

WEBINAIRE
22-23 septembre 2020

État de l'art des tunneliers, et Réflexions sur le choix de tunneliers pour un projet en site urbain

Animateurs du GT4 :
François RENAULT et Magali SCHIVRE



- 1. Notre Groupe de Travail , le GT4**
- 2. Présentation l'Etat de l'art concernant les évolutions des tunneliers et de leurs capacités de 2000 à 2019 – GT4R6F2**
- 3. Fiches tunneliers**
- 4. Réflexions du Groupe sur « comment choisir un type de tunnelier pour un projet en site urbain »**

1. Notre Groupe de Travail, le GT4

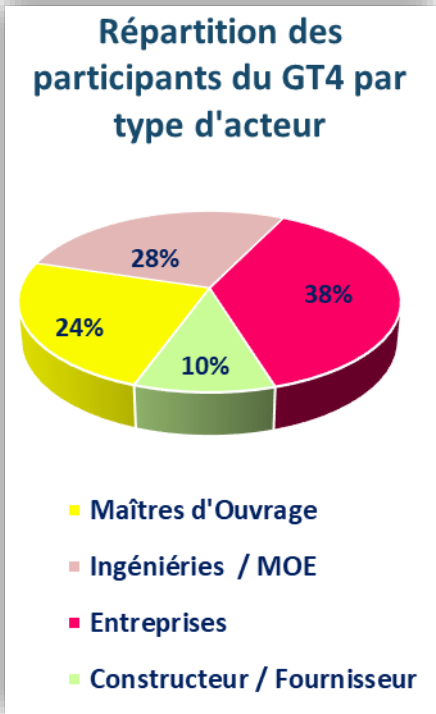
- Une nouvelle équipe depuis septembre 2019
- 29 participants réguliers
- L'ensemble de la profession est représentée
- 7 réunions depuis septembre 2019



Pierre BEAU
 Nicolas BERTHOZ
 Pascal BINET
 François BONNAFOUS
 Jean-Pierre BOUVET
 Frédéric BUFFET
 Guillaume CHAMPAGNE DE LABRIOLLE
 Laurent CHANTRON
 Yvan CHIROL
 Jean-Yves DE LAMBALLERIE
 Olivier DUFOURD
 Georgia EL KHAWAND
 Nheme EL KHOURY
 Alexandre GUILLAUME
 Arnaud HOCHARD
 Emmanuel HUMBERT
 Thierry HUYGHUES-BEAUFOND
 Jean-Marc KOEBEL
 Nicolas KOLODKINE
 Guy LECHANTRE
 Emanuele MARCUCCI
 André MITILDJAN
 Alberto PULITI
 Pascal RAULT
 Michel ROIGNOT
 Daniel ROUSSEL

SYSTRA
 CETU
 SNCF RESEAU
 EIFFAGE INFRASTRUCTURES
 SIAAP
 EGIS RAIL
 ARCADIS
 BONNARD & GARDEL
 RAZEL-BEC
 TISSEO-INGENIERIE
 SYSTRA
 BOUYGUES
 EIFFAGE INFRASTRUCTURES
 MS
 IMPLENIA
 TELT
 SOCIETE DU GRAND PARIS
 SPIE BATIGNOLLES
 CSM-BESSAC
 HERRENKNECHT
 BOUYGUES
 CONSEIL D'AMI
 EGIS TUNNEL
 SADE
 SYTRAL
 SPIE BATIGNOLLES

François RENAULT VINCI GP
 Magali SCHIVRE INCAS Partners





2. L'ETAT DE L'ART

2. L'Etat de l'art des tunneliers , publié en Mai 2019

LES RECOMMANDATIONS DE L'AFTES

État de l'art concernant les évolutions des tunneliers et de leurs capacités de 2000 à 2019

GT4R6F2

Texte présenté par

Patrick RAMOND (RAZEL-BEC) et **Magali SCHIVRE** (INCAS Partners)
Animateurs du groupe de travail « Mécanisation » (GT N° 4)

Ce texte a été rédigé en active collaboration avec :

Frédéric BUFFET (EGIS) - **Pierre BEAU** (SYSTRA) - **Jean-Pierre BOUVET** (SIAAP)
Laurent CHANTRON (BONNARD & GARDEL) - **Olivier DUFOURD** (SYSTRA)

Hervé GOUJON (NFM) - **Gilbert GAL** (HERRENKNECHT)

Emmanuel HUMBERT (CETU) - **Guy LECHANTRÉ** (HERRENKNECHT)

André MITILDJAN (Conseil d'AMI)

Pascal RAULT (SADE) - **François RENAULT** (VINCI CONSTRUCTION GP)

Bernard THERON (BESSAC) - **Francis VALLON** (BOUYGUES)

Ce manuscrit a été révisé et corrigé par le Comité de relecture suivant :

Bruno COMBE (BOUYGUES) - **Gilbert CASTANIER** (EDF) - **Michel PRÉ** (SETEC TPI)

Le texte qui suit a été validé par le Comité Technique de l'AFTES le 23 mai 2019.
L'AFTES recueillera avec intérêt toute suggestion relative à ce texte.

Rédition comportant la correction d'errata.

SOMMAIRE

Preamble	4
1. Methodologie mise en place	5
2. Premiers constats : types de machines, diamètres ...	6
2.1. Répartitions des types de tunneliers en fonction des années	6
2.2. Y-a-t-il une limite à la taille des tunneliers ?	7
3. Évolution technologiques des tunneliers à confinement	8
3.1. Boucliers à pression de boue (Slurry)	8
3.2. Boucliers à pression de terre (EPB)	11
3.3. Boucliers à multimode de fonctionnement (Multimode)	16
3.4. Évolutions et comparaison des capacités des tunneliers SLURRY versus EPB	20
4. Évolution des tunneliers à mode ouvert	21
4.1. Tunneliers roche dure à grippers (Hard Rock TBM) sans revêtement	22
4.2. Tunneliers simple jupe à mode ouvert (Single Shield)	24
4.3. Tunneliers « Bouclier Double Jupe » - Double Shield	26
4.4. Évolutions communes des tunneliers roches dures	27
5. Autres domaines d'évolutions, axes d'innovations et tendances	32
5.1. Reconnaissances à l'avancement	32
5.2. Remplissage du vide annulaire	32
5.3. Utilisation et maîtrise de nouveaux outils et équipements	34
5.4. Accessibilité, Sécurité, Ergonomie	37
5.5. Autres tunneliers	38
5.6. Innovations, recherche et développement	42
6. Constats et suite des travaux du GT4	43
7. Bibliographie	44
8. Annexes	45
ANNEXE 1 : Liste des chantiers constituant la Base de Données du GT4	45
ANNEXE 2 : Exemple de fiche type renseignée pour la Base de Données du GT4	53
ANNEXE 3 : Graphiques issus de la Base de Données du GT4 et Schémas Fonctionnels	57

- Messages Clefs
- Pour chaque famille de tunneliers :
 - Nomenclature ; schémas fonctionnels
 - Domaines d'évolution, tendances, innovations
 - Synthèses
- Bibliographie et Graphiques issus de la base de données, aboutissement de 10 ans de travail

