



ASSOCIATION
INTERNATIONALE DES TRAVAUX
EN SOUTERRAIN

AITES

ITA

INTERNATIONAL
TUNNELLING
ASSOCIATION

*Towards an
improved use
of underground
Space*

*In Consultative Status, Category II with the
United Nations Economic and Social Council
<http://www.ita-aites.org>*

Topic

IMMERSED AND FLOATING TUNNELS

Title

Immersed Tunnels - a better way to cross waterways?

Author

ITA WG Immersed and Floating Tunnels

published

in "Tribune",

Nr. HS, pp. 1 - 18, Year 1999

by ITA - AITES, www.ita-aites.org

Working Group: WG 11 - "Immersed and Floating Tunnels"

Open Session, Seminar, Workshop: -

Others: Booklets, Leaflets

Abstract: -

Résumé: -

Remarks: Waterways present major obstacles to the planner of transport infrastructure. As transportation and other infrastructure networks grow, it is often water which obstructs the final link in the chain. The aim of this book is to help those who commission new infrastructure to appreciate immersed tunnels - a type of construction which is widely used today, but not so widely understood and which can present an attractive alternative to either bridge crossings or bored tunnels.

IMMERSED TUNNELS

A BETTER WAY TO CROSS WATERWAYS?



TRIBUNE

INTERNATIONALE ASSOCIATION
DES TUNNELIERS
AITES



ITA
INTERNATIONAL
TUNNELLERS
ASSOCIATION

TRIBUNE HORS SÉRIE - MAI 1999 - ISSN 1267-8422

IMMERSED TUNNELS A Project Promoter's Guide TRIBUNE



Waterways present major obstacles to the planner of transport infrastructure. As transportation and other infrastructure networks grow, it is often water which obstructs the final link in the chain. The aim of this book is to help those who commission new infrastructure to appreciate immersed tunnels - a type of construction which is widely used today, but not so widely understood and which can present an attractive alternative to either bridge crossings or bored tunnels.

This publication has been prepared by the Working Group "Immersed Tunnels" of the International Tunnelling Association.

ACKNOWLEDGEMENTS

Walter C. Grantz
Liong Tan
Christiani & Nielsen/TCGC JV
Cork Corporation
Kent County Council
Mott MacDonald
Øresundskonsortiet
Øresund Tunnel Contractors
Aerocamera-Bart Hofmeester b.v.

ITA web site: <http://www.ita-aites.org>
e-mail: aites@imaginet.fr

Directeur de la publication :
Claude Berenguier
AITES - 25 av F. Mitterrand
F-69674 BRON Cedex
☎+33-478260455, ☎+33-472372406
Édité par ACROTÈRE :
BP1275 - F-31047 TOULOUSE
☎+33-561310385, ☎+33-561490522
Imprimé par Imprimerie LECHA
51 rue du Pech - F-31100 TOULOUSE
Crédits photos :
Nations membres de l'AITES
Publicité : ACROTÈRE
Dépôt légal : mai 1999

CONTENTS

- 5 - Introduction
- 7 - How immersed tunnels are built
- 11 - Is it a new idea?
- 12 - Why choose an immersed tunnel?
- 15 - Are there any special problems?
- 17 - When should I choose an immersed tunnel?
- 18 - A new development: submerged floating tunnels
- 19 - Who can help me realise a project?

INTRODUCTION

The Working Group «IMMERSED TUNNELS» of the International Tunnelling Association was created at the General Assembly in Madrid in 1988.

The aims at that time were to review the different techniques applied in America and Europe and to promote the different technical possibilities, their potential and limits.

Representatives from ten countries, divided into subcommittees, would study the following topics: floating tunnels, seismic aspects, watertightness and seals, design of the size of the steel shell and concrete elements, construction of tunnels and associated marine techniques.

During its 11 years of existence, 3 Animateurs (MM. V. MOLENAAR, P. VAN MILLIGEN and A. GURSOY), 2 Vice-animateurs (MM. A. GURSOY and J. SAVEUR) and 3 Tuteurs (MM. B. PIGORINI, A. GLERUM and the undersigned) took the Working Group through a lot of new subjects and tasks.

An innovative subject has undoubtedly been the introduction, in 1996, of the concept of «SUBMERGED FLOATING TUNNELS», meaning a new system for crossing deep waterways.

The subject has been deepened in cooperation with the European Commission, Directorate General for Transport, that co-financed in 1995 an exhaustive study on the feasibility of the subject.

The most impressive achievement of the Working Group has undoubtedly been the publication, as well in 1993 for the Congress of Amsterdam as in 1997 for the World Tunnel Congress of Vienna, of 450 pages of reports concerning the various aspects of the immersed and submerged floating, as well as an exhaustive list of achievements of this kind all over the world; published in two double-sized issues of «Tunnels and Underground Space Technology», the international journal published in cooperation with ITA.

These issues were also presented as independent books for all intended people, and could be considered as the first promotional documents for these outstanding solutions.

