

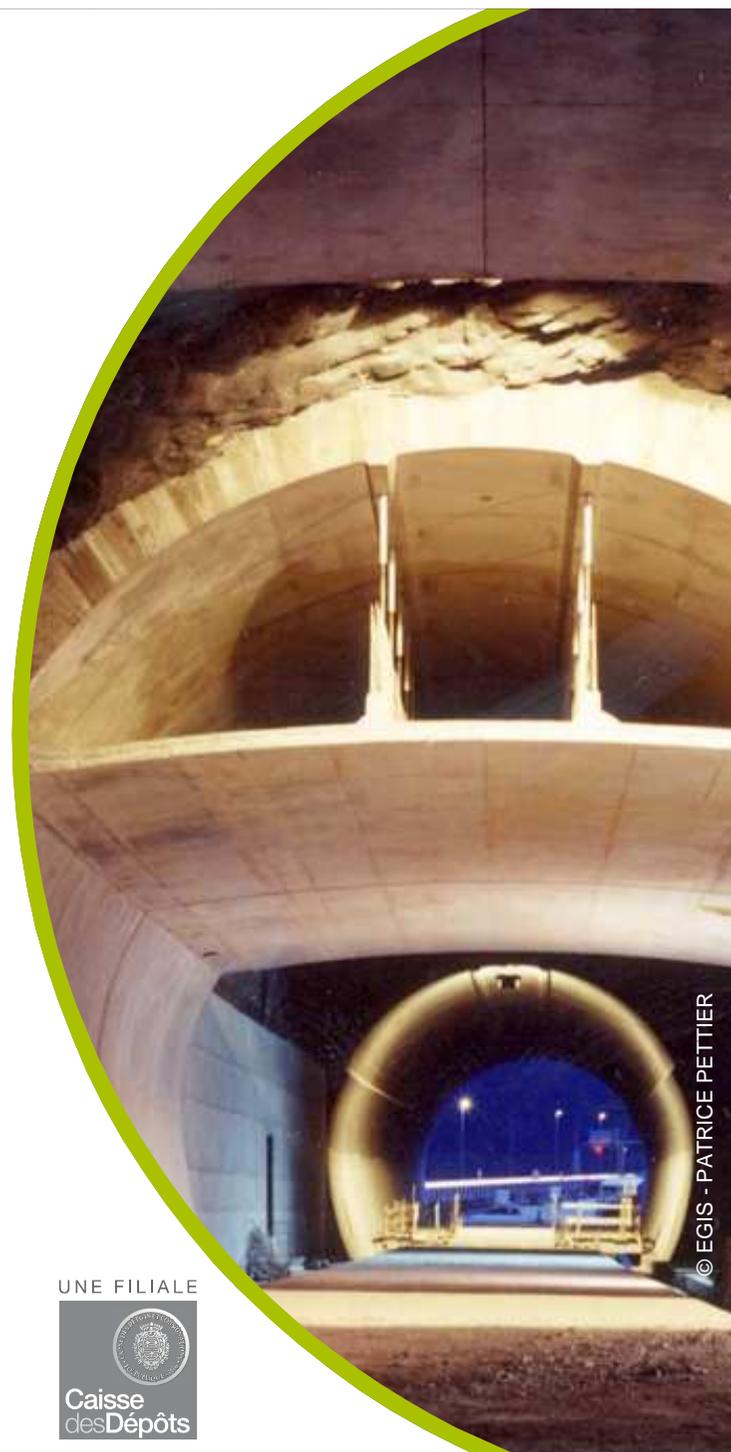
# Tunnel Maurice Lemaire

Retour d'expérience du creusement de la galerie de sécurité au tunnelier

A. SAIITA

H. TOURNERY

 egistunnels



© EGIS - PATRICE PETTIER

UNE FILIALE



Caisse  
des Dépôts

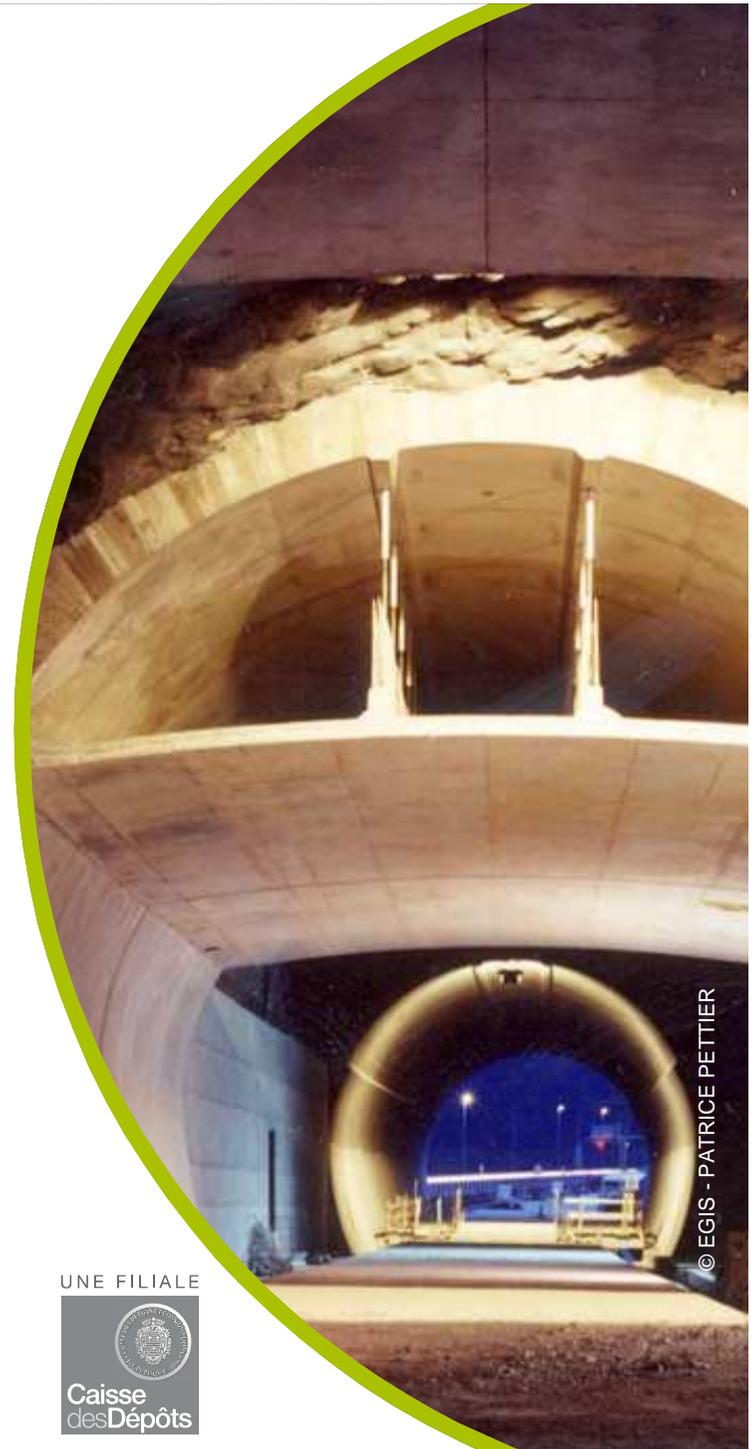


- ▶ **Présentation sommaire du Projet**
- ▶ **Déroulement des travaux de creusement de la galerie latérale**
- ▶ **Analyse de performances du tunnelier**