*Un grand merci à Patrick RAMOND
qui a animé ces travaux depuis 2008 !*

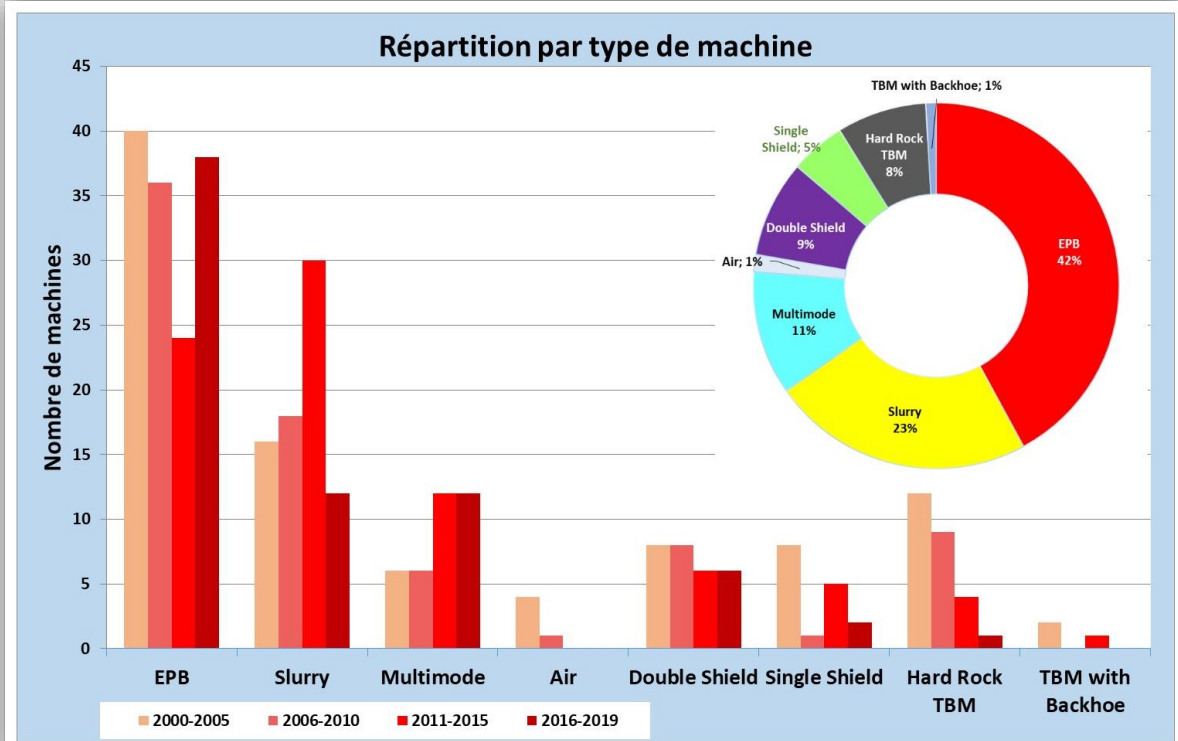
En Préambule, Contexte et Messages

Il reste essentiel que les acteurs d'un projet soient des professionnels aguerris et familiers des bonnes pratiques de ce métier exigeant

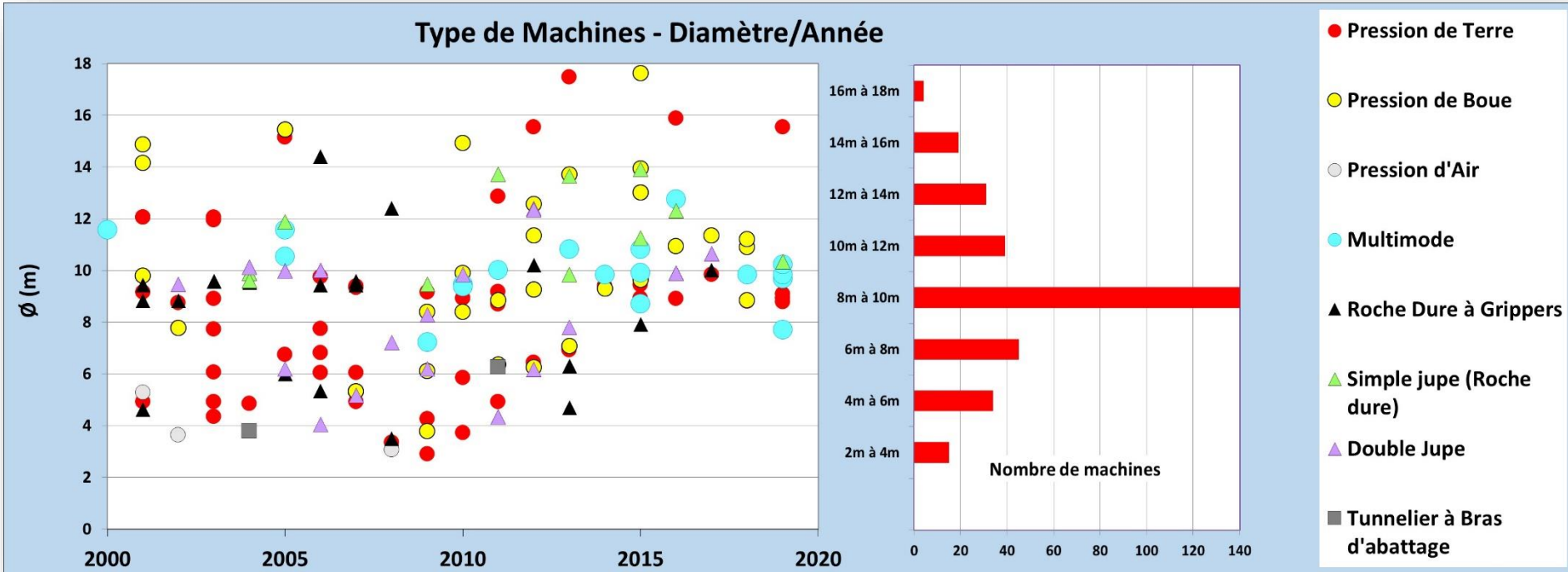
- Des **reconnaisances de qualité** permettant :
 - La bonne adéquation machine terrain
 - l'évaluation des risques de construction, permettant l'anticipation des dispositions préalables adéquates.
- Des **équipes expérimentées** travaillant en étroite collaboration depuis la **conception jusqu'à la réalisation** afin d'obtenir une grande **réactivité sur site** pour implémenter les adaptations de méthodes requises
- La **formation de spécialistes** aux **compétences pluridisciplinaires** afin qu'ils s'intègrent dans une démarche globale de fonctionnement de ces **usines mobiles, de plus en plus complexes**, qui interagissent en permanence entre elles et avec leur **environnement** *[lecture de Muirwood de mai 2019 par M. Herrenknecht]*

Objectifs et Méthodologie

- Etablir un **état des lieux** des possibilités et des comportement des machines
- **Quantifier** les évolutions technologiques
- **Capitaliser** sur les difficultés rencontrées et les solutions implémentées
- Environ 300 chantiers renseignés ; Mise à jour avec les 4 dernières années (les machines du Grand Paris notamment)



Répartition des types de machines et leurs diamètres



NB: TBM « non habités » non considérés

Evolutions des Tunneliers à Confinement

3 EVOLUTION TECHNOLOGIQUES DES TUNNELIERS A CONFINEMENT

3.1 BOUCLIER A PRESSION DE BOUE (SLURRY)

- 3.1.1 Description et Nomenclature des tunneliers « Bouclier à pression de boue »
- 3.1.2 Des capacités de confinement de plus en plus élevées
- 3.1.3 Mesures anti-colmatage
- 3.1.4 Technique spécifique anti-colmatage de la partie basse pour les sols cohérents
- 3.1.5 Principaux Avantages / Inconvénients des boucliers à Pression de boue actuels