The Working Group, in its meeting of 1998 in Sao Paulo, was of the opinion that more should be done to promote the immersed and submerged floating tunnels, than just a few issues of an international journal.

Le Groupe de Travail «Tunnels immergés» de l'Association Internationale des Travaux en Souterrain a été créé lors de l'assemblée générale de Madrid en 1988.

A cette époque, les buts consistaient à examiner les différentes techniques utilisées en Amérique et en Europe et à promouvoir les différentes possibilités techniques, leur potentiel et leurs limites.

Au cours de ses 11 années d'existence, 3 Animateurs (MM. V. MOLENAAR, P. VAN MILLIGEN et A. GURSOY), 2 Vice-animateurs (MM. A. GURSOY et J. SAVEUR) et 3 Tuteurs (MM. B. PIGORINI, A. GLERUM et le soussigné) ont mené au sein du Groupe de Travail un grand nombre de sujets et tâches.

Un sujet innovant a été incontestablement l'introduction en 1996 du concept de «tunnels flottants submergés» indiquant par là un nouveau système de traversée des voies navigables profondes.

Le sujet a été approfondi en coopération avec la Direction Générale des Transports de la Commission Européenne qui a co-financé en 1995 une étude complète sur la faisabilité du sujet.

Le résultat le plus impressionnant du Groupe de Travail est sans conteste la publication, tant en 1993 lors du congrès d'Amsterdam qu'en 1997 pour le World Tunnel Congress de Vienne, d'un rapport de 450 pages relatif aux divers aspects des tunnels immergés et des tunnels flottants submergés ainsi qu'une liste exhaustive des tunnels immergés construits dans le monde publiés dans deux numéros doubles de Tunnels & Underground Space Technology, le journal international publié en coopération avec l'AITES.

Ces numéros ont été aussi mis à la disposition de toute personne intéressée en tant que livres indépendants et ont été considérés comme les premiers documents de promotion de ces solutions remarquables.

Le Groupe de Travail, lors de sa réunion de 1998 à São Paulo, était d'avis qu'il restait encore plus à faire pour promouvoir les tunnels immergés et les tunnels flottants submergés que de simplement publier quelques numéros d'un journal international.

IMMERSED TUNNELS • ITA - AITES

The idea rose very quickly to use «TRIBUNE», ITA Newsletter, as the vehicle for a much wider, even world-wide, promotion of these solutions, mainly in those countries which encounter the need to cross rivers and other waterways, in a different way than with movable or high bridges allowing navigation.

This first version will be distributed free of charge to all regular destinées of «TRIBUNE», to all participants of the World Tunnel Congress in Oslo and the World Road Congress in Kuala Lumpur in October 1999. Other linguistic versions could be envisaged later, in agreement between the concerned ITA member-nations and the Executive Council. For the future, I suggest that the Working Group goes on with its promotion of these solutions, perhaps with more emphasis on the submerged floating tunnels, for which the preparation of the first achievement across the Høgsfjord, is in its final stage of preparation. The ITA Executive Council is ready to go on to give a maximal support to these efforts.

I sincerely hope, and the ITA Executive Council is following me in this expectation, that this special issue of «TRIBUNE» will contribute in a substantial way to a better knowledge of these self-proven solutions, and to further remarkable achievements all over the world.

I wish to thank all those who contributed to this booklet, both writers and suppliers of photographic material and, last but not least, advertisers.

Willy De Lathauwer - Tutor of the "Immersed Tunnels" Working Group - ITA Past Vice-President

Très vite, l'idée a germé d'utiliser Tribune, la lettre de l'AITES, comme instrument de promotion bien plus large, et même mondial, de ces solutions, principalement dans les pays confrontés aux besoins de traverser des rivières et des voies d'eau autrement qu'avec des ponts mobiles ou très hauts permettant la navigation.

La première version sera distribuée gratuitement à tous les destinataires réguliers de Tribune, à tous les participants au World Tunnel Congress d'Oslo et au congrès mondial des routes qui se tiendra à Kuala Lumpur en octobre 1999.

Des versions dans d'autres langues pourraient être envisagées ultérieurement, en accord avec les pays membres de l'AITES et le comité exécutif.

A l'avenir, je suggère que le Groupe de Travail continue à promouvoir ces solutions, en mettant peut-être plus l'accent sur les tunnels flottants submergés. La première réalisation de ce type, à travers l'Høgsfjord en Norvège, est dans sa phase finale de préparation. Le comité exécutif de l'AITES est prêt à poursuivre son soutien sans faille à ces efforts.

