

# TBM

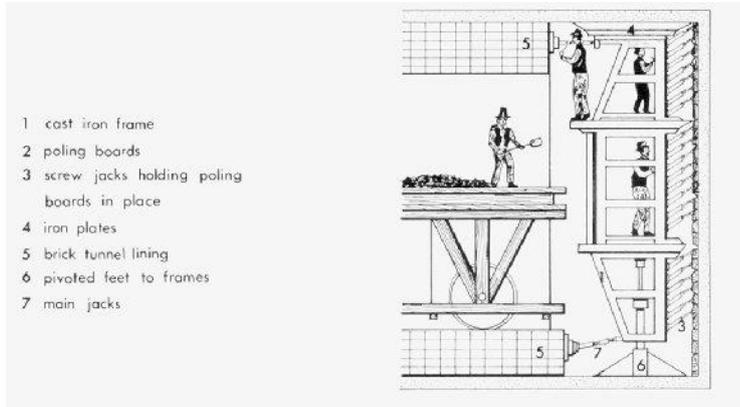
## Tunneling Boring Machine

### Plus de 50 ans d'histoire

#### 1. La Prè-Histoire

L'excavation de tunnels par l'homme est aussi ancienne que son histoire. Réalisés d'abord pour extraire le minerai, ils furent construits ensuite pour amener l'eau aux villes puis pour la circulation des personnes. On connaît des ouvrages très importants datant de l'antiquité.

L'histoire des travaux souterrains, et l'utilisation du tunnelier pour ces travaux sont une succession d'inventions faites par des pionniers. Cette succession de progrès a conduit aux 4 types de tunneliers modernes par grands bonds tout au long de presque 2 siècles d'histoire.



L'application fondatrice du tunnelier est l'utilisation d'un bouclier métallique comme abri pour creuser et construire le revêtement d'un tunnel en sol tendre.

Le creusement de tunnel avec un bouclier date de 1825 pour le creusement d'un passage sous la Tamise par Brunel père et fils. Ce bouclier rectangulaire a permis la construction d'un tunnel en brique de 366 m en 16 ans sans

incident grave Ce passage sous la Tamise est toujours utilisé.

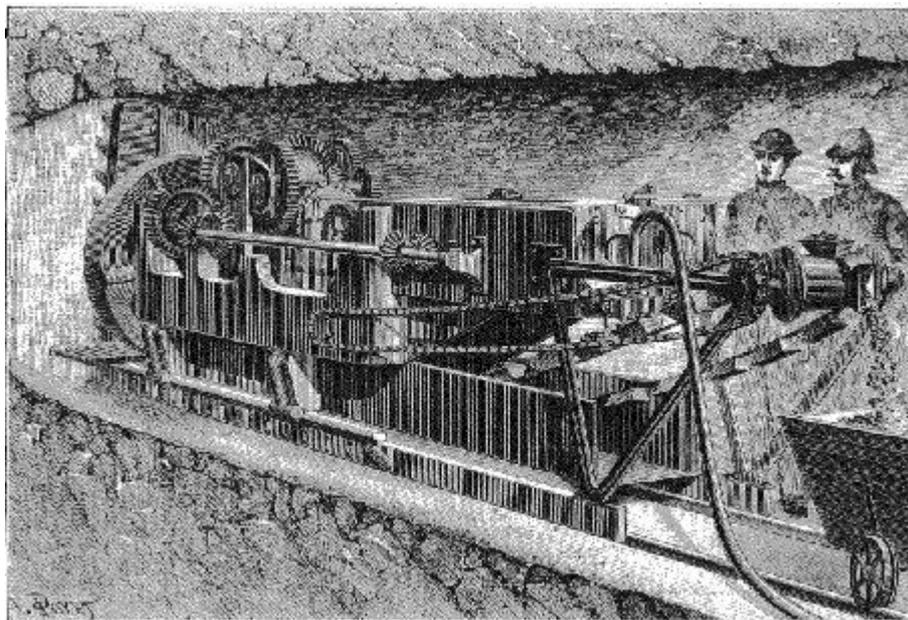


En 1864 James Henry Greathead démarre le creusement d'un tunnel circulaire revêtu d'un anneau de voussoirs en acier circulaire et boulonné. Le bouclier s'appuie et avance en s'appuyant sur le voussoir, et le front est stabilisé par une pression d'air. Ce tunnel sous la Tamise est généralement considéré comme le fondateur des tunnels moderne en sol.

