

TRAVAUX SOUTERRAINS



Tunnel Maurice Lemaire -
Galerie de Sécurité



SOCATOP – Percement VL1

Gilles LEFRANC

 **EIFFAGE TP**

Service Technique Souterrains

gilles.lefranc@eiffage.com

ESTP - 2008/2009

Plans du Cours

- Introduction
- Techniques « Traditionnelles »
- Les Terrains
- Tunneliers
- Conception et Calcul
- Conclusion et Bibliographie

Séance 1
05/11/08

Séance 2
12/11/08

Séance 3
19/11/08

Introduction Générale

Définition

Tout Ouvrage qui n'est pas réalisé à ciel ouvert

- 2 principaux objectifs :
 - extraction de matière premières
 - transport de fluide ou de personnes
- Cas particuliers :
 - Ouvrages ponctuels : puits, parking ...
 - Stockage : gaz, déchets...
 - Recherche : accélérateur de particules...

Introduction Générale

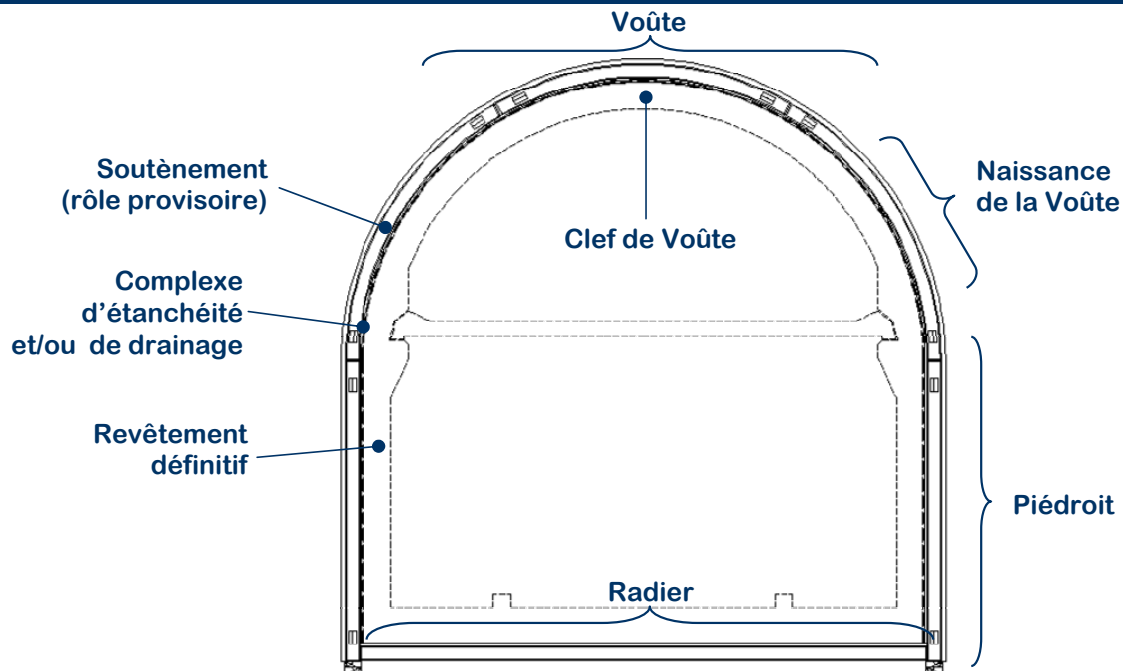
Particularité des Travaux Souterrains

- Travail humain en milieu confiné :
pollution, bruit, pénibilité, danger, sécurité...
- Connaissance toujours imparfaite du milieu :
terrains non homogènes, continus et isotropes,
aléas à ne pas sous-estimer
- Ouvrages souvent linéaire :
Notion de cycle

PLACE DES T.S. DANS LES T.P. : 2 à 5 % en volume

Introduction Générale

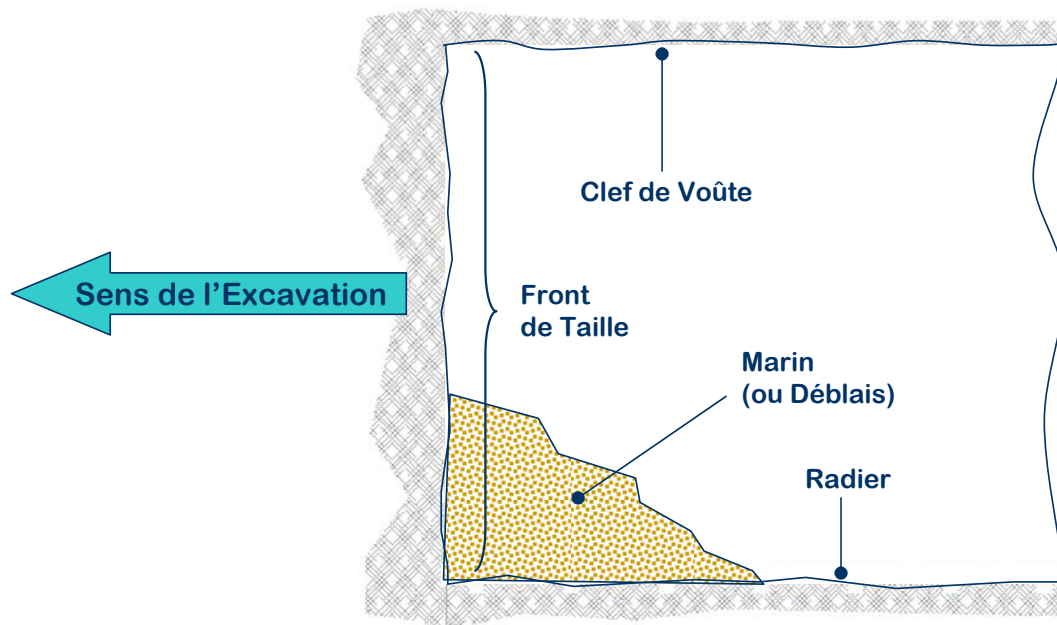
Vocabulaire de base propre aux Travaux Souterrains



Section de la Galerie de Sécurité du Tunnel Maurice Lemaire

Introduction Générale

Vocabulaire de base propre aux Travaux Souterrains



Elévation d'une Galerie

Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

- **Excavation**
 - Excavation à l'Explosifs
 - Excavation avec Machines à attaque ponctuelle
- **Soutènement Radial**
 - Boulons
 - Béton projeté
 - Cintres
 - Blindages
- **Soutènement du Front de Taille**
- **Technique de pré-soutènement**
- **Revêtement**
 - Béton armé ou non
 - Voussoirs préfabriqués
 - Voûte active
- **Phasage d'excavation / Section divisée**

Techniques « Traditionnelles »

Excavation à l'Explosif

Domaine d'application :

- Terrain dur (20 à > 300 MPa)
- Dimensions et Importance de l'ouvrage :
 - Section non circulaire
 - Section importante (> 130 m²)
 - Courtes longueurs

Principale Concurrent : Tunnelier terrain dur

Techniques « Traditionnelles »

Excavation à l'Explosif

Définition d'un explosif :

Corps ou mélange de corps susceptibles de se décomposer très rapidement ($t < 1\text{ms}$) en libérant brutalement une grande quantité d'énergie

Caractérisation :

- Vitesse de Détonation (déflagrant si $V < 400\text{m/s}$, brisant si $V > 2000\text{m/s}$, seule la dernière catégorie es utilisée)
- puissance explosive exprimée en base 100 pour gomme pure (5500j/g)
- résistance à l'eau
- densité d'encartouchage

Techniques « Traditionnelles »

Excavation à l'Explosif

Mode de Fonctionnement :

L'énergie libérée par la détonation de l'explosif est partiellement transmise au massif rocheux sous 2 formes :

l'énergie de choc

l'énergie de gaz

L'énergie de choc véhiculée par une onde fissure le terrain

L'énergie de gaz, engendrée par le dégagement d'un important volume de gaz à haute température et pression ouvre ces fissures et disloque le matériau.

Le surplus de cette énergie de gaz expulse les blocs disloqués.

Techniques « Traditionnelles »

Excavation à l'Explosif

Les Différentes Familles d'Explosif :

- Les dynamites, explosifs à base de nitroglycérine, sensibles aux chocs, aux frottements, à la chaleur ou au froid et au vieillissement.
- Les nitrates encartouchés, explosifs à base de nitrate d'ammonium ayant une résistance à l'eau médiocre et dégageant de fumées toxiques. En voie de disparition au profit des émulsions explosives.
- Les nitrate-fioul ou ANFO, premiers produits explosifs à pouvoir être chargés en vrac. Leur composition à base de nitrate d'ammonium (soluble à l'eau et émetteur de gaz toxiques) limite leur emploi aux terrains secs et le proscrit en souterrains et en site urbains.
- Les gels, explosifs, le plus souvent encartouchés, insensibles à l'eau et très peu sensibles aux chocs. Ces produits ont tendance à disparaître du marché au profit des émulsions explosives.
- Les émulsions explosives, encartouchés ou en vrac (déversables ou pompables), sont produits également insensibles à l'eau et très peu sensibles aux chocs.

Techniques « Traditionnelles »

Excavation à l'Explosif

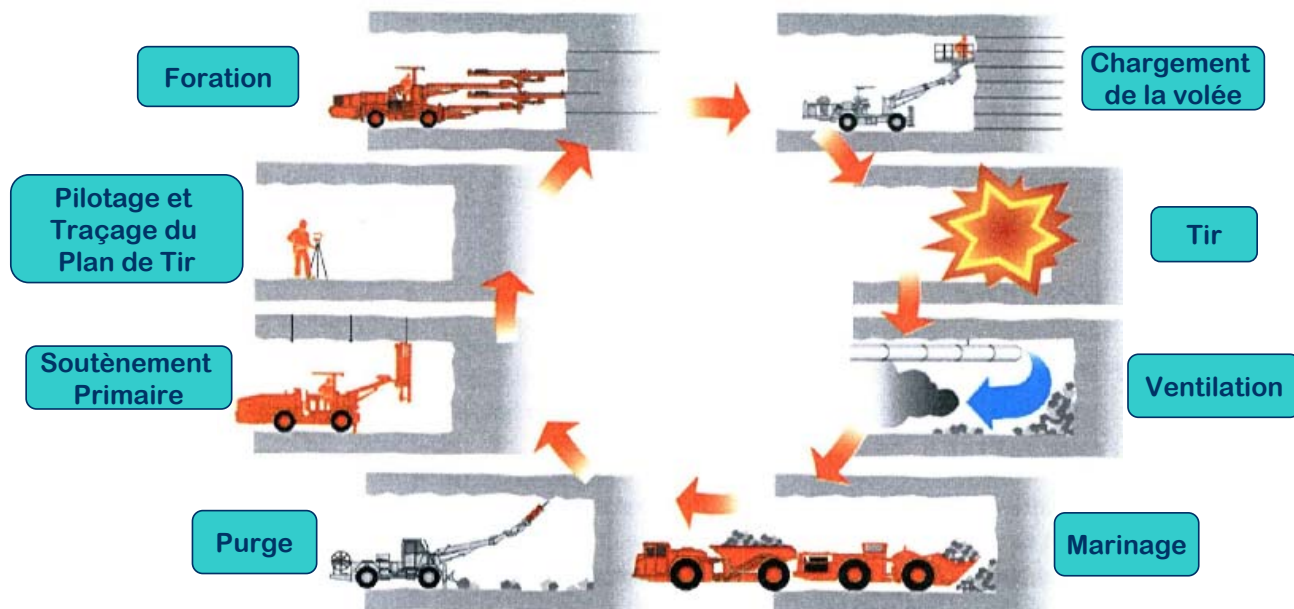


Illustration du cycle classique de creusement à l'explosif

Techniques « Traditionnelles »

Excavation à l'Explosif

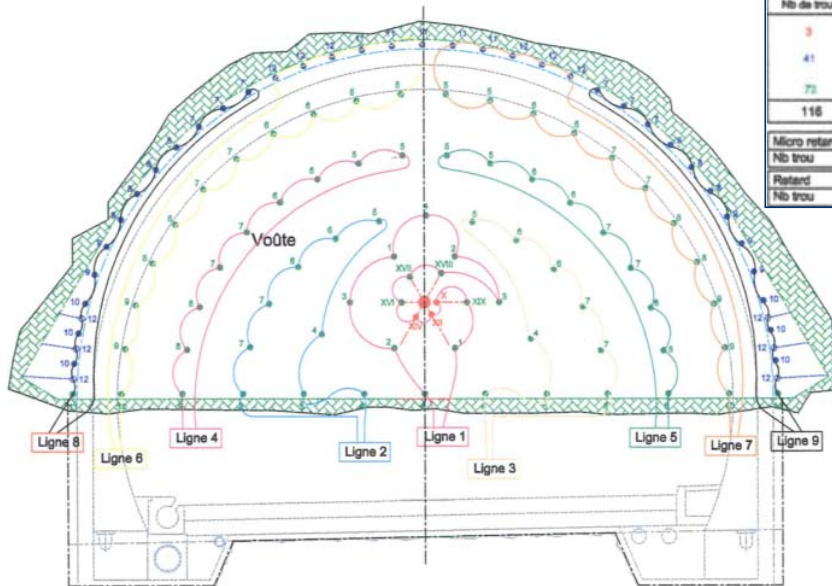
Cycle d'excavation :

- 1 Opération de Pilotage et Traçage du Plan de Tir
- 2 Mise en place du matériel de forage et Foration
- 4 Chargement de la volée. Connexions
- 5 Tir
- 6 Ventilation
- 7 Marinage (chargement et transports des déblais)
- 8 Purge
- 9 Soutènements (éventuels) de sécurité primaire

Techniques « Traditionnelles »

Excavation à l'Explosif

- Traçage du Plan de Tir



Nb de trous	Type	Dessin des Charges	Charge par Trou	Charge Totale	Cordeau 12g
3	BOUCHON	$\approx 600g/100gr$	0.600 Kg	1.800 Kg	
41	DECOUPAGE	$100g/20gr + 100g/10gr + 1m \text{ CORDEAU } 12g$	0.300 Kg	14.350Kg	41,00ml
73	ABATTAGE	$100g/20gr$	0.780 Kg	54.000 Kg	
116		+10 127 (non chargé)		70.150 Kg	

Micro retard	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX
No trou										1		1		1		1	1	1		7
Retard	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12								
No trou	2	2	2	6	12	12	18	16	12	8	7	12								109

Ordre de Tir

Perforation=	1.00 m.
Section=	56.10m ²
Volume=	56.10m ³
Rendement=	$\frac{70.150Kg}{56.10} = 1.25Kg/m^3$
Intervalle entre les lignes= 30 millisecondes.	
DYNAMITE:	EURDYN 2000
	Cartouche Ø30mm x 250gr
	Ø25mm x 100gr
C.DETONANT:	ECLAIR PLASTEX 12gr
DETONATEUR:	DAVEYDET HI

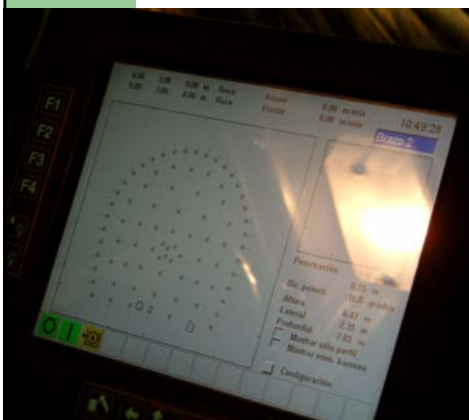
Exemple de Plan de Tir

Données du Tir

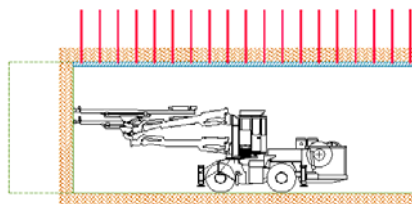
Techniques « Traditionnelles »

Excavation à l'Explosif

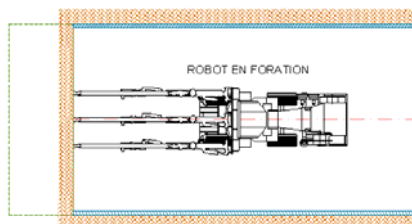
- Foration de la volée



Plan de Tir
Programmé



VUE EN PLAN



Principe de Foration

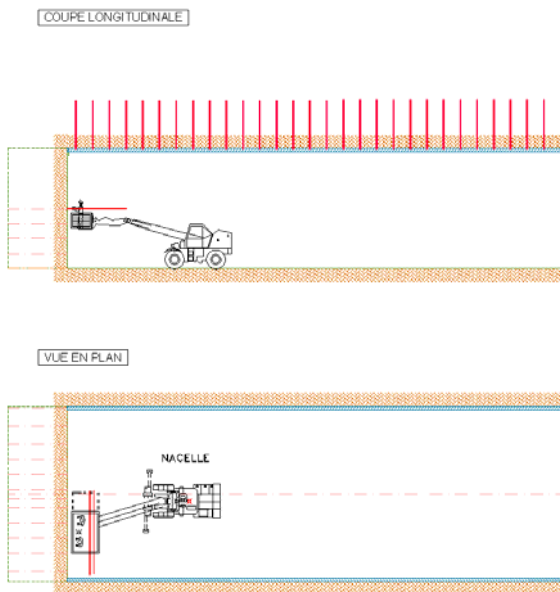


Jumbo de Foration à 3 Bras

Techniques « Traditionnelles »