# Présentation sommaire du projet

 egistunnels

UNE FILIALE



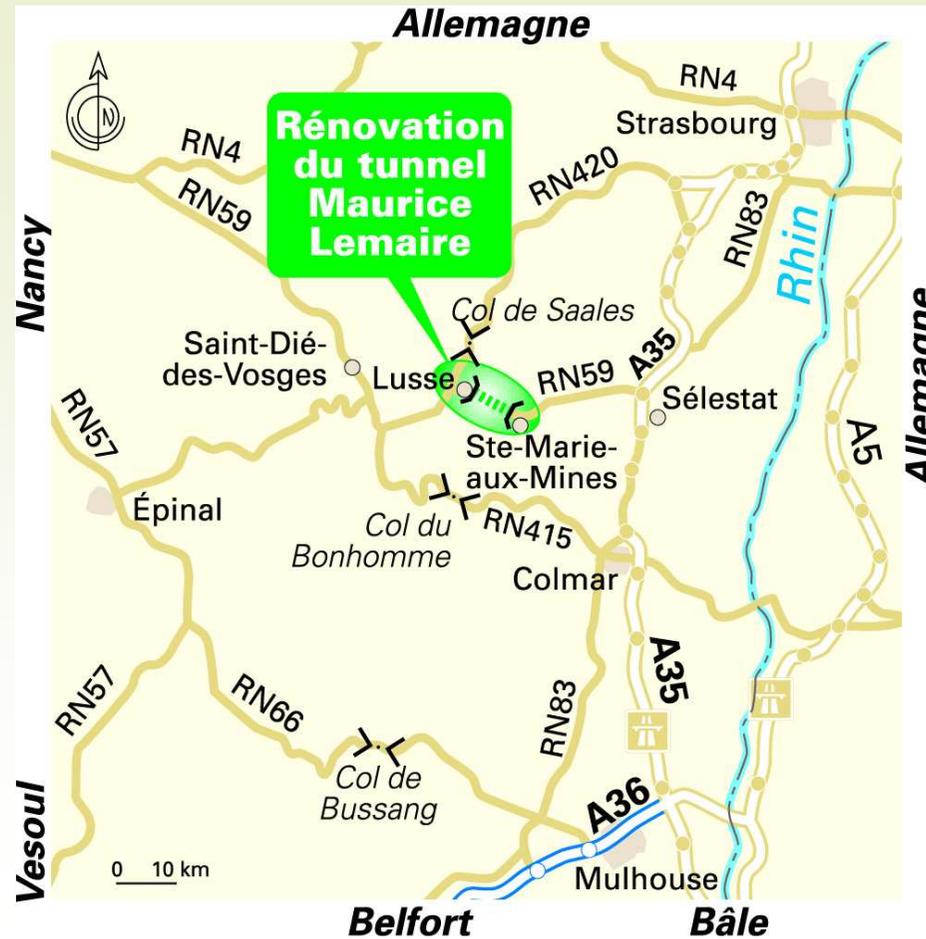


- ▶ **Maitre d'Ouvrage : Autoroutes Paris Rhin Rhône (APRR)**
- ▶ **Maître d'Œuvre : Groupement BG / Egis Tunnels**
- ▶ **Entreprises de Génie Civil : Groupement BOUYGUES TP / EIFFAGE TP**
- ▶ **Fabricant du tunnelier : Herrenknecht**

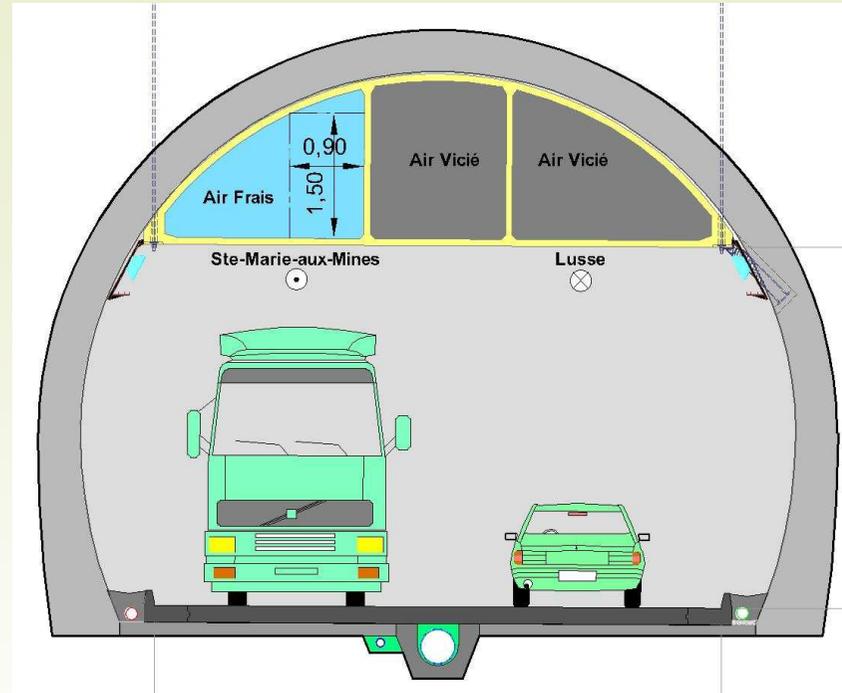
# Présentation sommaire du projet



## ► Tunnel routier de 7 km



# Présentation sommaire du projet

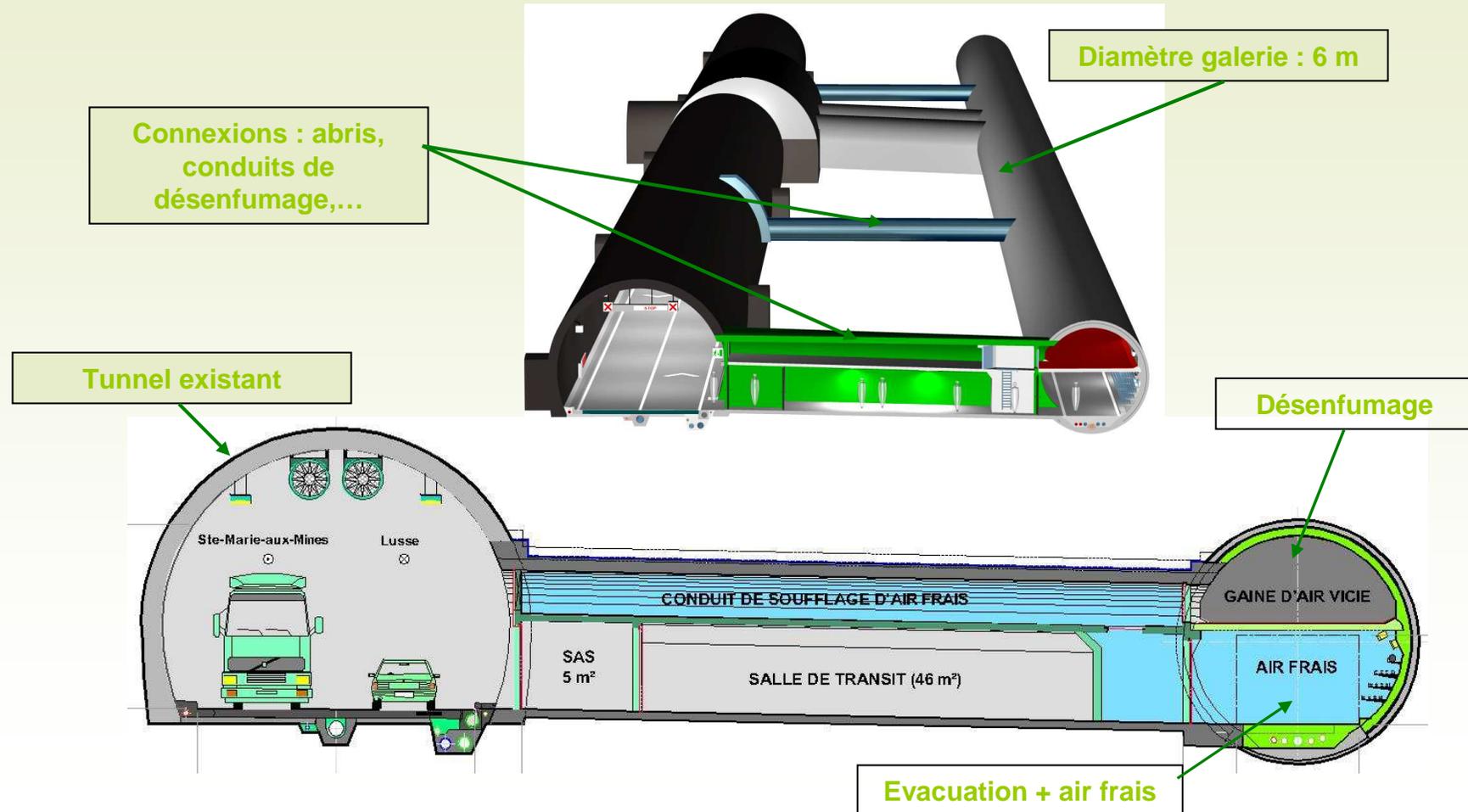


- ▶ **Tunnel ferroviaire transformé en tunnel routier en 1976**
- ▶ **Suite à la catastrophe du mont Blanc : fermé aux PL en mars 2000**

