

IESF
19 janvier 2017

Travaux souterrains en France

Projets et perspectives

Gilles HAMAIDE
gille.hamaide@developpement-durable.gouv.fr





1/ les projets

2/ les acteurs

3/ les sites

4/ les processus

5/ les technologies



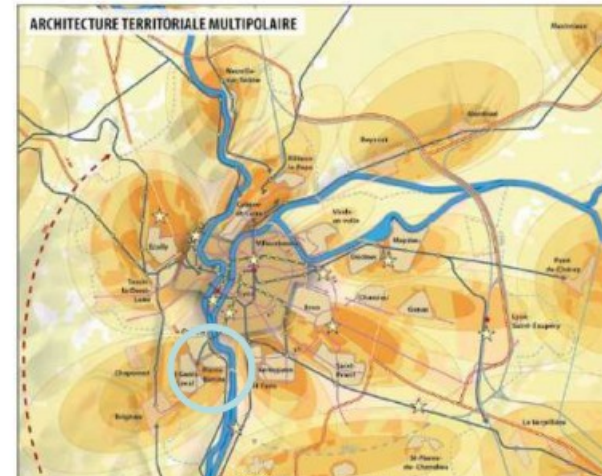


En France, dans le domaine des transports,
nombreuses opérations importantes en cours,
la plupart en milieu urbain,
quelques grands projets ferroviaires non urbains

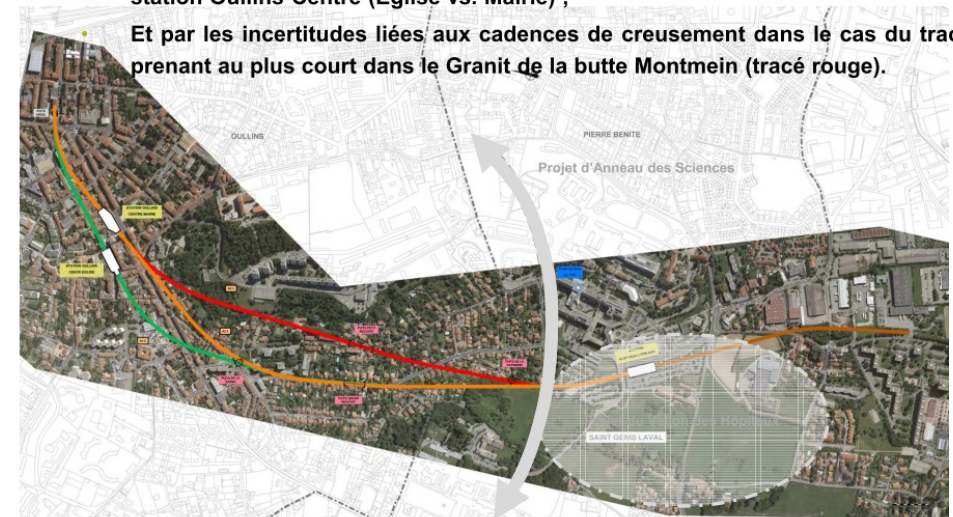


La ligne B du métro de Lyon :

- 1978 – Charpennes à Part Dieu
- 1981 – Extension à Jean Macé
- 2000 – Extension à Stade de Gerland
- 2013 – Extension à Gare d'Oullins et passage du Rhône
- Une extension vers les Hôpitaux Sud mentionnée au SCOT

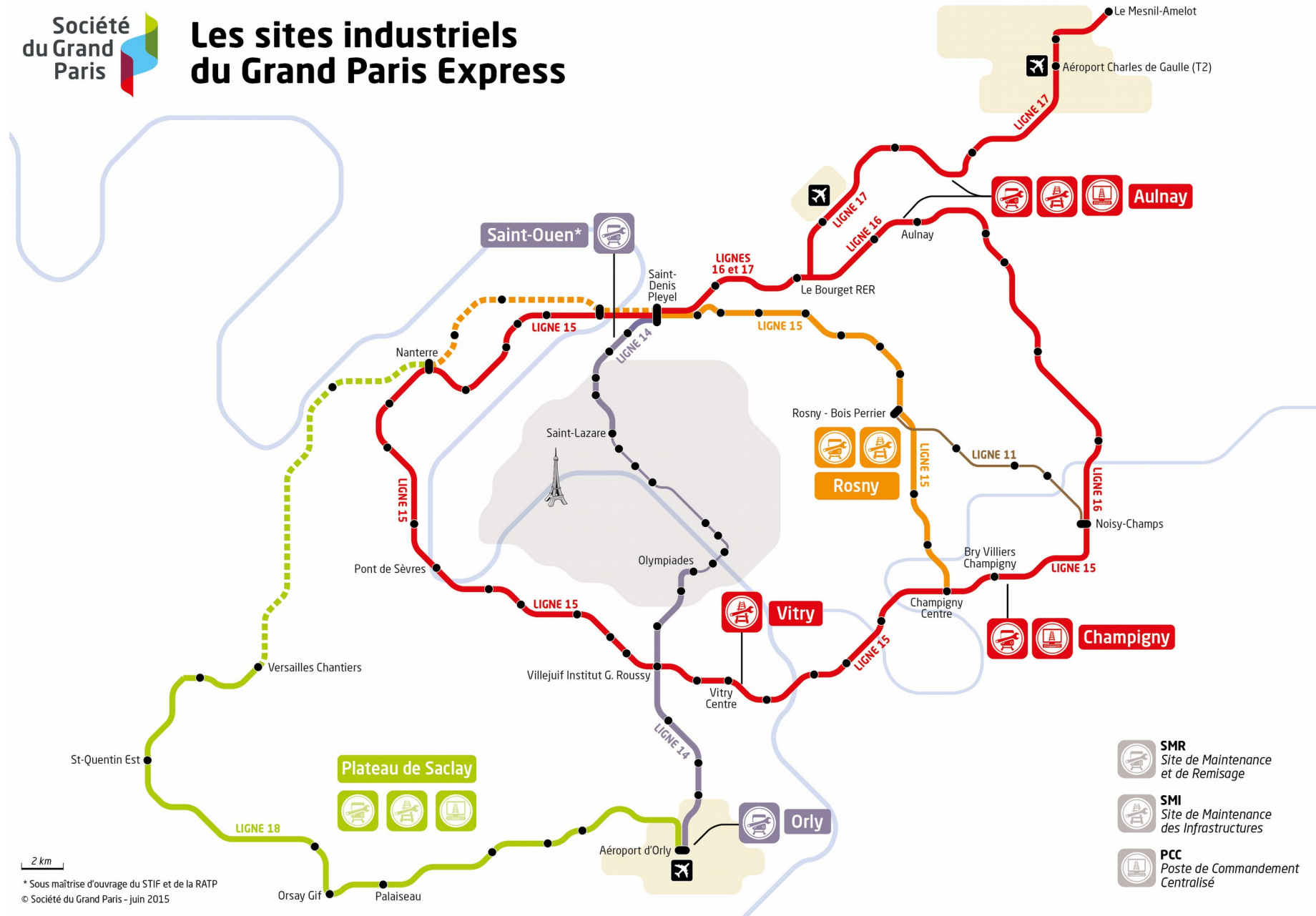


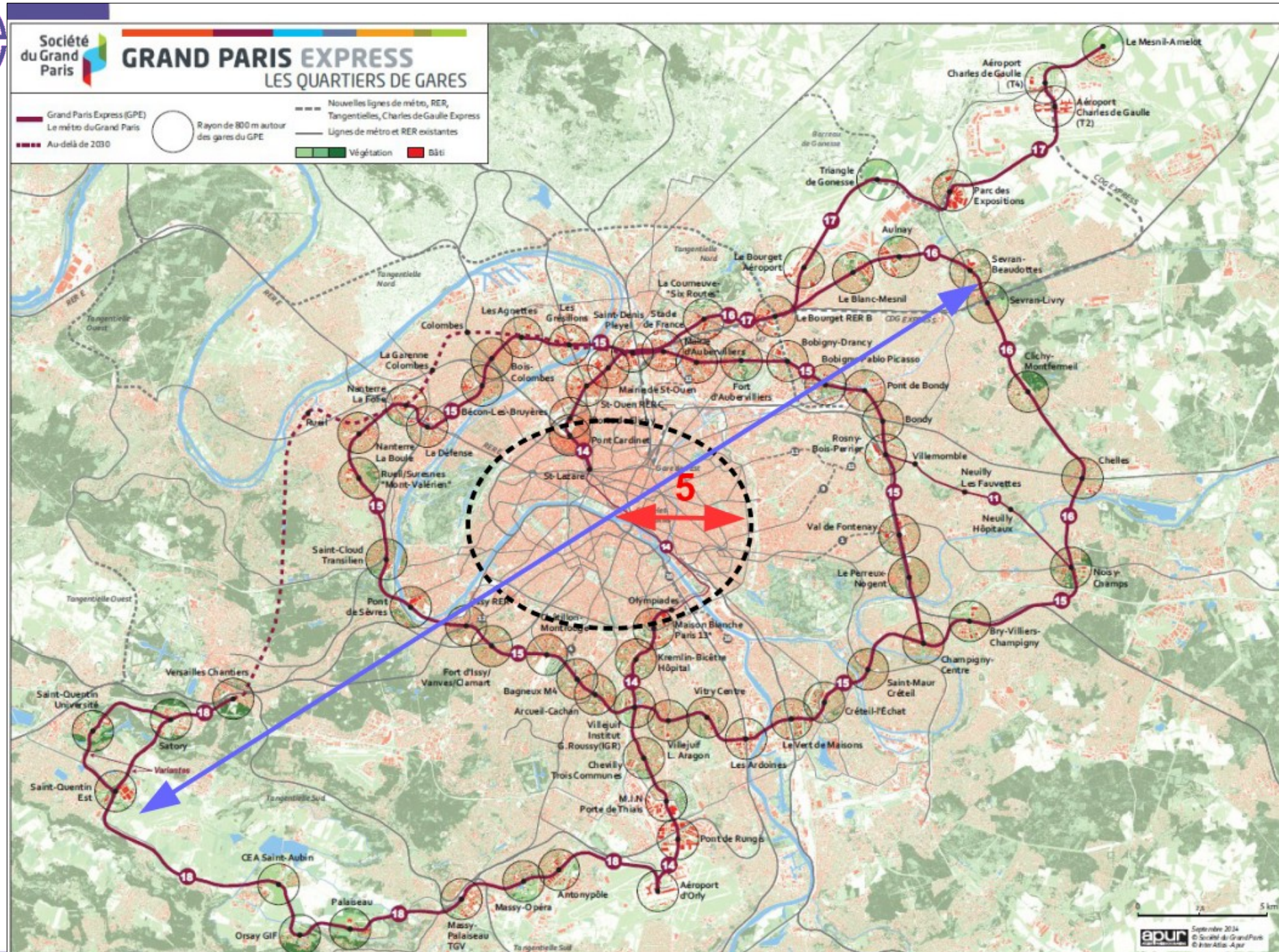
- Trois variantes de tracés ont été retenues et finement étudiées lors des études préliminaires, elles sont définies par une variable majeure : le choix de la station Oullins-Centre (Eglise vs. Mairie) ;
Et par les incertitudes liées aux cadences de creusement dans le cas du tracé prenant au plus court dans le Granit de la butte Montmeim (tracé rouge).





Les sites industriels du Grand Paris Express



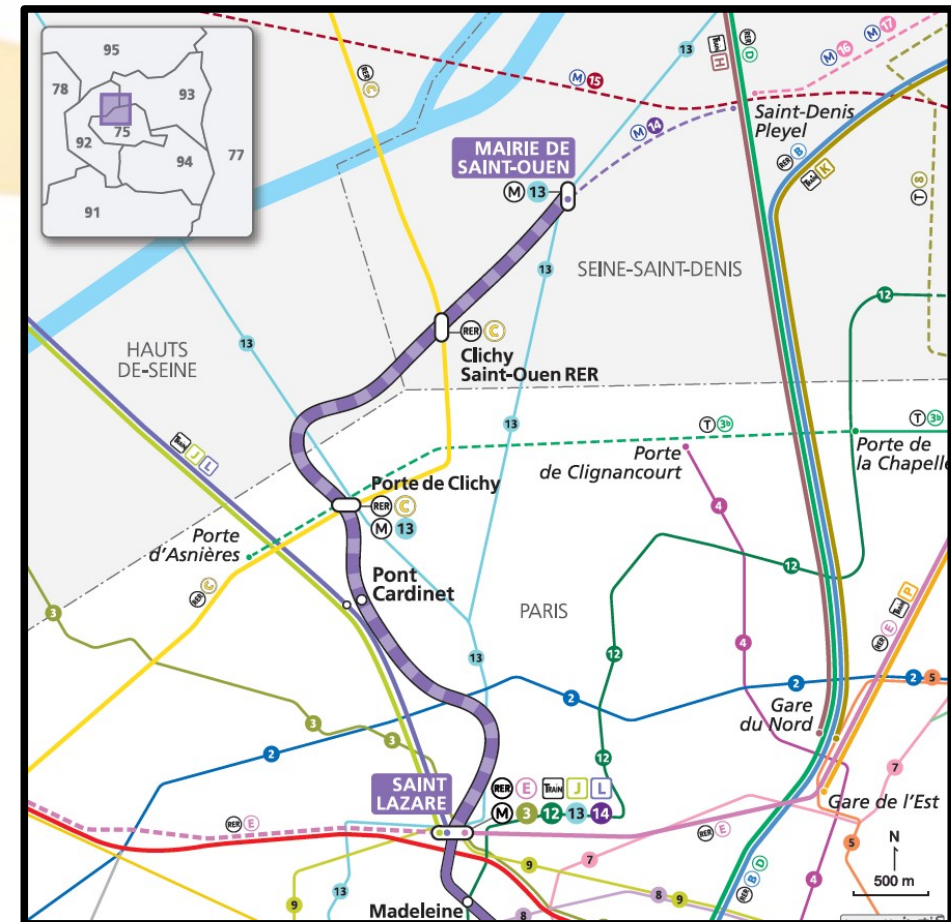


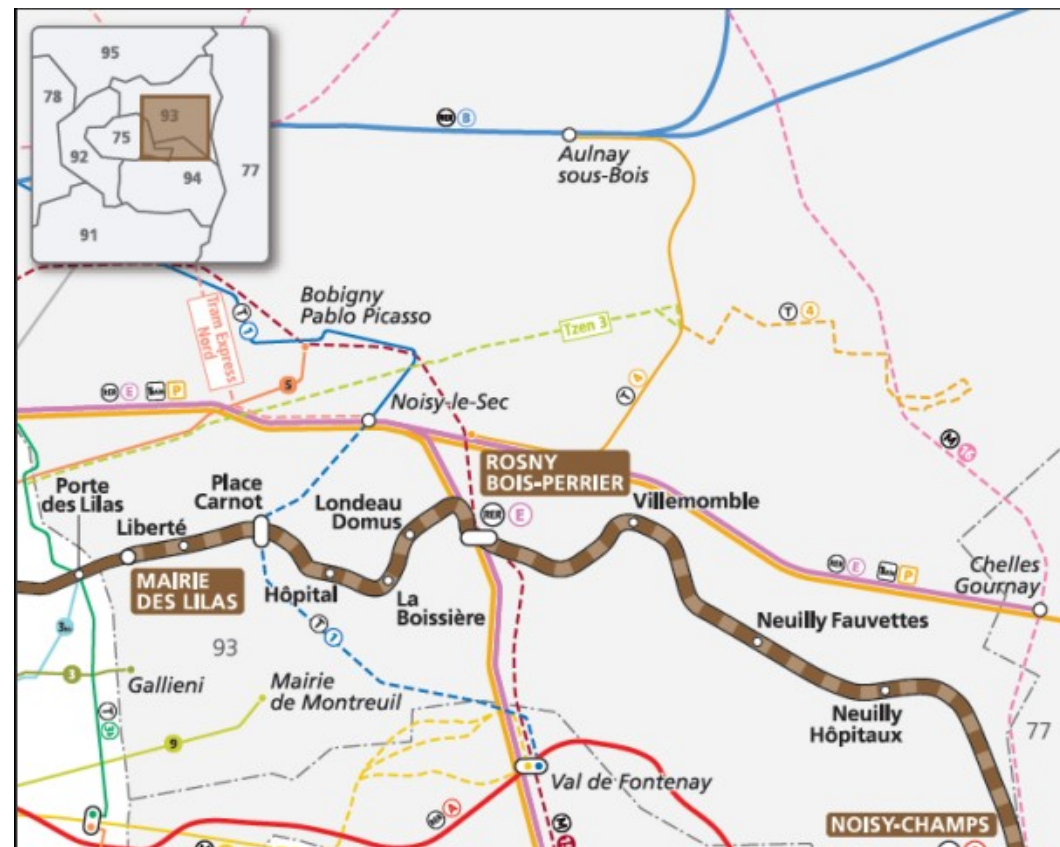




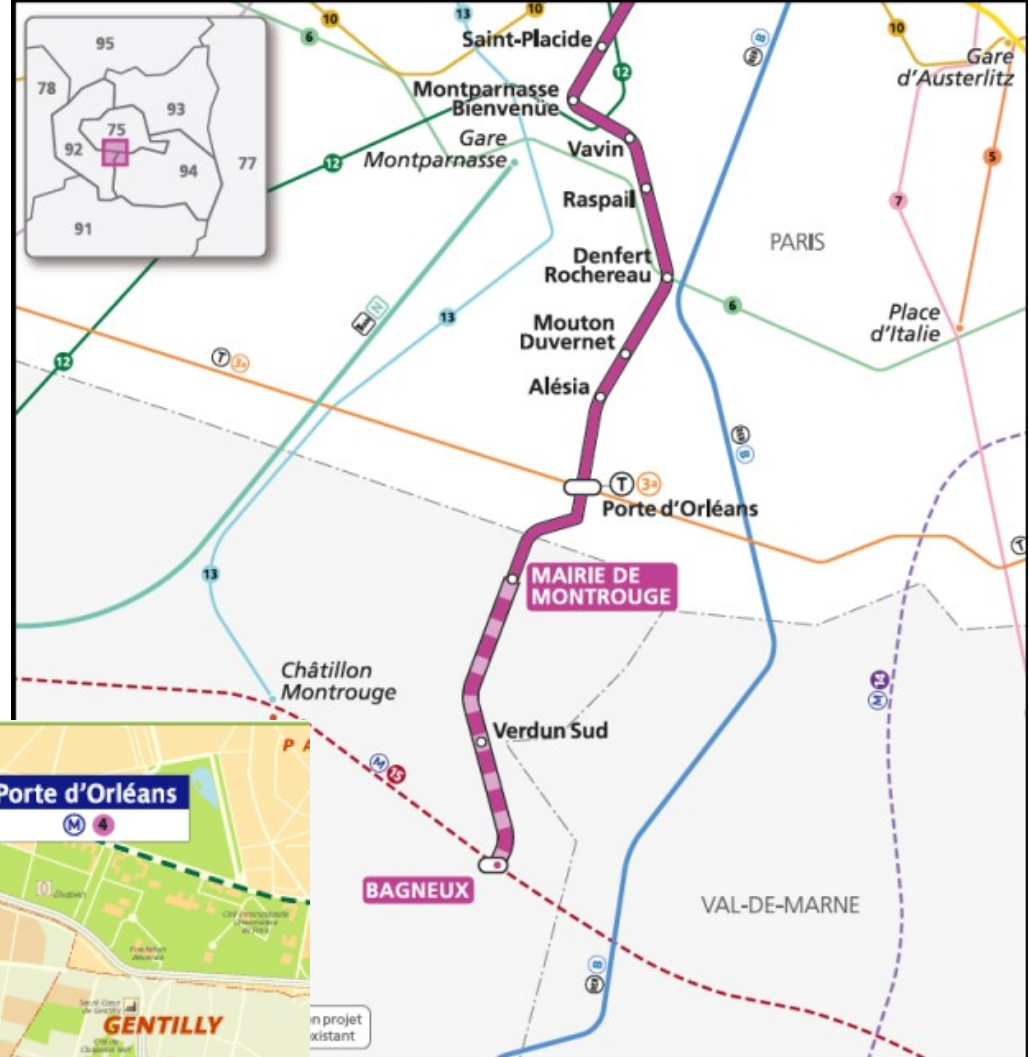
Ligne 14 prolongée

- En 2023 à Pleyel
- En 2024 à Orly (annonces du Premier Ministre du 9 juillet)