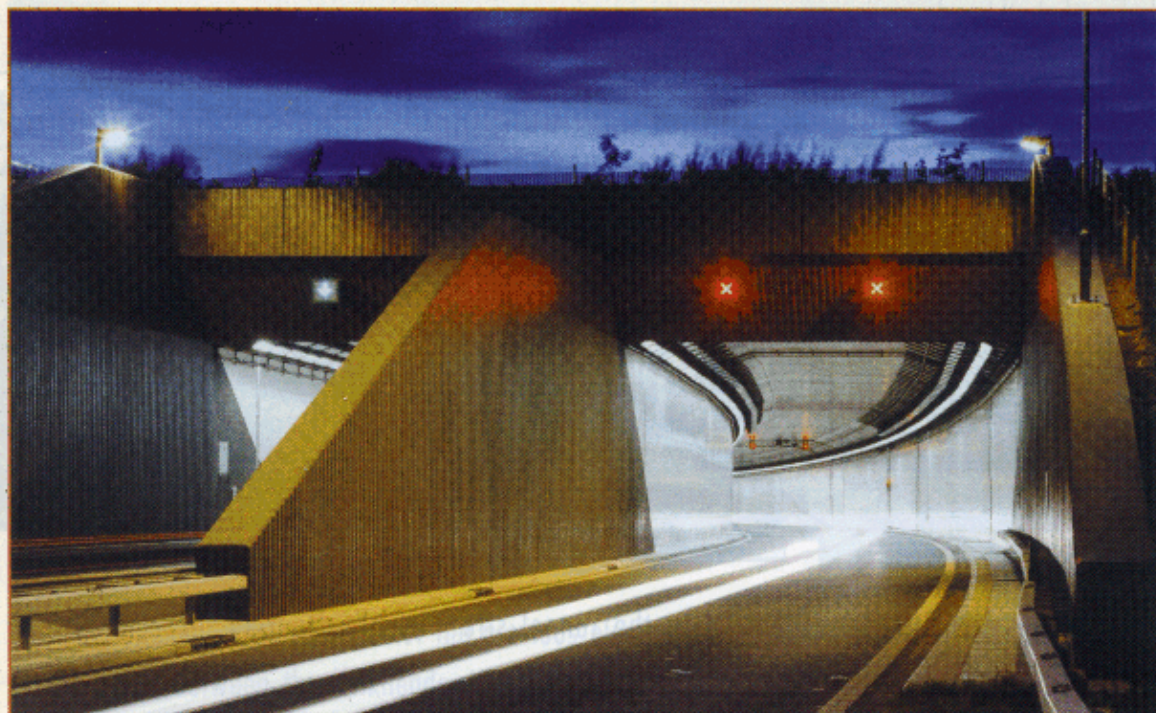
J'espère sincèrement, et le comité exécutif de l'AITES me suit dans cette attente, que ce numéro spécial de Tribune contribuera de manière significative à mieux faire connaître ces solutions qui ont fait leurs preuves, et à réaliser d'autres ouvrages remarquables dans le monde.

Je souhaite remercier tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de ce fascicule, aussi bien les rédacteurs que ceux qui ont transmis les matériaux photographiques, sans oublier enfin et surtout, les annonceurs.

Willy De Lathauwer - Tuteur du groupe de travail "Tunnels Immergés"
- ITA Past Vice-President

HOW IMMERSED TUNNELS ARE BUILT

Once completed, an immersed tunnel is no different operationally from any other tunnel. However, it is built in a completely different way. The technique is explained here.



A trench is dredged in the bed of the water channel.



Une fois terminé, un tunnel immergé ne diffère pas, du point de vue opérationnel, d'un tunnel d'un autre type. Cependant, sa construction a été complètement différente. La technique est expliquée ci-après.

Dragage d'une tranchée dans le lit d'un canal.

IMMERSED TUNNELS • ITA - AITES

HOW IMMERSED TUNNELS ARE BUILT

The idea rose from the need to build tunnels in a different way than with movable or fixed bridges allowing navigation.

Tunnel elements are constructed in the dry, for example in a casting basin, a fabrication yard, on a ship-lift platform or in a factory unit. The ends of the element are then temporarily sealed with bulkheads.



Each tunnel element is transported to the tunnel site - usually floating, occasionally on a barge, or assisted by cranes.

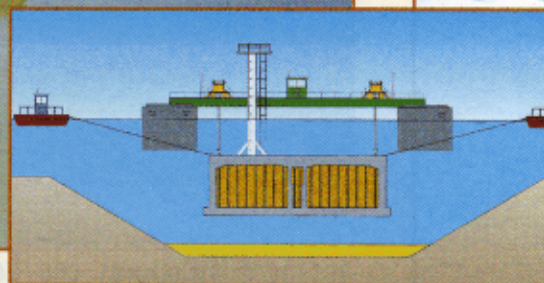


Les caissons du tunnel sont construits au sec, par exemple dans un bassin de bétonnage, un chantier de fabrication, une barge ou une usine. Les extrémités du caisson sont alors provisoirement étanchéisées au moyen de cloisons étanches.