# Présentation sommaire du projet



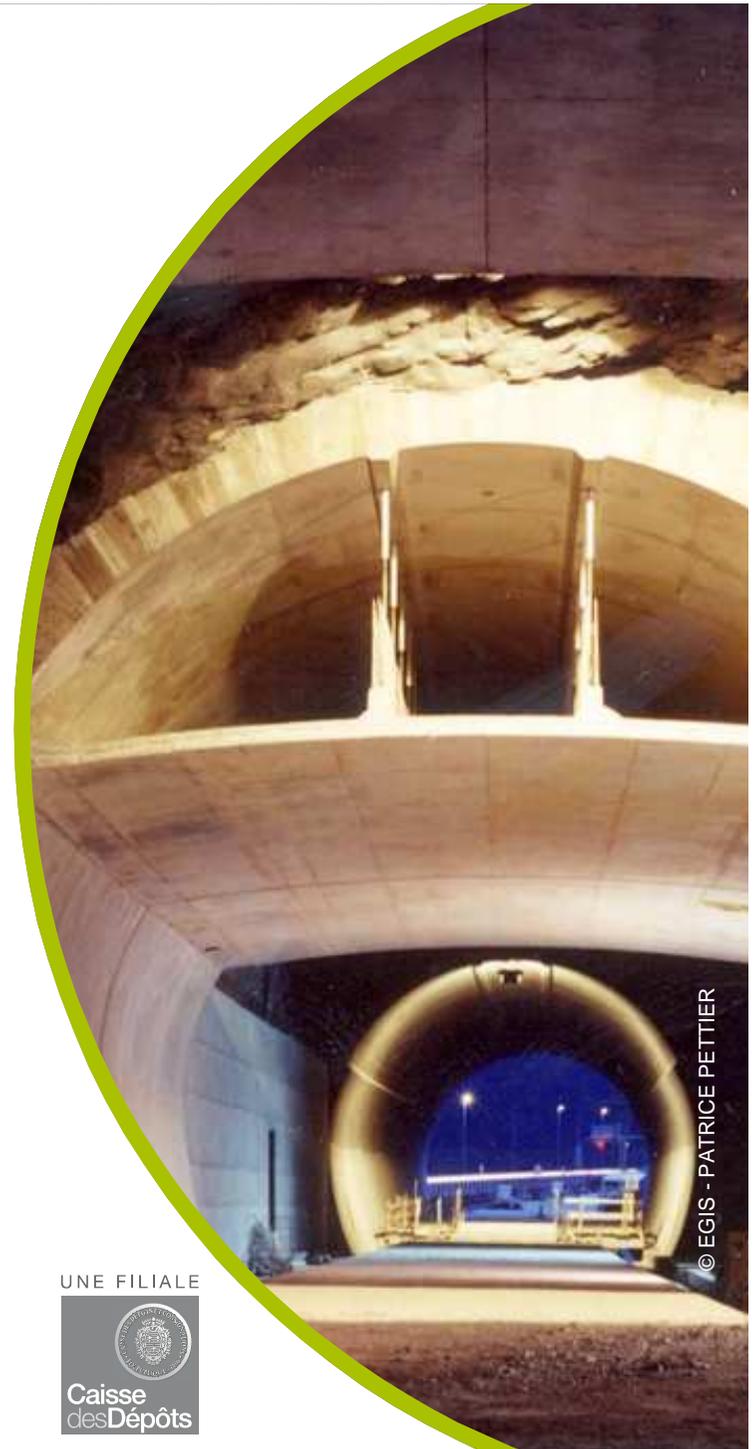
- **Solution retenue par APRR : galerie « mixte » avec double fonction ventilation / évacuation**



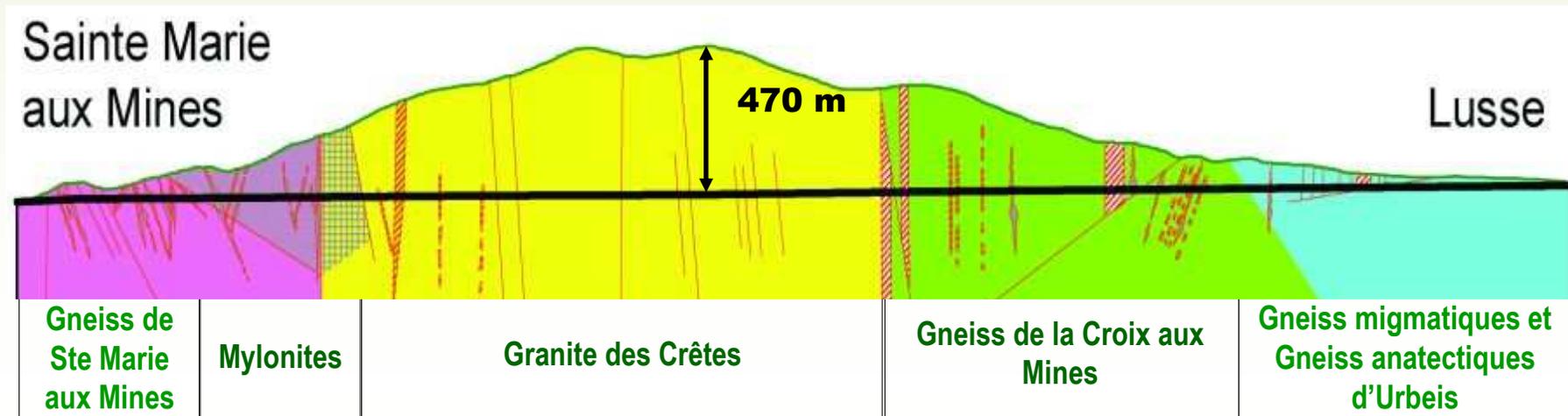
# Creusement de la galerie latérale

 egistunnels

UNE FILIALE



# Contexte géologique



# Creusement de la Galerie au tunnelier



## ► Longueur totale galerie : 7000 m

- Environ 6300 m au tunnelier
- Environ 700 m en méthode conventionnelle (300 + 400)



# Creusement de la Galerie au tunnelier



## ► Tunnelier roche dure (gripper):

- 38 mollettes de 17''
- Poussée nominale : environ 12000 kN
- Entraînement principal : 6 moteurs de 350 kW
- 230 mètres de long (tunnelier de 28 m)
- Convoyeur (500 t/h)

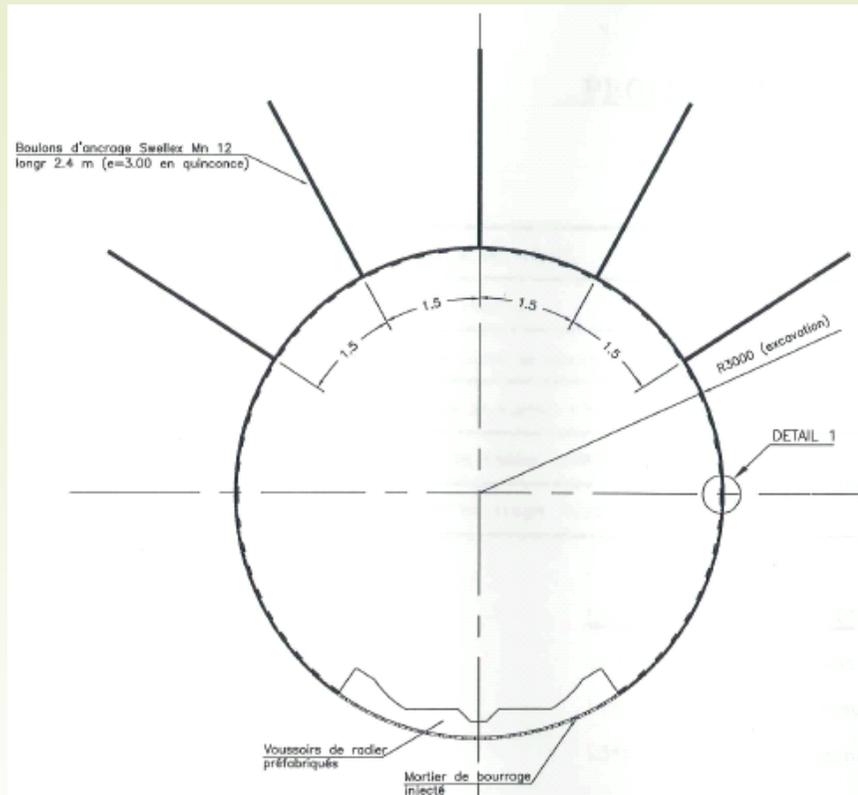


## ► Soutènement :

- Stroke de 1,8 m
- Boulonnage sur tunnelier (2)
- Erecteur de cintres
- Béton projeté en arrière (60 m)

## ► Alimentation par train sur voussoirs de radier

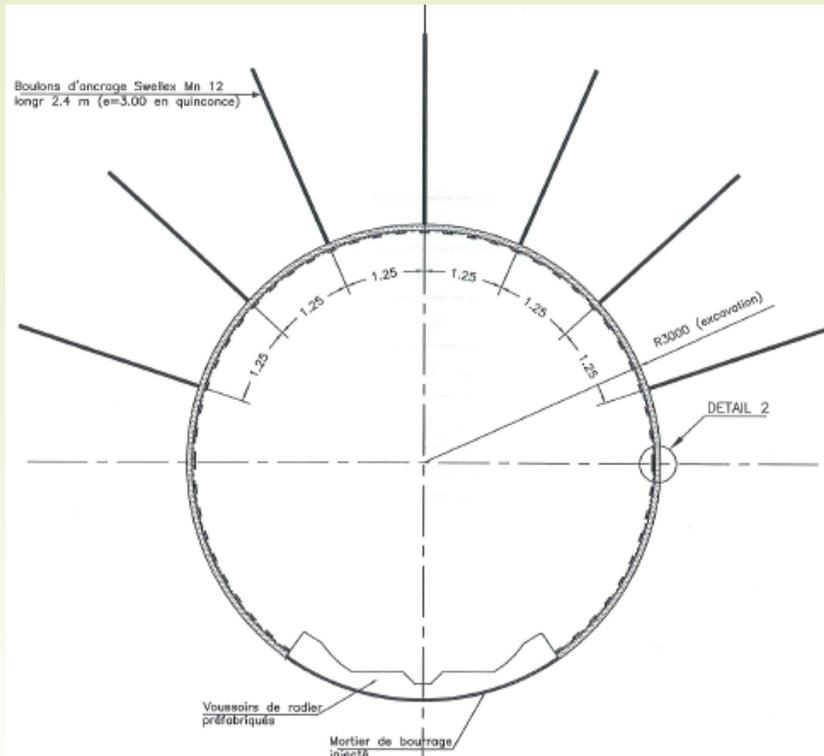
# Soutènement Type T1



## Gneiss et granite sain

- Quelques Boulons d'ancrage
- Treillis de protection en voûte
- Béton projeté 3 cm

