

TUNNELS

ISSN 0399-0834

ET ESPACE SOUTERRAIN



N° 250 - Juillet/Août 2015



ÉTANDEX

Association Française
des Tunnels et de
l'Espace Souterrain
French Tunnelling and
Underground Space Association





BÉTON PROJETÉ + ÉTANCHÉITÉ, DES TUNNELS MAÎTRISÉS

- Accélérateurs pour béton projeté Sigunit®
- Fibres pour béton projeté SikaFibre®
- Étanchéité des joints Sika Dilatec®
- Adjuvantation pour voussoirs Sika ViscoCrete®
- Membranes pour tunnels SikaPlan®
- Produits pour tunneliers : Sika Foam®, Sika Grease®, Sika Drill®...



Service lecteur : bpe@fr.sika.com
www.sika.fr

BUILDING TRUST



TUNNELS

ET ESPACE SOUTERRAIN

Revue bimestrielle n° 250
Bi-monthly magazine
Juillet/Août 2015

Dépôt légal 2^{ème} semestre 2015

ORGANE OFFICIEL DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE DES TUNNELS ET DE L'ESPACE SOUTERRAIN
OFFICIAL ORGAN OF THE FRENCH TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE ASSOCIATION



www.aftes.asso.fr

EDITORIAL 243

AFTES INFO 244



ÉDUCATION-MASTÈRE 249

Sessions de formation proposées dans le cadre du Mastère Spécialisé « Tunnels et Ouvrages Souterrains »

TECHNIQUE / TECHNICAL 251



L'apport du Laboratoire souterrain de l'Andra pour le choix et la mise au point des techniques de creusement des ouvrages souterrains du projet de stockage de déchets radioactifs Cigéo

Gilles Armand, Frédéric Plas, Jean-Michel Bosgiraud

The contribution of Andra's Underground Laboratory to selection and development of excavation techniques for the underground structures of the Cigéo radioactive waste repository project

TECHNIQUE / TECHNICAL 271



Attaque en pleine section ou section divisée ?

Le cas du tunnel de Chamoise sur l'A40

Martin Putz-Perrier, Nicolas Gilleron, Emmanuel Bourgeois, Adrien Saïtta

Full-face versus sequential excavation - A case study of the Chamoise tunnel

VISITE DE CHANTIER / SITE VISIT 283



Visite de chantier : réparation et étanchéité du tunnel de Rive-de-Gier

François Paillette

Site visit: repair and sealing work on the Rive-de-Gier tunnel, Loire

COMMUNICATION & ÉVÈNEMENTS 288



World Tunnel Congress 2015 Dubrovnik, Croatie - 24/27 mai 2015
Compte-rendu partiel de la 41^{ème} Assemblée Générale de l'AFTES

VISITE DE CHANTIER 304

Visite de l'AFTES chez NFM-Technologies

Philippe Millard

VISITE DE CHANTIER 306

Visite de l'AFTES chez SANDVIK MINING AND CONSTRUCTION France à Meyzieu

Jean-Christophe Pillet, Alain Mercusot

VIE DE L'AFTES 309

Inauguration du tunnel de Chabrières dans les Alpes de Haute Provence
Un chantier "écoresponsable" sous Maîtrise d'ouvrage Etat

Christelle BASSI

AGENDA 311

ETANDEX
91402 Orsay
Tél. 01 69 33 62 00
Fax : 01 60 19 00 50

www.etandex.fr



© Etandex

Tunnel de Rive de Gier

Les articles signés n'engagent que la responsabilité de leur auteur. Tous droits de reproduction, traduction, adaptation, totales ou partielles sous quelques formes que ce soit, sont expressément réservés.

Articles are signed under the sole responsibility of their authors. All reproduction, translation and adaptation of articles (partly or totally) are subject to copyright.

NOS EXPERTS VOUS ACCOMPAGNENT EN FRANCE ET À L'INTERNATIONAL

Systemes d'exploitation - Génie civil
Dossiers de sécurité et d'exploitation
Équipements de sécurité
Géotechnique

Autoroute Bar - Boljare (Monténégro)
Contrôle des études et supervision des travaux

LA MAÎTRISE DE VOTRE PROJET, DE SA CONCEPTION À SA RÉALISATION



Activité Infrastructures
Tél. +33 1 49 04 55 00
ingerop@ingerop.com
ingerop.fr



APPEL AUX JEUNES !

Nombre de lecteurs pensent – comme nous – que le numérique ne détrônera pas le papier et qu'il en est plutôt un complément indispensable. Le temps n'est pas encore venu où le kiosque à journaux sera remplacé par une borne où l'on pourra télécharger sa revue préférée sur une clé USB ou sur sa montre connectée... Ainsi, bien que les débats du 41^{ème} Congrès annuel de l'AITES soient disponibles en version intégrale sur le web (www.ita-aites.org), en publions-nous ici de larges extraits dont nous pensons qu'ils contribueront à mieux faire connaître l'AITES et découvrir ses nombreuses similitudes – mutatis mutandis – avec l'AFTES : date de création, comités, groupes de travail, publications, enseignement, congrès, etc. Certes, comparaison n'est pas raison : l'AFTES a certainement le leadership en matière de recommandations techniques et du pourcentage de membres/habitant ; en revanche, notre association a au moins deux faiblesses (relatives, ne nous flagellons pas..) par rapport à l'AITES : les matériels et produits (Comité ITA-Tech) et la promotion des jeunes (Comité ITA-Young Members). Notre revue T&ES est l'un des instruments qui peuvent aider à combler ce retard par une publication accrue sur les deux sujets en s'appuyant précisément sur les jeunes que nous devons mieux "attirer" vers nos professions. Vœu pieux... qui ne date pas d'aujourd'hui, mais qui revêt aujourd'hui un caractère d'urgence.

Il n'aura échappé à aucun lecteur que ce numéro de T&ES est le 250 – chiffre intéressant- mais que 250 n'étant pas divisible par 6, ce n'est qu'avec le numéro 252, le dernier de cette année, que nous bouclerons 42 ans de publication de T&ES... Fierté plutôt que nostalgie... Nous continuons à regarder vers l'avant...comme des jeunes !

Bonne lecture !

A CALL TO YOUTH!

A large number of our readers think – as we do – that rather than replacing the paper medium, digital technology will continue to remain an essential complement. The time has not yet come when the newsstand is replaced by a terminal where you can download your preferred magazine onto a memory stick or a smartwatch... Thus, while the debates held during the 41st annual ITA conference are available in their full version on the web (www.ita-aites.org), we are using this newsletter to publish large extracts that we feel will contribute to a better understanding of ITA and help readers discover its numerous similarities – mutatis mutandis – with AFTES: date of creation, committees, work groups, publications, training courses, conferences, etc. Of course, to compare is not to prove: AFTES clearly holds a leading position in terms of technical recommendations and in the percentage of members/inhabitants. On the other hand, our association has at least two weaknesses (that are relative, let us not belittle ourselves...) when compared with ITA: materials and products (ITA-Tech committee) and the promotion of young people (ITA-Young Members committee). Our T&ES magazine is one of the tools that could contribute to closing the gap by further publications on the two subjects, specifically focussing on the youth that we seek to "attract" towards our professions. A pious hope that goes back some time but which is now becoming urgent.

All of our readers will have realised that this is the 250th issue of T&ES – an interesting number – but given that 250 cannot be divided by 6, it will only be with the 252nd issue, the last one to be published this year, that we will have completed 42 years of publishing T&ES. It is a period to look back on with pride rather than nostalgia and we will continue to look ahead – just like our youth!

Enjoy your read !

Maurice Guillaud, Rédacteur en chef / Chief editor

Directeur de publication : Yann LEBLAIS - **Rédacteur en chef :** Maurice GUILLAUD - **Comité de rédaction :** Nicole Bajard, Responsable site AFTES - Anne BRISSAUD, Responsable communication NFM Technologies - Didier DE BRUYN, Vice-Président ABTUS - Michel DUCROT, Eiffage TP - Pierre DUFFAUT, Ingénieur-conseil - Frédéric PELLET, Mines-Paristech - Bernard FALCONNAT, Ingénieur-conseil - Jean-Paul GODARD, Cadre de direction honoraire RATP - Jean-Bernard KAZMIERCZAK, Inéris - Benjamin LECOMTE, VINCI Construction - Alain MERCUSOT, CETU / Secrétaire Général AFTES - Gilles PARADIS, SNCF IGOA Tunnels - Jean PIRAUD, Antéa - Patrick RAMOND, Razel-Bec - Patrice SALVAUDON, Expert judiciaire - François VALIN, Comité MEP, AFTES - Michèle VARJABEDIAN, Systra - **AFTES - Siège social :** AFTES - 15, rue de la Fontaine au Roi - 75011 PARIS - Tél. : +33 (0)1 44 58 27 43 - aftes@aftes.fr - **Adhésion :** **Secrétariat AFTES :** Sakina MOHAMED - Site Web : www.aftes.asso.fr - **Edition Spécifique :** 33, place Décurel - F 69760 LIMONEST **Maquette :** Estelle PORCHET - **Publicité :** Catherine JOLIVET - catherine.jolivet@specifique.eu - Tél. : 33 (0)4 37 91 69 50 - Télécopie : 33 (0)4 37 91 69 59 - **Abonnement :** laurenne.denoyelle@specifique.eu



Dernières nouvelles / Latest news

Installation des équipements à St B at

En octobre, débutera l'installation des équipements du tunnel de Saint B at de 1066 mètres sur la RN 125. Les travaux comprennent l'installation des équipements électriques, de la ventilation, des extracteurs de fumées, de l'éclairage, du contrôle du trafic, de la vidéosurveillance, des équipements de signalisation et de communication, ainsi que la détection des incidents et des incendies. L'excavation du tunnel de Saint B at a été réalisée par le groupement Guintoli / Solétanche Bachy France / Solétanche Bachy Tunnels / Pizzarotti / CSPA. Le tunnel devrait être mis en service début 2017.



Installation of equipment in the St B at tunnel

The installation of equipment in the 1,066 m long St B at tunnel on the RN125 will begin in October. The work includes the installation of electrical equipment, ventilation, smoke extractors, lighting, traffic control, video surveillance, signaling and communications equipment, as well as the detection of incidents and fires. The excavation of the St B at tunnel was achieved by the JV Guintoli / Soletanche Bachy France / Soletanche Bachy Tunnels / Pizzarotti / CSPA. The tunnel is expected to be commissioned in early 2017.

Rénovation du tunnel du Roux

Le Conseil départemental de l'Ardèche a attribué le contrat pour la rénovation du revêtement du tunnel du Roux   NGE Génie Civil SAS GRANDS TRAVAUX. Ce tunnel mono tube de 3,3 km de long, situé sur la RD 160   Saint Cirgues en Montagne, a été mis en service en 1929.

Renovation of the Tunnel du Roux

The Ardeche County Council awarded the contract for the renovation of the Tunnel du Roux lining to NGE Génie Civil SAS Grands Travaux. This 3.3 km



long single tube tunnel, located at Saint Cirgues en Montagne on the RD 160, was commissioned in 1929.

Financement du Lyon-Turin

Le 13 juillet, un rapport parlementaire remis au Premier Ministre français, M Manuel Valls, propose d'augmenter le p age sur les autoroutes alpines afin de financer la construction de la liaison ferroviaire Lyon-Turin. Une augmentation du tarif des p ages sur les autoroutes transalpines de 10 à 15% pour les poids lourds permettrait de dégager 40 millions d'euros de recettes au profit de la construction du tunnel ferroviaire reliant Lyon   Turin. Par ailleurs, une partie de la hausse d j  vue des tarifs des tunnels du Mont-Blanc et du Fréjus pourrait être affectée au financement du Lyon-Turin. Au total, d'après les hypothèses retenues par les auteurs du rapport, les recettes nettes provenant des tunnels alpins (8,9 M ) des autoroutes des Alpes du Nord (11,9 M ) et des Alpes du Sud (19,7 M ) dépasseraient les 40 millions d'euros. Pour éviter un choc tarifaire, Messieurs Bouvard et Destot suggèrent d'introduire ces majorations de manière progressive, « par exemple sur cinq ans à raison de +2% ou +3% par an, soit une hausse de moins de deux euros par an sur les trajets les plus longs ». Ils estiment que ce surp age pourrait être maintenu « jusqu'à 50 ans après l'ouverture du tunnel de base », soit théoriquement à la fin des années 2070. Une augmenta-

tion pouvant aller jusqu'à 25% est autorisée par l'Union Européenne, dans le cas où les revenus sont consacrés au financement d'un projet européen transfrontalier en zone de montagne. Au total, un investissement de 8,17 milliards d'euros sera nécessaire sur une période de 12 ans pour financer la liaison, dont 40% devraient être financés par l'UE, le restant étant partagé entre l'Italie (57,9%) et la France (42,1%).



Financing the Lyon-Turin link

On July 13, a parliamentary report submitted to the French Prime Minister, Mr Manuel Valls, proposes to increase the toll on the alpine highways in order to finance the construction of the Lyon-Turin high speed rail link. A 10 to 15% increase of the toll rates for heavy trucks on the transalpine highways would bring a 40 million euros revenue in favor of the construction of the Lyon-Turin rail tunnel. Moreover, part of the increase already planned for the toll in the Mont Blanc and Fréjus tunnels could be used to finance the Lyon-Turin. In total, according to the assumptions of the report, the total net income from Alpine tunnels (  8.9 million), highways in the Northern Alps (  11.9 million) and the Southern Alps (  19.7 million) would exceed 40 million euros. To avoid any toll rate shock, Messrs. Bouvard and Destot suggest introducing these increases gradually, «for example over five years at a rate of 2% or 3% per year, an increase of less than two euros a year for the longest trips». They believe that this extra-toll could be maintained «until 50 years after the opening of the base tunnel» i-e theoretically in the late 2070s. An increase of up to 25% is authorized by the European Union, in the event that revenues are used to finance a cross-border European project in a mountain area. A total investment of 8.17 billion euros will be needed over a 12 years period to fund the Lyon-Turin link, of which 40% should be financed by the EU, the remainder being shared between Italy (57.9%) and France (42.1%).



Etudes des corridors de la TCP

Depuis le mois d'avril, le GEIE pour la Traversée Centrale des Pyrénées élabore les études sur les corridors possibles de cette future liaison fret entre l'Aragon en Espagne et Midi Pyrénées en France. Les études sont réalisées par le groupement RCCS/EPITSA / ANTEA. Les études comprendront les paramètres techniques de chaque solution, notamment le tracé du tunnel, les facteurs de planification et l'estimation des coûts.

Studies of TCP (Trans Pyrénées Central Crossing) corridors

Since April, the Economic Interest Group (EIG) for the Pyrenees Central Crossing develops studies on the possible corridors of this future freight link between the Aragon region in Spain and Midi Pyrenees in France. The studies are carried out by the JV RCCS / EPITSA / ANTEA. The studies will provide all technical parameters for each solution, including the route of the tunnel, planning factors and cost estimates.

CNDP pour le tunnel de Semnoz

Début juillet, le comité de pilotage mis en place par le département de la Haute-Savoie et la ville

d'Annecy a présenté les études de trafic confirmant la nécessité de la construction du tunnel de Semnoz de 2,9 km sur la RD 1508 entre Faverges et Annecy. En effet, le tunnel permettra de réduire le trafic de près de 50% entre Annecy et Sevrier en 2023. De plus, le comité a approuvé la transmission du projet à la Commission Nationale du Débat Public, même si cette procédure n'est pas obligatoire pour ce projet. Le coût du tunnel du Semnoz est estimé à 142,5 millions d'euros qui devraient être financés par le Département de la Haute-Savoie.



CNDP (French national public debate Commission) for the Semnoz tunnel

In early July, the steering committee set up by the department of Haute-Savoie and the city of Annecy presented traffic studies confirming the need for the construction of the 2.9 km long Semnoz tunnel on the department road 1508 between Faverges and Annecy. This tunnel will reduce traffic between Annecy and Sevrier by nearly 50% in 2023. In addition, the Committee approved the draft being forwarded to the French national public debate Commission, although this procedure may be not mandatory for this project. The cost of the Semnoz tunnel is estimated at 142.5 million euros, which should be funded by the Department of the Haute-Savoie.

Financement de l'AFITF

Le 25 juin, le secrétaire d'Etat aux transports Alain Vidalies a confirmé que le budget de l'Agence de financement des infrastructures de transports de France (Afitf) ne sera pas ponctionné par Bercy cette année. Les 2,3 milliards d'euros de recettes de 2015 devraient pérennisées au-delà. En toute logique, le dispositif fiscal voté pour le budget 2015 devrait donc être reconduit en 2016, pour générer un peu plus de 1,1 milliard d'euros : 800 millions d'euros au titre de la surtaxe de deux centimes sur le gazole (TICPE) sur les véhicules légers, auxquels s'ajouteraient 350 millions d'euros générés par la surtaxe de 4 centimes (2 centimes de TICPE et 2 centimes de taxe carbone) pour les poids lourds.



Financing the AFITF (French transport infrastructure financing Agency)

On June 25, Alain Vidalies, Secretary of State for Transport, confirmed that the budget for AFITF will not be reduced by Bercy this year. The 2.3 billion euros in revenues in 2015 should be maintained beyond. Logically, the tax device voted for the 2015 budget should be renewed in 2016, to generate a little over € 1.1 billion: € 800 million for the extra-charge of two cents on diesel fuel (TIPCE) for light vehicles, and € 350 million generated by the surcharge of 4 cents (2 cents TICPE + 2 cents carbon tax) for heavy vehicles.

Ile-de-France



Prolongement de la ligne 4 du métro parisien

Le groupement Spie Batignolles TPCI (mandataire) / Spie Fondations / Dodin Campenon Bernard / Chantiers Modernes Construction / Sogea

Tpi / Botte Fondations a obtenu le contrat pour la construction du lot T1 dans le cadre de l'extension de la ligne 4 entre Montrouge et Bagneux. Ce lot comprend la construction de la station Verdun et une section en tunnel de 630 m, réalisée par des méthodes conventionnelles comprenant les ouvrages suivants :

- Tunnel Nord : entre le cul-de-sac Montrouge et l'accès principal à la station,
- Tunnel de Liaison : entre l'accès principal et la station Verdun Sud,
- Station Verdun Sud,
- Tunnel Sud : entre la station Verdun Sud et le tunnel cadre du lot T2.

Situé sur d'anciennes carrières souterraines de calcaire, ce chantier implique en amont d'importants travaux de consolidation. Ils consistent en la réalisation d'injection préalable depuis la surface et de confortement à pied d'œuvre. Le marché du lot T1 comprend d'autres travaux

à mener par les équipes du groupement dont Spie batignolles TPCI est mandataire, à savoir :

- la création d'un accès principal et secondaire à la station,
- la réalisation d'une baie d'aération motorisée (BAM),
- la construction d'un poste de Redressement-Ventilation (PR),
- la creusement d'un puits d'accès aux carrières et d'une galerie de traitement.

Ce prolongement correspond à un tracé de 1,9 km supplémentaire à partir de la station Mairie de Montrouge. Les travaux devraient durer 5 ans. Le montant du contrat est de 73 millions d'euros.

Extension of Line 4 of the Paris metro

The JV Spie Batignolles TPCI (leader) / Spie Fondations / Dodin Campenon Bernard / Chantiers Modernes Construction / Sogea Tpi / Botte Fonda-

tions was awarded the contract for the construction of Work Package T1 as part of the extension of line 4 between Montrouge and Bagneux. This T1 WP includes the construction of Verdun station and a 630m long tunnel, achieved by conventional methods including the following works:

- North tunnel: between the Montrouge cul-de-sac and the main access to the station
- Connecting Tunnel: between the main access and Verdun South Station
- Verdun South Station
- South tunnel: between Verdun South Station and the T2 WP tunnel.

This project, located on former underground limestone quarries, involves major preliminary consolidation work consisting of conducting prior injection from ground level and reinforcement at work level. The T1 WP contract includes other work to be carried out by the Spie Batignolles TPCI group, namely:

- Construction of a primary and of a secondary access to the station,
- Construction of a motorized aeration bay (BAM),
- Building a Recovery-Ventilation station (PR)
- Excavation of an access shaft to the quarries and of a processing gallery.

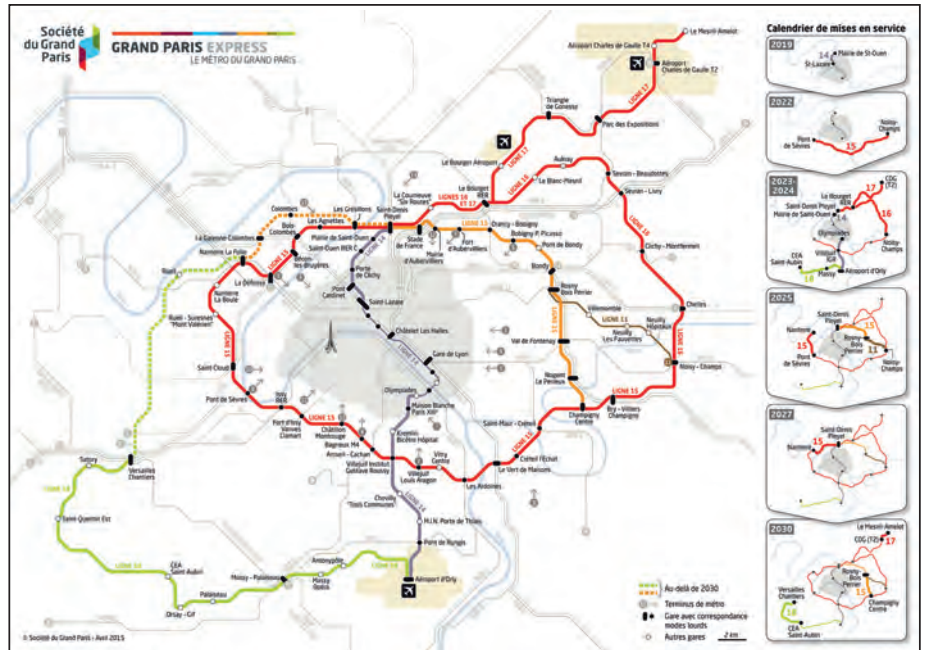
This extension corresponds to an additional 1.9 km section from the Mairie de Montrouge station. The work is expected to last 5 years. The contract value amounts to € 73 million.

Démarrage sur la ligne 15 du Grand-Paris-Express

La Société du Grand Paris a publié un appel d'offres pour la construction d'une nouvelle section de la ligne 15 Est du projet de métro Grand Paris Express. Un tunnel de 4,6 km sera foré entre les stations de Noisy Champs et Bry-Villiers- Champigny, ainsi qu'un autre de 2,2 km pour atteindre le futur site de maintenance de Champigny ; ces deux tunnels auront un diamètre de 8,7 m. Les travaux comprennent également une section de 100 mètres en tranchée couverte. Un appel d'offres séparé a été publié pour la construction de la station-dépôt de Noisy Champs incluant une tranchée couverte de 500 mètres. Le Conseil de surveillance de la Société du Grand Paris a approuvé les investissements pour deux sections du projet Grand Paris Express : 3,015 milliards d'euros pour la section de 20,3 km de la ligne 15 Ouest entre Pont de Sèvres et Saint Denis Pleyel, et un investissement de 2,14 milliards pour la section de 14 km de la ligne 14 Sud entre Olympiades et l'aéroport d'Orly. En outre, un financement de 630 millions d'euros est prévu pour poursuivre les travaux préparatoires de la ligne 15 Sud. Enfin, le Conseil de surveillance a approuvé un investissement de 167 millions pour la rénovation des lignes de RER A, C et D.

Starting on line 15 of the Grand Paris Express

Société du Grand Paris has issued a tender for the construction of a new section of Line 15 East



of the Grand Paris Express metro project. Two tunnels, both 8.7m diameter, will be constructed: one 4.6 km long between the Noisy-Champs and Bry-Villiers-Champigny stations and another 2.2 km-long one to reach the future Champigny maintenance site. The work also includes a 100 meters cut-and-cover section. A separate tender was issued for the construction of the Noisy-Champs depot-station including a 500 meters covered trench. The Supervisory Board of the Société du Grand Paris approved the investment for two sections of the Grand Paris Express project: 3.015 billion euros for the 20.3 km of Line 15 West section between Pont de Sèvres and Saint Denis Pleyel, and an investment of 2.14 billion euros for the 14 km section of the Line 14 South between Olympiades and Orly airport. In addition, funding of € 630 million is expected to carry on with the preparatory work of Line15 South. Finally, the Supervisory Board approved an investment of € 167 million for the renovation of RER lines A, C and D.

Subvention européenne pour le Grand Paris Express

Le comité chargé de la coordination du mécanisme pour l'interconnexion en Europe a validé le 10 juillet la proposition de la Commission Européenne d'octroyer une subvention de 31,2 millions d'euros à la SGP pour la réalisation des études d'avant projet de plusieurs lignes du Grand Paris Express. Cette subvention s'inscrit dans le nouveau dispositif de soutien aux « nœuds urbains » créée en 2014 pour encourager les projets qui concourent, au sein d'une zone urbaine, à l'amélioration des connexions entre les infrastructures prioritaires du réseau trans-européen de transport, tels que les aéroports ou les grandes gares ferroviaires. Elle contribuera à l'accélération des études sur les trois lignes dont la mise en service est prévue

en 2024 : le prolongement de la ligne 14 jusqu'à l'aéroport d'Orly, la ligne 17, qui assurera la desserte des aéroports du Bourget et de Roissy et la ligne 18 qui améliorera la desserte de la gare TGV de Massy et l'aéroport d'Orly.

European grant for the Grand Paris Express

On July 10th, the committee in charge of coordinating the European Interconnection network has approved the proposal from the European Commission to award SGP a grant of 31.2 million euros for the preliminary studies of several lines of the Grand Paris Express. This grant is part of the new support mechanism for «urban nodes» created in 2014 to encourage projects that contribute, in an urban area, improving connections between priority infrastructures of the trans-European transportation network, such as airports and major railway stations. It will contribute to the acceleration of studies on the three lines whose commissioning is scheduled for 2024: the extension of Line 14 to Orly airport, Line 17 which will provide transport links to Bourget and Roissy airports and Line 18 which will improve connection to the Massy TGV station and Orly airport.

International

ROYAUME UNI / UNITED KINGDOM

Tunnel de 36,5 km pour le développement d'une mine de potasse

Les Conseils du comté de Scarborough et du district de Ryedale ont publié un communiqué pour soutenir la construction d'une nouvelle mine de potasse près de Withby dans le Nord-Est de l'Angleterre. La construction de cette mine inclut la réalisation d'un tunnel de 36,5 km de long et 6 m de diamètre pour le transport du minerai (MTS); il sera construit à une profondeur variant entre 120 et 360 mètres entre la mine et le site de traitement et à partir de 5 puits d'accès avec 5 attaques d'environ 7,5 km de long chacune. Le creusement serait réalisé au tunnelier et par des méthodes conventionnelles. Le projet nécessite un investissement de 337 millions d'euros. Le 1^{er} juillet, l'autorité du Parc National North York Moors (NYMNP) a donné son feu vert à la construction du tunnel.

A 36.5 km long tunnel for the development of a potash mine

The Scarborough County and Ryedale District Councils issued a statement to support the construction of a new potash mine near Whitby in the North East of England. The construction of the mine includes the construction of a 36.5 km long and 6 m-diameter tunnel for the transport of the ore; it will be built from the mine to the treatment site at a depth varying between 120 and 360 meters, from 5 access shafts and 5 drives about 7.5 km long each. Tunnelling would be achieved by both TBM and conventional methods. The project requires a 337 million euros investment. On July 1, the North York Moors National Park Authority (NYMNP) gave the green light to the construction of the tunnel.

ALLEMAGNE / GERMANY

Nouveau tunnel entre Offenburg et Bâle

Le 26 juin, le gouvernement fédéral allemand et le gouvernement du Bade-Wurtemberg ont signé un accord pour l'élargissement de 2 à 4 voies de la ligne de la vallée du Rhin entre Offenburg et Bâle. L'accord comprend la construction d'un tunnel bi-tube d'environ 7 km le long de l'A5 entre Offenburg et Riegel. Une solution en surface avec des protections anti-bruit avait été initialement proposée par les chemins de fer. Le coût de la solution en tunnel est estimé à 1,2 milliard d'euros financés par le gouvernement fédéral. La ligne de la vallée du Rhin reliant Karlsruhe à Bâle est l'une des plus fréquentées d'Allemagne et a atteint sa capacité maximale avec 250 trains par jour. L'élargissement complet de la ligne devrait être achevé en 2030.

A new tunnel between Offenburg and Basel

On June 26, the German federal government and the Baden-Württemberg government have signed an agreement for the widening from 2 to 4 tracks of the Rhine Valley railway line between Offenburg and Basel. The agreement includes the construction of an approx. 7 km-long twin-tube tunnel along the A5 between Offenburg and Riegel. A surface solution with noise protections had been initially proposed by the railway authorities. The cost of the tunnel solution is estimated at 1.2 billion euros to be funded by the federal government. The Rhine valley line between Karlsruhe and Basel, one of the busiest in Germany, has reached its maximum capacity with 250 trains a day. The full widening of the line should be completed in 2030.



ROYAUME UNI / UNITED KINGDOM

Groupements pour la HS2

Plusieurs entreprises ont confirmé la formation de groupements pour les offres de la première phase du projet de la LGV HS2. Récemment le groupement Carrillion / Eiffage / Kier a annoncé sa création, alors que les groupe-

ments FCC Construction / Murphy / Laing O'Rourke, Ferrovial / Bam / Morgan Sindall / Amey, Bouygues / Sir Robert McAlpine / Volker Wessels et Balfour Beatty / Vinci ont déjà été créés. Plusieurs appels d'offres vont être publiés pour la conception et la construction de cette ligne de 230 km entre Londres et Birmingham qui devrait comprendre environ 40 km de tunnels.

JVs for the HS2 High Speed Line

Several companies have confirmed setting up JVs for the tenders of the first phase of the HS2 line project. Recently the JV Carrillion / Eiffage / Kier announced its creation, while the 4 JVs FCC Construction / Murphy / Laing O'Rourke, Ferrovial / Bam / Morgan Sindall / Amey, Bouygues / Sir Robert McAlpine / Volker Wessels and Balfour Beatty / Vinci have already been created. Several calls for bids will be issued for the design and construction of this 230 km line between London and Birmingham which should include about 40 km of tunnels.

ALGÉRIE / ALGERIA

Inauguration de l'extension du métro d'Alger

Le 4 juillet dernier, le Premier Ministre algérien, M. Abdelmalek Sellal, a inauguré l'extension de 4 km de la ligne 1 du métro d'Alger entre Hai El Badr et El Harrach. Le génie civil a été réalisé par le groupement Dywidag / Cosider / Trevi et le système ferroviaire a été installé par Colas Rail et Kou G.C. Deux autres extensions devraient être mises en service en 2017.



Inauguration of the extension of the Algiers metro

On 4 July, the Algerian Prime Minister Abdelmalek Sellal inaugurated the 4 km extension of the Algiers metro Line 1 between Hai El Badr and El Harrach. Civil engineering was carried out by the JV Dywidag / Cosider / Trevi and the railway system was installed by Colas Rail and Kou G.C. Two more extensions should be commissioned in 2017.

SUISSE / SWITZERLAND

Une gare souterraine à Berne

Les études pour une gare souterraine à Berne, comprenant 4 voies et un tunnel d'accès de 700 mètres de long, ont été terminées par un groupement formé de Emch + Berger AG / Basler Hofmann AG. La société des chemins de fer suisses CFF et la société ferroviaire RBS ont transmis le projet à la Confédération. Le coût total du projet est de 430 millions d'euros qui seront financés par la Confédération et le canton de Berne.

An underground railway station in Bern

The JV Emch-Berger AG/Basler Hofmann AG has completed the studies for a 4-track underground railway station in Bern, including a 700 m long access tunnel. The CFF Swiss Railways Company and the RBS railway company have submitted the project to the Confederation. The total project cost is 430 million € to be financed by the Confederation and the Canton of Bern.



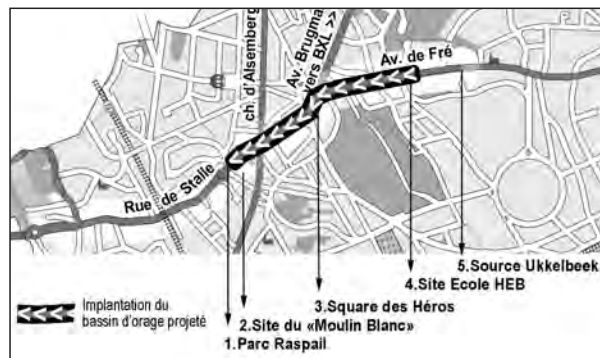
SUISSE - BELGIQUE / SWITZERLAND - BELGIUM

Tunnels anti-crues

• Les cantons de Zurich et de Schwyz ont décidé de lancer les études d'un tunnel anti-crues entre Lagnau am Albis et Thalwil sur le lac de Zurich. Le projet comprend un tunnel de dérivation de 2,1 km et de 6,6 m de diamètre intérieur. Le canton de Zurich a provisionné 4,5 millions d'euros pour l'élaboration des études. Le projet pourrait être approuvé par le gouvernement fin 2017 ou début 2018 et les travaux de construction devraient débuter fin 2019 au plus tôt.

Anti-flood tunnels

• The cantons of Zürich and Schwyz decided to launch the studies of an anti-flood tunnel between Lagnau am Albis and Thalwil on Lake Zürich. The project includes a 2.1 km-long and 6.6 m-ID bypass tunnel. The canton of Zürich has provisioned € 4.5 million for the studies. The project could be approved by the Government late 2017 or early 2018 and construction should begin late 2019 at the earliest.



• En Belgique des travaux similaires sont prévus, en effet, la société Vivaqua a confié au groupement SM Sodraep / Sade / Smet-Tunnelling le projet de construction d'un système de stockage des eaux d'orage de 20 000 m³ comprenant un tunnel de connexion de 1,5 km de long qui sera excavé au tunnelier. Le tunnel reliera l'avenue De Free à l'avenue Bruggemann et à la rue de Stalle. Les travaux devraient débuter en août pour deux ans et demi.

• Similar work is planned in Belgium: the Company Vivaqua has awarded the SM Sodraep / Sade / Smet-Tunnelling JV the construction of a 20,000 m³ storm water storage including a 1.5 km long connecting tunnel to be excavated with a TBM. This tunnel will link De Free Avenue to Bruggemann Avenue and Stalle street. Work should begin in August and last two and a half years.

Entreprises / Business



ARCADIS

Les 770 collaborateurs français et leurs 750 collègues belges de la société ARCADIS se regroupent sous une même Direction. Luc Hellemans, actuel CEO d'ARCADIS Belgique, va symboliser dès le 1er juillet 2015 cette alliance d'envergure européenne. La société internationale d'ingénierie souhaite fédérer ses expertises et poursuit ainsi sa démarche de solutions globales auprès de ses clients. « ARCADIS France va continuer à se distinguer par la qualité des solutions apportées auprès de ses clients. Nous continuerons également à accompagner nos collaborateurs afin de les aider à développer leurs talents, gage de notre succès ».

The 770 French employees and their 750 Belgian colleagues come together under one management. As of 1 July 2015, Luc Hellemans, current CEO of ARCADIS Belgium, will symbolize this European alliance. The international engineering company wants to gather its expertise fields and pursues its approach to provide global solutions to its customers. « ARCADIS France will continue to be distinguished by the quality of the solutions to its customers. We will also continue to support our employees to help them develop their talents, a guarantee of our success ».

Sessions de formation proposées dans le cadre du Mastère Spécialisé « Tunnels et Ouvrages Souterrains »

La rentrée de la 5^{ème} promotion du Mastère spécialisé "Tunnels et Ouvrages Souterrains" délivré en co-accréditation par l'INSA de Lyon et l'ENTPE aura lieu le 28 septembre 2015.

Après quatre années d'existence, la qualité de cette formation est aujourd'hui largement reconnue, tant par les étudiants qui l'ont suivie (50 à ce jour) que par les entreprises et ingénieries ayant accueilli ces étudiants en stage ou les ayant embauchés.

Cette reconnaissance par les étudiants et par la profession est largement le fruit de l'investissement dans cette formation des spécialistes français de haut niveau qui apportent toutes leurs connaissances et leur expérience pour présenter de manière approfondie l'état de l'art actuel dans les principaux domaines de la conception et de la réalisation des ouvrages souterrains.

A la suite d'échanges au sein de l'AFTES, ainsi qu'avec le Syndicat des Travaux Souterrains, il est apparu intéressant de rendre plus largement accessible au sein de la profession ce travail considérable de mise en forme des connaissances actuelles dans le domaine des travaux souterrains.

Dans ce but, l'équipe pédagogique du Mastère propose d'ouvrir dès cette année un module du Mastère Spécialisé comme "Session de Formation Continue" à destination des salariés d'entreprises, de bureaux d'ingénierie ou de grandes maîtrises d'ouvrages travaillant dans le domaine des travaux souterrains.

Pour l'année 2015-2016, il est proposé l'accès au module "Techniques de construction". Celui-ci a été organisé en conséquence en 3 sessions indépendantes se déroulant à partir de la fin octobre 2015 :

- La première d'une durée de 3 jours est consacrée au « Creusement des tunnels par la méthode conventionnelle »
- La deuxième consacrée au « Creusement au tunnelier, réalisation des ouvrages annexes et confortement des terrains », est organisée en deux sessions de 2 jours
- La troisième intitulée « Revêtement, étanchéité, ouvrages annexes et autres techniques » est également organisée en deux sessions de 2 jours.

Le calendrier de ces trois sessions, leur programme détaillé ainsi que les modalités d'inscription sont sur le site www.aftes.asso.fr. ♦

IFS
Innovative • Fire • Systems
We make your structures safer

Gare Montpellier Saint-Roch

PLAKABLE 75
Testé au feu HCM 120
Testé au feu CN 240
T° des Câbles inférieure à 85°C

Tunnel de l'étoile - Strasbourg

Tunnel des Sévines

Tunnel des Halles

+33 (0) 382 53 18 11 www.innovativefiresystems.com

1000 mètres de galeries ANDRA creusés à Bure 2008 - 2015



Savoir faire la différence

L'apport du Laboratoire souterrain de l'Andra pour le choix et la mise au point des techniques de creusement des ouvrages souterrains du projet de stockage de déchets radioactifs Cigéo

The contribution of Andra's Underground Laboratory to selection and development of excavation techniques for the underground structures of the Cigéo radioactive waste repository project



Gilles ARMAND ^{1a}
ANDRA



Frédéric PLAS ^{1b}
ANDRA



Jean-Michel BOSGIRAUD ²
ANDRA

¹ Direction de la Recherche et Développement

^a Chef du service Mécanique des Fluides et des Solides

^b Directeur

² Direction de l'Ingénierie et du Projet Cigéo (responsable du programme d'essais technologiques)

1 - Contexte

Le Parlement français a voté deux lois, en 1991 et 2006, concernant la gestion des déchets radioactifs en France. Consacrée aux déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) et de haute activité (HA), la loi du 30 décembre 1991 prévoyait 15 ans de recherches sur 3 solutions potentielles de gestion à long terme de ces déchets (entreposage de longue durée, stockage géologique profond et séparation/transmutation). L'Andra, en charge des études sur le stockage géologique, a engagé l'étude préliminaire de plusieurs sites candidats ; puis, après décision du gouvernement en 1998, l'Andra, s'est focalisée sur le site de Meuse/ Haute Marne, avec notamment, dès 2000, la construction à 500 mètres

de profondeur d'un Laboratoire souterrain de recherche sur la commune de Bure, au cœur de la formation argileuse du Callovo-Oxfordien envisagée comme roche hôte du stockage.

Au terme des 15 ans de recherche, suite à l'évaluation des résultats obtenus sur les 3 axes de recherche et un débat public conduit par la Commission Nationale du Débat Public en 2005-2006, le Parlement français a retenu dans la loi de 2006 comme solution de référence la mise en œuvre du stockage géologique profond pour la gestion à long terme des déchets HA et MA-VL, ajoutant une exigence de réversibilité sur au moins 100 ans.