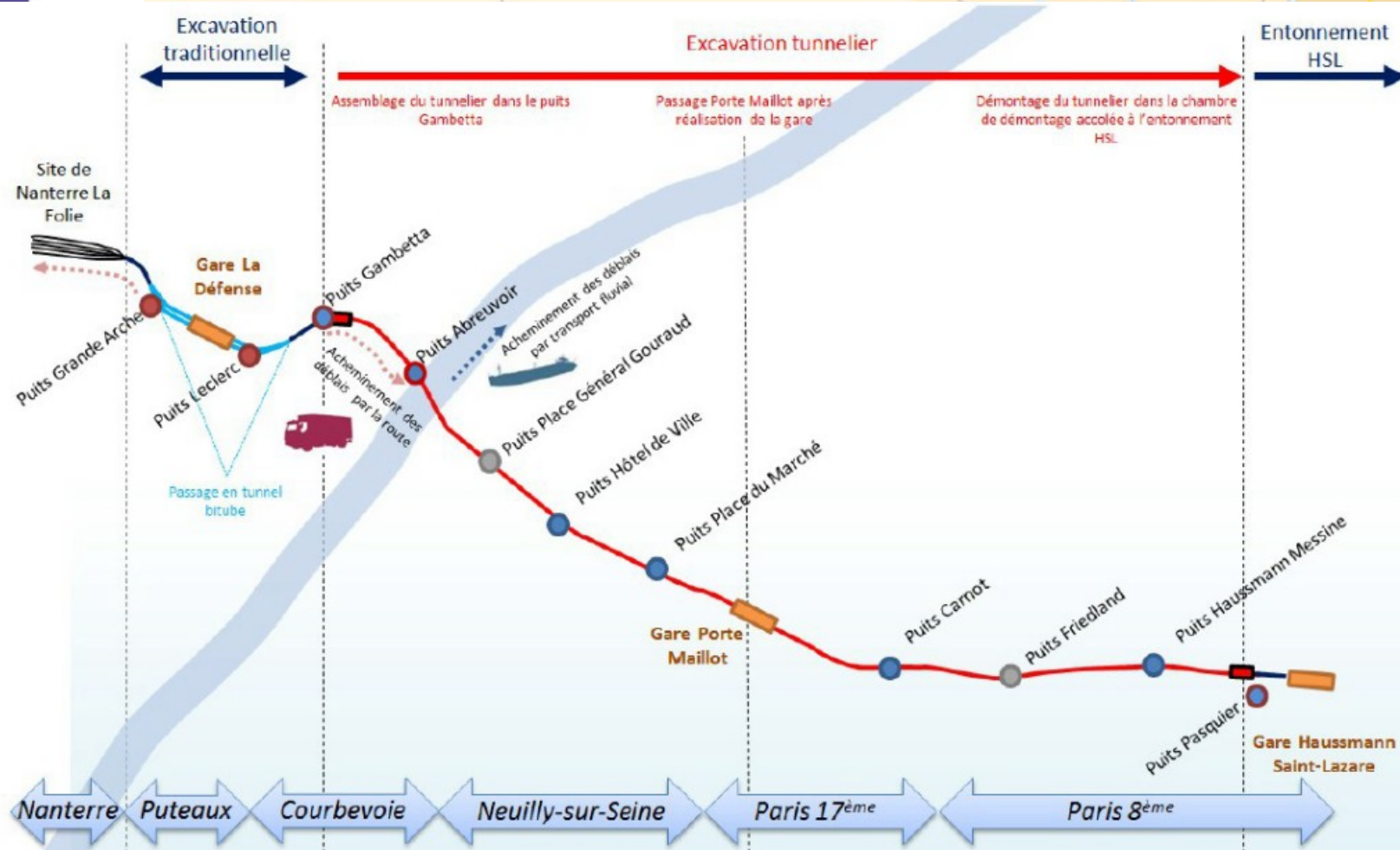




IESF – Les projets : ligne 4

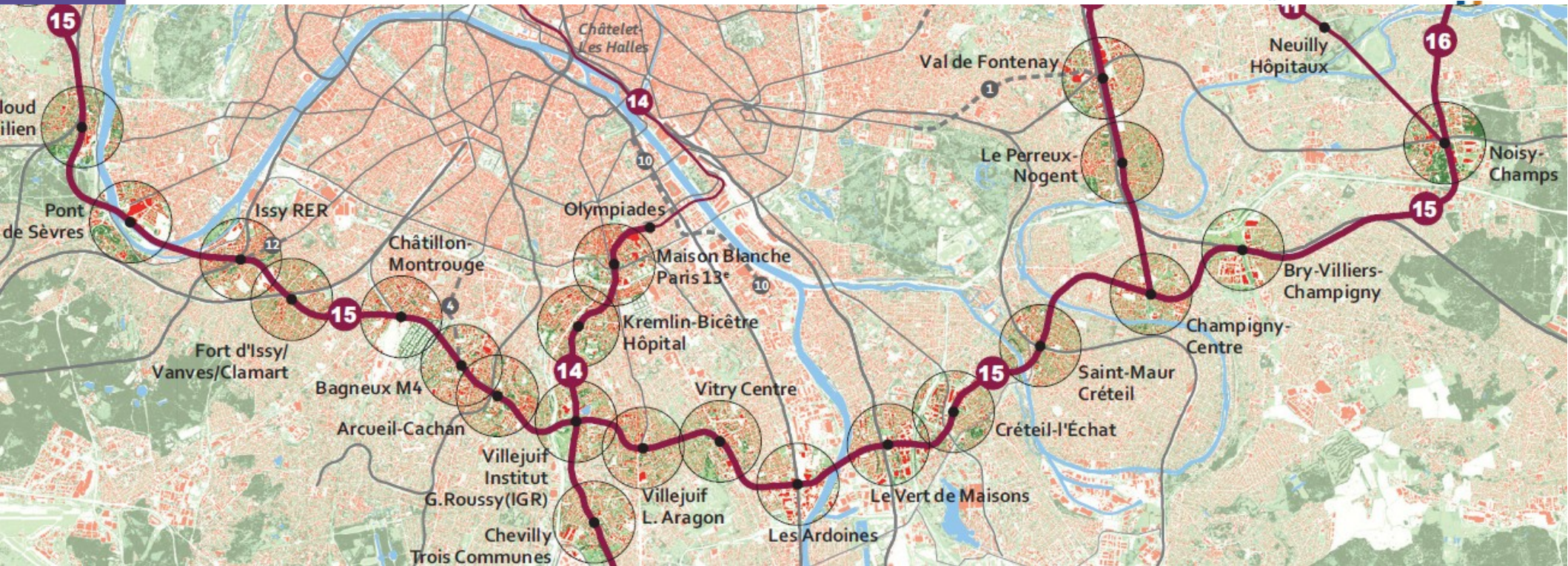
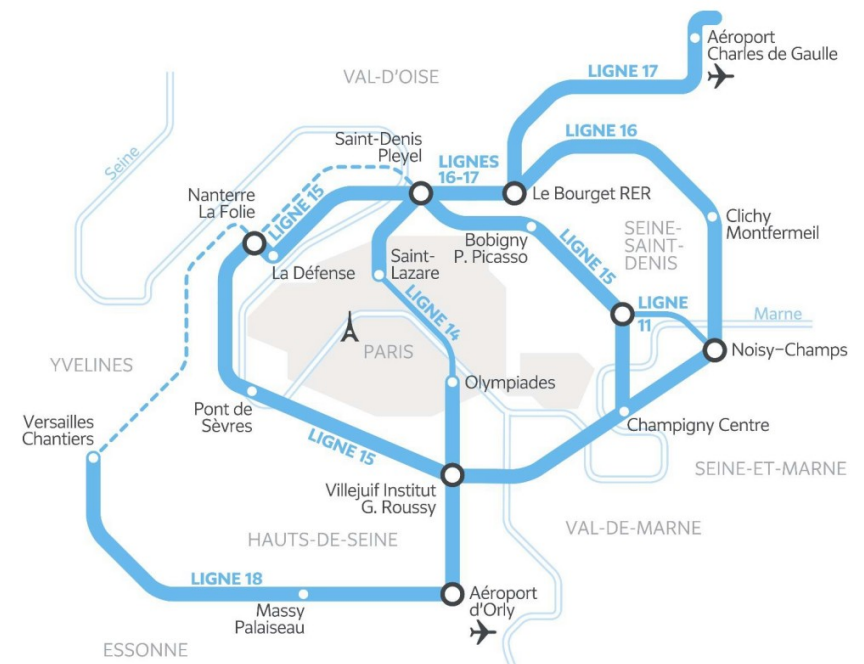


IESF – Les projets : EOLE



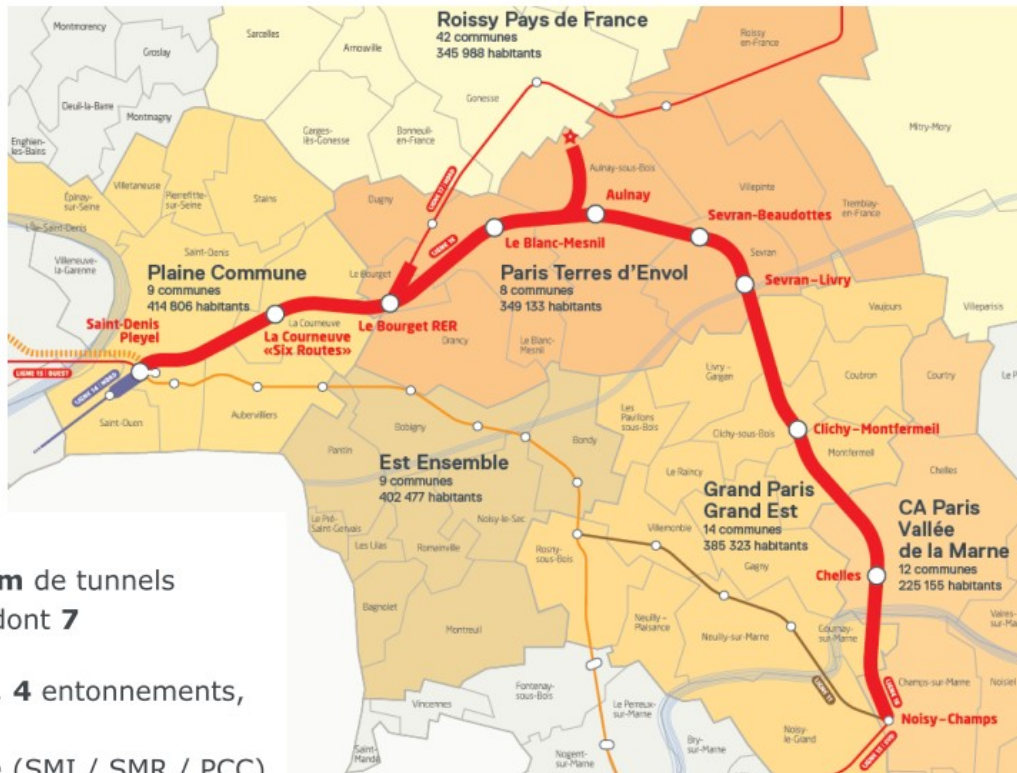


La ligne 15 sud



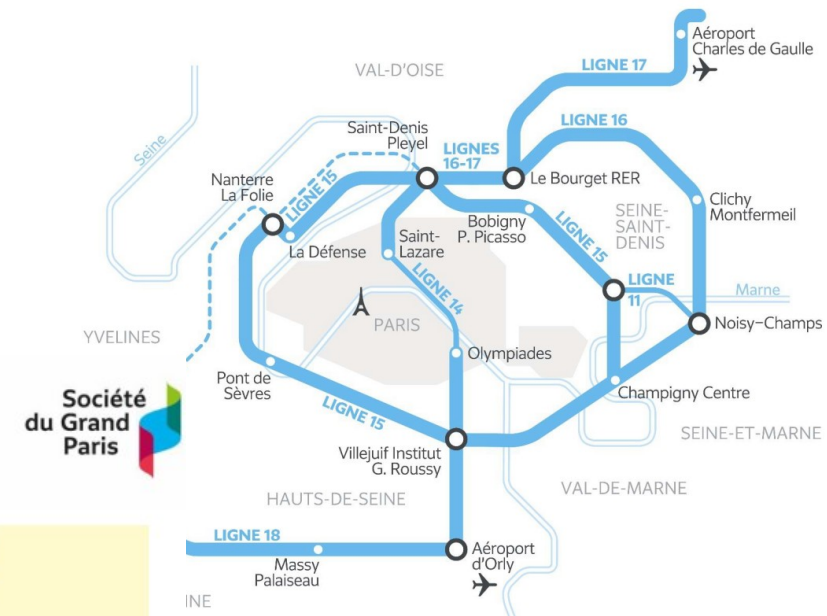


La ligne 16



Chiffres-clés :

- 28 km** de ligne, **36 km** de tunnels
- 9** gares souterraines dont **7** interconnectées,
- 33** ouvrages annexes, **4** entonnements,
- 1** boîte gare
- 1** site de maintenance (SMI / SMR / PCC)
- 20** communes concernées
- 4** EPT, **1** CA, **3** Départements
- 5** Interfaces GPE : 15Sud, 15Est, 15Ouest, 17Sud, 14Nord
- Matériel roulant Ligne 16 : **54 m**