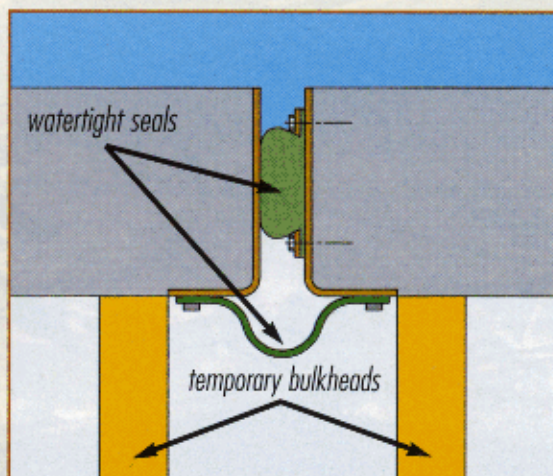
Chaque caisson de tunnel est transporté sur le site de l'ouvrage, habituellement par flottaison, occasionnellement sur une péniche ou avec l'assistance de grues.

HOW IMMERSED TUNNELS ARE BUILT

The tunnel element is lowered to its final place on the bottom of the dredged trench.



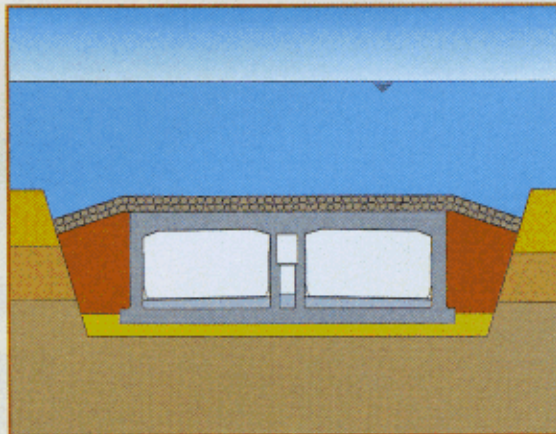
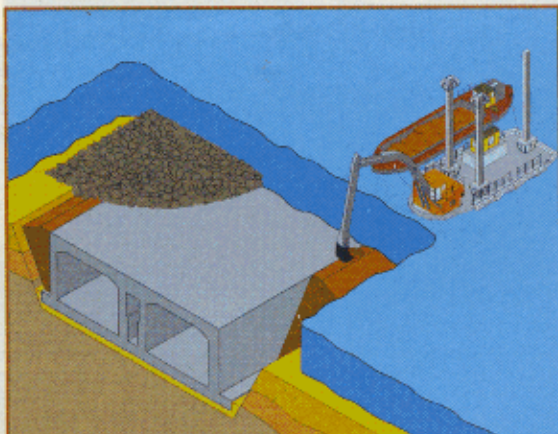
The new element is placed against the previous element under water. Water is then pumped out of the space between the bulkheads. Water pressure on the free end of the new element compresses the rubber seal between the two elements, closing the joint.



Le caisson de tunnel est déposé sur le fond de la tranchée creusée. Le nouveau caisson est placé contre le caisson précédent sous l'eau. L'eau est ensuite pompée d'entre l'espace se trouvant entre les cloisons étanches. La pression de l'eau sur la face libre du nouveau caisson comprime le joint caoutchouté entre les deux caissons ce qui assure une jonction étanche.

HOW IMMERSED TUNNELS ARE BUILT

Backfill material is placed beside and over the tunnel to fill the trench and permanently bury the tunnel, as illustrated below.



Approach structures can be built on the banks before, after or concurrently with the immersed tunnel, to suit local circumstances.

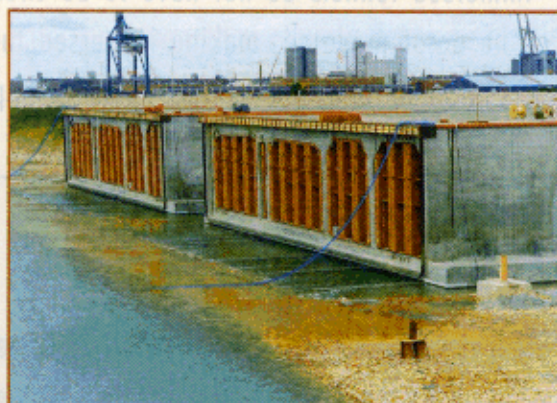
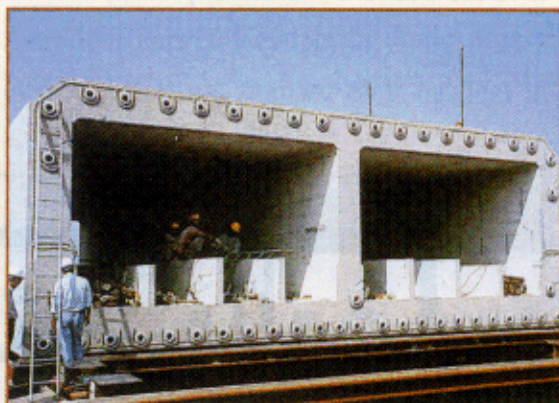


Un lit de remblais est posé de part et d'autre et au-dessus du tunnel afin de combler la tranchée et enterrer définitivement celui-ci tel que le montre l'illustration.