Excavation à l'Explosif

- Chargement de la volée et Connexion



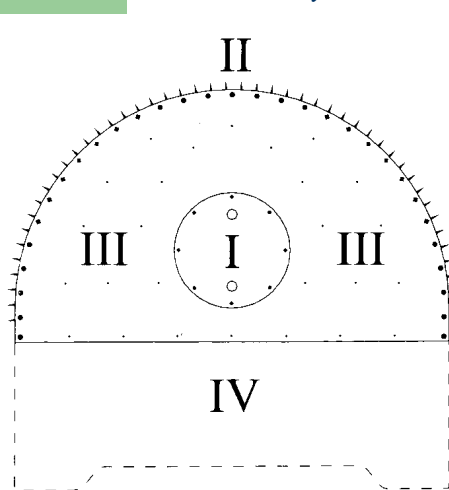
Principe de Chargement de la Volée

Nacelle Elévatrice

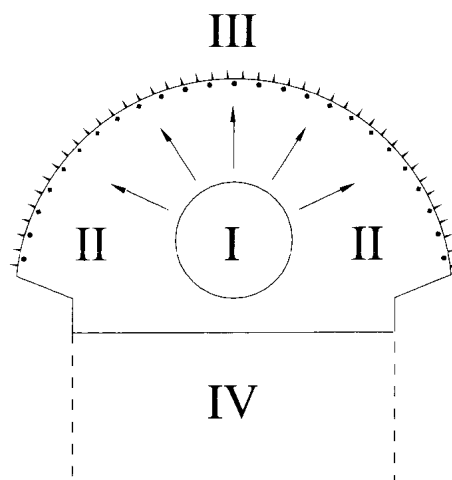
Techniques « Traditionnelles »

Excavation à l'Explosif

- Tir, exemple d'ordre de tir



Prédécoupage



Découpage soigné (postdécoupage)



Front après un tir

Techniques « Traditionnelles »

Excavation à l'Explosif

- Ventilation



Exemple d'un Système de Ventilation Soufflant et Aspirant

Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Excavation à l'Explosif

- **Marinage**

A Chargement au front :

- Chargeuse sur pneu
- Pelles Ordinaires
- Pelles Spéciales TS

B Transports :

- Tombereaux
- Locotracteurs + Wagons de marinage
- Convoyeurs à bande

C Vidange de berlines (pour les Wagons de marinage) :

- Basculement ou culbutage
- Fond Ouvrant

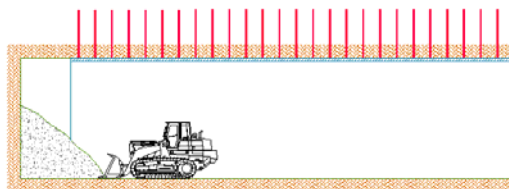


Techniques « Traditionnelles »

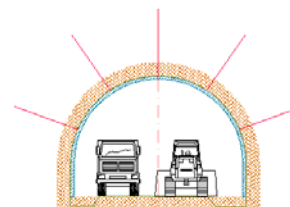
Excavation à l'Explosif

- Marinage par tombereau

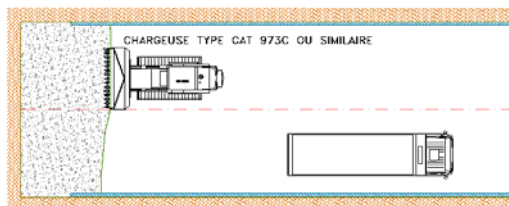
COUPE LONGITUDINALE



COUPE TRANSVERSALE



VUE EN PLAN



Exemple de Marinage

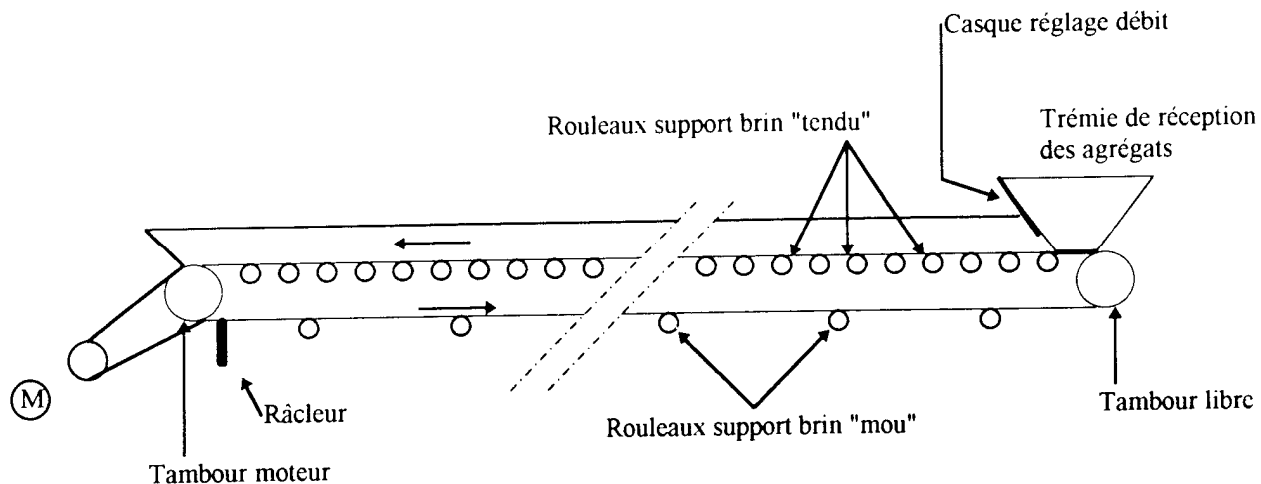
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Excavation à l'Explosif

- Marinage par convoyeur à bande



Coupe Longitudinale Schématique

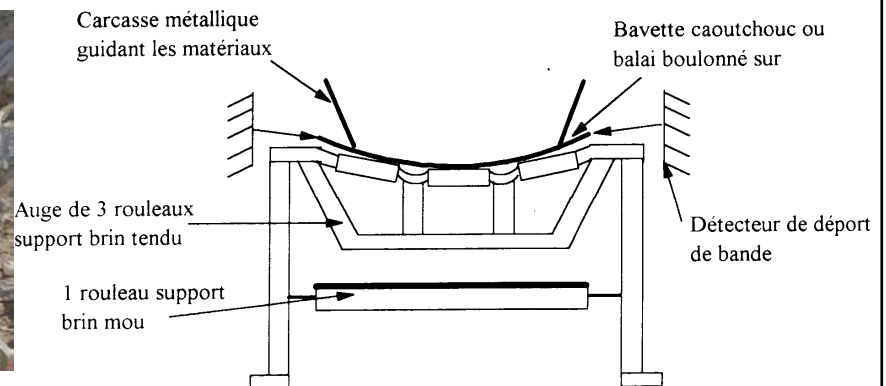
Techniques « Traditionnelles »

Excavation à l'Explosif

- Marinage par convoyeur à bande



Convoyeur du
Tunnel du Perthus



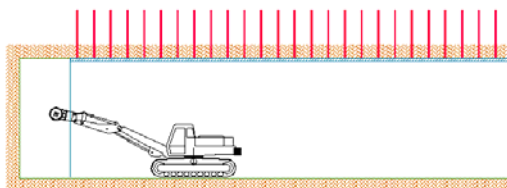
Coupe Transversale Schématique

Techniques « Traditionnelles »

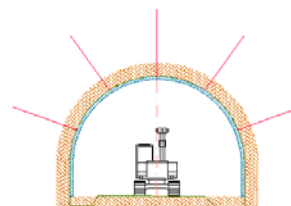
Excavation à l'Explosif

- Purge

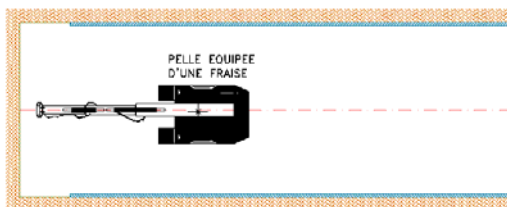
COUPE LONGITUDINALE



COUPE TRANSVERSALE



VUE EN PLAN



Principe de la Purge

Cours de Travaux Souterrains

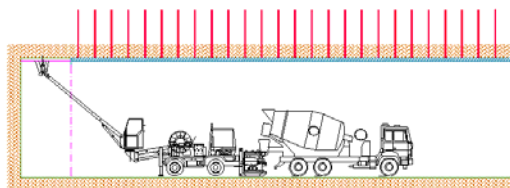
ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

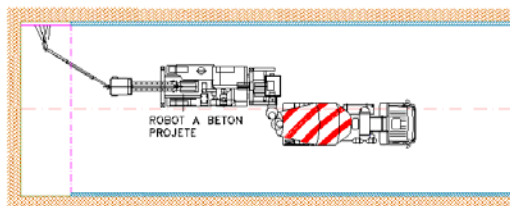
Excavation à l'Explosif

- Soutènement primaire

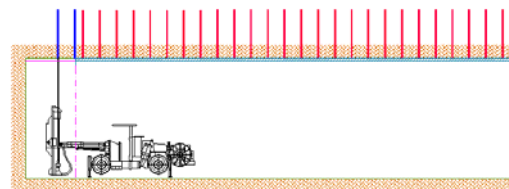
COUPE LONGITUDINALE



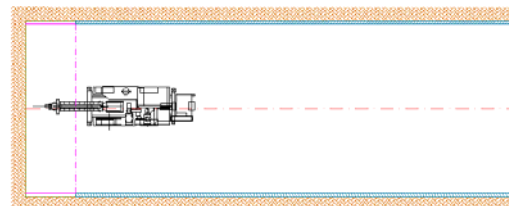
VUE EN PLAN



COUPE LONGITUDINALE



VUE EN PLAN



Principe de mise en place du soutènement (Béton Projeté et Boulonnage)

Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Excavation à l'Explosif

- Exemple de calcul de cycle
 - Section : 100 m²
 - Terrain : Calcaire dur
 - Nombre de trous : 120 u
 - Soutènements primaires : - 23 boulons swellex de 4 m au ml
- béton projeté fibré 2,6 m³ au ml
 - Moyens : Jumbo Robore 3 bras, jumbo boulonneur,
pelle hydraulique Brøyt x 42, dumpers 25 T.

Techniques « Traditionnelles »

Excavation à l'Explosif

- Exemple de calcul de cycle

Pour une volée pleine section de 4,80 m (foration 5 m) :

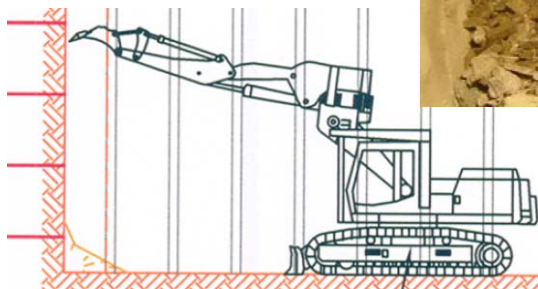
- Foration, y compris déplacements	3,1 h	26 %
- Chargement volée	1,3 h	11 %
- Tir, ventilation	0,5 h	4 %
- Purge	1,3 h	11 %
- Marinage	3,0 h	25 %
- Soutènements primaires	1,6 h	13 %
- Servitude et divers	1,2 h	10 %
	-----	-----
	12 h	100 %

d'où un avancement journalier de 9,6 m.

Techniques « Traditionnelles »

Technique d'Excavation

- Excavation à la Pelle Mécanique



Pelle Equipée d'un BRH ou d'un Godet d'Excavation

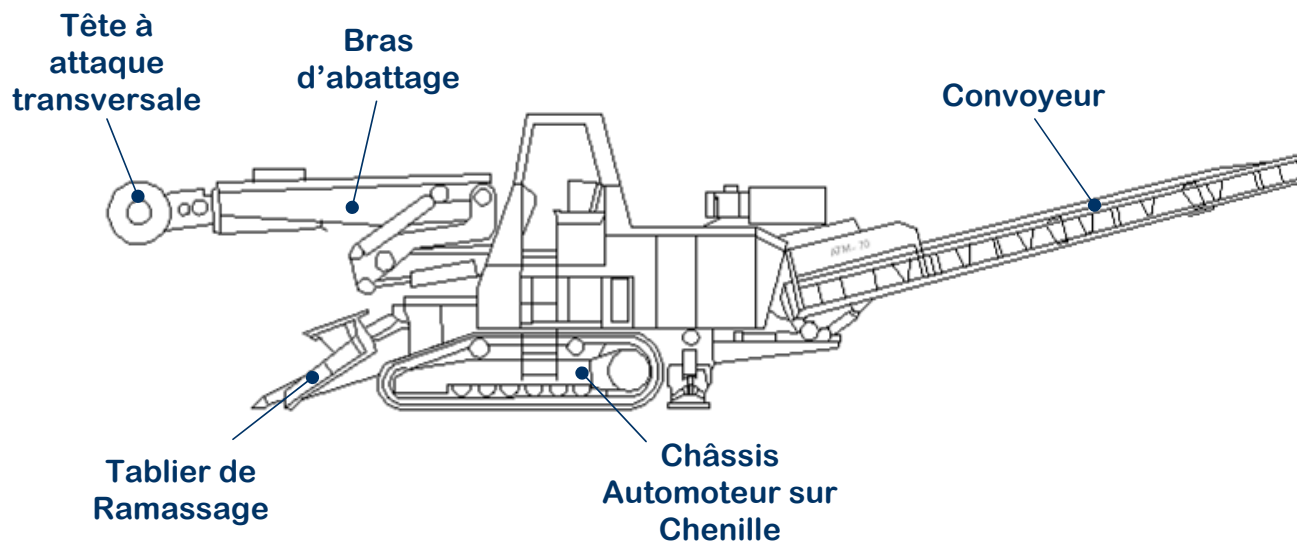
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Technique d'Excavation

- Excavation à la Machine à Attaque Ponctuelle



**Principales caractéristiques
des machines à attaques ponctuelles**

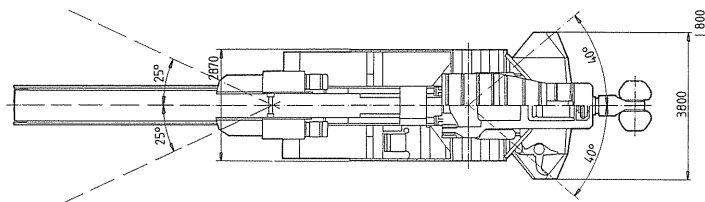
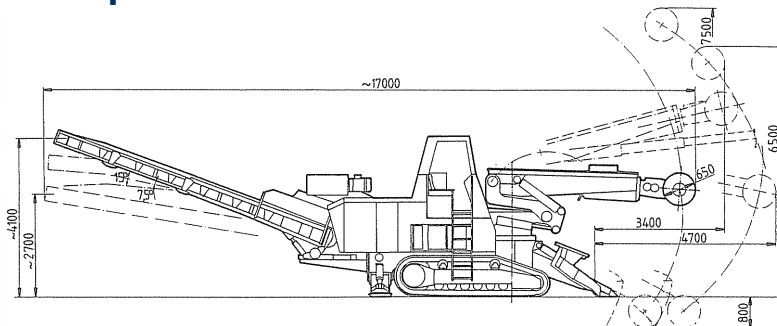
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Technique d'Excavation

- Excavation à la Machine à Attaque Ponctuelle



Machine à Bras d'Attaque Transversale

Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Technique d'Excavation

- Excavation à la Machine à Attaque Ponctuelle



Bras à Attaque Transversale

Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Technique d'Excavation

- Excavation à la Machine à Attaque Ponctuelle



Machine à Bras d'Attaque Radial

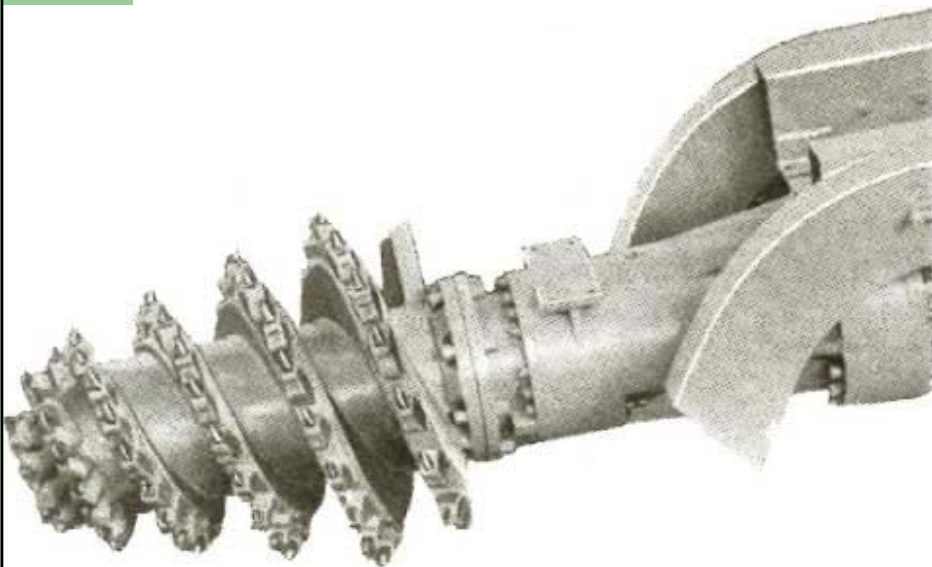
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Technique d'Excavation