3.2 BOUCLIER A PRESSION DE TERRE (EPB)

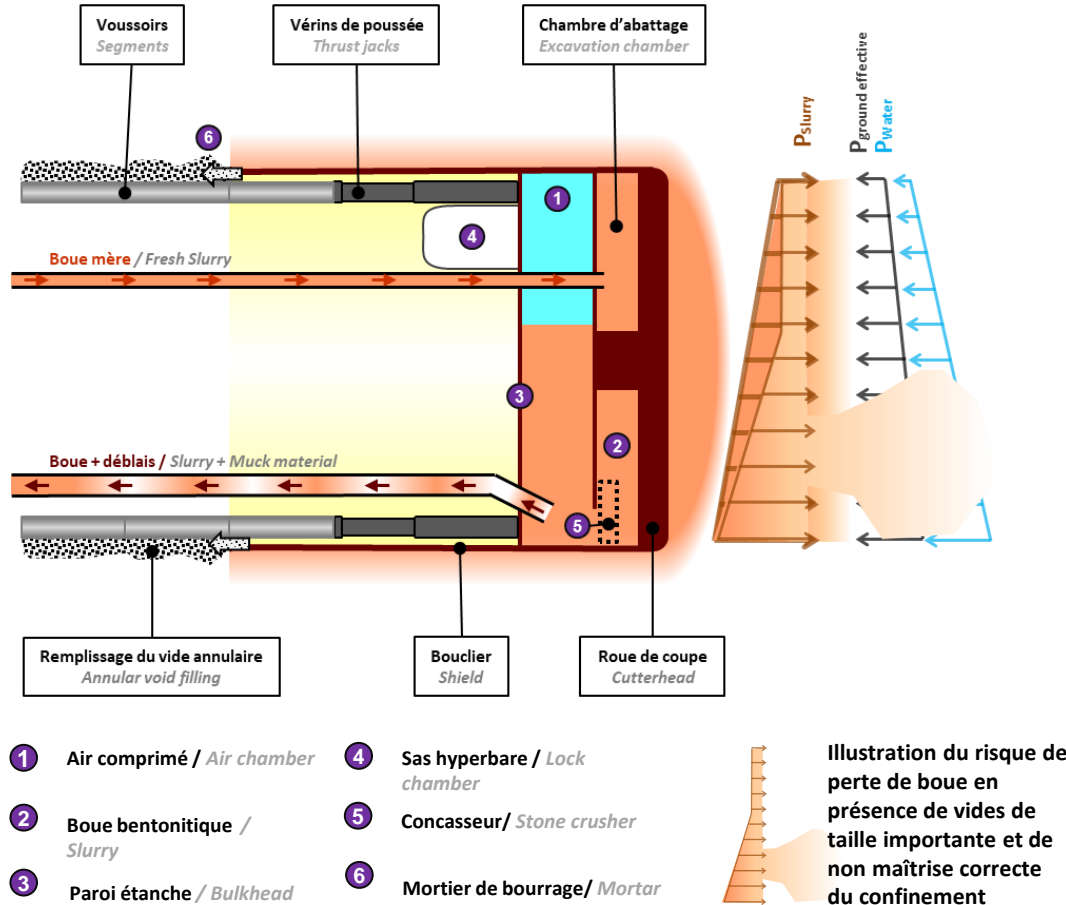
- 3.2.1 Description et Nomenclature des tunneliers « Bouclier à pression de terre »
- 3.2.2 Solutions pour augmenter le spectre des pressions de confinement
- 3.2.3 Modifications des propriétés du terrain abattu par utilisation d'adjuvants
- 3.2.4 Injection de bentonite pour compenser les pertes de pression en chambre (cas EPB)
- 3.2.5 Principaux Avantages / Inconvénients des tunneliers EPB actuels

3.3 BOUCLIER A MULTIMODE DE FONCTIONNEMENT (MULTIMODE)

- 3.3.1 Exemple de Tunneliers Multimodes Ouverts / Fermés
- 3.3.2 Tunneliers multimodes à modes de confinement mixtes

3.4 ÉVOLUTIONS ET COMPARAISON DES CAPACITES DES TUNNELIERS SLURRY VERSUS EPB

Les tunneliers à Pression de Boue - SLURRY



3.1.5. Principaux avantages/inconvénients des boucliers à pression de boue actuels

- Les avantages principaux sont :
 - Finesse de la régulation et de mesure de la pression de confinement grâce au dispositif de bulle d'air de régulation (précision, qualité et fiabilité des mesures) ;
 - Une gamme de pressions de confinement atteignables élevées ;
 - Une simplicité d'accès au front pour les interventions hyperbares par rapport aux machines EPB ;
 - Un besoin moindre en puissance de machine par rapport à l'EPB notamment avec l'augmentation du diamètre d'excavation.
- Les inconvénients principaux sont :
 - Le risque de perte de boue et du confinement (pouvant générer des instabilités de front) en présence de vides de taille, importante, et/ou de contraste de perméabilité élevé entre différents terrains ;
 - Le coût de l'installation et du fonctionnement du système de traitement des boues ;
 - Les centrales de séparation de la boue sont consommatrices d'espace, la place disponible au niveau des installations de chantier peut donc représenter une contrainte notamment en site urbain ;
 - En outre, les cadences de creusement étant liées aux capacités de traitement de la boue, elles sont directement dépendantes de la présence de particules fines qui conditionnent largement le dimensionnement des centrales de traitement.

Les tunneliers à Pression de Terre EPB

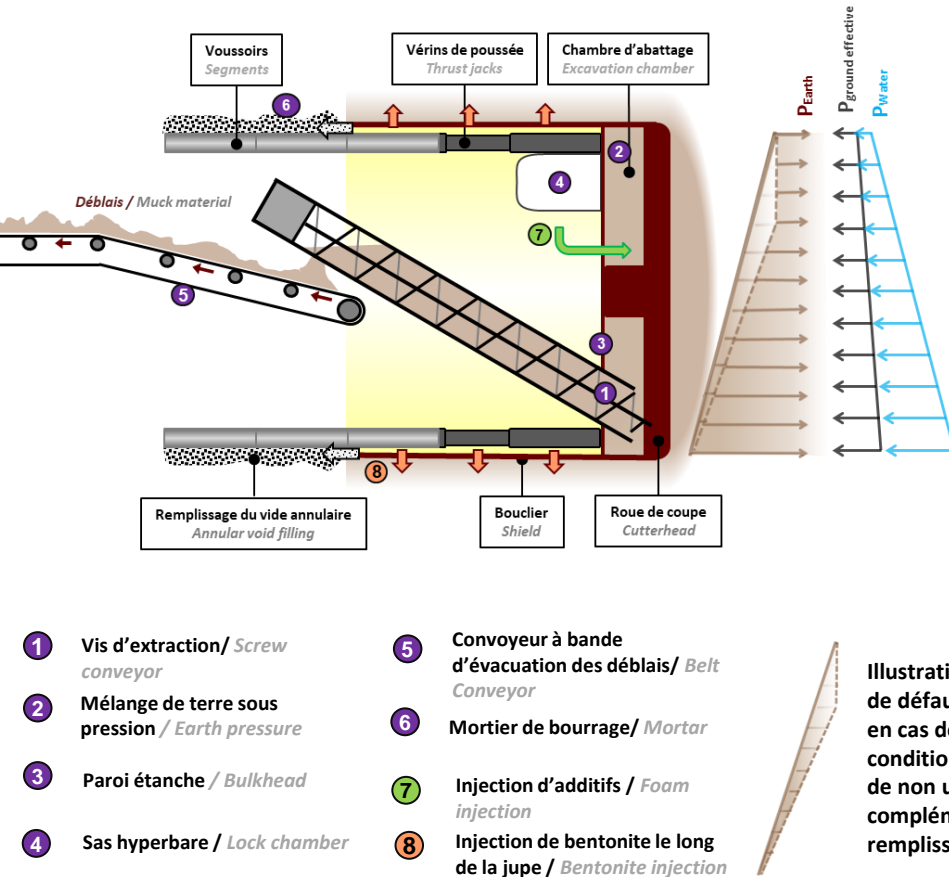


Illustration du risque de défaut de pression en cas de mauvais conditionnement ou de non utilisation du complément de remplissage éventuel

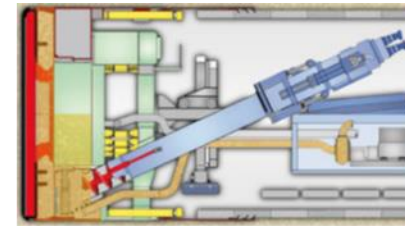
3.2.5. Principaux avantages/inconvénients des tunneliers EPB actuels

- Les principaux avantages de ce type de machine sont :
 - Un coût d'investissement moins important, en cas d'équipement standard, et un besoin moins fort en termes d'espace logistique que pour les tunneliers à pression de boue ;
 - Le risque de perte du confinement est plus facilement maîtrisable avec un EPB pour la traversée des terrains avec présence de vides ;
 - Une moindre sensibilité au colmatage.
- Les principaux inconvénients de l'EPB sont :
 - Une difficulté à garantir un remplissage complet de la chambre d'abattage ;
 - Une moindre précision dans le contrôle de la pression au front par rapport au tunnelier à pression de boue ;
 - Un besoin plus important en puissance de machine par rapport au « Slurry » pour l'énergie de brassage et également avec l'augmentation du diamètre d'excavation ;
 - Une gamme de pressions de confinement atteignables plus faible ;
 - Une sensibilité plus importante à l'usure ;
 - Des matériaux en sortie de tunnel, qui peuvent être difficilement « pelletables », et nécessiter soit de l'espace de stockage suffisant pour essorer, soit un traitement avant leur transport (chaux).

