes des Nations Unies concernés rendent disponibles, dès les premiers stades du développement, les informations requises pour que l'utilisation du sous-sol soit considérée comme une alternative viable. Le but n'est pas de créer des besoins, mais bien d'aider un pays à identifier les siens. Par le seul fait d'adopter le recours au sous-sol dans leur programme, les Nations Unies donneront la possibilité d'élargir la phase de planification en tenant compte de cette alternative.

(2) Les organisations internationale dont l'activité s'exerce dans les domaines de l'utilisation du sous-sol, de la géologie et de la géotechnologie, par exemple l'Association Internationale des Travaux en Souterrain, la Société Internationale de Mécanique des Roches et l'Association Internationale de Géologie Appliquée, entre autres, devraient être invitées à apporter leur contribution à ces activités de planification. L'AITES, par exemple, organise chaque année des séminaires et des symposia dans les différentes parties du monde (le dernier a eu lieu à Beijing en Chine, le prochain se tiendra à Prague en Tchécoslovaquie). Les programmes de

(3) It is important that special U.N. seminars, such as the one organized in Sweden in 1982, be held in developing countries. These seminars could be on those topics of special interest to the country in which it is held. This would encourage debate and the exchange of vital information and would stimulate action. These seminars could be coordinated with ITA activities in those countries. It may even be useful to encourage those nations and cities which are considering the planning of new transportation or public utility systems to host seminars or symposia on those topics. Through active official support from the U.N. agency in charge, the economic, technological, and practical issues of interest to a particular country and/or city can be incorporated to assist decision-making. Subsurface space use based on state-of-the-art expertise would then be considered early enough to become a viable alternative in the planning process.

(4) The establishment of a data bank and documentation center should be initiated. The center would include subsurface space data and reference lists relevant for developing countries that can be used by both industrialized nations involved in aid programs and developing countries that have a special need for infrastructure development. Some of the knowledge gained by ITA working groups would be valuable for this center. The structure of the data bank would involve the technical and professional perspective as well as the perspective of the recipient. Keeping in mind what legislators and administrators need, communication can be established on how to proceed and develop relevant data. Such dialogue would, for example, create guidelines and valuable input for the work that ITA is doing.

(5) In order to aid the United Nations in the development of a specialized resource center in the field of subsurface space use, a mechanism could be developed between the U.N. and ITA so that the U.N.'s traditional consulting service can maintain updated data and documentation in the subsurface space area. This would, undoubtedly, be of great value for developing countries in their search for suitable experts.

(6) In order to appreciate the informative material and documentation developed in places where underground construction is being done, developing countries need to educate and train their people. This can be done through seminars and through the exchange of information between involved countries, the United Nations, and professional organizations specializing in underground space development. In addition, it would probably be necessary to recommend and support formal applied education in the subsurface space area and in related subjects.

(7) It would be most useful if underground construction projects currently being implemented in developing countries could be regarded as pilot projects, and the information gathered from them be used by the U.N. as special reference projects. If properly organized, the discussion of the planning, social significance, economic justification, average cost and other information of practical value of these projects would provide a guide for the planning and development of such facilities in other developing countries.

l'AITES en étant déjà à un stade avancé, il semble raisonnable d'inclure les efforts qu'elle a déployé dans la diffusion des informations aux pays en voie de développement, à un réseau de communication plus systématique des Nations Unies.

(3) Il est important que des séminaires spécifiques des Nations Unies, tel celui organisé en Suède en 1982, se tiennent dans des pays en voie de développement. Ils pourraient traiter de thèmes présentant un intérêt particulier pour le pays hôte. Ceci encouragerait les débats et l'échange d'informations vitales, et stimulerait les actions. Ces séminaires pourraient être coordonnés aux activités de l'AITES dans ces pays. Il peut même être utile d'encourager les nations et les villes qui envisagent l'étude de nouveaux réseaux de transports ou de services publics à accueillir des séminaires ou des symposia sur ces thèmes. Grâce à un soutien officiel actif de l'organe concerné des Nations Unies, il est possible d'incorporer les points d'intérêt économiques, technologiques et pratiques, afin d'aider à ce qu'une décision soit prise. L'utilisation de l'espace souterrain, basée sur les dernières connaissances techniques, deviendrait alors rapidement une alternative viable dans le processus de planification.

(4) Il faut jeter les bases d'une banque de données et d'un centre de documentation. Ce centre contiendrait des données sur l'utilisation de l'espace souterrain et des listes de références concernant les pays en voie de développement, qui pourraient être utilisées aussi bien par les pays industrialisés que par les pays en voie de développement ayant un besoin particulier de développer leur infrastructure. Certaines des connaissances acquises par les groupes de travail de l'AITES pourraient être très utiles à ce centre. La structure de la banque de données impliquerait une perspective technique et professionnelle, ainsi que le point de vue du bénéficiaire. En gardant à l'esprit ce dont ont besoin les législateurs et les administrateurs, on pourrait établir une communication sur la façon de procéder et de développer les données correspondantes. Un tel dialogue permettrait par exemple d'établir des directives et de donner un impact intéressant aux travaux menés par l'AITES.