La ligne b du métro automatique de Rennes Métropole

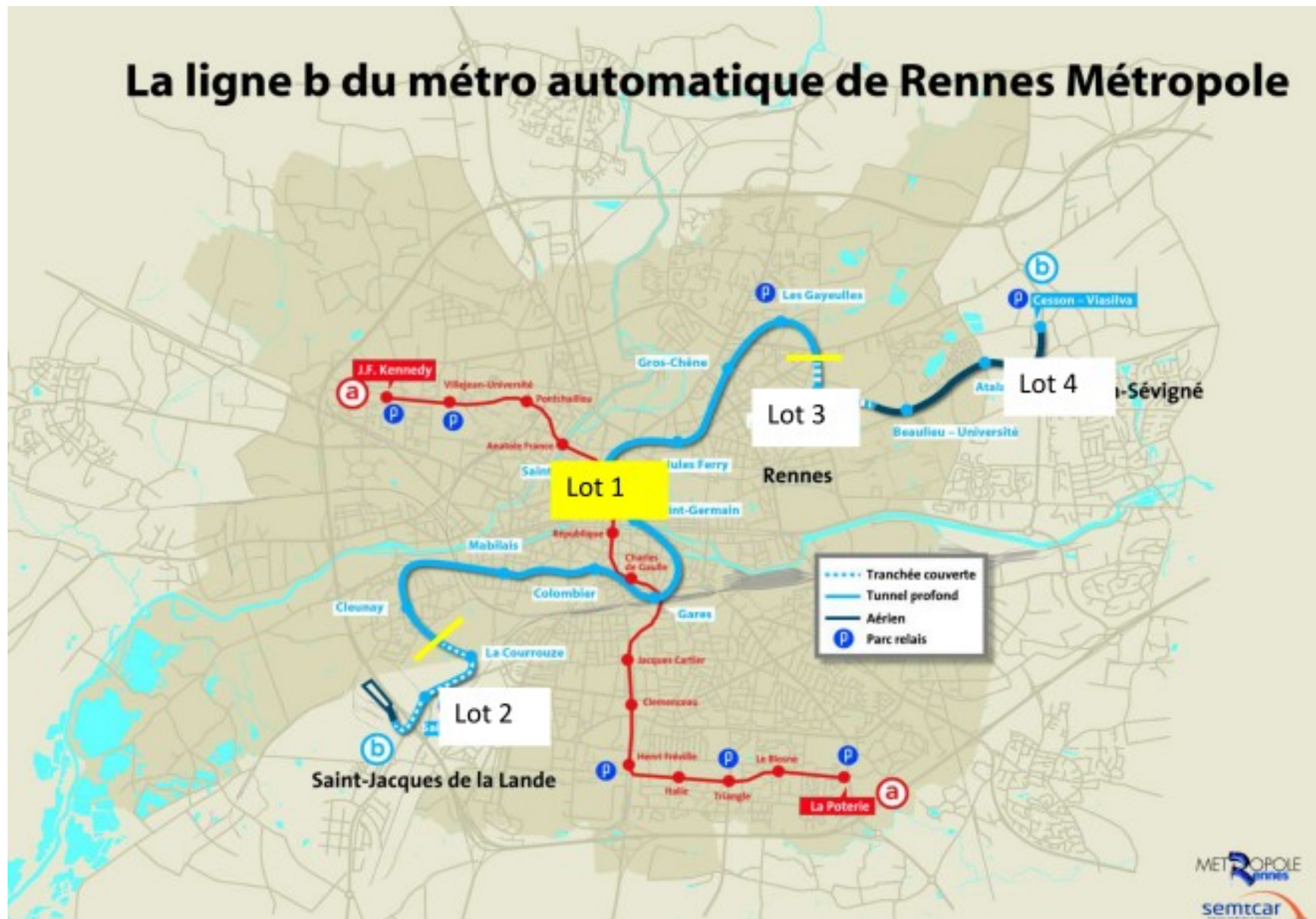




Fig. 1 – Plan des lignes 1 (en service) et 2 (en construction) du tram de Nice

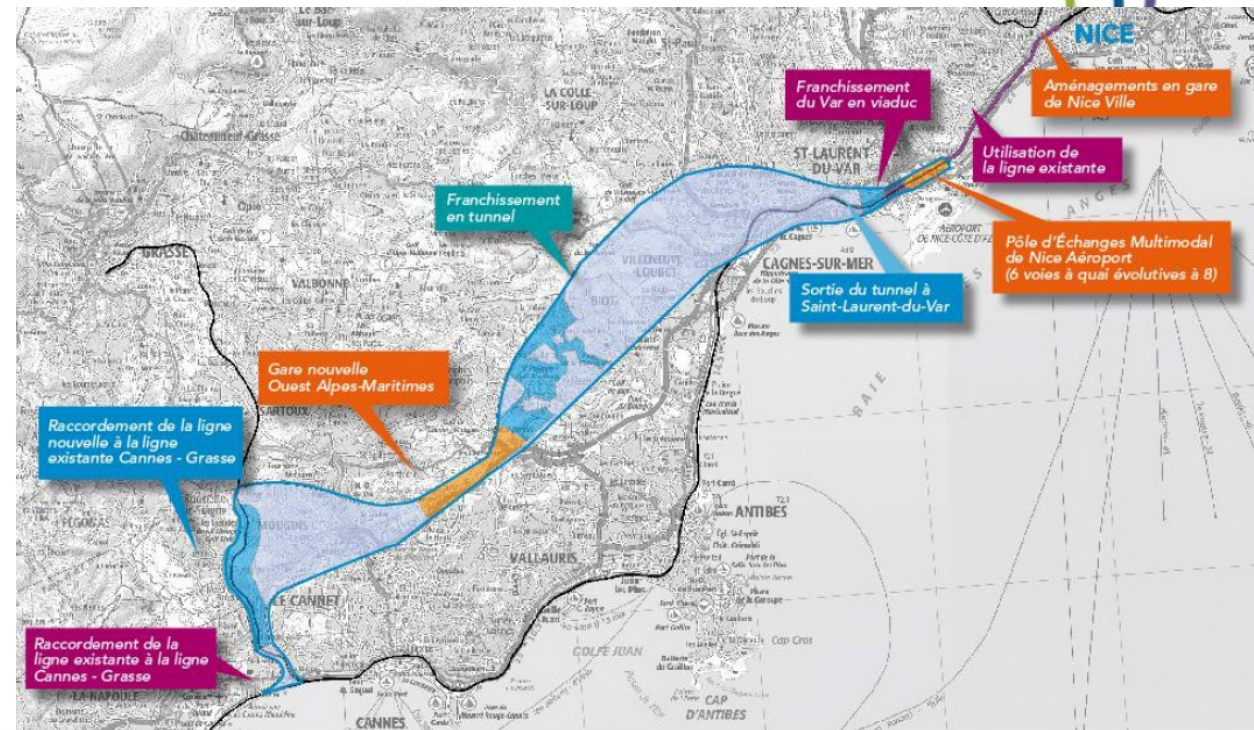
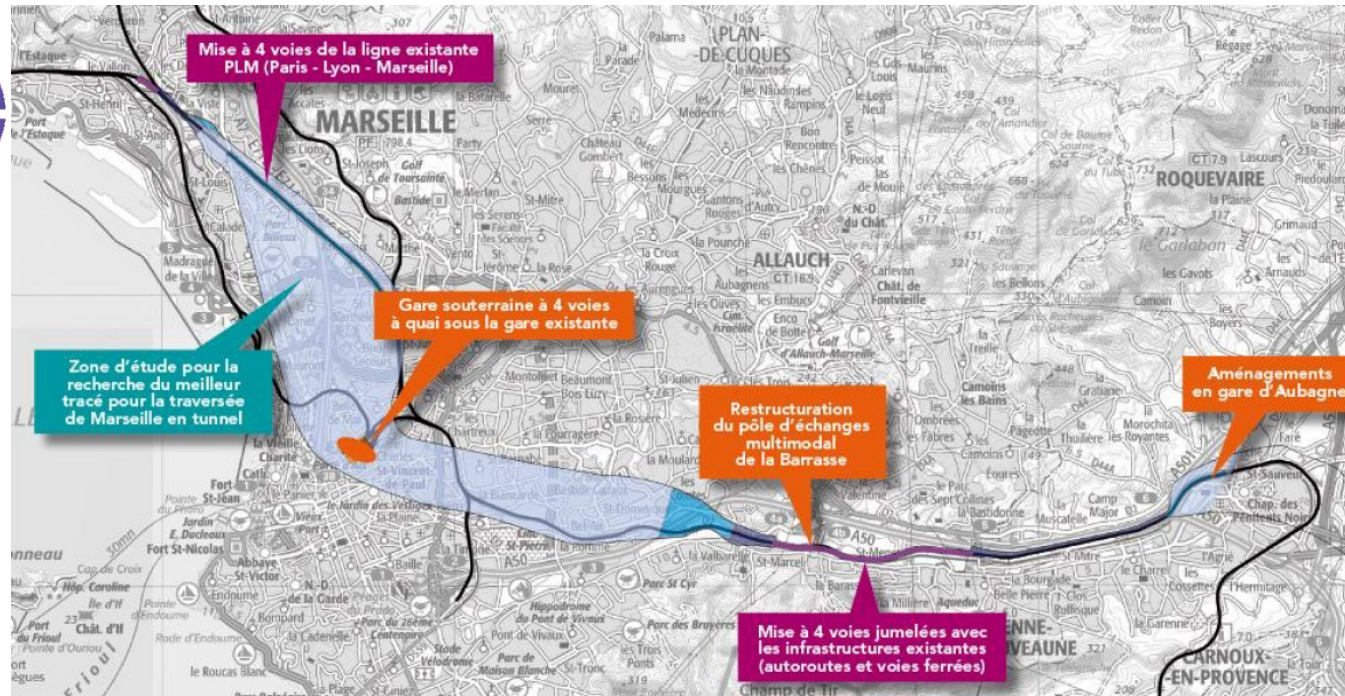


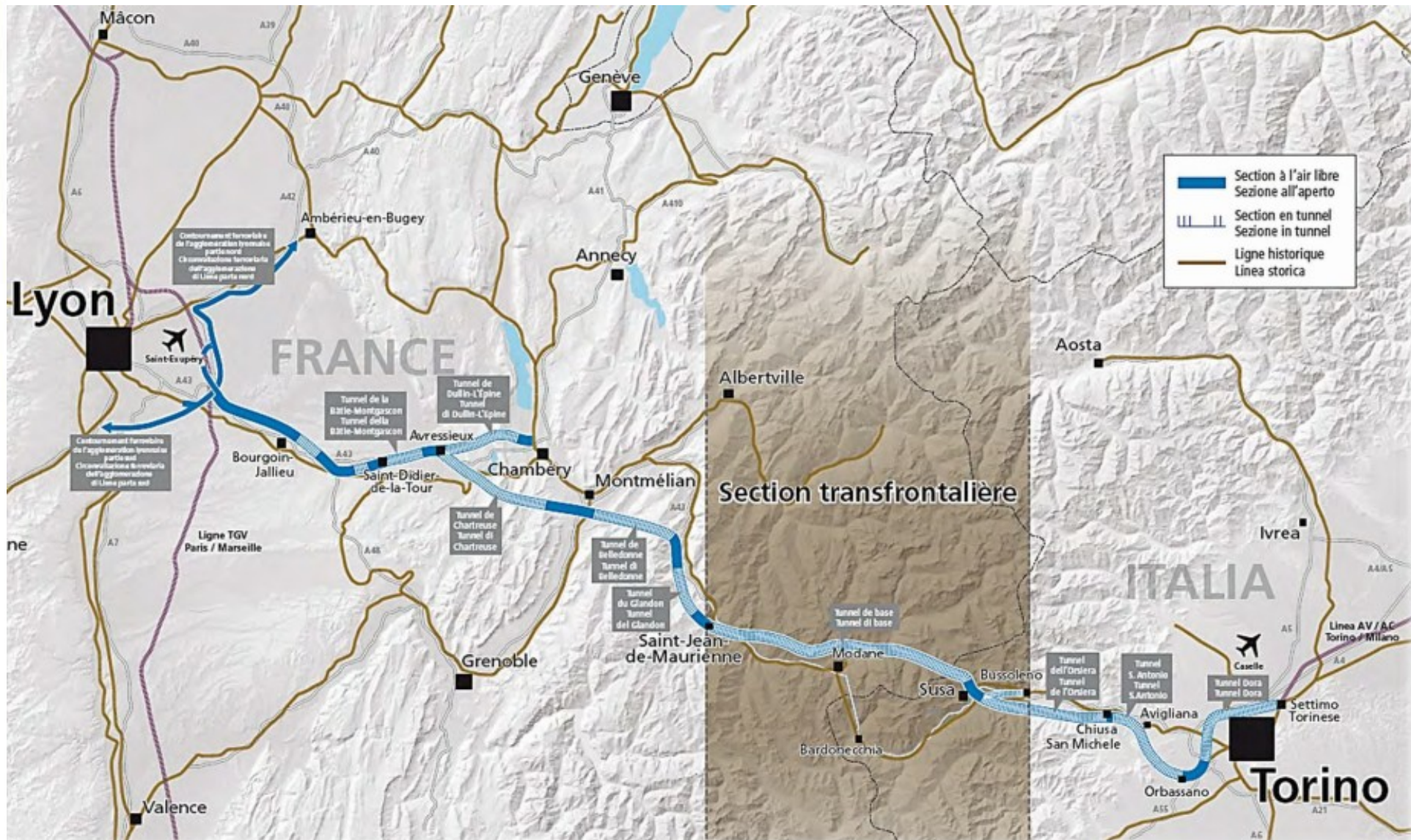
Ligne Nouvelle Provence Côte d'Azur

Phasage du projet en « priorités »



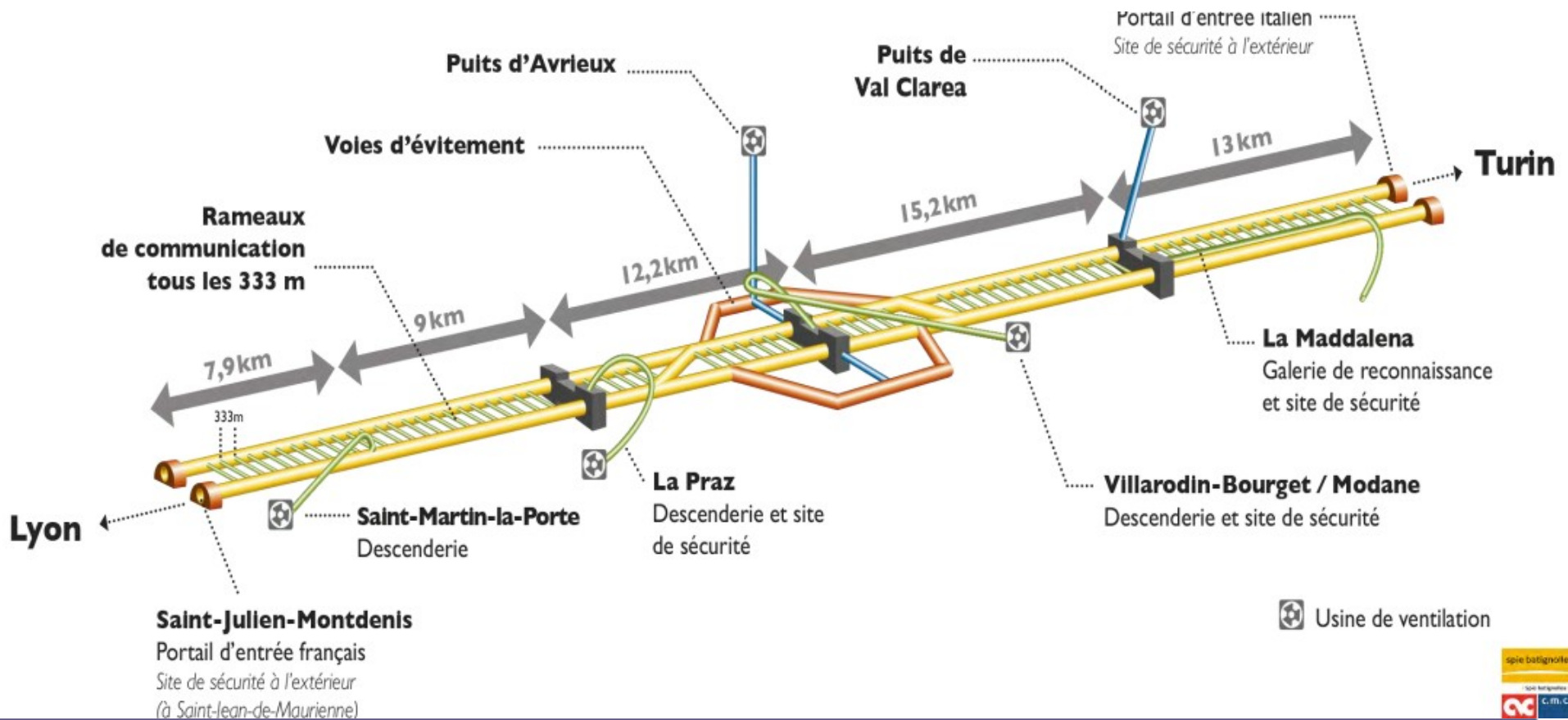
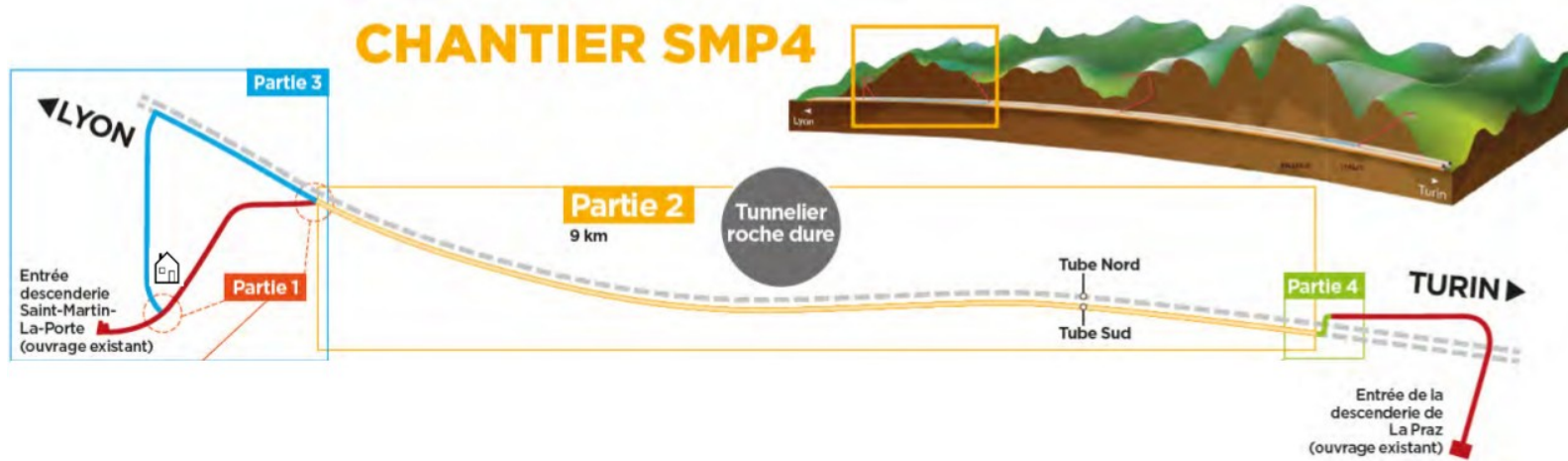
IESF – Les projets







CHANTIER SMP4





Tunnels urbains

Une expansion considérable des chantiers de transport urbain dans les dix prochaines années :

- **Près de 200 km de tunnels à construire de 2015 à 2025**
 - **Rennes**
 - **Ligne B**
 - **Nice**
 - **Ligne Ouest Est**
 - **Paris**
 - **EOLE RER**
 - **Prolongements des lignes 1, 11, 12, 14**
 - **Les lignes nouvelles du Grand Paris 15, 16, 17, 18**
 - **Lyon**
 - **Prolongement ligne B**



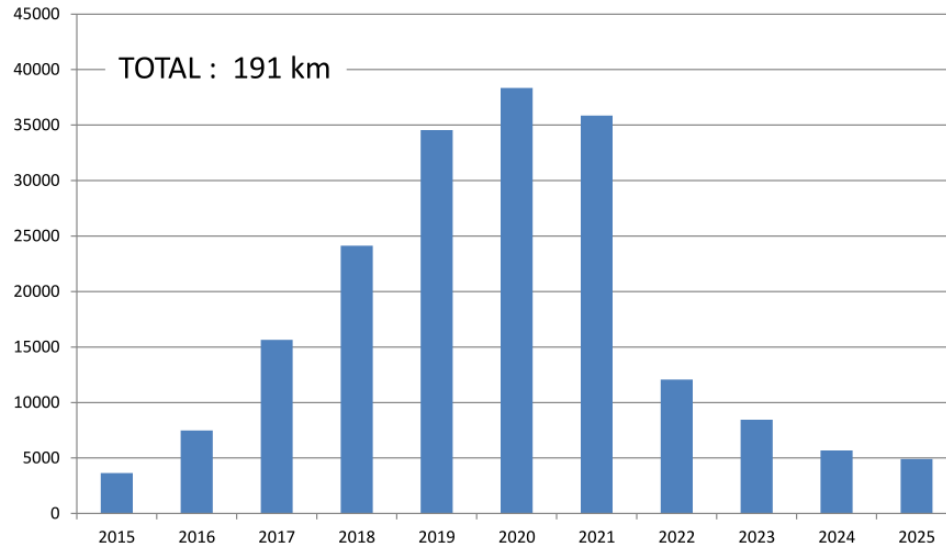
20 tunneliers en 15 ans

Année	Projet – Creusement au tunnelier D > 5m	Type	Diamètre
2000	SOCATOP - tunnel de bouclage de l'A86 - VL1 - Rueil vers A13	Multimode	11,565
2001	Métro de toulouse - Ligne B lot 3	Bras d'abattage – Air	5,28
2002	Métro de toulouse - Ligne B lot 2	EPB	7,785
2002	Métro de toulouse ligne B lot 4	Slurry	7,78
2003	Métro de Toulouse – Ligne B Lot 5	EPB	7,72
2005	Tunnel du Perthus - LGV Perpignan Figueras	Double Shield	9,98
2005	Galerie de sécurité du tunnel Maurice Lemaire	Hard Rock TBM	6
2005	SOCATOP - tunnel de bouclage de l'A86 - VL2 - Velizy vers A13	Multimode	11,565
2005	Tunnel du mont Sion - A41	Single Shield	11,875
2006	Métro de Marseille - Prolongement de la ligne 1	EPB	9,755
2006	TIMA	EPB	7,75
2009	Métro de Paris - Prolongement de la ligne 12	EPB	9,15
2009	Galerie de rejet des eaux de l'EPR de Flamanville	Slurry	6,11
2010	Métro de Lyon - Prolongement de la ligne B	Slurry	9,47
2011	Tunnel de Saverne	Multimode	10,01
2011	Galerie de sécurité du tunnel du fréjus - tunnelier coté France	Single Shield	9,66
2011	Andra de bure	Bras d'abattage – Air	6,27
2013	Tramway T6 Châtillon-Viroflay	EPB	9,17
2015	Métro de Rennes ligne B	EPB	9,44
2015	Métro de Paris – Prolongement ligne 14	EPB	8,92