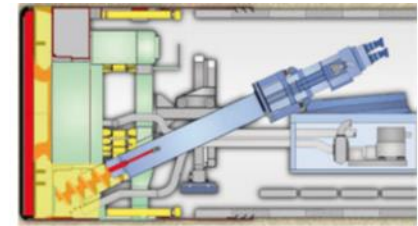
Des tunneliers multimodes

Objectif : **faire face à des géologies très variables**, où chacune des technologies a atteint ses **limites techniques** pour pouvoir creuser l'intégralité du tracé de manière sûre et dans des conditions économiquement acceptables.

- **Multimode EPB/Ouvert** comme pour SAVERNE ou encore **SLURRY/Ouvert** sur Lake MEAD
- Machines de **conception modulaire** ou **intégrée**
- **Multimode à confinement mixte**

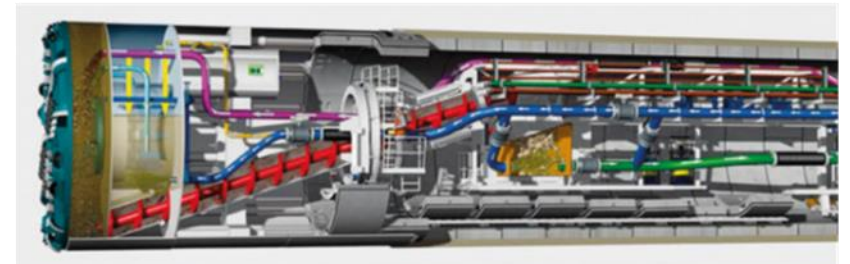


a) Operation mode slurry



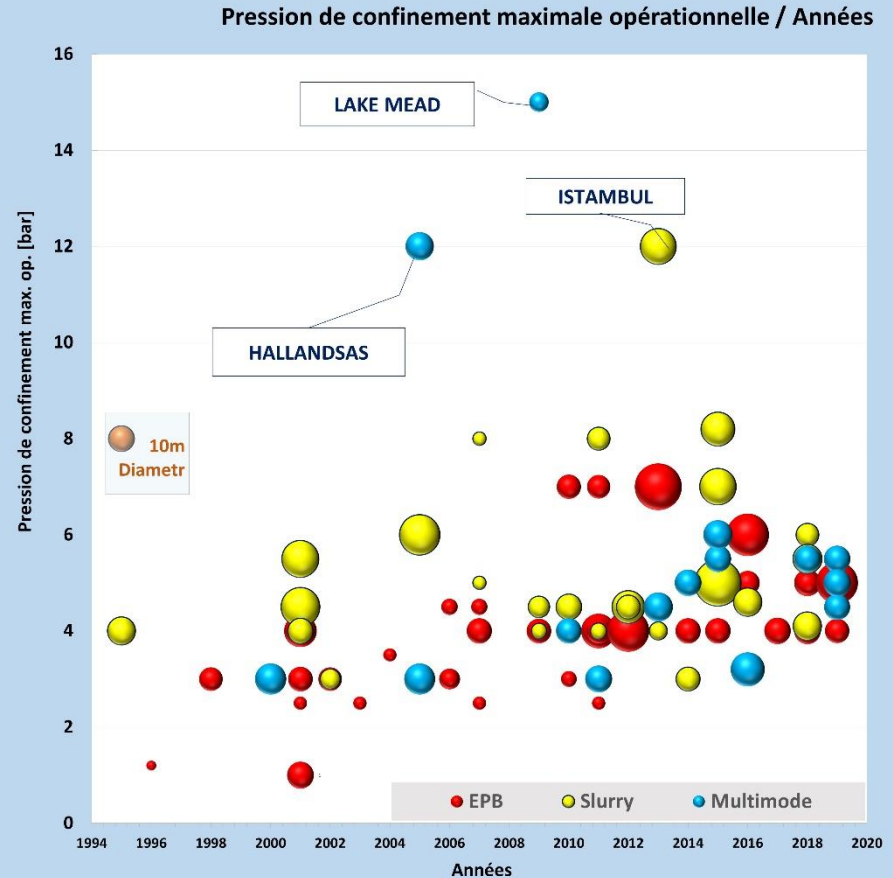
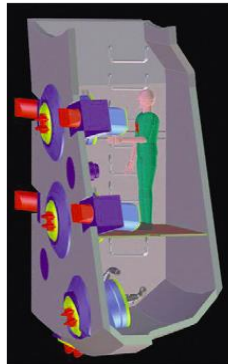
b) Operation mode EPB

De SOCATOP , EPB SLURRY en modulaire au tunnelier Variable Density VD de conception intégrée

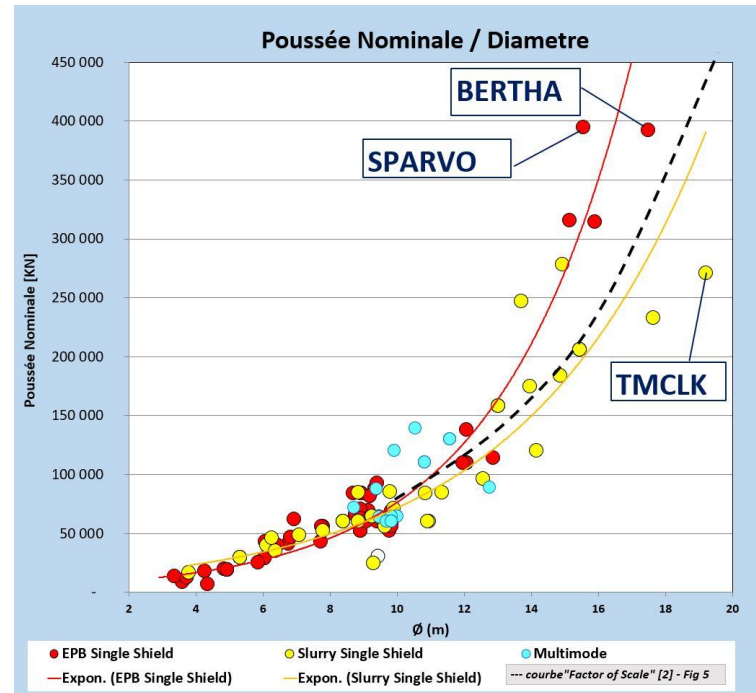
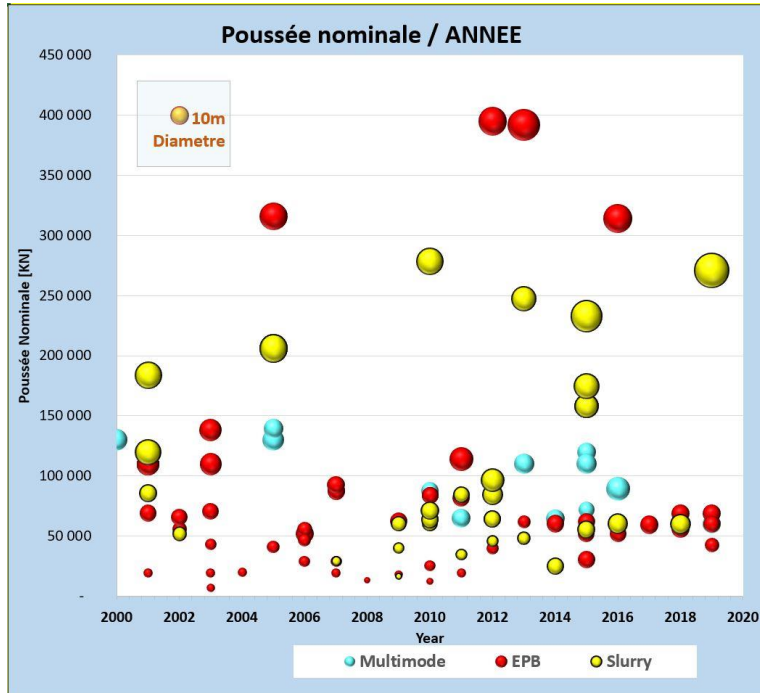


Les Pressions de confinement

- Augmentation des pressions de confinement, et ce particulièrement pour les tunneliers à pressions de boue
 - Dès 2006 : conception de machines à fortes pressions
 - Depuis 2010 : conduite et utilisation des tunneliers à ces pressions sur plusieurs kilomètres



Exemples de courbes Poussée SLURRY versus EPB



Courbes GT4
cohérentes avec les
courbes
précédentes
trouvées dans la
bibliographie

(courbe « Factor of
scale » datant de 2013
pour les tunneliers à
confinement non
distingués)

- Poussée installée proportionnelle à la section du tunnel et à la pression de confinement
- Poussée nécessaire légèrement plus élevée pour les EPBs lorsque les diamètres augmentent.

