

# Montage et démarrage d'un tunnelier en milieu urbain contraint



Stephan STEINER et Rosie AMAMI  
Demathieu Bard Construction

# Sommaire

---

## ***Sommaire de la présentation :***

1. Présentation du projet
2. Avancement du projet
3. Station Raynal : enjeux rencontrés en milieu urbain et restreint
4. Tunnelier S-I386A : EPB +
5. Design du Tunnelier
6. Montage du Tunnelier S-I386A
7. Planning du montage et de la mise en service
8. Défis de la mise en service du TBM tout en assurant le creusement
9. Usage de la TAPI40

# Présentation projet



Date OS démarrage : 16 janvier 2023



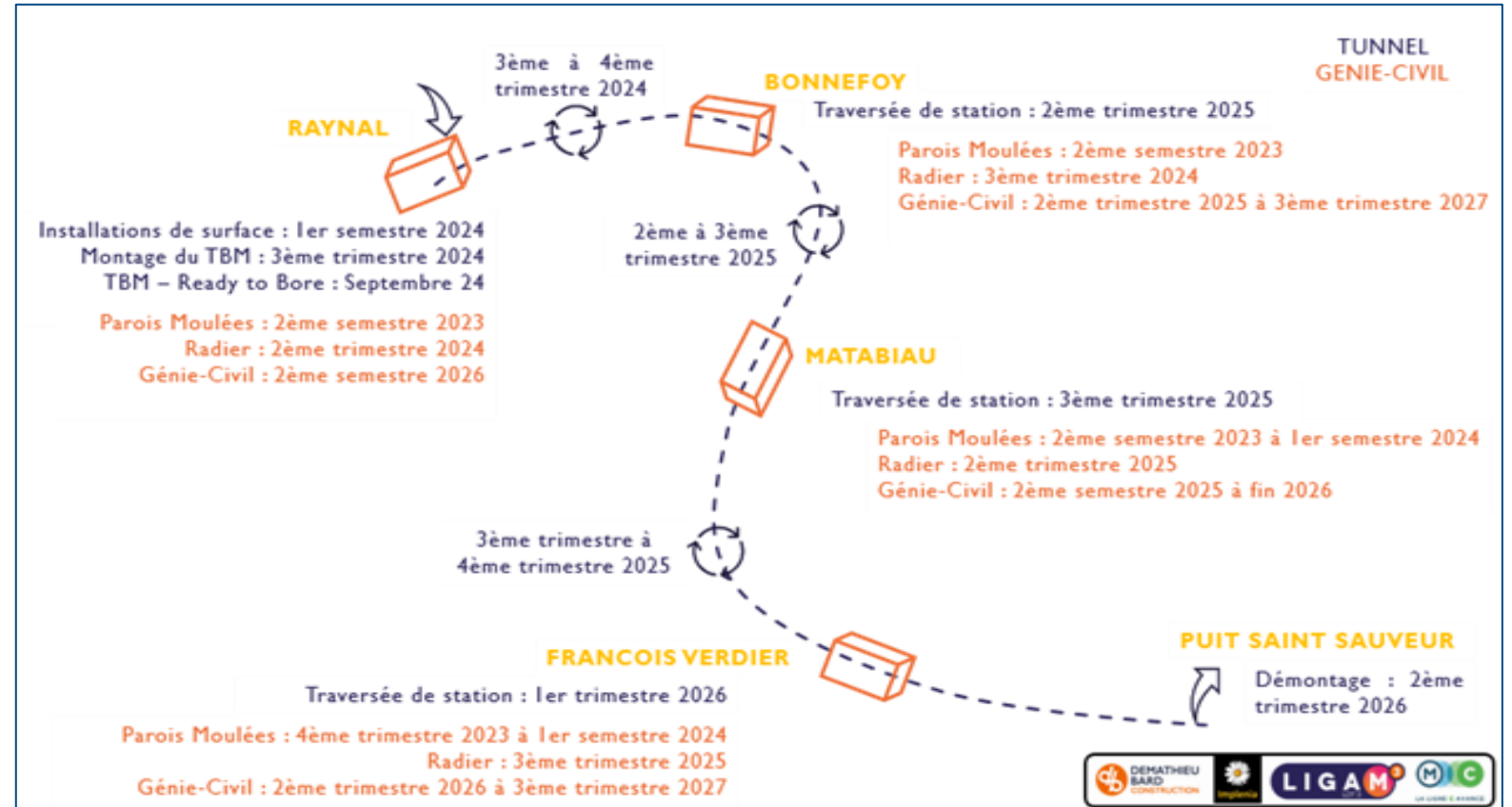
Montant du contrat : 331,4 M€



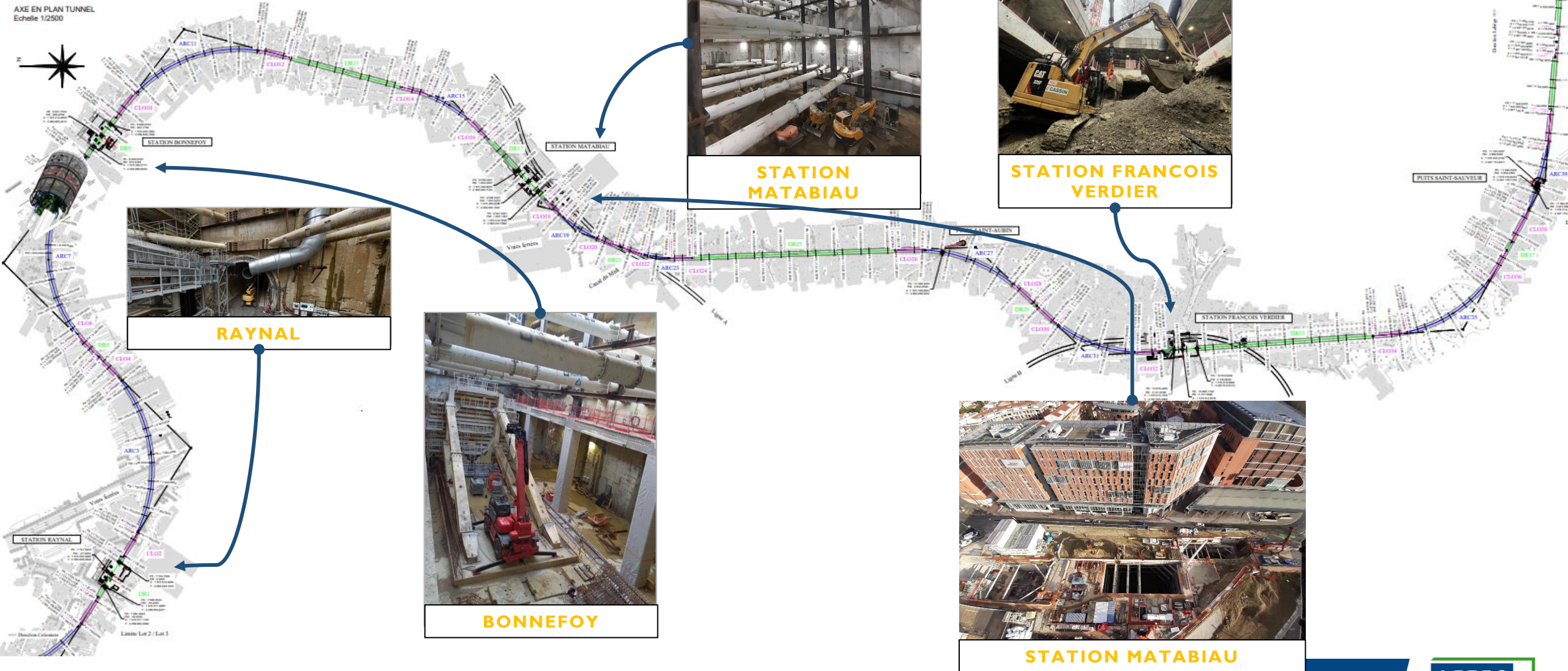
Durée : 57 mois

## Ordres de grandeur :

- 3814m de tunnel
- 4 stations souterraines
- 1 puits de ventilation
- 44 000 m<sup>2</sup> de parois moulées
- 220 000 m<sup>3</sup> de terrassements entre parois ou à ciel ouvert
- 280 000 m<sup>3</sup> de déblais excavés
- 2 700 m<sup>3</sup> d'excavation en méthode traditionnelle
- 52 000 m<sup>3</sup> de béton de structure (hors rechargement et parois moulées)