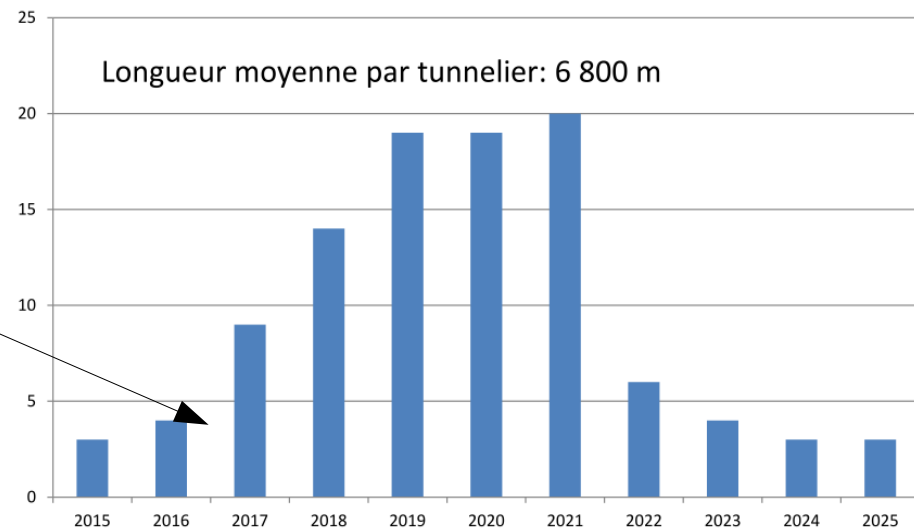


Et pour les 10 prochaines années, les tunnels urbains

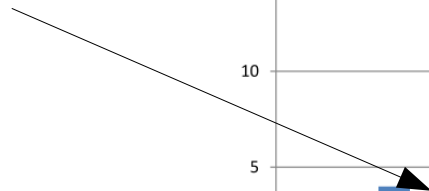
Longueurs creusées annuelles



Nombre de tunneliers en service



Janvier 2017 :
 Rennes = 1
 L14 nord = 2
 Nice = 1





Autres tunnels

Autres projets qui alimenteront la demande en tunneliers en France dans les dix prochaines années :

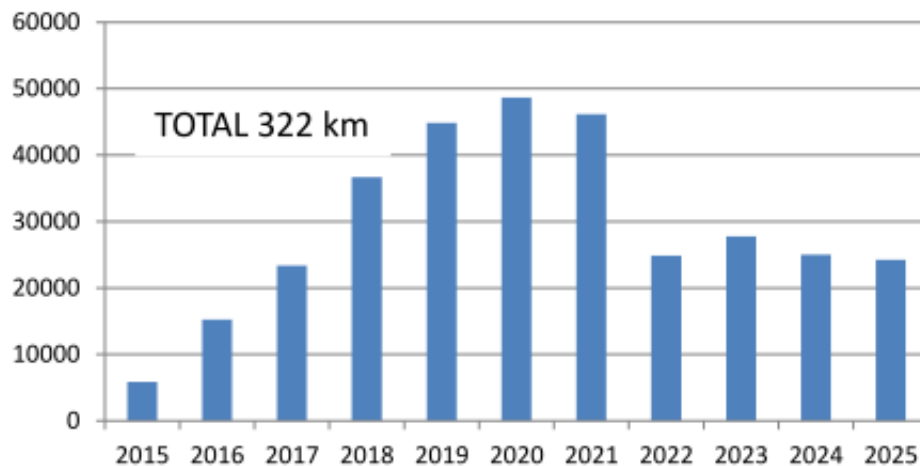
- Lyon – Turin (88 km de tubes dans le transfrontalier)
- LNPCA (10 km Marseille et 24 km Nice de bitubes)
- Nœud fer. lyonnais (10 km de bitubes)
- Anneau des sciences – Lyon (15 km de 2*2 voies)
- CIGEO (40 km de galeries en phase 1)





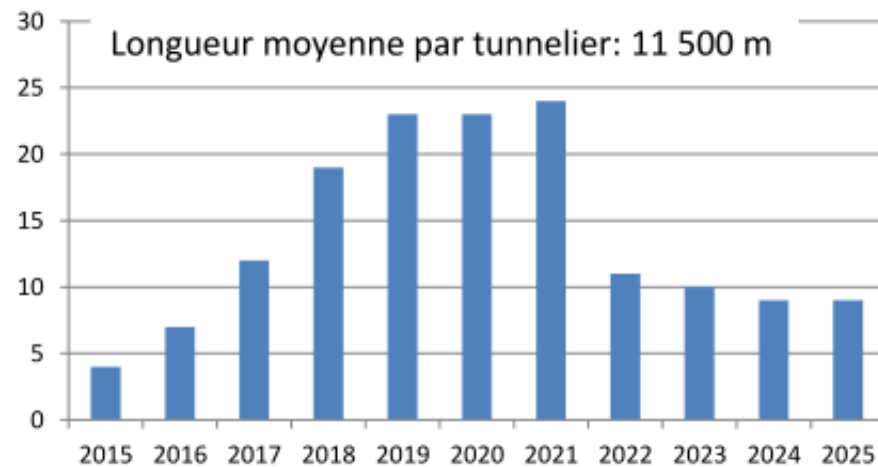
Avec les tunnels non urbains

Longueurs creusées annuelles



Janvier 2017 :
 Rennes = 1
 L14 nord = 2
 Nice = 1
 LMP4 = 1
 Gavet = 1

Nombre de tunneliers en service





Autres tunnels

Et d'autres perspectives de projets plus lointaines (?) :

- Ouvrages d'accès au Lyon – Turin - (\pm 30 km de tunnels en phase 1)
- CFAL (1500m de tunnel à Grenay)
- LNPN (17 km de bitube entre St Lazare et Mantes)
- Nœud fer. lyonnais (10 km de bitubes)

- A45 (3,7 km de bitubes) ?
- Tunnel du Semnoz (3 km) ?

- CIGEO (40 km de galeries en phase 1)





1/ les projets

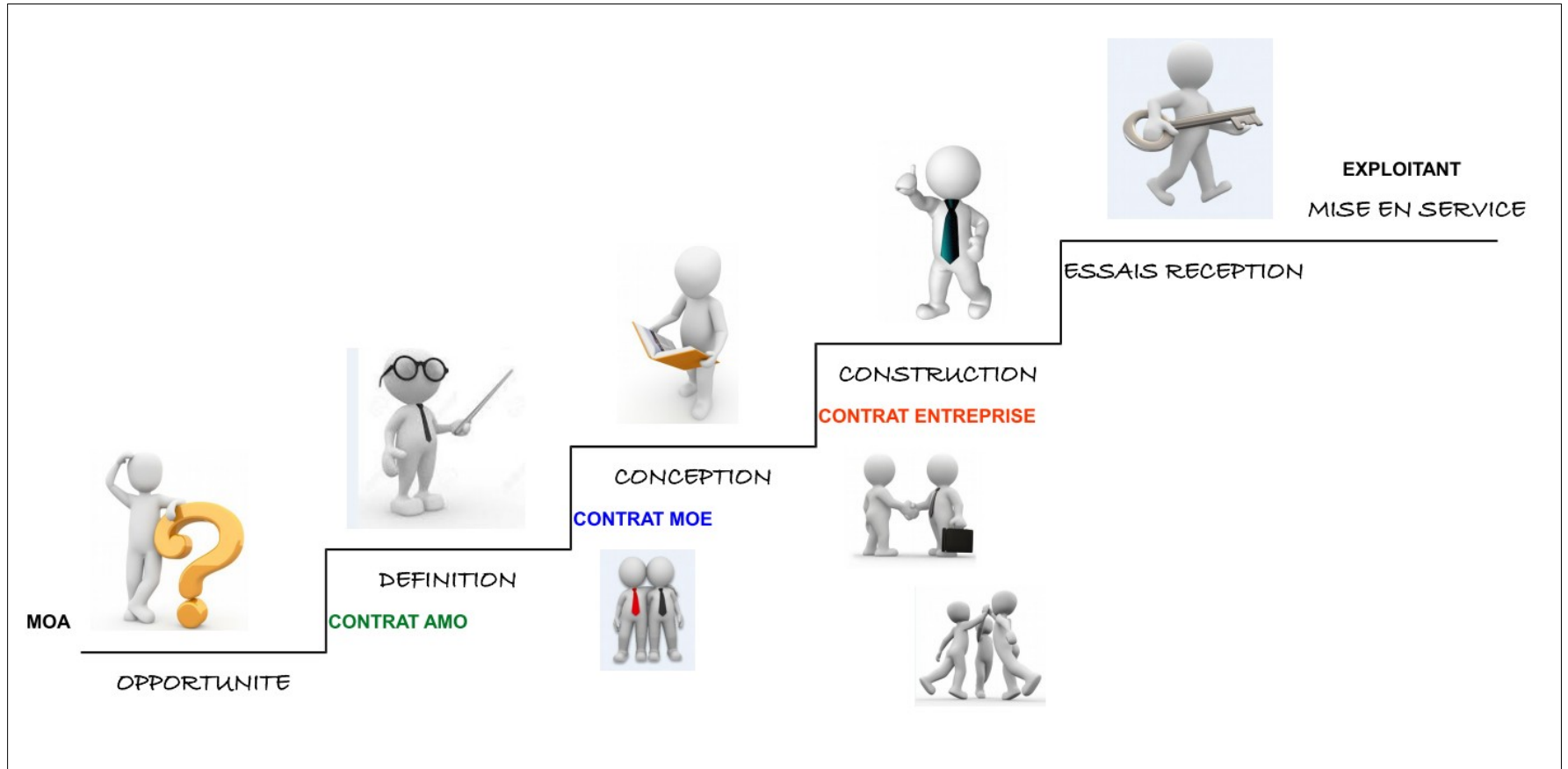
2/ les acteurs

3/ les sites

4/ les processus

5/ les technologies







Les Maîtres d'ouvrage

Le GPE : Grand Paris Express

6 lignes de métro : 4 nouvelles (15, 16, 17 et 18) et 2 prolongements (11 et 14), par SGP/RATP

Le NGP : Nouveau Grand Paris

GPE + prolongements 2 lignes de métro (4 et 12), tramway, etc, par STIF/RATP

et EOLE2 : prolongement RER E, par SNCF Réseau





GPE

Un maître d'ouvrage dédié

La Société du Grand Paris est un établissement public créé par l'État pour réaliser le nouveau métro automatique du Grand Paris

Elle pilote un projet de réseau de transport, le Grand Paris Express, dont le tracé a été précisé par un débat public qui bénéficie aujourd'hui d'une très forte adhésion des Franciliens et de leurs élus

La SGP est un établissement public placé sous la tutelle du ministère du Logement et de l'égalité des territoires, ainsi que du ministère de l'Ecologie, du développement durable et de l'énergie

et les ministères de l'Economie, du Redressement productif et du Numérique et des Finances et des Comptes publics





GPE

La SGP a établi la conception et l'élaboration du schéma d'ensemble et des projets d'infrastructures composant le réseau de transport public du Grand Paris.

Elle doit également en assurer la réalisation, qui comprend notamment :

la construction des lignes, ouvrages et installations fixes,

la construction et l'aménagement des gares, y compris d'interconnexion,

l'acquisition des matériels roulants conçus pour parcourir ces infrastructures





GPE

Selon l'article 20 de la loi du 3 juin 2010, la SGP restera propriétaire des infrastructures de transport une fois construites, mais elle en confiera la gestion à la RATP. La propriété des matériels roulants sera transférée au STIF, qui les mettra à disposition des exploitants (RATP ou autres)

La collaboration entre STIF et SGP devra être étroite. L'article 15 de la loi dispose que le STIF « est associé à l'élaboration de l'ensemble des documents établis par le maître d'ouvrage [à savoir la SGP] pour la réalisation des investissements »





Pour les projets urbains, des équipes de maîtrise d'ouvrage qui ont peu d'expérience dans la construction d'ouvrages souterrains

Des organisations compliquées qui regroupent de nombreux acteurs autour de la maîtrise d'ouvrage