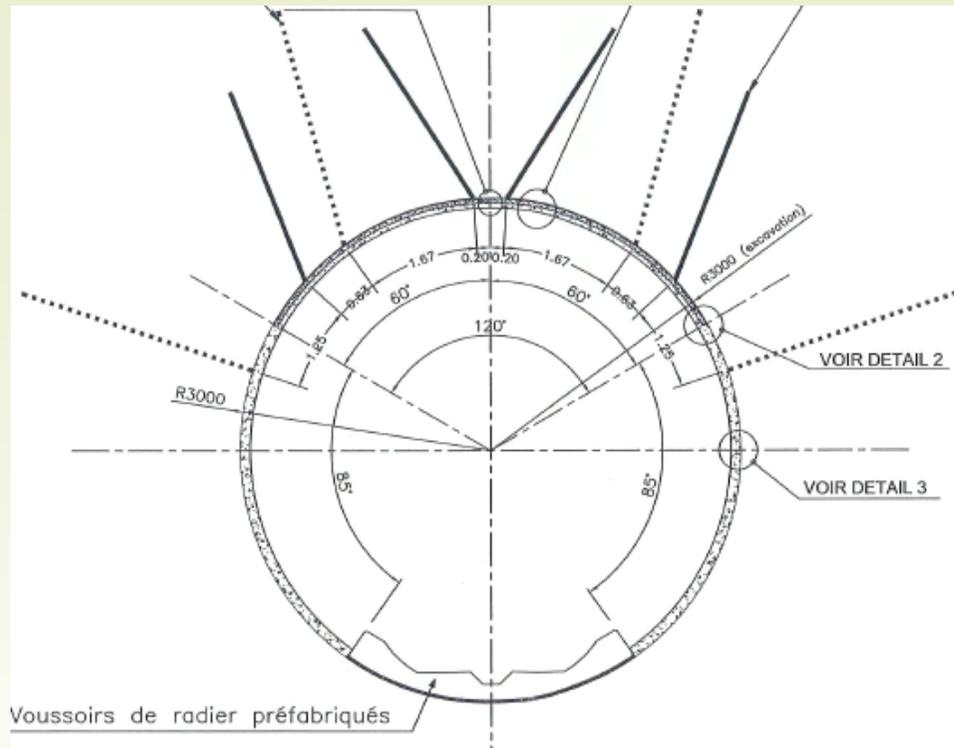
# Soutènement Type T2



## Gneiss et granite peu fracturés

- Boulons d'ancrage
- Treillis de protection en voûte
- Béton projeté 7 cm

# Soutènement Type T'3



## Gneiss et granite fracturés

- Cintres en U en calotte boulonnés
- Treillis de protection en voûte
- Béton projeté 12 cm