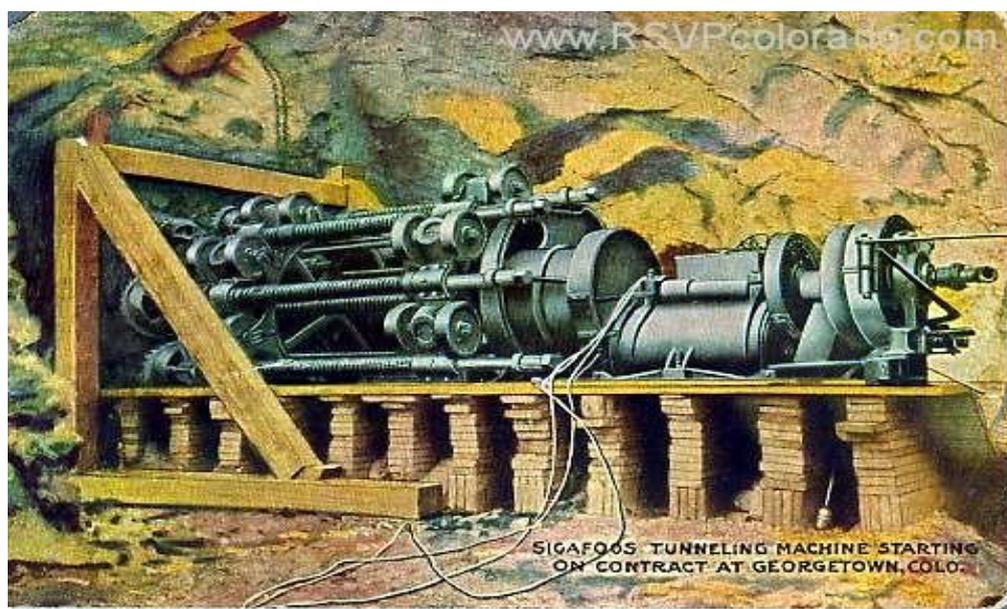
Mais le développement de cette technique sur une

grande échelle à été faite au Japon à la fin des années 1950. Des centaines de boucliers, pressurisés ou non, ont été utilisés dans ce pays pour creuser des tunnels en sol.

Le tunnelier à abattage pleine face fut inventé en 1870 et construit en 1881 pour le **premier projet** de tunnel sous la Manche par le colonel Beaumont. Le début du tunnel pilote a montré la faisabilité de cette technique. Mais le projet fut abandonné à cause des risques d'utilisation militaire de cet ouvrage entre la France et l'Angleterre.



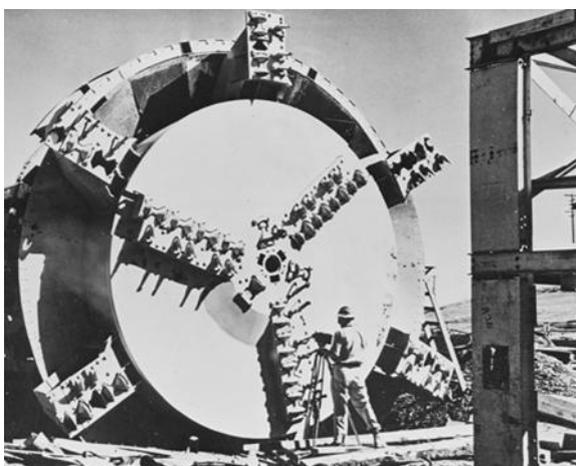
Il n'y a pas d'exemple de travaux de génie civil avant les années 1950, mais beaucoup de machine ont été crée pour mécaniser l'excavation des mines, et l'inventivité des ingénieurs de mines à été très grande. Un exemple de machine pleine face utilisé au Colorado, une machine électrique !



## 2. L'Histoire moderne

L'invention de la molette aux USA en 1956 par James Robbins et son utilisation sur un tunnelier peine face à Toronto, ont permis le développement très rapide dans le monde du creusement en roche dure par la technique du TBM de type machine poutre à gripeur. Plusieurs sociétés Européenes ont développé en très peu d'années leur propre gamme de TBM gripper. L'ampleur des travaux hydrauliques de cette époque ont fortement favorisé cette expansion.

Le développement du double shield entre Robbins et Seli en 1972 pour un tunnel en Italie a élargi son utilisation dans des roches plus fragmentées en toute sécurité.