Dès 2007, l'Andra a engagé les études permettant la préparation d'une demande d'autorisation de

1 - Background

In 1991 and 2006 the French government passed two laws on the management of radioactive waste in France. To deal with long-life medium level waste (déchets de moyenne activité à vie longue, MA-VL) and high-level waste (haute activité, HA), the Act of December 30, 1991 provided for 15 years of research into 3 potential solutions for long-term management of this waste (long-term storage, a deep-level geological repository and separation/transmutation). Andra, with responsibility for geological repository studies, commenced preliminary studies for a number of potential sites. Following a decision by the French government in 1998, Andra then focused on a site in Meuse/Haute Marne. From 2000 onwards, it commenced construction

of an underground research laboratory in the municipality of Bure, at a depth of 500 m, at the heart of the Callovo-Oxfordian argillite formation being considered as the host rock for the repository.

At the end of this 15-year period of research, following evaluation of the results from the three avenues of research and a public enquiry coordinated by CNDP in 2005-2006, in the 2006 Act the French parliament opted for the implementation of deep-level geological storage for long-term management of high-level and medium-level long-life waste, adding a requirement for reversibility for a period of at least 100 years for the repository.

In 2007, Andra commenced design work in preparation for a request for

création du stockage géologique profond à l'horizon 2015. Les travaux déjà menés dans le Laboratoire souterrain sur la caractérisation de la roche hôte se sont poursuivis afin de consolider les précédents acquis et de préciser la localisation du futur stockage. En parallèle, l'Andra a développé un important programme d'études, en particulier sur la réalisation technologique des ouvrages souterrains du stockage. Dès 2009, l'Andra a ainsi initié le projet Cigéo (centre industriel de stockage géologique) afin de mener les études d'esquisse, puis d'avant-projet sommaire et enfin d'avant-projet détaillé pour la demande d'autorisation de création, prévue en 2017 suite au débat public sur le projet qui s'est déroulé en 2013.

Cigéo comprendrait différents ouvrages souterrains aux fonctions spécifiques, schématiquement : (a) des ouvrages de liaison surface-fond (descenderies et puits) qui assureraient le transfert des colis, des travailleurs et des matériaux, notamment la remontée des argiles excavées, ainsi que l'entrée et la sortie de l'air de ventilation, (b) des galeries d'accès depuis la base des ouvrages de liaison surface-fond jusqu'aux zones de stockage et (c) des zones de stockage comprenant des galeries d'accès et des alvéoles de stockage. Ces ouvrages présenteront des caractéristiques géométriques et des modalités de construction et d'exploitation propres. Le diamètre des ouvrages pourra ainsi varier de l'ordre de 0,7 mètre (alvéoles de stockage des déchets HA) jusqu'à environ plus de 10 mètres (galeries d'accès et alvéoles de stockage de déchets MA-VL). Les alvéoles de stockage de déchets HA, borgnes, sont revêtues d'un chemisage métallique afin de permettre la mise en place et le retrait éventuel des colis ; tous les autres ouvrages ont un revêtement/

soutènement de type béton, mais avec des méthodes de creusement spécifiques, par exemple tunnelier pour les descenderies et machine à attaque ponctuelle pour les alvéoles de stockage MA-VL.

Par comparaison avec des ouvrages souterrains classiques de génie civil (tunnel routier ou ferroviaire), ceux de Cigéo présentent des caractéristiques spécifiques, sur deux plans distincts :

1. Sur le plan de la sûreté du stockage à long terme (après fermeture) : la construction, l'exploitation, et de manière générale l'évolution de ces ouvrages dans le temps, doivent préserver les propriétés favorables du Callovo-Oxfordien vis-à-vis du confinement des radionucléides : il s'agit notamment de limiter l'endommagement de la roche en champ proche des ouvrages.
2. Sur le plan opérationnel durant la période d'exploitation : la durée de vie des ouvrages sera longue, d'ordre séculaire, durée d'exploitation de Cigéo et la jouvence de certains ouvrages, en particulier des alvéoles de stockage, sera réduite durant cette période.

Afin de répondre aux besoins et spécificités présentées ci-dessus, dès la construction du Laboratoire souterrain en 2000, l'Andra a mis en œuvre un programme d'études sur le comportement (thermo-hydro) mécanique des argillites du Callovo-Oxfordien et de manière couplée les techniques de creusement et de soutènement/revêtement des ouvrages. L'objectif visé était en particulier de maîtriser les interactions roche/structure, ce qui supposait une bonne compréhension des comportements de la roche et de la structure, mais aussi de la méthode de mise en œuvre de la structure.

permission to create a deep-level geological repository, to be submitted by 2015. Previous research conducted in the underground laboratory to clearly define the host rock continued, in order to consolidate existing knowledge and clarify the location of the future facility. At the same time, Andra developed a major programme of investigations, in particular into the technological issues involved in constructing underground storage structures. In 2009, Andra initiated a project known as centre industriel de stockage géologique ('industrial geological storage centre', Cigéo) before carrying out outline studies, a preliminary design study and finally a detailed design study to request permission for construction, planned in 2017, following a public inquiry into the project which took place in 2013.

Cigéo would comprise a variety of underground structures, each with specific functions. Basically, these include: (a) structures linking the surface to the facility (adits and shafts) for transfer of containers, personnel and materials, including the removal of excavated clay, and the ventilation intake and outlet, (b) access galleries running from the bottom of the link structures to the storage areas and (c) storage areas comprising access galleries and storage cells. These structures feature specific geometrical characteristics and construction and operation procedures. The structures may vary in diameter from some 0.7 m (high-level waste storage cells) to more than 10 m (access galleries and storage cells for medium-level long-life waste). The high-level waste storage cells are blind, and include steel lining in order to allow containers to be installed and, if necessary, removed. All the other structures have concrete lining and walls, but feature specific excavation methods, e.g. a

TBM for the adits and roadheaders for the medium-level long-life storage cells.

In comparison with traditional underground civil engineering structures such as road and rail tunnels, those for Cigéo feature specific characteristics in two distinct respects:

1. Long-term security of the repository (after sealing): the construction, operation and more generally changes in the structures over time must preserve the favourable characteristics of the Callovo-Oxfordian environment in terms of confining radionuclides; in particular, this involves minimising damage to the rock immediately adjacent to the structures.
2. In operational terms, during the working period: the lifetime of the structures will be long – around one century, the operational duration of Cigéo; there will be limited scope for rejuvenation of some structures, particularly storage cells, throughout this period.

In order to address the needs and specific characteristics outlined above, right from construction of the underground laboratory in 2000, Andra implemented a programme to study the thermo-mechanical and hydro-mechanical behaviour of Callovo-Oxfordian argillite and concurrently, techniques for the excavation, support and lining of structures. In particular, the aim was to fully understand rock/structure interactions: this involves a good understanding of the rock and structural behaviour, as well as of the way in which the structure is implemented. In particular, this relates to the quality of the interface between the structure and the rock and how it is installed, as well as the excavation method and type of structure (sprayed concrete,

Cela concerne tout particulièrement les conditions de mise en place et la qualité de l'interface entre la structure et la roche, en lien avec la méthode de creusement et le type de structure (béton projeté, voussoirs avec injection en extradossés...).

Après plus de dix ans d'études, le présent article fait un point sur les essais réalisés et les principaux résultats obtenus grâce au Laboratoire de Recherche souterrain de Meuse/Haute Marne, dans le domaine du comportement mécanique des ouvrages souterrains de diamètre pluri-métrique pour le projet Cigéo.

2 - Les caractéristiques du Callovo-Oxfordien

La roche hôte pour l'implantation de Cigéo est la couche d'argile (argillites) du Callovo-Oxfordien formée, il y a environ 160 millions d'années. La zone considérée est localisée en bordure Est du bassin Parisien à cheval entre les départements de la Meuse et de la Haute Marne. La compréhension du contexte géologique local a fait l'objet de travaux de caractérisation importants depuis 1994 (forages, sismiques 2D et 3D) et elle a été régulièrement améliorée, jusqu'à définir, en 2005, une zone de 250 km², dite "zone de transposition" (ZT), sur laquelle a été établie la faisabilité du stockage géologique : les propriétés du Callovo-Oxfordien mesurées dans le Laboratoire souterrain de Meuse/Haute Marne sont extrapolables à la ZT ; celle-ci est à l'écart de grandes structures géologiques, comme le fossé de Gondrecourt-le-Château à l'Est et les failles de la Marne au Sud-Ouest. Les travaux de caractérisation, en particulier une campagne sismique 3D, conduits entre 2006 et 2009, ont permis de déterminer une Zone d'intérêt pour une recherche approfondie (ZIRA) de 30 km² envi-

ron, dans laquelle sont focalisées les études pour l'implantation de Cigéo (cf. Figure 1-a).

Dans la ZIRA, la couche du Callovo-Oxfordien est située à environ 500 mètres de profondeur. Ses propriétés sont très favorables au confinement à long terme des radionucléides contenus dans les déchets, en particulier une épaisseur importante de plus de 130 mètres, une faible perméabilité (inférieure à 10⁻¹² m/s) et une grande homogénéité de ses priorités.

On distingue deux grandes unités lithologiques au sein de la couche du Callovo-Oxfordien, l'unité dite "siltto-carbonatée" (USC) située au toit de la couche et constituée par une fraction argileuse et une fraction siltto-carbonatée importante assurant un squelette qui confère une grande rigidité mécanique à la roche, et l'unité dite "argileuse" (UA) formant l'essentiel de la couche du Callovo-Oxfordien et à dominante d'argile (50-55 %) associée à des carbonates, de 20 à 25 %, et du quartz, environ 25 % (Lerouge et al, 2011). C'est dans cette unité qu'est implanté le Laboratoire souterrain de l'Andra et que pourrait être implantée l'installation souterraine de Cigéo (le niveau d'implantation du stockage vise à garantir une garde d'argillites d'au moins 50 m de part et d'autre du stockage ; cela permet ainsi de limiter fortement le transfert de radionucléides mobiles comme l'iode 129 vers le toit et le mur de la couche du Callovo-Oxfordien, tandis que l'essentiel des autres radionucléides sont immobilisés dans le stockage ou en champ très proche du fait de leurs faibles solubilités et de leur rétention sur les minéraux argileux des argillites). (cf. Figure 1-b).

La porosité de la roche varie entre 14 % et 20 % sur l'épaisseur de la

arch segments with injection on the outer surface, etc.).

Following over ten years of study, this article reviews the tests performed and the main results obtained from Laboratoire de Recherche souterrain de Meuse/Haute Marne (Meuse/Haute Marne Underground Research Laboratory) in the field of mechanical behaviour of underground structures more than several metres in diameter for the Cigéo project.

2 - Characteristics of Callovo-Oxfordian argillite

The host rock in which Cigéo is to be located is a layer of Callovo-Oxfordian clay (argillite) formed some 160 million years ago. The area in question is located at the eastern edge of the Paris basin, straddling the French departments of Meuse and Haute Marne. Major works have been conducted since 1994 to understand and define the local geological context, including boreholes and 2-D and 3-D seismic investigations. The picture steadily became clearer, and in 2005 a 250 km² area known as the "transposition zone" (zone de transposition, ZT) was defined, within which feasibility of a geological repository was investigated. The properties of the Callovo-Oxfordian layer as measured in the Meuse/Haute Marne Underground Research Laboratory can be extrapolated to the ZT, the latter being remote from major geological structures such as the Gondrecourt-le-Château fissure to the east and the Marne fault to the south-west. The definition work carried out in 2006 and 2009, including a 3-D seismic campaign, enabled a zone of interest for in-depth research (Zone d'intérêt pour une recherche approfondie, ZIRA) to be defined: an area of some 30 km² in which Cigéo location studies have been focused (cf. Figure 1-a).

Within the ZIRA, the Callovo-Oxfordian layer is located at a depth of some 500 m. Its properties are highly favourable to the long-term confinement of the radionuclides contained in the waste, in particular a considerable thickness of over 130 m, low permeability (less than 10⁻¹² m/s) and highly uniform properties.

Two major lithological units within the Callovo-Oxfordian layer may be distinguished: the so-called "carbonate-silt unit" (unité siltto-carbonatée, USC) located at the top of the layer and consisting of a clayey component and a major carbonate-silt component, forming a skeleton that in turn gives the rock considerable mechanical rigidity, and the so-called "clayey unit" (unité argileuse, UA) that makes up most of the Callovo-Oxfordian layer, dominated by clay (50-55%) along with 20-25% carbonates and some 25% of quartz (Lerouge et al, 2011). The Andra underground laboratory is located in this unit, as the Cigéo underground installation may be (the level at which the facility is to be located is designed to provide a surrounding argillite protection of at least 50 m; this allows the transfer of free radionuclides such as Iodine-129 towards the roof and walls of the Callovo-Oxfordian layer, while most of the other radionuclides are trapped in storage or very close at hand, given their low solubility and their retention on clayey minerals in the argillite). (cf. Figure 1-b).

Rock porosity varies between 14% and 20% across the thickness of the layer, as measured in the underground laboratory, and is close to 18% at the main laboratory level (Yven et al, 2007). Natural water content is between 5% and 8%, due to the low porosity and the extremely small diameter of the pores (approximately 0.02 mm). The natural mechanical stress field is anisotropic, with a major principal

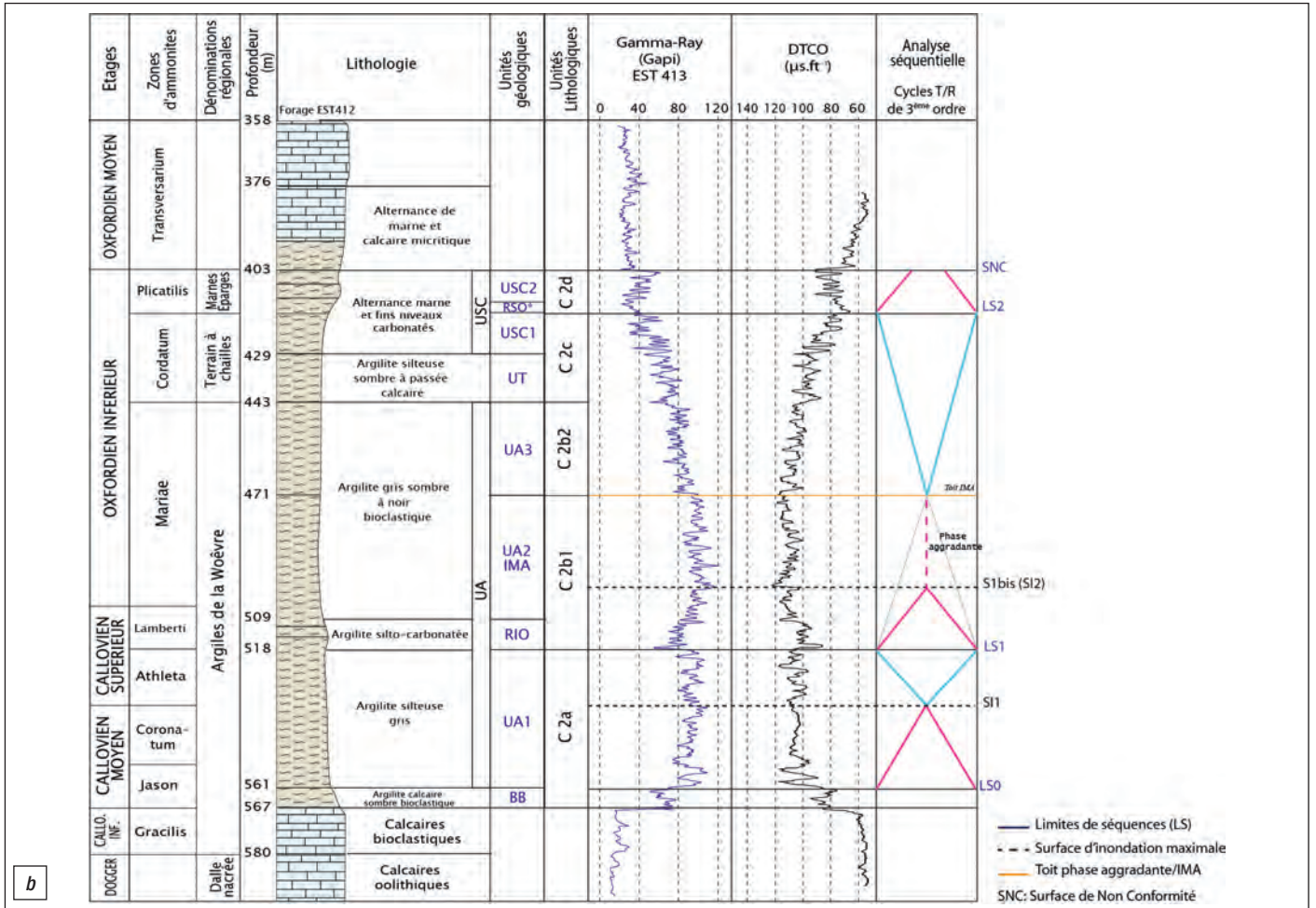
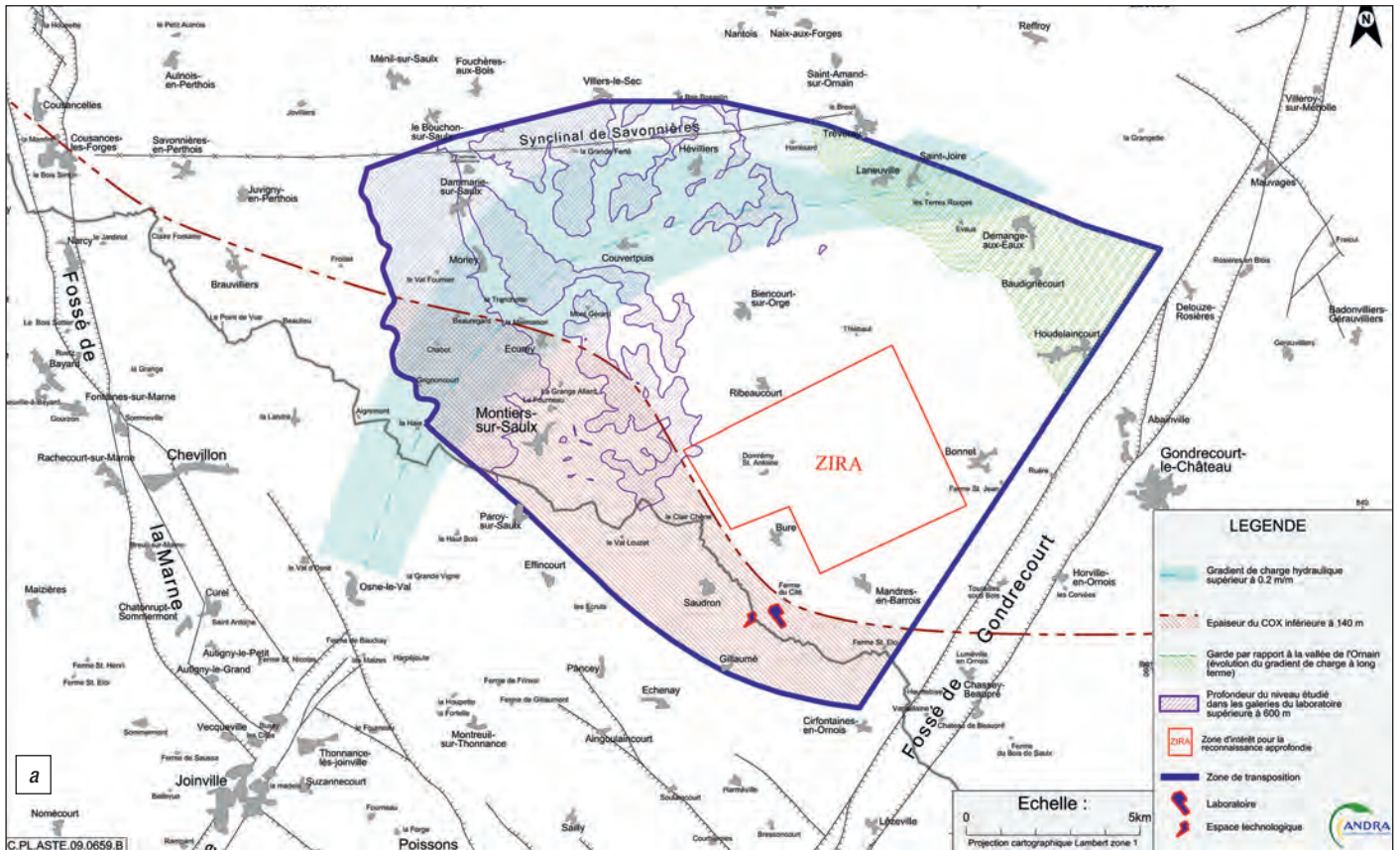


Figure 1 - Implantation potentielle de Cigéo : Zone de transposition et Zone d'intérêt pour une recherche approfondie (a) et (b) Log stratigraphique de la colonne sédimentaire sur la ZT / Potential location of Cigéo: Transposition Zone (ZT) and Zone of Interest for In-Depth Research (ZIRA) (a) and (b) stratigraphic log of the sedimentary column in the ZT.

couche, comme mesurée au Laboratoire souterrain et elle est proche de 18 % au niveau principal d'implantation du laboratoire (Yven et al, 2007). La teneur en eau naturelle est comprise entre 5 % et 8 %, en lien avec la faible porosité et un très petit diamètre moyen des pores (environ 0,02 mm). Le champ de contraintes mécaniques naturelles est anisotrope, avec une contrainte majeure principale σ_h horizontale et orientée N155 environ : de nombreuses mesures réalisées à partir de forages profonds verticaux ou inclinés (fracturation hydraulique, sleeve test, analyse de break out, ...) ou à partir des puits et galeries du laboratoire de recherche souterrain (convergence, mesure dans

forages,...) dans la couche du Callovo-Oxfordien indiquent une contrainte verticale σ_v dans la couche du Callovo-Oxfordien égale à la contrainte mineure principale horizontale σ_h et un ratio contrainte majeure principale horizontale sur contrainte mineure principale horizontale σ_h / σ_h d'environ 1,3 (Wileveau et al, 2007). Au niveau principal du laboratoire souterrain, la contrainte verticale σ_v est estimée à environ 12 MPa. La résistance à la compression simple est de 21 MPa et 40 MPa respectivement pour les argilites de l'unité "argileuse" et celles de l'unité "siltocarbonatee" ; la résistance à la traction est limitée, de l'ordre de 2 MPa, dans l'unité "argileuse".

horizontal stress σ_h , running approximately N155: a large number of measurements performed from deep vertical or inclined boreholes (hydraulic fracturing, sleeve test, breakout analysis, etc.) or from shafts and galleries in the underground research laboratory (convergence, measurement in boreholes, etc.) in the Callovo-Oxfordian layer indicate a vertical stress σ_v in the Callovo-Oxfordian layer equal to the minor principal horizontal stress σ_h and a major principal horizontal stress to minor principal horizontal stress ratio, σ_h / σ_h , of approximately 1.3 (Wileveau et al, 2007). At the main level of the underground laboratory, the vertical stress σ_v is estimated to be equal to approximately 12 MPa.

Unconfined compressive strength is 21 MPa and 40 MPa for the argillite in the "clayey" and "carbonate-silt" units respectively. Tensile strength is limited, at around 2 MPa, in the "clayey" unit.

The Andra underground laboratory (Figure 2) is located at a depth of 490 m, in the centre of the layer in this location. It consists of two access shafts and a network of galleries in which experiments are performed; the shafts and network of galleries are also experiments in and of themselves. More specifically, as soon as it entered the layer, in the "carbonate-silt" unit at the top of the Callovo-Oxfordian layer, at a depth of

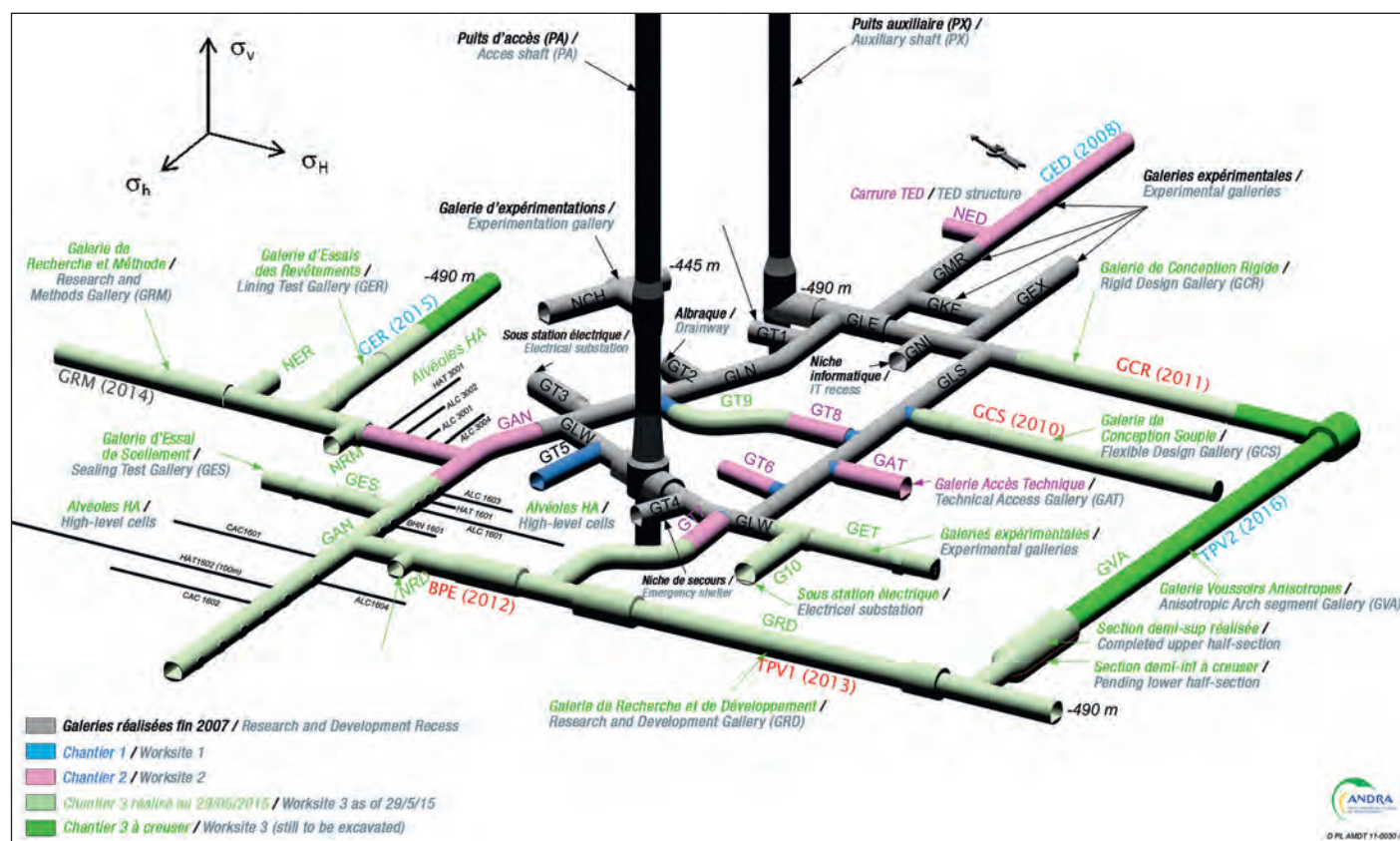


Figure 2 - Réseau de galeries actuel et prévisionnel du Laboratoire souterrain de l'Andra / Andra underground laboratory: existing and planned network of galleries ¹

¹ • Galerie « Galerie de Conception Souple » (GCS) : galerie circulaire (r=2.6 m), excavation machine à attaque ponctuelle (MAP), soutènement: béton projeté (épaisseur 20 cm) avec cales compressibles, boulons radiaux / "Flexible Design Gallery" Gallery (GCS): circular gallery (r=2.6 m), roadheader excavation (MAP), support: sprayed concrete (thickness: 20 cm) with compressible shims and radial bolts
 • Galerie « Galerie de Conception Rigide » (GCR) : excavation similaire à GCS (r= 2.7 m) puis pose d'un revêtement béton coffré (C30/37et C60/75) 6,5 mois après le creusement / "Rigid Design Gallery" Gallery (GCR): excavation similar to GCS (r= 2.7 m) followed by the installation of formwork concrete lining (C30/37 and C60/75) 6.5 months after excavation
 • Galerie GRD2 avec Béton Projeté Epais (BPE) : galerie circulaire (r= 3.15 m), excavation brise roche hydraulique (BRH), soutènement : béton projeté épais (45 cm mis en 4 couches), boulons radiaux / GRD2 Gallery with Thick Sprayed Concrete (BPE): circular gallery (r= 3.15 m), hydraulic rock breaker excavation (BRH), support: thick sprayed concrete (45 cm applied in four layers), radial bolts

Le Laboratoire souterrain de l'Andra (Figure 2) se situe à 490 m de profondeur et au milieu de la couche à cet endroit. Il est constitué de deux puits d'accès et d'un réseau de galeries dans lequel sont menées les expérimentations ; les puits et le réseau de galeries sont en eux-mêmes des expérimentations. Plus spécifiquement, dès son entrée dans la couche, l'Andra a réalisé au toit du Callovo-Oxfordien, dans l'unité "silto-carbonatée", à 445 m de profondeur, une galerie expérimentale pour mener les premières expérimentations avant d'atteindre le niveau principal du Laboratoire souterrain.

Depuis sa création, plus de 40 expérimentations ont été mises en place dans les galeries souterraines du Laboratoire souterrain, avec près de 10 000 points de mesures et plus de 40 000 échantillons de roches prélevés. Le réseau de galeries a aujourd'hui une longueur d'environ 1,5 km. Comme indiqué sur la Figure 2, ce réseau est orienté suivant la direction de la contrainte principale majeure σ_H (direction de l'expérience TPV1 par exemple) et perpendiculairement à cette direction suivant σ_h , afin d'évaluer les conditions de creusement, les caractéristiques de la zone endommagée et le comportement des ouvrages dans le temps suivant ces deux directions. En regard des résultats obtenus, en particulier de l'orientation de la zone endommagée autour des ouvrages, comme cela sera montré plus avant, l'Andra a privilégié d'orienter les alvéoles de stockage suivant σ_h .

3 - La stratégie expérimentale des essais de creusement/soutènement et les mesures mises en œuvre

Le creusement des puits d'accès et celui de la galerie expérimentale

à - 445 m ont permis de disposer d'informations sur le comportement hydromécanique de la partie supérieure du Callovo-Oxfordien, dans l'USC que rencontreront les ouvrages de liaison surface/fond (puits, descenderies), si Cigéo est autorisé. Des recherches sont toujours conduites dans la galerie expérimentale à - 445 m notamment pour étudier le scellement des ouvrages de liaison jour/fond de Cigéo.

La stratégie expérimentale mise en œuvre au niveau principal du Laboratoire souterrain a pour but d'étudier le comportement hydromécanique des ouvrages construits avec différentes méthodes suivant différentes directions vis-à-vis de l'état de contrainte in situ. Elle est basée sur le développement séquentiel du réseau des galeries.

Dans des galeries orientées dans la même direction, des portions avec des soutènements/revêtements de plus en plus rigides, ont été réalisées afin de comparer leurs comportements à court et à moyen terme. Les premiers soutènements mis en œuvre étaient des soutènements dit "souples" (béton projeté avec ou sans cales compressibles et boulonnage radial, béton projeté avec des cintres coulissants et boulonnage radial), accompagnant les convergences du terrain. Des soutènements plus rigides (épaisseur accrue et revêtements coulés en place quelques mois après le creusement) ont aussi été réalisés afin de limiter les déformations du terrain (Tableau 1). Des voussoirs préfabriqués ont aussi été mis en place à l'avancement avec une machine à attaque ponctuelle pour préfigurer un creusement au tunnelier.

La Figure 3 montre les différentes méthodes d'excavation utilisées avec principalement le brise-roche

445 m, Andra built an experimental gallery to conduct initial experiments prior to reaching the main level of the underground laboratory.

Since its creation, over 40 experiments have been set up in the underground laboratory's underground galleries, with almost 10,000 measurement points and over 40,000 rock samples taken. Today, the total length of the network of galleries is some 1.5 km. As shown in Figure 2, this network is aligned with the direction of major principal stress σ_H (for instance, this is the direction of experiment TPV1) and perpendicularly to this direction, following σ_h , in order to evaluate excavation conditions, the characteristics of the damaged area, and the behaviour of structures over time in both these directions. In view of the results obtained, particularly the orientation of the damaged area around the structures, as will be shown subsequently, Andra has opted to orient the storage cells mainly along σ_h .

3 - Experimental strategy for excavation and support tests; measurements implemented

Excavation of the access shafts and the experimental gallery at a depth of 445 m have yielded information as to the hydro-mechanical behaviour of the upper part of the Callovo-Oxfordian layer, in the USC that will interface with the linking structures such as shafts and adits if permission is granted for Cigéo. Research is still underway in the experimental gallery at a depth of 445 m, in particular to study the sealing of Cigéo surface/underground link structures.

The purpose of the experimental strategy used on the main level of the underground laboratory is the study

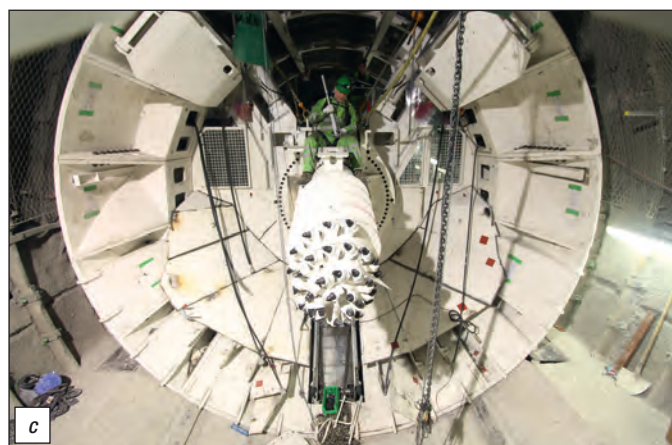
of the hydro-mechanical behaviour of structures built using different methods for different directions in view of the on-site stress conditions. It is based on sequential development of the network of galleries.

In galleries running in the same direction, sections with increasingly rigid supports and linings have been built in order to compare their behaviour in the short to medium term. The first supports used were so-called "flexible" supports (sprayed concrete with or without compressible shims and radial bolting, sprayed concrete with sliding arches and radial bolting), in line with soil convergence values. More rigid supports (thicker and with linings poured in place several months after excavation) were also used in order to minimise soil deformation (Table 1). In addition, prefabricated arch segments were installed as works progressed with a roadheader, to simulate TBM excavation.

Figure 3 shows the different excavation methods used, mainly a hydraulic rock breaker (BRH) and a roadheader (MAP). In view of the small size of the shafts and handling equipment, a full-face TBM could not really be envisaged for the laboratory. Instead, a 6 m tunnelling roadheader was used to study the behaviour of an arch segment lining. It should also be noted that boring/explosive blast excavation was also used during excavation of the shafts and recess at the depth of 445 m. This proved to be fully satisfactory and did not result in a particularly damaged surrounding area. The technique could not be used at the main level, where unconfined compressive strength is lower than in the USC. At this level of strength, major induced fracturing generated by excavation would arise, involving significant overbreak that would then pose problems when it came to installing a lining.



Figure 3 - Photographies de méthodes d'excavation testées dans le Laboratoire souterrain : (a) brise roche hydraulique - (b) Machine à attaque ponctuelle, et (c et d) Tunnelier à attaque ponctuelle en atelier et en opération / Photographs of excavation methods tested in the underground laboratory: (a) hydraulic rock breaker - (b) roadheader, and (c and d) tunnelling roadheader, in the workshop and in operation.



hydraulique (BRH) et la machine à attaque ponctuelle (MAP). Compte tenu de la petite taille des puits et des moyens de manutention, un tunnelier pleine face était difficilement envisageable dans le laboratoire. Il a été choisi d'utiliser un tunnelier à attaque ponctuelle de 6 m de diamètre pour étudier le comportement d'un revêtement en voussoirs. Il faut noter que l'excavation par foration/tir d'explosif a aussi été utilisée, lors du creusement des puits et de la niche à - 445 m. Elle a donné entière satisfaction, sans par ailleurs générer une zone endommagée particulière. Cette technique n'a pas pu être utilisée au niveau principal où la résistance à la compression simple est plus faible que dans l'USC. A ce niveau de résistance, une fracturation induite importante générée par le creusement se produirait et impliquerait des hors-profils importants qui poseraient des difficultés pour la mise en place d'un soutènement.

La Figure 4 illustre, pour les galeries orientées suivant la contrainte ho-

rizontale majeure (Figure 2), différentes techniques de soutènement/revêtement mises en œuvre avec (Tableau 1) :

- La galerie de conception "souple" GCS, avec un soutènement réalisé avec un boulonnage radial, des cales compressibles et du béton projeté. Les cales de type HiDCon® ont un comportement élastoplastique parfait à partir de 4,5 MPa de contrainte et permettent la convergence de la galerie.
- La galerie GCR, initialement de conception souple (similaire à la galerie GCS), dans laquelle un revêtement en béton a été coulé en place 6 à 7 mois après le creusement. Le délai de pose du revêtement rigide ayant pour but de laisser passer les fortes convergences observées dans les premiers mois suivant le creusement.
- La galerie GRD3 pour l'expérimentation BPE, où le soutènement est réalisé à partir de boulons radiaux et béton projeté. Un béton projeté épais de

Figure 4 illustrates, for galleries aligned with the major horizontal stress (Figure 2), various support/lining techniques used (Table1) as follows:

- The "flexible" design gallery, GCS, featuring support using radial bolting, compressible shims and sprayed concrete. HiDCon® shims exhibit perfect elasto-plastic behaviour for stress in excess of 4.5 MPa and allow gallery conver-

gence to be achieved.

- The GCR gallery, initially featuring a flexible design similar to the GCS gallery, in which a concrete lining was put in place 6 to 7 months after excavation. The purpose of leaving time prior to the rigid lining being installed was to allow the high convergence values observed in the first month following excavation to subside.
- Gallery GRD 3 for BPE experi-

45 cm d'épaisseur a été mis en place en 4 passes successives lors de quatre pas d'excavation successifs. Cet essai permet de tester un soutènement assez rigide mis en place très rapidement au cours du creusement.

- La galerie GRD4, avec l'expérimentation TPV, où des voussoirs préfabriqués sont mis en place par une technique de tunnelier à attaque ponctuelle. Deux types de matériaux de bourrage ont été utilisés, un matériau cimentaire classique et un matériau compressible. L'objectif est ici d'avoir, dès le clavage du vide annulaire, un soutènement/revêtement très rigide.

Les méthodes de creusement et de soutènement dites souples et leur efficacité sont décrites dans Martin et al (2010) et Bonnet-Eymard et al (2011). On pourrait citer aussi les galeries GAT et GET avec leur soutènement souple à base de boulon-

nage radial, de béton projeté et de cintres coulissants, respectivement creusées au BRH et la MAP, et la galerie GRM qui a fait l'objet d'un creusement avec un trou pilote, puis une sur-excavation pour voir l'impact d'un déconfinement partiel sur le développement de la fracturation induite par le creusement final.

Lors des investigations, la direction suivant la contrainte horizontale majeure a été privilégiée car il s'agit de la direction de référence pour les alvéoles de stockage. Cependant, un programme similaire est en cours pour les ouvrages orientés suivant la contrainte horizontale mineure avec la galerie GED qui dispose d'un soutènement avec des boulons radiaux du béton projeté et des cintres coulissants, la future galerie GER qui reprendra les concepts des galeries GCS et GCR et la future galerie GVA similaire à la galerie TPV.

nement, where support takes the form of radial bolts and sprayed concrete. A 45 cm thick layer of sprayed concrete has been installed in 4 successive passes during the four successive stages of excavation. This test has allowed a fairly rigid support, installed very quickly during excavation, to be trialled.

- Gallery GRD4, with TPV experimentation, in which prefabricated arch segments have been installed using a tunnelling roadheader technique. Two types of packing material have been used: a traditional cement-based material and a compressible material. The purpose here is to have highly rigid support/lining immediately on grouting of the ring void.