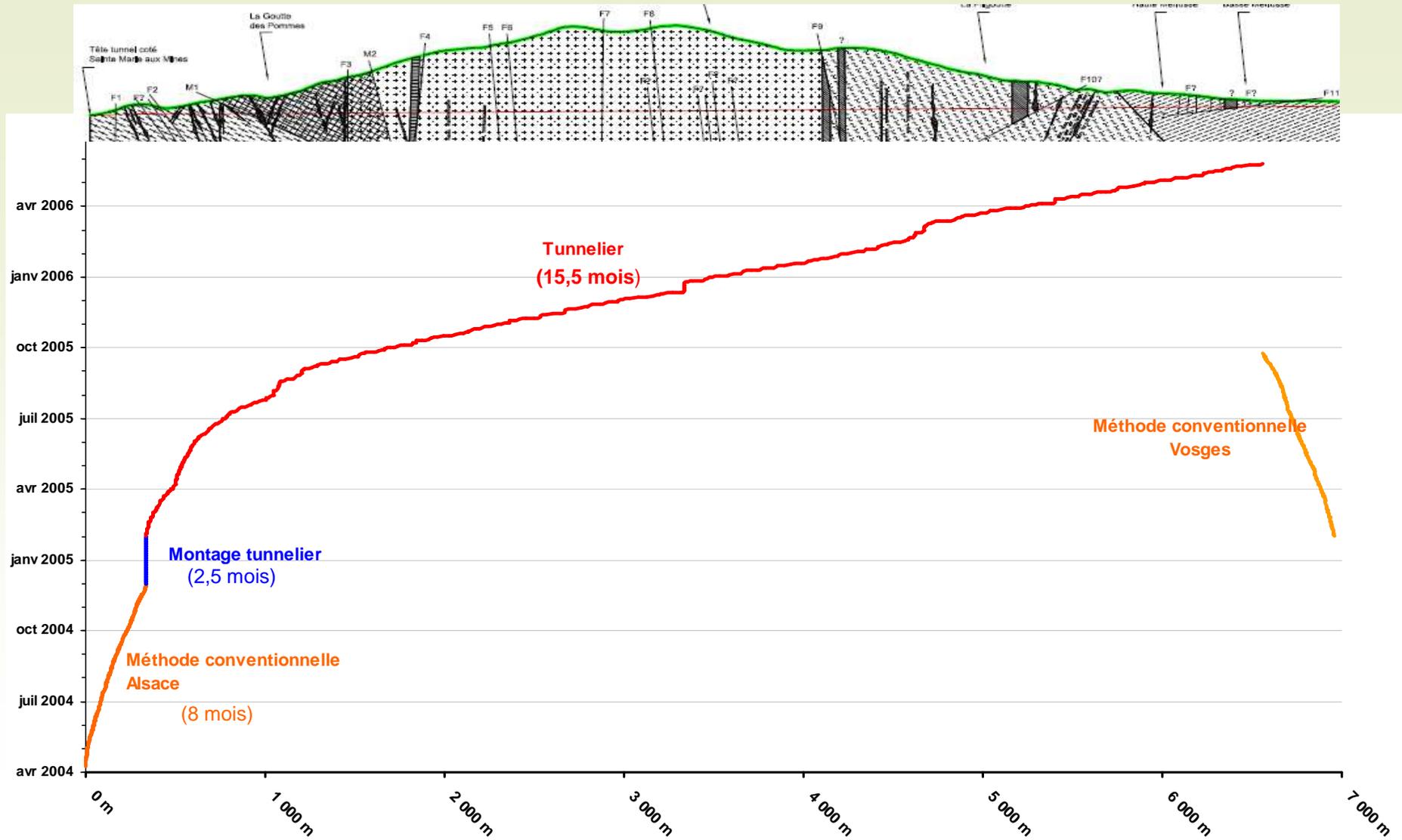
# Soutènement Type T4



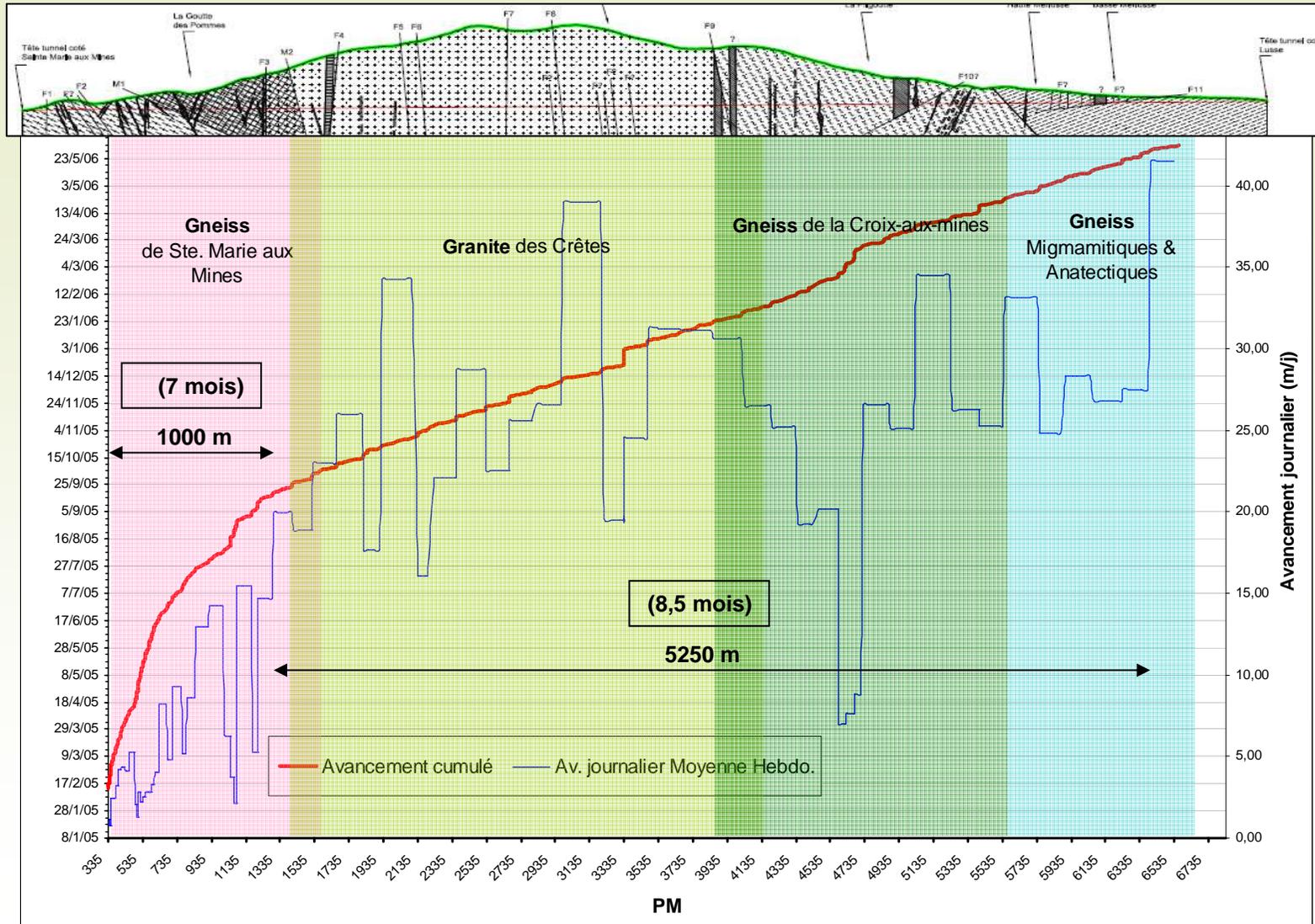
## **Gneiss très fracturés + failles**

- Cintres HEB 140, espacé de 1.20 m
- Treillis de protection en voûte
- Béton coulé entre cintres derrière treillis coffrant

# Planning de creusement



# Planning et cadences tunnelier



# Cadences du tunnelier

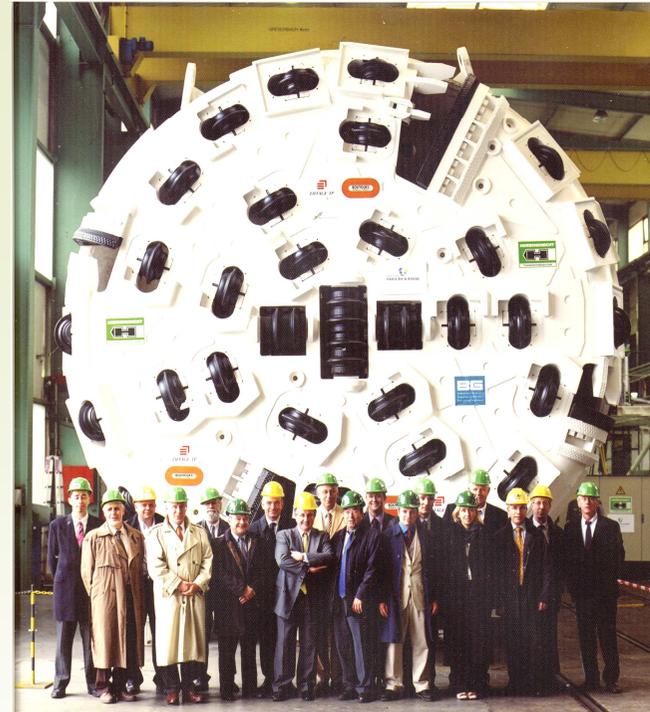


## ► Cadence moyenne :

- 16,3 m/j

## ► Cadences moyennes par profil types :

- T 1 : 31 m/j
- T 2 : 30 m/j
- T'3 : 13 m/j
- T 4 : 3 m/j



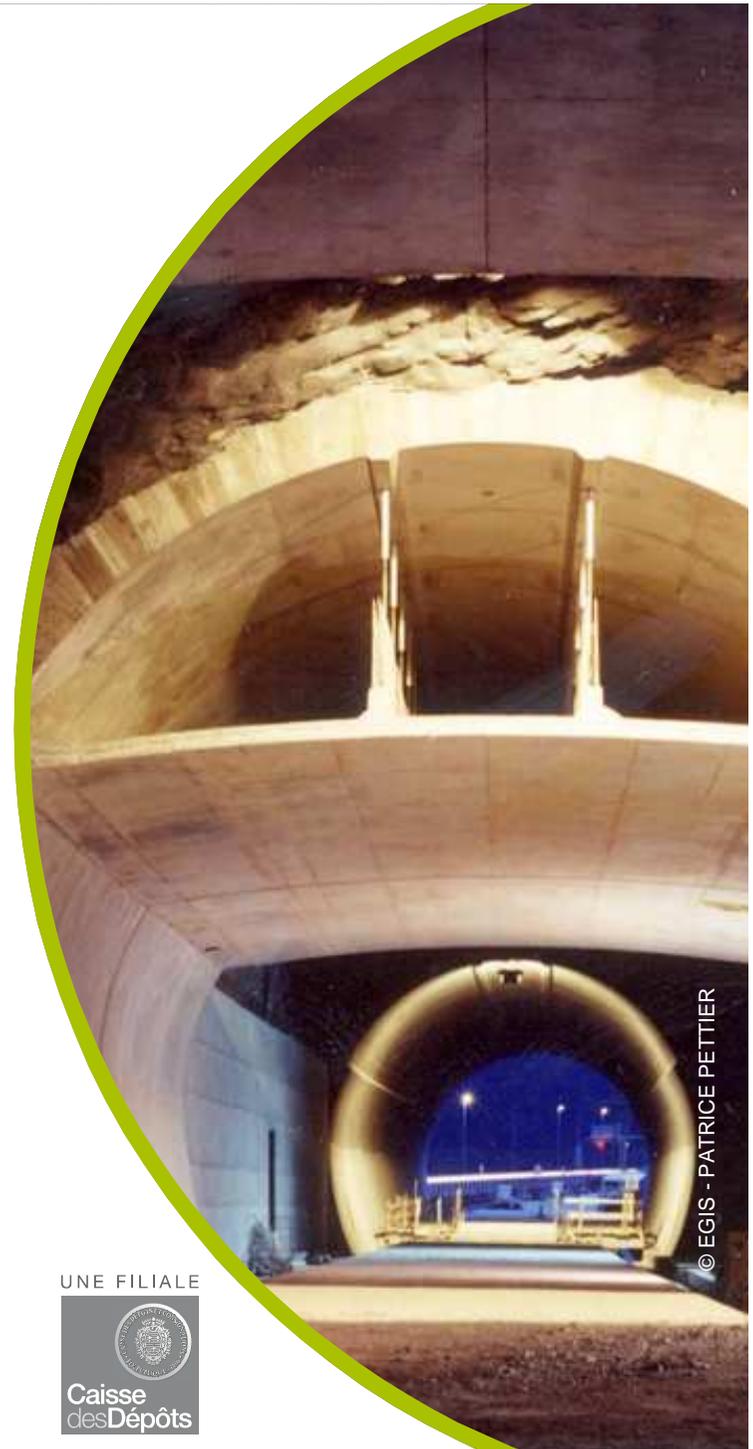
## ► Records :