Les ouvrages d'approche peuvent être construits préalablement, après ou simultanément au tunnel immergé afin de s'adapter aux circonstances locales.

IS IT A NEW IDEA ?

Immersed tunnels have been in widespread use for about 100 years. Over 150 have been constructed all over the world, about 100 of them for road or rail schemes. Others include water supply and electricity cable tunnels. The examples below indicate the diversity of projects that have been realised.

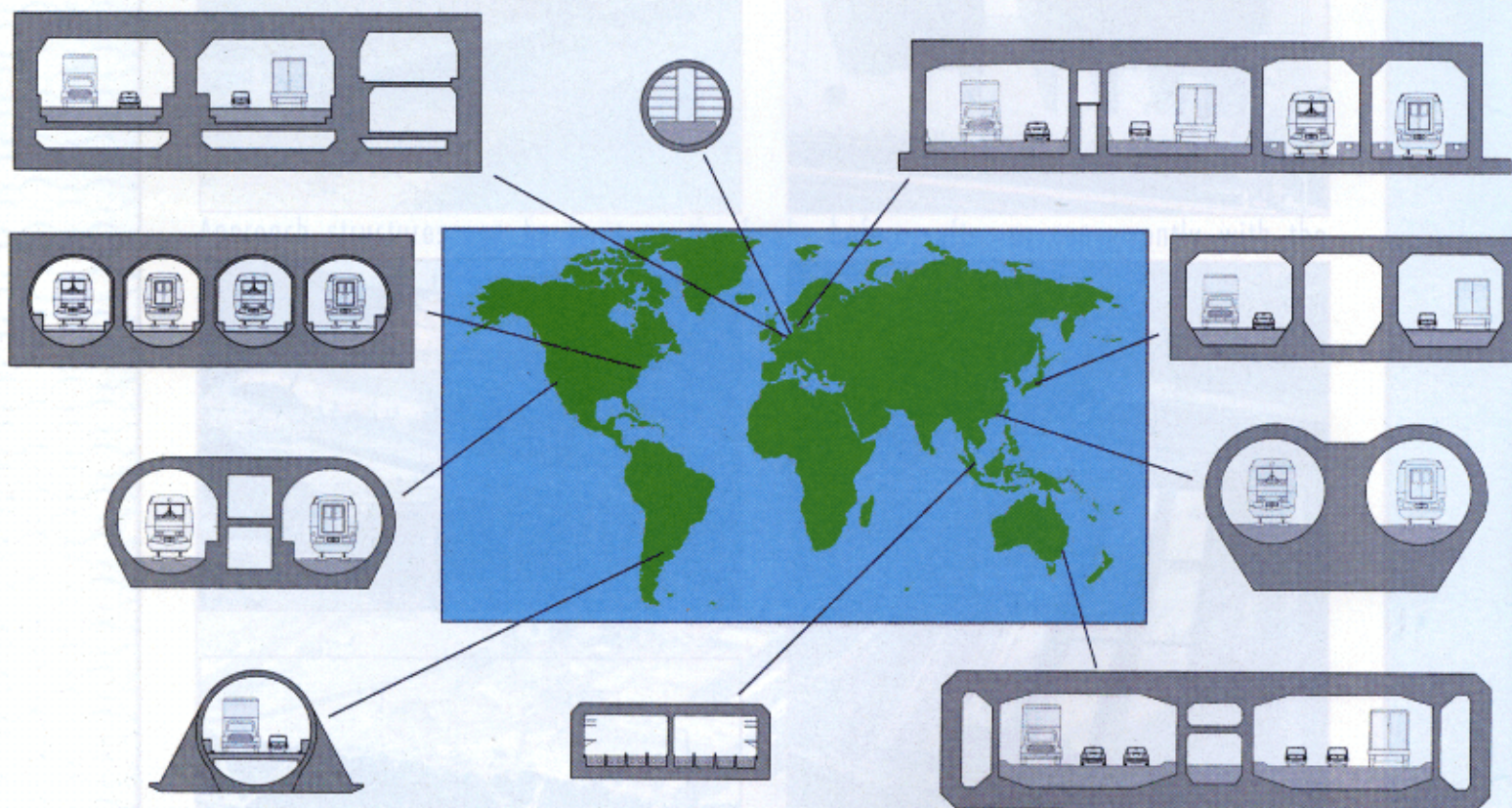


Les tunnels immergés ont été d'un usage très répandu pendant environ un siècle. Plus de 150 ont été construits dans le monde entier, dont 100 pour des projets routiers et ferroviaires. D'autres furent construits pour des besoins d'adduction d'eau ou pour faire passer des câbles électriques. Les exemples ci-dessus illustrent la diversité des projets qui ont été réalisés.

WHY CHOOSE AN IMMERSED TUNNEL ?