So-called flexible excavation and support methods and their effectiveness are described in Martin et al (2010) and Bonnet-Eymard et al (2011). Other galleries include the GAT and GET

galleries with flexible supports based on radial bolting, sprayed concrete and sliding arches, excavated with the BRH and MAP respectively, and the GRM gallery, excavated by means of a pilot hole, followed by additional excavation to study the impact of partial stress release on fracture development arising from definitive excavation.

During investigations, work has focused on the direction aligned with the major horizontal stress, since this is the direction of reference for the storage cells. However, a similar programme is underway for structures aligned along the minor horizontal stress, including the GED gallery, which features support using radial bolts, sprayed concrete and sliding arches, and the future GER gallery which will use the same concepts as the GCS and GCR galleries, and the future GVA gallery, which resembles the TPV gallery.

		GCS	GCR	GRD2 (BPE)	GRD4 (TPV)	GRD3	GAT	GET	GRM pilote	GRM final	GED	GAN	GER ⁽¹⁾
Diamètre / diameter		5,2	5,4	6,3	6,27	7,8	5,2	5,2	3,8	5,7	4,6	5,2	5,2/5,4
Section / Cross-section	Circulaire / Circular	+	+	+	+				+				+
	Contre voûtée / Counter-arch					+	+	+		+	+	+	
Boulonnage radial / Radial bolting		+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
Béton projeté (18+3 cm) avec cale compressible / Sprayed concrete (18+3 cm) with compressible shims		+	+										+
Cintre coulissant/ béton projeté (5 cm) / Sliding arch/sprayed concrete (5 cm)						+	+	+		+	+	+	
Béton projeté 45 cm mise en 4 couches / Sprayed concrete, 45 cm, applied in 4 layers				+									
Voussoir 45 cm (C60/75) / Matériau de bourrage cimentaire classique et compressible / 45 cm arch segment (C60/75)/traditional and compressible cement packing material					+								
Revêtement coulé en place (30 cm) à 7 mois / Lining poured in place (30 cm) 7 months later	C30/37		+										+
	C60/75		+										+

¹ en cours de creusement / during excavation

Tableau 1 - Listes des différentes galeries expérimentales construites au laboratoire souterrain (géométrie, méthode de creusement/soutènement) / List of the various experimental galleries built in the underground laboratory (geometry, excavation/support method).

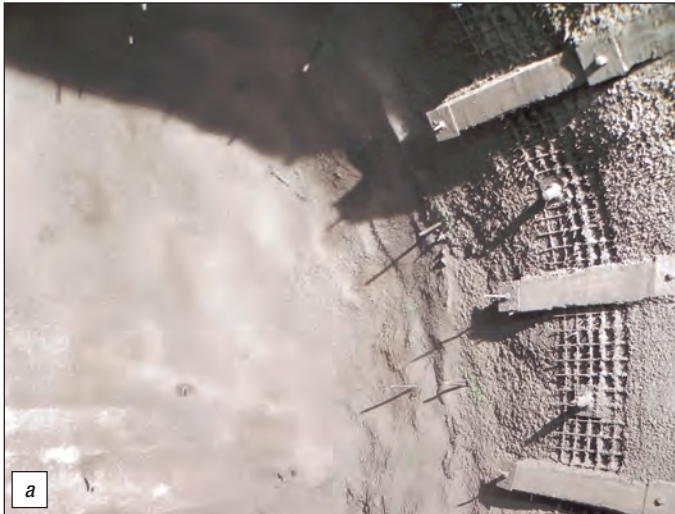


Figure 4 - Photographies de soutènement/revêtement de galerie mis en œuvre dans le Laboratoire souterrain : (a) galerie «GCS» mise en place des cale compressible - (b) Galerie GCS finale après mise en place du béton projeté - (c) Galerie GCR : revêtement béton coulé en place d'épaisseur 27 cm - (d) Galerie GRD2 (expérimentation BPE) : béton projeté épais (45 cm) mis en place en quatre passes successives - (e et f) Galerie GRD4 (expérimentation TPV1) : manutention des voussoirs préfabriqués et galerie finale / Photographs of the gallery support/lining used in the underground laboratory: (a) "GCS" gallery: installing the compressible shims - (b) final GCS gallery after concrete spraying - (c) GCR gallery: 27 cm thick concrete lining poured in place - (d) Gallery GRD2 (BPE experiment): thick sprayed concrete (45 cm) applied in four successive passes - (e and f) Gallery GRD4 (TPV 1 experiment): handling the prefabricated arch segments; definitive gallery.

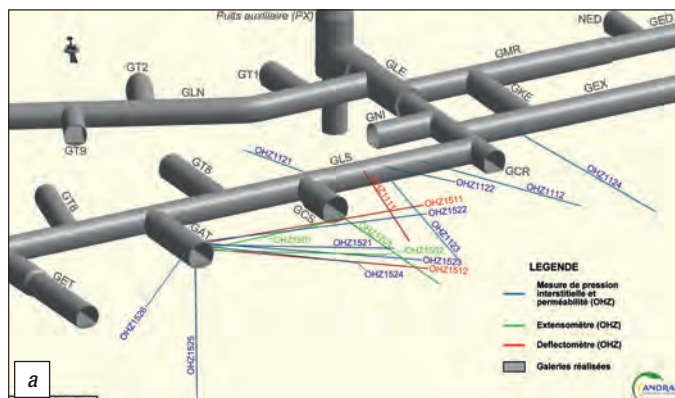


Figure 5 - (a) schéma de l'instrumentation en forage mise en place avant le creusement de la galerie GCS pour suivre les déformations et les variations de pression interstitielle en champ proche et lointain - (b) photographie du coulage des voussoirs instrumentés par des cordes vibrantes et des cellules de pression totale / (a) diagram of borehole instrumentation used prior to excavation of the GCS gallery to monitor deformation and adjacent and distant pore pressure variations - (b) photograph taken during pouring of the arch segments fitted with vibrating wire strain gauges and total pressure gauges.

Un suivi systématique du creusement des galeries a été mis en place avec, a minima, pour les galeries techniques, un suivi géologique des fronts de taille et des mesures de convergence et, dans les zones d'essais, des mesures de déformation (inclinomètre, extensomètre,...) et des mesures de conductivité hydraulique et de pression interstitielle. Dans la mesure du possible et quand la configuration géométrique le permettait, une instrumentation de type "Mine-by-test" a été privilégiée : un ensemble de forages de mesure de déformation et de mesure de pression interstitielle a été installé avant l'excavation de l'ouvrage pour suivre l'impact hydromécanique au cours du creusement. Ce concept d'instrumentation a été mis en œuvre dans diverses roches dans plusieurs pays, comme dans du granite au Lac du Bonnet (Read & Martin, 1996), dans l'expérience ED-B au Mont-Terri dans l'argile à Opalinus (Martin et al, 2002) ou dans l'expérience CLIPEX à Mol pour l'étude de l'argile de Boom (Bernier et al, 2002). La mise en œuvre des forages est facilitée dans le Laboratoire souterrain par le développement séquentiel de galeries parallèles permettant d'utiliser une galerie pour instrumenter

la galerie suivante. Afin de limiter les interactions hydromécaniques à court terme, les galeries parallèles sont néanmoins distantes d'au moins 5 diamètres, ce qui implique que les forages instrumentés soient longs, jusqu'à 60 m. La Figure 5-a montre les forages réalisés avant le creusement de la galerie GCS pour investiguer la réponse hydromécanique en champ proche et lointain de la galerie. Les forages de mesure de la pression interstitielle sont réalisés, a minima, deux mois avant le creusement pour permettre une stabilisation des pressions dans les chambres de mesure.

Après le creusement, une caractérisation importante de la fracturation induite est effectuée avec des forages géologiques et d'injection de résine, la mise en place de compléments multi-packer pour mesurer et suivre l'évolution de la perméabilité autour de la galerie et des mesures géophysiques (velocity survey) (Armand et al (2014).

Pour suivre le comportement contrainte-déformation des soutènements/revêtements en béton, des mesures de déformation par corde vibrante et des mesures de pression totale sont mises en place dans les

Systematic monitoring of gallery excavation was put in place with, as a minimum for technical galleries, geological monitoring of the cutting faces and convergence measurements and, in test zones, deformation measurement using inclinometers, extensometers, etc. as well as hydraulic conductivity and pore pressure measurement. Wherever possible, and where the geometric configuration allowed, "Mine-by-test" instrumentation was favoured: a set of boreholes for measuring deformation and pore pressure was installed prior to excavation of the structure, to monitor the hydro-mechanical impact during excavation. This instrumentation concept has been implemented in a variety of rock types in different countries, for instance in granite at Lac du Bonnet (Read & Martin, 1996), for the ED-B experiment at Mont-Terri in the Opalinus clay (Martin et al, 2002) and for the CLIPEX experiment at Mol for study of Boom clay (Bernier et al, 2002). Use of boreholes has been facilitated in the underground laboratory by the sequential development of parallel galleries, allowing one gallery to be used to instrument the following gallery. In order to minimise short-term hydro-mechanical interactions, the parallel galleries have however

been spaced at least 5 diameters apart; this means the instrumented boreholes are relatively long – up to 60 m. Figure 5-a shows the boreholes drilled prior to excavation of the GCS gallery to investigate the adjacent and distant hydro-mechanical response to the gallery. As a minimum, pore pressure measurement boreholes were drilled two months prior to excavation to allow pressure in the measurement chambers to stabilise.

After excavation, extensive definition of the resulting fracturing has been performed with geological boreholes and resin injection, the installation of multi-packer completions to measure and track changes in permeability around the gallery, and geophysical measurements (velocity survey) (Armand et al (2014).

To monitor the stress/deformation behaviour of concrete supports and linings, vibrating wire strain gauge deformation measurements and total pressure measurements were set up in various galleries. Control sensors, isolated from the rock mechanical load, were also installed in order to decorelate deformation relating to concrete setting and drying from deformation relating to mechanical load through the rock. In addition, flat

différentes galeries. Des capteurs témoins, isolés du chargement mécanique par la roche, sont aussi mis en place afin de décorréler les déformations liées à la prise et au séchage du béton de celles liées au chargement mécanique par la roche. En complément, des essais au vérin plat sont réalisés : ils permettent d'avoir, par une autre méthode, une estimation des contraintes dans l'ouvrage en béton. Le même type d'instrumentation a été mis en place lors de la fabrication des voussoirs en béton (Figure 5-b).

Enfin, en parallèle, des campagnes de caractérisation des propriétés hydromécaniques (élasticité, résistance à la compression et à la traction, fluage, perméabilité,...) sont réalisées sur des échantillons des différents bétons prélevés lors de la coulée ou carottées in situ.

4 - Des exemples d'observations

4.1 - La fracturation de la roche en champ proche des ouvrages induite par le creusement

Sur l'ensemble des forages réalisés sur la ZT depuis la surface ou à partir des galeries du Laboratoire souterrain, aucune fracture d'origine tectonique n'a été observée. Toutes les fractures observées sont induites par le creusement des ouvrages. Quelle que soit la méthode de creusement/soutènement, des fractures apparaissent dès le front de taille et se propagent plus ou moins en avant de celui-ci suivant l'orientation des ouvrages (Armand et al, 2014).

Le suivi des fronts de taille et le levé structural des forages carottés ont permis de définir des modèles de fracturation suivant l'orientation des

galeries par rapport aux axes principaux de contrainte. On note systématiquement la prépondérance des fractures en cisaillement qui sont les plus étendues et les plus nombreuses, de l'ordre de 75 % des fractures observées pour la galerie GCS, vis à vis de la fracturation en extension.

La fracturation induite par le creusement des ouvrages parallèles à la contrainte horizontale majeure est très anisotrope (développement important au parement), malgré le fait que l'état de contrainte est quasiment isotrope (de La Vaissière et al, 2015). Cela met en évidence, le rôle de l'anisotropie du comportement mécanique des argilites du Callovo-Oxfordien sur la fracturation induite, même si l'anisotropie du comportement mesuré sur échantillon n'est pas très importante (par exemple, le ratio des modules d'Young $E_{\text{perp}}/E_{\text{parallèle}} \approx 1,3$ mesuré à partir des vitesses des ondes). Ceci est interprété par le ratio très élevé de la contrainte mécanique in situ sur la résistance à l'extension (et au cisaillement) des argilites, et l'effet de décharge important créé au moment du creusement, en particulier au niveau de front de taille.

La Figure 6 montre l'organisation du réseau de fractures induit par le creusement et le Tableau 1 indique son extension observée pour les galeries orientées suivant la contrainte horizontale majeure. Le réseau de fractures ainsi formé peut être décrit de la manière suivante depuis la paroi :

- Une zone dite fracturée connectée : plusieurs familles de fractures y coexistent, des fractures en cisaillement et des fractures en extension, mais aussi des fractures mixtes, principalement des fractures créées en

jack tests were performed: these provided a separate method for estimating stress in the concrete structure. The same type of instrumentation was installed during manufacture of the concrete arch segments (Figure 5-b).

Lastly, at the same time, campaigns to define hydro-mechanical properties such as elasticity, compressive and tensile strength, creep, and permeability have been performed on samples of the various types of concrete, taken during pouring or cored on-site.

4 - Typical observations

4.1 - Rock fracturing close to the structures as result of excavation

No fractures of tectonic origin have been observed in any of the boreholes drilled in the ZT from the surface or galleries within the underground laboratory. All the fractures observed are the result of excavation of the structures. Irrespective of the excavation or support method, fractures appear at the cutting face and tend to propagate ahead of the latter, consistently with the orientation of the structure (Armand et al, 2014).

Monitoring cutting faces and structural surveying of the core borehole samples have allowed fracture models to be defined for various gallery orientations compared to the main directions of stress. The predominance of shear fractures, which are the most extensive and numerous, has been systematically noted, accounting for some 75% of observed fractures for the GCS gallery compared to tensile fractures.

Fracturing as a result of excavation of structures parallel to the major horizontal stress is highly anisotropic

(with significant development on the cladding), in spite of the stress conditions being virtually isotropic (de La Vaissière et al, 2015). This reveals the role of the anisotropy of the mechanical behaviour of Callovo-Oxfordian argillite on induced fracturing, even if the anisotropy of the sample behaviour measured is not highly significant (for instance, the Young's modulus ratio $E_{\text{perp}}/E_{\text{parallèle}} \approx 1.3$, measured on the basis of wave speeds). This may be explained by the very high ratio of local mechanical stress to the tensile strength (and shear strength) of the argillite, and the significant load relief created during excavation, particularly at the cutting face.

Figure 6 shows the fracture network generated by excavation, while Table 2 shows its extension as observed for galleries oriented along the major horizontal stress. The fracture network formed in this manner may be described as follows, from the outer wall outwards:

- A so-called 'connected fractured' zone: a number of fracture families coexist here; shear fractures and tensile fractures, as well as mixed fractures, in particular fractures due to shear stress which then widen due to convergence. Shear fractures have formed at the cutting face in a chevron pattern, along the axis of the gallery. This results in a dense, three-dimensional network of fractures, connected to varying degrees with the gallery. Local geometric opening of these fractures varies widely. It may be as much as several millimetres (depending especially on whether bolting has been used or not).
- A so-called 'discrete' fracture zone: beyond the connected fractured zone, only the extremities of some of the shear fractures formed at the cutting face persist.

cisaillement et qui s'ouvrent ensuite sous l'effet de la convergence. Les fractures en cisaillement se sont formées au front de taille avec une géométrie en chevrons suivant l'axe de la galerie. L'ensemble forme un réseau dense 3D de fractures plus ou moins bien connectées avec la galerie. L'ouverture géométrique locale de ces fractures varie beaucoup. Elle peut atteindre plusieurs millimètres (notamment en lien avec la présence ou non d'un boulonnage).

- Une zone dite de fracturation "discrète" : au-delà de la zone fracturée connectée, subsistent uniquement les extrémités de certaines des fractures en cisaillement formées au front de taille. Ces fractures ne se sont pas physiquement connectées entre elles dans cette zone et présentent des ouvertures infra-millimétriques.

La Figure 7 montre l'extension et la répartition de la fracturation pour différentes galeries (i.e. méthodes de construction) orientées suivant la direction de la contrainte horizontale majeure. On note que le creusement au tunnelier (GRD4) a impliqué une augmentation de la fracturation en termes d'extension

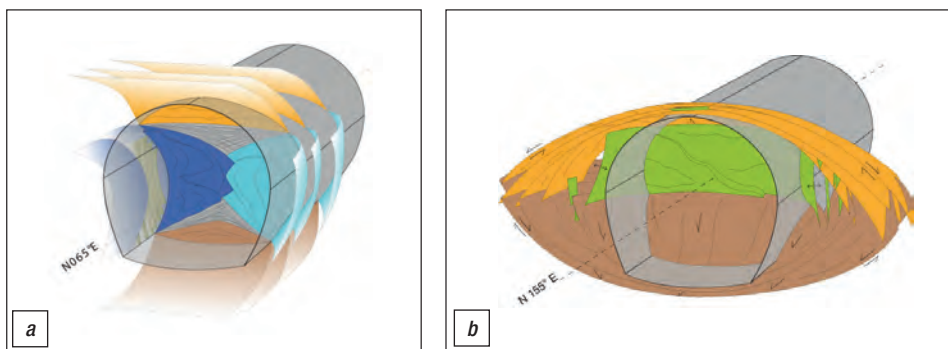


Figure 6 - Modèle de fracturation induite par le creusement : (a) Galerie orientée suivant la contrainte horizontale mineure - (b) Galerie orientée suivant la contrainte horizontale majeure / Model of fracturing induced by excavation: (a) Gallery oriented along the minor horizontal stress - (b) Gallery oriented along the major horizontal stress

et de fracturation : il convient d'indiquer que le clavage du vide annulaire en voûte est effectif à 17 m du front, ce qui du point de vue mécanique implique que la paroi est totalement déconfinée. Il n'y a pas comme avec les autres méthodes de creusement un boulonnage radial ou un soutènement dès le front avec du béton projeté. Cela met en évidence le rôle du soutènement (boulonnage et/ou béton projeté) qui limite l'extension de la fracturation et diminue l'apparition des fractures en extension. On observe aussi que le délai lié au clavage tardif et l'absence de boulonnage radial ont impliqué une augmentation importante de la fracturation en voûte alors qu'elle est très faible dans les autres galeries.

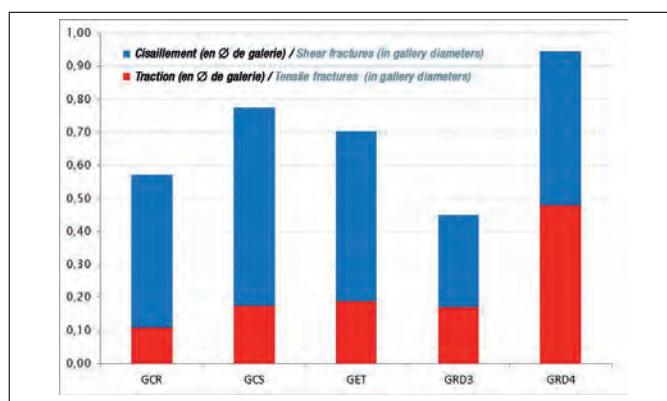


Figure 7 - Comparaison des extensions de la fracturation pour les galeries orientées suivant la contrainte horizontale majeure / Comparison of fracture extensions for galleries oriented along the major horizontal stress.

These fractures are not physically interconnected in this zone, and are less than 1 mm wide.

Figure 7 shows the extension and location of fracturing for

various galleries (i.e. construction methods) oriented along the major horizontal stress. It may be noted that TBM excavation (GRD4) involved increased fracturing in terms of both extension and fracturing;

Orientation Galerie / Orientation of gallery		Extension des fractures en Extension (en D) / Extension of tensile fractures (D)			Extension des fractures en cisaillement (en D) / Extension of shear fractures (D)		
		Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.
N65 // σ_h	V	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8
	P	0.1	0.1	0.2	-	-	-
	R	0.2	0.4	0.5	0.8	0.8	1.1
N155 // σ_h	V	-	0.1	0.15	-	-	-
	P	0.01	0.2	0.4	0.7	0.8	1.0
	R	-	0.1	0.15	-	-	-

Tableau 2 - Extension des zone fracturée au niveau principal du LS / Extension of fractured zones at the main level of the underground laboratory.

Note: 'D' est le diamètre des ouvrages; V en voûte; P au parement; R au radier. '-' signifie extension nulle ou non supérieure à l'extension de la fracturation en extension / 'D' is the diameter of the relevant structure; V: at the crown; P: at the cladding; R: at the foundation; '-' means the extension is zero, or not greater than extension of the tensile fracture.

4.2 - Convergence et déformation différées des ouvrages

La Figure 8 montre les convergences mesurées dans les galeries GCS ($//\sigma_v$) et GED ($//\sigma_h$). Pour la galerie GCS, malgré un état de contrainte quasi-isotrope dans la section radiale, on observe des convergences horizontale deux fois supérieure à celle mesurée verticalement. Dans la galerie GED, où un déviateur de contrainte existe et, comme attendu, on observe une convergence verticale plus importante que la convergence horizontale. On peut cependant noter que le ratio convergence verticale sur convergence horizontale est important, supérieur à 4.

Dans les deux cas, les vitesses de convergence sont très importantes pendant le creusement et les premiers mois (3 à 6 mois). Puis, elles décroissent fortement au cours du temps jusqu'à des valeurs inférieures ou égales à $10^{-11} \cdot s^{-1}$ de déformation. Ces faibles valeurs sont retrouvées par des essais de fluage sur échantillons carottés. Sur la période d'observation de 6 à 10 ans pour les galeries les plus anciennes, les convergences continuent d'évoluer mais très lentement. L'analyse détaillée des déformations montre que les plus fortes convergences

sont mesurées dans les zones où la fracturation est importante, et plus particulièrement la zone fracturée connectée.

La Figure 8-a montre les convergences dans la galerie avec cales compressibles GCS et dans une section de la galerie GCR sans cales (courbes noire et verte). Le revêtement sans cales est plus rigide et limite la convergence du terrain, cependant le ratio de convergence reste similaire.

La Figure 9 montre le déplacement radial dans la roche à différentes distances de la paroi pour les galeries GCS et GRD4 creusées au tunnelier au cours du creusement (le trait pointillé PM indique l'avancement du front d'excavation). En analysant exactement les phases de creusement (Armand et al, 2013), on différencie les déformations pseudo-instantanées, observées pendant le creusement proprement dit, des déformations différées observées dans les phases sans creusement (mise en place du soutènement et instrumentation, arrêt de chantier, ...). Les déformations élasto-plastiques représentent 40 % – 45 % des déplacements totaux à 90 jours, mais seulement 30 % à 900 jours, ce qui met en évidence l'importance du comportement différé. On met aussi en évidence que les déformations différées sont

it should be specified that grouting the ring void at the crown is effective 17 m from the face; from a mechanical perspective, this means that the outer wall experiences full stress release. Unlike the other excavation methods, there was no radial bolting or support by means of sprayed concrete right from the face. This illustrates the role of bolting and/or sprayed concrete as support, minimising the extension of fracturing and reducing the appearance of tensile fractures. It may also be noted how delayed grouting and the absence of radial bolting led to a significant increase in fracturing at the crown, whereas it is very slight in the other galleries.

convergence/convergence ratio may be noted: in excess of 4.

In both cases, convergence rates were very high during excavation and the initial months thereafter (3-6 months). They then decrease significantly over time until they reach deformation values of less than or equal to $10^{-11} s^{-1}$. These low values have been identified by performing creep tests on core borehole samples. For observation periods of 6-10 years for the oldest galleries, convergence values are continuing to progress, but very slowly. Detailed analysis of deformation shows that the highest convergence values have been measured in areas with significant fracturing, more especially the connected fractured zone.

4.2 - Deferred convergence and deformation in structures

Figure 8 shows the convergence measured in the GCS ($//\sigma_v$) and GED ($//\sigma_h$) galleries. For the GCS gallery, despite virtually isotropic stress conditions in the radial cross-section, anisotropic convergence can be observed, with horizontal convergence twice as large as that measured vertically. In the GED gallery, where a stress deviator exists (and as expected), vertical convergence was observed to be more significant than horizontal convergence. However, the significant vertical

Figure 8-a shows convergence values in the gallery with compressible shims, GCS, and a section of the GCR gallery without shims (black and green curves). The lining without shims is more rigid and limits soil convergence, but the convergence ratio remains similar.

Figure 9 shows radial displacement in the rock at different distances from the outer wall for galleries GCS and GRD4, excavated with a TBM, during excavation (the dotted line PM shows progress of the excavation face). Precise analysis of excavation phases (Armand et al, 2013) allows virtually

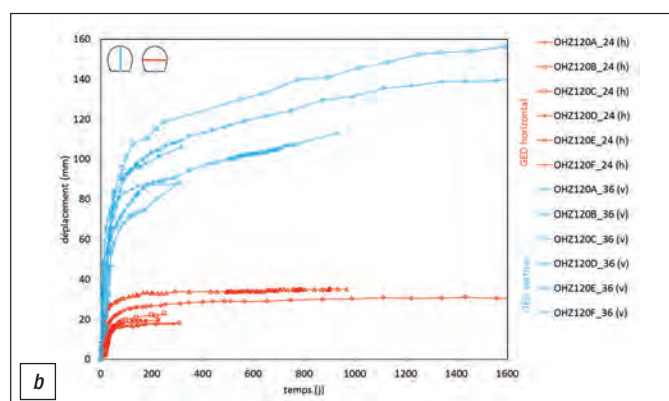
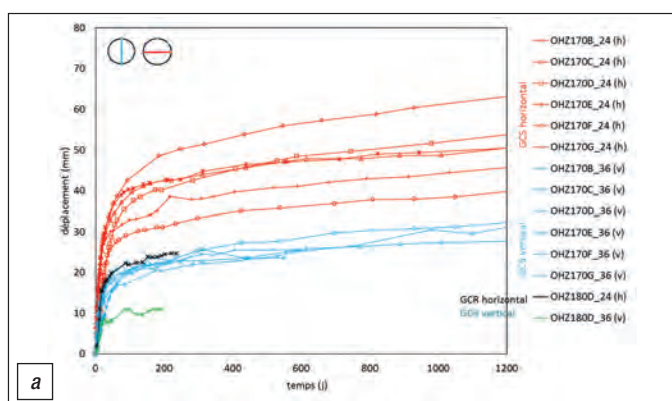


Figure 8 - Mesure de convergence : (a) galerie GCS ($//\sigma_v$), (b) galerie GED ($//\sigma_h$) / Convergence measurement: (a) GCS gallery ($//\sigma_v$) - (b) GED gallery ($//\sigma_h$).

localisées en champ proche (entre la paroi et 1 diamètre au maximum).

Les déplacements mesurés dans la galerie GRD4 sont beaucoup plus importants que ceux mesurés dans la galerie GCS. Cette différence, qui ne peut s'expliquer entièrement par la différence de diamètre entre les deux galeries, met en évidence que les déformations sont plus importantes à la paroi de la galerie GRD4 qu'à celle de la galerie GCS. Les déformations de la roche sont elles aussi plus fortes autour de la galerie GRD4 qu'autour de la galerie GCS. Cette différence peut être expliquée par le fait qu'il n'y a pas de soutènement jusqu'au clivage qui intervient à plus de 2,5 diamètres du front. Rapidement après le clivage en voûte, le déplacement de la paroi de la roche devient nul du fait du revêtement rigide. Le premier ancrage à 0,92 m de profondeur continue quant à lui à converger, ce qui implique une compaction de la zone proche du revêtement en béton. La fracturation qui s'est ouverte au moment du creusement a alors tendance à se refermer sous l'effet du comportement différé du massif et de la condition limite appliquée par le revêtement rigide en béton à la paroi.

4.3 - Le comportement mécanique des soutènements/revêtement

Au niveau principal du Laboratoire souterrain (Figure 2), les mesures dans les soutènements/revêtements ont d'abord été réalisées dans le soutènement en béton projeté des galeries GCS et GCR orientées suivant la contrainte horizontale majeure, et avec présence de cales compressibles. Les mesures de déformation confirment les observations d'une convergence anisotrope de la roche : au bout de 18 mois, l'écrasement des cales atteint 15 % en voûte et 3 % aux reins de la galerie. Dans la dernière section de la galerie GCR, où il n'y a pas de cales compressibles, les mesures de déformation aux vérins plats montrent que la contrainte orthoradiale dans le béton projeté a dépassé 20 MPa en voûte de la galerie au bout de 6 mois. Comme attendu, les cales qui ont un comportement élasto-plastique parfait, limitent l'augmentation de la contrainte ortho-radiale dans le soutènement. Cela confirme qu'un soutènement (plus) rigide se déforme moins mais encaisse des contraintes plus importantes.

Dans la galerie GCR, entre fin 2011 et début 2012, un revêtement de

instantaneous deformation, observed during excavation itself, to be differentiated from deferred deformation observed during phases with no excavation (installation of support and instrumentation, worksite halts, etc.). Elasto-plastic deformation accounts for 40-45% of all displacement at 90 days, but only 30% at 900 days, illustrating the significant role of deferred behaviour. It has also been shown that deferred deformation takes place close by (between the outer wall and a maximum of 1 diameter away).

Displacement measured in gallery GRD4 has been much greater than that measured in gallery GCS. This difference cannot be fully explained by the difference in diameter between the two galleries; deformation is greater at the outer wall of gallery GRD4 than at the outer wall of gallery GCS. Rock deformation is also greater around gallery GRD4 than gallery GCS. This difference may be explained by the fact that there has been no support until grouting, which takes place over 2.5 diameters from the face. Very quickly after crown grouting, displacement of the wall compared to the rock drops to zero due to the rigid lining. The first anchor, however, at a depth of 0.92 m, continues to converge, involving compacting of the area close to the

concrete lining. Fractures that opened up at the time of excavation then tend to close under the effect of the deferred behaviour of the formation and the boundary condition applied by the rigid concrete lining to the outer wall.

4.3 - Mechanical behaviour of supports and linings*

At the main level of the underground laboratory (Figure 2), measurements in supports and linings were initially performed in the sprayed concrete support for the GCS and GCR galleries oriented along the major horizontal stress, with the presence of compressible shims. Deformation measurements confirmed the observed anisotropic convergence of the rock: after 18 months, the shims were compressed 15% at the crown and 3% at the sides of the gallery. In the last section of the GCR gallery, where there are no compressible shims, flat jack deformation measurements have shown that the ortho-radial stress in the sprayed concrete exceeded 20 MPa at the crown of the gallery after 6 months. As expected, the shims, which exhibit perfect elasto-plastic behaviour, reduce the increase of ortho-radial stress in the support. This confirms that (more) rigid support is less deformed, but absorbs more stress.

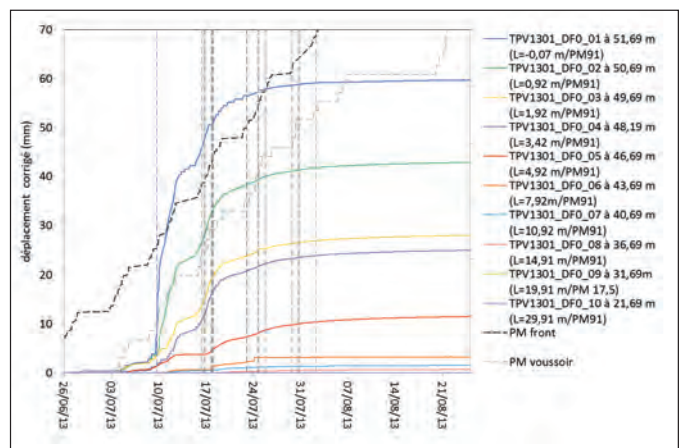
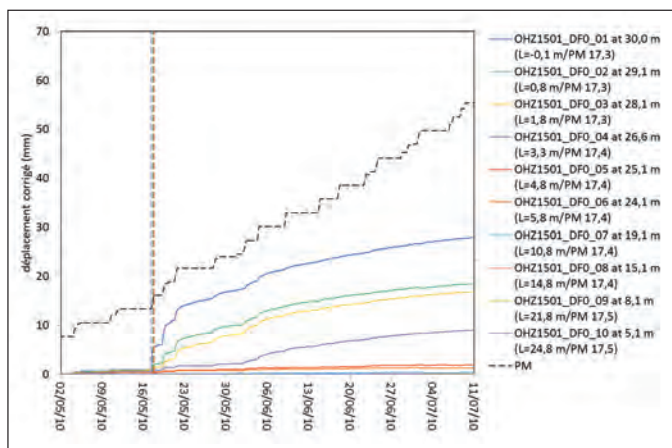


Figure 9 - Déplacement radial mesuré à l'axe de la galerie pendant le creusement des galeries GCS et GRD4 (PM indique l'avancement du front, L est la distance de l'ancrage à la paroi) / Radial displacement measured from the gallery centreline during excavation of galleries GCS and GRD4 (PM indicates progress of the face, L is the distance of the anchor from the outer wall).

* lining = final structural work (e.g. prefabricated concrete segments) - Support = temporary or preliminary structural work (e.g. shotcrete or steel arches).

30 cm environ d'épaisseur a été coulé en place entre 6 et 7 mois après le creusement. Deux types de béton (C30/37 et C60/75) ont été mis en place pour évaluer l'impact de la rigidité du revêtement sur son comportement à moyen terme. Les revêtements des différents tronçons montrent un début de chargement entre 3 à 6 mois après le coulage. Ce délai est lié au retrait endogène du béton lors de sa prise et de la désaturation due à la ventilation imposant une humidité relative inférieure à 100 %. En conséquence, le retrait est plus important que les déformations liées à la convergence du terrain, en particulier pendant la phase de prise. Une correction du retrait est prise en compte à partir de capteurs témoins mis en place en même temps que le revêtement mais qui ne sont pas soumis à un chargement mécanique. Une évolution globalement similaire des déformations est observée, pour les différents tronçons, signe d'un chargement continu des revêtements sur la période d'observation. Les déformations corrigées atteignent des valeurs maximales de 500 microdef à environ 900 jours.

Dans le cas de la galerie GRD4, le retrait endogène du béton s'est produit avant leur mise en place. Les mesures de déformation sont corrigées de l'effet de dessiccation grâce aux mesures réalisées sur un voussoir témoin non chargé. L'analyse de la totalité des mesures dans les anneaux, dès leur mise en place et lors des différentes campagnes d'injection du matériau de bourrage, souligne les points suivants :

- Les déformations et les contraintes ortho-radiales pour les 2 matériaux de bourrage (classique et compressible) évoluent rapidement pendant les 3 à 4 premiers mois (après installation au fond), puis cette

évolution est plus lente. Ce comportement est cohérent avec l'évolution des convergences observées dans la roche ;

- L'allure des mesures de déformations et contraintes ortho-radiales en intrados et extrados dans les anneaux montre une signature mécanique en double sinusoïde (Figure 10). Cette forme est typique d'un chargement anisotrope, montrant une opposition des mesures intrados/extrados. Cette symétrie montre que le revêtement travaille en flexion radiale. Ce comportement est bien visible à partir des mesures de déformations et de pressions totales où les extrema coïncident. Il met en évidence un chargement plus important horizontalement que verticalement, ce qui était observé pour les autres structures dans la même direction de creusement. On peut noter que, dès l'injection des différents mortiers, on observe le début de la mise en charge avec une distribution anisotrope des efforts.
- L'amplitude des déformations et des contraintes est différente selon le type de mortier de bourrage. Elle est plus marquée sur toute la circonférence pour les anneaux situés en zone mortier classique que pour les anneaux situés en zone mortier compressible, ce qui est cohérent avec le rôle joué par le mortier compressible.

De manière générale, pour le comportement des ouvrages orientés suivant la contrainte horizontale majeure, il est important de noter que :

- La rigidité du soutènement/revêtement influe sur la convergence du terrain ;
- Le type de soutènement/revêtement et sa distance de mise

In gallery GCR, between the end of 2011 and early 2012, a lining approximately 30 cm thick was poured in place between 6 and 7 months after excavation. Two types of concrete (C30/37 and C60/75) were used, in order to evaluate the impact of lining rigidity on its medium-term behaviour. Different section linings begin to bear loads between 3 and 6 months after pouring. This delay relates to the endogenous shrinkage of concrete during setting and desaturation due to ventilation, the latter resulting in relative humidity of less than 100%. As a result, shrinkage is greater than deformation due to soil convergence, particularly during the setting phase. Shrinkage correction has been taken into account using control sensors installed at the same time as

the lining but not subject to mechanical load. Generally similar progress in deformation can be observed for the various sections, indicating continuous loading of the linings throughout the observation period. The maximum corrected deformation values after approximately 900 days were 500 microdef.

For gallery GRD4, endogenous concrete shrinkage took place prior to their installation. Deformation measurements were corrected for the effect of desiccation using measurements performed on a non-loaded control arch segment. Analysis of all the ring measurements, as of installation and during the various packing material injection campaigns, reveals the following observations:

- Ortho-radial deformation and stress

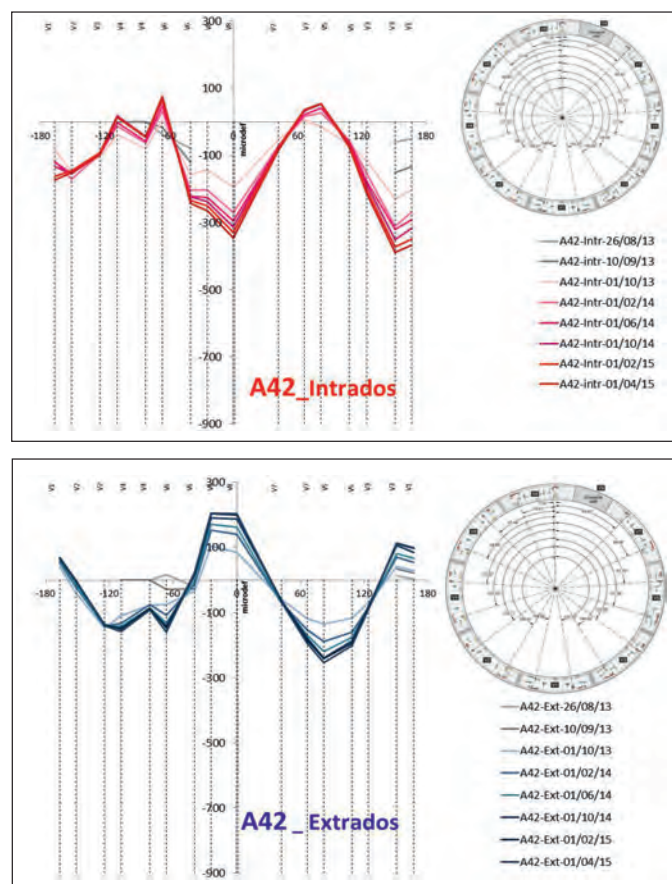


Figure 10 - Comparaison de l'évolution des déformations ortho-radiales (corrégées du retrait intrinsèque du béton grâce au mesures réalisées sur un voussoir témoin non chargé) à l'intrados et à extrados des anneaux A42 (zone mortier classique) de la galerie GRD4 / Comparison of changes in ortho-radial deformation values (corrected for intrinsic concrete shrinkage using measurements performed on a non-loaded control arch segment) on the inner and outer surfaces of A42 rings (traditional mortar) in gallery GRD4.

en œuvre par rapport au front de taille ont un effet important sur l'amplitude du chargement de la structure en béton mais aussi sur l'anisotropie de ce chargement (signature mécanique) alors que les déformations dans la roche sont toujours anisotropes (avec des convergences horizontales supérieures aux verticales). On peut donc observer un comportement en flexion radiale ;

- A contrario, les méthodes d'excavation testées à - 490 m ont un faible effet sur le comportement de la roche et son interaction avec les soutènements/revêtements ;
- Quel que soit le type de soutènement/revêtement, dès sa mise en place, la structure en béton se charge, ce qui est cohérent avec l'évolution des convergences observées. On note simplement un retard dans le « démarrage » du chargement du revêtement en béton coulé en place de la GCR, lié au retrait lors de la prise de ce dernier ;
- Les structures en béton continuent à se charger/déformer (lentement) sur la période d'observation.