1/ les projets

2/ les acteurs

3/ les sites

4/ les processus

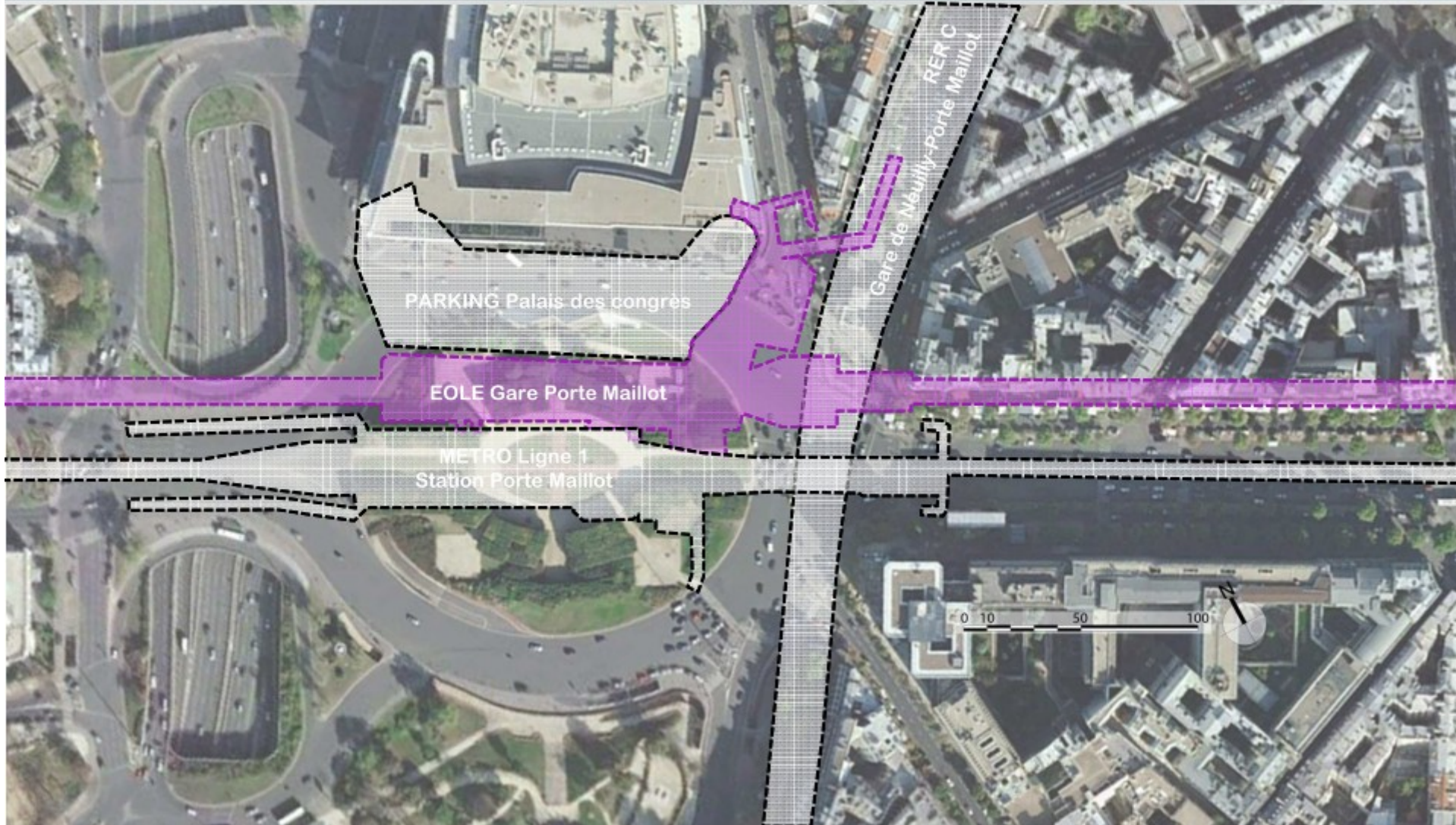
5/ les technologies





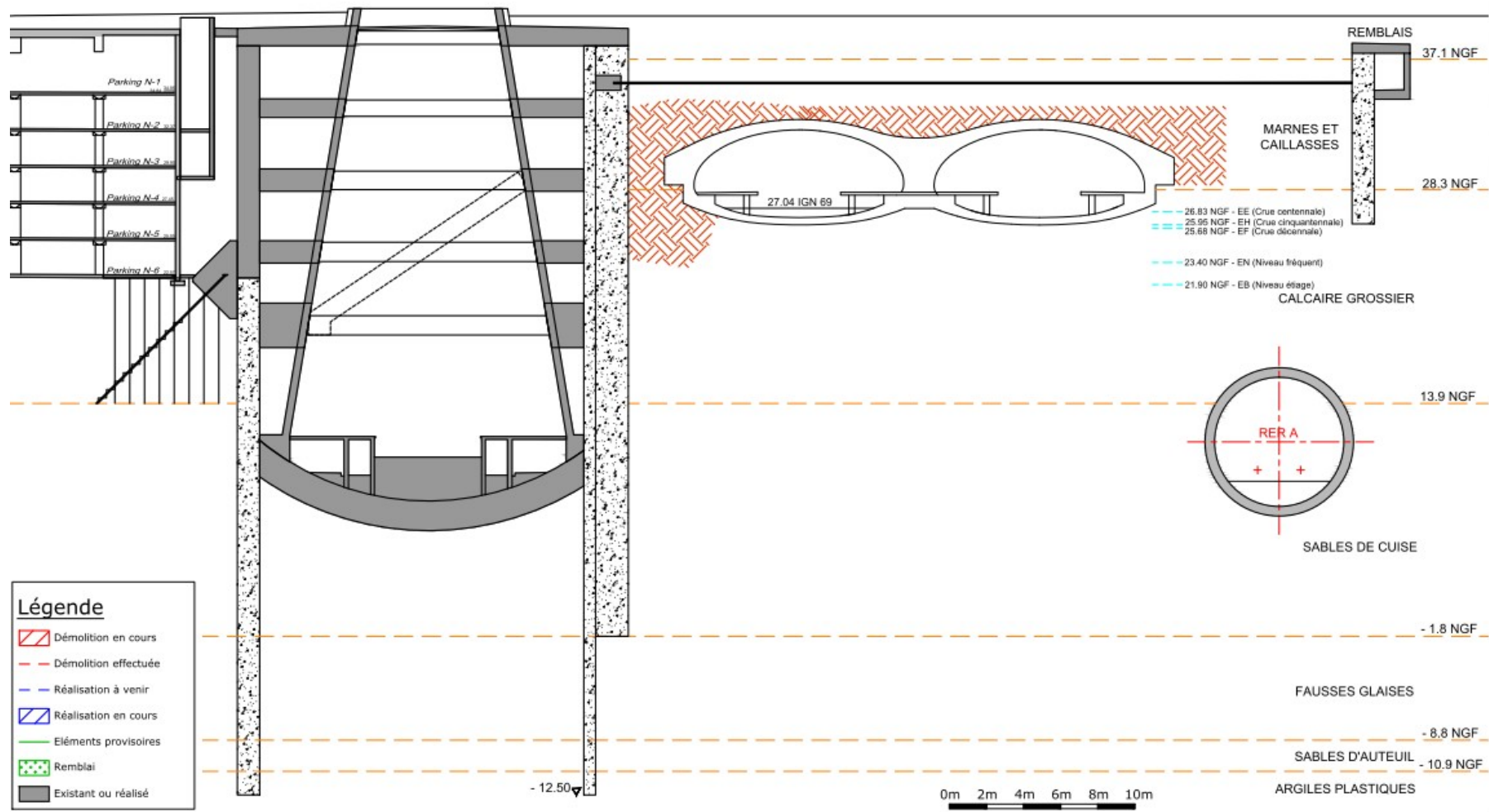
EOLE – Station Porte Maillot

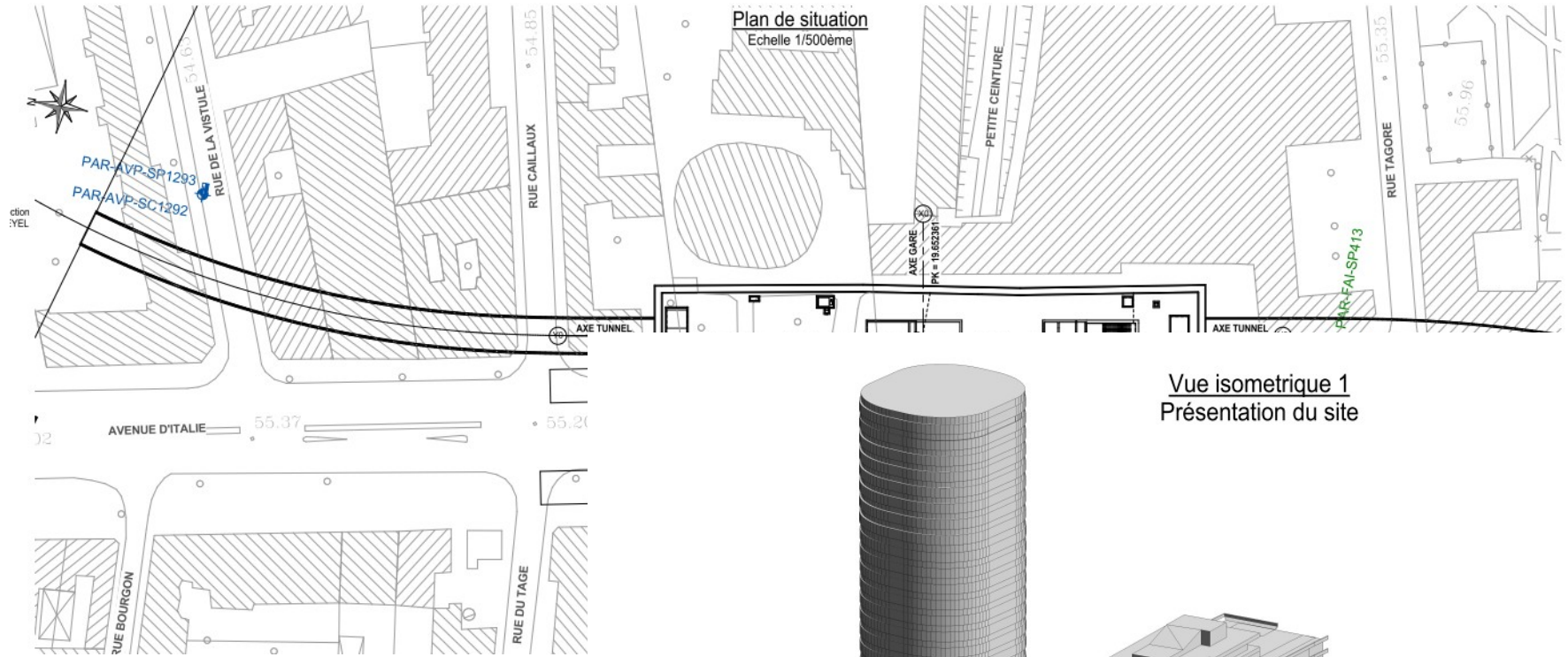
GPM - PHOTO AÉRIENNE



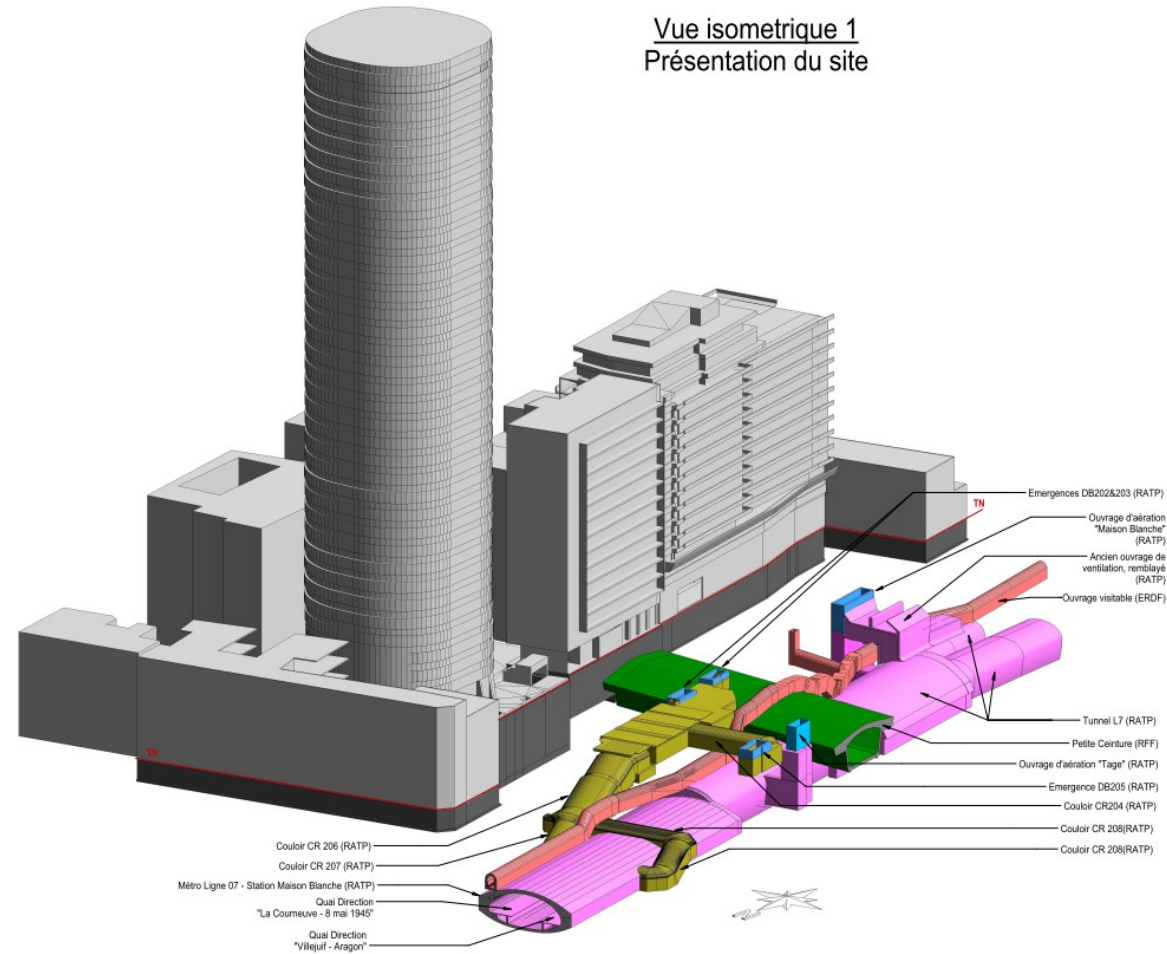
EOLE – Station Porte Maillot

ETAT FINAL



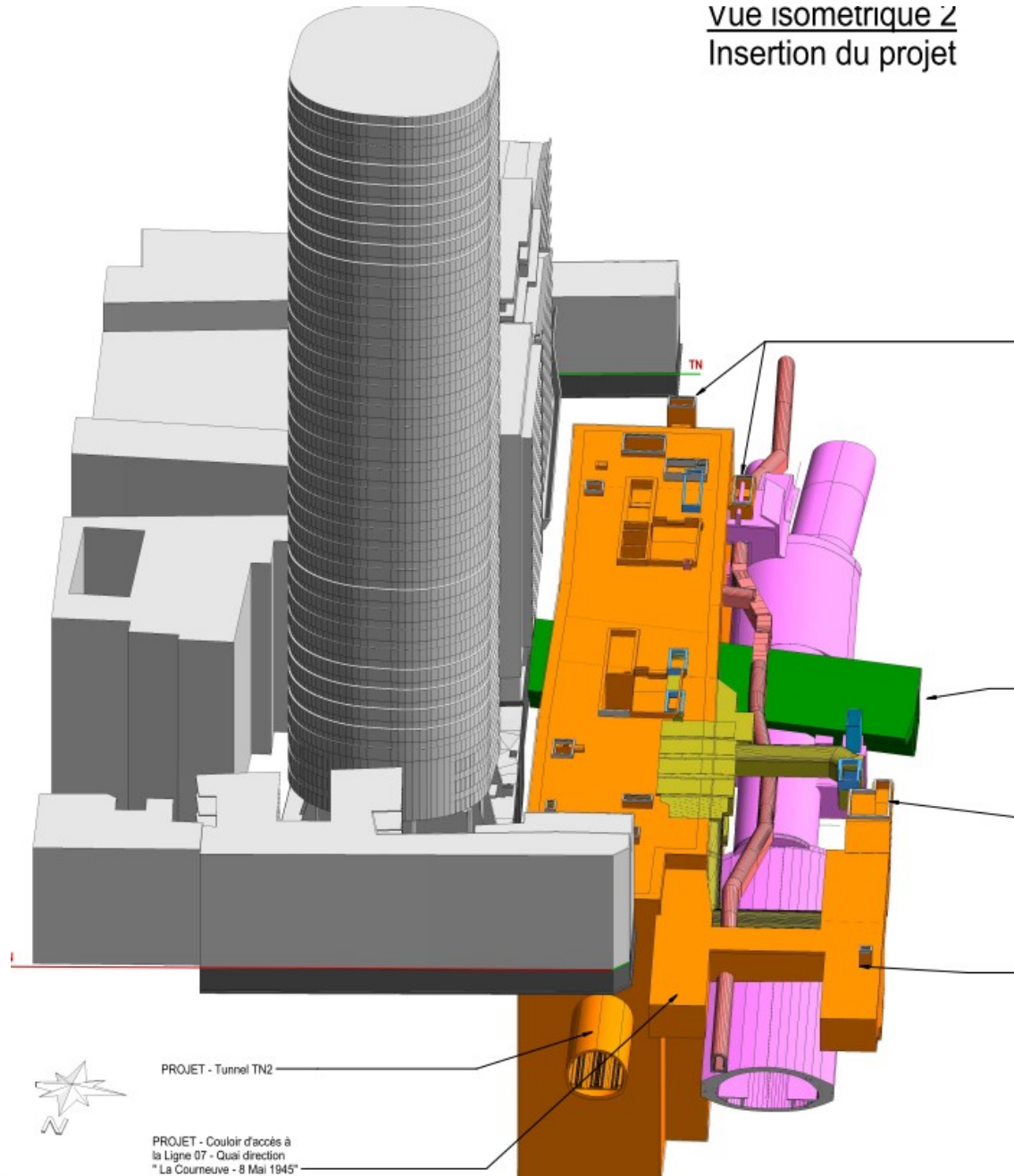


Vue isométrique 1
Présentation du site



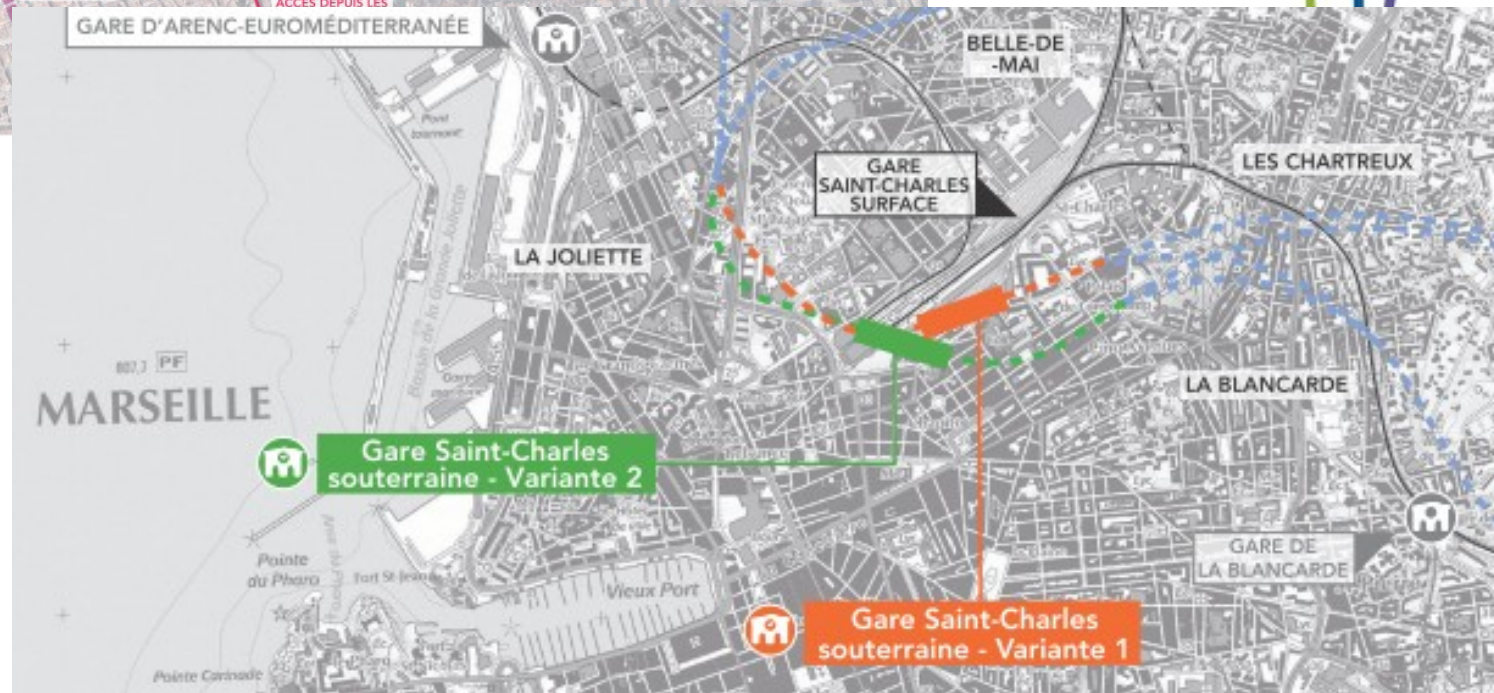
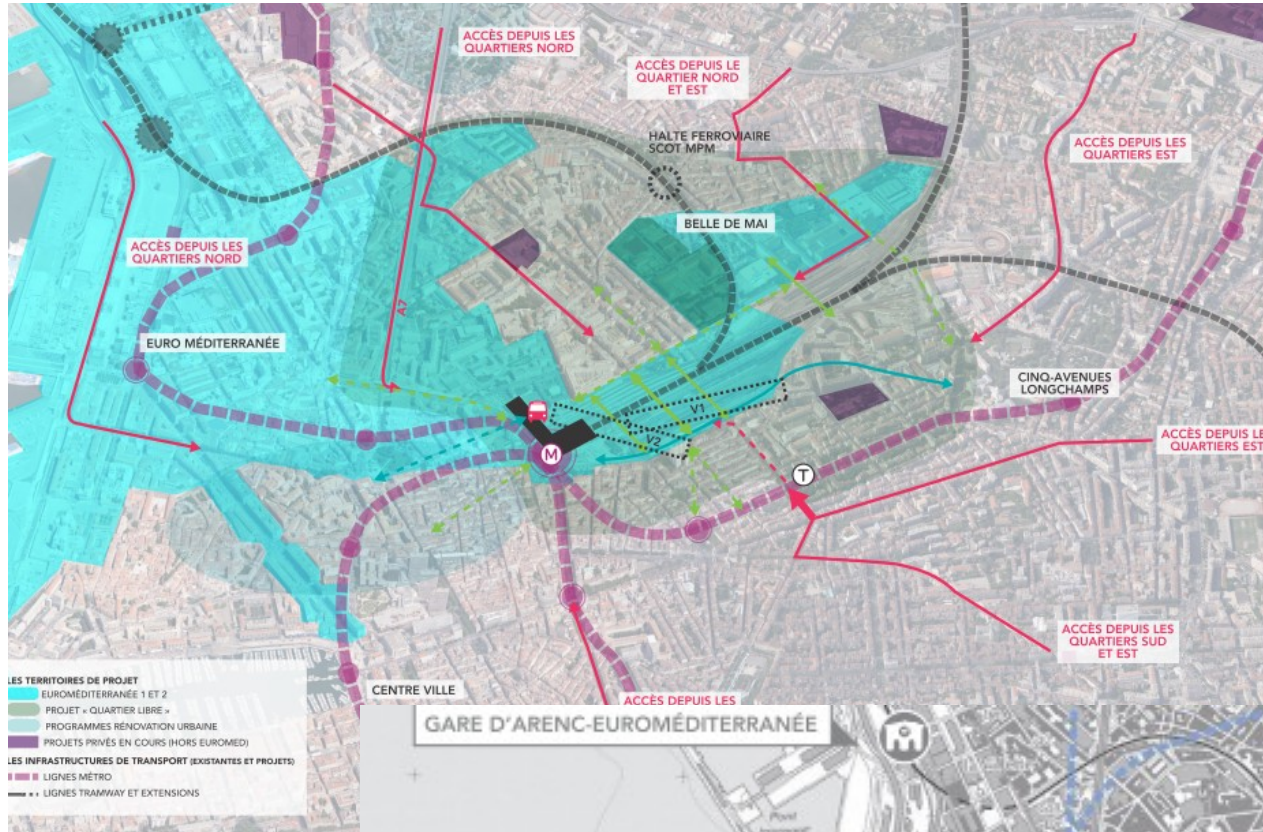