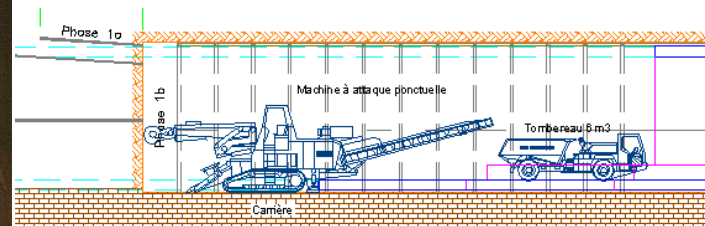
- Excavation à la Machine à Attaque Ponctuelle



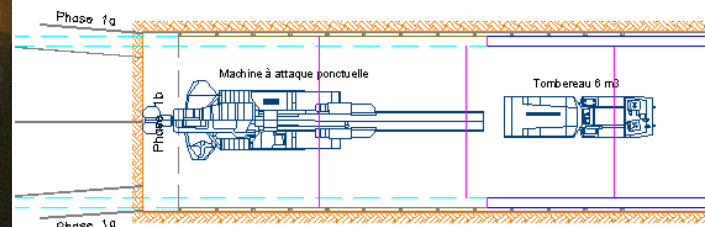
Techniques « Traditionnelles »

Technique d'Excavation

- Excavation à la Machine à Attaque Ponctuelle



Coupe Longitudinale



Vue en Plan

Exemple de Machines à attaques ponctuelles en excavation

Techniques « Traditionnelles »

Technique d'Excavation

- Excavation à la Machine à Attaque Ponctuelle



Niche Tunnel du Port de Dublin



Niche Tunnel SOCATOP



Pelle Brokk 50

Exemple des pelles Brokk télécommandées

Cours de Travaux Souterrains

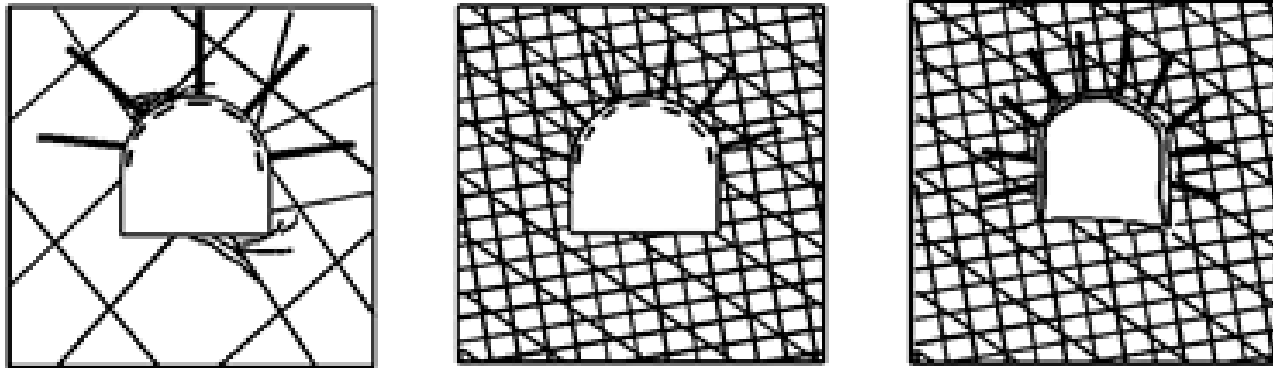
ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

- les Boulons

D'abord utilisés pour prévenir la chute de blocs en terrain rocheux :



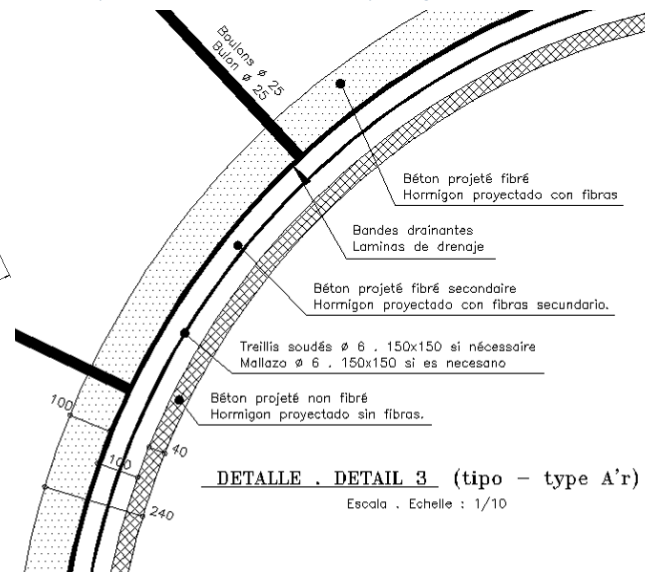
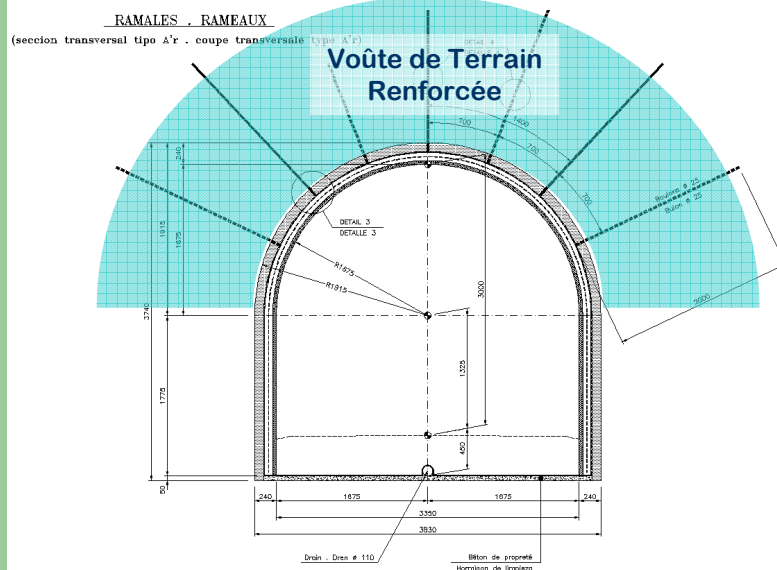
Exemple de Boulonnage en Terrain Rocheux Fracturé

Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

- les Boulons

....puis en tant que renforcement du terrain, couplés à du béton projeté :



Coupe et Détails du Soutènement des Rameaux type A'r du Tunnel du Perthus

Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

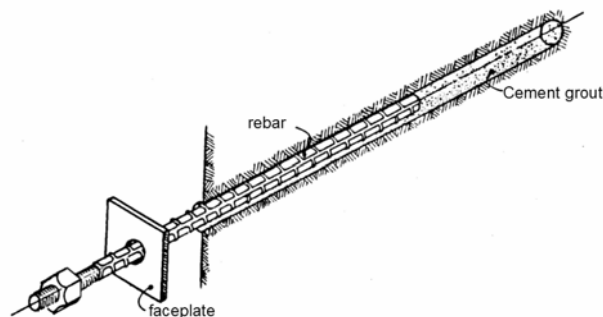
Soutènement radial

- Mécanisme d'ancrage par types de boulons

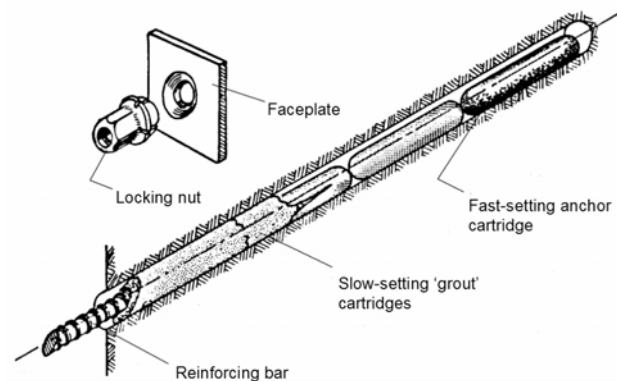
Par Adhérence

Ciment

Résine



Barre ou Tirant en Acier



Barre en Acier

Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

- Mécanisme d'ancrage par types de boulons

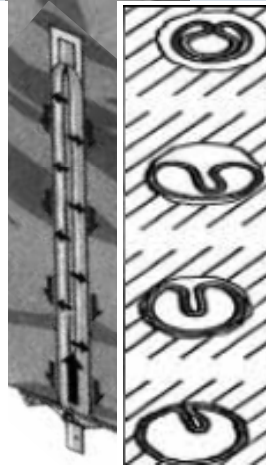
Par Frottement

Effort Faible

Par Extension

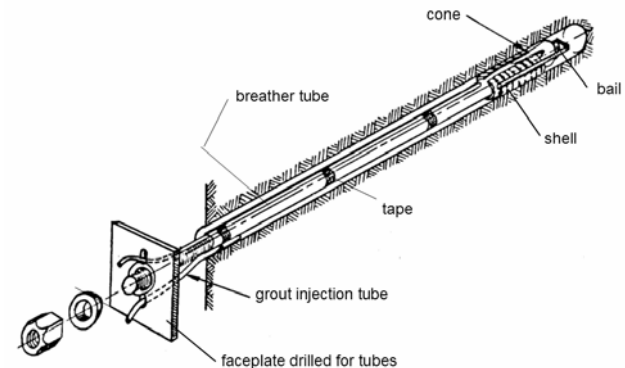


Split Set



Swellex

Effort Elevé



Ancrage Mécanique

ESTP - 2008/2009

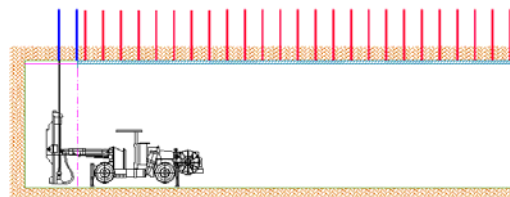
Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

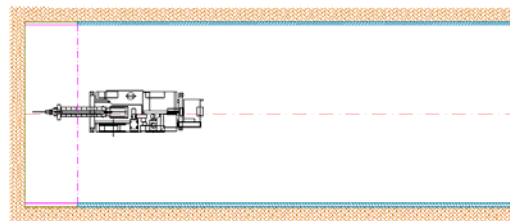
- les Boulons : Ils sont mis en place à l'aide d'un boulonneur



COUPE LONGITUDINALE



VUE EN PLAN



Boulonneur de Galerie
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

- le béton projeté

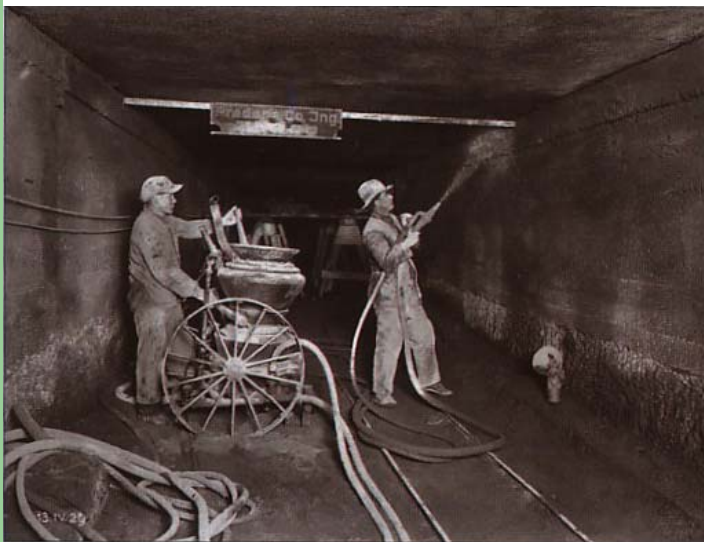


Figure 7 a - Travaux de gunitage, en 1928, dans le Post tunnel, à Zurich (photo D. Prader)

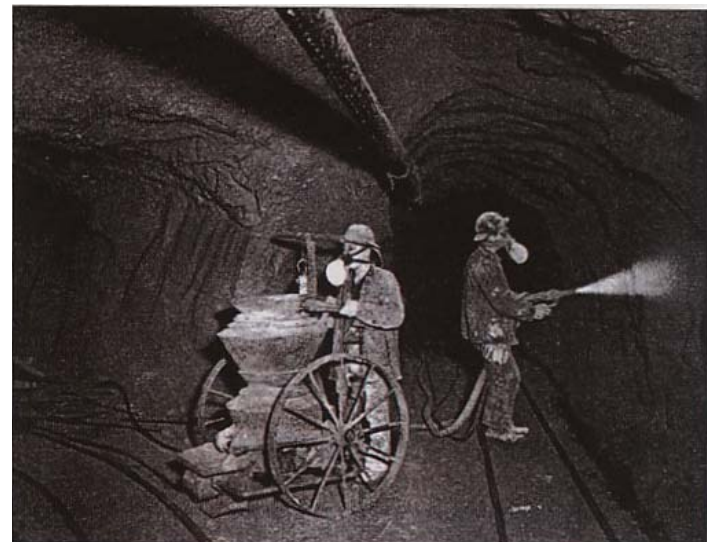


Figure 7b - Gunitage dans une galerie transversale du niveau 3.875 pieds dans la mine McIntyre, dans l'Ontario, au Canada (Keeley 1934)

Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

- le béton projeté

3 principaux modes de fonctionnement en soutènement:

- en couche protectrice du terrain
- en maintien du terrain entre boulons
- en coque de soutènement

+ : rôle de blindage entre cintre ou de revêtement définitif

Peu être renforcés de fibres ou de treillis soudé

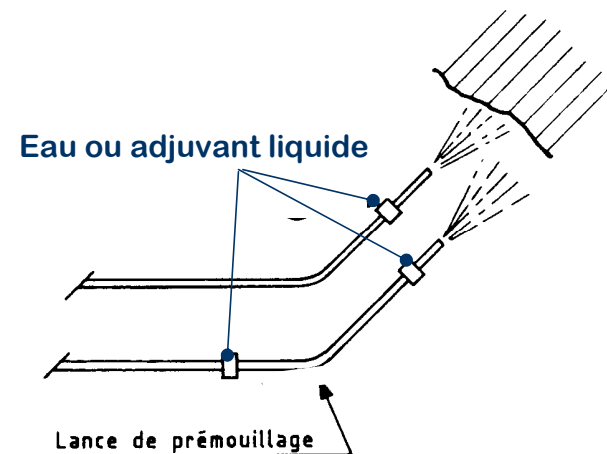
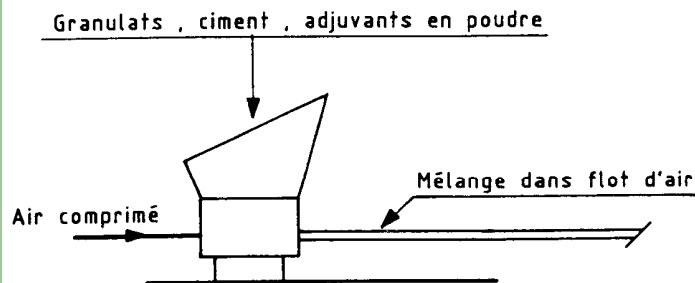


2 techniques par voie sèche et par voie humide

Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

- le béton projeté par voie sèche

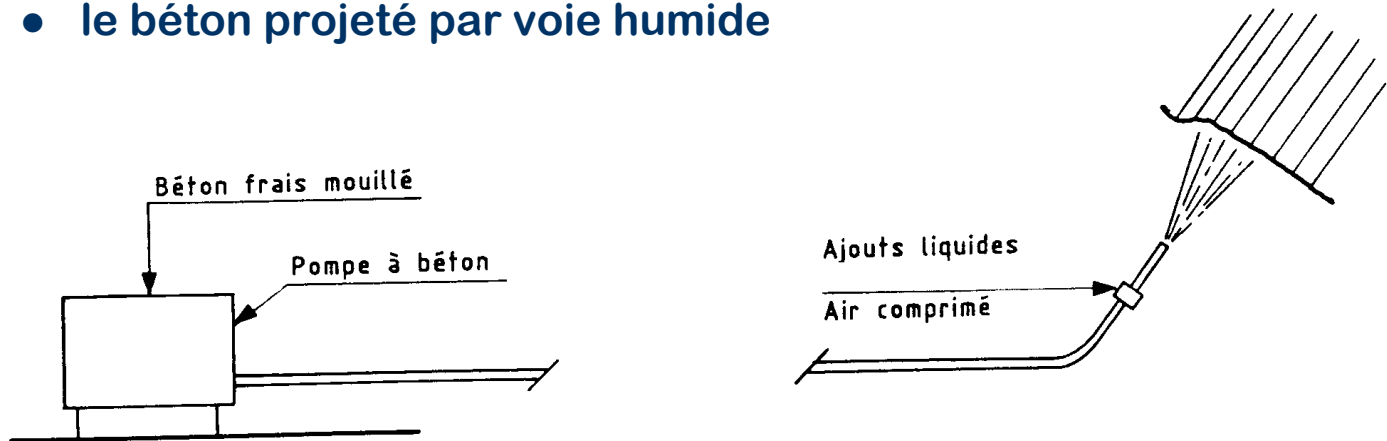


- granulats, ciment et adjuvants en poudre mélangés en centrale ou commercialisés en sacs
- Mélange pulsé dans des conduites à l'aide d'air comprimé
- Ajout d'eau (et d'adjuvant liquide) à la lance et ajustement des réglages par le projeteur en fonction du terrain et de l'épaisseur à mettre en œuvre

Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

- le béton projeté par voie humide



- Le béton gâché de manière traditionnelle
- Le béton est ensuite pompé jusqu'à la lance
- L'air comprimé et les adjuvants liquides sont introduits à la lance
- La consistance du béton doit être adaptée au moment de la fabrication

Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

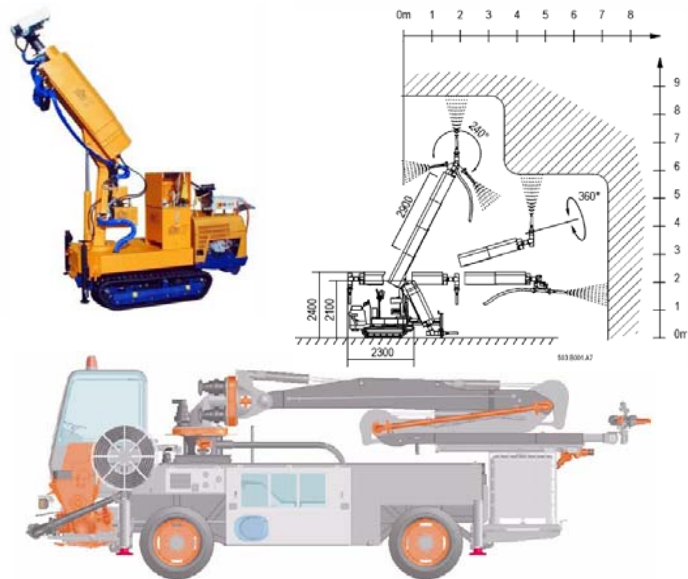
- le béton projeté

	Voie sèche	Voie mouillée
AVANTAGES	- Disponibilité pour les soutènements immédiats - Meilleure adhérence au support - Très bon rapport dosage en ciment-résistance - Adaptation à tous supports en modifiant l'humidification	- Mise en oeuvre relativement facile - Moins de pertes qu'en voie sèche - Rendement un peu supérieur à la voie sèche (machine + projecteur)
INCONVENIENTS	- Nécessité d'un personnel très qualifié - Dégagement de poussière important - Ségrégation du mélange sec lors du transport - Pertes par rebonds importantes	- Difficulté à utiliser en soutènement immédiat - La consistance du béton n'est pas forcément adaptée au support à traiter - Il faut souvent recourir à des accélérateurs de prise - Pour un même dosage en ciment que la voie sèche, les résistances sont moins élevées

Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

- Mise en place du Béton Projeté



Exemple de Robot de Projection de Béton

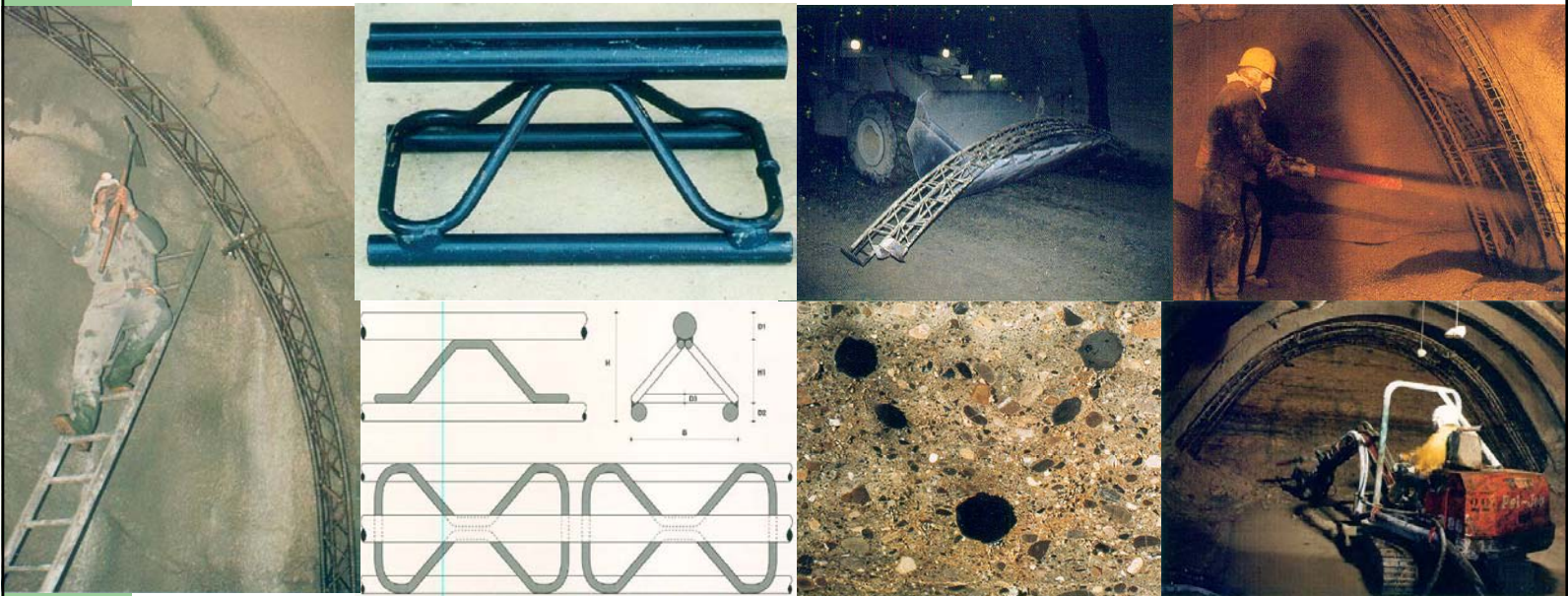
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

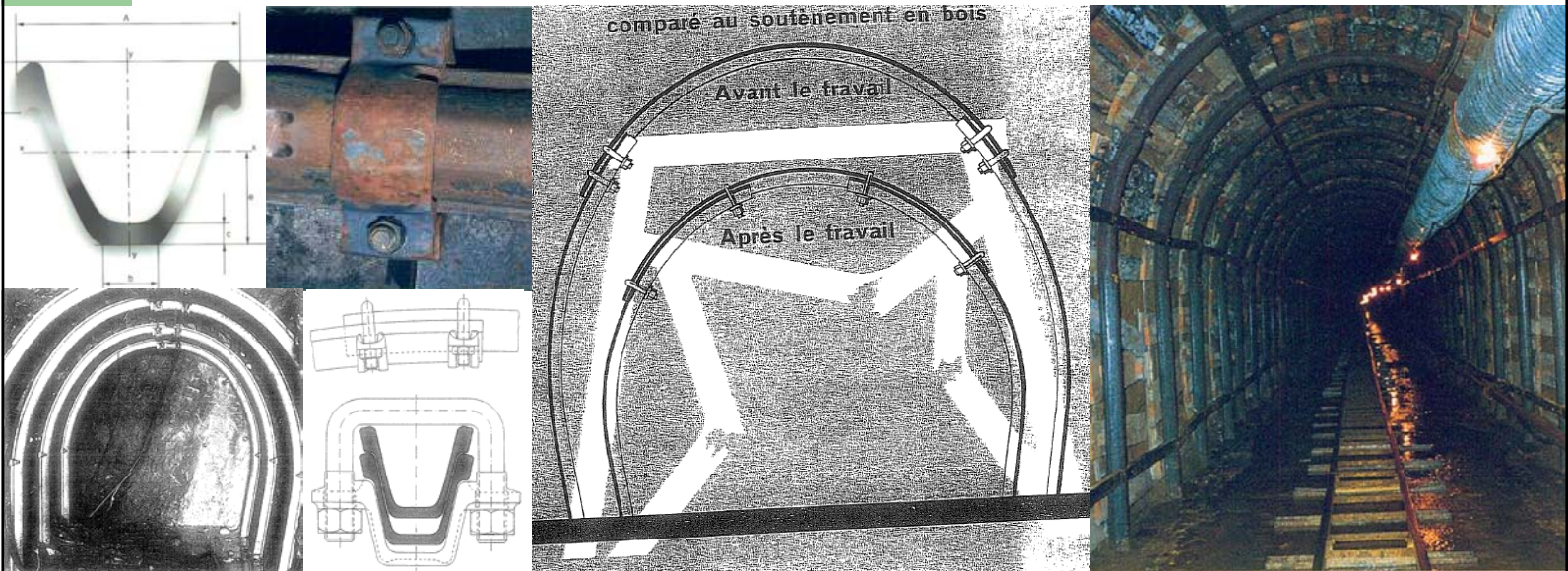
- les cintres métalliques
 - Les cintres réticulés (ne fonctionne que noyés dans du béton projeté)



Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

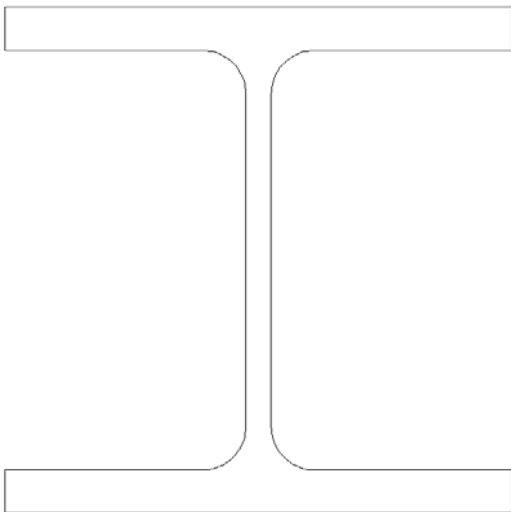
- les cintres métalliques
- Les cintres TH (ou Oméga) (qui ont la possibilité de coulisser)



Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

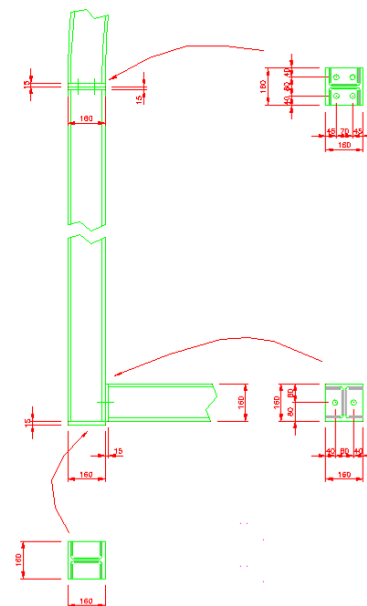
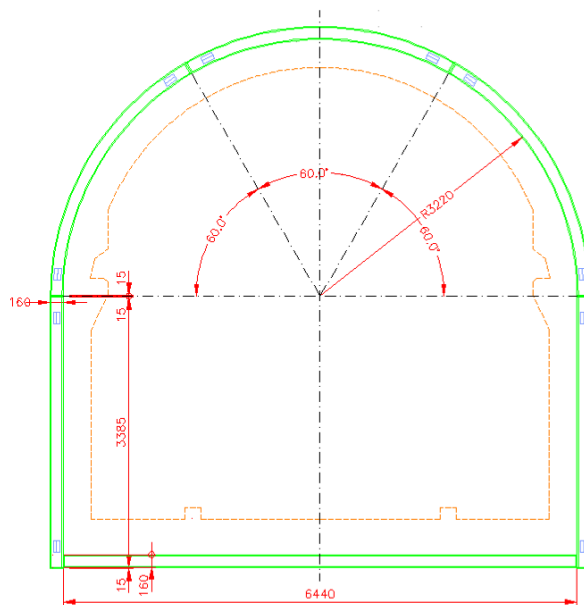
- les cintres métalliques
- Les cintres lourd type HEB



Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

- Profil en cintres métalliques lourds HEB



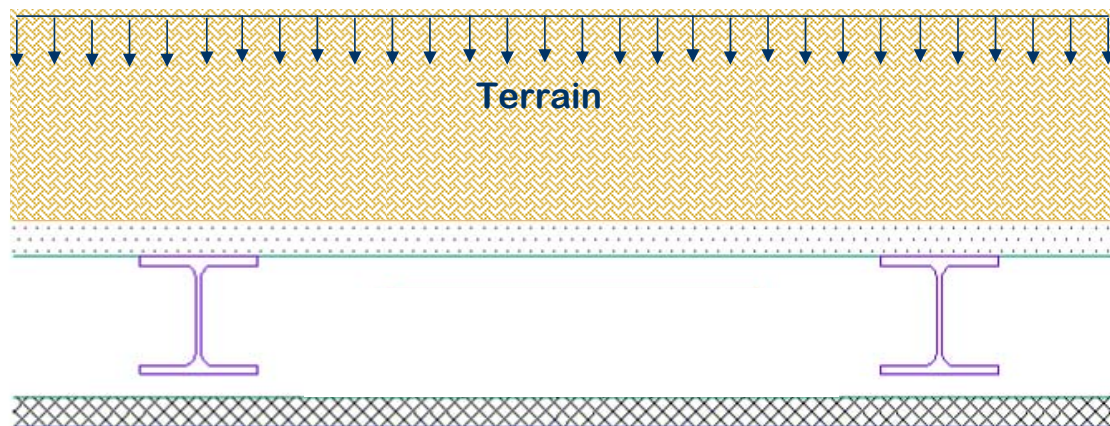
Exemple de profil excavé en pleine section (coupe et détails)
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

- Entre les cintres, on dispose un blindage pour retenir les terres :

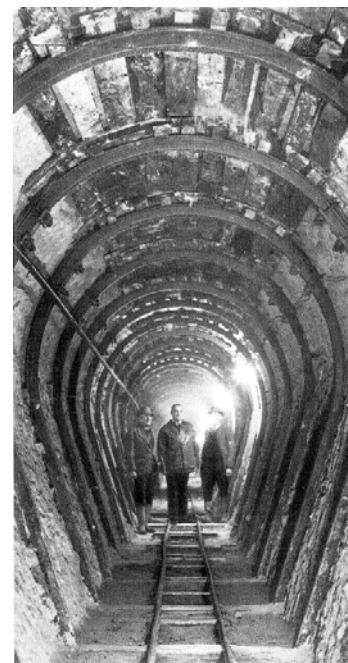


Ce blindage peut être réalisé :

Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

- Blindage en bois:



Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

- Blindage en tôles



Techniques « Traditionnelles »

Soutènement radial

- **Blindage en béton projeté**

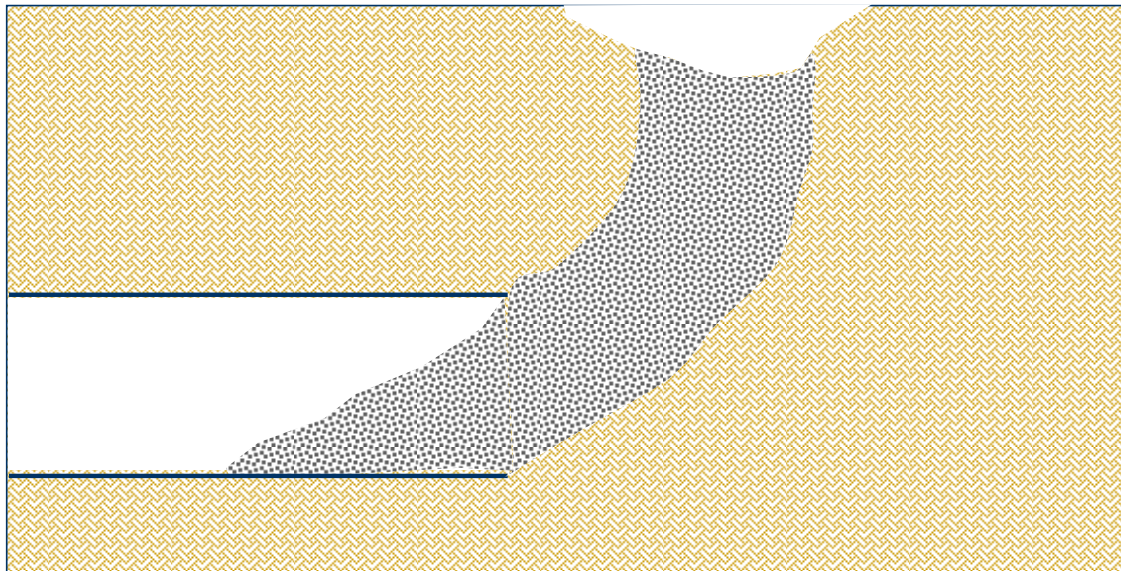
(avec des fibres,
du treillis soudé ou
en voutelettes) :



Techniques « Traditionnelles »

Soutènement du Front de Taille

- Le soutènement du Front de Taille, pourquoi ?