Synthèse des évolutions des Tunneliers à Confinement

- **Recouvrement** des domaines d'utilisation + **important**, grâce aux **améliorations continues et aux évolutions technologiques**
- **Augmentation des pressions de confinement**, et ce particulièrement pour les SLURRY
- Amélioration de la **gestion de la précision du confinement**, par injection de bentonite pressurisée pour compenser les variations de pression en chambre
- **Adaptabilité** à des terrains de **granulométries et perméabilités différentes**
 - SLURRY
 - ✓ mesures anti-colmatage et amélioration du comportement dans les sols cohérents
 - ✓ Gestion de la stabilité du front de taille par la capacité à générer un cake
 - EPB
 - ✓ modifications des propriétés mécaniques des terrains excavés par utilisation d'adjuvants directement dans la chambre d'abattage

Evolutions des Tunneliers à Mode Ouvert

4.1 TUNNELIERS ROCHE DURE A GRIPPERS (HARD ROCK TBM) SANS REVETEMENT

- 4.1.1 Description et Nomenclature des Tunneliers Roche dure à Grippers
- 4.1.2 Amélioration des capacités de pose du soutènement

4.2 TUNNELIERS SIMPLE JUPE A MODE OUVERT (SINGLE SHIELD)

- 4.2.1 Description et Nomenclature des tunneliers Simple Jupe
- 4.2.2 Gestion des terrains convergents

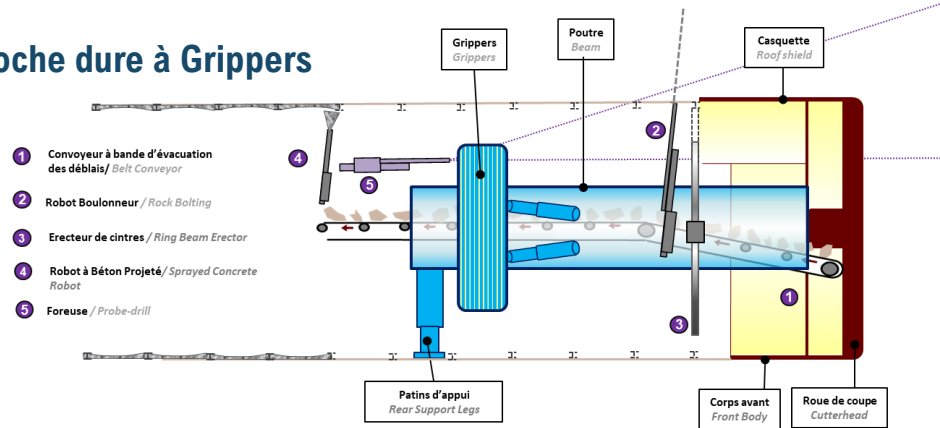
4.3 TUNNELIERS «BOUCHIER DOUBLE JUPE» - DOUBLE SHIELD

- 4.3.1 Description et Nomenclature des tunneliers Double Shield
- 4.3.2 Peu d'évolutions spécifiques sur ce type de tunnelier

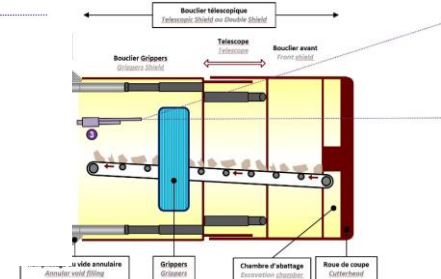
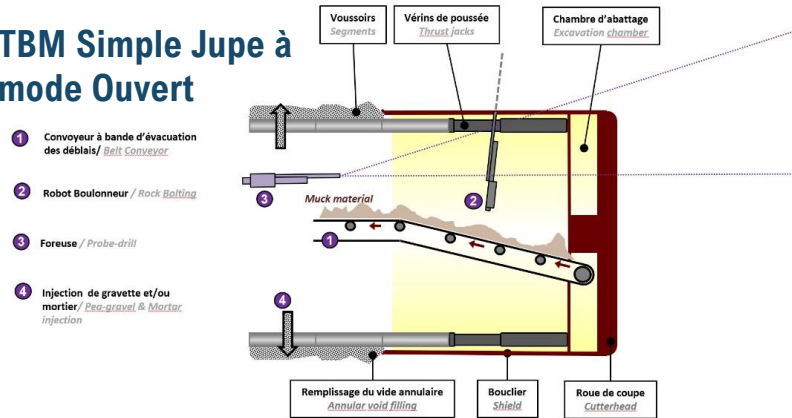
4.4 ÉVOLUTIONS COMMUNES DES TUNNELIERS ROCHES DURES

- 4.4.1 Renforcement de la résistance de la tête
- 4.4.2 Généralisation de l'utilisation de molettes de 19"
- 4.4.3 Capacité à reconnaître et traiter le terrain à l'avancement
- 4.4.4 Une tendance vers des machines de plus en plus puissantes