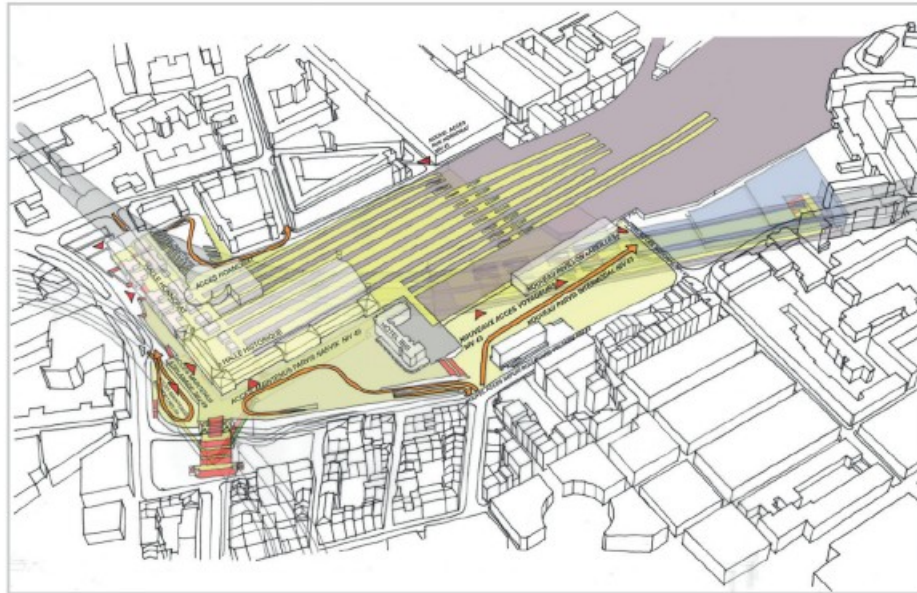
vue isometrique 2
Insertion du projet



PROJET - Tunnel TN2

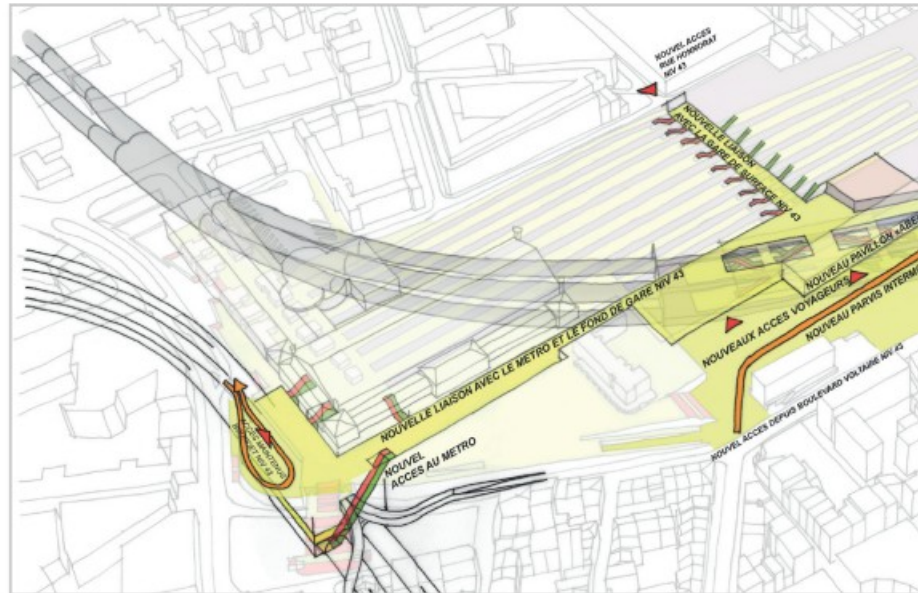
PROJET - Couloir d'accès à
la Ligne 07 - Quai direction
"La Courneuve - 8 Mai 1945"





Niveau supérieur
(niveau des quais actuels :
altitude 49 m)

Niveau intermédiaire
(niveau actuel des taxis :
altitude 43 m)





1/ les projets

2/ les acteurs

3/ les sites

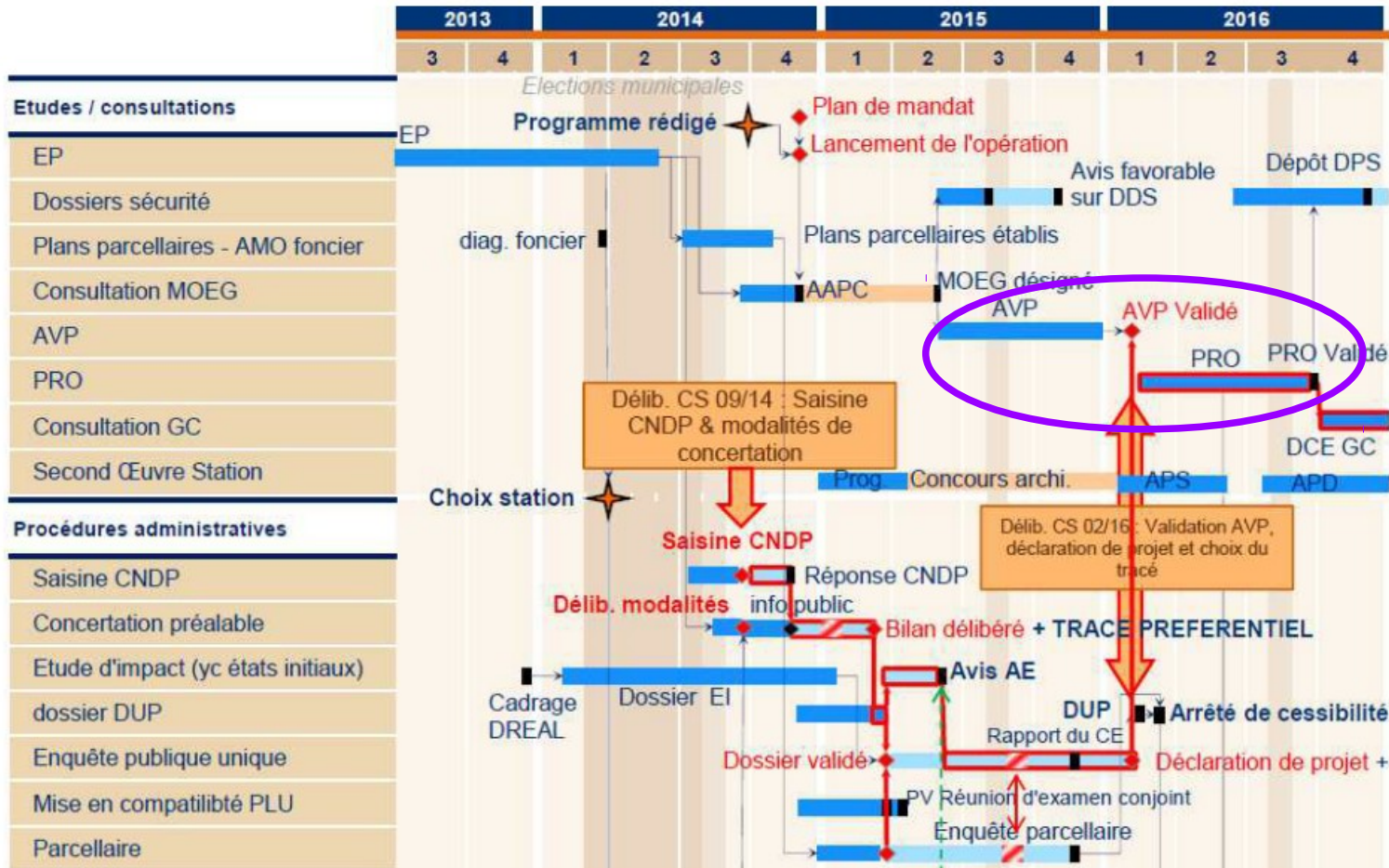
4/ les processus

5/ les technologies





LYON – Projet SYTRAL



Objectif de mise en service à la mi-2023

Début des travaux de Génie Civil en Janvier 2019

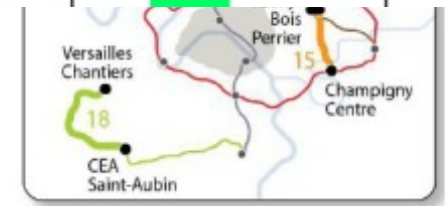
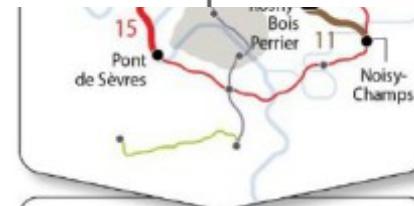
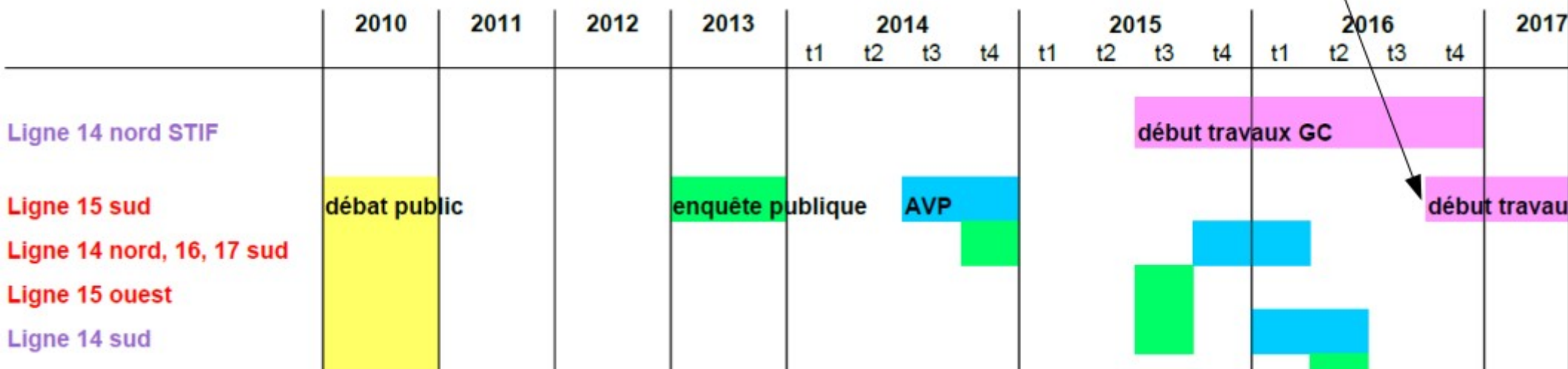
Conception des ouvrages