Pour la GRD4, l'absence de boulonnage radial installé à l'avancement (proche du front) est un élément ayant un effet important sur l'extension de la zone fracturée autour de l'ouvrage. Le soutènement/revêtement en GRD4 devient effectif après clavage des voussoirs ; à cette distance du front la galerie est totalement déconfinée. Malgré la présence du matériau de bourrage, on observe une mise en charge anisotrope des anneaux de voussoirs dès leur mise en place. Cette répartition des efforts radiaux est différente de celle observée en GCR où le chargement (après environ 11 mois et

jusqu'à présent) est quasi-isotrope (surtout dans les tronçons avec des cales compressibles).

5 - Conclusions et perspectives

Depuis plus de 10 ans, le développement du réseau des galeries du Laboratoire souterrain et les essais de creusement d'alvéole de stockage ont permis de montrer la capacité de réalisation d'ouvrages souterrains profonds dans la couche argileuse du Callovo-Oxfordien et leur bonne tenue dans le temps. L'Andra dispose aujourd'hui d'une connaissance importante, cohérente et détaillée de l'effet de différentes méthodes de creusement/soutènement ; il en va de même pour l'effet de l'orientation des ouvrages par rapport au champ de contraintes principales naturelles sur le comportement de la roche en champ proche dans le temps, notamment la fracturation initiale induite par le creusement, et corrélativement le comportement mécanique des soutènements/revêtements dans le temps.

De manière générale, l'unité "silto-carbonatée" et l'unité "argileuse" du Callovo-Oxfordien ont des comportements mécaniques différents : le caractère plus rigide de la première se traduit par un endommagement de la roche significativement moindre (pas de zone fracturée connectée) et un comportement différent limité dans le temps.

Concernant l'unité "argileuse", dans laquelle pourrait être implantée l'installation souterraine de Cigéo, dans le champ des méthodes et des modalités de creusement testées jusqu'à présent - et quel que soit le type d'ouvrages (diamètre en particulier) - les résultats obtenus

values for the two packing materials (traditional and compressible) change rapidly during the first 3-4 months (after installation underground), and then more slowly. This behaviour is consistent with the progress in convergence values observed in the rock.

- The aspect of ortho-radial deformation and stress value measurements on the inner and outer sides of the ring segments is that of a double sinusoidal mechanical signature (Figure 10). This shape is typical of anisotropic loading, with opposing inner/outer measurement values. This symmetry shows that the lining is subject to radial bending. This behaviour is clearly visible if the deformation and total pressure measurements are examined: the extremes coincide. This also reveals that the horizontal load is greater than the vertical load, as observed for other structures running in the same direction of excavation. It may also be noted that as soon as the various mortars have been injected, loading begins, with anisotropic distribution of forces.
- The amplitude of deformation and stress values varies depending on the type of packing mortar used. It is more pronounced around the whole circumference for rings located in areas using traditional mortar than for rings located in areas using compressible mortar; this is consistent with the role played by the compressible mortar.

Generally speaking, as regards the behaviour of structures oriented along major horizontal stress, the following important points should be noted:

- The rigidity of the support/lining has an influence on soil convergence ;
- The type of support/lining and the distance from the cutting face at which it is installed have a significant effect on the load amplitude for

the concrete structure and on the anisotropy of this load (mechanical signature), whereas deformation in the rock is always anisotropic (with horizontal convergence values larger than vertical convergence values). Radial bending behaviour may therefore be observed ;

- However, excavation methods tested at a depth of 490 m have little effect on the behaviour of the rock and its interaction with supports and linings ;
- Irrespective of the type of support or lining, the concrete structure takes on load as of installation; this is consistent with observed changes in convergence values. Some delay in the "start-up" of loading of concrete lining poured in place in GCR may however be noted, due to its shrinkage during setting ;
- Concrete structures have continued, slowly, to take on load and deform during the observation period.

For GRD4, the absence of radial bolting installed as works progressed (close to the face) is an element playing a major role in the extension of the fractured zone around the structure. GRD4 support/lining becomes effective after grouting of the arch segments; at this distance from the face, the gallery experiences full stress release. Despite the presence of packing material, anisotropic loading of the ring segments may be observed as of installation. This distribution of radial forces differs from that observed in GCR, where loading (after approximately 11 months and through to the present) is virtually isotropic (especially in sections with compressible shims).

5 - Conclusions and future

For over ten years, development of the network of galleries in the underground

sont cohérents et homogènes : le premier et principal facteur de différence est l'orientation de l'ouvrage par rapport aux contraintes horizontales in situ. Celui-ci induit, en effet, une zone endommagée orientée différemment, horizontale ou verticale.

Le comportement contrainte-déformation du revêtement dans le temps suit celui des argilites endommagées (orientation et cinétique) : pour les galeries orientées suivant la contrainte horizontale majeure, on observe dans le soutènement/revêtement une distribution des contraintes ortho-radiales liée à l'anisotropie de chargement liée à la structure anisotrope (donc au comportement mécanique anisotrope) de la zone endommagée d'argilites autour des galeries, en particulier la zone fracturée connectée. Au-delà de 3 mois, les vitesses de convergence sont faibles, et corrélativement les vitesses d'augmentation de contrainte dans les soutènements/revêtements sont elles aussi lentes. Les mesures actuelles montrent toujours une évolution des contraintes et des déformations dans les soutènements/revêtements, mais lente.

Dans ce contexte, le choix de privilégier l'orientation des alvéoles de stockage suivant la direction de la contrainte horizontale majeure vise donc (i) à limiter l'endommagement vertical donc à préserver la garde d'argilites saines vers le toit et le mur du Callovo-Oxfordien et (ii) à favoriser leur réalisation et leur tenue dans le temps, l'essentiel des déformations étant horizontales.

L'analyse fine du comportement mécanique de la zone endommagée montre que celui-ci est principalement piloté à court et moyen termes par la fracturation induite lors du creusement, plus particulièrement

celle de la zone fracturée connectée. L'utilisation du boulonnage, dans le cas du creusement à la machine à attaque ponctuelle par exemple, peut influencer le comportement de la zone endommagée et donc in fine celui du revêtement/soutènement, en assurant un effet de clouage des fractures. L'absence de ce boulonnage, par exemple pour un creusement au tunnelier pleine face avec pose de voussoirs, autorise de plus grands déplacements des blocs entre les fractures, nonobstant néanmoins l'effet du délai de clavage et le rôle limitant du matériau de bourrage en extrados des voussoirs.

Du point de vue de la sûreté à long terme, le caractère argileux des argilites de l'unité "argileuse" se manifeste par un processus de cicatrisation hydraulique des fractures (de La Vaissière et al, 2015), en lien notamment avec la présence de smectites, minéraux argileux gonflants : la zone endommagée est ainsi capable de récupérer des niveaux de perméabilité à l'eau proches de celui des argilites intactes.

Le suivi des mesures des essais en place se poursuit et de nouveaux essais mécaniques sont prévus d'ici la remise du dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo à l'horizon de 2017. Il s'agit notamment de réaliser le creusement d'une galerie de grand diamètre (9 m) similaire à celui des ouvrages de Cigéo, suivant la contrainte horizontale mineure et avec des méthodes similaires à celles étudiées dans l'autre direction. Par ailleurs, un test de voussoirs compressibles est aussi prévu afin d'évaluer l'apport de cette technologie en termes de limitation de la contrainte appliquée sur le soutènement (plus favorable a priori à sa durabilité) et

laboratory and excavation tests for storage cells have demonstrated the capabilities for building deep-level underground structures in the Callovo-Oxfordian clay layer and their good performance over time. Today, Andra has significant, coherent and detailed knowledge of the effects of various methods of excavation and support, as well as of the effects of structure orientation compared to the principal natural stress fields, on the behaviour of the adjacent rock over time, particularly initial fracturing induced by excavation, and at the same time, of the mechanical behaviour of supports and linings over time.

Broadly speaking, the Callovo-Oxfordian "carbonate-silt" and "clayey" units exhibit different mechanical behaviours: the former's more rigid nature results in significantly less rock damage (with no connected fractured zones) and minimal deferred behaviour over time.

As to the "clayey" unit, in which the underground Cigéo facility could be located, within the scope of the excavation methods and procedures tested to date, irrespective of the type of structure (including its diameter), the results obtained are consistent and uniform: the first and principal differentiating factor is the orientation of the structure compared to local horizontal stress. Indeed, the latter results in a damaged zone that may be oriented either horizontally or vertically.

The stress/deformation behaviour of the lining over time mirrors that of damaged argillite, in terms of orientation and progression: for galleries oriented along the major horizontal stress, ortho-radial stress distribution may be observed, related to the anisotropic nature of the load relating in turn to the anisotropic mechanical behaviour) of the damaged argillite zone around the galleries, particularly the connected fractured zone.

Beyond 3 months, convergence rates are low; the rates of stress increase in the supports and lining are correspondingly slow too. Current measurements continue to show a progression in stress and deformation in support and linings, but this is slow.

In the light of the above, the decision to favour orientation of storage cells aligned with the direction of major horizontal stress is therefore intended (i) to minimise vertical damage and therefore preserve protection by sound argillite in the direction of the Callovo-Oxfordian roof and wall and (ii) to optimise their construction and resistance over time, with most deformation being horizontal.

Close analysis of the mechanical behaviour of the damaged zone shows that in the short to medium term, this is governed mainly by fracturing induced by excavation, more particularly within the connected fractured zone. The use of bolting, for instance in the case of excavation with a roadheader, may impact the behaviour of the damaged zone and therefore, ultimately, that of the lining/support, by producing a nailing effect on the fractures. The lack of bolting, for instance for a full-face TBM with the installation of arch segments, allows for greater displacement of blocks between fractures, notwithstanding the effects of grouting times and the mitigating role of packing material around the outer surface of the arch segments.

In terms of long-term security, the clayey nature of the argillite in the "clayey" unit is evidenced by 'hydraulic healing' of the fractures (de La Vaissière et al, 2015), relating in particular to the presence of smectites, swelling clayey minerals: this means that the damaged zone is capable of recovering water permeability levels close to that of intact argillite.

Monitoring measurements of on-site

d'accroissement de la maîtrise de ce comportement.

L'ensemble des données ainsi acquises doit permettre de disposer d'une conception et d'un dimensionnement solides des ouvrages souterrains pour le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo. Au-delà de la remise du dossier, les essais se poursuivront dans le Laboratoire souterrain pour consolider et affiner les connaissances, avant même toute construction des ouvrages de Cigéo. Dès lors que Cigéo serait accepté, la construction puis le suivi des ouvrages de la première tranche conduira à disposer d'un premier retour d'expérience en condition réelle pour la tranche ultérieure. Le déve-

loppement progressif et incrémental de Cigéo par tranches successives permettra ensuite d'envisager une optimisation de la conception et du dimensionnement des ouvrages souterrains, sur la base du retour d'expérience acquis et des progrès des connaissances et toujours dans le respect absolu des objectifs de sûreté du stockage en exploitation et après fermeture. ♦

testing is ongoing, and new mechanical tests are planned prior to submission of the request for permission to create Cigéo, scheduled for 2017. In particular, these include excavation of a large-diameter gallery (9 m) similar to a Cigéo structure, following the minor horizontal stress and using methods similar to those studied in the other direction. Moreover, a test of compressible arch segments is also planned in order to assess the benefit of this technology in terms of minimising the stress applied to the support (in theory, more favourable to durability) and becoming more familiar with its behaviour.

The data acquired in this manner should make it possible to have sound design and dimensioning for the

underground structures in the submission to be made to request permission to create Cigéo. After the submission has been made, tests will continue in the underground laboratory to consolidate and further refine knowledge, prior to any work on Cigéo structures. Once Cigéo has been accepted, construction and monitoring of structures for the first phase will provide initial real-life feedback for the subsequent phase. Progressive, incremental development of Cigéo in phases will then allow optimisation of the design and dimensioning of the underground structures to be envisaged, on the basis of required feedback, progress in knowledge, and in all events, the most stringent observance of the aims in terms of safe storage and operation, and subsequently sealing. ♦

Bibliographie

- Armand, G., Leveau, F., Nussbaum, C., de La Vaissière, R., Noiret, A., Jaeggi, D., Landrein, P. & Righini, C., 2014. *Geometry and Properties of the Excavation-Induced Fractures at the Meuse/Haute-Marne URL Drifts, Rock mechanics and Rock engineering, Volume 47, Issue 1, pp 21-41*
- Armand, G., Noiret, A., Zghondi, J. & Seyed, D.M., 2013. *Short- and long-term behaviors of drifts in the Callovo-Oxfordian claystone at the Meuse/Haute-Marne Underground Research Laboratory, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 5, pp 221-230*
- Bernier, F., Li X.L., Verstricht J., Barnichon J.D., Labiouse V., Bastiaens W., Palut J.M., Ben Slimane J.K., Ghoreychi M., Gaombalet J., Huertas F., Galera J.M., Merrien K., and Elorza F.J., & Davies C., 2002. *CLIPLEX. Report EUR 20619, Luxembourg: Commission of the European Communities.*
- Bonnet-Eymard, T., Ceccaldi, F. & Richard, L., 2011 *Extension of the Andra underground laboratory: methods and equipment used for dry, dust-free works. In: Proceedings of World Tunnel Congress 2011. Helsinki, Finland: 2011.*
- De La Vaissière, R., Armand, G. and Talandier J., 2015. *Gas and water flow in an excavation-induced fracture network around an underground drift: A case study for a radioactive waste repository in clay rock, Journal of Hydrology 521, p. 141-156*
- Lerouge, C., Grangeon, S., Gaucher, E.C., Tournassat, C., Agrinier, P., Guerrot, C., Widory, D., Fléhoc, C., Wille, G., Ramboz, C., Vinsot, A., Buschaert, S., 2011. *Mineralogical and isotopic record of biotic and abiotic diagenesis of the Callovian-Oxfordian clayey formation of Bure (France). Geochimica et Cosmochimica Acta 75, 2633-2663.*
- Martin, C.D., Lanyon, G.W., Blümling, P. & Mayor, J.C., 2002. *The excavation disturbed zone around a test tunnel in the Opalinus Clay. In Proc. NARMS/TAC 2002, R. Hammah, W. Baden, J. Curran, and M. Telesnicki, eds., 1581-1588. Toronto: University of Toronto Press.*
- Martin, F., Lavignerie, R. & Armand, G., 2010. *Geotechnical feedback of the new galleries excavation at the ANDRA underground research laboratory - Bure (France). Lausanne: Eurock 2010.*
- Read, R.S. & Martin, C.D., 1996. *Technical summary of AECL's mine-by experiment. AECL-11311, AECL research (Series). Pinawa, Manitoba: Whiteshell Laboratories, 1996: 169*
- Wileveau, Y., Cornet, F.H., Desroches, J. & Blümling, P. 2007. *Complete in situ stress determination in an argillite sedimentary formation, Physics and Chemistry of the Earth, vol. 36, 1949-1959*
- Yven, B., Sammartino, S., Geraud, Y., Homand, F., Villieras, F., 2007. *Mineralogy, texture and porosity of Callovo-Oxfordian argillites of the Meuse/Haute-Marne region (eastern Paris Basin). Mémoires de la Société géologique de France 178, 73-90*

► Instrumentation géotechnique et hydrogéologique

- **Éléments béton compressible hiDCon®**
- **Auscultation en tunnels et galeries**
- **Surveillance automatisée d'ouvrages et de bâtiments**
- **Essais in-situ en forages de reconnaissance: dilatomètre, fracturation hydraulique, caractérisation hydrogéologique**

Principales références:

- CIGEO / FAVL
- Centre de recherche Andra Meuse / Haute-Marne
- LTF, Brenner, Descenderie Saint-Martin la Porte
- AlpTransit: tunnels du Lötschberg et du Saint-Gothard
- Centrale hydroélectrique de Romanche-Gavet
- Métros d'Amsterdam, Copenhague, Athènes, Naples, Paris
- Tramway du Havre, gare de Leipzig
- Tunnel Croix Rousse
- Centrales Nucléaires du Bugey, Hinkley Point

Solexperts France SARL

10 allée de la Forêt de la Reine
54500 Vandœuvre-lès-Nancy
www.solexperts.com

Tél.: 33 (0) 3 83 94 04 55
Fax: 33 (0) 3 83 94 03 58
info@solexperts.fr



Descenderie Saint-Martin la Porte (source: Razel, Bilfinger Berger)

Nouveau système de captation de poussières selon les nouvelles normes en souterrain

NOUVEAU
DEVELOPPEMENT



Vivre le progrès.

Les chargeuses sur pneus Liebherr L 550 - L 576 en application tunnel.

- Une sécurité maximale grâce à un équipement de protection spécialement conçu pour l'application tunnel
- Liebherr Power Efficiency (LPE) : Plus de rendement avec jusqu'à 25 % de consommation de carburant en moins pour une exploitation particulièrement économique en application tunnel
- Charge de basculement plus élevée et poids en ordre de marche nettement plus faibles pour des capacités de godet identiques, apportent davantage de rendement au chargement et une meilleure stabilité au roulage
- Gain de temps et d'argent grâce à l'accessibilité simple aux points de service ainsi qu'à la plus faible usure des freins, des pneumatiques et des composants de translation



Liebherr-France SAS
2, Avenue Joseph Rey, B.P. 90287
68005 Colmar Cedex, France
Tel. : +33 3 89 21 30 30
E-mail : info.lfr@liebherr.com
www.facebook.com/LiebherrConstruction
www.liebherr.com

LIEBHERR

Le Groupe

Attaque en pleine section ou section divisée ? Le cas du tunnel de Chamoise sur l'A40

Full-face versus sequential excavation - A case study of the Chamoise tunnel



Martin PUTZ-PERRIER
Egis Tunnels



Nicolas GILLERON
Egis Tunnels



Emmanuel BOURGEOIS
IFSTAR-COSYS



Adrien SAÏTTA
Egis Tunnels

Cet article a été publié initialement par la revue autrichienne "Geomechanik und Tunnelbau", vol. 7 (2014), n° 5, sous le titre "Vollausbruch versus Teilausbruch - Eine Fallstudie vom Chamoisetunnel (Frankreich)". Il a été traduit de l'allemand par Jean Piraud (Antea).

Lors du creusement du tunnel de Chamoise à travers le Jura français (L = 2 x 3,3 km), on a dû traverser de longues sections de marnes potentiellement gonflantes sous 400 m de couverture environ. En phase Etudes, une galerie de reconnaissance de 9 m² de section avait été réalisée sur toute la longueur du tunnel. Suite aux enseignements de cette galerie, la Nouvelle méthode autrichienne (NATM) a été retenue comme étant la plus adaptée. Le tube Nord a été creusé de 1981 à 1984 ; l'excavation a été réalisée mécaniquement à la MAP, en 3 phases (calotte, stross et radier).

Le tube Sud a été réalisé 10 ans plus tard. La principale différence par rapport au tube Nord a été le remplacement de l'excavation mécanisée par l'excavation à l'explosif en pleine section. C'est ainsi que le tube Sud de Chamoise a été le premier tunnel autoroutier français entièrement excavé en pleine section. Les avantages économiques de cette méthode, liés principalement à la réduction du nombre de cycles d'avancement et à l'emploi de plus grosses machines, ont conduit à abandonner progressivement, en France, l'avancement en section divisée au profit de la pleine section.

L'article décrit les différences entre méthodes d'exécution des tubes Nord et Sud. La comparaison est complétée par des rétro-analyses numériques, et par une étude numérique sur le rôle éventuel d'un confinement du front dans le cas du tube Sud. La comparaison montre que dans le cas du tunnel de Chamoise, la séquence d'excavation n'a qu'une faible influence sur les déformations du massif à court terme, et qu'un éventuel confortement du front de taille n'aurait eu que peu d'intérêt. Du point de vue économique, la différence principale entre les deux tubes tient aux vitesses d'avancement : en pleine section et sans soutènement du front, elles ont dépassé de 20 % celles qui ont été atteintes avec une section divisée en 3 parties.

Construction of the 3300m long Chamoise Tunnel in the French Jura Mountains had to overcome long sections of swelling marls beneath an overburden of 400 m. During the design phase a reconnaissance gallery of 9 m² was driven to investigate the geological conditions over the entire length of the tunnel. The findings of the gallery led the designer to choose the NATM. The North Tube was constructed between 1981 and 1984.

The South Tube was constructed about 10 years later. The main revolution in methodology was the change from sequential to full-face excavation in the marl sections. Applied for the first time for the Chamoise Tunnel, the economic benefits of full-face excavation even in poor ground, largely due to the reduction of works cycles and the use of bigger machines, initiated a general trend from sequential towards full-face excavation in France. In our article we present the methodological differences between the tunnel drives of Chamoise North and South Tubes. The comparison is supported by a numerical back-analysis of the observed ground behaviour. In addition, the role of face-confinement is examined.

The study shows that in the case of Chamoise Tunnel, the excavation sequence has little influence on the short-term ground behavior and that face confinement would have been of no use. From an economical point of view, the most significant difference between the two tunnel drives are the mean advance rates, which were about 20% higher for full-face excavation (without face reinforcement) than the rates achieved by sequential (3-staged) excavation.

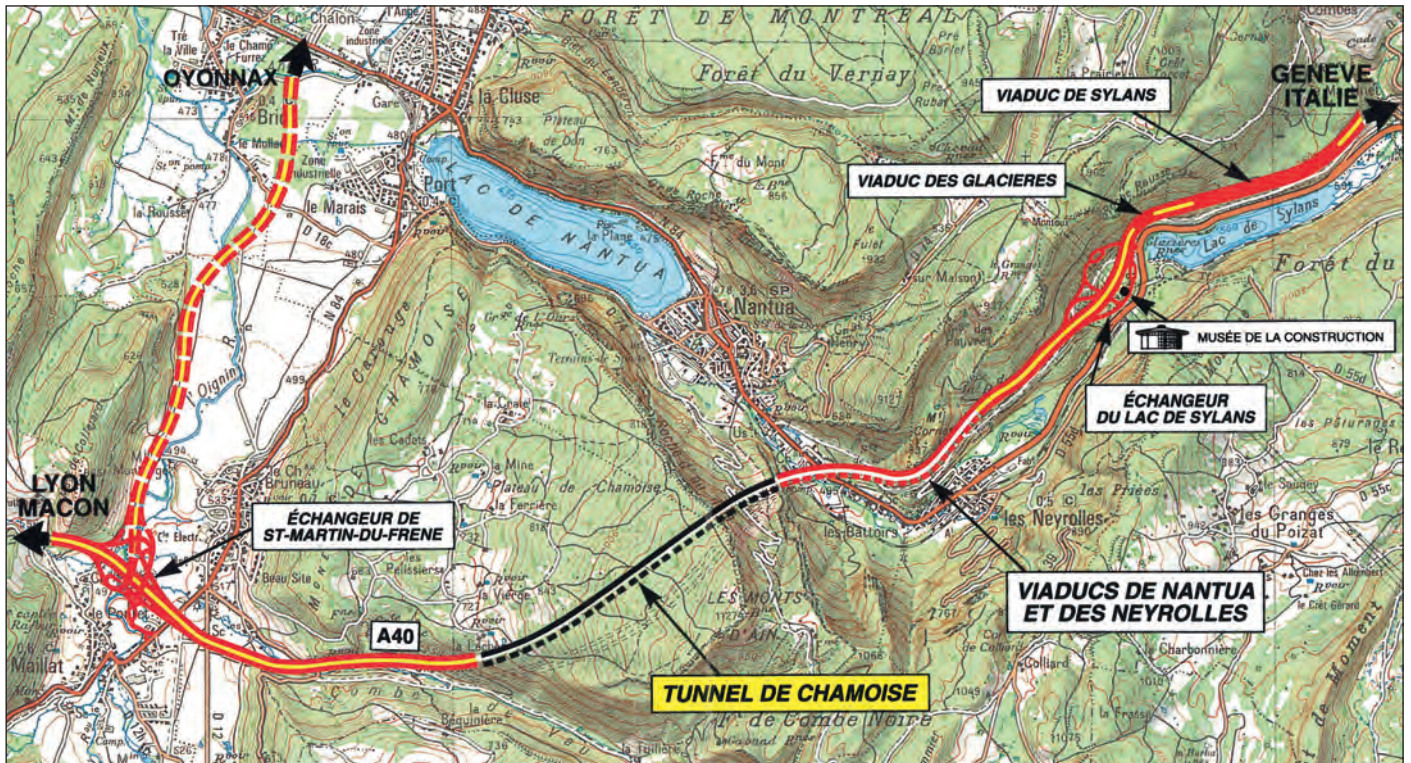


Figure 1 - Carte de l'autoroute A40 reliant Macon (France) à Genève (Suisse), avec le tunnel de Chamoise au milieu / Road map of the A40 motorway between Macon and Geneva with Chamoise tunnel at the centre.

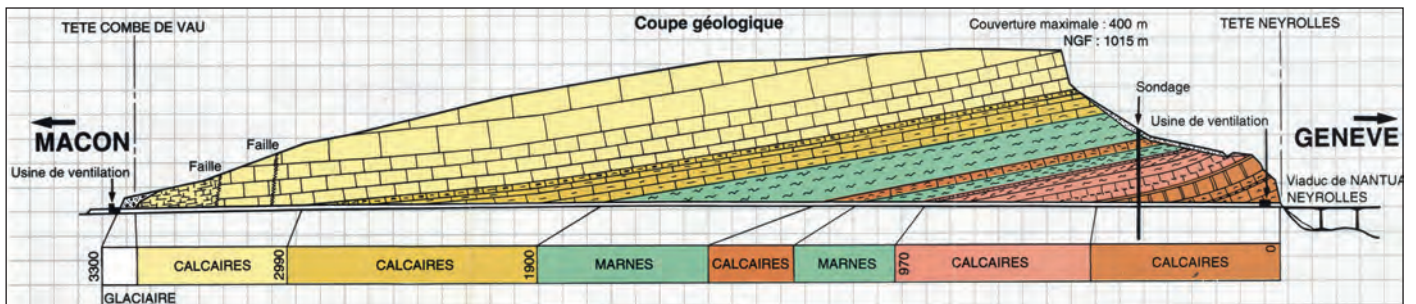


Figure 2 - Coupe géologique du tunnel de Chamoise ; les Marnes oxfordiennes, en vert ("Marnes") sont divisées en deux par un banc de calcaires marneux, en orange ("Calcaires") / Geological longitudinal profile of Chamoise tunnel; the oxfordian marls are shown in green ("Marnes") and separated by a bed of marly limestone highlighted in orange ("Calcaires").

1 - Introduction

Entre Mâcon et Genève, l'autoroute A40 traverse le Sud de la chaîne du Jura (fig. 1). Les conditions topographiques de ce pays de moyenne montagne ont imposé une succession de viaducs et de tunnels, dont le cœur est constitué par le tunnel de Chamoise, long de 3 300 m, avec des sections excavées allant de 90 à 140 m². Il recoupe le chaînon du Mont d'Ain, constitué d'une succession de calcaires et de marnes (fig. 2).

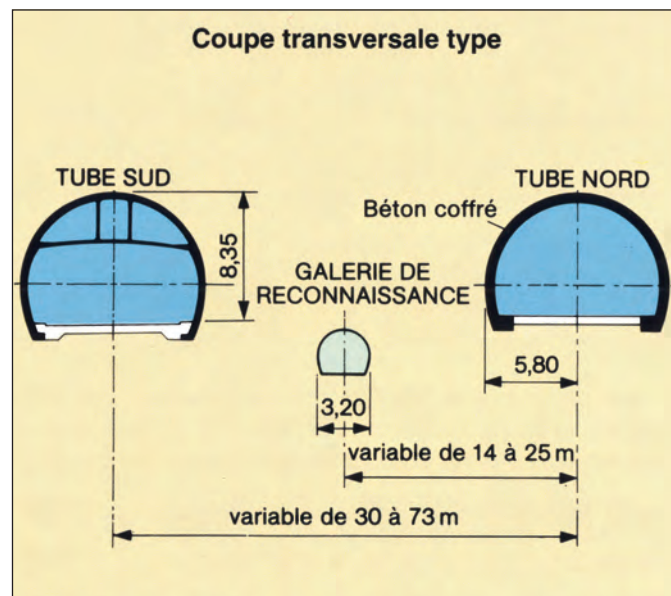
La principale difficulté, lors du creusement du premier tube dans les années 1980 puis du second tube dans les années 1990, a été l'excavation de deux zones de marnes longues de 180 et 580 m. Le potentiel de gonflement de ces marnes de l'Oxfordien, combiné à une forte hauteur de couverture (jusqu'à 435 m) ont conduit le concepteur et le maître d'ouvrage à mettre en œuvre une campagne de reconnaissances et d'auscultation de grande ampleur. Le suivi automatique des

1 - The Project

The A40 motorway (Macon-Geneva) traverses the southern part of the French Jura Massif (Fig.1). Crossing this mountainous region required the construction of a chain of viaducts and tunnels, the longest of which is the Chamoise Tunnel. This tunnel with a length of 3300m and excavated cross sections of 90 to 145 m² traverses the Mont d'Ain Monocline, which consists of a sequence of carbonates and marls (Fig.2).

Construction of the tunnel in the early 1980s (first tube) and 1990s (second tube) had in particular to overcome two marl-dominated sections of 180 m and 580 m lengths respectively. The reputed swelling ability of these oxfordian marls, combined with the high overburden of up to 435m, lead the designer and the project owner to launch a long-term research and observation campaign associated with the design and construction phases of the project [1].

Figure 3 - Coupe schématique des tunnels de Chamoise, avec la galerie de reconnaissance au milieu et les tubes Nord et Sud / Schematical cross section of Chamoise tunnel with reconnaissance gallery (centre), north tube (right) and south tube (left).



déformations du massif autour des deux tubes se poursuit encore aujourd'hui [réf. 1].

Actuellement, presque 20 ans après l'achèvement du 2ème tube, ces Marnes oxfordiennes concentrent à nouveau toute l'attention de la Géotechnique française, mais pour une tout autre raison. En effet le futur dépôt final de déchets radioactifs projeté dans le Nord-Est de la France, dit CIGEO, sera implanté dans des terrains analogues ; il est prévu que dans quelques années, des déchets radioactifs à haute activité soient enfouis à 500 m de profondeur dans une formation marneuse imperméable du Callovo-Oxfordien. Du fait d'un comportement mécanique à long terme supposé très proche de celui des marnes de Chamoise, les résultats de l'auscultation de ce dernier tunnel jouent un rôle essentiel dans la conception du stockage CIGEO.

Cependant, contrairement aux études de CIGEO qui se concentrent sur le comportement à long terme des marnes oxfordiennes, le présent article traite exclusivement des déformations à court terme du massif observées durant les travaux. En particulier, nous comparerons la traversée des Marnes oxfordiennes par les deux tubes, car des méthodes très différentes y ont été mises en œuvre : excavation mécanique séquentielle pour le tube Nord, excavation à l'explosif en pleine section pour le tube Sud.

Comme les deux tubes ont été creusés dans les mêmes unités géologiques et par la même entreprise (le concepteur et le maître d'œuvre des travaux étaient d'ailleurs les mêmes), ce tunnel de Chamoise permet de faire une comparaison directe entre avancement en pleine section et en section divisée.

2 - Comparaison des deux méthodes d'avancement dans les marnes oxfordiennes

2.1- Galerie de reconnaissance (1978-80)

Une galerie de reconnaissance de 9 m² de section excavée a été implantée entre les deux tubes (fig. 3) et creusée à l'explosif (fig. 4a et 4b) ; l'objectif de cette galerie était d'une part la reconnaissance géologique du massif et la caractérisation géomécanique des unités centrales de marnes, d'autre part de faciliter l'exhaure, la ventilation et la gestion des secours pour les deux tubes principaux.

2.2 - Tube Nord (1982-86)

Dans une première phase de travaux, seul le tube Nord a été excavé. L'avancement dans les unités de marnes a été réalisée en trois parties (calotte, stross, radier), avec une machine à attaque ponctuelle (MAP, cf. fig. 4 c et 4d) et un soutènement immédiat composé de boulons radiaux, de béton projeté armé et de cintres TH [réf. 3 et 4].

Today, some twenty years later, the same oxfordian formations are once again in the limelight of the French geotechnical community, but for a different reason: Cigeo, the future deep geological disposal facility for radioactive waste to be built in north-eastern France is behind the renewed interest. The project intends to store highly radioactive, long-lived waste some 500 metres below ground in an impermeable rock formation, thought to display similar long term behaviour as the oxfordian marls encountered by the Chamoise Tunnel [2].

For the present paper, we took advantage of the opening of the archives for Cigeo to carry out a comparative study of the North and South Tube drives of Chamoise Tunnel across the oxfordian marls, the former by sequential mechanical excavation, and the latter by full-face drill-and-blast excavation. As the two tubes traverse exactly the same geological units and were designed and constructed by the same companies (even the design and works managers remained the same), the project provides an interesting case study for the comparison of sequential and full-face excavation.

2 - Comparison of excavation methods in the oxfordian marls

2.1 - Reconnaissance Gallery (1979-80)

A reconnaissance gallery with a cross section of 9m² was excavated by drill-and-blast method in between the positions of the future tubes of Chamoise Tunnel (Fig.3). The principal aim of this gallery was to consolidate the geological longitudinal profile and to investigate the ground behaviour in the oxfordian marls at the centre of the tunnel (Fig.2). After the construction of the main tunnel, the gallery would be used as an emergency issue, as well as for ventilation and drainage of the two tubes.

2.2 - North Tube (1982-86)

In a first construction stage only the northern tube of the tunnel was realised in the years 1982-86 (Fig.3). Driving of this first tube across the marl sections was carried out by three-staged mechanical excavation (road-header) of top-heading, bench and invert (Fig.4c, d). The applied ground



Figure 4 - Photos des travaux.
 • En haut : galerie de reconnaissance (1979-80) : a) Boulonnage, b) Section d'essai dans les Marnes
 • Au milieu : Tube Nord (1982-86) : c) excavation de la calotte à la MAP, d) Excavation en 3 parties
 • En bas : Tube Sud (1992-95) : e) Pleine section excavée à l'explosif, f) Chargement de la volée / Tunnelling works.
 • Top: reconnaissance gallery, 1979 to 1980 : a) rockbolt installation
 b) circular test section in marls;
 • middle: north tube, 1982 to 1986 : c) top-heading excavation with road-header, d) three-staged excavation;
 • bottom: south tube, 1992 to 1995 : e) full-face drill-and-blast excavation, f) loading of explosives.

2.3 - South Tube (1992-95)

Progressive increase of traffic volumes on the A40 motorway required the construction of the second tube, which was realised during the years 1992-1995 (Fig. 3).

Initially the same excavation methods, which had already successfully been applied for the North Tube, were also proposed for the South Tube.

However, when the first tunnel drive encountered the oxfordian marls and methods were changed from drill-and-blast to mechanical excavation, advance rates dropped drastically, in spite of the use of a powerful road-header (100 MW more powerful than the one used for the South Tube). The main reason for the poor performance of the mechanical excavation was the dust generation. The reconnaissance gallery could no longer be used for dust extraction, as it served already as an emergency gallery for the North Tube under operation and the use of water was strictly forbidden on site because of the high water sensitivity of

La principale difficulté technique rencontrée à l'avancement a été l'écaillage brusque et fragile des marnes sur les parois latérales et le radier, ce qui conduisait à des hors-profil et à une diminution de la résistance du massif. De plus, toute utilisation d'eau était interdite à cause du potentiel de gonflement élevé des marnes, ce qui conduisit à de fortes émissions de poussière par la MAP. Pour maîtriser ce phénomène, la galerie de reconnaissance a été utilisée pour aspirer les poussières, tandis que le tunnel en construction servait pour le soufflage d'air frais ; on put ainsi limiter les fortes concentration de poussières à une étroite zone proche du front.

2.3 - Tube Sud (1992-95)

Au début des années 1990, la croissance continue du trafic rendit nécessaire la réalisation du 2^{ème} tube (fig. 3). Le cahier des charges de cette 2^{ème} phase prévoyait des mêmes méthodes d'exécution de celles utilisées avec succès pour le premier tube. Cependant, quand l'avancement du 2^{ème} tube atteignit les unités marneuses, et que l'on abandonna l'excavation à l'explosif utilisé dans les calcaires pour passer à l'excavation mécanique, la production de poussière par la MAP devint rapidement un problème insurmontable. En dépit de l'emploi d'une MAP extrêmement puissante (100 MW de puissance supplémen-

support consisted of systematic rock-bolting and a shell of shotcrete with welded wire-mesh, reinforced by TH-ribs [2,3].

The principal problem encountered during tunnel driving was the plastification of the marls at the outer limits of top-heading and bench, causing significant over-excavations and degradation of the ground characteristics. Due to the risk of swelling in the marls, the use of water was strictly forbidden, which lead to high dust loading during mechanical excavation. To deal with this issue, the reconnaissance gallery was used for dust extraction, whilst fresh air was injected at high flow rates to confine the dust within a small zone close to the excavation face.

taire par rapport à la machine du tube Nord), les rendements obtenus sont restés très en-deçà des attentes.

Comme déjà indiqué, le rajout d'eau dans les marnes gonflantes n'était pas autorisé. La galerie de reconnaissance, qui dans le tube Nord avait été utilisée pour renforcer la ventilation du front, était maintenant en service comme galerie de fuite et de secours, donc non utilisable pour les travaux du tube Sud. L'installation de ventubes supplémentaires dans le tube Sud n'apporta guère de soulagement et gênait par ailleurs les travaux en rétrécissant la section disponible. Outre la forte réduction des cadences d'avancement, la concentration des poussières conduisit à des irrégularités dans le profil excavé et à une augmentation des hors-profil, le conducteur de la MAP ne pouvant pas voir correctement le front.

Après trois mois environ d'avancement dans ces conditions peu satisfaisantes, il était clair qu'une alternative devait être recherchée. Le retard croissant par rapport au planning, ainsi que les menaces de l'Inspection du Travail d'arrêter les travaux si le problème des poussières n'était pas traité, amenèrent à remplacer l'excavation mécanique par l'excavation à l'explosif. Pour pouvoir forer les trous de mine à sec, on utilisa pour la première fois en France un procédé de dépoussiérage consistant à agglomérer les particules de poussière dans le trou de mine lui-même grâce à de la vapeur d'eau. Simultanément, on passa d'une section divisée à une excavation en pleine section, la première ayant été imposée par la hauteur d'action de la MAP, limitée à 7,50 m (fig. 4 e et f) [réf. 5 et 6].

2.4 - Comparaison des rendements

Le dicton « *Le temps c'est de l'argent* » est particulièrement adapté aux travaux souterrains ; en effet, contrairement aux terrassements à l'air libre, le nombre de machines que l'on peut mettre en œuvre ne peut pas être facilement multiplié. Le nombre d'attaques par tube est en général limité à deux, et pour des tunnels longs ce chiffre ne peut être augmenté qu'en consacrant des dépenses élevées à la création d'attaques intermédiaires. Pour cette raison, toute amélioration du rendement moyen au front se traduit par un gain élevé dans le projet de tunnel. Ainsi, pour le tunnel de Chamoise, le remplacement de l'excavation mécanique en 3 parties par une excavation pleine section à l'explosif a permis de faire passer l'avancement moyen de 2,9 m/j dans le tube Nord à 3,7 m/j dans le tube Sud (tableau 1).

3 - Comportement observé et simulation numérique

3.1 - Comportement du massif pendant les travaux

La galerie de reconnaissance a été entièrement creusée à l'explosif ; lors de l'excavation, les Marnes oxfordiennes se sont comporté de manière tout-à-fait analogue aux calcaires sus-jacents, ce qui n'est pas surprenant eu égard à leur faible teneur en eau ($\leq 5\%$) et à leur résistance moyenne relativement forte : de 20 MPa pour les Marnes oxfordiennes inférieures à 26 MPa pour les Marnes supérieures. Ceci est cohérent avec une teneur en CaCO_3 relativement élevée : 32 à 65 % pour les Marnes inférieures, 62 à 86 % pour les Marnes supérieures. A contrario, on a constaté

the marls. The installation of two ventilation ducts (one for dust extraction, the other for the injection of fresh air) proved to be insufficient to provide acceptable working conditions at the excavation face and was hindering machine movements. In addition to the reduced advance rates the dust also led to highly irregular excavation profiles and over excavations due to the fact that the operator of the roadheader could not see the excavation face

After about three months of working under these conditions and with the double threat of works falling behind schedule and a shutdown of the construction site by the labour inspectorate, it was decided to replace the mechanical excavation by drill-and-blast excavation. For the water-free drilling of boreholes, a technique called "atomisation" was applied, which permits binding of dust particles by a mixture of vapour and gas. In addition, staged-excavation, which had been applied during mechanical excavation mainly due to the height limitation of the road-header of 7.50 m, was replaced by full-face excavation (see Fig.4e, f), [4, 5].