Immersed tunnels do not suit every situation. However, if there is water to cross, they usually present a feasible alternative to bored tunnels at a comparable price, and they offer a number of advantages, such as:

- Immersed tunnels do not have to be circular in cross section. Almost any cross section can be accommodated, making immersed tunnels particularly attractive for wide highways and combined road/rail tunnels. Some examples of realised cross sections are shown below.

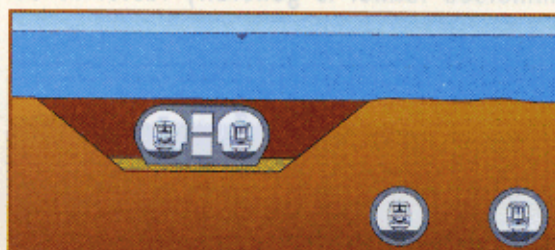
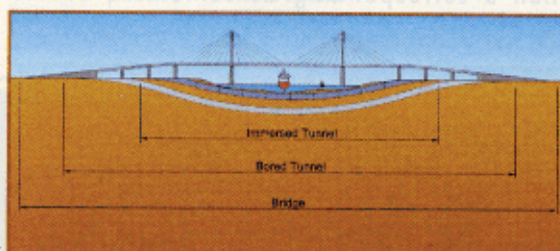


Les tunnels immergés ne sont pas adaptés à chaque situation. Toutefois, si de l'eau doit être traversée, ils offrent en général une alternative de faisabilité aux tunnels forés à un coût comparable et ils présentent un certain nombre d'avantages à savoir :

- La section des tunnels immergés peut ne pas être circulaire. Quasiment n'importe quelle section est possible, ce qui rend les tunnels immergés particulièrement attrayants pour les autoroutes de grande largeur ou pour les tunnels combinés route/rail. Ci-dessus figurent quelques exemples de sections.

WHY CHOOSE AN IMMERSED TUNNEL ?

- Immersed tunnels can be placed immediately beneath a waterway. In contrast, a bored tunnel is usually only stable if its roof is at least its own diameter beneath the water. This allows immersed tunnel approaches to be shorter and/or approach gradients to be flatter - an advantage for all tunnels, but especially so for railways.



- Immersed tunnels can be constructed in ground conditions which would preclude bored tunnelling or render it prohibitively expensive, such as the soft alluvial deposits characteristic of large river estuaries. They can also be designed to deal with the forces and movements in earthquake conditions, as in the example illustrated below, to be placed in very soft ground in an area prone to significant earthquake activity.

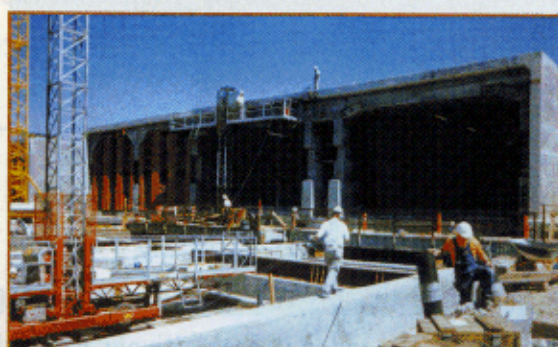


• Les tunnels immergés peuvent être positionnés immédiatement sous une voie navigable. En revanche, un tunnel foré n'est stable, en général, que si sa couverture est au moins égale à son propre diamètre. Ceci permet des rampes d'accès aux tunnels immergés plus courtes et/ou des pentes d'accès inférieures, ce qui constitue un avantage pour tous les types de tunnels mais plus encore pour les tunnels ferroviaires.

• Les tunnels immergés peuvent être construits dans des conditions géologiques qui écarteraient le creusement mécanisé ou qui le rendraient prohibitif en termes de coûts c'est-à-dire les dépôts alluvionnaires meubles qui caractérisent les estuaires fluviaux. Ils peuvent également être conçus pour résister aux pressions ou mouvements lors de tremblements de terre, comme l'illustre l'exemple ci-contre, afin d'être posés sur un sol très meuble dans une zone propice à une importante activité sismique.

WHY CHOOSE AN IMMERSED TUNNEL ?

- Bored tunnelling is a continuous process in which any problem in the boring operation threatens delay to the whole project. Immersed tunnelling creates three operations - dredging, tunnel element construction and tunnel installation, which can take place concurrently, thus moderating programme risk considerably. Partly for this reason, an immersed tunnel is generally faster to build than a corresponding bored tunnel.



- Le creusement mécanisé est un processus continu dans lequel tout problème qui se pose au cours du creusement menace de retarder tout le projet. En matière de tunnel immergé, les trois opérations qui ont lieu - dragage, construction des caissons et installation de ceux-ci - peuvent avoir cours simultanément ce qui réduit considérablement les risques du programme. En partie pour cette raison, un tunnel immergé prend moins de temps à construire que le tunnel foré équivalent.

WHEN ARE THERE ANY SPECIAL PROBLEMS ?