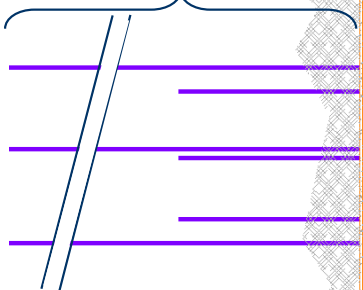


Si le terrain est mauvais, risque de non stabilité du front
conduisant à un effondrement pouvant aboutir à un fontis en surface

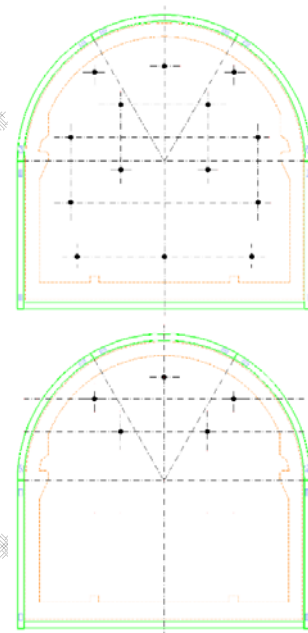
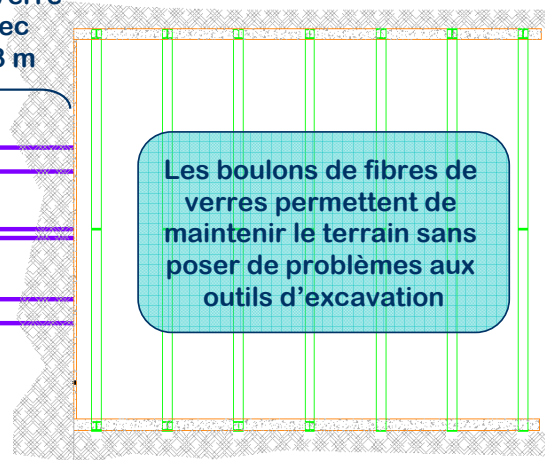
Techniques « Traditionnelles »

Soutènement du Front de Taille

Boulons en Fibre de Verre
de 15 m de long avec
recouvrement sur 3 m



Les boulons de fibres de
verres permettent de
maintenir le terrain sans
poser de problèmes aux
outils d'excavation



14 Boulons coté
Tête Alsace

Répartition en
Fonction de la
Qualité du Terrain

5 Boulons coté
Tête Vosges

Boulons en Fibres de Verre au front de taille
de la Galerie de Sécurité du Tunnel Maurice Lemaire

Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Soutènement du Front de Taille



Front du Tunnel de Tartaiguille
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Soutènement du Front de Taille

- Boulons en Fibre de Verre



Echantillon de Boulons MINOVA

Cours de Travaux Souterrains



Echantillon de Boulons DURGLASS

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Soutènement du Front de Taille

- Boulons en Fibre de Verre

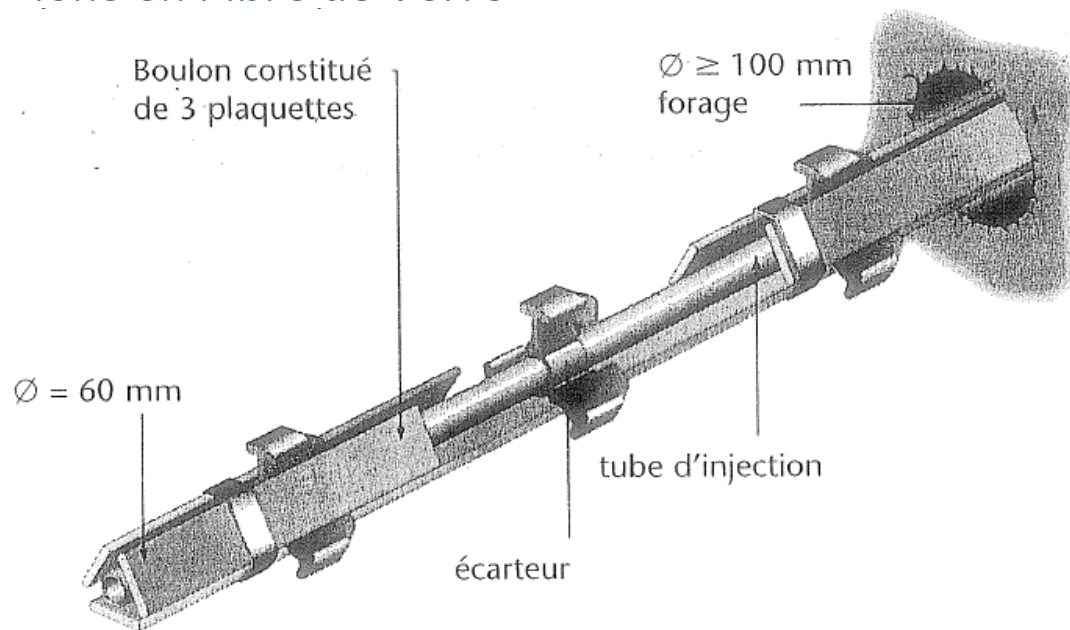


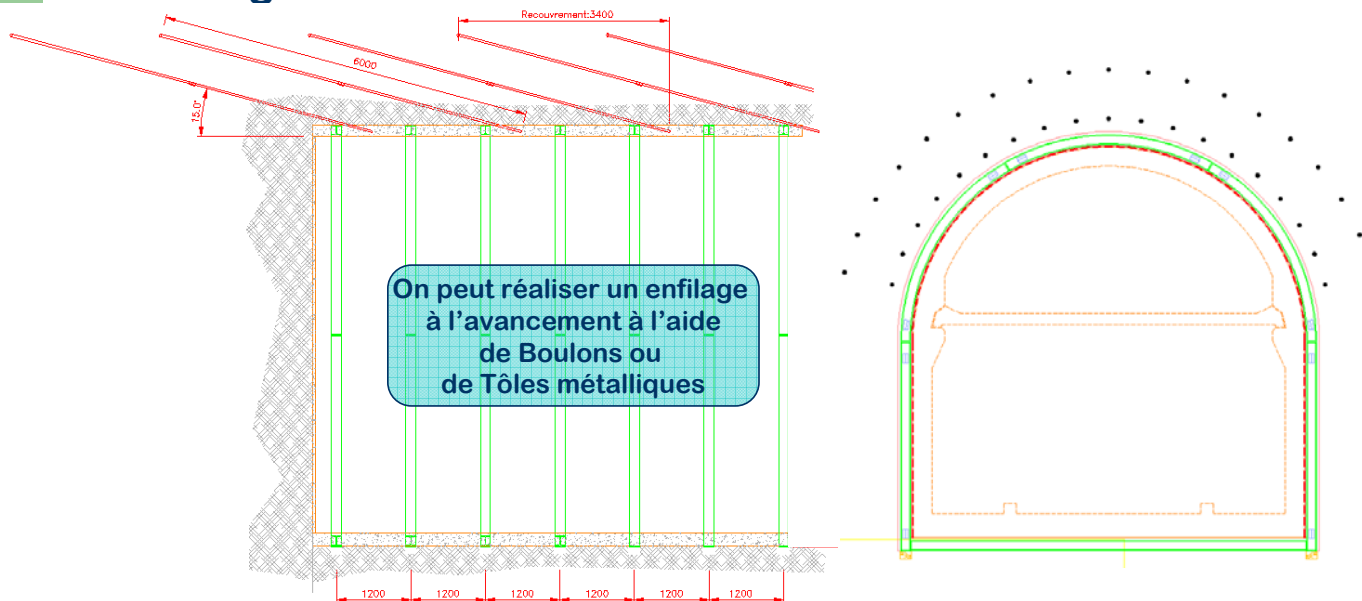
Schéma Boulons « tri-plaquettes »
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Pré-Soutènement

- Enfilage de Boulons ou de Tôles



**Boulons auto-forer disposé en enfilage à l'avancement
de la Galerie de Sécurité du Tunnel Maurice Lemaire**
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Pré-Soutènement

- Enfilage de Boulons ou de Tôles



Exemple de Détails d'Enfilage
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Pré-Soutènement

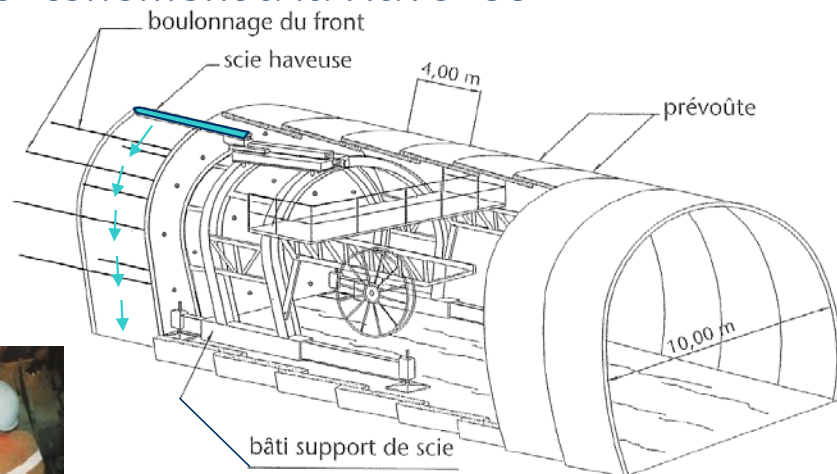
- Pré-découpage et Pré-soutènement à la Haveuse



Haveuse



Chaîne de Haveuse

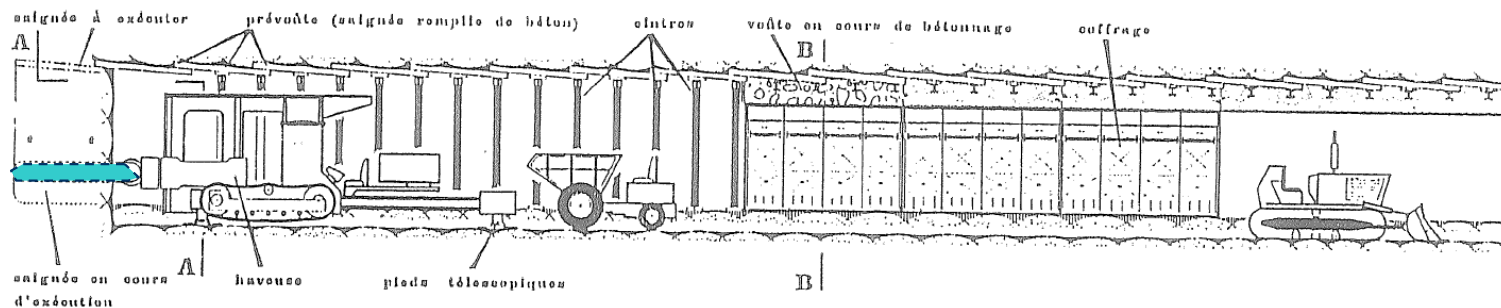


Principe du Pré-découpage / Pré-soutènement

Techniques « Traditionnelles »

Pré-Soutènement

- Pré-découpage et Pré-soutènement à la Haveuse

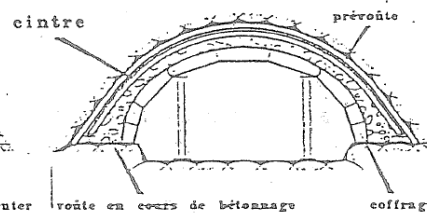
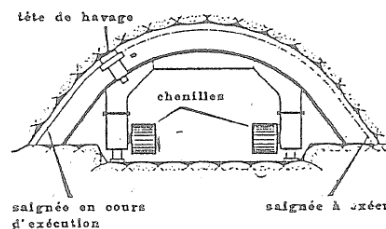


Coupe A-A

Coupe B-B

saignée

voûte



Phasage de Réalisation d'une excavation à la Haveuse

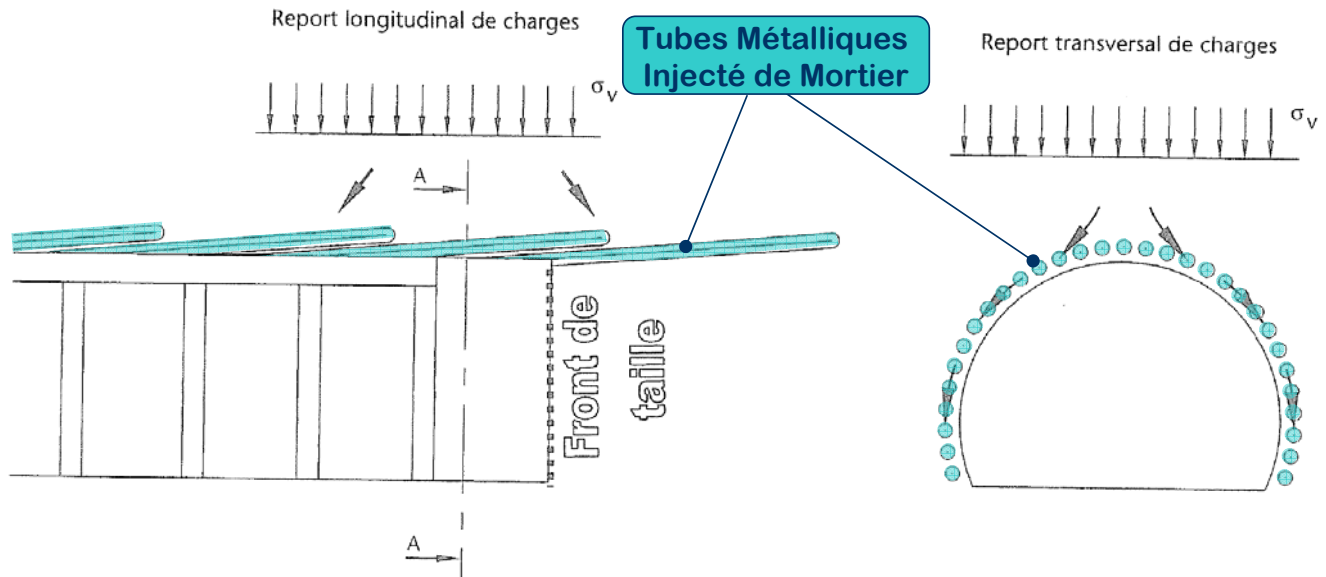
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Pré-Soutènement

- Voûte Parapluie Schéma de Principe



Coupe Longitudinale : les tubes fonctionnent en poutres portant entre le terrain et le soutènement

Coupe Transversale : les tubes « participe » à l'effet de voûte

Techniques « Traditionnelles »

Pré-Soutènement

- Voûte Parapluie



← Implantation

→ Forage



← 1ère Voûte

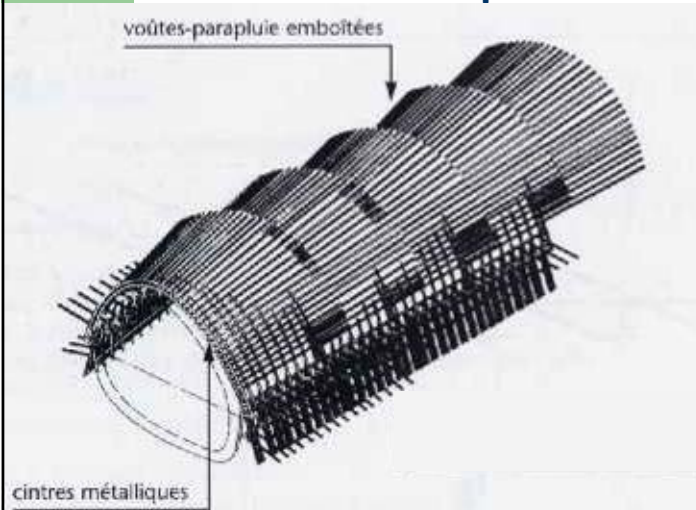
→ 2ème Voûte



Techniques « Traditionnelles »

Pré-Soutènement

- Voûtes Parapluies successives



Principe de Voutes
Parapluies Successives

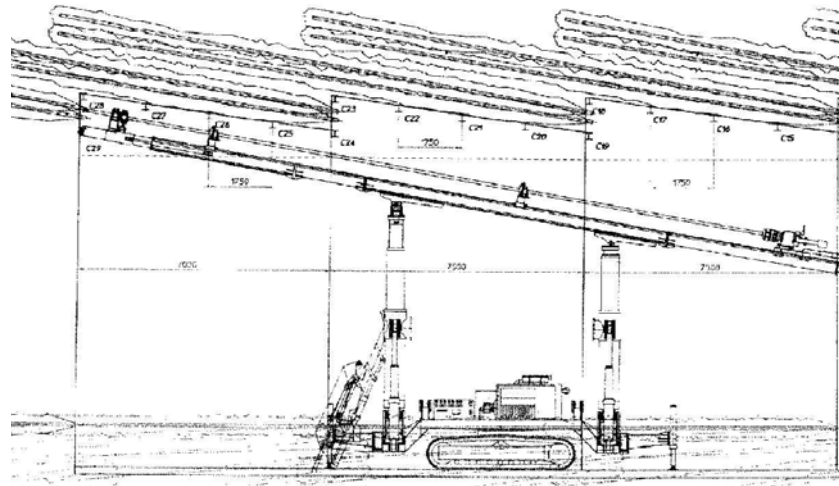
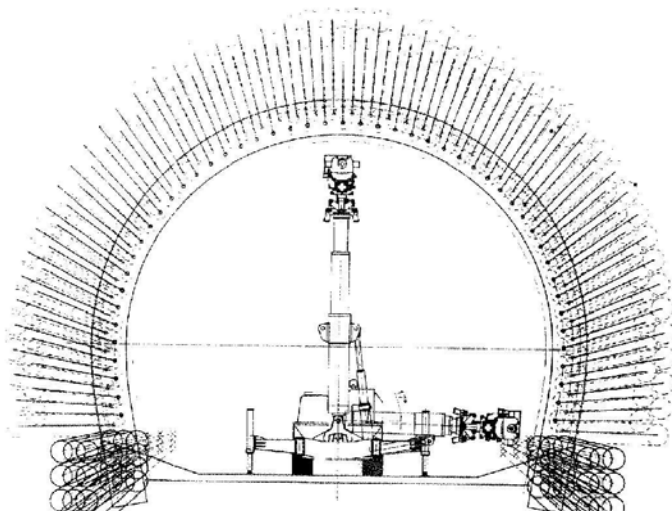