2.4 - Comparison of daily advance rates

The statement "Time is Money" is particularly true for tunnelling. Unlike open-air excavation works, where the overall advance rate can be increased by multiplying the number of machines, the number of headings of a tunnel project is generally limited to two per tube. Adding of intermediate headings is economically only viable for very long tunnels. Therefore, an increase in daily advance rates per heading is of great value for any tunnel project.

In the case of Chamoise Tunnel, the change from 3-staged to full-face excavation resulted in an increase of

the mean advance rate in the marl sections from 2,9 m/day (North Tube) to 3,7 m/day (South Tube) (see Table 1).

3 - Observed ground behaviour and numerical back-analysis

3.1 - Observations on site

The oxfordian marls displayed rock-like behaviour during drill-and-blast excavation of the reconnaissance gallery. This observation is confirmed by laboratory test results, showing very low water contents ($\leq 5\%$) and relatively high mean values of uniaxial compressive strength (R_c) of 20 MPa and 26 MPa, for lower and middle oxfordian marls respectively. This is in agreement with the content of CaCO_3 , which ranges from 32% to 65% in the lower, and 62% to 86% in the middle oxfordian marls. Nevertheless, after mucking out of the excavated blocks, these transformed within hours to mud when exposed to rain on the deposit site. Swelling tests carried out in-situ and in the laboratory confirmed the high water sensitivity of the two units.

During driving of the North Tube, sudden shear failure of the primary concrete lining occurred during invert excavation in the lower oxfordian marls, folding the reinforcement steel mesh into "Z"-shape over a distance of about 30 m (see Fig. 5). These shear deformations were accompanied by spalling behaviour of the marls, in particular in the invert zone, causing significant over-excavations. To avoid these issues, invert excavation in the South Tube was carried out only after previous installation of radial rock-bolts beneath the sole of the invert (see Table 1). Nevertheless, spalling also occurred during excavation of the South Tube, but only at the excavation face, indicating face extrusion (see for example spalled shotcrete surface in Fig. 4e).

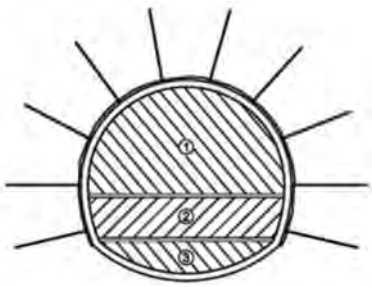
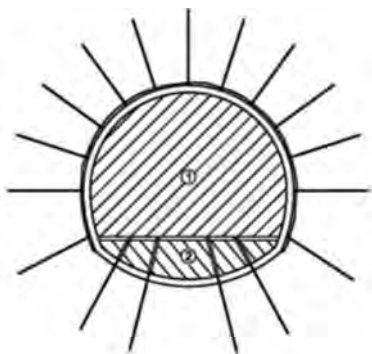
	Tube Nord / North Tube	Tube Sud / South Tube
Profil-type dans les tronçons marneux / <i>Typical cross profiles for the marls sections</i>		
Méthode d'excavation / <i>Excavation method</i>	Excavation mécanique en section divisée (3 parties) / <i>3-staged mechanical excavation with road-header</i>	Excavation en pleine section à l'explosif suivie par l'excavation mécanique du radier / <i>Full-face drill-and blast excavation</i>
Machines	MAP Westfalia « Buffle », WAV / <i>Roadheader Westfalia Buffle WAV</i>	Jumbo automatique à 3 bras « Robofore », de Montabert / <i>3-armed automatized Robofore Montabert</i>
Avancement moyen dans les Marnes / <i>Mean advance rates in the marls sections</i>	Global : 2,9 m/j / <i>Global 2.9m/day</i>	Global : 3,7 m/j / <i>Global: 3.7m/day</i>
	Profil 4 avec cintres TH : 2,1 m/j / <i>Profile 4 with TH ribs: 2.1m/day</i>	Profil 4 : 2,6 m/j / <i>Profile 4: 2,6m/day</i>
	Profil 3 sans cintres : 3,3 m/j / <i>Profile 3 without TH ribs: 3.3m/day</i>	Profil 3 : 3,8 m/j / <i>Profile 3: 3,8m/day</i>

Tableau 1 - Avancements comparés dans les Marnes oxfordiennes / Comparison of both drives in the oxfordian marls.

une forte sensibilité à l'eau de ces marnes : après leur transport dans une décharge à l'air libre, les blocs excavés se transformaient en boue au bout de quelques heures. Les essais de gonflement exécutés au front et au laboratoire ont confirmé cette extrême sensibilité à l'eau des deux unités marneuses.

Au cours de l'avancement du tube Nord et lors de l'excavation du radier, on a constaté plusieurs fois un cisaillement brusque de la coque de béton projeté ; le treillis soudé se déformait alors en Z sur des longueurs pouvant atteindre 30 m (fig. 5). Les déformations de la coque de béton projeté se manifestaient dans les marnes principalement en radier, sous la forme d'écaillages, ce qui provoquait des hors-profils accrus. Pour éviter ce problème dans le tube Sud, on n'a excavé le radier qu'après y avoir posé des boulons radiaux (cf. tab. 1).

Par la suite, les seuls phénomènes d'écaillage observés dans le tube

Sud ont tous été liés à des déplacements radiaux du front (extrusion) : voir par ex. les plaques de béton écaillées sur la figure 4e.

3.2 - Rétro-analyse numérique

Pour mieux comprendre le comportement 3D du massif observé lors de l'excavation du tube Sud, nous avons entrepris une rétro-analyse numérique. L'objectif principal de cette étude était d'investiguer le comportement localement poussant du massif, ainsi que le rôle des déformations du front. La modélisation a été effectuée avec le logiciel CESAR-LCPC-v5 (éléments finis), développé par ITECH et l'IFSTTAR.

Le modèle utilisé, long de 45 m (fig. 6), est constitué de 60 000 éléments quadratiques tétraédriques. Les déplacements normaux sur toutes les faces sont bloqués. Le comportement des Marnes oxfordiennes est modélisé par une loi élastique isotrope, sans dilatance, avec un



Figure 5 - Rupture brusque de la coque de béton projeté lors de l'excavation du radier du tube Nord. Le treillis soudé a été plié en Z sur une longueur d'environ 30 m (cf. flèches) / Sudden shear failure of primary concrete lining during invert excavation in the north tube.

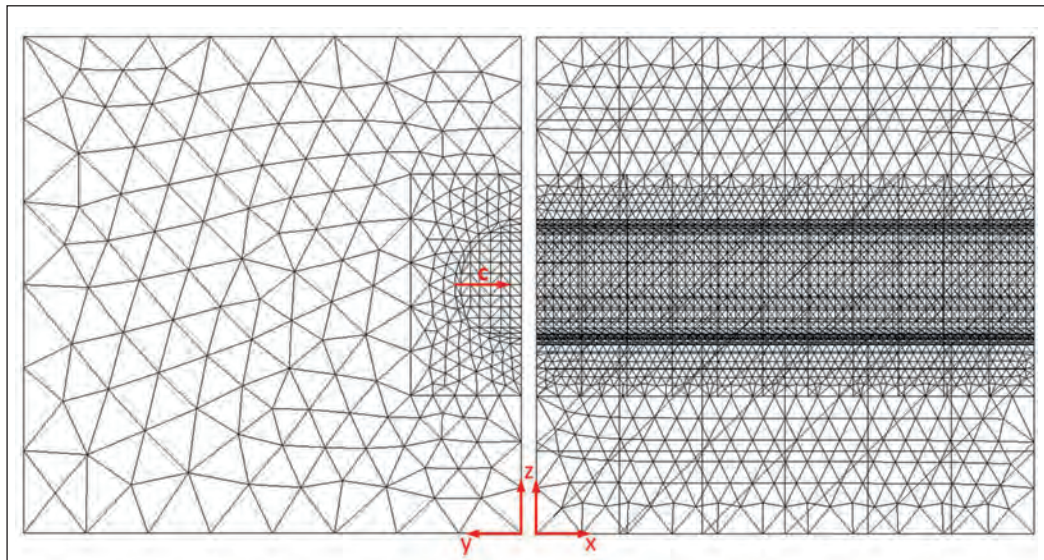


Figure 6 - Modèle 3D par éléments finis CESAR-LCPC-v5 / Three-dimensional FE Model.

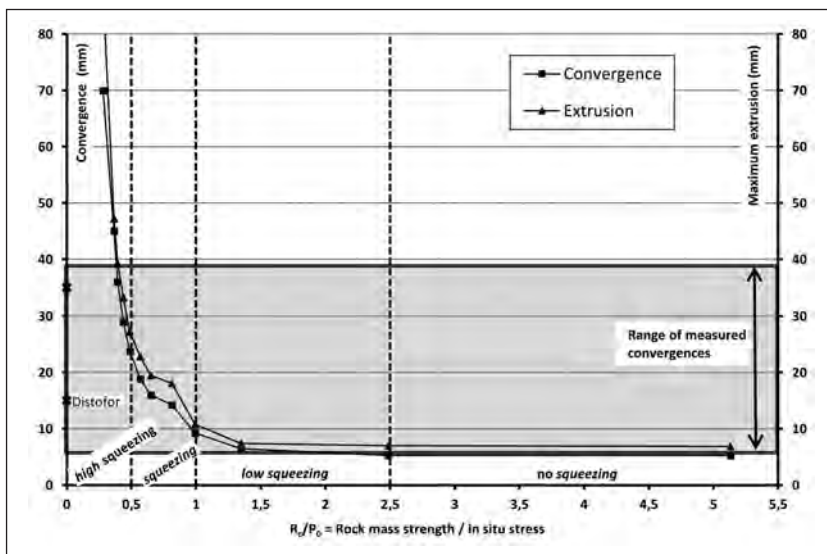


Figure 7 - Diagramme de stabilité issu du modèle, montrant les convergences radiales et l'extrusion du front en fonction de la résistance normalisée des Marnes, avec indication du domaine des convergences effectivement mesurées lors de l'avancement / Modelled stability profiles for convergence and extrusion as a function of normalized uniaxial compressive strength of the ground; the range of measured (observed) convergences is indicated for comparison.

critère de rupture de Mohr-Coulomb. Le module de Young (5 GPa) et le coefficient de Poisson (0,3) ont été déterminés par les essais triaxiaux au laboratoire. Dans le modèle, la résistance de la roche est exprimée en fonction de la cohésion et de l'angle de frottement par la relation :

$$R_c = 2c \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

La couverture de 400 m et le coefficient de poussée des terres au repos de 0,6 conduisent à l'état de contrainte initial suivant :

$$\sigma_{zz} = 10 \text{ MPa} ; \sigma_{xx} = \sigma_{yy} = 6 \text{ MPa} ; P_0 = 7,3 \text{ MPa}$$

Conformément au cycle de travail mis en œuvre dans le tube Sud pour l'excavation pleine section, le soutènement et la fermeture du radier (tab. 1), la distance maximale entre le front et le premier soutènement s'élève à 3 m environ. Ce soutènement immédiat a été simulé de façon simplifiée par des éléments élastiques dotés d'un module de 15 GPa.

3.3 - Le diagramme de stabilité

Sur la figure 7, nous avons reporté la convergence des parois et l'extrusion du front en fonction de la

3.2 - Numerical back-analysis

The three-dimensional model (Fig. 6) consists of 60 000 quadratic tetrahedron elements and is of cubic geometry with edge lengths of 45 m. Normal displacements on all faces are blocked. Ground behaviour of the oxfordian marls is modelled based on a linear isotropic constitutive law with Mohr-Coulomb failure criterion and dilatancy equal to zero. According to triaxial tests carried out on rock specimen from the reconnaissance gallery, Young's Modulus is equal to 5 000 MPa and Poisson's Ratio is equal to 0.3. In the model the rock

strength is expressed by the couple of cohesion and friction angle :

$$R_c = 2c \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi}$$

An overburden of about 400m with a neutral earth pressure coefficient equal to 0.6 has been taken into account leading to the following initial stress state : $\sigma_{zz} = 10 \text{ MPa} ; \sigma_{xx} = \sigma_{yy} = 6 \text{ MPa} ; P_0 = 7.3 \text{ MPa}$

In accordance with the works cycle of excavation and installation of the primary ground support applied during tunnel driving, the unsupported span between the tunnel face and the primary tunnel lining is equal to 3 m. The primary ground support, is represented by elastic elements with a Young's modulus of 15 000 MPa. The modelled excavation sequence is based on the workflow applied for driving the South Tube, consisting of full-face excavation, followed by invert construction in a second step (see Table 1).

3.3 - Stability profile

Figure 7 shows the model results for convergence and extrusion in form of a stability profile [7, 8]. Short-term convergence and maximum face extrusion are plotted against the normalized uniaxial compressive strength. Four zones can be distinguished with respect to the squeezing potential of the marls, ranging from "no squeezing" to "high squeezing" behaviour.

résistance uniaxiale normalisée du massif Rc/PO [réf. 7 et 8]. Dans le diagramme de stabilité qui en découle, on peut distinguer 4 zones de comportement des Marnes, depuis “non-poussant” jusqu’à “fortement poussant”.

Ce diagramme de stabilité montre une forte corrélation entre l’extrusion du front et les convergences radiales. Cette corrélation implique qu’il devrait être théoriquement possible de prédire les convergences ultérieures des parois d’après le comportement mesuré du front en extrusion. Des observations analogues ont été faites par Cantieni et al [9] et P. Lunardi [10], mais aucune mesure d’extrusion n’a été faite dans les tunnels de Chamoise. Cependant, si l’on reporte sur un graphique les convergences mesurées dans les deux tunnels et les résistances uniaxiales Rc disponibles le long de l’axe du tunnel (fig. 8), on remarque qu’elles sont liées par une corrélation négative utilisable, ce qui confirme les résultats de la modélisation ci-dessus.

La figure 8 permet de faire une autre observation intéressante : les convergences mesurées dans les deux tubes (carrés et losanges rouges) ne sont pratiquement pas différenciables, ce qui indiquerait qu’elles sont quasiment indépendantes de la séquence d’excavation. Au premier abord, l’amplitude des convergences observées semble donc dépendre principalement de la résistance des marnes mesurée tout au long du tunnel.

Comme déjà indiqué, les Marnes oxfordiennes de Chamoise présentent des résistances relativement élevées. Corrélativement, le comportement observé du massif s’est révélé “non poussant” sur de longues sections du tunnel. Ce n’est

que sur de courts tronçons que l’on a rencontré des marnes à faible résistance (< 10 MPa), qui ont montré un comportement poussant avec des convergences mesurées supérieures à 70 mm.

3.4 - Validation du modèle

Au cours de l’excavation du tube Sud, on a installé une section de mesure renforcée au PM 1360. La particularité de cette section de mesure est d’avoir été installée depuis la galerie de reconnaissance, plusieurs mois avant le passage du front du tube Sud. Plusieurs extensomètres de forage (Distofor de la société Telemac) ont ainsi été mis en œuvre perpendiculairement à l’axe du tunnel, entre la galerie de reconnaissance et le tube Sud. A partir d’une distance du front de 200 m, les déformations du massif ont ainsi été mesurées toutes les

The diagram shows a strong correlation between face extrusion and radial convergence. This implies that it should be possible to predict the short term behaviour of the section (i.e. short-term convergence) from observed face extrusion during excavation. Similar observations have also been discussed by Cantieni et al., 2011 [9] and Lunardi, 2008 [10]. Face extrusion was not measured during the construction of Chamoise Tunnel. Nevertheless, plotting the observed short-term convergences together with the available laboratory test results of uniaxial compressive strength (Rc) along the tunnel (Fig. 8), displays suitable inverse correlation between the two values, which supports the model results.

Another interesting aspect of the data plotted in Figure 8 is that the observed radial convergences in the two tubes are almost identical (red diamonds

and squares in Figure 8), and hence independent of the applied excavation sequence. The variation of the convergences along the tunnel appears to be largely governed by the values of Rc.

As mentioned previously, most of the oxfordian marls encountered by the Chamoise Tunnel display relatively high compressive strengths (Rc), displaying therefore low squeezing or no squeezing behaviour. However, locally the measured values of Rc are < 10 MPa with convergences reaching > 70 mm, indicating squeezing, if not high squeezing, behaviour.

3.4 - Validation of the model

During construction of the South Tube, a special measurement section was equipped at chainage 1360m, about 200m ahead of the excavation face. The section consists of a number of borehole extensometers (TELEMAC

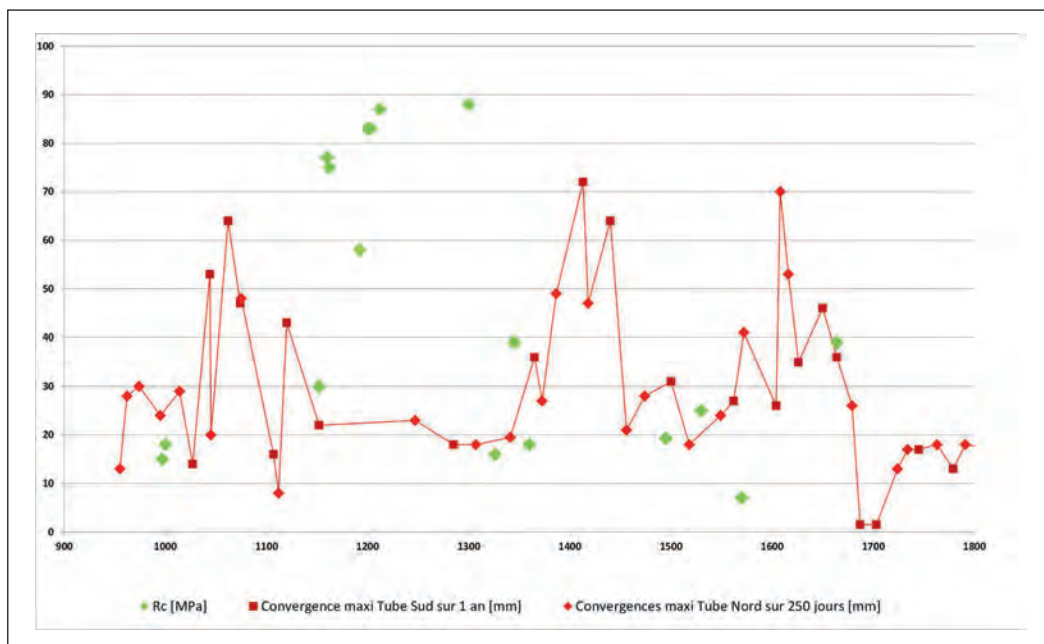


Figure 8 - Les convergences immédiates maximales des deux tubes (en rouge) et la résistance uniaxiale Rc des Marnes (en vert) sont reportées en fonction des PM du tube Sud. Pour comparer valablement les deux tubes, les convergences du tube Nord et les résistances mesurées dans la galerie de reconnaissance ont été projetées sur le tube Sud parallèlement à la stratification / Maximum short-term convergences (in red) of both tubes and uniaxial compressive strength (Rc) test results (in green) along the tunnel; the positions of convergences observed in the north tube and Rc values obtained from the reconnaissance gallery are projected parallel to the trend of sedimentary bedding and represented with respect to the chainage of the south tube.

2 heures, tandis que le front de taille se rapprochait, passait au droit de la section de mesure, puis s'éloignait. En outre, un profil de convergence a été installé dans le tube Sud lui-même au PM 1360, pour parfaire la compréhension du comportement du massif après l'excavation.

L'ensemble des données ainsi récoltées a permis de tester le modèle numérique. Les mesures extensométriques ont été faites à 1,5 m (point 101), 4,5 m (point 102) et 7,5 m (point 103) de la paroi excavée du tunnel. A partir des mesures de convergences (fig.8) et du diagramme de stabilité (fig. 7), on a pu déterminer les paramètres de Mohr-Coulomb sur la section étudiée, et comparer les convergences calculées aux convergences mesurées par le dispositif extensométrique (fig. 9). Les convergences reportées sur cette figure pour les 3 points de mesure montrent une bonne concordance avec les calculs, ce qui confirme la bonne adéquation du modèle par éléments finis.

Une autre observation intéressante que l'on peut tirer du modèle et de la section de mesure renforcée est que 30 % environ des convergences radiales immédiates ont déjà eu lieu avant le passage du front.

3.5 - Effets du confortement du front

Comme il a déjà été dit, un comportement poussant n'a été observé dans le tunnel de Chamoise qu'à certains endroits. Sur de grandes longueurs, le comportement du massif est resté dans le domaine élastique ; dans ce cas, le confortement du front aurait eu peu d'intérêt, tout en ralentissant l'avancement.

C'est pourquoi nous n'avons étudié sur le modèle l'influence d'un confortement du front que dans le

cas d'un comportement fortement poussant (cf. fig. 7), avec plastification du massif environnant ($R_c/P_0 \sim 0,45$). Dans un premier temps, nous faisons agir sur le front une pression de confinement de 600 kPa, qui dans la réalité peut être facilement obtenue au moyen d'un faisceau dense de boulons en fibre de verre parallèles à l'axe [réf. 11 et 12]. Dans un deuxième temps nous avons appliqué une très forte pression sur le front de taille (6 MPa), afin d'empêcher toute extrusion.

Le modèle du tunnel de Chamoise montre que l'influence d'un confortement du front est très faible dans les tunnels profonds (fig. 10), et ceci parce que les convergences radiales après excavation sont sensiblement plus grandes que les pré-convergences qui se produisent à l'avant du front. Dans le cas d'un confinement très élevé (6 MPa) qui empêche toute extrusion, les convergences à court terme de la paroi juste après l'excavation ne sont que 15 % inférieures que celles qui se produiraient en l'absence de soutènement du front.

DISTOFOR), installed perpendicular to the tunnel axes. During the approach of the excavation face, measurements were recorded every two hours. Once the tunnel heading had passed the section, convergence measurement targets were installed in the South Tube to complete the observational information.

These precise observational data permit direct benchmarking of the numerical model with reality. Using the R_c value extracted from Figure 7 to define the Mohr-Coulomb criterion, we extract from our model the equivalent convergence. The available extensometer measures are situated at 1.5 m (point 101), 4.5 m (102) and 7.5 m (103) from the tunnel excavation limit. Figure 9 superposes the observed and modelled ground convergence profiles at these points, which show a good correlation and therefore confirm the model characteristics.

Another interesting observation from the extensometer section is that about 30% of the short term radial convergences already occur ahead of the tunnel face (Fig. 9).

3.5 - Influence of face reinforcement

As shown previously, large portions of the marl sections traversed by the Chamoise Tunnel did not manifest squeezing behaviour and the ground around the excavation largely remained in the elastic field. Under these conditions, confinement of the excavation face by reinforcement would produce little to no effect and would therefore be contra-productive as it is costly and slows down the excavation progress.

For this reason, we only examine the effect of reinforcing the excavation face for the case of high squeezing behaviour (Fig. 7) with high plastification of the ground ($R_c/P_0=0,45$). To examine the impact of face confinement with respect to short-term radial convergences we add to the model a confinement pressure acting on the excavation face. In a first step a moderate confinement pressure of 600 kPa is applied. Such a confinement could easily be achieved on site by installing a dense grid of fibreglass dowels parallel to the tunnel axis [11, 12]. In a second step a high confinement

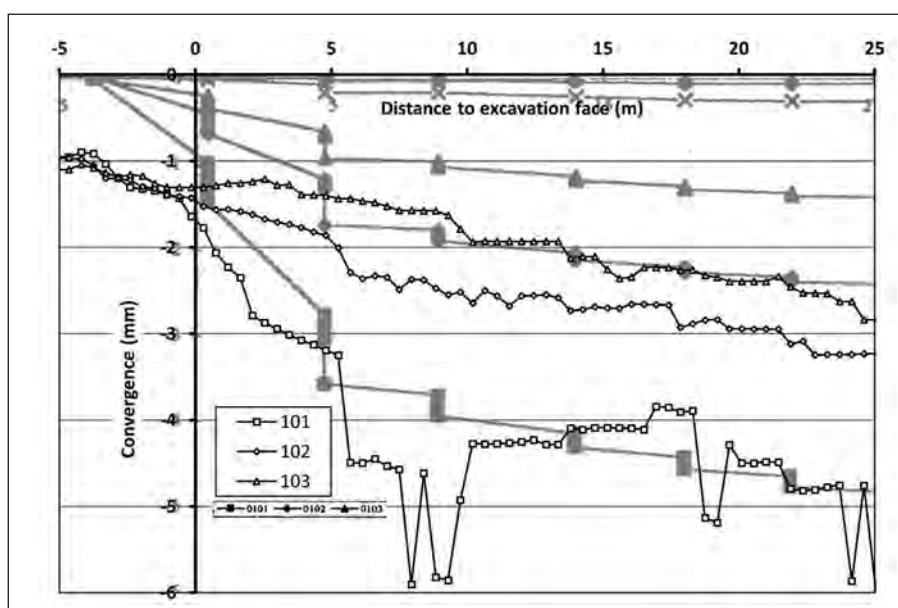


Figure 9 - Comparaison des convergences radiales mesurées (en gris) et calculées (en noir) au PM 1363 / Comparison of measured (grey) and modelled (black) radial convergences at chainage 1,363 m.

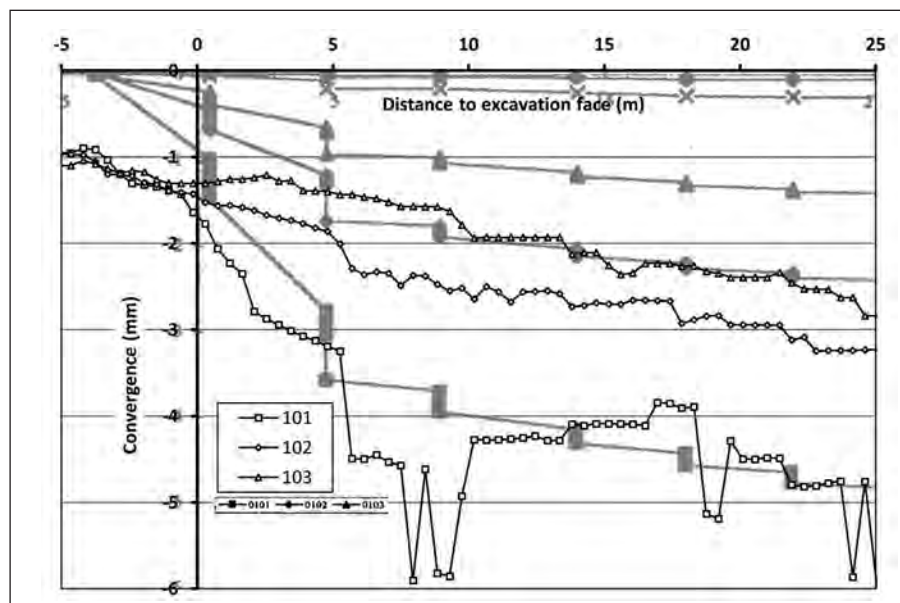


Figure 10 - Modélisation de l'effet d'un confortement du front sur son extrusion avec des pressions de confinement de 600 kPa (carrés) et 6 MPa (triangles), et comparaison avec l'absence de confortement du front (losanges) / Modelled influence of face reinforcement with confinement pressures of 600 kPa (squares) and 6 MPa (triangles) in comparison to free excavation face (diamonds).

Les mêmes observations ont été faites par P. Lunardi [réf. 10], qui en arrive à la conclusion que sous forte couverture, le seul soutènement du front ne suffit pas pour réduire suffisamment les convergences radiales ; pour y parvenir, il faudrait augmenter la rigidité du terrain à abattre à l'avant du front (le "noyau d'avancement" de Lunardi).

4 - Conclusions

L'exemple du tunnel de Chamoise montre que compte tenu des caractéristiques géotechniques du massif et de la forte couverture, la séquence d'excavation n'a pas d'influence importante sur les déformations du massif à court terme. Les convergences mesurées dans les deux tubes sont très voisines, indépendamment de la méthode (MAP ou explosif) et de la séquence d'excavation (pleine section ou section divisée).

Une section de mesures renforcée, installée quelque 200 m avant le passage du front et équipée d'extensomètres de forage perpendiculaires à l'axe du tunnel, a mon-

tré qu'en l'absence de soutènement du front environ 30 % des convergences radiales à court terme se produisent avant le passage du front. La modélisation numérique montre que, même avec un très fort confinement du front, ces convergences ne peuvent être réduites que d'environ 15%. Pour réduire encore plus les convergences, il faudrait augmenter fortement la rigidité du massif à l'avant du front.

En outre, le modèle montre qu'il devrait être possible de prévoir à l'avance les convergences radiales immédiates moyennant une observation continue de l'extrusion du front, sous réserve que le comportement du massif ne soit pas trop dépendant du temps.

Du point de vue économique, la différence fondamentale entre les deux tubes porte sur les vitesses d'avancement très différentes qui ont été obtenues : dans le tube Sud, en pleine section sans confinement du front, on a atteint une vitesse moyenne d'avancement à l'explosif qui a été de 20 % supérieure à celle du tube Nord, excavé à la MAP en section divisée.

pressure of 6 MPa is applied, which completely blocks face-extrusion.

As can be seen in Figure 10 for the example of Chamoise Tunnel, the impact of face confinement in deep tunnels is almost negligible as the radial convergences after excavation are much higher than the pre-deformation of the core ahead of the tunnel face. In the case with high confinement pressure (6MPa) and zero face extrusion, the short-term radial convergences are only about 15% lower than in the unconfined case. Similar observations have been described by Lunardi [10], who concluded that under high stress conditions simple face confinement is not sufficient to control radial convergences. In this case the only efficient way to limit convergences would be to increase the rigidity of the advance core.

4 - Conclusions

The example of Chamoise Tunnel shows that in the encountered ground conditions and under high overburden, no significant differences in ground behaviour are detected between full-face and sequential

tunnel drives: The convergences observed in the two tubes are very similar, indicating that the excavation sequence has little impact on the short term convergences.

A special measurement section equipped with borehole extensometers perpendicular to the tunnel axes and installed about 200m ahead of the excavation face, shows that without confinement of the excavation face, about 30% of the short-term radial convergences already occur ahead of the tunnel face. At the same time, the model shows that simple confinement of the tunnel face during tunnel driving would have been of little use for Chamoise Tunnel: Even if zero face-extrusion could be achieved, the short-term convergences would only be reduced by about 15%. Further reduction of convergences could only be achieved by increasing the rigidity of the ground ahead of the tunnel face (advance core).

The modelling results indicate further, that face-extrusion observations can inform on the squeezing behaviour of a tunnel section if the ground exhibits only moderately time-dependant behaviour.

From an economical point of view, the most significant difference between the two tunnel drives are the mean advance rates, which were about 20% higher for full-face excavation (without face reinforcement) than the rates achieved by sequential (3-staged) excavation.

Le retour d'expérience du tunnel de Chamoise confirme une tendance générale observée dans les tunnels en méthode conventionnelle : au cours des dernières dizaines d'années, l'avancement "manuel", de type minier, a été de plus en plus remplacé par un procédé d'avancement industrialisé. Cette évolution nous éloigne de plus en plus de l'avancement classique avec nombreux fronts partiels, au profit de l'avancement en pleine section, utilisé même en conditions géotechniques difficiles.

Dans ces mauvais terrains, le temps consacré au renforcement complémentaire du front est en général largement compensé par des économies ultérieures sur les cycles d'avancement. S'y rajoutent les progrès techniques sur les machines d'excavation (MAP, jumbos, etc.) et sur les confortements mis en œuvre depuis le front. Ces progrès, combi-

nés avec l'auscultation détaillée du comportement du massif et l'adaptation du soutènement en temps réel, permettent désormais de réaliser même de très grands projets dans des conditions économiques acceptables. L'industrialisation de l'avancement conventionnel permet ainsi à la NATM (et aux autres méthodes conventionnelles) de rester compétitives par rapport à l'emploi de tunneliers, en dépit de la part de marché de plus en plus grande qu'ils occupent. ♦

Remerciements

Nous adressons de vifs remerciements à Pierre Hingant, qui a dirigé la conception et l'exécution des tunnels de Chamoise, pour avoir mis à notre disposition ses photos et journaux de chantier, ainsi qu'à Bernard Gaudin, Bernard Falconnat et Gonzalo Suzac, pour les précieuses conclusions que nous avons tirées de nos nombreux entretiens.

These observations from Chamoise Tunnel are in line with a general tendency in conventional tunnelling: Over the last decades, an increasing trend towards the industrialisation of tunnelling can be observed. This evolution led away from traditional mining techniques with multiple small headings towards full-face excavation, even in difficult ground conditions. The additional time required for reinforcement of the advance core in poor ground is generally largely compensated for by the high advance rates achieved by full face excavation compared to sequential excavation. Technological progress made during the last thirty years in the domain of excavation machines (roadheaders, automatized jumbos, rock-bolting rigs etc.) as well as in reinforcement techniques applicable to the advance core, combined with rigorous monitoring of ground behaviour and adaptation of ground support in real time, allow the realisation of major tunnel projects in

economically viable conditions. This industrialisation of conventional tunnelling permits the NATM (and other conventional tunnelling methods) to remain competitive in spite of the rapidly increasing market share of Tunnel Boring Machines. ♦

Acknowledgements

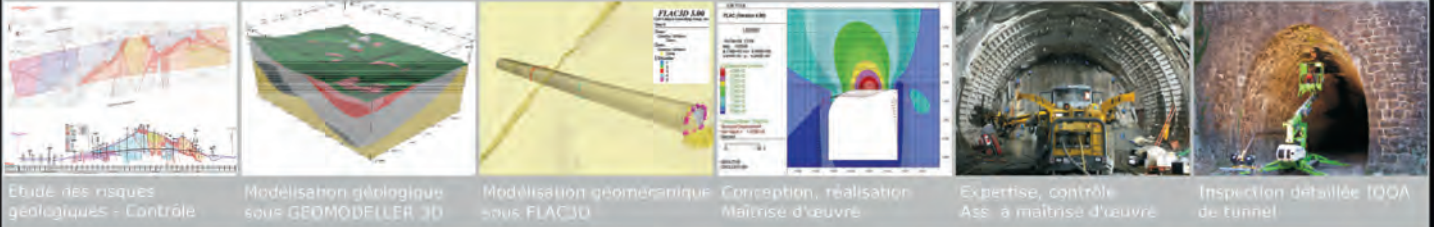
We would like to thank the Lead-Design Engineer of Chamoise Tunnel, Pierre Hingant, for the provided photographs and construction diaries, and together with Bernard Gaudin, Bernard Falconnat and Gonzalo Suzac for numerous instructive discussions in the context of the present study.

Références

- [1] Putz-Perrier, M., Gaudin, B., Triclot, J., Tournery, H., Hingant, P.: 50 years of NATM from a French perspective. *Geomechanics and Tunnelling* 5, pp. 445-454, 2012.
- [2] Cigeo (Centre industriel de stockage géologique): <http://www.xn--cigo-dpa.com>
- [3] Hingant, P.: Un trait d'union européen, l'autoroute A40 et ses tunnels. *Franchissements souterrains pour l'Europe*, pp. 71-77. Legrand (ed.). Rotterdam, Balkema, 1990.
- [4] Hingant, P., Guerpillon, Y.: La construction du tunnel autoroutier de Chamoise. *Tunnels et Ouvrages Souterrains* 77, pp. 206-221, 1986.
- [5] Limonet, R., Hingant, P., Thierry, F.: Utilisation de l'amorçage séquentiel pour les travaux de doublement du tunnel de Chamoise. *Tunnels et Ouvrages Souterrains* 124, pp. 199-203, 1994.
- [6] Richard, A., Hingant, P., Limonet, R., Thierry, F.: Le doublement du tunnel de Chamoise (Ain). *Travaux* 700, pp.11-18, 1994.
- [7] Jethwa J.L., Singh B.: Estimation of ultimate rock pressure for tunnel linings under squeezing rock conditions – a new approach. *Design and Performance of underground excavations, ISRM Symposium, Cambridge, BROWN E.T. and HUDSON J.A, 1984 pp 231-238.*
- [8] Hoek E., Marinos P.: Predicting tunnel squeezing problems in weak heterogeneous rock masses. *Tunnels & Tunnelling International, Part 1 – November 2000, Part 2 – December 2000.*
- [9] Cantieni L., Anagnostou G., Hug R.: Interpretation of core extrusion measurements when tunnelling through squeezing ground. *Rock mechanics and rock Engineering* 44, pp. 641-670, 2011
- [10] Lunardi, P.: *Design and Construction of Tunnels – Analysis of controlled deformation in rocks and soils (ADECO-RS)*. ISBN 978-3-540-73874-9. Springer, Berlin, 2008
- 10 → [11] Dias D.: Convergence-Confinement approach for designing tunnel face reinforcement by horizontal bolting. *Tunnel and Underground Space Technology* 26, pp 517-523, 2011.
- 11 → [12] Cantieni L., Anagnostou G.: On a paradox of elasto-plastic tunnel analysis. *Rock mechanics and rock Engineering* 44, pp. 129-147, 2010.



**INGÉNIEURS-CONSEILS
GÉOLOGIE - GÉOPHYSIQUE - GÉOTECHNIQUE - GÉNIE CIVIL
GESTION DE PROJETS**



Etude des risques géologiques - Contrôle

Modélisation géologique sous GÉOMODELLER 3D

Modélisation géomécanique sous FLAC3D

Conception, réalisation, Maîtrise d'œuvre

Expertise, contrôle, Ass. à maîtrise d'œuvre

Inspection détaillée TOGA de tunnel

Nos compétences en ouvrages souterrains :

- Elaboration des documents MSG et PMR ;
- Etudes, expertises géologiques et géotechniques, dimensionnement ;
- Modélisation 3D statique et dynamique, études d'exécution ;
- Reconnaissances (géologiques, géophysiques et géotechniques) ;
- Diagnostic, inspection détaillée ;
- Modélisation géologique 3D sous GéoModeller ;
- Instrumentation, contrôle de vibrations ;
- Maîtrise d'oeuvre (conception et réalisation), contrôle extérieur, AMO.

GÉOLITHE sas
181 rue des Bécasses
cidex 112 F
38920 CROLLES - FRANCE
Tél. +33 (0)4 76 92 22 22

www.geolithe.com

BMS
bms-ipp.fr



**LOCATION
VENTE**



Distributeur MEYCO

Robot-Matériel Projection
voie sèche/voie humide



Lyon **04 37 44 15 15** Paris **01 34 34 50 50**

DESOI

D'INJECTION

MATÉRIEL

résines mono/bi composants

PULVÉRISATION

WIWA

Matériel d'injection
résine consolidation

Systèmes d'injections
résines d'étanchéité



FIS
FRANCE INJECTION SERVICE

VENTE & SAV



Matériel de
pulvérisation
bi-composants
à chaud

Visite de chantier : réparation et étanchéité du tunnel de Rive-de-Gier (42)

Site visit: repair and sealing work on the Rive-de-Gier tunnel, Loire



François PAILLETTE
CETU/MSVO

Le tunnel de Rive-de-Gier se situe sur l'autoroute A47 entre Lyon et Saint-Étienne. La voûte en béton armé présentait de nombreuses arrivées d'eau ainsi qu'un phénomène d'écaillage dû à la corrosion des armatures dans un béton carbonaté.

Les travaux de réparation et d'étanchéité du revêtement par un système d'étanchéité liquide armé (SELA) positionné en intrados ont commencé le 1er juin 2015 pour une durée de 5 mois. Ces travaux sont effectués dans le cadre du projet d'innovation ECOMINT* porté par l'entreprise ETANDEX.

Une vingtaine de personnes ont répondu présents le 23 juillet 2015 à la visite du chantier organisée par l'AFTES, l'entreprise Etandex, le CETU et la DIR Centre-Est, maître d'ouvrage très favorable au développement de l'innovation.