(5) Afin d'aider les Nations Unies à mettre sur pied un centre de ressources spécialisé dans le domaine de l'utilisation du sous-sol, on pourrait développer un dispositif entre les Nations Unies et l'AITES, qui permettrait au service traditionnel de consultation des Nations Unies de maintenir à jour ses données et sa documentation dans le domaine de l'espace souterrain. Ceci serait indubitablement d'une grande valeur pour les pays en voie de développement dans leur recherche d'experts appropriés.

(6) L'éducation et la formation sont également des facteurs importants. Afin d'estimer pleinement la valeur des informations et de la documentation provenant des endroits où sont réalisés des travaux en souterrain, il est certain que les pays en voie de développement ont besoin d'éduquer et de former leurs ressortissants. Ceci peut être fait par l'intermédiaire de séminaires et par l'échange d'information entre les pays concernés, les Nations Unies et les organisations professionnelles spécialisées dans le développement du sous-sol, mais il sera probablement nécessaire de préconiser et d'appuyer une éducation formelle appliquée dans le domaine de l'espace souterrain et les domaines annexes.

(7) Il serait extrêmement utile que les projets de travaux en souterrain mis en œuvre actuellement dans les pays en voie de développement soient considérés comme des projets pilotes, et que les informations recueillies à leur sujet soient utilisées par les Nations Unies comme projets de référence particuliers. Si l'organisation est bien faite, la discussion du projet, sa signification sociale, sa justification économique, son coût moyen et les autres informations présentant un intérêt pratique peuvent donner lieu à un guide d'étude et de développement d'installations de cette nature dans les autres pays en voie de développement.

References

- Bergman, S. Magnus, ed. 1978. *Storage in Excavated Rock Caverns—ROCKSTORE 77 (Proceedings of the 1st International Symposium, Stockholm, Sweden, September 1977)*. Oxford: Pergamon Press.
- Bergman, S. Magnus, ed. 1981. *Subsurface Space (Proceedings Subsurface Space Use—ROCKSTORE 80, Stockholm, Sweden, June 1980)*. Oxford: Pergamon Press.
- Bergman, S. Magnus, ed. 1983. Special report: The utilization of subsurface space in developing countries (A United Nations Workshop, Stockholm, October 25–29, 1982). *Underground Space* **7** (4–5) : 225–326.
- Bergman, S. Magnus. 1984. Underground storage of oil and gas. *J. Energy Engng.* **110**(3): 181–190.
- Fox, Robert W. 1984. The urban explosion. *National Geographic* **166**(2): 179–185.
- Infrastructure Branch, Natural Resources and Energy Division, Department of Technical Co-operation for Development, United Nations; Economic Commission for Europe, United Nations; International Relations Department, The World Bank; World Health Organization; Division of External Relations, International Atomic Energy Agency; Department of Cooperation for Development and External Relations, United Nations Education, Scientific and Cultural Organization. Communication 1984.
- International Atomic Energy Agency Bulletin*, Vol. 26, No. 3 (September 1984).
- International Tunnelling Association. Personal Communications, 1984.
- Itasca Consulting Group. 1982. The utilization of subsurface space and its potential in developing countries. Working Paper, United Nations Division of Natural Resources and Energy.
- Mass Transit*, Vol. 10 (October 1983).

References

- Bergman, S. Magnus, ed. 1978. *Storage in Excavated Rock Caverns—ROCKSTORE 77 (Proceedings of the 1st International Symposium, Stockholm, Sweden, September 1977)*. Oxford: Pergamon Press.
- Bergman, S. Magnus, ed. 1981. *Subsurface Space (Proceedings Subsurface Space Use—ROCKSTORE 80, Stockholm, Sweden, June 1980)*. Oxford: Pergamon Press.
- Bergman, S. Magnus, ed. 1983. Special report: The utilization of subsurface space in developing countries (A United Nations Workshop, Stockholm, October 25–29, 1982). *Underground Space* **7** (4–5) : 225–326.
- Bergman, S. Magnus. 1984. Underground storage of oil and gas. *J. Energy Engng.* **110**(3): 181–190.
- Fox, Robert W. 1984. The urban explosion. *National Geographic* **166**(2): 179–185.
- Infrastructure Branch, Natural Resources and Energy Division, Department of Technical Co-operation for Development, United Nations; Economic Commission for Europe, United Nations; International Relations Department, The World Bank; World Health Organization; Division of External Relations, International Atomic Energy Agency; Department of Cooperation for Development and External Relations, United Nations Education, Scientific and Cultural Organization. Communication 1984.
- International Atomic Energy Agency Bulletin*, Vol. 26, No. 3 (September 1984).
- International Tunnelling Association. Personal Communications, 1984.
- Itasca Consulting Group. 1982. The utilization of subsurface space and its potential in developing countries. Working Paper, United Nations Division of Natural Resources and Energy.
- Mass Transit*, Vol. 10 (October 1983).