Voûtes Parapluies du Tunnel Maurice Lemaire

Techniques « Traditionnelles »

Pré-Soutènement

- Voûte Parapluie en Jet Grouting

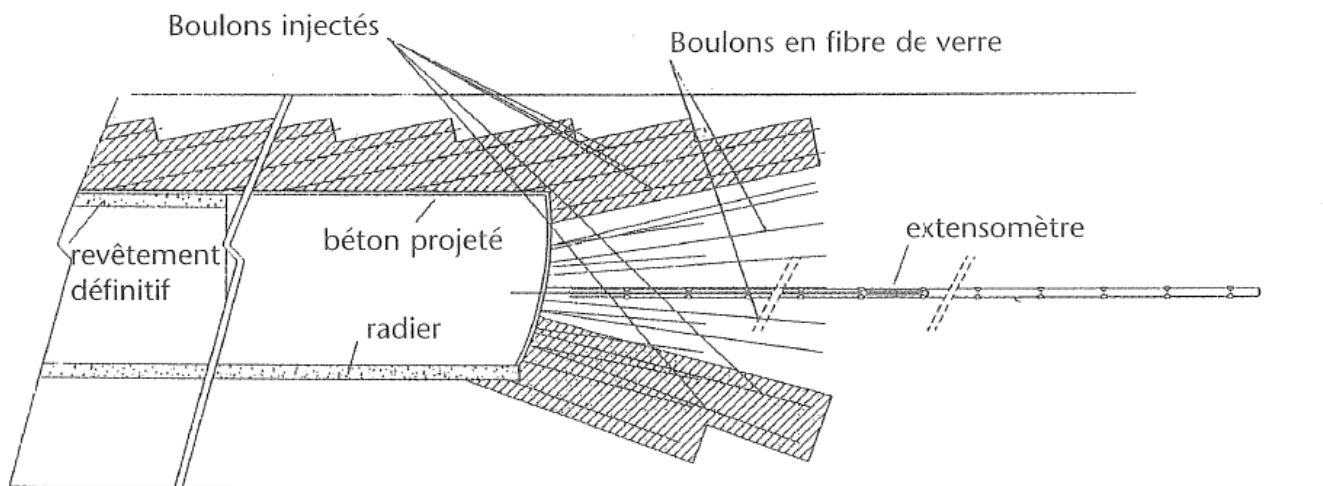


Principe de Réalisation de Voûtes Parapluies en Jet Grouting

Techniques « Traditionnelles »

Pré-Soutènement

- Anneau de Terrain Renforcé



Anneau renforcé (d'après P. LUNARDI)

Techniques « Traditionnelles »

Soutènement du Front et Pré-Soutènement

• Bilan de ces Techniques

<i>Procédés</i>	<i>Domaine d'utilisation</i>	<i>Faisabilité</i>	<i>Souplesse d'utilisation</i>	<i>Facilité d'exécution</i>	<i>Cadence de travail</i>	<i>Contrôle</i>	<i>Pérennité</i>
Renforcement du front par boulonnage	terrains variés	élevée	élevée (souvent associé à d'autres procédés)	grande	moyenne à élevée (en alternance avec l'excavation)	possible	intervention temporaire
Prévoûte réalisée par prédécoupage	terrains tendres avec cohésion	moyenne à élevée (tenue de la saignée à vérifier)	faible (machine prédéterminée)	moyenne à difficile	moyenne (en alternance avec l'excavation)	possible	grande
Voûte parapluie	sols variés, terrains hétérogènes	moyenne à élevée (appui des cintres à vérifier)	élevée	moyenne à grande	moyenne à élevée (en alternance avec l'excavation)	possible	mal connue (corrosion, évolution du terrain)
Voûtes en jet-grouting	sols variés (difficile si blocs ou argile)	moyenne (résultat pas toujours facile à prévoir)	moyenne à élevée (possibilité de renforcement des colonnes)	moyenne à difficile	moyenne (en alternance avec l'excavation)	difficile	grande
Anneau de terrain renforcé (boulonnage, injections)	terrains variés	élevée	élevée	grande	faible si mise en œuvre à l'avancement (sans galerie pilote)	possible	mal connue

Techniques « Traditionnelles »

Revêtement Définitif

- Rôle :
 - Assurer la tenue du tunnel à long terme
 - Assurer la résistance au pression hydrostatique
 - Assurer la protection de l'étanchéité
 - Assurer la protection du système de drainage
 - Assurer le passage des réseaux
 - Assurer le confort en service

Techniques « Traditionnelles »

Revêtement Définitif

- Tunnel non revêtu



Tunnel des Aravis

Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

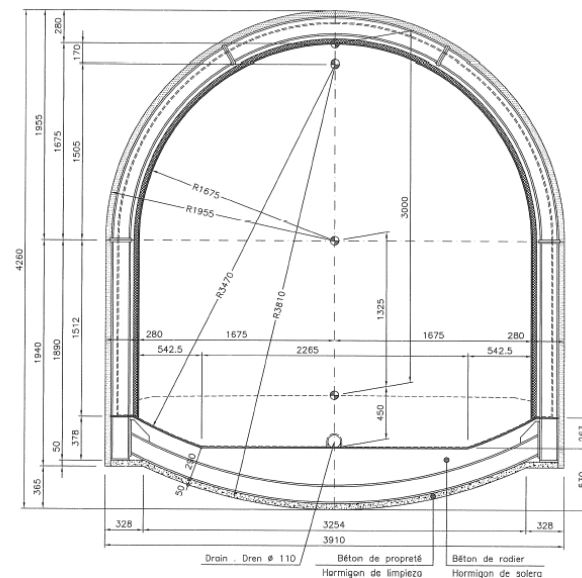
Techniques « Traditionnelles »

Revêtement Définitif

- En béton projeté de finition



Tunnel de Sisteron



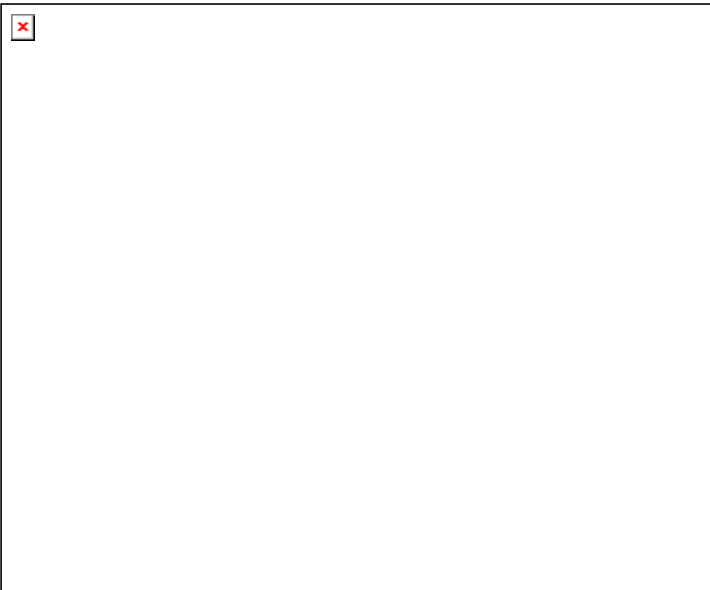
Rameaux de Sécurité Type Cr
du Tunnel du Perthus

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Revêtement Définitif

- Béton coulé en place (armé ou non) nécessite un coffrage



Techniques « Traditionnelles »

Revêtement Définitif

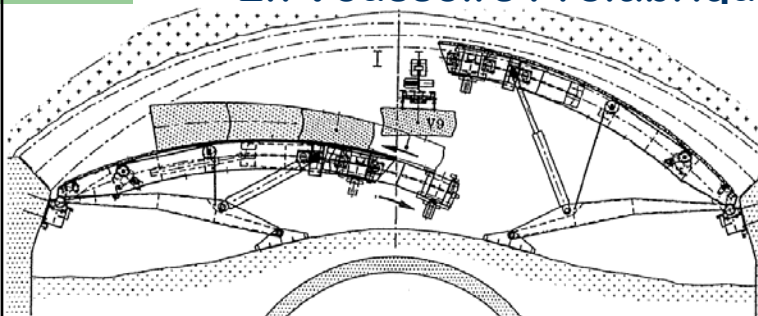
- Béton coulé en place (armé ou non)
nécessité d'un coffrage télescopique (piédroits rétractables) :



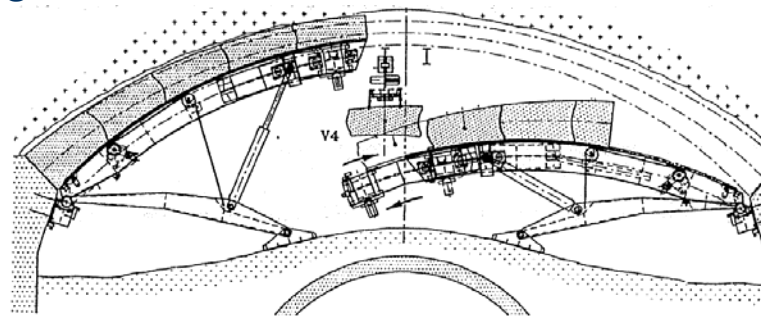
Techniques « Traditionnelles »

Revêtement Définitif

- En Voussoirs Préfabriqués

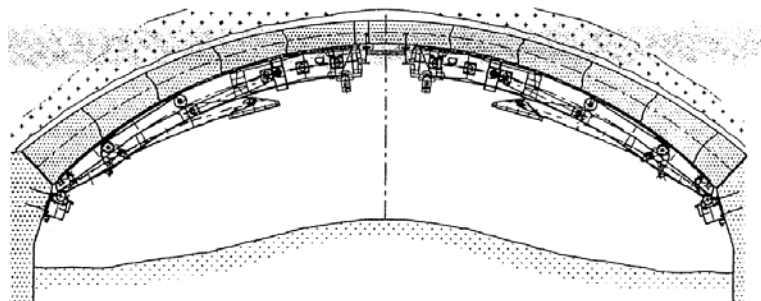


▲ ① Chargement du premier demi-arc



▲ ② Chargement du second demi-arc

Exemple de pose de revêtement
avec la machine COURTOIS

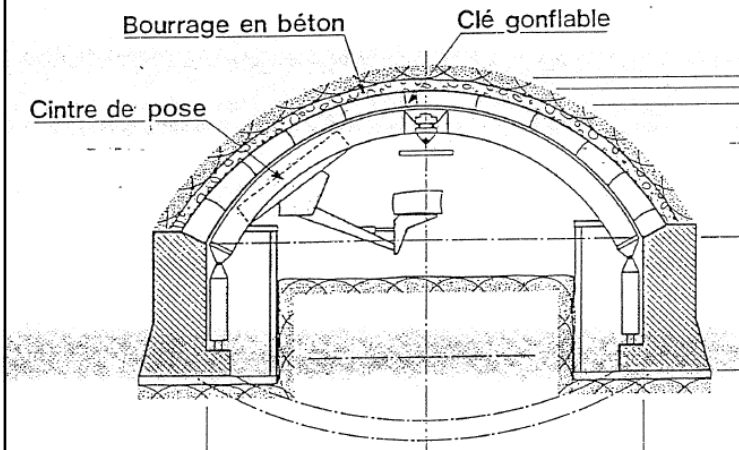


▲ ③ Mise en place de la clé et clavage de l'anneau

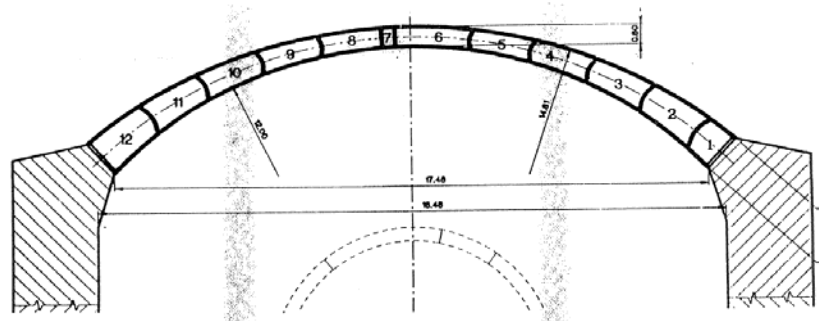
Techniques « Traditionnelles »

Revêtement Définitif

- En Voussoirs Préfabriqués



Exemple de revêtement réalisé avec recompression du voussoirs de clef



Station Chatelet
Exemple de revêtement réalisé par voûte active (JACOBSON)

Techniques « Traditionnelles »

Excavation en Section Divisée

- Principe de l'Excavation en Section Divisée
Réaliser plusieurs petites galeries au lieu d'une grande

Avantages :

- Limiter la hauteur de l'excavation
- Excaver dans des terrains de mauvaise qualité (voûte d'ouverture moins grande et stabilité du front facilité)
- Limiter les déplacements en surface (pas toujours vrai)

Limites :

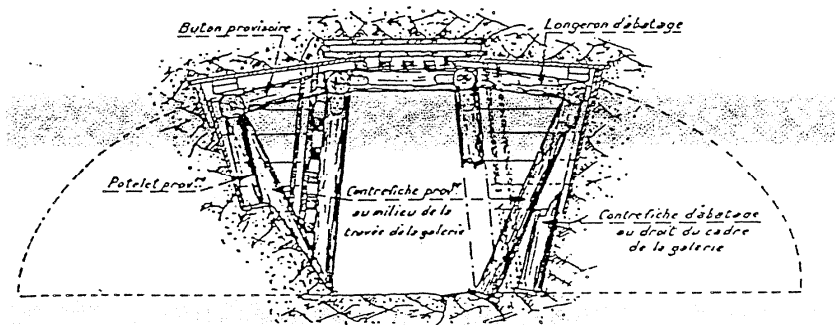
- N'est possible que pour des excavations en méthode traditionnelle (machine à attaque ponctuelle ou explosif)
- Ralenti et complique l'excavation
- Nécessite une grande quantité de soutènements

Techniques « Traditionnelles »

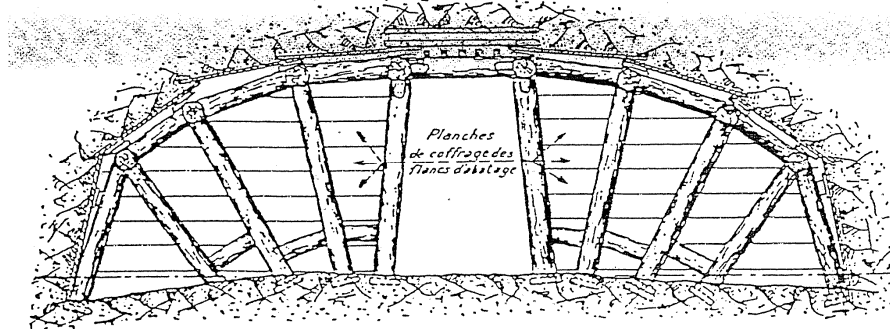
Technique d'Excavation : Section Divisée

- Techniques de l'Abattage

Galerie
de Faîte



Abatages
Latéraux



Techniques « Traditionnelles »

Technique d'Excavation : Section Divisée

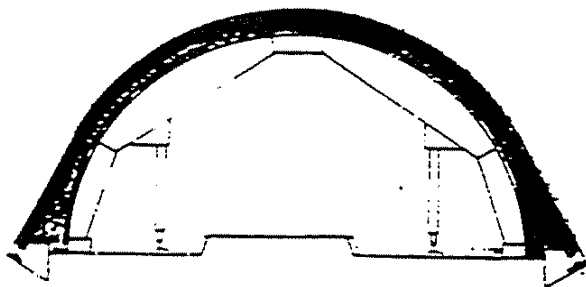


Excavation du Tunnel Maurice Lemaire (1934)
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Excavation en Section Divisée



Bétonnage de la voûte



Réalisation de la voûte du
Tunnel Maurice Lemaire (1934)

Techniques « Traditionnelles »

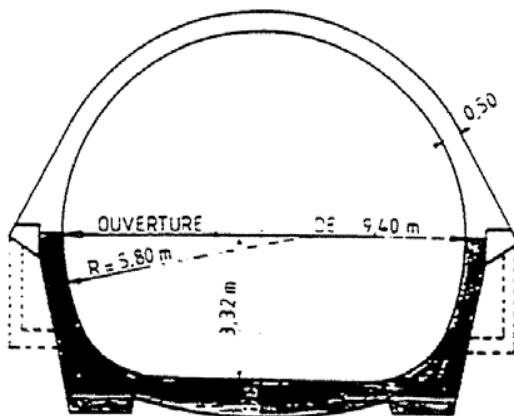
Excavation en Section Divisée



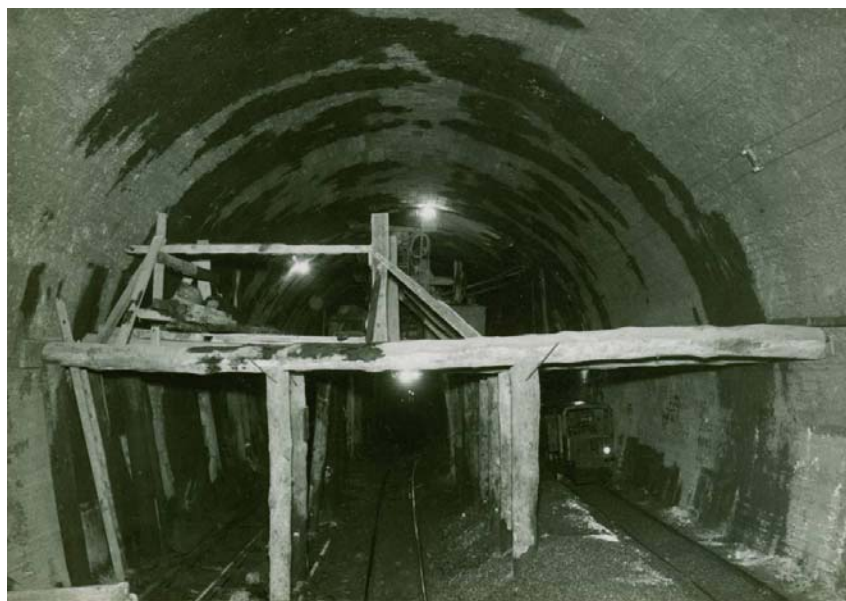
Terrassement du Stross Tunnel Maurice Lemaire (1934)