Le premier slurry shield est utilisé en Grande Bretagne en 1960. Mais c'est au Japon que cette technique de creusement sera développée à partir de 1967 par Mitsubishi, puis en Allemagne à partir de 1974 par Wayss & Freitag.

Le principe de base d'un slurry shield est dérivé des techniques utilisées en forage pétrolier. Le terrain au front est maintenu en pression par une boue bentonitique. La boue pénètre dans le terrain sur quelques millimètres (formation du "cake") et permet de l'imperméabiliser. L'eau du terrain est maintenue derrière le cake. Les 2 techniques utilisées en Europe et au Japon sont relativement différentes. La technique européenne utilise une bulle d'air pour la régulation de la pression de confinement, avec l'utilisation d'une boue bentonitique de bonne qualité avec des densités basses. La technique japonaise régule la pression sur les pompes de marinage, avec une boue bentonitique plus lourde. La densité du mélange extrait par les pompes de marinage est relativement élevée.

C'est donc tout naturellement que la technique de l'EPB est également née au Japon en 1974, à partir du concept de High Density Slurry Shield. Selon ce process, on injecte sur le front de taille une boue bentonitique lourde, qui se mélange au terrain excavé, ce terrain étant extrait de la chambre de coupe et maintenu en pression par une vis d'Archimède. Les boues lourdes constituées d'un mélange de bentonite, d'argiles classiques et d'eau peuvent aller jusqu'à une densité de 1.3. La consommation de l'ordre de 60% à 90% du terrain excavé ainsi que l'évacuation du terrain par train ou convoyeur en tunnel, rend cette

technique plus économique qu'un slurry shield. Le traitement du terrain avant mise en remblais, ne se posait pas à l'époque.

Le remplacement de la bentonite par des cendres volantes ou des polymères est alors testé pour diminuer les inconvénients et le coût de cette technique. Le creusement sans additifs dans des terrains bien particuliers, où le pourcentage de fines est élevé, est aussi testé. C'est cette technique qui sera utilisée en 1987 pour le projet du tunnel sous la Manche. Ce projet est ainsi le point de départ du développement du creusement au tunnelier EPB en Europe.

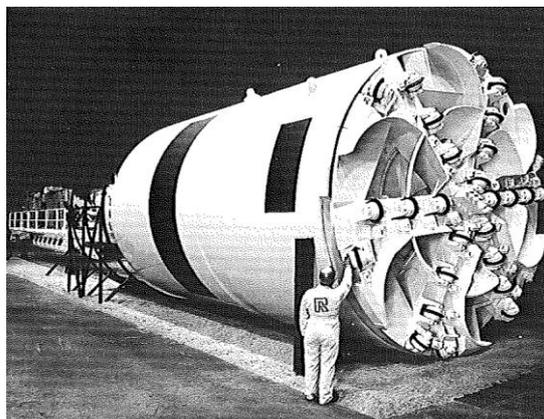
Mais le véritable développement de l'EPB dans presque toutes les situations comme technique concurrente à celle du slurry shield est consécutif à l'utilisation de l'injection de mousse. Cette technique initialement développée au Japon par Obayashi consiste à injecter au front une mousse en remplacement de la boue lourde.

La fonction de cette mousse est la même que la boue, à savoir étancher le terrain par remplissage des vides, diminuer le frottement du terrain sur les structures, permettre de fluidifier le terrain dans la chambre de coupe afin d'obtenir une pâte fluide qui permettra la régulation de pression dans la vis extractrice.

Les avantages de la mousse sur la boue sont indéniables. La mousse par sa constitution de micro bulle d'air permet une bien meilleure régulation de la pression. D'autre part, la mousse est biodégradable et les terrains excavés ne nécessitent aucun traitement avant remblais. Et l'impact sur les nappes phréatiques de la mousse est nul. Enfin, le coût des produits au m<sup>3</sup> excavé est beaucoup plus bas qu'avec la boue.

Les développements effectués en Europe à partir 1992, date de la première utilisation d'un EPB avec injection de mousse par **NFM Technologies** à Milan, ont fait de l'EPB une machine universelle. La qualité de résistance de la mousse, les agents anti-collants ou les polymères ajoutés au produit moussant, les taux d'expansion très variables utilisés permettent aujourd'hui d'adapter le fonctionnement de l'EPB à presque toutes les géologies.