The Rive-de-Gier tunnel is located on the A47 motorway between Lyon and Saint-Étienne. The reinforced concrete arch had a large amount of water ingress and spalling due to corrosion of the now carbonated concrete.

Repair and sealing work on the lining by means of a Reinforced Liquid Sealing System (système d'étanchéité liquide armé, SELA), located on the inside of the lining, commenced on June 1st 2015 for a duration of 5 months. The work is being carried out as part of the ECOMINT innovation project* by contractors ETANDEX.

Twenty or so people turned out on July 23, 2015 to the worksite visit organised by AFTES, Etandex, the CETU tunnels study unit and the client, DIR Centre-Est, which is very much in favour of developing innovation.

Le tunnel de Rive-de-Gier sur l'autoroute A47 est constitué d'un seul tube de 82 m de long laissant passer deux voies de circulation dans chaque sens. La géométrie de la voûte est une demi-ellipse sur piédroits verticaux espacés de 17 m. Si la hauteur en clé est de 7,8 m, l'ouvrage présente une hauteur libre réduite en rive qui doit être impérativement préservée à l'issue des travaux. D'un point de vue constructif, le tunnel a été creusé et revêtu par demi-sections horizontales en 1962-1963. La partie supérieure en béton



Le tunnel de Rive-de-Gier en construction /
The Rive-de-Gier tunnel during construction.

The Rive-de-Gier tunnel on the A47 motorway consists of a single tube 82 m long, with two lanes of traffic in each direction. The arch forms a half-ellipse on vertical side walls spaced 17 m apart. The crown height is 7.8 m, but the structure has low height clearance at the edges; it was vital for this to be preserved on completion of works.

As to construction, the tunnel was excavated and lined in horizontal half-sections in 1962-1963. The upper section, in reinforced concrete, rests on lengthwise beams, also reinforced.

* Le projet ECOMINT (Etanchéité par COques MINces en Tunnels) a été lauréat en 2012 de l'appel à projets d'innovation routière lancé par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie – Voir l'article « ECOMINT – Les travaux sont terminés dans le tunnel des Échelles (73) » du TES n°239 de septembre-octobre 2013 / The Thin Shell Sealing in Tunnels project (Etanchéité par COques MINces en Tunnels, ECOMINT) won a 2012 request for projects in road innovation launched by the French Ministry for the Ecology, Sustainable Development and Energy. See the article "ECOMINT – Les travaux sont terminés dans le tunnel des Échelles (73)" (ECOMINT: works completed in Echelles tunnel in Savoie) in TES issue 239, September-October 2013.

armé s'appuie sur des longrines longitudinales, armées également. Les piédroits massifs, coulés en sous-œuvre, sont, quant à eux, non armés.

Lors de la construction, des éboulements importants ont eu lieu. Les cavités ont été comblées par des boisages et des injections de bourrage. En l'absence d'étanchéité, ces zones de vides favorisent la circulation d'eau dans l'ouvrage.

Les désordres rencontrés sont à la fois des venues d'eaux, plus ou moins importantes mais généralisées sur la surface de la voûte, et un phénomène d'écaillage du béton dû à la corrosion des armatures. Les venues d'eaux qui formaient des stalactites en période de gel et les écailles de béton en formation posaient un réel problème d'exploitation et de sécurité pour le maître d'ouvrage et les usagers.

En 2013-2014, un diagnostic complet de l'ouvrage a démontré le lien entre la corrosion des aciers et l'avancé du front de carbonatation dans le béton. La corrosion est initiée du côté de l'intrados du revêtement et progresse vers l'intérieur lorsque le béton, carbonaté, ne joue plus son rôle de passivation des armatures. Parallèlement, une purge des écailles en formation et un relevé de voûte au scanner 3D ont mis en évidence l'accélération importante du phénomène d'écaillage, avec un doublement des zones altérées depuis la dernière inspection détaillée effectuée par le CETU en 2011.

La nécessité de programmer des travaux rapidement, les contraintes fortes autant budgétaires qu'en termes d'exploitation de l'autoroute, le gabarit limité empêchant toute autre possibilité de réparation et les premiers retours positifs sur le procédé d'étanchéité par SEL armé en intrados ont conduit le CETU et la

DIR CE à proposer ce tunnel comme troisième site d'expérimentation du projet ECOMINT.

Les travaux consistent à étancher la totalité de la voûte par application en intrados du système d'étanchéité Tectoproof CA. Cette étanchéité, en plus de s'opposer à toutes les venues d'eau présentes dans l'ouvrage, va stopper les échanges gazeux entre le revêtement et l'air ambiant et donc arrêter la progression du front de carbonatation.

Le Tectoproof CA, l'un des trois procédés du projet ECOMINT, est un Système d'Étanchéité Liquide Armé d'un tissu de verre (SELA). Il est constitué d'un primaire d'adhérence, d'une première couche de résine époxydique dans laquelle on enfiche le tissu composé de fils de verre assemblés à 45°, et d'une seconde couche de résine qui peut être teintée. Le procédé peut également être recouvert par une peinture, tout



*Hydrodémolition UHP jusqu'à 2500 bars /
UHP hydro-demolition at pressures of up to 2500 bar.*

The solid side walls, poured subsurface, are not reinforced.

Significant landslides took place during construction; the cavities were filled with timbers and packing injection. In the absence of sealing, these voids have encouraged water circulation in the structure.

The defects encountered include water ingress, to varying degrees but located everywhere on the surface of the arch, and spalling of the concrete due to corrosion of the reinforcements. The water ingress formed stalactites during periods of frost, while the developing concrete spalling posed a real problem in terms of operation and safety for the client and users alike.

In 2013-2014, a thorough diagnosis of the tunnel demonstrated the link between the corrosion of the reinforcements and the progress of the carbonation front in the concrete. Corrosion begins on the inner side of the lining and works outwards when the

carbonated concrete no longer serves to passivate the reinforcements. At the same time, clearing the developing spalling and surveying the arch with a 3D scanner revealed the significant acceleration of spalling, with twice as many damaged areas since the previous detailed inspection performed by CETU in 2011.

The need to schedule works quickly, the major considerations in terms of both funding and operation of the motorway, the limited clearance preventing any other repair solution and the initial positive feedback on the reinforced Liquid Sealing System on inner surfaces all led CET and DIR CE to put this tunnel forward as a third experimental site for the ECOMINT project.

Works involved sealing the entire arch by applying the Tectoproof CA sealing system on the inner surface. In addition to preventing all the water ingress present in the structure, the sealing will halt the exchange of gases between the lining and ambient air, thereby halting progress of the carbonation front.

Tectoproof CA is one of the three ECOMINT procedures: a Reinforced Liquid Sealing System (Système d'Étanchéité Liquide Armé, SELA) that uses glass fabric. It consists of a bonding primer, a first layer of epoxy resin, in which the glass wire mesh, assembled at a 45° angle, is inserted, and a second layer of resin, that may be coloured. The system may also be covered by paint, especially on side walls, for safety and/or aesthetic reasons.

Repair works on the structure were required beforehand. They involved clearing by rodding and UHP hydro-demolition of the damaged sections of concrete (see photo), removal of corrosion from the rebar and reconstruction of these areas by means of sprayed repair mortar to cover the reinforcements in healthy concrete. Temporary drying of all seeping cracks

particulièrement en piédroits pour des raisons esthétiques ou de sécurité.

Préalablement, des travaux de réparation sont nécessaires dans l'ouvrage. Il s'agit de la purge par piquage et hydro-démolition UHP des zones de béton altéré (photo), de l'élimination de la corrosion des aciers et de la réfection de ces zones par projection de mortier de réparation pour ré-enrober les armatures dans un béton sain.

L'assèchement temporaire de toutes les fissures suintantes et arrivées d'eaux est également nécessaire pour la bonne polymérisation de l'étanchéité, ainsi que le pontage par bandes élastomères des joints transversaux dont certains étaient déjà équipés de profilés de drainage PRT. La préparation du support pour l'application du SELA a été effectuée par hydro-décapage THP et il était prévu une régularisation des piédroits par projection d'un enduit de surfacage.

En complément, le projet comporte l'application d'une peinture de finition blanche sur les piédroits et la mise en valeur des têtes par une peinture anti-graffiti teintée.

Le montage de l'opération dans un délai très court compte tenu des contraintes liées à l'obtention du financement, l'organisation du chantier et de l'exploitation de l'autoroute pour des travaux effectués 5 nuits par semaine du lundi au samedi pendant 5 mois ont permis de commencer les travaux dès le 1^{er} juin 2015.

Les travaux sont effectués par demi-voûte sous fermeture et déviation du sens de circulation concerné : 3 mois pour le sens Lyon/Saint-Étienne qui comprend les travaux en clé, et 2 mois pour le sens Saint-Étienne/Lyon.

Pour la première demi-voûte, l'entreprise a dû faire face aux tempé-



Les zones de béton armé à réparer seront protégées après projection du mortier / Reinforced concrete areas for repair are protected subsequent to mortar spraying.



Pose d'une bande élastomère en pontage de joint de plot / Installing an elastomer strip to bridge a segment joint.

ratures exceptionnellement élevées de ce début d'été, ajoutées au courant d'air continu dans le tunnel. Malgré plusieurs méthodes testées en convenance, il s'est avéré impossible de réaliser le surfacage mince au mortier en piédroit, l'ouvrage remis en circulation quotidiennement ne permettant pas l'installation d'un dispositif de cure humide et l'application d'un produit de cure classique nécessitant une élimination mécanique pour la mise en œuvre ultérieure du SELA. Le surfacage a donc été réalisé à la pâte

and water ingress has also been required to ensure proper polymerisation of the sealing, as well as bridging transverse joints – some of which had already been fitted with thermal break drainage profiles – by means of elastomer strips.

Preparing the surface for the application of SELA was carried out by means of very high pressure hydro-stripping; smoothing support walls in order for surfacing render to be sprayed on was also planned.

In addition, the project includes application of a white finishing paint on

the side walls and enhancement of the portals by means of coloured graffiti-resistant paint.

Organising the project within a very short time frame in view of considerations relating to obtaining funding, worksite organisation and operation of the motorway, with works carried out five nights a week from Monday to Saturday for a period of 5 months, resulted in works being commenced on June 1st 2015.

Works are being carried out on half the arch at a time, closed to traffic, with a contra-flow system in place: 3 months for the Lyon/Saint-Étienne half, including work on the crown, and 2 months for the Saint-Étienne/Lyon half.

For the first half-arch, the contractor had to deal with exceptionally high temperatures in early summer, as well as a continuous flow of air in the tunnel. Despite a number of potentially suitable methods being tested, carrying out the thin render surfacing on the side walls proved impossible: the tunnel being put back under traffic each day meant that wet curing solutions could not be implemented, and applying a conventional curing product would have required



Vue du chantier visité par les membres de l'AFTES / View of the worksite during the AFTES members' visit.

époxydique. En voûte, les réparations ont dû être protégées par des feutres humides et des polyanes fixés au support (photo). Le pontage des joints de plots s'est également avéré difficile du fait de l'adhérence et de la polymérisation variables des colles selon la température. Toutes ces sujétions ont ralenti la cadence des travaux même si le chantier était déjà bien avancé pour la visite de l'AFTES.

Après une présentation en salle du projet et des travaux, les visiteurs

ont pu voir le tunnel avec toutes les zones de béton altéré purgées et les aciers décapés, l'application de la pâte époxydique pour régulariser les piédroits, le pontage des joints de plots par bande élastomère et le début de la mise en œuvre des différentes couches du complexe d'étanchéité.

A la mi-août, les travaux du sens Lyon/Saint-Étienne touchaient à leur fin et le basculement de la zone de travaux dans l'autre sens prévu le 24 se préparait. ◆

mechanical removal before applying the SELA system. Epoxy paste was thus used for surfacing. Repairs on the arch had to be protected by damp felt and polythene fixed to the surface. Bridging the segment joints also proved difficult due to the adhesive and polymerisation properties varying with the temperature (see photo). All these ancillary works slowed the worksite rate of progress, although it had advanced considerably by the time of the AFTES visit.

After a presentation of the project and

works off-site, the visitors were able to see the tunnel, with all the areas of damaged concrete cleared and the rebar stripped, as well as application of the epoxy paste to smooth the support walls, bridging of the segment joints using elastomer strips and the beginning of installation of the various layers of the sealing complex (see photo).

By mid-August, work in the Lyon/Saint-Étienne half was drawing to a close, with preparation for the changeover to works in the other direction scheduled on August 24. ◆

Intervenants

- Maîtrise d'ouvrage : ETAT - Direction Interdépartementale des Routes Centre-Est
- Maîtrise d'œuvre : DIR Centre-Est avec l'assistance technique du CETU
- Coordonnateur SPS: PRESENTS
- Entreprise : ETANDEX
- Exploitation A47 : DIR Centre-Est / entreprise COIRO
- Services du MEDDE chargés du suivi du projet : CETU, Département Laboratoire de Lyon du CEREMA (Direction Territoriale Centre-Est)

Stakeholders

- Client: French government; Centre-East inter-department Department of Highways (DIR CE)
- Project management: DIR CE with technical assistance from CETU tunnels study unit
- HSE coordinator: PRESENTS
- Contractor: ETANDEX
- A47 motorway operator: DIR CE / COIRO
- French Ministry for the Ecology, Sustainable Development and Energy (MEDDE) departments responsible for project oversight: CETU Tunnels Study Centre, Study and Investigation Centre for Risks, the Environment, Mobility and Development (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement, CEREMA) – Lyon Laboratory Department (Centre-East Regional Management)



MULTISERVICE-VEHICLES: TRACKLESS LOGISTICS SOLUTIONS FROM TECHNI-MÉTAL.

Techni-Métal Systèmes SAS is a subsidiary of Herrenknecht AG, the leading premium supplier of comprehensive technical solutions in mechanized tunnelling. The trackless multi-service vehicles from Techni-Métal provide a powerful solution for efficient and flexible supply and disposal in tunnelling and mining. The individual project requirements define the logistics concept, which is adapted locally to the circumstances of each tunnel construction site according to customer specifications. Specifically matched and in the highest quality.

- Applications: tunnelling and mining
- High load capacity up to 200 tonnes
- Innovative independent suspension for high all-terrain mobility
- Inclines and declines up to 25 percent
- Specific adaptation and individual equipment for each construction site

Techni-Métal Systèmes SAS
Zone d'Activités de Fiancey
26250 Livron-sur-Drôme, France
Tel. + 33 4 75 85 85 30
Fax + 33 4 75 85 85 35
info@techni-metal-systemes.com
www.techni-metal-systemes.com



Techni-Métal Systèmes

Gascogne Génie Civil



Topographie de précision
Ingénierie

Domaines d'activités :

- Polygonales GPS et/ou tachéométriques
- Contrôle pilotage par gyroscope
- Scanner 3D
- Monitoring (tachéométrique et/ou GPS) temps réel
- Optimisation/management du risque et de la qualité en topographie

Participation à de gros projets à l'international :

Afrique du Sud : Gautrain - Johannesburg/Pretoria (Bouygues)
Egypte : Métro du Caire (Vinci)
Chili : Mine de cuivre d'El Teniente - Rancagua (Vinci)

Participation à de gros projets en France :

Tunnel du Fréjus (Modane)
Tunnel de la Croix Rousse (Lyon)
Tunnel des Montets (Chamonix)

Gascogne Génie Civil - 52, Avenue du Québec - 01460 Montréal la Cluse

Tél : +33 (0) 474 765 549

Fax : +33 (0) 474 765 114

Email : info@ggctopo.com

www.ggctopo.com



World Tunnel Congress 2015

Dubrovnik, Croatie - 24/27 mai 2015

Compte-rendu partiel de la 41^{ème} Assemblée Générale de l'AITES



Dans le cadre du Congrès mondial 2015 qui a fait l'objet d'un reportage dans notre édition précédente (T&ES n° 249), la 41^{ème} Assemblée générale des Nations Membres de l'AITES s'est tenue à Dubrovnik (Croatie) les 24 et 27 mai 2015 sous la présidence de M. Søren Degn Eskesen (Danemark), assisté des membres du Bureau exécutif et du Directeur exécutif. Nous publions ci-après un résumé en français du compte-rendu de cette Assemblée Générale. Une version intégrale (en français ou en anglais) sera prochainement disponible sur le site l'AFTES.

Within the 2015 World Congress (see T&ES #249) in Dubrovnik, Croatia, the 41st meeting of the General Assembly of the Member Nations of ITA was held on 24 and 27 May 2015 under the presidency of Mr. Søren Degn Eskesen (Denmark), assisted by the Executive Council Members and the Executive Director. We herein publish an excerpt in French of the minutes of this General Assembly. A full version of this document will be shortly available on AFTES' website.

A - Session du dimanche 24 mai 2015

1 - Allocution d'ouverture

Le président Søren Degn Eskesen souhaite la bienvenue aux délégués des Nations Membres (NM) représentées ainsi qu'aux représentants des associations sœurs AIPCR (Pierre Schmitz) et ACUUS (Sanja Zlatanic). Il remercie l'Association croate des tunnels et de l'espace souterrain (ITA Croatia) pour l'organisation de cette assemblée générale (AG) et du Congrès mondial des tunnels (World Tunnel Congress), puis déclare la 41^{ème} AG de l'AITES ouverte.

2 - Rapport d'activités du bureau exécutif

2.1 - Fonctionnement

Le Bureau exécutif a engagé des actions pour renforcer les liens tissés avec les nouvelles NM, consolider les relations établies avec les associations sœurs et en créer de nouvelles, encourager le travail des comités et accroître le nombre d'adhésions, notamment auprès des industriels, par de nouveaux Prime Sponsors (PS) et Supporters.

Répartition des rôles entre les membres du Bureau exécutif :

- A. Elioff (VP) et E. Leca - Affaires générales
- T. Celestino (VP) et A. Gomes - Développement des GTs
- D. Peila (VP), N. Kazilis & D. Kolic - Développement des Comités
- R. Lovat (VP), R. Haug et J. Yan - Relations avec l'industrie / Sponsoring
- S. Eskesen - Dév. des NM et consolidation dans tous les pays
- S. Eskesen et E. Leca - Dév. des NM et consolidation au Moyen Orient
- T. Celestino et A. Gomes - Dév. des NM et consolidation en Amérique Latine
- J. Yan - Dév. des NM et consolidation en Chine
- T. Melbye (expert) - Représentant des PS, relations avec l'industrie/Sponsoring
- M. Belenkiy (expert) - Dév. des NM et consolidation dans les pays de la CEI
- Z. Z. Aye (expert) - Dév. des NM et consolidation en Asie du Sud-Est
- H. Wagner (expert) - Relations avec la Banque Mondiale

Tom Melbye représente les PS, au sein du Bureau exécutif, jusqu'à la fin de l'AG de 2015.

Timo Laitinen (Sandvik) est désigné pour représenter les PS pendant 3 ans (2015-2018) au sein du Bureau exécutif.

2.2 - Stratégie

À la suite de l'AG de 2014, les membres responsables de chacun des 7 objectifs stratégiques ont adopté des actions et un calendrier précis.

- Objectif 1 : Conforter/stimuler les nations membres, en particulier celles qui viennent de rejoindre l'association
- Objectif 2 : Améliorer la communication et le fonctionnement des groupes de travail et des comités
- Objectif 3 : Développer les relations avec l'industrie
- Objectif 4 : Promouvoir le partage des connaissances par l'enseignement et la formation
- Objectif 5 : Créer et développer un groupe de jeunes membres de l'AITES
- Objectif 6 : Accroître la sensibilisation des principales parties prenantes, y compris les autorités municipales, aux tunnels et à l'espace souterrain
- Objectif 7 : Améliorer la communication auprès des Nations Membres, de l'industrie et du public

Le Bureau exécutif maintiendra son cap sur les actions suivantes :

- Stimuler les NM en entretenant des contacts étroits ; désigner des personnes, au sein du Bureau exécutif, pour rester en contact étroit avec les NM.
- Impliquer davantage les GT dans la préparation et l'organisation des formations du comité ITA-CET.
- Organiser des formations à distance et des webinaires.
- Accroître la visibilité de l'AITES et de l'utilisation de l'espace souterrain dans les médias généralistes.

Pour plus de 70 % des activités prévues, des actions ont été engagées et l'objectif a été intégralement ou partiellement atteint.

2.3 - Enquête de satisfaction

Menée entre le 5 novembre et le 23 décembre 2014, cette enquête a été envoyée à 380 entités

- Représentants des 71 NM, 46 GT, 262 membres collectifs (Affiliés/Supporters/PS) et individuels,

Plus de 20 questions et 110 répondants (28 NM, 21 GT, 61 autres).

Le consultant considère que ce taux de participation de 29 % est "très bon". En moyenne, les études similaires affichent un taux de participation compris entre 10 % et 15 %.

Synthèse des résultats :

L'AITES jouit d'une très bonne image.

De manière générale, l'association est perçue positivement comme un environnement dynamique ; elle doit être connue et est nécessaire pour l'avenir. Toutefois, les personnes interrogées jugent parfois les procédures trop bureaucratiques et l'association pas suffisamment accessible/ouverte à la nouvelle génération.

Près de 60 % des répondants pensent que l'AITES a une influence importante sur les décisions prises concernant les projets de tunnels.

La grande majorité des personnes ayant répondu à l'enquête approuvent la ligne de conduite et la mission de l'AITES ainsi que le cap fixé dans son plan stratégique.

Plan stratégique :

Ce dernier est très bien accepté par les membres. 94 % des personnes interrogées considèrent qu'il est en accord avec les projets d'évolution de l'AITES.

3 premières actions envisagées :

- Promouvoir l'utilisation de l'espace souterrain auprès des maîtres d'ouvrage et du grand public.
- Élaborer une méthode d'évaluation du rapport coût/avantage de l'utilisation de l'espace souterrain.
- Proposer des actions de formation ciblant davantage les décideurs.

Relations avec l'industrie :

Les 4 premières actions envisagées pour développer les relations avec l'industrie sont les suivantes :

- Impliquer davantage de membres de l'industrie dans le comité ITAtech.
- Organiser davantage de salons internationaux pour développer les relations avec l'industrie.
- Inciter les maîtres d'œuvre à s'impliquer davantage.
- Essayer d'intégrer étroitement d'autres secteurs (industrie minière et domaine de l'énergie).

Relations avec les jeunes membres :

Les 3 premières actions envisagées pour créer et développer un groupe de jeunes membres de l'AITES (ITA Young Member Group, ITAym) sont les suivantes :

- L'âge moyen des membres ayant augmenté, il est très important d'intégrer les jeunes membres.
- Créer un système de mentorat pour les jeunes membres.
- Impliquer les jeunes membres dans les activités de l'AITES.

Bilan et propositions d'amélioration

Principales propositions d'amélioration formulées pour les différentes activités

Promouvoir le partage des connaissances par l'enseignement et la formation :

- Communiquer davantage sur les progrès et la recherche ; proposer des formations annuelles ; organiser davantage de formations comme celles du comité ITA-CET.
- Inciter les NM à s'impliquer davantage dans l'organisation de l'AG.
- Développer un modèle commun clair et cohérent pour l'organisation du WTC.

- Améliorer la communication et le fonctionnement des groupes de travail et des comités.

S'ouvrir à la technologie pour faciliter les échanges au sein des GT (limiter les réunions présentielles), favoriser les interactions entre membres et GT, et mettre en place une évaluation annuelle des performances de chaque GT.

Conclusions

Enquête très utile pour valider les objectifs du plan stratégique.

Maintien du cap fixé par les objectifs du plan stratégique, en insistant sur les objectifs de promotion de l'utilisation de l'espace souterrain et

d'amélioration du fonctionnement (organisation et publications) des GT et des comités.

Enquête à renouveler régulièrement.

2.4 - Groupes ad hoc

Les groupes ad hoc suivants ont été très actifs dans le Comité exécutif :

> Nations Membres

Membres du groupe : Amanda Elioff, Rick Lovat, Ruth G. Haug, Olivier Vion.

Ce groupe étudie les actions destinées à renforcer les activités des NM et à faciliter la mise en œuvre des actions et l'exécution de la mission de l'AITES dans les différents pays. Il présentera ses conclusions lors de la prochaine AG.

> Relations avec l'industrie

Membres du groupe : R. Lovat, R. G. Haug, J. Yan, T. Melbye, F. Amberg, O. Vion.

Ce groupe a été constitué pour mieux étudier les liens existant entre l'AITES et l'industrie en général, mais principalement ses membres collectifs affiliés, Supporters et PS. Une analyse du marché des tunnels préparée par le secrétariat de l'AITES a été transmise à tous les PS. Elle sera mise à jour tous les trois ans.

Pour entretenir des relations étroites avec les PS et comprendre quelle est la meilleure façon de procéder, le président, le premier vice-président et des experts des PS ont rendu visite à 10 PS et un calendrier des visites restantes a été établi, le but étant de rendre visite à chaque PS au moins une fois tous les trois ans. Lors du WTC, une réunion commune a eu lieu entre les PS et les membres du Bureau exécutif.

> Communication

Membres du groupe : Rick Lovat, Ruth G. Haug, Eric Leca, Olivier Vion.

Ce groupe travaille en continu. Après le WTC d'Iguaçu, il a travaillé avec une partie des représentants de la presse pour préparer un plan général de participation des journalistes au WTC. Ce plan sera mis en œuvre à partir du WTC 2015 et fera partie intégrante de l'accord signé entre l'AITES et la NM hôte de chaque WTC.

Plusieurs articles et interviews concernant l'AITES ont été publiés au cours de l'année passée. Ils peuvent être consultés sur le site Internet de l'AITES.

> ITA Tunnelling Awards

Membres du groupe : Amanda Elioff, Rick Lovat, Eric Leca, Soren Degn Eskesen, Olivier Vion.

À la suite de remarques formulées par des membres de l'AITES et des représentants de NM de l'AITES, le Bureau exécutif a décidé de ne pas renouveler son partenariat avec NCE pour l'organisation des trophées des tunnels.

Il est important et nécessaire de continuer de saluer les progrès marquants accomplis dans le domaine des tunnels et de l'espace souterrain.

Le Bureau exécutif a ainsi décidé d'organiser les ITA Tunnelling Awards.

Cette année, la conférence et la cérémonie des ITA Awards se tiendront dans la galerie d'essai de Hagerbach en Suisse.

Ensuite, il est prévu qu'ils soient organisés par l'AITES et qu'ils aient lieu dans différentes NM de par le monde.

2.5 - Relations avec les NM

Visite de 22 NM.

Soutien des NM pour l'organisation de conférences.

Représentation de l'AITES lors de conférences, de séminaires et d'ateliers organisés à l'échelle locale ou régionale par les NM.

Organisation de formations par l'intermédiaire de la Fondation ITA-CET.

2.6 - Augmentation du nombre d'Affiliés

16 nouveaux membres collectifs Affiliés.

2.7 - Augmentation du nombre de PS

3 nouveaux PS.

2.8 - Augmentation du nombre de Supporters

12 nouveaux Supporters :

BRUGG CONTEC AG (Switzerland), FRONTIER WORKS ORGANISATION (Pakistan), GEOCONSULT (Chile), GEODATA GREECE (Greece), LEONHARD NILSEN & SØNNER AS (Norway), LOVAT TUNNELLING SOLUTIONS (Canada), PARSON BRINCKERHOFF (USA), POLITECNICO DI TORINO (Italy) SYSTRA (France), TECHGONG (China), THEMAG ENGENHARIA (Brazil), WARSAW UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (Poland)

2.9 - Relations avec les associations sœurs

IRF, ISRM, PIARC, IAEG, FIDIC, ISOCARP, ISSMGE, ITIG.

2.10 - Relations avec les organisations internationales

UN Habitat, UN ISDR and World Bank

2.11 - Groupes de travail

- Depuis maintenant 4 ans, les animateurs des GT doivent remplir un état de situation deux fois par an.
- Ces documents permettent au Bureau exécutif de suivre l'avancement des travaux et de mieux répondre aux demandes liées aux GT.
- Ils s'avèrent constituer un outil utile, tant aux GT qu'au Bureau exécutif, pour avoir une vue d'ensemble des activités et coordonner les actions menées.

3 GT ont publié leur rapport

- GT 2 - Recherche : Recommandations relatives aux reconnaissances de terrain
- GT 5 - Salubrité et sécurité en construction : Recommandations relatives au travail sous air comprimé à haute pression
- GT 11 - Guide d'utilisation des tunnels immergés

2.12 - Comités

Les quatre comités ont été très actifs pendant l'année.

> Comité ITA-COSUF

- Atelier organisé par le comité ITA-COSUF, sous le patronage de l'AIPCR et de la Commission européenne, intitulé « 3^{ème} forum européen des respon-

sables de la sécurité des tunnels routiers » ; atelier avec visite du poste de commande et du tunnel Grouff, 27-28 mars 2014, Luxembourg

- Atelier organisé par le comité ITA-COSUF intitulé « *Balancing Operational Needs and Safety Research Developments* » (Concilier les besoins opérationnels et les progrès scientifiques en matière de sécurité), 5 juin 2014, Berlin, Allemagne
- Atelier organisé par le comité ITA-COSUF intitulé « *The Copenhagen Metro Metroselskabet and its new Metro Line Cityringen* » (Le métro Metroselskabet de Copenhague et sa nouvelle ligne Cityringen), présentation du projet et visite du site, 28-29 octobre 2014, Copenhague, Danemark
- Rédaction du rapport « *Survey of Existing Regulations and Recognised Recommendations on Operation and Safety of Road Tunnels* » (Vue d'ensemble de la réglementation existante et des recommandations reconnues sur l'exploitation et la sécurité des tunnels routiers)
- Attribution du prix ITA-COSUF tous les ans depuis 2009 ; le lauréat du prix 2014 est Francesco Colella.
- Préparation d'une proposition « *Marie Curie* » dans le cadre du programme Horizon 2020 (avec un groupe restreint issu du groupe d'activités 3)

➤ **Comité ITA-CET**

Le comité ITA-CET s'est réuni trois fois en 2014 (une fois à Iguazu et deux fois à Lyon) :

- Une réunion commune a été organisée avec le comité ITAtech à Lyon, où le groupe d'activités 2 met les actions en œuvre.
- Le comité ITA-CET a mis à jour la liste de ses membres :
- En dehors de son comité de pilotage, l'ITA-CET compte 14 membres "industriels" et 41 membres "universitaires".
- Une nouvelle secrétaire technique (Bérénice Moreau) et une nouvelle secrétaire administrative (Kristen Drouard), toutes deux issues du CETU (France), ont rejoint le comité ITA-CET pour renforcer le secrétariat.
- Le comité ITA-CET et son plan de communication validé : Le premier bulletin d'information du comité a été publié en décembre 2014 ; il sera distribué ici, à Dubrovnik.
- La base de données d'intervenants du comité ITA-CET a été mise à jour, permettant une sélection plus efficace.
- Le comité ITA-CET a préparé le programme de 8 formations organisées par la Fondation ITA-CET.

➤ **Comité ITACUS**

- Le comité ITACUS a assisté à une réunion avec l'ONU-ISDR ; le président et le vice-président du comité ITACUS font désormais partie du comité consultatif d'urbanisme de l'ONU-ISDR qui conseille directement le représentant spécial du Secrétaire général des Nations Unies pour la prévention des catastrophes naturelles.
- Le comité ITACUS a participé à des réunions de l'ONU-ISDR et du Bureau exécutif de la FIIM ainsi qu'à plusieurs conférences.
- Le comité ITACUS a effectué une présentation à l'occasion du 60e anniversaire du BK Swedish Rock Construction Committee, en mars 2015 à Stockholm.

➤ **Comité ITAtech**

Le comité ITAtech a proposé un nouveau président : Paul Arenram d'Atlas Copco.

- Le comité ITAtech compte 6 groupes d'activités (GA) actifs et 9 sous-GA, dont 2 sont nouveaux :
 - Rebuilt Equipment and Quality in Drill and Blast.
 - ITAtech has published 4 reports :
 - Measurement Frequencies
 - Remote Measurements
 - Fibre Reinforced Concrete Precast Segment
 - Rebuilt equipment for specialized tunnelling

2.13 - ITAym (ITA young members)

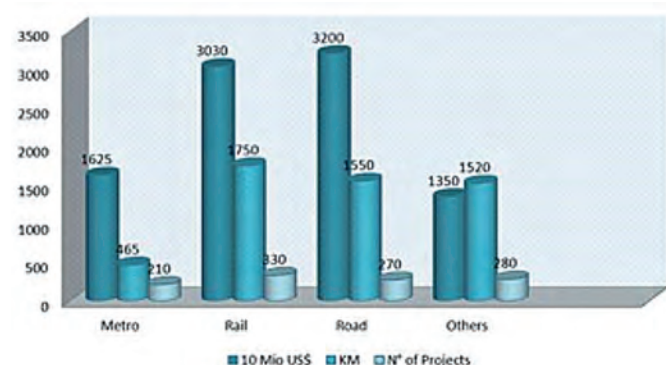
- Constitution du comité de pilotage de l'ITAym pour la période 2014-2016.
- L'ITAym encourage et aide les NM à créer des organisations nationales de jeunes membres.
- L'ITAym consolide le réseau international des organisations de jeunes membres existantes.
- L'ITAym a créé son propre magazine, *Breakthrough*, dont le premier numéro sera distribué à Dubrovnik.
- L'ITAym et l'AITES ont rédigé un courrier officiel qui a été transmis à toutes les NM par le président de l'AITES, Søren Degn Eskesen, les incitant, d'une part, à désigner un jeune professionnel ou un étudiant pour qu'il rejoigne l'ITAym en tant que représentant officiel et, d'autre part, à créer leur propre groupe de jeunes membres.

3 - Marché des tunnels – Évolution 2000-2013

Le président a présenté le développement du marché global des tunnels de la période 2000 à 2013.

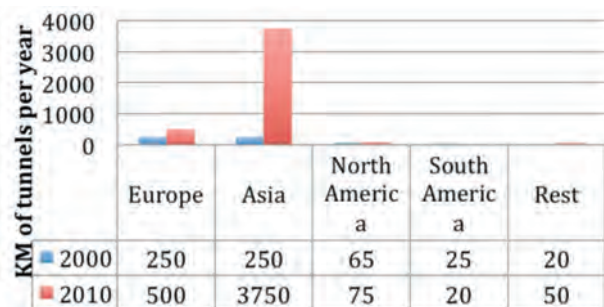
Année 2013

- Au niveau mondial, le chiffre d'affaires du secteur de la construction des tunnels et des ouvrages souterrains s'est établi à 90 milliards de dollars en 2013.
- Cela correspond à une hausse de 3,5 % par rapport à 2012 et de 7,5 % par rapport à 2011.
- En termes de kilomètres de tunnel construits, la moyenne annuelle est comprise entre 4 500 et 4 700 km, tous types de tunnels confondus.



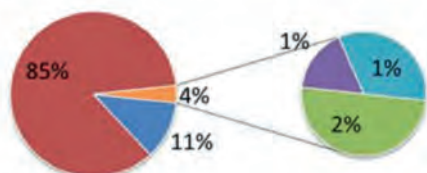
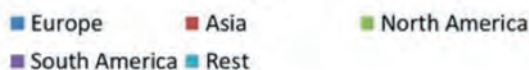
Longueurs de tunnels construits par an

Évaluation 2000-2013



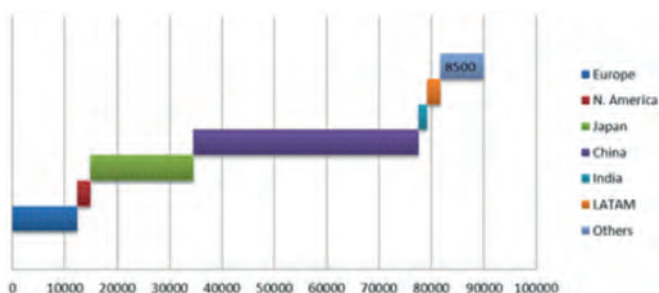
Répartition géographique

km

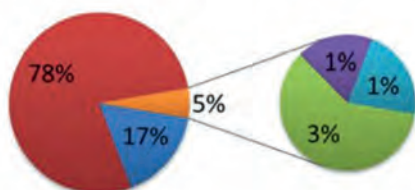
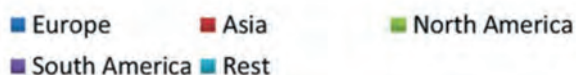


Chiffre d'affaires mondial - 2013

Tunnel Construction output by geographical areas



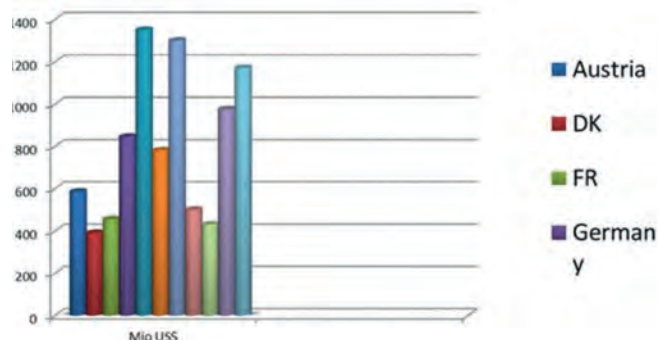
Répartition géographique en dollars



Principal marché : la Chine

- Plus de 75 % des tunnels mondiaux sont construits en Chine.
- En 2013, 3 800 tunnels ferroviaires, d'une longueur totale de 7 300 km, étaient en construction.
- 1 500 km d'autoroutes ont été commandés.
- 65 lignes de métro ont été ouvertes dans 16 villes et 60 sont en construction.

L'Europe, toujours un gros marché



4 - Rapport d'activités de la fondation ITA-CE



Piergiorgio Grasso, vice-président du Bureau de la Fondation ITA-CET, présente brièvement les activités de la Fondation, au nom du Bureau.

1. Créée en septembre 2009, la Fondation ITA-CET a clôturé sa cinquième année d'activité en juin 2014 et réalise actuellement son sixième exercice. Elle a pour vocation première de favoriser l'éducation et la formation professionnelle des experts en utilisation de l'espace souterrain, au profit des pays émergents.
2. La Fondation entretient des relations très étroites avec l'AITES et plus précisément avec le comité ITA-CET, comme indiqué précédemment au cours de l'AG ; le comité ITACET est responsable de la préparation du programme de formation et de la sélection des intervenants pour les formations organisées par la Fondation. À titre d'exemple, il convient de souligner que certaines actions de la

Fondation sont organisées à l'occasion des réunions du Bureau exécutif de l'AITES comme, cette année, à Turin, à Kuala Lumpur et, bien entendu, ici à Dubrovnik.

La Fondation consolide également ses relations avec l'industrie, directement avec les entreprises représentées au Bureau de la Fondation et, depuis 2014, par l'intermédiaire du comité ITAtech.

La Fondation se réjouit que l'École polytechnique de Turin et l'industrie italienne des tunnels lui offrent la possibilité d'ouvrir un deuxième bureau à Turin ; son plan d'actions y est déjà en marche, avec l'organisation d'une formation en janvier dernier et le soutien qu'elle assure depuis de nombreuses années auprès des étudiants en Master ; Un nouveau plan d'actions est en préparation.

3. Depuis l'AG de 2014 à Iguazu, la Fondation a organisé 9 manifestations :

- **Mexico**, 26-27 juin 2014. Le creusement au tunnelier
- **Thimphu (Bhoutan)**, 12-13 septembre 2014. Le creusement conventionnel
- **Riyad (Arabie saoudite)**, 16-18 novembre 2014. Dernières avancées en matière de creusement au rocher.
- **São Paulo (Brésil)**, 28-29 novembre 2014. Le creusement conventionnel dans les sols.
- **Turin (Italie)**, 15-16 janvier 2015. Creusement conventionnel et techniques de soutènement.
- **Kuala Lumpur (Malaisie)**, 28 février-1er mars 2015. Le creusement de tunnels pour le transport dans les zones urbaines.
- **Santiago (Chili)**, 23-24 mars 2015. Le creusement au tunnelier.
- **Yangoon (Birmanie)**, 11-12 mai 2015. Le creusement de tunnels en zones urbaines.
- **Dubrovnik (Croatie)**, à l'occasion du WTC 2015, 22-23 mai 2015. Le creusement de tunnels urbains en terrains tendres et le creusement au rocher en terrains karstiques.