- Avancement journalier :  
55 m/j
- Avancements mensuel :  
780 m/mois

# Analyse de performances du tunnelier

 egistunnels

UNE FILIALE

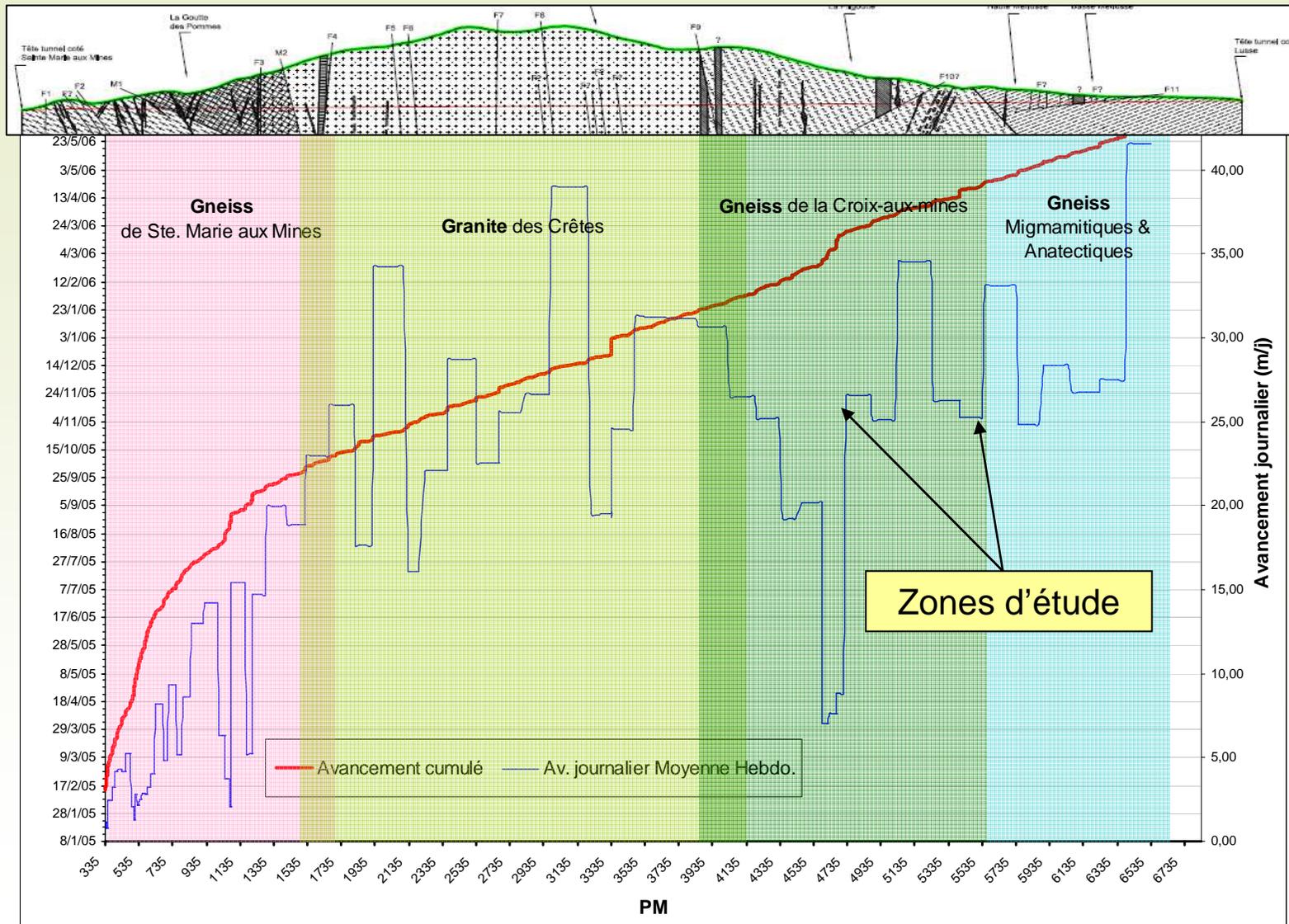


# Analyse de performances du tunnelier



- Analyse de la répartition des tâches effectuées lors du creusement à partir des fiches de postes
- Analyse réalisée sur deux zones présentant les particularités suivantes :
  - Ensemble géomécanique homogène
  - Profil-type appliqué constant
- Démarche retenue en suivant la recommandation AFTES relative à « l'analyse du temps et coefficients d'utilisation des tunneliers »

# Analyse de performances du tunnelier



# Analyse de performances du tunnelier



## ○ Zones étudiées :

- *PM 4750-5420*

Linéaire analysé : 670m

Gneiss sain à peu fracturé

Avancement moyen sur la zone analysée : 33 ml/j

Soutènement mis en œuvre : principalement T1  
ponctuellement T2

- *PM 4175-4290*

Linéaire analysé : 115m

Gneiss altéré et fracturé

Avancement moyen sur la zone analysée : 23 ml/j

Soutènement mis en œuvre : T'3

# Caractéristiques mécaniques



PARAMETRES AFTES	PM 4750-5420	ENSEMBLES GEOMECHANIQUES			
	E1	E2	E3	E4	E5
Indice de continuité de la roche	IC1 "continuité très élevée"	IC1 - IC2 "continuité très élevée à élevée"	IC3 "continuité moyenne"	IC4 "continuité faible"	
Résistance de la roche	R2 - R3 "résistance élevée à moyenne"	R2 - R4 "résistance élevée à faible"	R3 - R4 "résistance moyenne à faible"	R4 - R5 "résistance faible à très faible"	
Etat d'altération du massif	AM1 "sain"	AM1 - AM2 "sain à légèrement altéré"	AM3 - AM4 "moyennement à très altéré"		AM4 - AM5 "très à complètement altéré"
Conditions hydrogéologiques	H1 - H2 "charges faibles à moyennes"				
Perméabilité du massif	K1 - K2 "perméabilité très faible à moyenne"	K2 - K3 "perméabilité moyenne à forte"	K3 - K4 "perméabilité forte à très forte"	K3 - K4 "perméabilité forte à très forte"	
Densité des discontinuités (1)	ID1 - ID2 "très faible à faible" $i > 200 \text{ cm}$ à $60 \text{ cm} < i < 200 \text{ cm}$	ID3 - ID4 "moyenne à forte" $20 \text{ cm} < j < 60 \text{ cm}$ à $6 \text{ cm} < j < 20 \text{ cm}$	ID4 - ID5 "forte à très forte" $6 \text{ cm} < i < 20 \text{ cm}$ à $i < 6 \text{ cm}$	ID5 "très forte" $i < 6 \text{ cm}$	
Espacement des discontinuités (1)	S1 - S2 "discontinuités très espacées à espacées"	S3 - S4 "discontinuités moyennement espacées à rapprochées"	S4 - S5 "discontinuités rapprochées à très rapprochées"	S5 "discontinuités très rapprochées"	
Orientation des discontinuités (1)	OR2 + OR 4b		OR2		OR3 (2)
Nombre de familles (1)	N4a "trois (et plus) familles principales"		N5 "nombreuses discontinuités sans hiérarchisation ni constance dans la répartition"		