Le projet Transmanche sous le Chanel a donc braqué les phares de l'actualité sur l'utilisation de tunneliers pressurisés en Europe. Les tunneliers fournis par Robbins, Mitsubishi et Kawasaki coté français (5) et par Robbins Markham et Howden coté anglais (6) ont travaillé avec succès sur ce projet très médiatisé, et ont donné un fabuleux élan aux travaux souterrains réalisés au tunnelier en Europe à partir de 1987.



### 3. Le tournant 1989-1983

Mais la récession de 1993 à 1995 a simplifié le marché des constructeurs de machines qui est passé de 24 fournisseurs mondiaux en 1989 à 12 en 1993.

En 89, outre la création de NFM, avec son entrée dans le monde des tunneliers (Milan) avec une licence Mitsubishi, Heirennecht se lance dans la construction de grandes machines à pression de boue avec l'appui de Weise & Freitag pour le métro de Lille.



La situation des constructeurs de tunnelier entre 1989 et 1993 est donc la suivante :

USA
<b>Robbins</b>
<b>Boretec</b>
<b>ACS</b>
Canada
<b>Lovat</b>
UK
<b>Howden</b>
<b>Markham</b>
<b>Desco</b>
<b>Decon</b>

France
<b>FCB</b>
<b>NFM</b>
<b>Bessac</b>
Allemagne
<b>Heirenknecht</b>
<b>Wirth</b>
<b>HDW-Noell</b>
<b>Saultau</b>
<b>Baden-Tylen</b>
Autriche
<b>Wuest-Alpine</b>

JAPON
<b>Mitsubishi</b>
<b>Kawasaki</b>
<b>Hitashi Zosen</b>
<b>Iseki</b>
<b>Komatsu</b>
<b>IHI</b>
SUEDE
<b>Atlas-Copco</b>

1993 constitue donc le tournant, où le marché des tunneliers est devenu mature, avec la disparition des machines avec beaucoup d'innovations, et aussi la disparition de l'esprit pionnier dans la démarche des entreprises de génie civil dans leur relation avec leur client, leur fournisseurs et dans l'exécution des travaux.

#### 4. 2012 la Chine

L'utilisation de tunnelier en Chine a débuté en 1991 pour le métro de Shanghai. STEC a acheté 7 machines françaises (FCB), puis 2 à NFM en 1996. En 20 ans, STEC a construit 12 lignes pour plus de 420 kilomètres de tunnel. Pour comparer, le métro de Paris ne comporte que 197 km de ligne dont 20 en surface.

Le grand développement des travaux de métro au tunnelier commence en 2000 à Guangzhou (Canton), d'abord par des EPB Japonais, puis par des machines européennes. En 12 ans il s'est construit, rien que sur le territoire de la municipalité Guangzhou, 7 lignes pour 230 km de tunnel.

En 2011 le marché Chinois représente 50% du marché mondial. On peut estimer qu'il y a 75 machines neuves par an, plus de 200 TBM en activité et 500 km de tunnels creusés par an. Il y a aussi 6 constructeurs chinois qui ont développé des machines dont trois très expérimentés.

Même si on a observé un ralentissement du marché fin 2011, du fait de la restriction de crédit par le gouvernement chinois, ce marché à quelques années avant saturation. Il y a plus de 100 villes ayant plus d'un million d'habitants, le réseau GV est encore embryonnaire, et il reste à développer le réseau RER dans les deux mégapoles du sud Canton et Shanghai.

#### 5. La concurrence en 2012

En 2012 il y a 15 constructeurs sur un marché mondial, les constructeurs sud-est asiatiques comme les constructeurs européens presque tous les constructeurs ont des implantations en Chine pour profiter d'un coût de fabrication bas.

USA	JAPON
<b>Robbins</b>	<b>Mitsubishi</b>
Canada	<b>Kawasaki</b>
<b>Caterpillar</b>	<b>Hitachi Zosen</b>
France	<b>IHI</b>
<b>NFM</b>	<b>Komatsu</b>
<b>Bessac</b>	Chine
Allemagne	<b>CRCC</b>
<b>Heirenknecht</b>	<b>STEC</b>
<b>Wirth</b>	<b>NHI</b>
Italie	
<b>SELI</b>	

Le marché est dominé par le leader Heirenknecht, trustant plus de 50% des ventes, présent dans tous les domaines des travaux souterrains, et dans tout le monde. Plusieurs constructeurs Chinois sont apparus récemment et la configuration de la concurrence, qui n'avait pas changé depuis 20 ans est en train d'évoluer rapidement. De nouveaux pays s'équipent en tunnel, comme en Amérique du Sud.