Techniques « Traditionnelles »

Excavation en Section Divisée



Bétonnage piédroits et radier

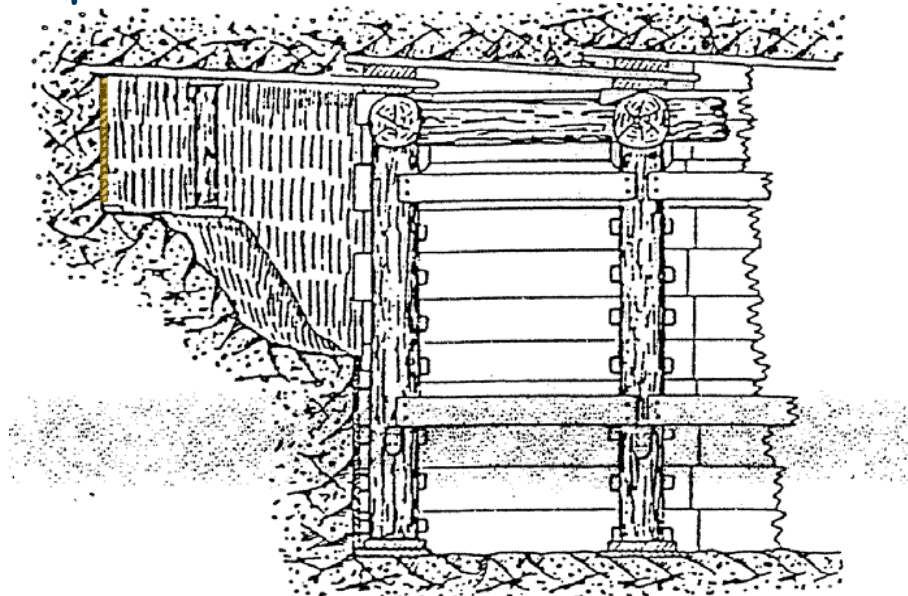


Bétonnage des Piédroits du
Tunnel Maurice Lemaire (1934)

Techniques « Traditionnelles »

Excavation en Section Divisée

- Techniques de Section Boisée en mauvais terrain



Phase 1 : Excavation en calotte avec blindage
du front en planches

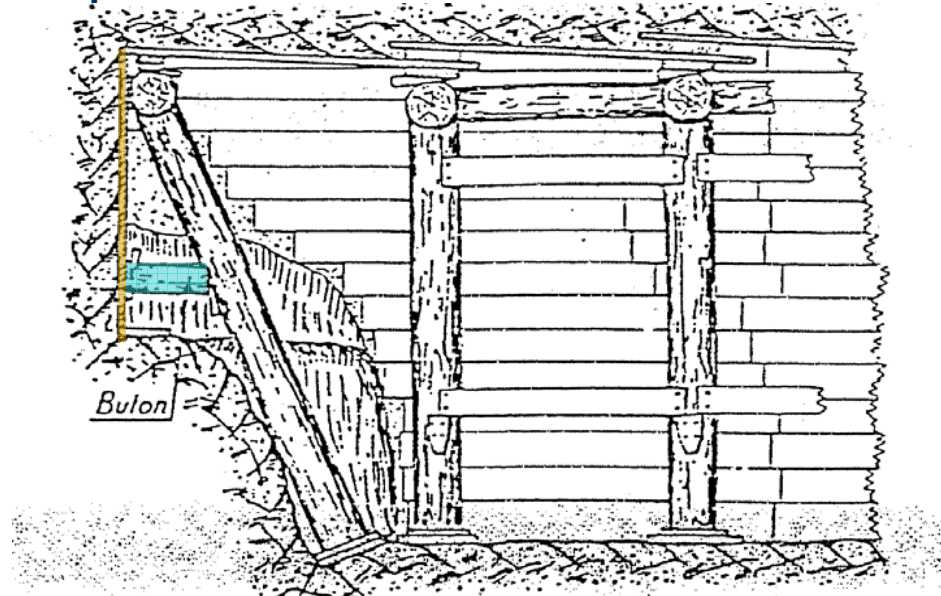
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Excavation en Section Divisée

- Techniques de Section Boisée en mauvais terrain

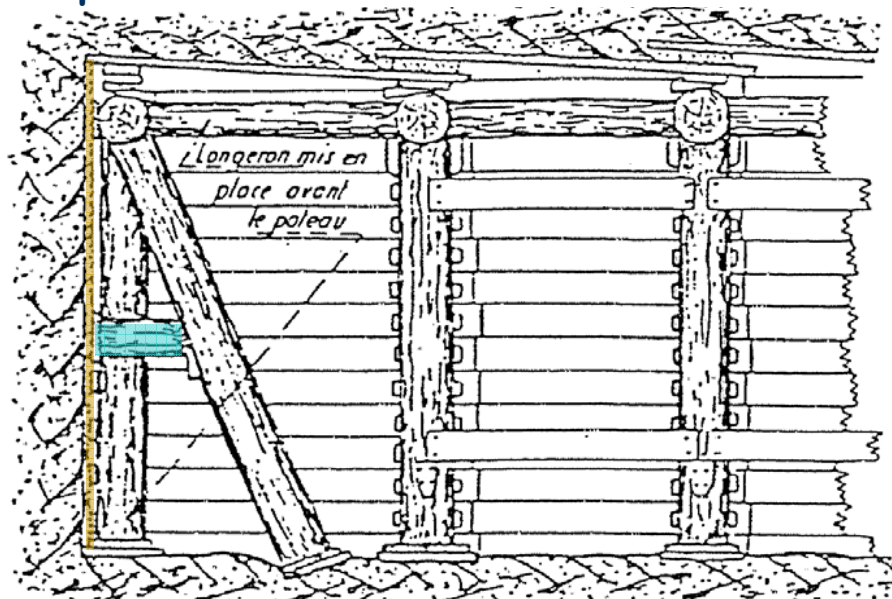


Phase 2 : Excavation demi-section supérieure avec blindage
du front en planches maintenues par un Bulon

Techniques « Traditionnelles »

Excavation en Section Divisée

- Techniques de Section Boisée en mauvais terrain



Phase 3 : Excavation demi-section supérieure avec blindage du front en planches maintenues par un Buton

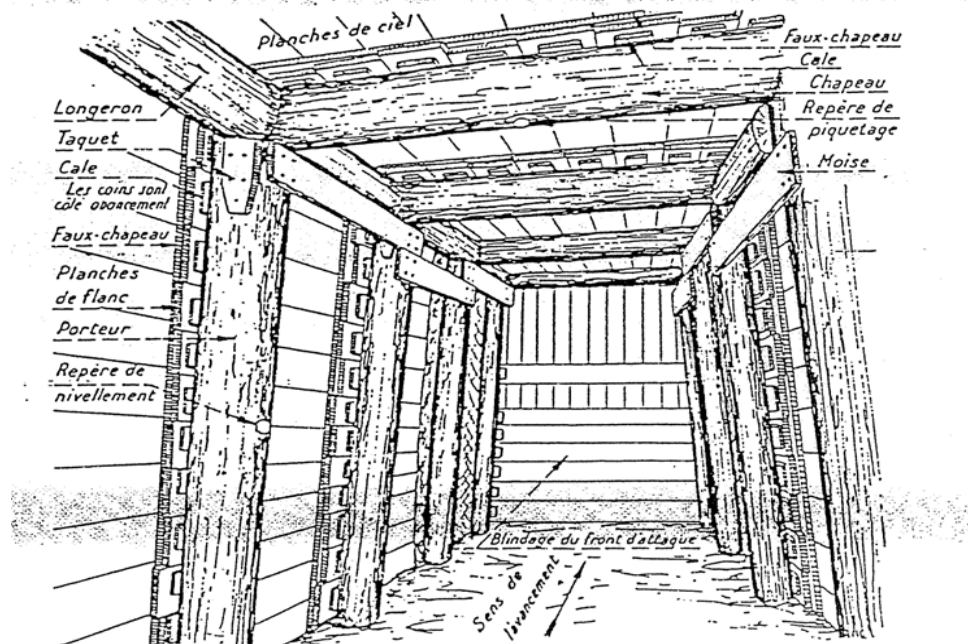
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Excavation en Section Divisée

- Techniques de Section Boisée en mauvais terrain



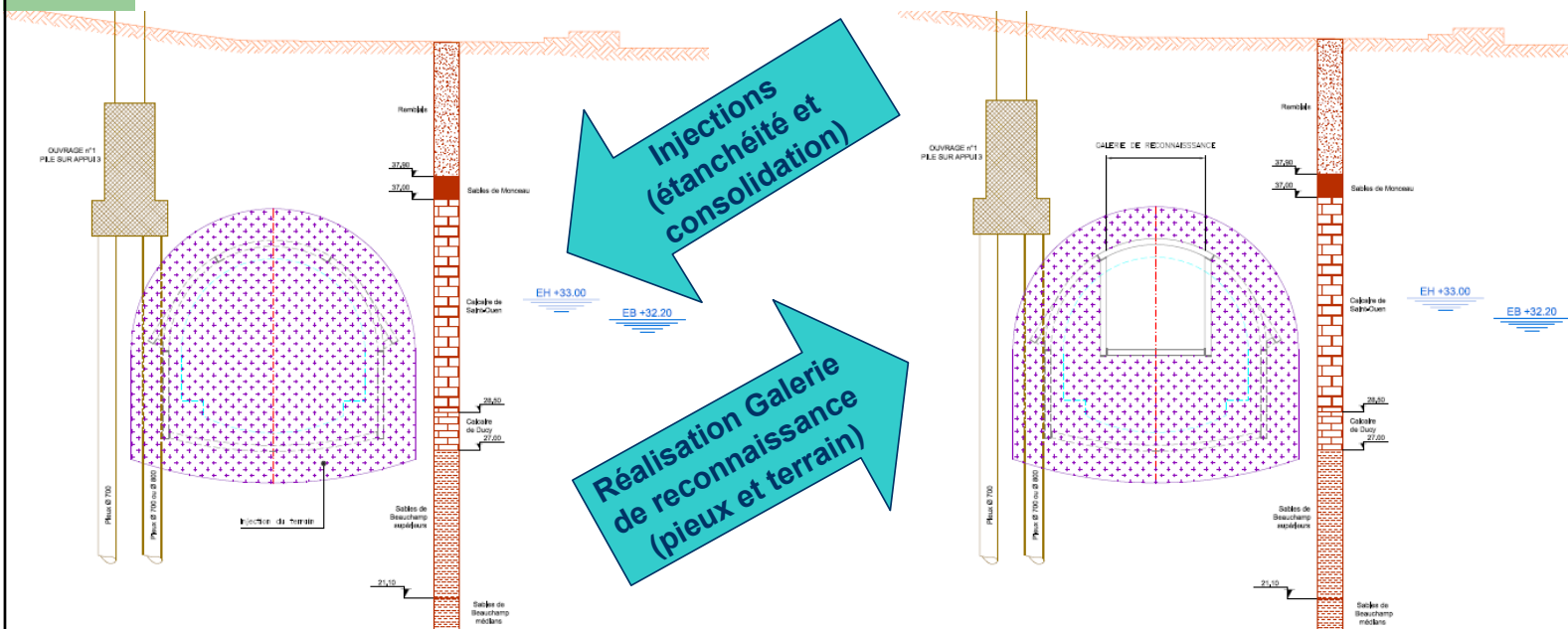
Vue en perspective de la galerie
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Excavation en Section Divisée

- Exemple de phasage complexe pour limiter les tassements



Phasage prévu par la RATP pour l'Ouvrage Voûte de la ligne 12

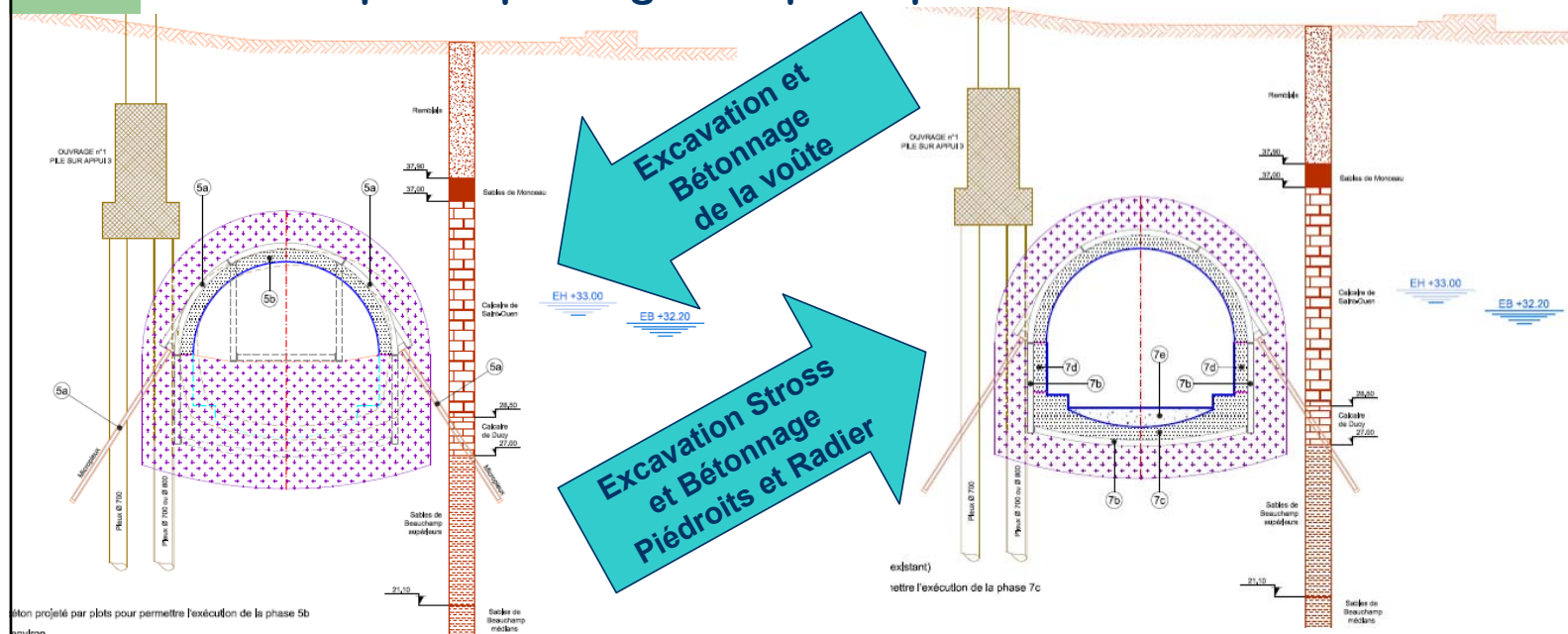
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Excavation en Section Divisée

- Exemple de phasage complexe pour limiter les tassements



Phasage prévu par la RATP pour l'Ouvrage Voûte de la ligne 12

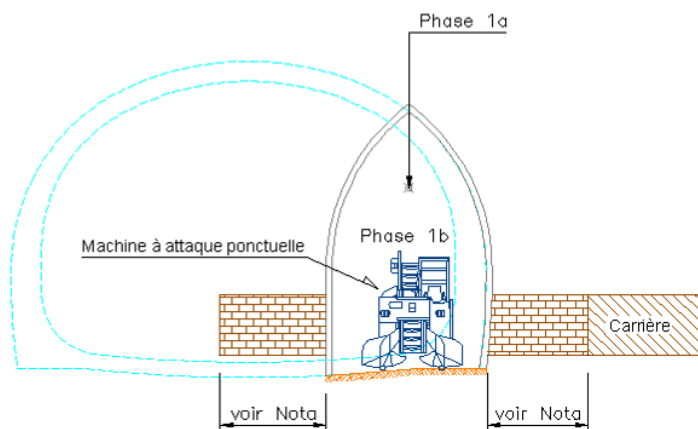
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