# Caractéristiques mécaniques

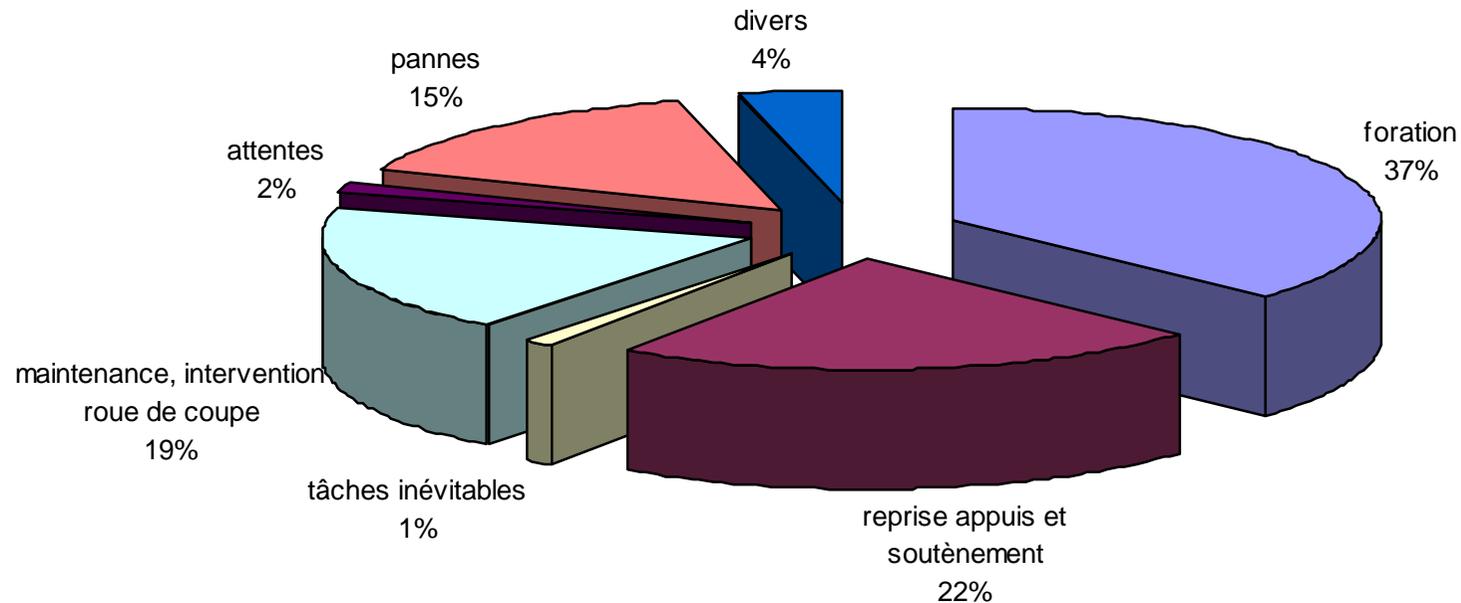


		Gneiss de Ste-Marie (Alsace)	Zones de contact	Granite des Crêtes	Gneiss de Ste-Marie (Vosges)	Gneiss Croix-aux-Mines	Gneiss d'Urbéis	Intrusions et filons
Minéralogie %	Quartz	25 à 30	-	20 à 25	10 à 20	5 à 10	10 à 25	-
	Feldspath	40 à 60	-	55 à 70	60 à 70	25 à 35	20 à 70	-
	Mica	10 à 20	-	10 à 20	6 à 15	6 à 25	15 à 20	-
	Carbonate	-	-	-	0 à 70	0 à 40	0 à 40	-
$\gamma_a$ (T/m <sup>3</sup> )		2,63	2,66	2,64	2,69	2,68	2,68	2,64
Vitesse du son $V_p$ m/s		4 900	5 300	5 500	5 100	5 500	5 500	4 900
Module de Young E GPa		10 - 30	20 - 50	20 - 35	> 50	30 - 50	8 - 12	-
Res. comp. uniaxiale $\sigma_c$ MPa		19	40	39	20	45	45	27
Res. tract. Brésilien $\sigma_b$ MPa		-	5,8	6,7	6,3	7,9	7,7	6,2
Res. comp. Franklin Is MPa		4,1	3,9	4,5	3,3	6,3	2,9	3,8
Dureté Cerchar DU		55	50	67	50	57	43	62
Abrasive Cerchar An		4,2	4,1	4,2	3,0	4,2	4,2	4,9
Abrasive LPC A <sub>100</sub> g/t		1600	-	1570	1220	1380	1600	1700
Broyabilité LPC B <sub>10</sub> %		31	-	34	33	30	32	32

# Analyse des temps

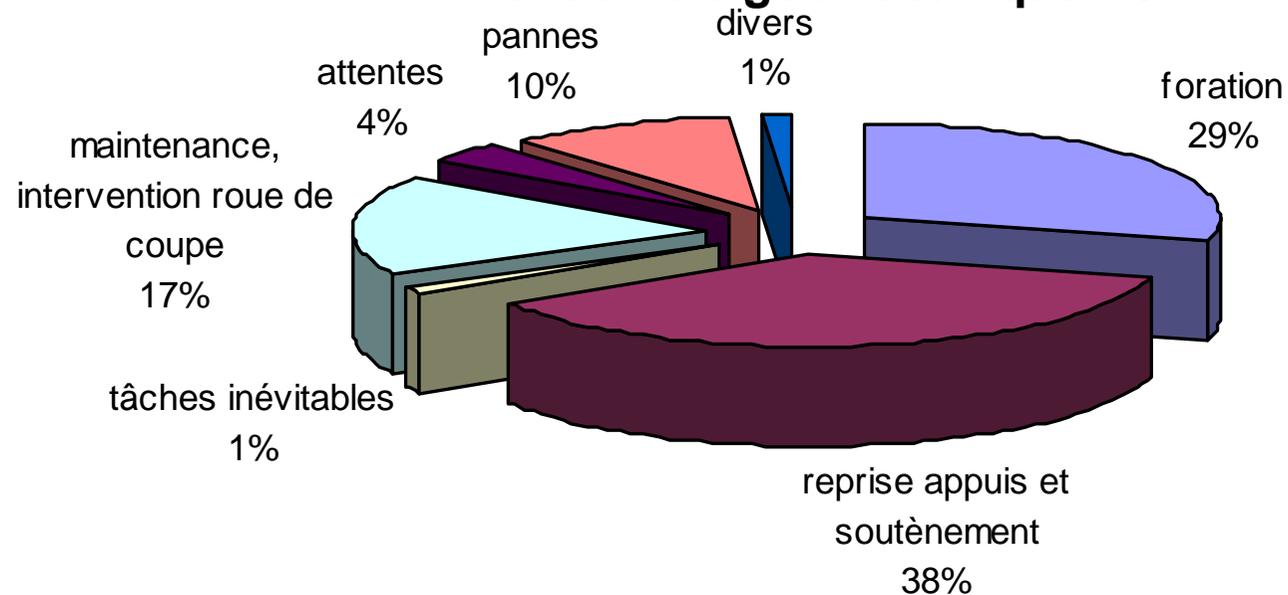


## Analyse des temps - PM 4750-5420 soutènement mis en œuvre type T1 et T2 ensemble géomécanique E1





## Analyse des temps - PM 4175-4290 soutènement mis en œuvre type T'3 ensemble géomécanique E3



# Performances du tunnelier sur les zones analysées

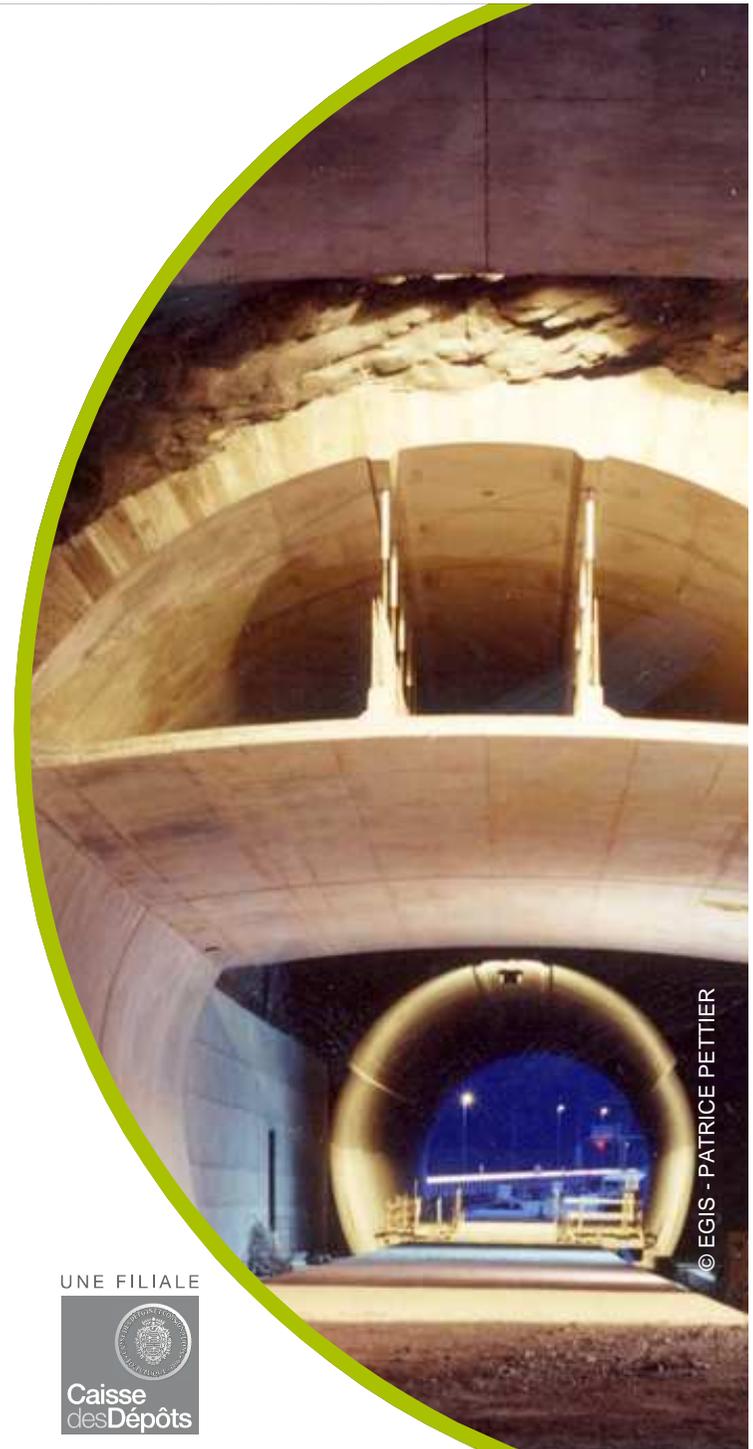


	<b>PM 4175-4290 – E3</b>	<b>PM4750-5420 – E1</b>
<b>Coefficient d'utilisation (%)</b>	<b>68</b>	<b>60</b>
<b>Vitesse moyenne de foration instantanée (cm/mn)</b>	<b>5.7</b>	<b>6.3</b>
<b>Avancement moyen (ml/j)</b>	<b>23</b>	<b>33</b>
<b>Coefficient de dispo chantier (%)</b>	<b>90</b>	<b>85</b>
<b>Taux de pannes (%)</b>	<b>10</b>	<b>15</b>