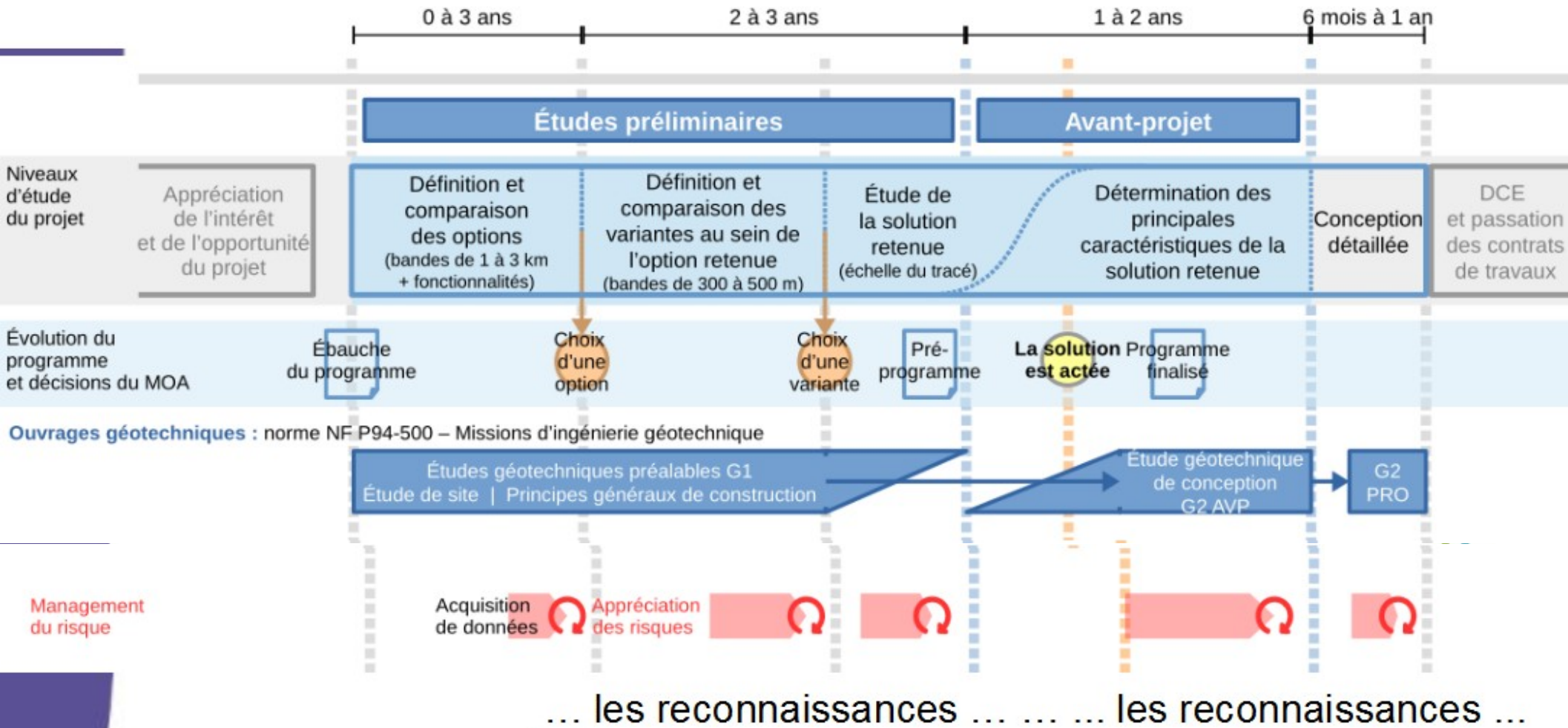


Grand Paris Express



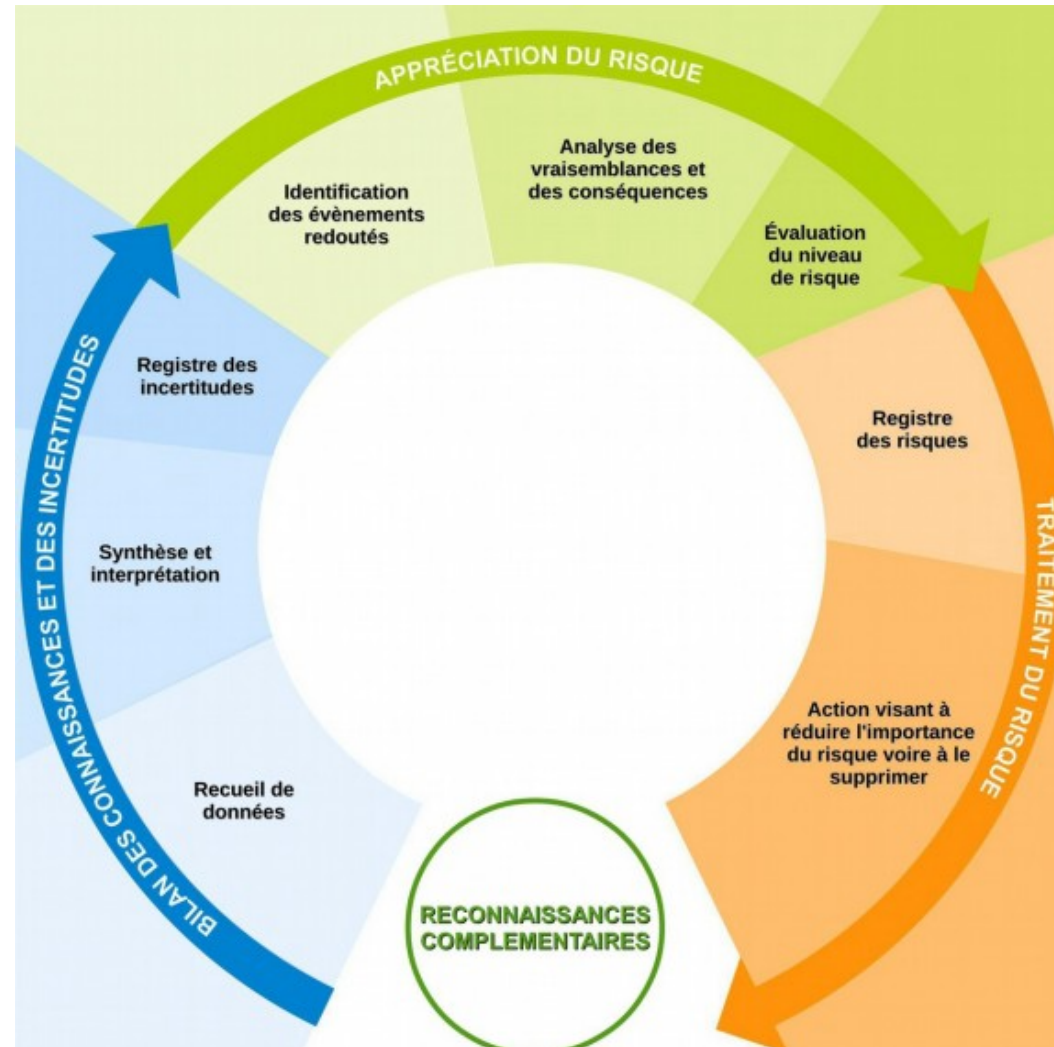
Calendrier de mise en service





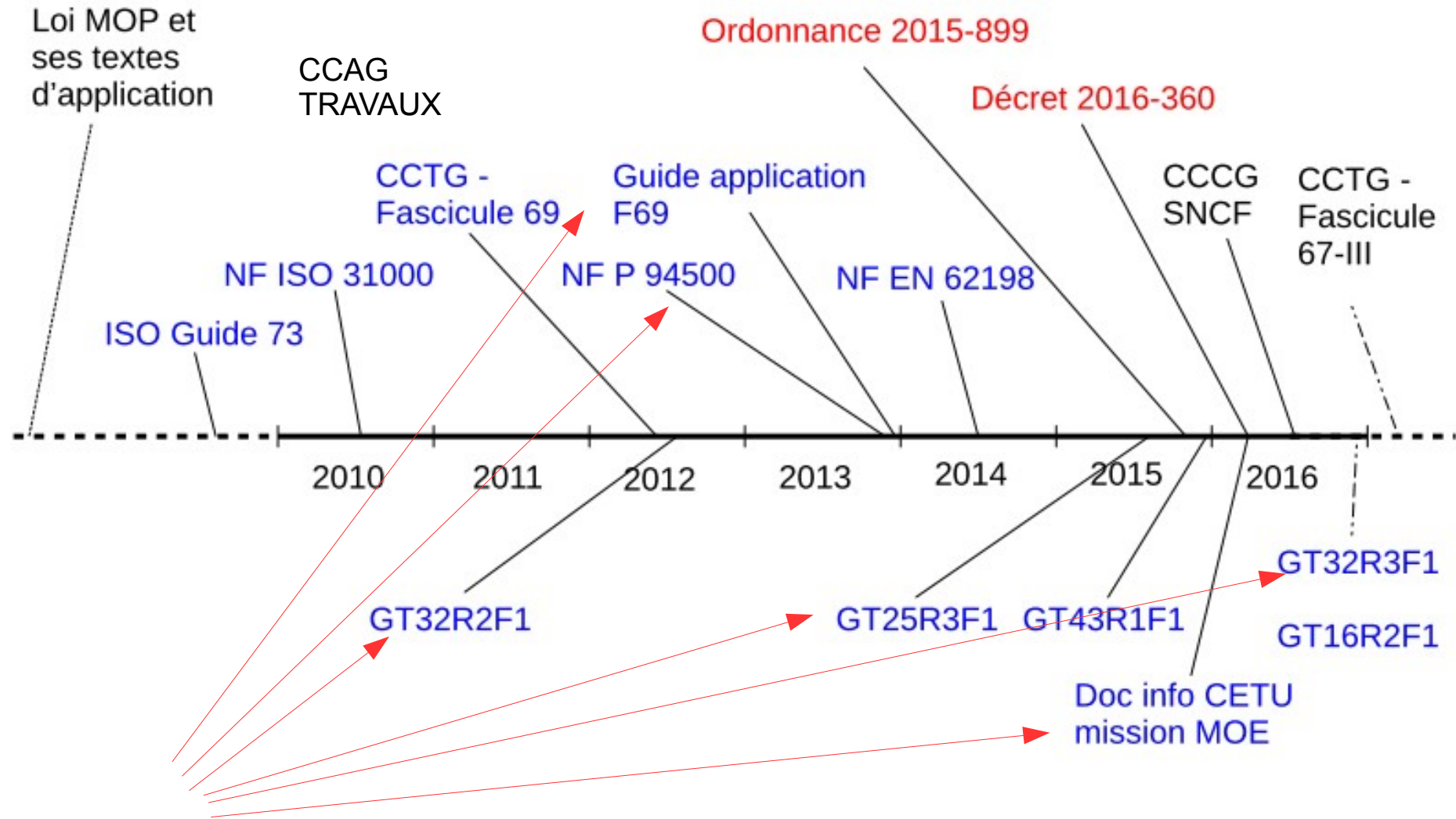


Processus de management des risques lors des études





Le référentiel pour le management des risques en travaux souterrains



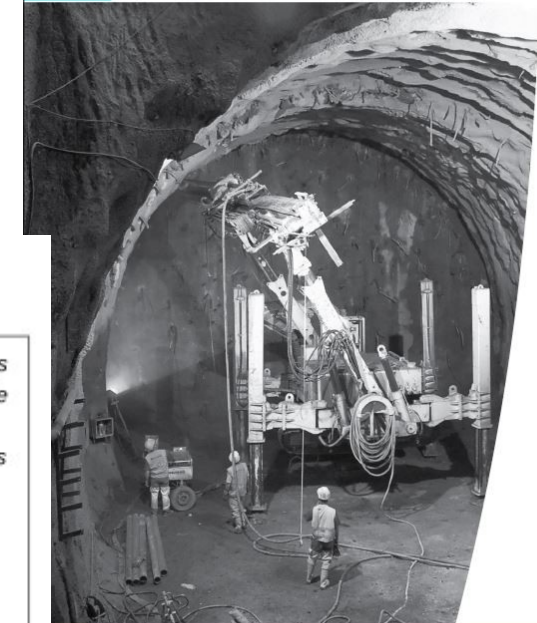
Chronologie des textes de référence



Contractualisation, une démarche en 4 temps

I – fin de conception	II – préparation de la mise en concurrence (DCE)	III – jugement des offres, négociation, mise au point	IV – préparation et réalisation des travaux
GT32 F69 + GUIDE NF P 94500 et GT43 GT25	GT32 F69 + GUIDE GT25	(F69 + GUIDE) (GT25)	F69 + GUIDE NF P 94500 et GT43 NOTE CETU MOE





Article I.2.2 - Le plan de management des risques

Fascicule 69

Le Plan de Management des Risques liste les risques résiduels, à savoir ceux non couverts par les dispositions techniques prévues au marché et contre lesquels le maître d'ouvrage juge nécessaire de se prémunir. Il analyse les événements à leur origine, apprécie leur vraisemblance et en définit les conséquences prévisibles sur l'organisation du chantier.

Il rappelle les dispositions techniques prévues pour prévenir les événements redoutés et limiter leurs conséquences (reconnaitances à l'avancement...).

Il contient la description des dispositions techniques et organisationnelles envisagées :

- pour mettre le chantier en sécurité lors de leur survenance,
- pour poursuivre le chantier.

Le PMR propose enfin les principes ou modalités de rémunération de ces interventions. (5)

(5) Introduction au management du risque

Pour le management du risque, le fascicule 69 applique le vocabulaire et la démarche préconisés par la norme ISO 31000:2009 "Management du Risque – Principes et lignes directrices" [8] et [9].

Le processus de management du risque est un processus continu et itératif mis en œuvre dès les toutes premières phases d'études et qui se prolonge par la gestion du plan de management des risques (PMR) lors de la contractualisation et de la réalisation des travaux.

L'annexe A du présent guide propose une terminologie qui reprend les principales définitions ; une terminologie plus complète est fournie dans les recommandations de l'AFTES n° GT32.R2F1 [6].

- la partie de DCE hors PMR est appelée **dossier de référence** ;
- la partie ajoutée au DCE pour les risques est appelée **dossier des risques**.

Le **plan de management des risques** (PMR) regroupe dans le marché l'ensemble des pièces contractuelles issues du dossier des risques, complétées lors de la mise au point du marché.

Le dossier de consultation des entreprises (DCE) comprend ainsi le dossier de référence et le dossier des risques. Le dossier des risques devient le PMR dans le contrat.

Le **dossier de référence** comprend en pièces techniques destinées à être contractuelles dans le marché (cf. schéma ci-après) :

- un CCTP de référence qui contient le registre des risques ordinaires, avec en annexe le mémoire de synthèse qui intègre **un registre des incertitudes** (MSG), le dossier de plans ;

CETU	Mars 2016																			
Exemple de registre des risques pour les risques résiduels en fin de conception, en conformité avec le guide d'application du fascicule 69 du CCTG																				
BILAN DES CONNAISSANCES				APPRECIATION DU RISQUE (identification, analyse et évaluation du risque)										TRAITEMENT DU RISQUE						
				IDENTIFICATION DU RISQUE (processus de recherche, de reconnaissance et de description des risques)					ANALYSE DU RISQUE (processus mis en oeuvre pour comprendre la nature d'un risque et pour déterminer le niveau de risque)					en anticipation		en cas d'occurrence				partage du risque
N° du risque	partie d'ouvrage concernée	source du risque (incertitude)	événement redouté	description de la conséquence (effet de l'évènement redouté)	vraisemblance (note de 1 à 4)	conséquence sur les délais (note de 1 à 4)	conséquence sur les coûts (note de 1 à 4)	niveau de risque (note de 1 à 16)	acceptabilité du risque selon les critères du MOA	mesures préventives et de détection – dossier de référence	mesure corrective - d'atténuation – PMR	mesure corrective – de construction – PMR	mesure corrective – de contrôle et de suivi – PMR	risque ordinaire > dossier de référence - risque remarquable > dossier des risques						

	CETU	Mars 2016																	
Exemple de registre des risques pour les risques résiduels en fin de conception																			
BILAN DES CONNAISSANCES																			
										IDENTIFICATION DU RISQUE (processus de recherche, de reconnaissance et de description des risques)									
N° du risque	partie d'ouvrage concernée	source du risque (incertitude)	événement redouté	description de la conséquence (effet de l'évènement redouté)															
	répartition spatiale en lien avec le profil en long géotechnique (au sens large)	lien avec le registre des incertitudes du cahier B	décrire ce que l'on craint en terme d'écart / modèle géotechnique (au sens large) et/ou au contexte avoisinant	décrire ce qui peut arriver comme effet de l'évènement sur la conduite des travaux et/ou le comportement des avoisinants et qui perturbera l'atteinte des objectifs															



Le registre des risques techniques

registre des risques

CETU		Mars 2016														
Exemple de registre des risques pour les risques résiduels en fin de conception, en conformité avec le guide d'application du fascicule 69 du CCTG																
BILAN DES CONNAISSANCES			APPRECIATION DU RISQUE (identification, analyse et évaluation du risque)							TRAITEMENT DU RISQUE						
N° du risque	partie d'ouvrage concernée	source du risque (incertitude)	IDENTIFICATION DU RISQUE (processus de recherche, de reconnaissance et de description des risques)		ANALYSE DU RISQUE (processus mis en oeuvre pour comprendre la nature d'un risque et pour déterminer le niveau de risque)			EVALUATION DU RISQUE (comparaison des résultats de l'analyse avec les critères de risque)	en anticipation	en cas d'occurrence					partage du risque	
			événement redouté	description de la conséquence (effet de l'évènement redouté)	vraisemblance (note de 1 à 4)	conséquence sur les délais (note de 1 à 4)	conséquence sur les coûts (note de 1 à 4)	niveau de risque (note de 1 à 16)	acceptabilité du risque selon les critères du MOA	"on ne sait pas si on va dans le mur"	"on sait qu'on va dans le mur"	"on est dans le mur"	"on a franchi le mur"	mesures préventives et de détection – dossier de référence		mesure corrective - d'atténuation – PMR
	répartition spatiale en lien avec le profil en long géotechnique (au sens large)															ins du guide d'application du fascicule 69 du CCTG
			1, en conformité avec le guide d'application du fascicule 69 du CCTG													
			APPRECIATION DU RISQUE (identification, analyse et évaluation du risque)													
1																
2																
3			ANALYSE DU RISQUE (processus mis en oeuvre pour comprendre la nature d'un risque et pour déterminer le niveau de risque)							EVALUATION DU RISQUE (comparaison des résultats de l'analyse avec les critères de risque)						
			vraisemblance (note de 1 à 4)	conséquence sur les délais (note de 1 à 4)	conséquence sur les coûts (note de 1 à 4)	niveau de risque (note de 1 à 16)	acceptabilité du risque selon les critères du MOA									
			cf matrices présentées en module 1 utilisation des 4 couleurs (vert, jaune, orange, rouge)	cf matrices présentées en module 1 utilisation des 4 couleurs (vert, jaune, orange, rouge)	cf matrices présentées en module 1 utilisation des 4 couleurs (vert, jaune, orange, rouge)	cf matrices présentées en module 1 utilisation des 4 couleurs (vert, jaune, orange, rouge)	cf matrices présentées en module 1									complément de la colonne niveau de risque utilisation des 4 couleurs (vert, jaune, orange, rouge)



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Ministère de l'Environnement et de la Mer

Le registre des risques techniques

registre des risques

CETU		Mars 2016													
Exemple de registre des risques pour les risques résiduels en fin de conception, en conformité avec le guide d'application du fascicule 69 du CCTG															
BILAN DES CONNAISSANCES			APPRECIATION DU RISQUE (identification, analyse et évaluation du risque)							TRAITEMENT DU RISQUE					
N° du risque	partie d'ouvrage concernée	source du risque (incertitude)	IDENTIFICATION DU RISQUE (processus de recherche, de reconnaissance et de description des risques)	ANALYSE DU RISQUE (processus mis en oeuvre pour comprendre la nature d'un risque et pour déterminer le niveau de risque)			EVALUATION DU RISQUE (comparaison des résultats de l'analyse avec les critères de risque)	en anticipation		en cas d'occurrence				partage du risque	
				description de la conséquence (effet de l'événement considéré)	vraisemblance (note de 1 à 4)	conséquence sur les états (note de 1 à 4)		conséquence sur les états (note de 1 à 4)	niveau de risque (note de 1 à 4)	acceptabilité du risque selon les critères du CCTG	"on ne sait pas si on va dans le mur"	"on sait qu'on va dans le mur"	"on est dans le mur"		"on a franchi le mur"
	répartition spatiale en lien avec le profil en long géotechnique (au sens large)	lien avec le registre des incertitudes du CCTG													
			TRAITEMENT DU RISQUE												
1			en anticipation	en cas d'occurrence											
2			"on ne sait pas si on va dans le mur"	"on sait qu'on va dans le mur"	"on est dans le mur"	"on a franchi le mur"									partage du risque
3			mesures préventives et de détection – dossier de référence	mesure corrective - d'atténuation – PMR	mesure corrective – de construction – PMR	mesure corrective – de contrôle et de suivi – PMR									risque ordinaire > dossier de référence - risque remarquable > dossier des risques
			dispositions envisagées pour anticiper l'occurrence du risque, permet > d'activer la procédure de maîtrise du risque le plus tôt possible > d'anticiper les contrôles et les auscultations	dispositions prévues pour mettre le chantier en sécurité et/ou les avoisinants	dispositions prévues au contrat pour les travaux	contrôle de la qualité, des quantités, etc., suivi des ouvrages par les auscultations, etc. Autre aspect du suivi : mise à jour des fiches de risques pour la suite du chantier									au sens du guide d'application du fascicule 69 : rémunéré dans les prix du DQE ou par application du bordereau risque





1/ les projets

2/ les acteurs

3/ les sites

4/ les processus

5/ les technologies





1/ les projets

2/ les acteurs

3/ les sites

4/ les processus

5/ les technologies





Nomenclature simplifiée des tunneliers

(Aftes groupe de travail 4 – revue Tunnels et Espace Souterrain n°240 – novembre/décembre 2013)

- 1/ tunnelier « bouclier simple jupe » (TBM single shield)
- 2/ tunnelier « bouclier double jupe » (TBM double shield)
- 3/ tunnelier « roche dure à grippers » (hard rock TBM)
- 4/ tunnelier « à bras d'abatage » (TBM with backhoe)



tunnelier « bouclier simple jupe » (TBM single shield)

confinement de type **SLURRY** (pression de boue)

- > marinage hydraulique (boue de bentonite)
- > appui longitudinal sur les voussoirs

confinement de type **EPB** (pression de terre)

(*EPB pour Earth Pressure Balance*)

- > marinage à vis
- > appui longitudinal sur les voussoirs

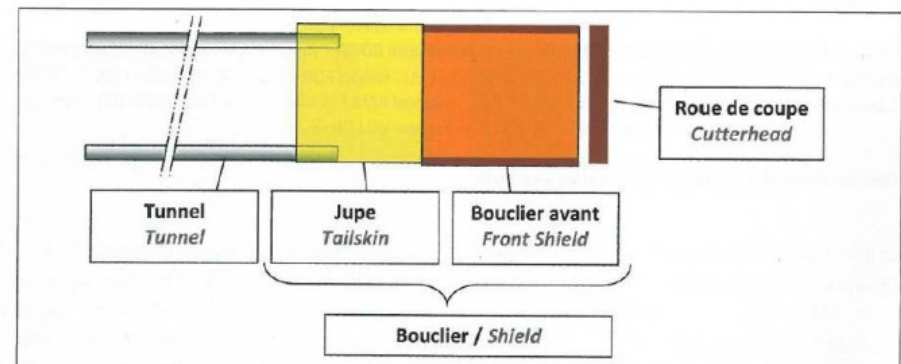
différents types de confinements

- > marinage combiné possible
- > appui longitudinal sur les voussoirs

Tunnelier “Bouclier Simple Jupe” / TBM SINGLE SHIELD

- S'applique indépendamment du mode de marinage
- Pose de revêtement préfabriqué (voussoirs)
- Ne permet pas la pose du revêtement pendant le creusement
- Est compatible avec :
 - OPEN : sans confinement
 - CLOSE : avec confinement
 - EPB pression de terre
 - SLURRY pression de boue
 - AIR - pression d'air
- MULTIMODE : combinaison de différents types de confinements

- Applied independently from the mucking method
- Erection of prefabricated lining (segments)
- Does not permit the lining erection during TBM progress
- Is compatible with:
 - OPEN : without confinement
 - CLOSED : with confinement
 - EPB earth pressure
 - SLURRY slurry pressure
 - AIR - air pressure
- MULTIMODE : combination of different types of confinements





tunnelier « bouclier simple jupe » (TBM single shield) avec marinage hydraulique

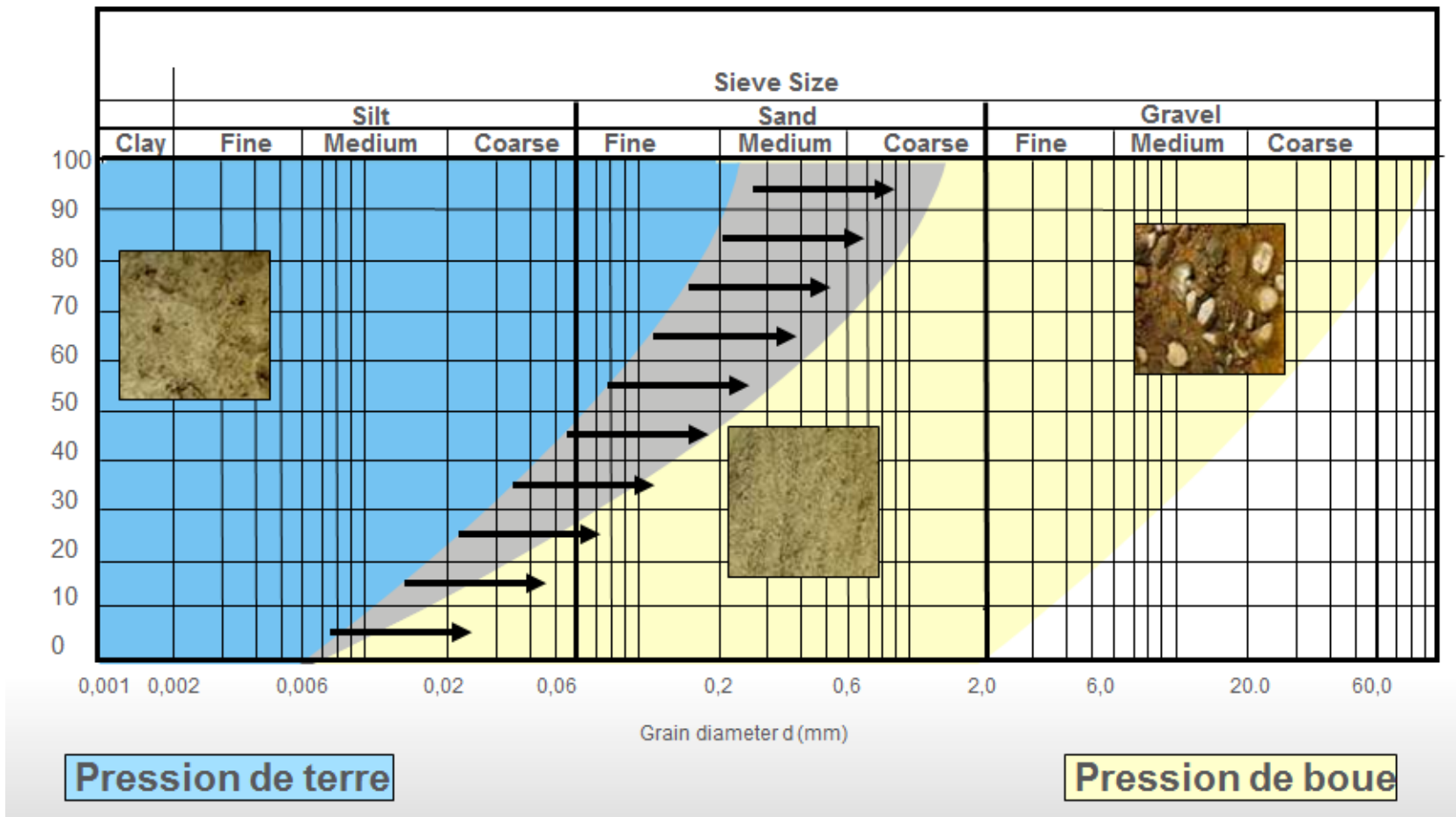
- > centrale à boue en surface
- > pompes d'amenée et de retour de la boue dans le tunnel
- > concasseur à mâchoire très puissant pour une granulométrie fine des matériaux à évacuer
- > possibilité avec des pressions d'eau élevées
- > le marinage est un facteur limitant pour la vitesse d'avancement
- > possibilité de variation de la densité de la boue de bentonite