Immersed tunnels are sometimes perceived by newcomers to the technology as "difficult" due to the presence of marine operations. In reality though, the technique is often less risky than bored tunnelling and construction can be better controlled. The marine operations, though unfamiliar to many, pose no particular difficulties. The perceived problems include:



Dredging: Dredging technology has improved considerably in recent years, and it is now possible to remove a wide variety of material underwater without adverse effects on the environment of the waterway.



Les tunnels immergés sont parfois perçus par les néophytes de cette technologie comme "difficiles" en raison de la nécessité d'effectuer des opérations maritimes. Pourtant, en réalité, cette technique est souvent moins risquée que le creusement mécanisé et leur construction peut être mieux contrôlée. Les opérations maritimes, bien que peu familières à beaucoup d'entre nous, ne posent pas de difficultés particulières. Les problèmes perçus incluent :

Dragage : La technologie des dragages s'est considérablement améliorée au cours des dernières années et il est à présent possible d'extraire une large variété de matériau sous-marin sans effets secondaires sur l'environnement de la voie navigable.

ARE THERE ANY SPECIAL PROBLEMS ?

Interference with navigation: On busy waterways, it is sometimes assumed that construction of an immersed tunnel would be impractical as it would interfere with shipping. In fact, such tunnels have been successfully built in some exceptionally busy waterways without undue problems.



Watertightness: It is often assumed that the process of building a tunnel in water, rather than boring through the ground beneath it will increase the likelihood of leakage. In fact, immersed tunnels are nearly always much drier than bored tunnels, due to the above-ground construction of the elements. Underwater joints depend on robust rubber seals which have proved effective in dozens of tunnels to date.

Interférence sur la navigation : Sur les voies navigables très fréquentées, on suppose parfois que la construction d'un tunnel immergé ne serait pas applicable parce qu'elle interférerait sur la navigation. En fait, on a réussi à construire des tunnels immergés à travers des voies navigables extrêmement fréquentées sans problèmes majeurs.

Étanchéité : On suppose souvent que le processus de construction d'un tunnel dans l'eau, plutôt que celui du creusement d'un tunnel dans le sol sous l'eau, va accroître la probabilité de fuites. En fait, les tunnels immergés sont presque toujours beaucoup plus étanches que les tunnels forés grâce à la construction en surface des caissons. Les jonctions sous l'eau entre caissons dépendent de joints caoutchoutés robustes qui se sont avérés efficaces dans des dizaines de tunnels construits à ce jour.

WHEN SHOULD I CHOOSE AN IMMERSSED TUNNEL ?

Whenever there is a need to cross water, an immersed tunnel should be considered. The final choice of crossing type will of course depend on many factors. The table below gives an indication of circumstances which favour immersed tunnelling.

Alignment: Immersed tunnels can be built shallow, permitting shorter tunnels and flatter alignments than bored tunnels.

Cross section: Immersed tunnel cross sections are highly versatile, making them particularly suitable for wide highways and combined road/railway crossings.

Water depth: Typically built in between 5m and 30m of water, although schemes have been postulated for 100m depth. Submerged floating tunnel technology (see next chapter) will make water depth immaterial.

Ground conditions: Most types of ground can be dealt with, including soft alluvial materials. Conditions unsuited to bored tunnelling do not usually pose a problem. Design for earthquake zones has shown to be perfectly feasible.

Land availability: Immersed tunnels are often prefabricated remote from the final immersion site, allowing installation in extremely congested (e.g. urban) locations where nearby land is not available.

Reclamation: Dredging operations present an opportunity to reshape riverbanks and coastlines as part of a tunnel construction scheme. They are, for example, commonly associated with land reclamation schemes.

Chaque fois qu'un besoin de traverser une rivière se fait sentir, un tunnel immergé devrait être pris en considération. Le choix final du type de traversée dépend de nombreux facteurs. Le tableau ci-dessous donne une indication des circonstances qui plaident en faveur de la construction de tunnels immergés.

Tracé : Les tunnels immergés peuvent être construits à faible profondeur, permettant des longueurs plus courtes et des tracés plus plats que pour les tunnels forés.

Section : Les sections des tunnels immergés sont très polyvalentes ce qui rend l'usage de ces tunnels particulièrement adapté aux autoroutes de grande largeur et aux traversées de transport combiné route/rail.

Profondeur d'eau : Généralement construits entre 5 m et 30 m de profondeur d'eau bien que des projets jusqu'à 100 m de profondeur ont été proposés. La technologie du tunnel flottant submergé (voir chapitre suivant) rendra la profondeur d'eau immatérielle.