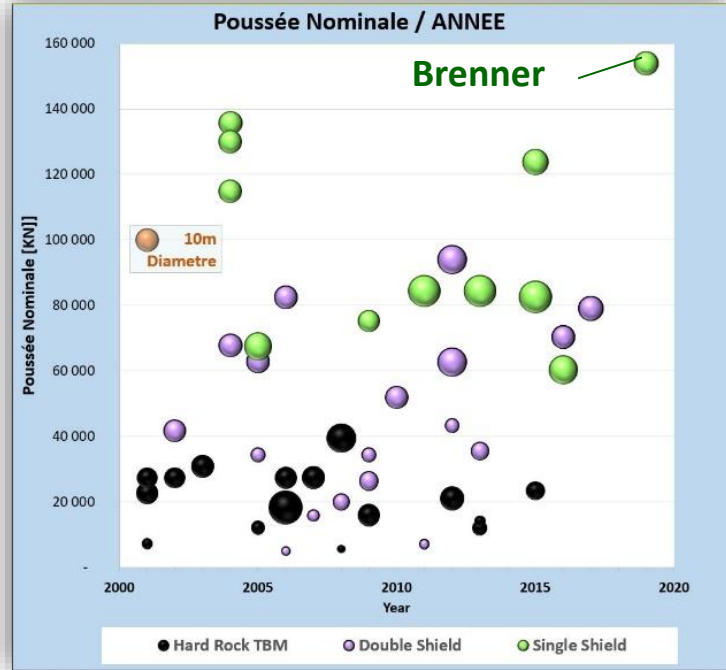
TBM Roche dure à Grippers



TBM Simple Jupe à mode Ouvert

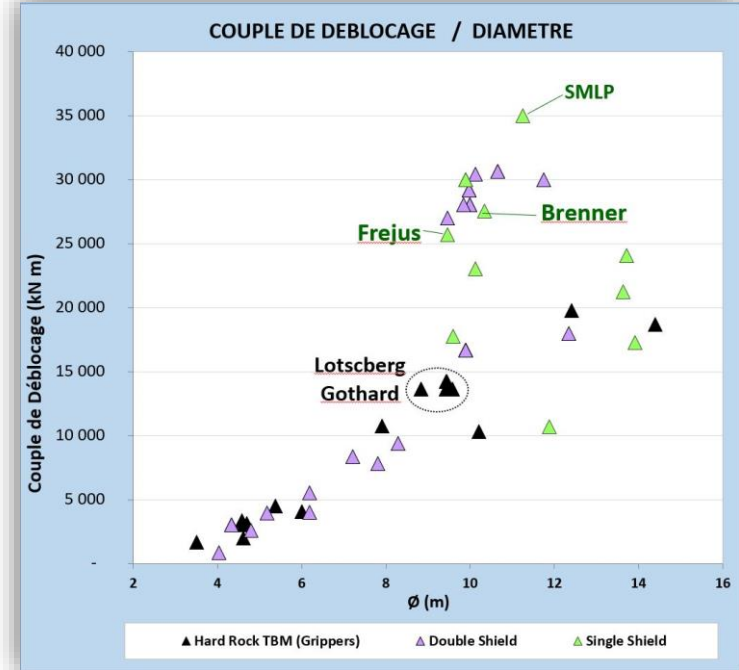


Exemples de courbes Tunnelier Ouverts



les tunneliers
équipés de
poussées et de
couples de
déblocage très
élevés

Poussée > 100MN
Couple > 30 MNm

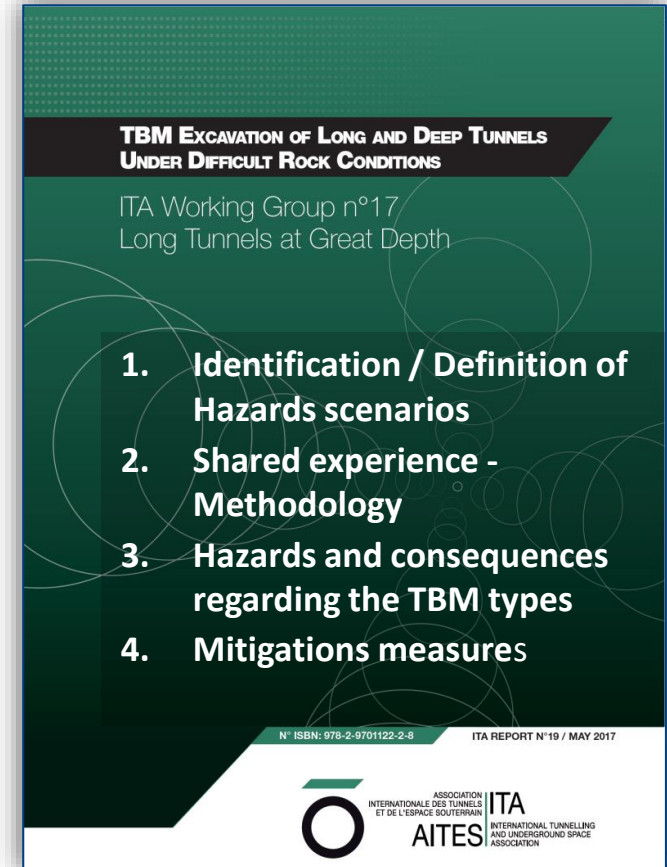


Les relations Poussée Nominale/Diamètre et Couple/Diamètre restent principalement **liées au contexte géologique** : les **machines surpuissantes (> 100 000 kN)** correspondent à des machines utilisées pour des tunnels à grande **profondeur**, avec des risques de convergences des terrains , alors que les tunneliers à simple jupe de diamètre autour de 14m, ont nécessité l'installation de poussées plus classique

Evolutions des Tunneliers à Mode Ouvert

Ces dernières années, les tunnels alpins ont été réalisés par des machines roche dure dans des contextes précédemment considérés comme au-delà des limites d'utilisation des tunneliers

- Le GT4 conseille de se référer à la publication de la nouvelle recommandation de l'AITES du groupe WG17 « Longs tunnels à forte profondeur » :
 - axée sur les **retours d'expérience des tunneliers**
 - ainsi que **l'identification des mesures compensatoires** pour faire face aux **risques spécifiques de ce type de projet**



Synthèse des évolutions des Tunneliers à Mode Ouvert

- **Gain de robustesse et de capacité d'abattage** au travers des améliorations apportées à la roue de coupe et aux molettes
- Ajouts de capacités à **reconnaître et traiter les terrains au front**
- **Augmentation de la puissance des machines** permettant l'installation de **poussées et de couples de déblocages surpuissants**
- Tunneliers **roches dures à Grippers** :
 - amélioration des **capacités de pose du soutènement au plus près du front** => gain de polyvalence.
 - **mécanisation des postes de soutènement** => amélioration des conditions de travail et de sécurité des compagnons.
- Recours + fréquent à l'utilisation de **tunneliers Simple Jupe** permettant la pose de voussoirs pour les tunnels longs et profond

Autres domaines d'évolutions COMMUNS

- Amélioration des **reconnaisances à l'avancement**, destructives et non destructives
- Amélioration des méthodes de **remplissage du vide annulaire**
- Utilisation et maîtrise de **nouveaux outils et équipements** pour le pilotage et le guidage des machines
- Qualité et variété des **mesures qui peuvent être automatisées** : => contribue aussi à la fiabilisation de l'emploi des tunneliers et la maîtrise des risques par un souci de compréhension et d'analyse des phénomènes à la source
- L'amélioration de **l'accessibilité pour la maintenance** prenant en compte l'ergonomie et la sécurité des compagnons

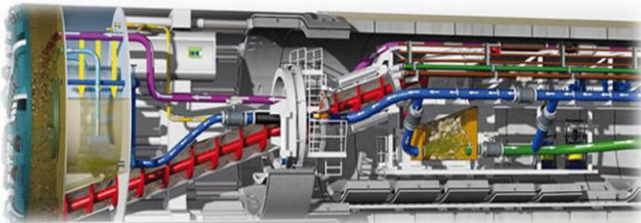
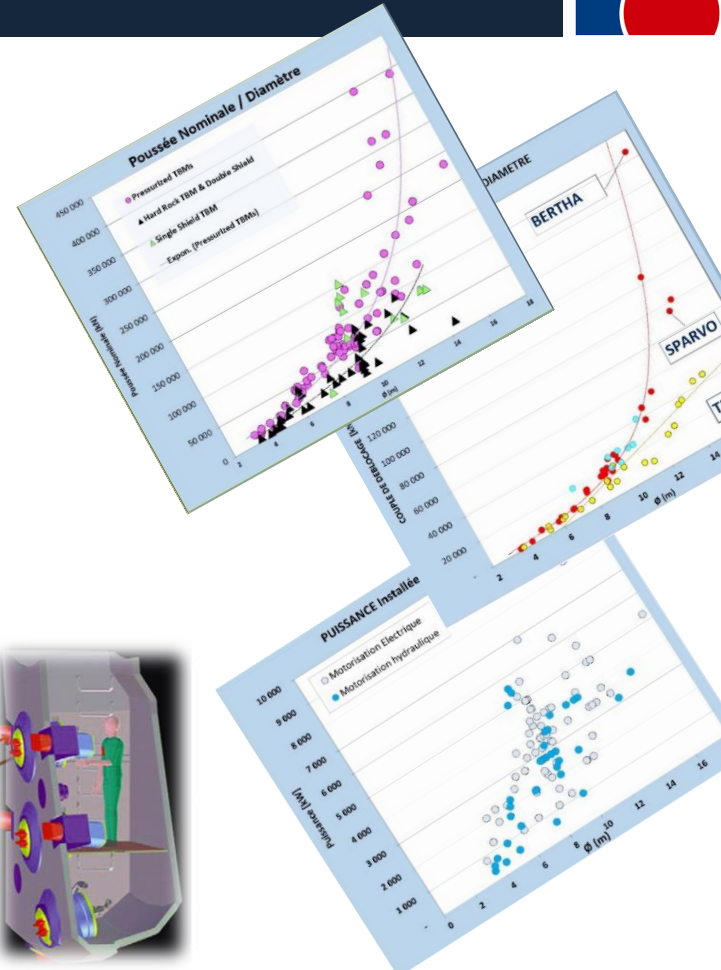
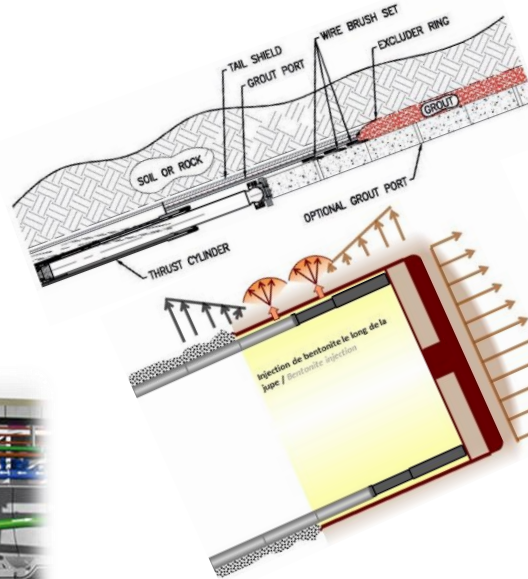
→ **programmes de recherche spécifiques**
(NETTUN, DRAGON ...)

→ **gain de confiance sur l'utilisation des machines**

Le reste de l'état de l'art, pour chaque type de tunneliers ...