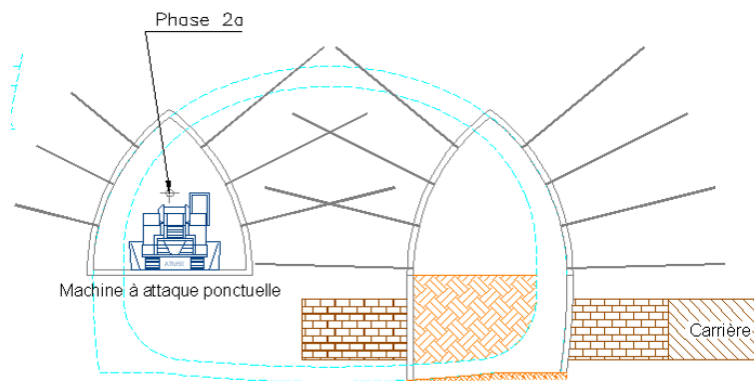
Techniques « Traditionnelles »

Excavation en Section Divisée

- Exemple de phasage complexe pour une grande section



Excavation en ogive côté carrières



Excavation demi-ogive coté opposé

Phasage prévu par la RATP pour la station Montrouge de la Ligne 4

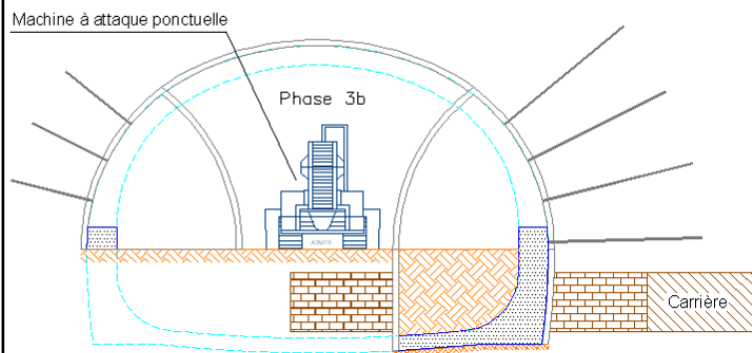
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

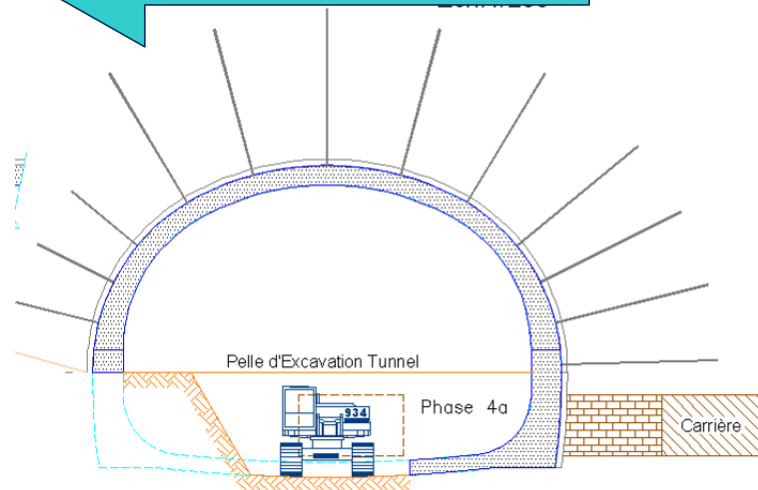
Excavation en Section Divisée

- Exemple de phasage complexe pour une grande section



Bétonnage voûte et
excavation stress

Excavation pilier central et
bétonnage piedroit coté carrières



Phasage prévu par la RATP pour la station Montrouge de la Ligne 4

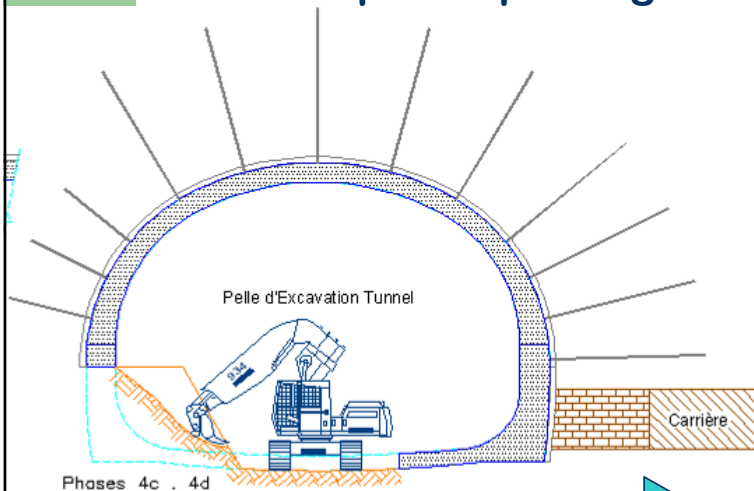
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

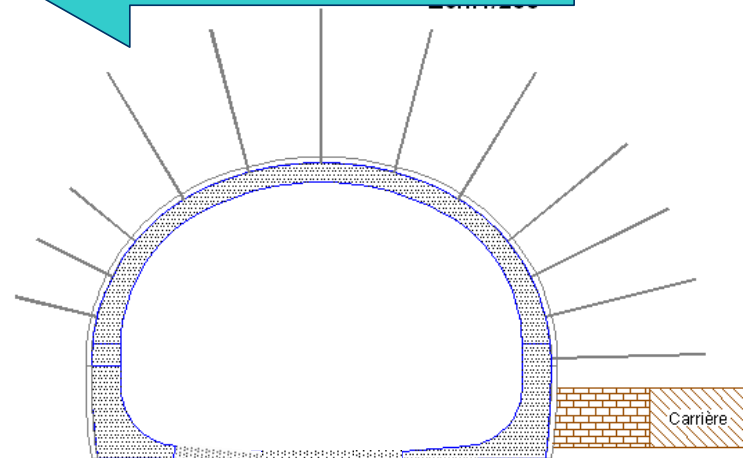
Excavation en Section Divisée

- Exemple de phasage complexe pour une grande section



Bétonnage piédroits et fermeture
de la section en radier

Reprise en sous œuvre de la voûte
par plots alternés



Phasage prévu par la RATP pour la station Montrouge de la Ligne 4

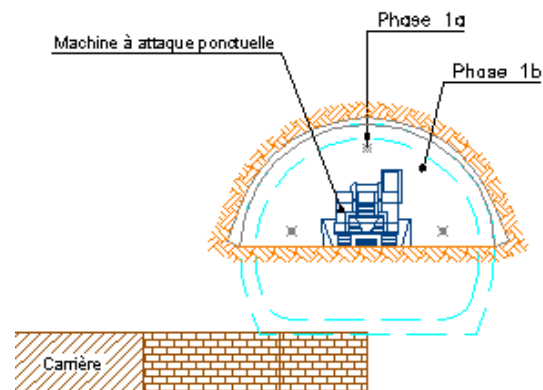
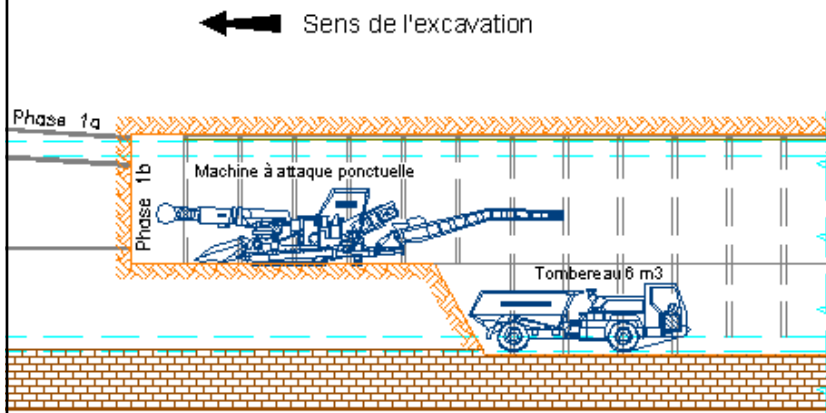
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Excavation en Section Divisée

- Exemple de phasage Demi-Sup. /Demi Inf.



Phase 1 : Excavation de la demi section supérieure

Phasage prévu par la RATP pour le prolongement de la Ligne 4

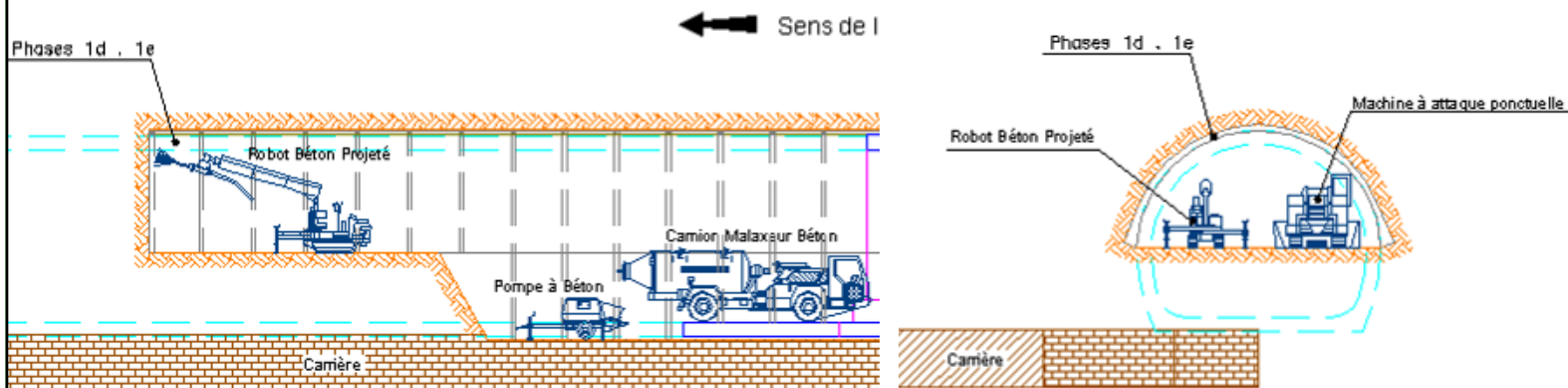
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Excavation en Section Divisée

- Exemple de phasage Demi-Sup. /Demi Inf.



Phase 2 : Soutènement de la demi section supérieure

Phasage prévu par la RATP pour le prolongement de la Ligne 4

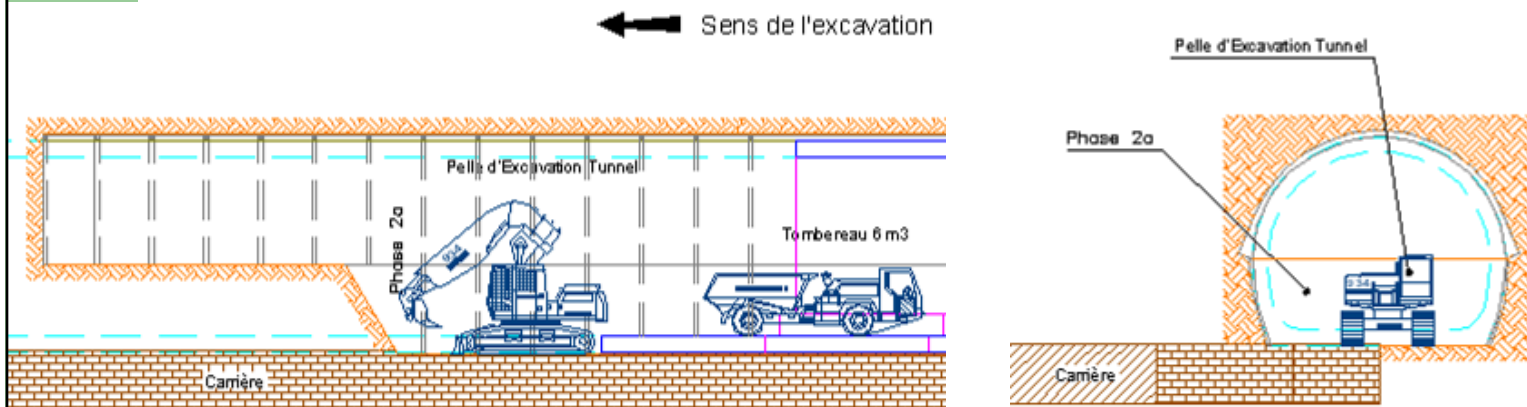
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Excavation en Section Divisée

- Exemple de phasage Demi-Sup. /Demi Inf.



Phase 3 : Excavation de la demi section inférieure

Phasage prévu par la RATP pour le prolongement de la Ligne 4

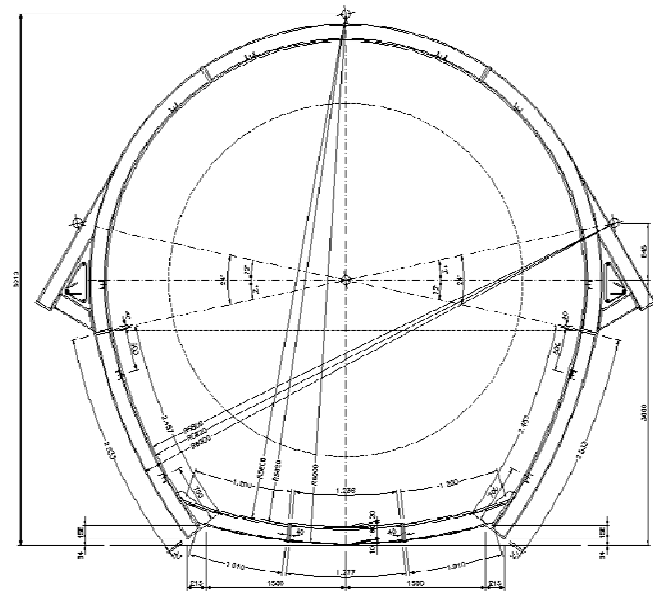
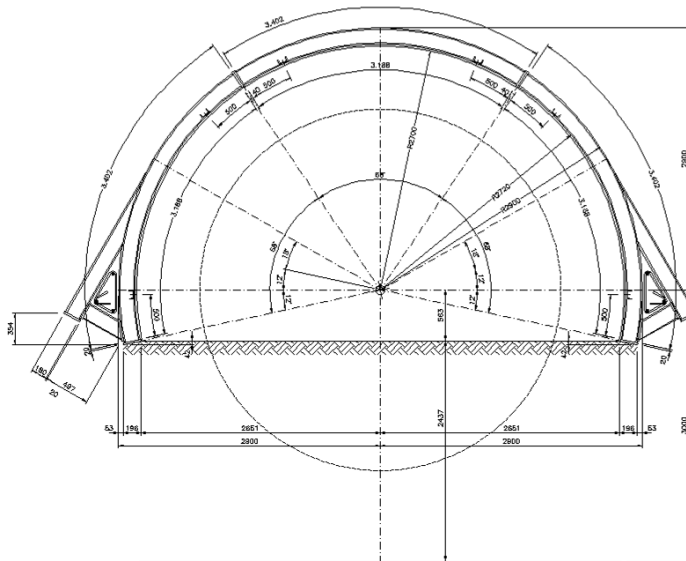
Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Excavation en Section Divisée

- Soutènement : les cintres métalliques



Exemple de profil excavé en section divisée (demi-sup/demi-inf)

Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009

Techniques « Traditionnelles »

Excavation en Techniques Traditionnelles

Avantage par rapport au Tunnelier:

- emploi de matériels standards et réutilisable indépendamment de la section du Tunnel
- adaptable au Terrain
- possibilité d'intervention au front

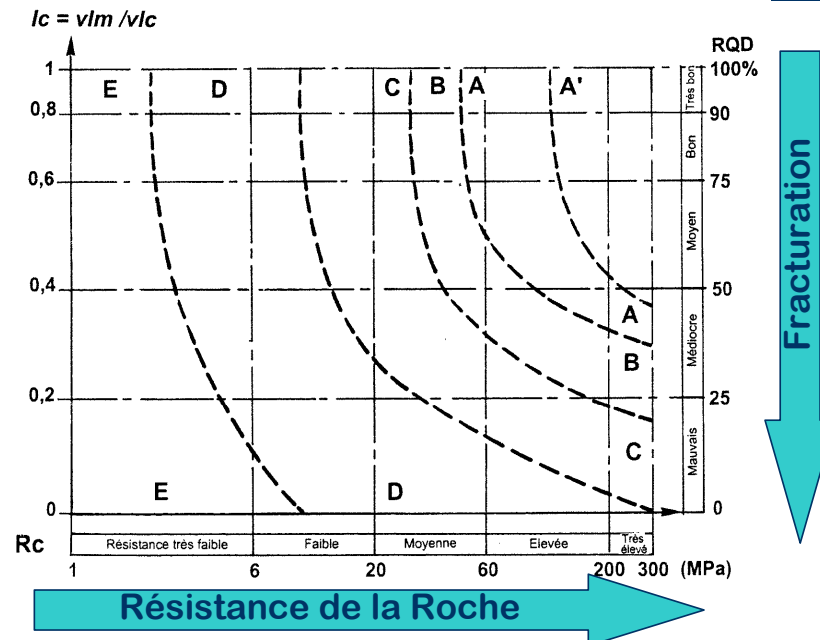
Inconvénients par rapport au Tunnelier:

- généralement moins rapide
- plus dangereux (chutes de blocs)
- plus pénible pour le personnel
- plus nuisant (bruits, vibrations)
- problème de stockage des explosifs

Techniques « Traditionnelles »

Choix des Techniques d'Excavation

A' :
Tunnelier puissant
A, B, C :
Tunnelier
B, C, D :
Machine attaque
ponctuelle
A, A', B :
Explosifs



Exemple de diagramme de choix de technique
d'abatage en fonction de la qualité du rocher

Cours de Travaux Souterrains

ESTP - 2008/2009