4. Depuis sa création fin 2009, la Fondation a organisé 42 formations pour un total de plus de 4 700 participants.

Les comptes rendus de ces événements ont été publiés dans le bulletin d'information de la Fondation (21 bulletins publiés) et sur le site Internet de la Fondation (www.itacet.org).

5. À l'occasion de ces manifestations, la Fondation a considérablement allongé la liste de ses donateurs (liste disponible sur le site Internet de la Fondation), ceux-ci acceptant de consacrer leur temps et leur argent au profit de la Fondation et de l'AITES.

La Fondation prépare de nouvelles manifestations en Argentine, en Chine, en Arabie saoudite et, bien sûr, à San Francisco à l'occasion du WTC 2016.

6. Parrainage des étudiants de Master

Cette année, le parrainage est accordé à un étudiant de chaque Master organisé en 2015 avec le soutien de l'AITES :

- France : INSA Lyon et ENTPE, « *Tunnels et ouvrages souterrains, de la conception à l'exploitation* ».
- Royaume-Uni : Université de Warwick à Coventry, MSc « *Tunnelling and underground space* » (Tunnels et espace souterrain).

7. Le Prix de la Fondation a été décerné à l'occasion du WTC 2015 à :

- Koichi ONO pour son action depuis la création de la Fondation
- L'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) pour son soutien indéfectible envers la Fondation.

8. La Fondation a créé un "réseau d'anciens participants" aux formations ; les participants peuvent ainsi poser des questions et échanger des informations via LinkedIn ; près de 100 membres ont commencé à échanger via ce réseau.

9. La Fondation a commencé à nouer des relations avec la Fédération routière internationale (FRI) afin d'instaurer une nouvelle coopération avec sa fondation pour l'éducation, l'IReF.

5 - Présentations des associations internationales sœurs

5.1 - Association mondiale de la route (AIPCR)

Pierre Schmitz, vice-président du comité technique (CT 3.3) remercie l'AITES d'avoir invité l'AIPCR à son AG. Les points à retenir pour l'année 2014-2015 sont les suivants :

Rapport d'activités 2014-2015 du CT « Exploitation des tunnels routiers »

Le CT 3.3 « *Exploitation des tunnels routiers* » est structuré en six GT :

- GT 1 : Exploitation durable
- GT 2 : Sécurité
- GT 3 : Facteurs humains
- GT 4 : Sécurité incendie
- GT 5 : Tunnels routiers complexes
- GT 6 : Échange de connaissances

Ses membres se trouvent dans le monde entier :

- 53 membres (de 35 pays différents)
- 16 membres correspondants (de 14 pays différents)
- 14 membres associés (de 9 pays différents)
- 110 membres associés au GT désignés par le comité

Soit au total : 193 experts de 35 pays différents.

Actions engagées en collaboration avec le comité ITA-CET

- Offre de base de 3 types de formations sur les thèmes suivants : conception des tunnels, construction des tunnels, exploitation des tunnels, ainsi que des formations sur mesure.
- Le CT 3.3 reste à la disposition de l'AITES (et du comité ITA-CET) pour participer aux prochaines formations.

Coopération pour le dictionnaire des tunnels

- 140 termes et définitions traduits dans 20 langues : **anglais, français, espagnol** + arabe, chinois, tchèque, danois, néerlandais, finnois, allemand, grec, italien, japonais, coréen, norvégien, persan, portugais, slovène, suédois et vietnamien.
- Traductions en cours : 44 nouveaux termes et définitions.

- Traductions disponibles gratuitement sur www.piarc.org
- Souhait d'une collaboration plus étroite avec l'AITES pour un travail similaire portant sur des termes liés au génie civil, à la conception et aux techniques de construction, sous la direction de l'AITES.

Dernier séminaire du CT 3.3 de l'AIPCR

- Thème : **L'exploitation des tunnels routiers binationaux de montagne**
- Lieu : San Juan (Argentine)
- Date : 15-17 avril 2015
- Participants : 200 personnes de 15 pays différents
- 20 présentations
- Visite technique : Tunnels de la « Ruta 150 »

Rapports techniques en préparation

1. Exploitation durable des tunnels routiers
2. **Bonnes pratiques pour l'analyse du cycle de vie des systèmes techniques**
3. Retours d'expérience suite aux accidents survenus dans les tunnels routiers
4. Communication en temps réel avec les usagers : recommandations
5. Systèmes fixes de lutte contre l'incendie dans les tunnels routiers : pratiques actuelles et recommandations
6. Réseaux de routes souterraines : études de cas

Manuel des tunnels routiers de l'AIPCR

- Le mois prochain, passage au nouveau site Internet avec même mise en page pour les 2 autres manuels en ligne de l'AIPCR.
- Dans 10 langues : **anglais, français, espagnol** + arabe, chinois, tchèque, italien, japonais, coréen et portugais.

Prochain congrès mondial de l'AIPCR

- Thème : Routes et mobilité – Le transport, source de valeur ajoutée
- COEX de Séoul, 2-6 novembre 2015 : <http://piarcseoul2015.org>

Prochain cycle de l'AIPCR : 2016-2019

- Maintien du CT « *Exploitation des tunnels routiers* » dans les prochains cycles
- Passage au nouveau thème stratégique « *Structures* »
- Programme de travail continu
- Renforcement de la coopération avec l'AITES

5.2 - Association des centres de recherche sur l'utilisation du sous-sol (ACUUS)

Le rapport est présenté par Mme Sanja Zlatanic.

Mission et aperçu des principales activités

Qu'est-ce que l'ACUUS ?

- L'ACUUS a été créée en 1983 lors de son premier congrès en Australie. Elle a ensuite été constituée au Canada en 1996, sous la forme d'une association non gouvernementale internationale dont la mission est de promouvoir activement la collaboration entre professionnels (individus, organisations et universités) dans les domaines de la planification, de la

recherche, de la conception, de la construction, ainsi que de la maintenance et de l'exploitation des installations souterraines urbaines et de l'espace souterrain urbain en général.

- L'ACUUS offre un socle commun à tous les professionnels œuvrant dans le secteur de l'espace souterrain urbain pour découvrir et adopter des solutions innovantes et écologiques permettant une utilisation moderne de l'espace souterrain.

Mission de l'ACUUS

- L'ACUUS soutient et assiste les organisations internationales et les centres de recherche ayant des objectifs et des activités similaires ; elle facilite la création de réseaux internationaux en développant sans cesse sa plateforme à l'échelle mondiale.
- L'ACUUS facilite les échanges entre utilisateurs finaux (maîtres d'ouvrage, clients), universitaires et experts mondiaux du domaine en étudiant les possibilités offertes par l'espace souterrain et les meilleures façons de l'exploiter.
- L'ACUUS sensibilise le secteur privé, les gouvernements – à tous les niveaux – et le grand public sur les problèmes spécifiques posés par l'utilisation moderne de l'espace souterrain urbain.

Membres de l'ACUUS

23 membres institutionnels de 15 pays différents :

Dernier et prochain congrès de l'ACUUS

2014 Séoul (Corée) « *14^{ème} Espace souterrain : problématiques de planification, de gestion et de conception* ».

2016 St Petersburg (Russie) « *15^{ème} Construction souterraine et développement durable dans les villes* ».

Activités de l'ACUUS en 2014-2015

- Les membres de l'ACUUS se réunissent tous les deux ans lors de congrès internationaux. Ces congrès rassemblent des urbanistes, des architectes, des ingénieurs géotechniques, des avocats, des constructeurs et des investisseurs, des spécialistes et des chercheurs, mais aussi des décideurs et de nombreux autres professionnels qui interviennent dans l'utilisation et le développement de l'espace souterrain urbain. Ils favorisent la coopération internationale ainsi que le partage des connaissances, du savoir-faire et de l'innovation.
- Les membres de l'ACUUS sont engagés dans des recherches permanentes, dans divers domaines liés au développement de l'espace souterrain (sécurité, résilience des villes, fonctionnalités, etc.).
- Les membres de l'ACUUS sont invités à intervenir lors de diverses conférences dans le monde entier (Beijing, Macao, Kuala Lumpur, Shanghai, Hongkong, Téhéran, etc.).
- L'ACUUS recherche sans cesse de nouveaux moyens de collaborer avec des organisations internationales, comme l'ONU-Habitat, la Fédération internationale pour l'habitation, l'urbanisme et l'aménagement des territoires (FIHUT) ou des organisations similaires, et de nouer des liens solides dans des conditions d'égalité et de réciprocité.
- 7 mars 2014 : L'ACUUS participe au 7^{ème} forum urbain mondial (WUF) à Medellín et organise une séance de réseautage.

- 16 septembre 2014 : Signature d'un protocole d'accord entre l'ACUUS et l'ONU-Habitat à New York, par Juan Clos, directeur exécutif de l'ONU-Habitat :
- 14 octobre 2014 : L'ACUUS lance sa page **Scoop.It!** où elle publie quotidiennement des actualités mondiales sur l'espace souterrain – on compte, à ce jour, plus de 500 "scoops" publiés !
Les meilleurs scoops sont publiés dans le bulletin d'information de l'ACUUS, qui est diffusé à tous nos membres.
- 15 octobre 2014 : L'ACUUS organise une **séance en laboratoire** sur le thème de l'espace souterrain lors du campus « **Urban Thinkers** » (Penseurs urbains) à Caserte (Italie).
- 23-27 septembre 2014 : L'ACUUS organise son **14^{ème} congrès mondial à Séoul**.
- Nous avons lancé la première **Base de données en ligne pour le développement de l'espace souterrain mondial** : <http://u-atlas.metal.ntua.gr/>
- Nous avons signé un protocole d'accord avec notre partenaire chinois pour publier un **lexique multilingue sur l'espace souterrain** – lancement prévu l'année prochaine à Saint-Petersbourg.
- L'ACUUS a également adopté un nouveau règlement intérieur global.
- Nous avons reçu une proposition de Hongkong pour accueillir notre 16^{ème} congrès mondial.
- 7 avril 2015 : L'ACUUS devient partie prenante de la **Campagne urbaine mondiale** (ONU-Habitat) : <http://www.worldurbancampaign.org/acuus-joins-the-world-urbancampaign/>
- En septembre 2016, l'Association russe des constructeurs souterrains accueillera le **15^{ème} congrès mondial de l'ACUUS à Saint-Petersbourg**.

B - Assemblée du mercredi 27 mai 2015

Le Président ouvre la seconde session de l'Assemblée Générale.

6 - Compte-rendu de la séance publique du mardi 26 mai 2015 intitulée « Espace souterrain et ressources naturelles » : la production d'énergie hydraulique

La séance publique de l'AITES s'est tenue le 26 mai 2015, à l'occasion du WTC 2015. Sous le thème « *Espace souterrain et ressources naturelles* », cet évènement s'est tout particulièrement intéressé à la production d'énergie hydraulique.

L'hydroélectricité : énergie propre et renouvelable

- Durable – dans différents contextes environnementaux et sociaux
- Économiquement viable – dans différents modèles financiers
- Constructible – dans différents contextes géologiques et géographiques
- La réglementation, les besoins, la géologie et le contexte socio-environnemental peuvent varier selon les pays et les régions du monde et avoir des implications différentes.

L'hydroélectricité multifonction

- Nécessite une bonne planification et une parfaite exécution.
- Acceptation locale.
- Partage des avantages par les différentes parties prenantes.
- Accorder une attention particulière aux problématiques transfrontalières.
- Électricité, prestations de réseau électrique, approvisionnement en eau, agriculture, transport, écrêtement des crues, problèmes sociaux.
- Les tunnels et les réservoirs sont des moyens qui permettent de développer l'hydroélectricité multifonction.
- D'après notre expérience, les tunnels constituent le moyen de transport hydraulique le plus rentable, le plus écologique et le plus sûr.
- Leur longue durée de vie n'est généralement pas valorisée en termes économiques.

Conclusion

Après analyse de la constructibilité – rendue possible grâce à des technologies de pointe – et des pratiques contractuelles, les tunnels hydrauliques s'avèrent constituer la solution la plus viable. Avec des concepts de financement basés sur les recettes et l'essor du secteur des énergies renouvelables, de l'hydro électricité et les ouvrages qui y sont associés (cheminées d'équilibre, conduites forcées et centrales électriques souterraines) constituent les solutions les plus fiables et les plus rentables, à long terme, pour l'approvisionnement énergétique de notre planète.

Les vidéos diffusées lors de cette séance publique sont disponibles sur la chaîne YouTube de l'AITES. Une mini-vidéo de synthèse est également mise en ligne.

7 - Rapports d'activités des GT de l'AITES

Pendant le WTC, tous les GT de l'AITES se sont réunis à une ou deux reprises pour faire avancer les dossiers en cours et réfléchir à de nouveaux sujets de travail.

7.1 - Groupe de Travail 2 - Recherche

Animateur : Chungsik Yoo (Corée du Sud), Vice-Animatrice : Elena Chiriotti (France), Tuteur : Eric Leca (France) – Rapport présenté par Chungsik Yoo :

Activités en cours

- Calculs de la pression de soutènement au front de taille pour le creusement au bouclier
- Béton de fibres coulé pour le revêtement des tunnels
- Évaluation des risques
- Mesure des contraintes et fracturation hydraulique
- Dégradation des voussoirs

Ordre du jour

- Révision du document Fiber Reinforced Concrete Tunnel Linings (Revêtements de tunnels en béton de fibres)

- Révision du document Face Support Pressure Calculations in Shield Tunneling (Calculs de la pression de soutènement au front de taille pour le creusement au bouclier)
- Définition d'un plan d'actions pour les recommandations relatives aux points suivants
 - Gestion des risques
 - Mesure des contraintes et fracturation hydraulique
 - Dégradation des voussoirs
 - Définition des activités futures

Calculs de la pression de soutènement au front de taille pour le creusement au bouclier

- Révision interne par un sous-groupe : fin juin 2015
- Version finale : fin 2015 pour révision par le Bureau exécutif

Revêtements en béton de fibres

- Version finale : fin 2015 pour révision par le Bureau exécutif

Gestion des risques

- Révision du questionnaire par un sous-groupe du GT 2 pour diffusion aux membres du GT 2 : fin juin 2015
- Première ébauche des documents : fin septembre 2015

Mesure des contraintes et fracturation hydraulique

- Recensement de références et de cas concrets : septembre 2015
- Première version : mars 2016

Dégradation des anneaux de revêtement

- Présentation des résultats de l'enquête et synthèse lors de la réunion qui se tiendra au WTC 2016

Activités futures

- Dommages causés aux bâtiments et aux réseaux par le creusement des tunnels
- Recensement des recommandations existantes
- Besoin d'ajouter des recommandations sur les constructions bâties sur pieux
- Révision des recommandations de tassement de l'AITES et évaluation de la nécessité de les mettre à jour
- Présentation de la première ébauche et éventuellement de la première version lors de la réunion qui se tiendra au WTC 2016
- Conception des voussoirs
- Besoin d'éviter tout chevauchement avec le comité ITAtech
- Première version : fin septembre 2015
- Critère de sélection des méthodes de reconnaissance géophysique
- Études de cas, en Italie, sur l'utilité des études in situ pour la conception des tunnels

7.2 - Groupe de Travail 3 - Pratiques contractuelles

Animateur : Arnold Dix (Australie), Vice-Animateur : Martin Smith (RU), Chef de projet FIDIC/ITA : Matthias Neuenschwander, Tuteur : Tarcisio Celestino (Brésil) – Rapport présenté par Arnold Dix.

Bilan

- À ce jour, entière approbation des produits de l'AITES par la Fédération internationale des ingénieurs-conseils (FIDIC) (excellente coopération)
- Nouvelle publication de l'AITES : 2e édition du mémento des pratiques contractuelles (Contractual Practices Checklist, CPC)

Approbations du CPC de l'AITES

- Code de bonne conduite britannique sur la gestion des risques dans les travaux souterrains – Royaume-Uni
- ITIG : code de bonne conduite
- SAI : série de contrats suisses pour les travaux souterrains – Suisse
- Recueil de bonnes pratiques (connu sous le nom de "Gold Book") : « *Geotechnical Baseline Report* » (Rapport géotechnique de référence) – États-Unis
- Association française des tunnels et de l'espace souterrain (AFTES) : recommandations GT25R3F1 - France

Enquête internationale

- Projet bien avancé
- 200 enquêtes (en ligne) envoyées
- Prochainement : enquête complémentaire via les NM

Nous sommes en contact direct avec les États-Unis pour le congrès de San Francisco.

7.3 - Groupe de Travail 5 - Santé et sécurité pendant la construction

Animateur : Donald Lamont (RU), Vice-Animateur : Martin Vogel (Suisse), Tuteur : Ruth Gunlaug Haug (Norvège) – Rapport présenté par Donald Lamont.

Participation à l'élaboration des normes

Les normes CEN et ISO revêtent une importance capitale dans trois domaines qui touchent l'industrie des tunnels :

- La sécurité des équipements, la sécurité des matériaux de construction et la conception des structures.
- Alors que l'élaboration des normes est devenue une activité transnationale, l'AITES, forte de plus de 70 NM, est idéalement placée pour influencer le contenu des normes qui touchent l'industrie des travaux souterrains.
- Avec le soutien du comité ITAtech, le GT 5 recommande que l'AITES se reconnaisse une capacité d'agir au nom de l'industrie des tunnels, en influençant le contenu des normes CEN et ISO touchant le secteur, et mobilise les moyens techniques et financiers nécessaires pour traiter les questions liées à sa participation à l'élaboration des normes de demain.

Activités futures

Le GT 5 a discuté du rapport n° 1 de l'AITES intitulé Guidelines for good occupational health and safety practice in tunnel construction (Recommandations relatives aux bonnes pratiques de santé et de sécurité au travail pour la construction des tunnels). La dernière révision de ce rapport remonte à 2008. Le vice-animateur l'a récemment relu et propose qu'il soit révisé. Le GT 5 est d'accord avec cette proposition.

La Suisse se porte volontaire pour coordonner la révision. Conformément au

calendrier établi, les propositions de texte révisé doivent être envoyées à la Suisse avant fin septembre 2015 en vue de la publication du rapport révisé au WTC 2016.

7.4 - Groupe de Travail 6 - Entretien et Réparation des Ouvrages Souterrains.

Animateur : Henry A. Russell (USA), Vice-Animateur : René Van Der Bosch (Pays-Bas), Tuteur : Tarcisio Celestino (Brésil) – Rapport présenté par Henry Russell.

Points abordés :

- État d'avancement de la révision du document Structural Fire Protection for Road Tunnels (Protection incendie des structures des tunnels routiers).
- Retour sur les observations formulées lors de la réunion de l'AITES au Brésil
- Retard sur le calendrier initial ; présentation prévue en 2016 à San Francisco
- Présentation du comparatif sur l'installation et les performances des produits ignifuges pulvérisés/plaques coupe-feu
- M. Sparrow du Royaume-Uni présente les dangers de différents types de véhicules dans les incendies de tunnels :
 - Véhicules électriques/hybrides
 - Véhicules au GNL
 - Véhicules au GNCC
 - Véhicules à l'hydrogène

En 2014, ce GT a commencé à rédiger un nouveau document intitulé « *The Control of Groundwater Intrusion in Operating Tunnels* » (Lutter contre les infiltrations d'eaux souterraines dans les tunnels en exploitation).

- Exemples de dégradations provoquées par l'infiltration d'eaux souterraines dans les tunnels
- Identification des différents types d'infiltrations d'eaux souterraines
- Méthodes de catalogage des différents emplacements de fuites avec Microsoft Excel
- Identification des coulis et des procédés d'injection
Évaluation des performances des coulis et des produits d'étanchéité
- Description des techniques d'interception des fuites et de leur évitement par dérivation
- Études de cas devenues la norme dans différents pays
- Bibliographie

Le GT recherche de nouveaux membres intéressés par le thème de la maintenance et de la réparation, notamment parmi les jeunes membres.

7.5 - Groupe de Travail 9 - Effets Sismiques

Animateur : Giorgio Piaggio (Chili), Nouveau Vice-Animateur : Wenge Qiu (Chine), Tuteur : Daniele Peila (Italie) – Rapport présenté par Giorgio Piaggio.

Objectifs

- Intégrer des NM clés en vue d'un partage des connaissances et des informations.

- Ömer Aydan : Membre de l'Association japonaise des ingénieurs civils (JSCE), président du Comité sur la dynamique des roches, plus de 25 ans d'expérience en conception et analyse sismiques.
- Guido Andreotti : Membre de la fondation EUCENTRE, l'un des plus importants centres de recherche européens sur les études sismiques et l'analyse des risques. Expert en analyse du risque sismique et en analyse numérique des interactions sol/structure.
- Tai-Tien Wang : Chercheur à l'université technologique de Taipei, expert en surveillance sismique, en instruments sismiques et en analyse numérique.
- Raviver l'intérêt, au niveau mondial, pour l'analyse et la conception sismiques, les tunnels creusés en terrain dur ou meuble.
- Participation de 11 professionnels répartis ainsi : Chili : 1 ; Italie : 2 ; Japon : 3 ; Chine : 1 ; Taïwan : 2 ; Turquie : 1 ; Norvège : 1.
- Élaborer des rapports d'expert pour la communauté de l'industrie tunnelière.
- Périmètre défini, contenu prêt, travaux en cours en vue d'une publication dans deux ans.
- Création d'une base de données des dommages sismiques causés dans les tunnels.
- Recommandations relatives à la classification et au signalement des dommages sismiques (d'après la norme japonaise).

Recherche

- Recherches fortement axées sur les méthodes de conception et d'analyse actuellement utilisées par les pays ayant de l'expérience dans le domaine sismique.

7.6 - Groupe de Travail 11 Tunnels immergés et flottants

Animateur : Jonathan Baber (RU), Vice-Animateur : Eelco van Putten (Pays-Bas), Tuteur : Davorin Kolic (Croatie) – Rapport présenté par Jonathan Baber. Travaux accomplis en 2014-2015

- Guide d'utilisation des tunnels immergés :
- Publication de la 2^{ème} édition du rapport n° 7 de l'AITES : 8 nouvelles annexes + glossaire
- Préparation de la 3^{ème} édition et publication finale du rapport n° 7 de l'AITES bien avancée
- Ébauche du texte intégral de l'article sur l'environnement rédigée et révisée par le GT à coordonner avec le GT 15

Projets pour 2015-2016

- Publication prévue au WTC 2016 d'un article sur l'environnement
- Guide d'utilisation des tunnels flottants immergés : première version rédigée pour le WTC 2016
- Guide d'utilisation des tunnels immergés (rapport n° 7 de l'AITES) : publication de la 3^{ème} édition au WTC 2016

Activités futures

- Importation du catalogue des tunnels immergés dans la base de données du GT
- Document d'information sur les risques de construction

7.7 - Groupe de Travail 12 - Utilisation du Béton Projeté

Animateur : Eivind Grov (Norvège), Vice-Animateur : Stefan Bernard (Australie), Tuteur : Tom Mellbye (Norway) en remplacement de Nikolaos Kazilis (Grèce) – Rapport présenté par Eivind Grov.

Activités en cours (priorités définies par le GT)

- Béton de fibres projeté

Un pré-rapport a été analysé dans le but de produire un rapport bref et concis sur l'utilisation des fibres de renforcement, avec une bibliographie exhaustive ; publication prévue l'année prochaine.

- Pérennité du béton projeté

Une ébauche d'article a été rédigée ; elle doit être révisée par le GT.

- Contrôle qualité

Une réunion interne a eu lieu ici ; identification de l'interface avec le rapport sur la pérennité avant de décider du format et du contenu ; des personnes sont missionnées pour cela.

- Revêtement permanent en béton projeté : mise à jour du rapport de 2001 qui doit être actualisé.

Autres questions à aborder au sein du GT

- Coordination et contacts avec le comité ITAtech
- Plan de gestion du GT 12
- Structuration de la communication

7.8 - Groupe de Travail 14 - Mécanisation de l'excavation

Animateur : Lars Babendererde (Allemagne), Vice-Animateur : Brian Fulcher (USA), Tuteur : Rick Lovat (Canada) – Rapport présenté par Lars Babendererde.

Liste des projets problématiques

- Depuis 2009

1. Shanghai Yangtze Road Tunnel, China
2. Shanghai Shangzhong Road River-crossing, China
3. Shanghai East Fuxing Road Tunnel, China
4. Uetliberg Highway Tunnel, Zürich, Switzerland

- Depuis 2010

5. Trans-Bay Gas Pipeline, Futtsu City, Japan

- Depuis 2011

6. Galleria Sparvo, Castiglione dei Pepoli (BO), Italy
7. Dez to Ghomroud Water Conveyance Project, Long Tunnel Lot 1, Iran

- Depuis 2012

8. Hallandsås Project, Sweden

- Depuis 2014

9. Sir Adam Beck Tunnel, Niagara Falls, Canada
10. Alimineti Madhava Reddz (AMR) Project, India

7.9 - Groupe de Travail 15 - Construction en Souterrain et Environnement

Animateur : Jan K. G. Rohde (Norvège), Vice-Animateur : Nikolai Bobylev

(Russie), Tuteur : Anna Lewandowska (Pologne) – Rapport présenté par Yoshikazu Ota.

Ordre du jour/questions abordées

- Rapport sur les déblais excavés des tunnels et des cavernes souterraines (version finale transmise ; rapport prévu fin 2015)
- Rapport sur le bruit et les vibrations (travaux commencés ; contributeurs identifiés)
- Présentations du GT lors du congrès de San Francisco 2016
- Activités futures/problématiques émergentes

Points clés restant à aborder :

- Étude des problématiques liées à la qualité de l'eau
- Étude des méthodes de définition d'objectifs de développement durable volontaires dans les travaux souterrains (matériaux et gestion environnementale)
- Note sur les problématiques émergentes dans la composante environnementale du programme de développement mondial lié au développement durable (adaptation au changement climatique, atténuation, résilience urbaine)

7.10 - Groupe de Travail 17 - Longs tunnels à grande profondeur



Animateur : Gérard Seingre (Suisse) (photo ci-dessus), Vice-Animateur : Magali Schivre (France), Tuteur : Jinxiu (Jenny) Yan (Chine) – Rapport présenté par Magali Schivre.

- Point sur l'état d'avancement des projets en cours.
 - Présentation de la conclusion de la réunion de janvier, au tunnel de base du Brenner (Italie).
 - Travail sur le nouveau rapport intitulé « *Utilisation des tunneliers pour creuser des tunnels longs et profonds dans des roches difficiles (compression, flambement, zone de failles, éclatement de la roche)* »
 - Validation de l'objectif du rapport par les nouveaux membres.
 - Présentation de la base de données et identification de plusieurs projets (Fréjus, lac Mead, Olmos, Brenner, Jinping, Gotthard...).
- Première version prévue pour le WTC 2016

7.11 - Groupe de Travail 19 - Méthodes Traditionnelles de Creusement

Animateur : Heinz Ehrbar (Suisse), Vice-Animateur : Robert Galler (Autriche),

Tuteur : Alexandre Gomes (Chili) – Rapport présenté par Heinz Ehrbar.

Principaux points abordés :

- Brèves présentations réalisées par les délégués
- Activités futures du GT
- Recommandations relatives à la mise en œuvre de projets souterrains en conservant les options de creusement (première version)

Idées d'activités futures proposées :

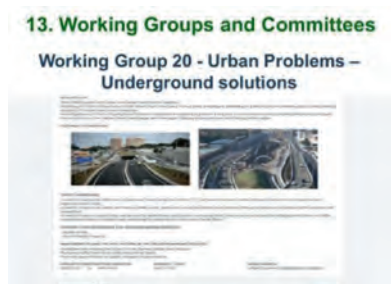
- Le creusement conventionnel en terrains difficiles (incluant le traitement des zones de failles)
- Collaboration avec le groupe d'étude de la FIDIC à propos des modalités du creusement conventionnel
- La mécanisation du creusement conventionnel
- Conception des revêtements internes, des boulons, etc.
- Ajout de projets problématiques dans la base de données de l'AITES

7.12 - Groupe de Travail 20 - Problèmes Urbains – Solutions en Souterrain

Animateur : Wout Broere (Pays-Bas), Nouveau Vice-Animateur : Damian McGirr (Royaume Uni), Tuteur : In-Mo Lee (Corée du Sud) – Rapport présenté par Wout Broere.

Mise en avant des solutions que l'espace souterrain peut apporter :

- Impliquer davantage de personnes
- Atteindre un public plus large
- Créer une enquête en ligne et une base de données consultable des projets souterrains urbains



7.13 - Groupe de Travail 21 - Gestion du cycle de vie des infrastructures

Animateur : Martin Muncke (Autriche), Nouveau Vice-Animateur : Laetitia d'Aloia-Schwartzentruber (France), Tuteur : Søren Degn Eskesen (Danemark) – Rapport présenté par Martin Muncke.

- Le travail prioritaire de ce GT est la préparation de recommandations à l'attention des maîtres d'ouvrage des tunnels pour assurer la gestion de l'ensemble des biens tout au long du cycle de vie.
- Discussion très intéressante sur les différents aspects de ce travail. Parmi les facteurs importants, il convient notamment de retenir les besoins de maintenance, les conditions financières et les dimensions sociale et environnementale. Les présentations effectuées lors de la réunion ont

notamment apporté des informations très pertinentes sur la dimension environnementale et les besoins généraux.

8 - Rapports d'activités des comités de l'AITES

8.1 - Comité ITA-COSUF

Président : Roland Leucker (Allemagne), Vice-Président : Max Wietek (Suisse), Tuteur : Felix Amberg (Suisse) – Rapport présenté par Roland Leucker.

Organisations soutenant le comité ITA-COSUF

L'ITA-COSUF est un comité de l'AITES qui est également soutenu par l'AIPCR.

Un protocole d'accord a été signé entre l'AIPCR et l'AITES :

- AITES = organisation de soutien
- Coordination avec les activités de l'AIPCR
- L'AIPCR est représentée au comité de pilotage du comité ITA-COSUF
- Le comité ITA-COSUF est représenté au sein du CT 3.3 de l'AIPCR

Membres

Le comité ITA-COSUF est ouvert aux membres collectifs et individuels ; 23 pays de 4 continents différents y sont représentés.

Positionnement stratégique

Le comité ITA-COSUF joue un rôle important dans la sécurité souterraine :

- Périmètre : couvre toutes les installations souterraines
- Cotisations : autorités publiques, consultants, chercheurs, industriels, maîtres d'œuvre, exploitants, responsables sécurité, etc.
- Mission : exclusivement consacrée à la sécurité souterraine

Le comité ITA-COSUF est unique et doit constituer la plateforme de communication privilégiée sur les questions de sécurité opérationnelle dans l'espace souterrain

Informations complémentaires disponibles sur : www.ita-cosuf.org

8.2 - Le Comité ITA-CET

Président : Robert Galler (Autriche), Vice-Président : Michel Deffayet (France), Tuteur : Daniele Peila (Italie) – Rapport présenté par Michel Deffayet :

Le **comité ITA-CET**, la **Fondation ITA-CET** et **ITA Croatia** ont organisé une formation de 2 jours qui a remporté un franc succès (146 participants) sur les thèmes suivants :

- Le creusement de tunnels urbains en terrains meubles
- Le creusement au rocher en terrains karstiques

Réunion à Dubrovnik le 25 mai 2015

- Nouvelle classification, plus informative, des Masters soutenus par l'AITES
- Masters actuellement organisés avec le soutien de l'AITES :
 - Lyon (France), Turin (Italie), Warwick (Royaume-Uni)
 - Nouveaux: Madrid (Espagne), Boulder (Colorado, États-Unis)

Rapports des GA (suivi des objectifs stratégiques de l'AITES) :

- Programme des prochaines formations, proposition de nouveaux thèmes

en lien étroit avec les GT et les comités de l'AITES, amélioration des formations après analyse des questionnaires de satisfaction

- Création et développement d'un réseau de correspondants régionaux du comité ITA-CET responsables de la promotion de nos activités de formation et de l'élaboration de stratégies de formation à moyen terme (série de formations coordonnées)
- Organisation de formations spécifiques pour/avec les *professionnels et l'industrie* :
- Organisation de formations à distance et de webinaires
- Création et développement d'un réseau d'universités : une première liste de formations universitaires sera bientôt disponible sur le site Internet du comité ITA-CET
- Promotion du groupe *ITAYm* : avec la participation de B. MOREAU

Formations en préparation

- **Mexico** (juin 2015) avec une nouvelle formation sur le creusement au tunnelier
- **Brésil** (2^{ème} semestre 2015) sur les pratiques contractuelles
- **Argentine** (septembre 2015) sur la salubrité, la sécurité et la logistique en construction
- **Hagerbach** (septembre 2015) sur l'étanchement
- **Chine** (octobre 2015) sur les tunnels sous-marins longs et profonds

8.3 - Comité ITACUS - Comité de l'espace souterrain de l'AITES

Président : Han Admiraal (Pays-Bas), Vice-Présidente : Antonia Cornaro (Suisse), Tuteur : Amanda Elioff (États-Unis d'Amérique) – Rapport présenté par Han Admiraal.

Publications

En collaboration avec l'Association internationale des urbanistes (AIU), publication de « *Think Deep: Planning, Development and Use of Underground Space in Cities* » dont l'introduction a été rédigée par le professeur Jan Rotmans de l'université de Rotterdam.

Extraits de la présentation de Han Admiraal

1/ **Les trois points** que le comité ITACUS étudie et défend sont les suivants : un engagement clair, la législation et un plan prédéterminé.

L'utilisation de l'espace souterrain n'est pas une question de développement mu par des besoins aléatoires aboutissant à des incidents souterrains ; c'est une vision qui se développe en fonction de ce que l'espace souterrain peut apporter au développement durable des villes.

2/ Activités

En septembre 2014, participation au Sommet de l'ONU sur le climat qui s'est tenu au siège de l'ONU à New York. L'AITES y a été invitée par le Secrétaire général des Nations Unies. En participant à ce sommet, nous avons non seulement fait montre de notre soutien, mais avons également appris des choses et avons pu affirmer, par le réseautage, que l'AITES est prête à réagir.

3/ Annonces

- **Le programme des Nations Unies pour l'environnement** apportera son soutien à un GA commun sur le transport souterrain urbain, à la suite du plan d'action « *Green Freight* » (transport écologique) mis en place par la Coalition pour le climat et l'air pur.
- En décembre prochain, Paris sera le siège de négociations décisives sur le climat, dans une ultime tentative d'épargner à notre planète une hausse des températures de 4 degrés. L'objectif initialement fixé était un réchauffement planétaire de 2 degrés. Nous ne sommes pas parvenus à tenir cet objectif et visons désormais une hausse de 4 degrés mais personne ne sait vraiment ce qu'il adviendra ensuite. Si nous devons apprendre à nous adapter et à changer, c'est maintenant qu'il faut le faire ; nous y sommes ; c'est le défi de notre ère.
- **La ville de Rotterdam** a demandé au comité ITACUS de créer un GA commun sur la résilience des villes souterraines. Dans le cadre du programme « *100 villes résilientes* » de la Fondation Rockefeller et en tant que municipalité qui s'intéresse déjà à ses espaces souterrains, la ville de Rotterdam cherche à réunir une coalition mondiale de villes, d'universités et de partenaires privés dans le but d'élargir nos connaissances dans ce domaine. Rotterdam dispose de 320 kilomètres cubes d'espaces souterrains. Quel rôle ces espaces jouent-ils en termes de résilience ? Constituent-ils un atout ou un point faible ? Comment le savoir et comment s'organiser au mieux pour faire avancer les choses ?
- **Le comité ITACUS** participe activement à l'interconnexion de différents réseaux professionnels, en dehors du réseau direct de l'AITES, ainsi qu'à la promotion de l'idée de l'espace souterrain au sein de ces réseaux. Certains ont déjà pris de l'avance en proposant des bonnes pratiques ou prennent conscience des défis à relever. La façon dont tout cela rejoint la prévention des catastrophes naturelles, la résilience des villes et l'urbanisation rapide fait partie des questions légitimes qu'ils se posent et que nous, le **comité ITACUS**, nous posons également. C'est par la participation active d'un public transdisciplinaire que nous essayons d'y répondre.
- Han Admiraal est l'un des deux vice-présidents du comité consultatif d'urbanisme de l'**Office des Nations Unies pour la prévention des catastrophes naturelles**. En plus de conseiller directement le représentant spécial des Nations Unies pour la prévention des catastrophes naturelles, Margareta Wahlström, ce comité est de plus en plus convaincu que l'espace souterrain est une idée intéressante qui doit être intégrée dans la pratique courante des urbanistes et des concepteurs d'urbanisme.
- Avec ces GA communs, le comité ITACUS se propose de créer une alliance mondiale avec ses partenaires internationaux. Nous travaillons avec des urbanistes et des concepteurs d'urbanisme, avec des décideurs économiques et politiques et avec des ingénieurs civils. Nous faisons intervenir des groupes spécifiques qui ont acquis une véritable expertise dans certains domaines, comme l'Association internationale pour le transport souterrain (International Society for Underground Freight Transportation, ISUFT). La bonne nouvelle, c'est que nous nous intéressons aussi à l'AITES et à l'expertise qu'elle a à offrir. Lors de ce congrès, nous avons réaffirmé nos relations avec le GT 20 et d'autres GT devraient rapidement entendre parler de nous.
- Dans cette optique, nous nous réjouissons de pouvoir collaborer avec le **groupe de jeunes membres de l'AITES**. L'ITAYm a entendu l'appel que

nous avons lancé l'année dernière et a fait un pas en avant pour nouer des contacts et développer des relations de travail. Lundi soir, j'ai eu le plaisir d'être invité au dîner et à la séance de réseautage de l'ITAYm. J'ai passé une très agréable soirée. J'ai tiré deux leçons de cette soirée. 1. Nous disposons d'une excellente équipe de jeunes membres enthousiastes et passionnés. 2. Ils sont plus que prêts à relever les défis auxquels notre monde doit faire face et commencent à réfléchir à des stratégies différentes qui sortent des sentiers battus. C'est un public enthousiaste et très réceptif. Cependant, ils acceptent aussi les défis qui se posent à nous et sont prêts à les affronter. Le comité ITACUS va s'attacher à créer des ponts entre l'ITAYm et les jeunes membres de l'AIU. Cette association demande aux jeunes urbanistes de se réunir une semaine avant leur congrès annuel pour étudier un cas proposé par la ville où le congrès a lieu. Cela ne serait-il pas merveilleux que les jeunes membres de l'AITES rejoignent les jeunes urbanistes de l'AIU pour travailler ensemble sur les possibilités offertes par l'espace souterrain d'une ville ? L'AITES peut être fière de ce groupe de jeunes « *rebelles des tunnels* » prêts à conquérir l'espace souterrain.

4/ Promotion des principales activités liées à l'espace souterrain

- Je pense que notre association peut être utile au monde et à ses membres. Nous devons toutefois veiller à ce que notre message reste clair. Nous ne pouvons pas changer le nom de notre association, créer un comité sur l'espace souterrain, faire de la promotion de l'espace souterrain notre priorité, puis éviter d'utiliser le terme « *espace souterrain* » dans nos campagnes de communication : ITA Tunnelling Awards, World Tunnel Congress ! C'est parfois par des actions simples que nous pouvons agir. Je fais appel à vous tous pour que chacun agisse à son propre niveau pour que l'« *espace souterrain* » fasse partie de notre association, comme cela a certainement été souhaité lorsque l'AG a approuvé le changement de nom de notre association.
- Nous incitons tous les professionnels des tunnels et de l'espace souterrain non seulement à réfléchir aux possibilités offertes par l'espace souterrain, mais aussi à s'y intéresser sérieusement et à continuer de faire en sorte que l'espace souterrain fasse partie intégrante des villes de demain. Nous réaffirmons ainsi que le temps est venu d'adopter de nouveaux modèles de pensée et de travailler les uns avec les autres, alors que nous entrons dans une nouvelle ère où les villes vont jouer un rôle toujours plus important pour les populations ; les villes de demain seront résilientes, inclusives et, surtout, agréables à vivre.
- L'AITES qui nous représente attire des regards du monde entier. Nous avons besoin d'une industrie qui sache non seulement agir aujourd'hui, mais aussi s'ouvrir vers l'avenir. Bon nombre des actions menées par le comité ITACUS peuvent sembler tournées vers les stratégies commerciales et les conseils d'administration des grandes entreprises. Toutes les actions que nous menons servent tous nos intérêts. Nous avons tous intérêt à vivre dans des villes agréables et sur une planète qui agit pour ne pas franchir le seuil des 4 degrés supplémentaires sur la température moyenne mondiale.