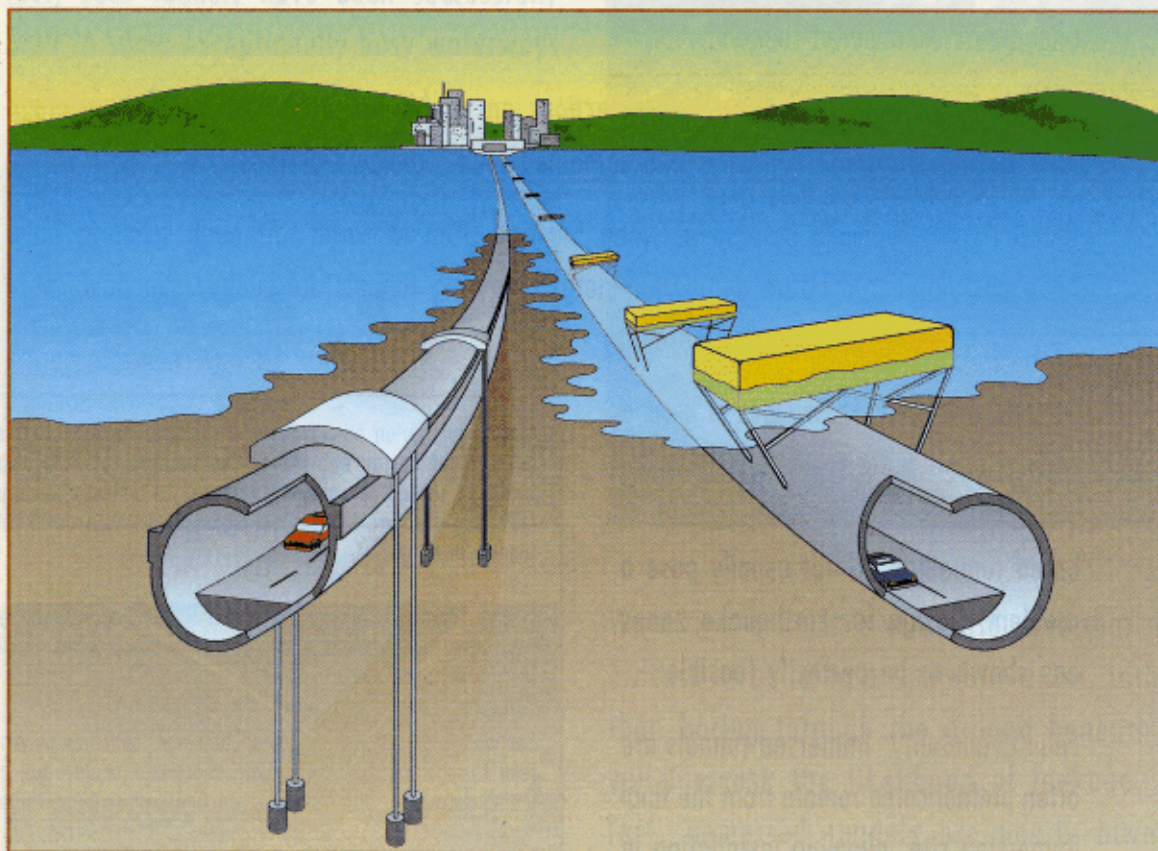
Conditions géologiques : La plupart des types de sols peuvent être négociés, y compris les alluvions meubles. Les conditions inadaptées au creusement mécanisé ne posent habituellement pas de problèmes. La conception de tunnels immergés en zones de tremblements de terre est parfaitement faisable.

Disponibilité foncière : Les tunnels immergés sont souvent préfabriqués loin du site d'immersion définitif ce qui permet l'installation des caissons dans des endroits extrêmement embouteillés (donc urbains) où il n'y a pas de terrains disponibles à proximité.

Reconquête de terrains : Les opérations de dragage sont l'occasion de réaménager les rives fluviales et les côtes dans le cadre de la construction d'un tunnel immergé. Par exemple, les tunnels immergés sont souvent associés à des projets de reconquête de terrains.

A NEW DEVELOPMENT: THE SUBMERGED FLOATING TUNNEL

Traditional immersed tunnelling results in a tunnel buried beneath the waterway which it traverses. A new development- the submerged floating tunnel - consists of suspending a tunnel within the waterway, either by tethering a buoyant tunnel section to the bed of the waterway, or by suspending a heavier-than-water tunnel section from pontoons.



La construction traditionnelle de tubes immergés se traduit par un tunnel enterré sous la voie navigable traversée. Un nouveau développement - le tunnel flottant submergé - consiste à suspendre un tunnel au sein de la voie d'eau, soit en ancrant un tube flottant au lit de la voie navigable par des attaches soit en suspendant un tube plus lourd que l'eau à des flotteurs.

Cette technique n'a pas encore été réalisée mais un projet est en phase d'études en Norvège. Le tunnel flottant submergé permet la construction d'un tunnel dont le tracé est à faible profondeur mais dans des eaux très profondes, là où toute alternative est techniquement difficile ou d'un coût prohibitif. Parmi les applications les plus probables de cette technique figurent les traversées des fjords, des canaux maritimes étroits et profonds et des lacs de grande profondeur.

This technique has not yet been realised, but one project, in Norway, is currently in the design phase. The submerged floating tunnel allows construction of a tunnel with a shallow alignment in extremely deep water, where alternatives are technically difficult or prohibitively expensive. Likely applications include fjords, deep, narrow sea channels, and deep lakes.