- Graphiques de tendance
- REX
- Schémas, fonctionnalités ...
- Une bibliographie actuelle et robuste



Les constats consécutifs à ces évolutions

Les nouveaux projets poussent la profession à repousser les limites technologiques, et conduisent à une évolution constante et innovante des outils et de leurs domaines d'application

Les tunneliers peuvent dorénavant creuser dans :

- Des géologies plus variables,
- des conditions hydrogéologiques extrêmes
- des projets ambitieux et complexes

La polyvalence des machines, la sécurité et la maîtrise des travaux sont en constante amélioration



- **Attention, ces machines ne sont pas la réponse à toutes les configurations**
- **sophistication = augmentation des coûts**
- **Des nouveaux critères prépondérants (dimensions des emprises, traitement des déblais ...)**



3. LES FICHES TUNNELIERS

2. FICHES TUNNELIERS

CHANTIER

De nouvelles « fiches tunneliers » produites par le GT4 « Mécanisation »

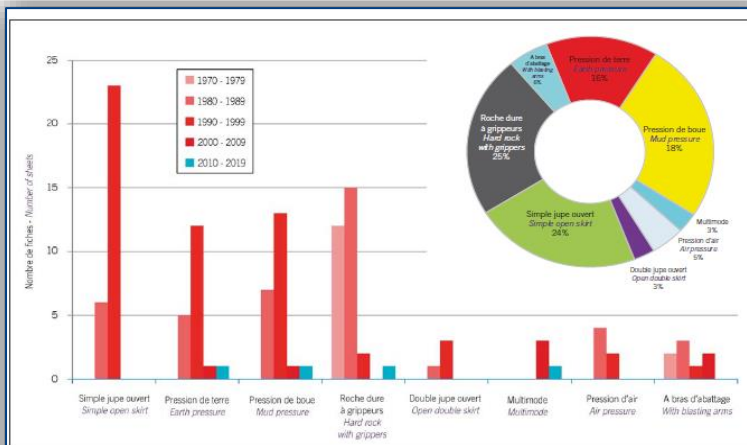




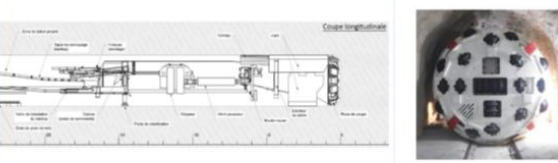
Figure 2 : Répartition des 122 « fiches tunneliers » publiées en fonction du type de tunnelier et de la période des travaux. - Breakdown of the 122 "TBM data sheets" published, by type of TBM and period of work.

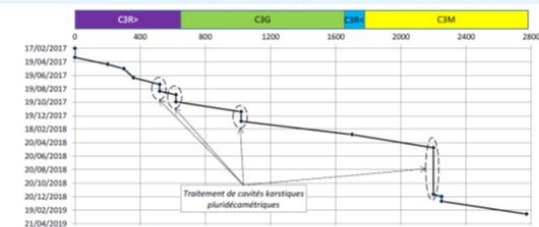

La revue TES propose la publication de «fiches signalétiques» des chantiers mécanisés (dites «fiches tunneliers») depuis 1984. Ces «fiches tunneliers» ont pour objectif de présenter de manière synthétique des chantiers réalisés au tunnelier par des entreprises françaises, que ce soit en France ou à l'étranger.

Les informations contenues dans chaque fiche permettent de comprendre le contexte du projet au travers de ses principales caractéristiques, puis présentent la géologie principale du tunnel associée à la description détaillée de la machine utilisée pour le creusement, ainsi que des informations relatives au déroulement du chantier, comme les cadences moyennes ou les performances atteintes. Le nouveau format, bilingue, sur 3 pages, utilisé en 2020, met davantage en avant : (i) les conditions singulières géotechniques attendues (présence de blocs erratiques, de vides...), (ii) les spécificités techniques et innovations du tunnelier utilisé, et (iii) l'expérience acquise grâce à ce chantier.

2. FICHES TUNNELIERS

<div>N°122</div> <div>FICHE TUNNELIER</div> <div>TBM DATA</div>	<div>2017-2019</div>	<div>Galerie des Janots</div> <div>(The Janots gallery)</div>	<div>page 1 / 3</div>	<div>AFES</div> <div></div>
<div>CARACTERISTIQUES DU PROJET / PROJECT CHARACTERISTICS</div>				
<div>Pays - Ville / Country - City</div>	<div>France - La Ciotat</div>	<div>L tunnel</div>	<div>2771 m</div>	
<div>Fonctionnalité / Functionality</div>	<div>Galerie d'adduction d'eau / Water supply gallery</div>	<div>Q_{max} / Q_{min}</div>	<div>3.50 m</div>	
<div>Maitre d'ouvrage / Client</div>	<div>Métropole Aix- Marseille Provence</div>	<div>Délai contractuel / Contractual completion time</div>	<div>46 mois / months</div>	
<div>Entreprise(s) / Contractor(s)</div>	<div>Eiffage Génie Civil</div>	<div>Maitre d'œuvre / Engineers</div>	<div>Cabinet Merlin</div>	
<div>Description du projet</div> <div>Project description</div>	<div><div><div>- 1 galerie amorce de 80 m réalisée en méthode conventionnelle (exploit), section 18.5 m²</div><div>- 1 galerie réalisée au tunnelier roche dure ouvert de 2693 m</div><div>1 tunnel 80 m excavated with conventional method</div><div>1 tunnel 2693 m excavated with TBM</div></div><div></div><div><div>Toussaints collectif version 01/2019</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</div><div>Plan de la galerie</</div></div></div>			

N°122 FICHE TUNNELIER TBM DATA	2017-2019	Galerie des Janots (The Janots gallery)	page 2 / 3	AFES
Type / Type				
Tunnelier roche dure ouvert à grippures / Hard rock TBM				
Constructeur / Manufacturer				
Robbins				
				
<p>Dispositif de protection à l'arrière du bouclier (barres de canopée) pour réalisation des soutènements à l'abri du terrain découvert. Pâtins larges pour mauvais terrain.</p> <p>Protection device at the rear of the shield (canopy bars) to realize supports safely. Wide pads for bad grounds.</p> <p>Où (hors back up & roue de coupe) / Yes (except back up and cutterhead)</p>				
Spécificités & innovations Special features & innovations				
Tunnelier réemployé / Reused TBM				
Pression maximale / Maximum pressure				
Statique / static				
Sams objet				
Sas / Manlock				
Non				
L'usage / Use				
1.5 m				
R max TBM				
225 m				
R max TBM				
3.5 m				
Outils de coupe / Excavation tools				
25 moutettes de 17"				
25 17" single cutters				
Joints de jape / Tailorings				
Sans objet / N/A				
Marriage / Match management				
Tapis convoyeur sur TBM + trains de marilage sur rails				
Conveyor belt on TBM + track cars on rail				
Jupe télescopique (-50 mm / +0 mm)				
CARACTERISTIQUES MECANIQUES / MECHANICAL CHARACTERISTICS				
Puissance max / Total / Total				
1 800 kVA				
Sur la tête / On the head				
671 kVA				
Couple max / Service / Operating				
100 kNm				
Débit max / Breakdown				
100 m ³ /min				
Vitesse instantanée théorique / Theoretical instantaneous speed				
65 m/min max.				
Vitesse de rotation / Rotation speed				
14 t/min				
EQUIPEMENT SPECIFIQUES / SPECIFIC EQUIPMENTS				
Reconnaitssances à l'avancement / Soil investigation ahead TBM				
1 Forusee installée à l'arrière de la jape (roto percussive)				
1 probe drill behind the shield				
Injections le long de la jape / Service / Operating				
Non				
Autres équipements / Other equipments				
2 bousonniers radiaux à l'arrière de la jape / Erecteur de cintre.				
2 radial bolters behind the shield / ring beam erector				
SOUTÈNEMENT ET REVÈTEMENT / SUPPORT AND LINING				
Soutènement définitif (pas de revêtement complémentaire) choisi en fonction des conditions géotechniques rencontrées : Profil P0 : rocher brut ; Profil P1 : 5 cm de béton projeté ; Profil P2 : boulons radiaux + 10 cm de béton projeté ; Profil P3 et P4 : cintres + tôles de blindage + 10 à 15 cm de béton projeté.				
Final support (no additional lining) chosen according to the geotechnical conditions encountered: Profile P0: rock brut; Profile P1: 5cm shotcrete; Profile P2: radial bolts + 10cm shotcrete; Profiles P3 and P4: arches + shielding + 10-15cm shotcrete.				