Le comité ITACUS aide l'AITES à être utile et à exercer son rôle de leader dans le domaine des tunnels et de l'espace souterrain. Le comité ITACUS est fier de faire partie de l'AITES et continuera de travailler à ses côtés pour l'es-

pace souterrain urbain de demain. Nous croyons dans l'avenir de l'espace souterrain urbain, pour des villes résilientes, inclusives et agréables à vivre. C'est une chose que nous devons aux penseurs d'hier ; et une chose que nous devons aux générations futures. Cette planète est notre seule maison. Il est temps d'y réfléchir sérieusement.

8.4 - Comité ITAtech

Nouveau Président : Pauli Arenram (Suède), Tuteur : Rick Lovat (Canada) - Rapport présenté par le Président, Pauli Arenram.

Travaux accomplis

Le comité ITAtech a publié trois rapports :

- Recommandations du comité ITAtech sur le reconditionnement des équipements d'excavation mécanisée
- Recommandations du comité ITAtech sur les systèmes de surveillance par télémesures
- Recommandations du comité ITAtech sur la fréquence des mesures de surveillance dans le creusement de tunnels urbains Création de trois nouveaux GA.

Questions prioritaires :

- Élaboration de recommandations
- Coopération avec le comité ITA-CET
- Coopération avec divers GT
- 6 Groupes d'activités (GA) et 9 sous-groupes (sous-GA)

➤ GA « Excavation »

- Sous-GA « *Quality in Drill & Blast* »

- Vibration Control in Urban Drill and Blast Tunnelling : recommandations relatives au contrôle des vibrations dans le forage-minage des tunnels urbains
- Sous-GA Rebuilt Equipment

➤ GA Monitoring

- Sous-GA Measurement Frequencies

- Recommandations publiées au WTC 2015
- Sous-GA Remote Measurements
- Recommandations publiées au WTC 2015
- Sous-GA Communication Systems
- Arrêté – Faible intérêt
- Sous-GA Effective Data Management in Tunnelling
- Élaboration de recommandations

➤ GA Support - Sous-GA Fibre Reinforced Concrete Precast Segments

- Recommandations publiées au WTC 2015
- Sous-GA Bolts and Arches
- Recommandations/définitions relatives aux voûtes, aux boulons et aux pré-soutènements, y compris leur degré d'automatisation éventuel au moment de l'installation pour les documents d'appel d'offres
- Sous-GA Sustainable Sprayed concrete

> GA Lining and Waterproofing

> GA Rehabilitation

- Travaux commencés en 2013, projet bloqué

> GA Design

- Impliqué dans la plupart des travaux du comité ITAtech,

Activités futures du comité ITAtech

1. Maintenir et développer la procédure d'élaboration des recommandations
2. Renforcer sa coopération avec le comité ITA-CET sur les besoins en formation de l'industrie
3. Renforcer sa coopération avec différents GT

8.5 - Groupe des Jeunes Membres de l'AITES

Président : Jurij Karlovšek (Australie) ; vice-président : Petr Salak (Royaume-Uni) ; tuteur : Alexandre Gomes (Chili) – Rapport présenté par le président, Jurij Karlovšek.

Résumé du rapport d'activités 2014-2015

- Constitution du comité de pilotage de l'ITAYm pour la période 2014-2016
- Encourager et aider les NM à créer des organisations nationales de jeunes membres
- Organisation de la 1^{re} assemblée générale de l'ITAYm au WTC 2015
- Organisation d'une séance de réseautage pour tous les jeunes membres participant au WTC 2015
- Création du journal de l'ITAYm : *Breakthrough*

Constitution du comité de pilotage de l'ITAYm pour la période 2014-2016

- Président – Jurij Karlovšek (Australie)
- Vice-président – Petr Salak (Royaume-Uni)
- Trésorier – Lasse Vester (Danemark)
- Secrétaire – Nichole Boulton (Canada)
- Communication et marketing – Sindre Log (Norvège)
- 19 réunions – via Skype

Encourager et aider les NM à créer des organisations nationales de jeunes membres et/ou à être représentés

- 12 groupes de jeunes membres
- 11 représentants de NM jeunes membres
- Journée d'orientation organisée par l'Association grecque des tunnels
- *Arabian Tunnelling Conference*

Réunion officielle lors du WTC 2015

- Organisation de la 1^{re} assemblée générale de l'ITAYm le mercredi 27 mai
- 20 représentants de NM
- 45 participants
- 2 nouveaux membres du comité de pilotage de l'ITAYm, la Pologne et Singapour
- Création du magazine de l'ITAYm (distribué au WTC 2015)

9 - Choix du lieu de l'AG de 2018

Délégués votants :

Présents : 48

Votes par correspondance : 5 (Autriche, Azerbaïdjan, Égypte, Islande, Népal)

La majorité absolue au premier tour s'élève à : 27

Il est rappelé que les candidats doivent obtenir la majorité absolue pour être élus. Résultats:

1^{er} tour : Émirats arabes unis 29 / Inde 22 / Nuls/blancs 2

Les Émirats Arabes Unis organiseront le congrès et l'AG des NM en avril 2018 à Dubai.



De g à dr : Ms Eng. Salma Almaamari, VP SoE UAE, Davorin Kolic, Mr Eng. Rayed Al Araski, SoE UAE Board Member.

10 - Questions diverses

Le président de l'AG remercie M. Tom Mellbye qui a reçu la médaille de l'AITES pour le travail accompli au cours des quatre dernières années en tant que représentant des PS.

Il est annoncé que la conférence « Sir Alan Muir Wood » de 2016 sera donnée par le professeur Kayser du Canada.

11 - Allocution de clôture

Le président Søren Degn Eskesen déclare la 41^{ème} Assemblée Générale officiellement close. ♦

Leaks Stop Here.

Fast. Proven. Durable.



grace.com/construction

For more than 35 years we have provided waterproofing, water blocking and underground stabilisation solutions for some of the most complex projects in the world.

Don't let leaks derail your project.


Contact us today for a solution that will get your project back on track. +32 15 24 93 60 or deneef@grace.com



- Global expertise and support
- Proven performance under pressure
- Time saving, one shot injections
- Durable results
- Lasting peace of mind

GRACE

Talent | Technology | Trust™



J'adhère à l'AFTES

Membership Form

La qualité de membre adhérent de l'AFTES, permet :

- de recevoir la revue « **Tunnels et Espace Souterrain** », organe officiel de l'AFTES
- de **participer aux groupes de travail, aux journées d'études et aux visites de chantiers** organisées par l'Association
- l'accès à l'espace membre du site www.aftes.asso.fr, et le **téléchargement libre et gratuit des recommandations** élaborées par les groupes de travail de l'AFTES.

The AFTES membership allows to :

- receive the AFTES official publication « **Tunnels et Espace Souterrain** »
- take part in the **Working Groups, study sessions and site visits** organized by AFTES
- get access to the member's website www.aftes.asso.fr including **free loading of the AFTES WG's recommendations.**

<input type="radio"/>	Membre Collectif <i>Collective Member</i>	1000 €*	L'adhésion comprend 6 numéros de la revue en 3 exemplaires. <i>Membership's fee includes provision of the 6 Tunnels & Espace Souterrain magazine yearly issues (3 copies/issue)</i>
<input type="radio"/>	Membre Individuel <i>Individual Member</i>	150 €*	L'adhésion comprend 6 numéros de la revue. <i>Membership's fee includes provision of the 6 Tunnels & Espace Souterrain magazine yearly issues (1 copy/issue).</i>
<input type="radio"/>	Membre Retraité <i>Retired Member</i>	50 €*	L'adhésion comprend 6 numéros de la revue. <i>Membership's fee includes provision of the 6 Tunnels & Espace Souterrain magazine yearly issues (1 copy/issue).</i>
<input type="radio"/>	Edudiant <i>Student</i>	10 €*	L'adhésion comprend 6 numéros de la revue (qui ne pourra être expédiée qu'en France. Joindre la photocopie de la carte d'étudiant) <i>Membership's fee includes mailing (France only) of the 6 magazine yearly issues.</i>

* par année civile / per civil year

Nom/Surname : Prénom/First name :

Entreprise/Company, Fonction/Position :

Adresse/Address :

Code Postal : Ville/Town :

Pays/Country : E-mail :

Tél. : Mobile : Fax :

REGLEMENT/PAYMENT

- Par virement bancaire au compte ouvert du Crédit Lyonnais de l'AFTES / *By credit transfer:*
Code Banque 30002 - Code Agence 00423 - Compte 000 0000 829H - clé RIB 33
IBAN : FR06 3000 2004 2300 0000 0829 H33 - BIC : CRLYFRPP
- Joindre la copie du justificatif en cas de règlement par virement / *Attach a copy of the proof in case of payment by transfer*
- Par chèque bancaire à l'ordre de l'AFTES

Date et signature

Bulletin d'adhésion à retourner à / *Please complete and sign this form and send to :*
AFTES - Sakina Mohamed - 15 rue de la Fontaine au Roi - 75011 PARIS

Dans le cas d'une adhésion d'un Membre Collectif, merci d'indiquer le nom et l'adresse du représentant de la société. *If applying for Collective Membership, please state name and address of the company representative.*

Visite de l'AFTES chez NFM-Technologies

Philippe MILLARD
AFTES

Le 9 juillet 2015, une visite de l'usine NFM-Technologies du Creusot (Saône et Loire) a été organisée par l'AFTES. Limité à 30 personnes, le groupe a été reçu par Alain Deléard directeur général, Franck Houchard directeur des ventes, Salam Moubarak du service Recherche et Développement et Anne Brissaud, responsable Marketing et Communication.

Lors de notre visite, l'usine abritait la construction du tunnelier destiné au lot 2 du prolongement vers le nord de la ligne 14 du métro de Paris et le début de la fabrication de celui destiné à la galerie de reconnaissance du tunnel Lyon-Turin-Ferroviaire. Il est prévu que, dès la livraison du tunnelier de la M14, commence la fabrication des 2 machines de 6.00 m de diamètre pour le métro de Londres.

Le prolongement de la ligne 14

Le Syndicat des transports d'Île-de-France (STIF) a décidé, pour désaturer la ligne 13, de prolonger la ligne 14 de 5,9 km, croisant tout d'abord la branche Gennevilliers de la ligne 13 à Porte de Clichy puis la branche Saint-Denis de cette même ligne à la Mairie de Saint-Ouen.

Le prolongement permettra de réduire de 15 à 20 % la saturation de la ligne 13 tout en améliorant le maillage du réseau, et générera une fréquentation de ce prolongement de la ligne 14 en heure de pointe évaluée à 15 000 voyageurs. La réalisation technique de ce projet ne présente pas de difficultés particulières. Son coût est estimé à 1.38 milliard d'euros pour l'infrastructure et le matériel roulant.

Le prolongement desservira ainsi le nouveau quartier des Batignolles avec la station Pont Cardinet puis aura une correspondance avec la ligne 13 et le RER C à la station Porte de Clichy, une nouvelle station Clichy - Saint Ouen avec la correspondance avec le RER C à la gare de Saint-Ouen, et la station Mairie de Saint-Ouen en correspondance avec la ligne 13 du métro. Le parcours de ce prolongement, d'une longueur de 5,8 km, devrait pouvoir être effectué huit minutes environ.

Deux lots sont prévus pour réaliser les travaux. Le premier, commencé au début de l'année 2014, entre les stations Saint-Lazare et Clichy-Saint-Ouen, comprenant un tunnel de 3,6 km, a été confié au groupement Eiffage TP/Razel-Bec. Le second, entre les stations Clichy-Saint-Ouen et Mairie de Saint-Ouen, comprenant un tunnel de 2,2 km et la réalisation de la station Mairie de Saint-Ouen, a été confié au groupement Bouygues TP, Solétanche Bachy France, Solétanche Bachy Tunnel et CSM Bessac.



Alain Deléard, (à gauche) et Philippe Millard.

La Société du Grand Paris est maître d'ouvrage, le STIF et la RATP sont co-maîtres d'ouvrage.

Lors de la visite, l'ensemble du tunnelier était en fin de montage et les essais étaient en cours. La réception de la machine en usine a été effectuée le 31 juillet 2015.

Un grand merci

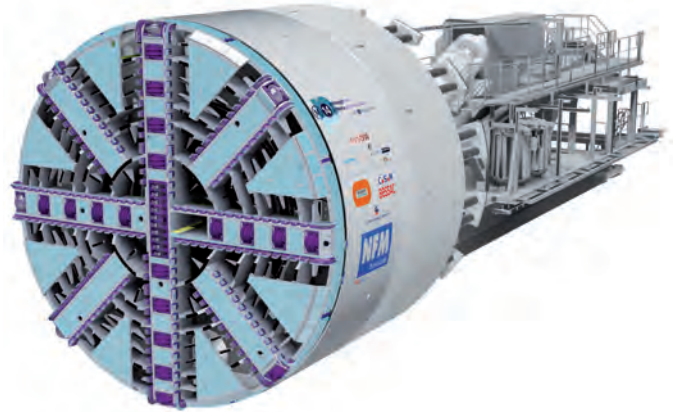
L'AFTES remercie vivement l'Entreprise NFM Technologies, en particulier Franck Houchard, pour l'accueil très chaleureux, les présentations très détaillées et pour le temps consacré à la visite de l'usine. Les participants ont été extrêmement intéressés par cette visite d'un haut niveau technique et garderont un excellent souvenir de leur déplacement au Creusot. ♦



Franck Houchard, directeur des ventes.

Caractéristiques du tunnelier

- Diamètre d'excavation : 8,91 m
- Longueur totale : 85 m
- Masse totale : 1230 t
- Tête de coupe : type 4 bras + 4 demi-bras et plaques avec ouvertures, taux d'ouverture moyen 31,5 %. 44 molettes 17 pouces : 16 doubles en face, 3 doubles au centre et 6 simples en périphérie, échangeables par des outils rabots. 16 outils rabots périphériques. Protection et détection anti-usure et passages pour injections mousse/eau et forages
- Bouclier avec articulations active et passive de 780 t avec une poussée maximum de 69 272 kN, une vitesse d'avancement maximum de 100 mm/min avec 28 vérins.
- Entraînement de la tête de coupe avec des moteurs électriques, bidirectionnels de 2030 kW de puissance avec une vitesse maximale de rotation de la tête de coupe de 3 tr/min, un couple nominal maximum de 17500 kN.m à 1 tr/min et un couple de déblocage de 22750 kN.m
- 5 remorques : la première pour la cabine de contrôle, les systèmes d'injection de mousse et de polymères et les armoires des variateurs, la deuxième pour les systèmes d'injection de mortier, les centrales hydrauliques, des armoires électriques, la troisième pour l'échangeur de chaleur, les transformateurs, des armoires électriques, des circuits d'eau et d'exhaure, la quatrième pour le compresseur d'air, les enrouleurs et la cantine, enfin la cinquième pour une chambre de secours, un générateur de secours, la ventilation et un réservoir à bentonite.



Histoire de NFM Technologies

NFM doit ses initiales au rapprochement en 1988 de la branche mécanique et nucléaire de Neyrpic à Grenoble et de la division mécanique de Creusot-Loire Framatome, le "M" correspondant à "mécanique". En 1990 la société NFM développe un savoir-faire dans le domaine des tunneliers avec l'obtention d'une licence de MITSUBISHI HEAVY INDUSTRY (MHI) pour la technologie "terrains tendres".

En 2001 NFM Technologies est cédé à Wirth Group Holding, structure allemande détenant la société WIRTH GmbH, leader sur le marché des machines spéciales et des tunneliers. En même temps il est mis fin à l'exploitation de la licence MITSUBISHI : désormais, NFM Technologies développe ses propres "processes" dans le secteur des tunneliers en terrain tendre et en roche dure.

En 2007, le groupe d'Etat industriel chinois NHI (Northern Heavy Industries), basé à Shenyang, prend 70 % du capital de Wirth Group Holding avant de devenir en 2011 l'actionnaire unique de NFM Technologies. Le groupe NHI emploie 10 800 employés pour un chiffre d'affaires en 2014 de 1,5 Md€. NHI conçoit et fabrique des équipements mécaniques lourds pour les centrales électriques, les cimenteries, la métallurgie, la protection de l'environnement, les mines et les tunnels.

Aujourd'hui NFM emploie 250 personnes et réalise 200 M€ de chiffre d'affaires. Ses activités principales concernent pour 80% les tunneliers, environ 15% dans le nucléaire et 5% dans l'offshore (gaz et pétrole). 14 tunneliers étaient en commande en 2014.

L'entreprise possède 2 établissements, à Lyon et au Creusot, 2 Agences à Bagnols/Cèze (30) et à Cherbourg (50), 1 bureau à Shenyang (Chine) et 1 filiale à Singapour.

L'usine du Creusot est située sur un terrain de 42 200 m² dont 21 400 m² couverts. 110 personnes sont attachées à la fabrication.

L'entreprise possède plus de 100 références de fabrication de tunneliers de 4,5 m à plus de 15 m de diamètre et pour tout type de géologie dans de très nombreux pays à travers le monde, Europe, Australie, Chine, Singapour, Arabie Saoudite, Egypte, Brésil...

Visite de l'AFTES chez SANDVIK MINING AND CONSTRUCTION France à Meyzieu

Jean-Christophe PILLET, Sandvik
Alain MERCUSOT, AFTES

Le 24 juin dernier, la Société SANDVIK a accueilli 22 membres de l'AFTES (ingénierie, entreprises, fabricants de matériels) encadrés par Jean-François Jaby (Délégué Sud-Est).

De manière à lancer les échanges, Christian Laurent, Directeur des Ventes de Sandvik Mining & Construction France, présente d'une manière globale la société SANDVIK : groupe Suédois à l'origine, qui compte environ 47 000 employés, présent dans 130 pays dont les 5 branches d'activités génèrent un chiffre d'affaire de 10 milliards d'Euros environ.

- Sandvik Machining Solutions est le leader mondial pour la fabrication et la vente d'outils de coupe (plaquettes de carbure de tungstène, forets...) pour les machines-outils (34% du CA de la société)
- Sandvik Mining : Fournisseur mondial d'équipements, d'outils et de services pour les sociétés minières (30% du CA)
- Sandvik Materials Technology : Fabrication et vente d'alliages et d'aciers pour des applications de haute technologie (nucléaire, médical...) (16% du CA)
- Sandvik Venture qui regroupe différentes Sociétés et secteurs en cours d'intégration au sein de Sandvik (fabrication poudre de carbure de tungstène, mine de tungstène...) (9% du CA)
- Et enfin Sandvik Construction : Fournisseur global d'équipements, d'outils, de service et d'installations clé-en-main (11% du CA) pour les entreprises de TP, de démolitions et recyclage ainsi que les Carrières (de surface ou en souterrain) : notamment des foreuses fond de trou ou hors du trou, des marteaux brise-roche, des concasseurs et cribles mobiles ou fixes, ainsi que les machines dédiées spécifiquement aux chantiers souterrains qui ont fait l'objet de la présentation suivante.

Jean-Christophe Pillet, responsable de l'activité Tunnels en France pour Sandvik a ensuite enchaîné en détaillant la gamme :

- Des engins de marinage surbaissés :
 - Charge & Roule diesels à forte productivité pour tout type de galeries



Jean-Christophe Pillet et Christian Laurent.

dont les couches basses de mines : grande capacité de charge (1T jusqu'à 21T), dimensions compactes, temps de cycle raccourci, coût à la tonne transportée, avec une sécurité et un confort optimum.

- Charge et roule électriques, d'une capacité entre 3,5T et 25T pour les ouvrages nécessitant aucune émission de gaz en galerie, moins de bruit, moins de chaleur, moins de vibrations et moins de déchets.
- Tombereaux Miniers de 15 à 80 T (20 à 63 T pour les normes européennes)
- Des Machines à Attaque Ponctuelle et les têtes de coupe dont la puissance varie de 50 à 315 kW, et la hauteur de coupe peut aller jusqu'à 8 m.
- Des boulonneurs mécanisés pouvant poser différents types de boulons (ciment, résine, ponctuel, coquille, friction, gonflé à l'eau, à câble) de 1m50 à 6m de longueur, en toute sécurité pour les opérateurs. Sur certains modèles, une option permet le positionnement de la machine dans la galerie et l'implantation des boulons par création d'un scénario de boulonnage :
 - Soit un système simple et rapide de navigation et d'assistance au boulonnage. Avec un laser embarqué, l'opérateur pointe la dernière auréole de boulons posée, permettant ainsi de positionner la machine pour l'avancement. Ensuite l'opérateur définit un scénario de boulonnage (distance entre auréole et distance entre le milieu des boulons) avant de lancer la foration.
 - Soit un boulonnage systématique avec un système de navigation précis (particulièrement pour les tunnels). L'opérateur utilise un tachéomètre pour situer le boulonneur dans la galerie. Le plan de boulonnage pré-défini est affiché à l'écran, pour indiquer à l'opérateur les positions des plans et lancer le cycle de boulonnage.



- Des jumbos de foration de 1 à 3 bras, avec ou sans nacelle, à commande manuelle, semi-automatisée ou robotisée.

L'accent a été porté sur les jumbos robotisés de la Série « DTi » qui proposent une ergonomie des plus avancées pour le confort de l'opérateur et afin d'obtenir des performances de foration optimum. L'automatisation permet de forer un plan de tir complet suivant un schéma prédéfini avec un haut niveau de répétabilité, sous la supervision de l'opérateur.

Le logiciel « i-sure » associé, permet de concevoir le plan de tir à réaliser en fonction des profils de galeries demandés et des explosifs utilisés. Jusqu'à 13 paramètres machines / terrain sont enregistrés au cours de la foration.

Le rassemblement de ces données (état des anti-coincements, réglage des commandes, pression d'avance, débit d'eau, pression d'eau, vitesse de pénétration, pression de percussion, détection de la roche, pression de rotation, vitesse de rotation, pression du stabilisateur...) est organisé en arborescence.

Les données peuvent être transférées à distance par wifi (si le chantier en est équipé) pour que le personnel puisse visualiser les derniers plans de tir et de boulonnage et ainsi collecter puis analyser toutes les données enregistrées par la machine afin d'optimiser le tir et la foration suivante.

Finalement, afin de préparer la visite de l'usine qui suivait, Alain Comorge, Manager de la ligne de produit foreuses souterraines pour Sandvik Mining, présenta le site de Meyzieu : 180 employés, 75 millions d'euros de CA, spécialisé dans la fabrication de matériel pour les mines souterraines ou petites galeries : Machines de Foration de front ou long trou, de Boulonnage et petit Charge & Roule.

A noter que la production annuelle est essentiellement destinée à l'export avec des marchés sud-américains et africains très demandeurs.

[NDLA : Pour plus de détails, les différentes présentations décrites ci-dessus sont consultables, pour les abonnés, sur le site de l'AFTES.]

Une fois les consignes de sécurité passées, le groupe s'est dirigé vers la zone d'essais de l'usine où un boulonneur s'apprêtait à poser des boulons split-set.

Ensuite le groupe s'est scindé en deux pour pouvoir circuler plus aisément le long de la ligne d'assemblage et les zones d'essais.

Au retour en salle, la parole a été donnée aux visiteurs pour les explications relatives aux matériels par activité, conçus, fabriqués et distribués par la Société mais aussi l'assistance technique et la formation sur chantier.

Un repas en commun sur place a conduit à d'autres questions et discussions professionnelles. L'AFTES remercie vivement la société SANDVIK pour cette journée très riche en informations techniques. ♦





InnoTrans 2016

20-23 SEPTEMBER · BERLIN

International Trade Fair for Transport Technology
Innovative Components · Vehicles · Systems

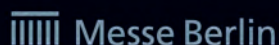
innotrans.com



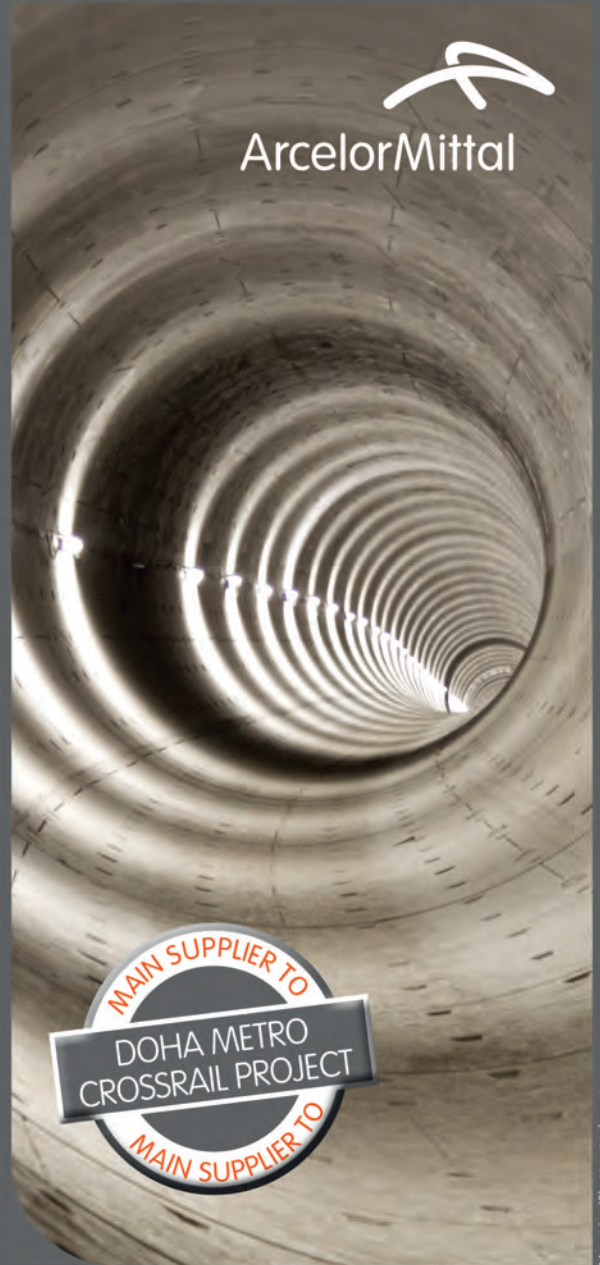
THE FUTURE OF MOBILITY

Contact

Promo Intex
2, rue Wauthier
78100 Saint Germain en Laye
T +33 1 39 62 11 93
F +33 9 70 06 82 33
p.canovamenke@promo-intex.com



ArcelorMittal



Mauvries/Shutterstock.com

Steel fibre solutions from your reliable partner

ArcelorMittal Bissen & Bettembourg
Route de Finsterthal
L-7769 Bissen
T +352 835 772-1 | F +352 835 698
fibresupport@arcelormittal.com

www.arcelormittal.com/steelfibres



Inauguration du tunnel de Chabrières dans les Alpes de Haute Provence

Un chantier «écoresponsable» sous Maîtrise d'ouvrage Etat



Le tunnel de Chabrières, situé sur la RN 85 sur la commune d'Entrages, s'inscrit dans le projet global de sécurisation et de modernisation de l'itinéraire Digne-Nice, maillon de l'itinéraire majeur et structurant pour accéder et desservir l'est du département des Alpes-de-Haute-Provence et l'arrière-pays niçois.

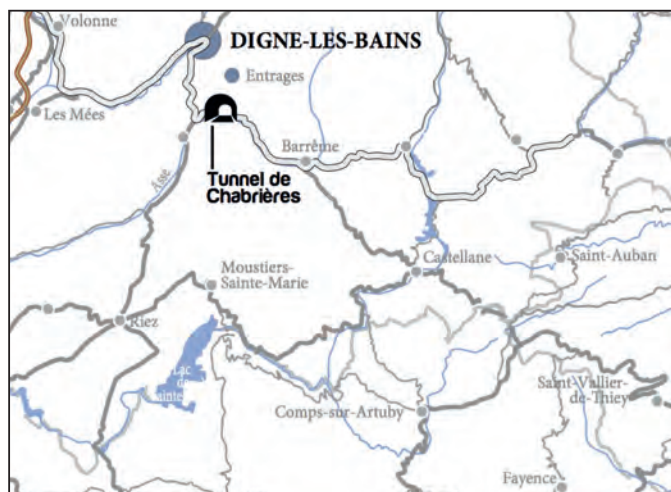
D'un montant de 12,6 M€, dont 8,6 M€ financés dans le cadre du CPER 2000-2006 et 4 M€ inscrits au PDMI 2009-2014, la réalisation du tunnel de Chabrières d'une longueur de 170 mètres a fait l'objet d'un cofinancement à parts égales entre l'État et la Région.

Les travaux se sont déroulés entre mai 2013 et juillet 2015. Des coupures de circulation ont été mises en place de manière circonstanciée pendant certaines phases de travaux bien spécifiques, comme pour la phase de creusement du tunnel réalisée à l'explosif (de septembre à décembre 2013).

Après deux années de travaux, le tunnel est mis en service le 9 juillet 2015. La vitesse de circulation à double sens dans le tunnel est limitée à 70 km/h.

Le génie civil du tunnel de Chabrières a fait l'objet d'un article détaillé dans la revue TES n°248 de Mars-Avril 2015.

La DREAL PACA, Maître d'ouvrage de l'opération a conduit la réalisation de ce chantier «écoresponsable». Une démarche de management environnemental a été mise en œuvre tout le long du chantier. Elle s'est appuyée pour la conception et le suivi de la réalisation, sur le Centre d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA) et le CETU (Centre d'Études des Tunnels), et les services de la Direction Interdépartementale des Routes Méditerranée (DIRMED), Maître d'œuvre de l'opération.



Le tunnel a été inauguré le 3 juillet, en présence de Michel Cadot, préfet de Région PACA, Patricia Willaert, préfet des Alpes de-Haute-Provence, Jean-Marc Coppola, Conseiller régional délégué aux investissements, Jean-Yves Roux, Sénateur, Patricia Granet, Vice-présidente du Conseil départemental, Marie-José Magaud, Maire d'Entrages et de nombreux élus départementaux. ♦



De gauche à droite : Marie-José Magaud, Maire d'Entrages, Patricia Willaert, préfet des Alpes de-Haute-Provence, Jean-Marc Coppola, Conseiller régional délégué aux investissements, M. Michel Cadot, Préfet de Région PACA, Patricia Granet, Vice-présidente du Conseil départemental, Jean-Yves Roux, Sénateur



Je m'abonne à

Subscription form 2015

TUNNELS

ET ESPACE SOUTERRAIN

Adresse complète / Complete address :

Nom/Surname : Prénom/First name :

Adresse complète / Complete address :

Ville/Town : Pays/Country :

Tél. : E-mail :

Mode de paiement / Method of payment Tarif / Rate

Chèque bancaire ci-joint / Bank cheque enclosed

Virement / Bank transfer

BP CA Cusset - 13907 00000 00202935614 75

IBAN : FR76 1390 7000 000020293561475

SWIFT : CCBPFRPLYO

FRANCE : 1 an : 128 €

2 ans : 230 €

ETRANGER : 1 an : 185 €

2 ans : 270 €

Signature :

A retourner à / To be returned : **Spécifique - 33, place Décurel - 69760 Limonest**

Tél. : 00 33 (0)4 37 91 69 50 - Fax : 00 33 (0)4 37 91 69 59 - E-mail : laurenne.denoyelle.abonnement@gmail.com

SEPTEMBRE

13-17 septembre 2015

XVI European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering - (XVI ECSMGE 2015) «Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development»
EDINBURGH, GRANDE BRETAGNE
<http://xvi-ecsmge-2015.org>
xviecsmge2015@in-conference.org.uk

15-17 septembre 2015

16th International Symposium ISAVFT 2015 - Aerodynamics, Ventilation & Fire in Tunnels
SEATTLE, USA
www.bhrconferences.com
confx8@bhrgroup.co.uk

15-18 septembre 2015

ICSSC 2015 - International Conference on Sustainable Structural Concrete
LA PLATA, ARGENTINE
www.rilem.org
icssc2015@lemit.gov.fr

28-30 septembre 2015

6th international Symposium Human Behaviour in Fire
CAMBRIDGE, GRANDE BRETAGNE
www.intersciencecomms.co.uk
office@intersciencecomms.co.uk

OCTOBRE

5-7 octobre 2015

ICCRRR 2015 - 4th International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting
LEIPZIG, ALLEMAGNE
www.iccrrr.com
org@iccrrr.com

ICCRRR 2015



7-10 octobre 2015

EUROCK 2015 - ISRM European Regional Symposium & 64th Geomechanics Colloquy - «Future development of rock mechanics»
SALZBURG, AUTRICHE
www.oegg.at
Salzburg@oegg.at



8-9 octobre 2015

IWCS - 4th International Workshop on Concrete Spalling due to Fire Exposure
LEIPZIG, ALLEMAGNE
www.iccrrr.com
org@iccrrr.com

8-9 octobre 2015

Convention ExpoTunnel
MILAN, ITALIE
www.expotunnel.it



11-13 octobre 2015

Shotcrete for underground Support XII
SINGAPOUR
www.engconf.org
info@engconfintl.org

13-16 octobre 2015

5th International Symposium on Geotechnical Safety and Risk (ISGSR)
ROTTERDAM, PAYS-BAS
isgsr2015.org
isgsr2015@kivi.nl

14-16 octobre 2015

20^{ème} Colloque Le Pont
14-15 octobre 2015 - La gestion des ouvrages d'art d'hier et de demain
16 octobre 2015 - Journée Optionnelle :
Visite du viaduc de Millau
TOULOUSE, FRANCE
www.aftes.asso.fr

20-23 octobre 2015

Congrès-exposition de la Sim
MONS, BELGIQUE
www.lasim.org
contact@lasim.org



22-23 octobre 2015

International conference «The Great Infrastructures and the strategic function of Alpine Tunnels»
ROME, ITALIE
www.fastigi.com
info@fastigi.com

NOVEMBRE

2-6 novembre 2015

XXVth World Road Congress
SEOUL, COREE
www.piarcseoul2015.org
info@piarcseoul2015.org



11-13 novembre 2015

Tunnels and underground construction 2015
ZILINA, SLOVAQUIE
www.tps2015.sk
tps2015@guarant.sk

18-20 novembre 2015

Tunnel Boring Machines in Difficult Grounds TBM DiGs
SINGAPOUR
www.tbmdigs.org
contact@tbmdigs.org



24 novembre 2015

Journée technique annuelle de l'ABTUS
Rénovation des tunnels routiers et ferroviaires
BRUXELLES, BELGIQUE
www.abtus-bvots.be

DÉCEMBRE

1-2 décembre 2015

STUVA Expo 2015 - Westfalenhallen
www.stuva-expo.com
info@deltacom-hamburg.de

1-3 décembre 2015

STUVA Conference
DORTMUND, ALLEMAGNE
www.stuva-conference.com



3-4 décembre 2015

ICSGE 2015 - International Conference on Soft Ground Engineering
SINGAPOUR
www.geoss.sg
ICSGE2015@nus.edu.sg

14-16 décembre 2015

SSCS 2015 Numerical Modeling Strategies for Sustainable Concrete Structures
RIO DE JANEIRO, BRA
www.coc.ufrj.br
sscs.2015@gmail.com

2016

JANVIER

26-27 janvier 2016
Congrès ATEC ITS France
«Les rencontres de la mobilité intelligente»
 PARIS, FRANCE
www.congres-atecitsfrance.fr
contact@atec-itsfrance.net

MARS

9-10 mars 2016
FRC-CREEP 2016 - International RILEM Workshop on Creep Behavior in Cracked Section of Fiber Reinforced Concrete
 VALENCE, ESPAGNE
www.frc-creep-2016.webs.upv.es

16-18 mars 2016
Symposium ISTSS 2016 - 7th International Symposium on Tunnel Safety and Security
 MONTREAL, CANADA
www.istss.se
istss@sp.se



17-18 mars 2016
Journées nationales maçonnerie - IFSTTAR : Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux
 MARNE-LA-VALLÉE, FRANCE
jnm2016.ifsttar.fr

AVRIL

5-7 avril 2016
INTERtunnel 2016
 TURIN, ITALIE
www.intertunnel.com
intertunnel@mackbrooks.com



18-21 avril 2016
6th European Transport Research Conference - TRA 2016 - Moving forward : Innovative Solutions for Tomorrow's Mobility
 VARSOVIE, POLOGNE
www.traconference.eu
office@tra2016.eu

28 avril 2016
World Tunnel Congress & 42st ITA General Assembly including NAT2016
 SAN FRANCISCO, USA
www.wtc2016.us



MAI

18-20 mai 2016
2nd International Conference on Rock Dynamics and Applications (RocDyn-2) "From Research to Engineering"
 SUZHOU, CHINE
www.rocdyn.org

23-25 mai 2016
13th International Conference Underground Construction & 3rd Eastern European Tunnelling Conference (EETC 2016)
 PRAGUE, REPUBLIQUE TCHEQUE
www.ucprague.com
ps2016@satra.cz

JUIN

15-17 juin 2016
STC 2016, Swiss Tunnel Congress
 LUCERNE, SUISSE
sia-fgu@swisstunnel.ch



AOÛT

13-19 août 2016
3rd International Symposium on Mine Safety Science and Engineering
 MONTREAL, CANADA
isms2016.symposium.mcgill.ca



29-31 août 2016
EUROCK 2016 Symposium Rock Mechanics & Rock Engineering : From Past to the Future
 CAPPADOCIA, TURQUIE
eurock2016.org
info@eurock2016.org

SEPTEMBRE

12-14 septembre 2016
CONSEC 2016 - 8th International conference on Concrete under Severe Conditions - Environment & Loading
 LECCO, ITALIE
www.consec16.com

25-28 Septembre 2016
6th European Geosynthetics Congress
 ISTANBUL, TURQUIE
www.eurogeo6.org

OCTOBRE

18-20 octobre 2016
III EDITION EXPOTUNNEL 2016
 BOLOGNE, ITALIE
www.expotunnel.it

2017

JUIN 2017

9-16 juin 2017
World Tunnel Congress & 43rd ITA General Assembly «Surface problems - Underground challenges»
 BERGEN, NORVEGE
www.wtc2017.no

SEPTEMBRE 2017

17-22 septembre 2017
ICSMGE 2017 - 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering - "Unearth the Future, Connect beyond"
 SEOUL, COREE
www.icsmge2017.org
icsmge2017@icsmge2017.org

NOVEMBRE

13-15 novembre 2017
15^{ème} Congrès International de l'AFES
 PARIS, FRANCE
www.afes.asso.fr



TUNNELS ET ESPACE SOUTERRAIN — N° 250 - JUILLET/AOÛT 2015



HERRENKNECHT



Machines pour tunnels

HERRENKNECHT FRANCE

Espace Lumière - Bâtiment 3
2, rue Emile Pathé
78400 CHATOU (France)

Tel : (+33) 1 30 09 60 30

Fax : (+33) 1 30 09 60 36

e-mail : info@herrenknecht.fr

Site Internet : www.herrenknecht.com

HERRENKNECHT AG

Schlehenweg 2
77963 Schwanau
(Allemagne)

Tel : (+49) 78 24 302-0

Fax : (+49) 78 24 3403

e-mail : info@herrenknecht.de

Site Internet : www.herrenknecht.de



Tunnelier EPB pour la prolongation de la ligne 14 nord du métro parisien



Constructeur de tunneliers de 4 m à plus de 15 m de diamètre pour tout type de géologie, NFM Technologies rend possible les plus grands projets d'infrastructures : rails, routes, eau. Forte de ses compétences élargies d'ensemble industriel dans le secteur de la mécanique de pointe, NFM Technologies propose des solutions techniques innovantes, intégrant les contraintes spécifiques à chaque projet et garantissant un haut niveau de fiabilité des équipements. Désenclavement des territoires, développement des infrastructures, amélioration de la qualité de vie... Notre expertise est au service de vos besoins.

www.nfm-technologies.com