# Modèles de prédiction des performances des tunneliers

 egistunnels

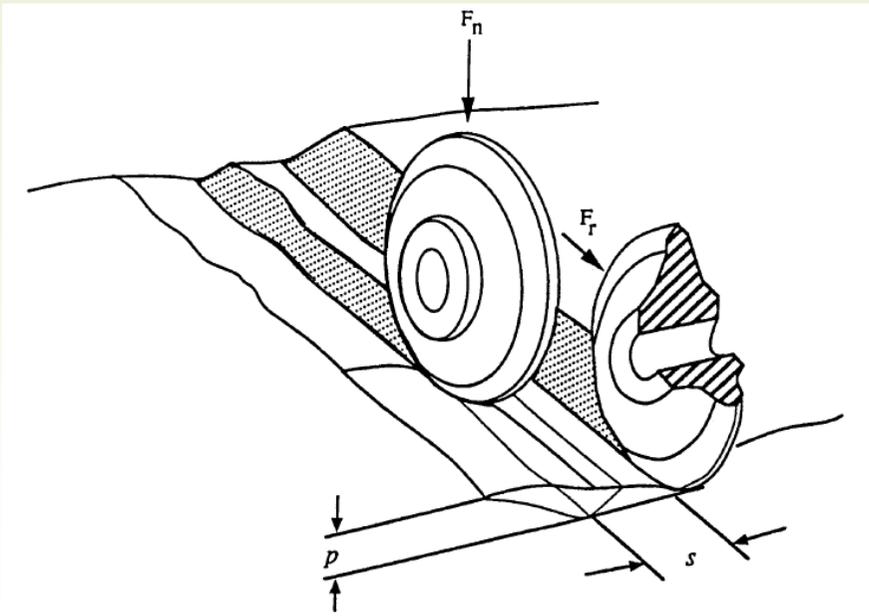
UNE FILIALE



# Principe des modèles de prédiction



- Principe de ces modèles : estimer le taux de pénétration du tunnelier (cm/mn), l'usure des molettes et les temps de maintenance, les efforts et les puissances nécessaires ...



Aide au dimensionnement et à la fabrication du tunnelier,

Aide à l'estimation des cadences et des coûts qui en résultent

# Principe des modèles de prédiction



- Deux types de modèles :

- Modèles semi-empiriques basés sur la mesure en laboratoire et l'évaluation des efforts de coupe sur une molette

Exemple : modèle CSM (Colorado School of Mines)

- identification des mécanismes de fragmentation de la roche
- relation théorique établie entre les efforts sur une molette et la profondeur de pénétration dans les conditions de l'essai en laboratoire

Inconvénient majeur : peu ou pas de relation avec la fracturation du massif

# Principe des modèles de prédiction



- Méthodes empiriques basées sur l'observation directe de la performance des tunneliers sur chantier.

Exemple :                    formules empiriques,  
                                      indice Qtbm (Barton),  
                                      méthode norvégienne NTNU

Avantage : volonté de prise en compte de la fracturation du massif

Inconvénient majeur : application hasardeuse de la démarche  
compte-tenu des conditions géologiques variées et des  
caractéristiques spécifiques des tunneliers

# Méthode norvégienne



## ○ Méthode norvégienne NTNU:

### ● Estimation de la pénétration par tour d'une molette dans la roche

- *Fonction de résultats d'essais (DRI)*
- *Fonction de facteurs déterminés par une série d'abaques dépendant essentiellement :*
  - Diamètre et espacement des molettes
  - Fracturation du massif rocheux

**Table C-13**

Joints		Fissures		$k_s$
Class	Spacing	Class	Spacing	
0	>1.6 m	0	>1.6 m	0.36
0-I	= 1.6	I	0.8-1.6	0.5-1.1
I	0.8-1.6	II	0.4-0.8	0.9-1.5
I-II	0.4-0.8	II-III	0.2-0.4	1.1-1.8
II	0.2-0.4	III	0.1-0.2	1.3-2.3
II-III	0.1-0.2	III-IV	0.1-0.05	1.9-3.0
>III	not valid	IV	<0.05	3.0-4.4

# Méthode norvégienne



- Estimation de la durée de vie des molettes

Introduction d'un indice de durée de vie des molettes (indice CLI)  
principalement fonction de la nature de la roche et de la  
géométrie des molettes utilisées

- Estimation de l'avancement moyen par cycle

Estimation du temps d'excavation, de reprise des appuis, de  
l'intervention sur la roue de coupe, de la maintenance du  
tunnelier, ...

# Méthode norvégienne



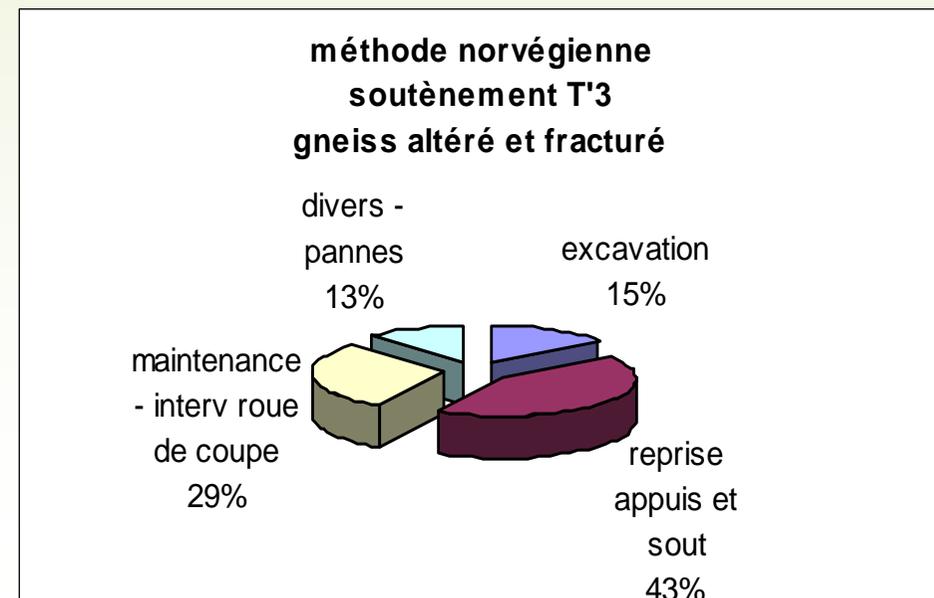
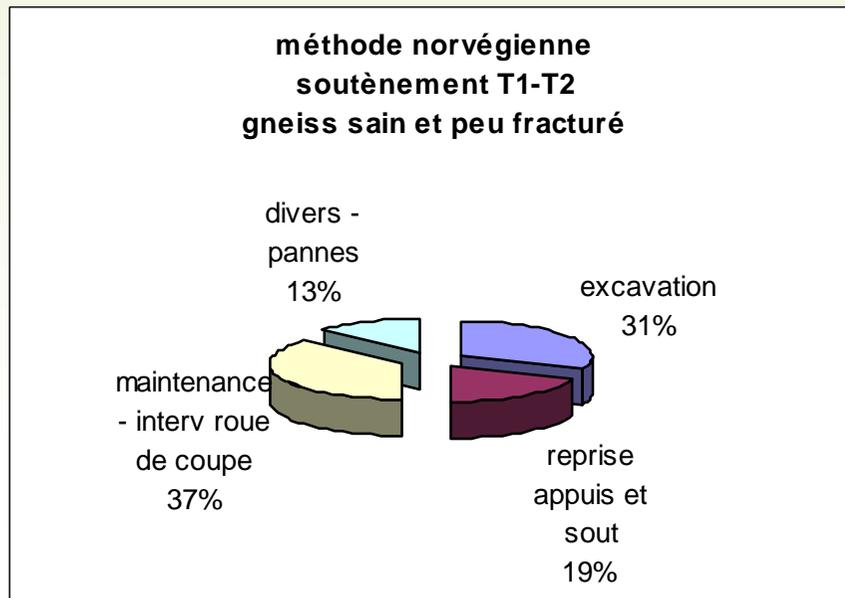
Application à TML :

Taux de pénétrations théoriques obtenus à partir de cette méthode par le tunnelier sur les molettes :

Zone soutènement T1-T2 : 7,4cm/mn

Zone soutènement T'3 : 14,6cm/mn

Répartition théorique des tâches obtenues :



# Conclusions



- L'utilisation des modèles de prédiction reste très délicate :
  - *difficultés inhérentes à tout modèle empirique (généralisation de contextes spécifiques)*
  - *nombreux paramètres difficiles à évaluer*
  
- Dans le cas de TML :
  - *L'application de formules empiriques simplifiées montre des résultats très différents par rapport à la réalité observée sur le chantier,*
  - *La méthode norvégienne NTNU donne des prédictions plutôt en bon accord avec les données de chantier dans le cas d'un gneiss sain et peu fracturé. Dans le cas d'un gneiss plus fracturé, l'estimation n'est plus réaliste.*

FIN



► **MERCI DE VOTRE ATTENTION**