N°122 FICHE TUNNELIER TBM DATA	2017-2019	Galerie des Janots (The Janots gallery)	page 3 / 3	AFES
RETOUR D'EXPERIENCE DU CREUSEMENT / CONSTRUCTION EXPERIENCE				
ORGANISATION / ORGANIZATION				
Effectif moyen / Average workforce				
40 personnes / people				
Production / Production				
2 postes / jour shifts / day				
10 postes / semaine shifts / week				
Maintenance / Maintenance				
1 poste / jour shift / day				
4 postes / semaine shifts / week				
Planification / Work schedule				
210 jours travaillés / an working days/year				
5 jours/semaine days / week				
VITESSE D'AVANCEMENT / PROGRESS SPEED				
Moyenne / Average				
Maximale / Maximum				
Journalier [m/jour] / Daily [m/day]				
5.7				
Hédo [m/semaine] / Weekly [m/week]				
28.7				
Mensuel [m/mois] / Monthly [m/month]				
120.0				
LOGISTIQUE / LOGISTICS				
Principes retenus				
Bureaux + Vestiaires + parking : 1500 m ² ; Stockage + Ateliers : 1900 m ² ; Dimension emprise principale				
Offices + Changing rooms + parking : 1500m ² ; Storage + Workshops : 1900m ² ; Main working site size				
External platform gallery ext.: 2500m ²				
Approvisionnement & Evacuation				
A l'intérieur / Inside				
Train sur rail / Railroad system.				
A l'extérieur / Outside				
Transport routier / Road transport				
GRAPHIQUE D'AVANCEMENT / PROGRESS CHART				
				
<p>Avancement bouleversé par la rencontre de 29 aléas karstiques dont 4 cavités pluridécamétriques (231 jours de traitements cumulés).</p> <p>Progress upset due to crossing 29 karst hazards including 4 multi-decametric cavities (231 days total for rock treatments).</p>				
Commentaires / Comments				
				
EXPERIENCE ACQUISE / ACQUIRED EXPERIENCE				
<p>a. Réalisation d'une vaste campagne de reconnaissances géologiques complémentaires au type G3 incluant des sondages verticaux longs et une projection géophysique de surface dans un site classé (Parc des Calanques).</p> <p>b. Réalisation de travaux pour le franchissement et le traitement des 29 aléas karstiques de caractéristiques et morphologies très variées, au tunnelier roche dure à grippures.</p> <p>c. Utilisation d'un système de reconnaissance géophysique à l'avancement de type électrique (système BEAM).</p>				
<p>a. Completion of a G3 type large complementary geological survey including deep vertical boreholes and surface geophysical prospecting in a protected area (Calanques Park).</p> <p>b. Special works for the treatment and crossing with hard rock TBM of the 29 karst of very variable characteristics and morphologies.</p> <p>c. Use of a geophysical / electrical type (BEAM) ongoing soil survey system.</p>				



4. LA SUITE DES TRAVAUX DU GT4

La Suite des travaux du GT4

Le choix du tunnelier et de la technique de confinement sont essentiels vis-à-vis de la maîtrise des risques potentiels du projet et visent à réduire au maximum le niveau du risque lors du creusement du tunnel :

PROPOSITION DE TITRE

**Adéquation des tunneliers à confinement au
contexte d'un projet urbain**

ET DE SOUS-TITRE

Proposition de démarche à suivre pour choisir un type de
tunnelier en fonction des contraintes liées à un projet en
contexte urbain

- Comprendre et analyser, pour une technologie de **confinement** donnée, quelle est la manière de **faire face aux incertitudes intrinsèques à chaque technologie de tunnelier**
- Distinguer et détailler les **critères influençant l'orientation du choix de la machine**
- Inventorier les **bonnes pratiques de conduites** en découlant

Adéquation des tunneliers à confinement

- SOMMAIRE ACTUEL**

1 PREAMBULE

2 DESCRIPTION DES SOLUTIONS DE CONFINEMENT

2.1 Définition du confinement

2.2 Trois familles de confinements

2.3 Lien entre les types de confinements et les types de tunneliers

3 ADEQUATION DES CONFINEMENTS SELON LES OBJECTIFS A ATTEINDRE

3.1 Assurer la stabilité du front et limiter l'impact du tunnelier sur l'existant

3.2 Limiter l'impact sur l'environnement / s'inscrire dans les espaces mis à disposition

3.3 Critères économiques / planning Cadences

4 SINGULARITES, CONSEQUENCES ET CONTREMESURES

4.1 Définitions des configurations particulières vis-à-vis des tunneliers à confinement

4.2 Conséquences des configurations singulières sur les TBMs et contremesures

5 PROPOSITION DE DEMARCHE ET BONNES PRATIQUES

5.1 Démarche conseillée en phase conception pour l'évaluation de l'adéquation

5.2 Pour le suivi du creusement d'un tunnelier à confinement

ANNEXE 1 : ETAT DE L'ART / BIBLIOGRAPHIE DES METHODOLOGIES EXISTANTES DE CHOIX DE MACHINES

ANNEXE 2 : EXEMPLES DE MAQUETTES DE CHOIX SUR DES PROJETS

Adéquation des tunneliers à confinement

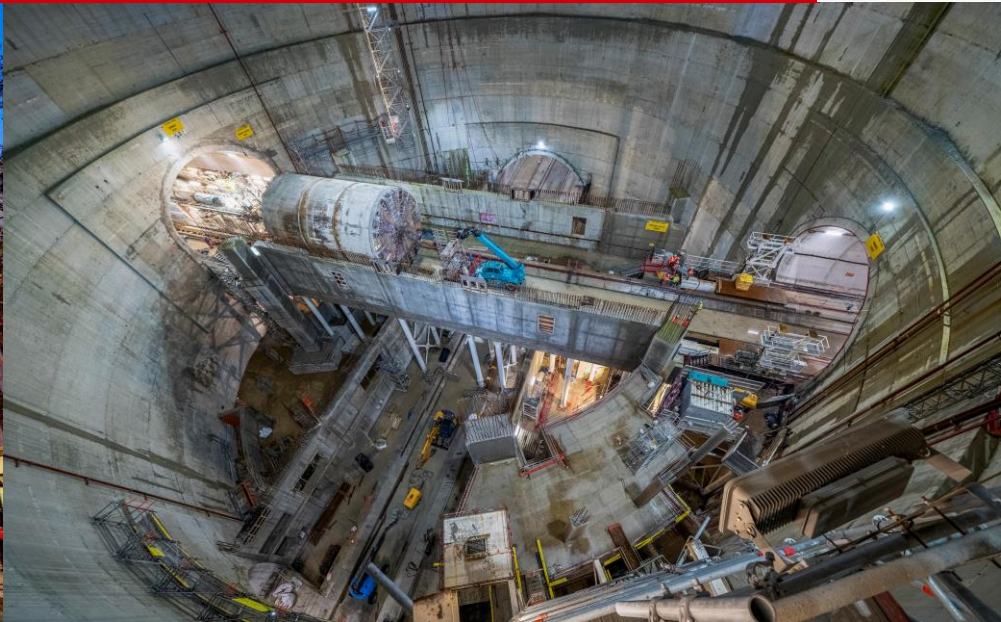
- **Un travail par le biais de sous-groupes :**

La limitation des nuisances urbaines en phase chantier est un enjeu essentiel pour les tunnels urbains, avec des projets qui se doivent d'être le plus « transparents » possible.

Optimisation des emprises de chantier = enjeu souvent dimensionnant

- **SOUS – GROUPE 1 :**
 - **Définition des types de confinements** (§2.1 et §2.2)
 - **Contraintes urbaines d'installation de chantier** et **Espace disponible en surface** pour les installations et accès (§3.2)
- **SOUS – GROUPE 2 :**
 - **Conditions optimales** vis-à-vis d'un mode de confinement donné (§3.1)
 - **Contraintes environnementales** acceptables, avec un focus sur la **gestion des Déblais** (§3.2.2)
- **SOUS – GROUPE 3 :**
 - **Singularité, conséquences et contre-mesures**
 - Définition/identification des **configurations géologiques singulières** vis-à-vis des tunneliers à confinement

WEBINAIRE - 22-23 septembre 2020



MERCI DE VOTRE ATTENTION