tunnelier « bouclier simple jupe » (TBM single shield) de type EPB

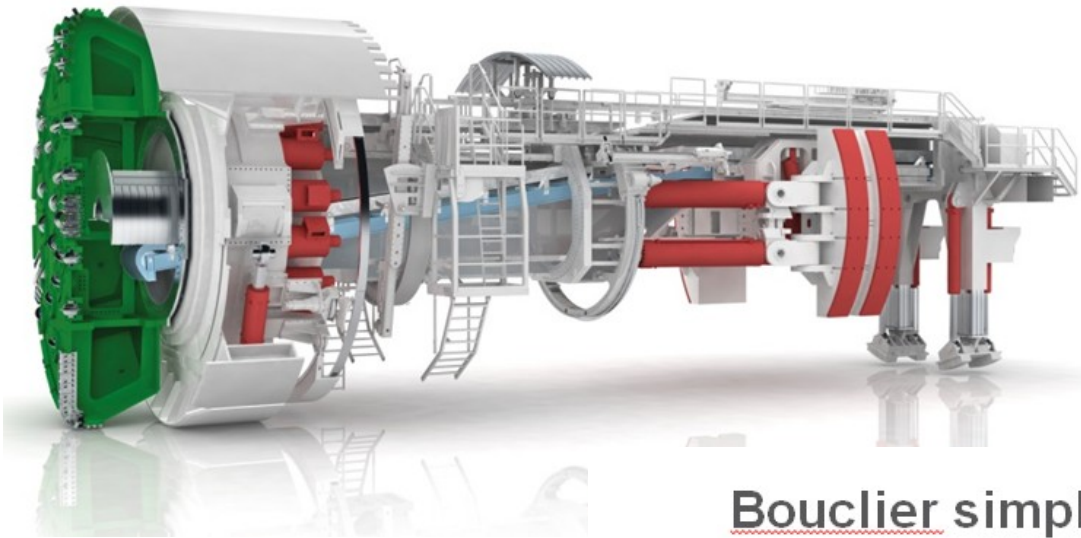
- > ajouts de mousses dans le sol excavé
- > concasseur à rouleaux (moins puissant) pour une granulométrie moins fine possible des matériaux à évacuer
- > marinage par une vis puis par un tapis roulant
- > pression d'eau acceptable plus limitée
- > possibilité d'injection de boue en extrados de la jupe (tassements)
- > cadence plus élevée possible



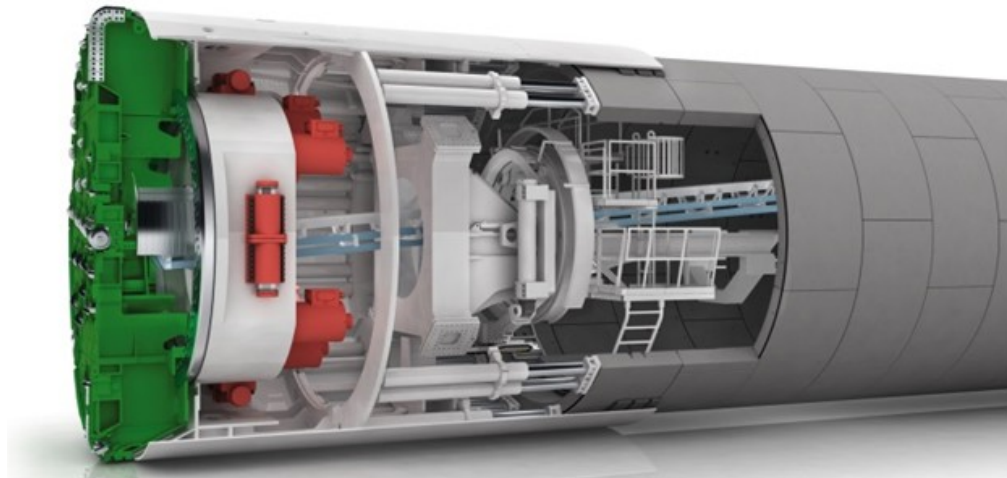
Domaines théoriques d'application.



Gripper (projet Gavet)

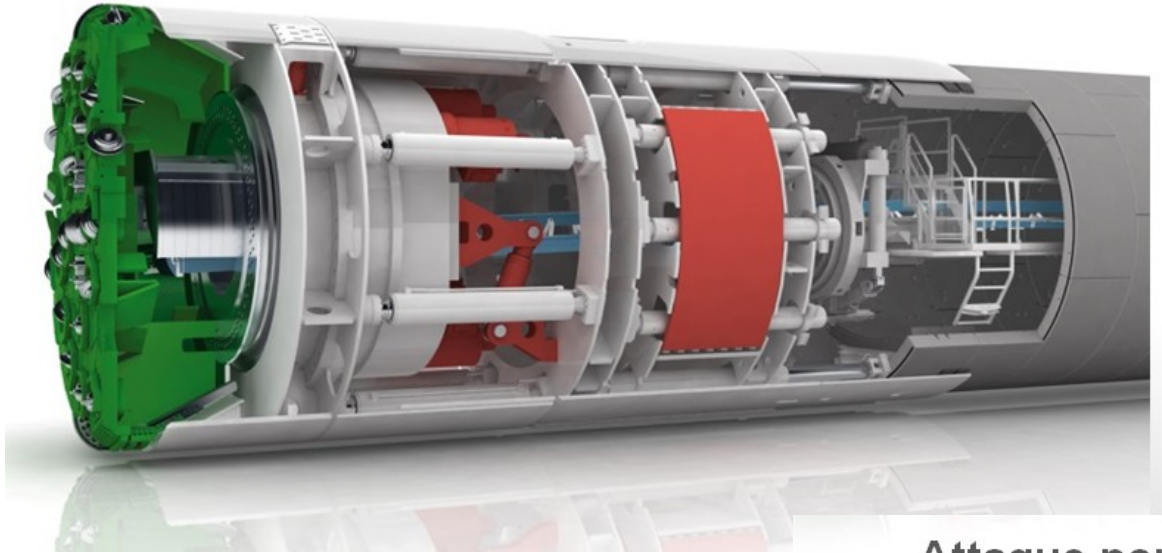


Bouclier simple (Fréjus, A 41)



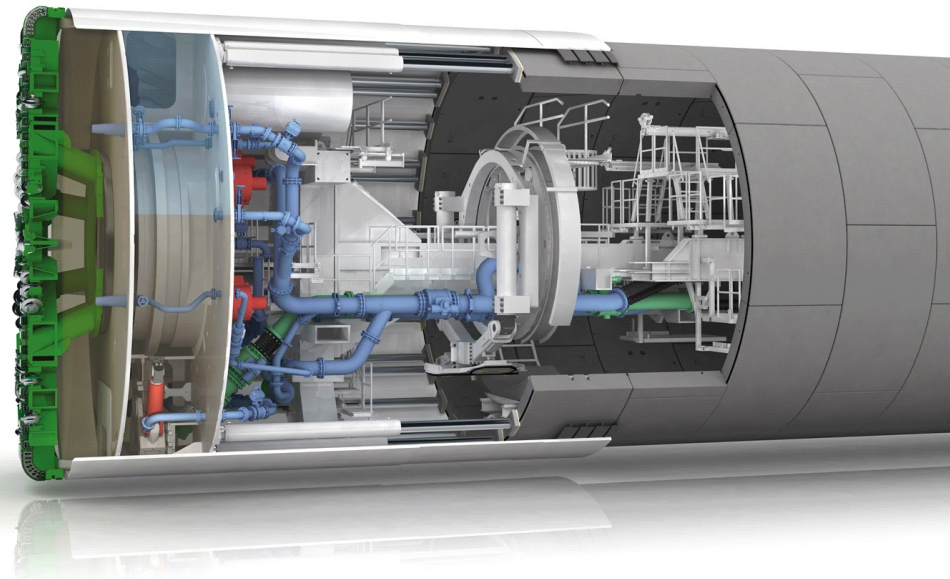
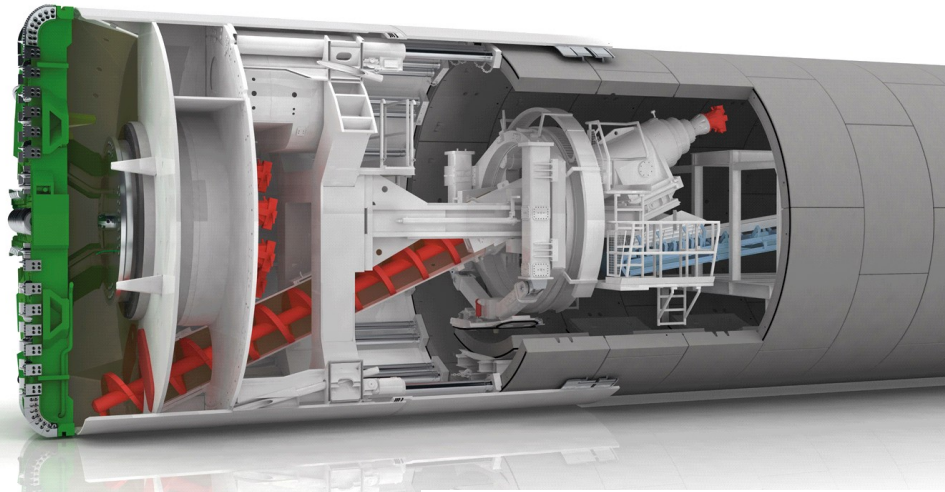


Bouclier télescopique (Perthus, La Réunion)



Attaque ponctuelle (ANDRA)







Système de marinage pour tunnelier $\varnothing 9,5$ m à pression de terre

Convoyeur à vis et à bande sur le tunnelier

Convoyeur à bande en tunnel = capacité 800 tonnes / heure

Station relais pour le convoyeur en tunnel

Convoyeurs à bande en surface et zone de stockage des déblais sur site (3000 à 5000 m³)





Systeme de marinage pour un tunnelier \varnothing 9,5 m à pression de boue

Circuit de marinage DN 400 / 1800 m³/h ,

Pompes relais en tunnel

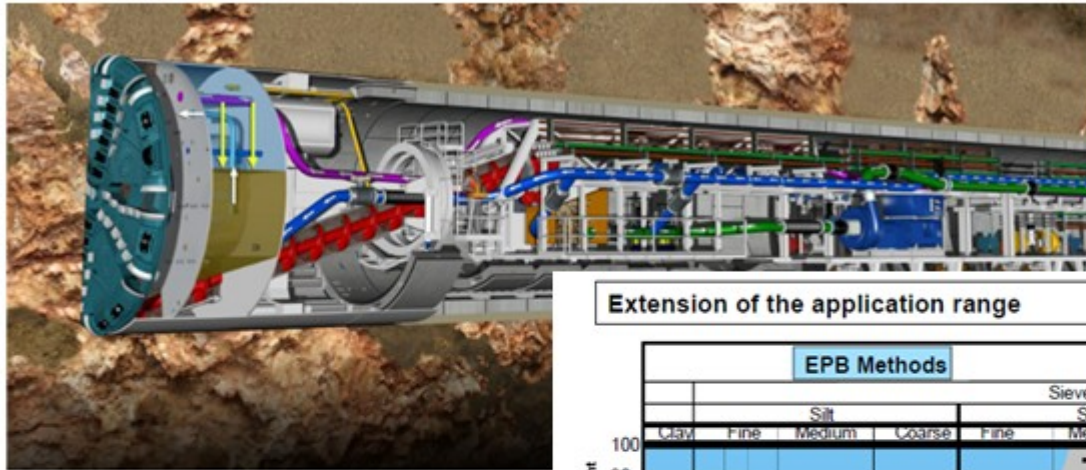
Station de séparation en surface : Aire d'environ 2000 m²



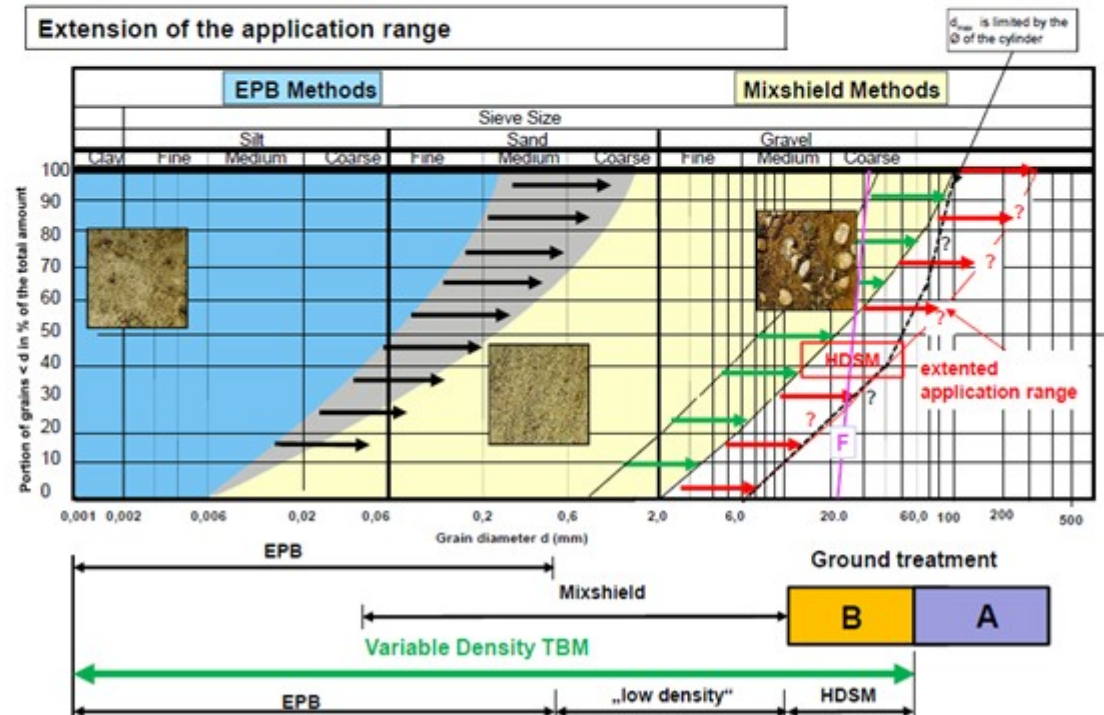


Tunneliers à densité variable

Combinaison des principes de pression de terre et de pression de boue.



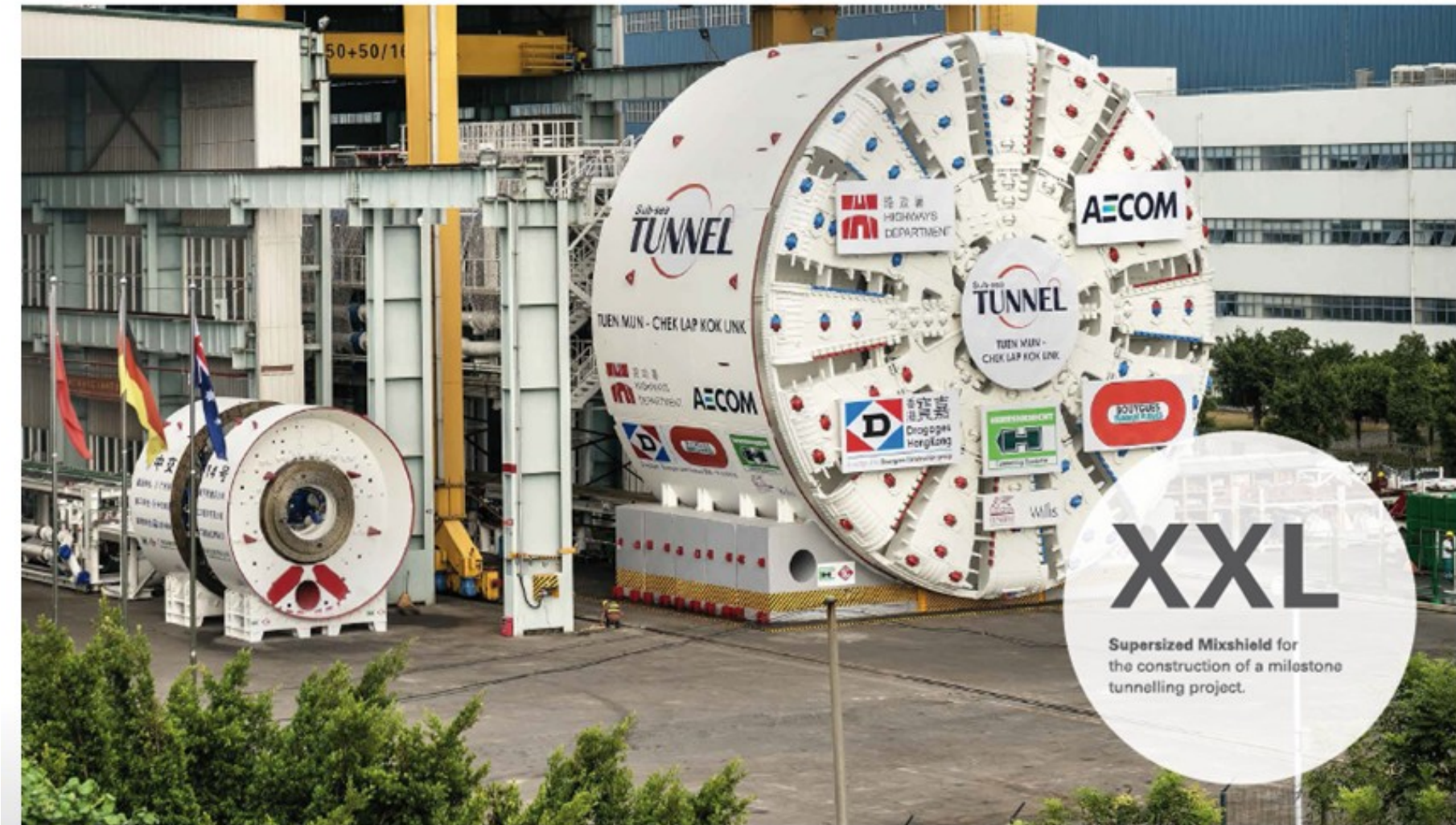
Extension of the application range





Exemples de projet pour tunnelier à pression de boue.

Projet TMCLK à Hong Kong : \varnothing 17,6 m.



Fin de la présentation