# Avancement du projet





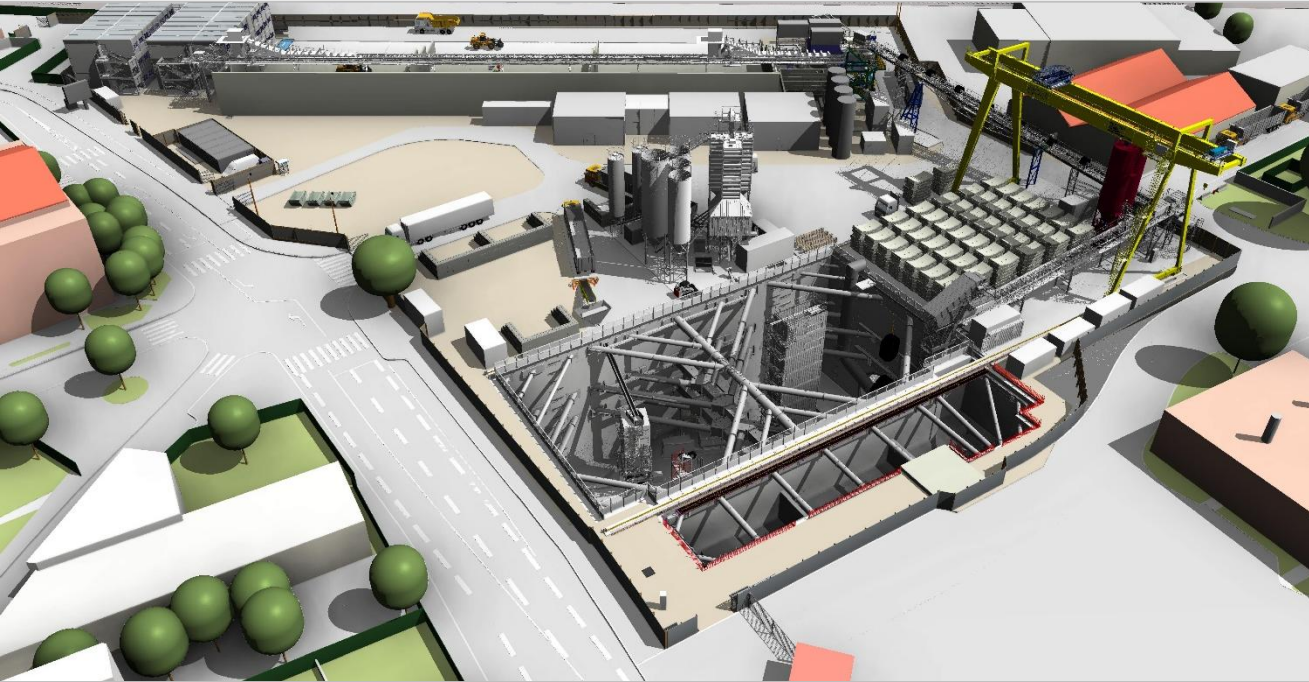
# Station Raynal : enjeux milieu urbain et restreint

## STATION A CIEL OUVERT

Seule station sur les 4 du projet à être réalisée à ciel ouvert, afin de permettre l'assemblage du TBM et assurer la logistique de surface pendant toute la durée du creusement

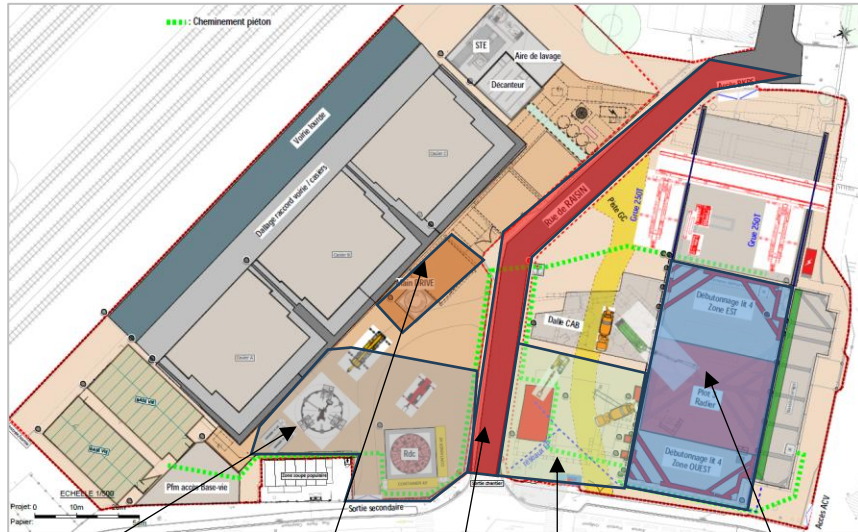
## STATION DE MONTAGE & LOGISTIQUE TUNNEL

Installations logistiques du tunnelier : convoyeurs, stockage apros, centrale à mortier...





# Station Raynal : enjeux milieu urbain et restreint



**Dalles montage MD&RDC : 10/06/2024**

**Dalles montage jupe : 13/05/2024**

**Dalles LG1750 10/06/2024**

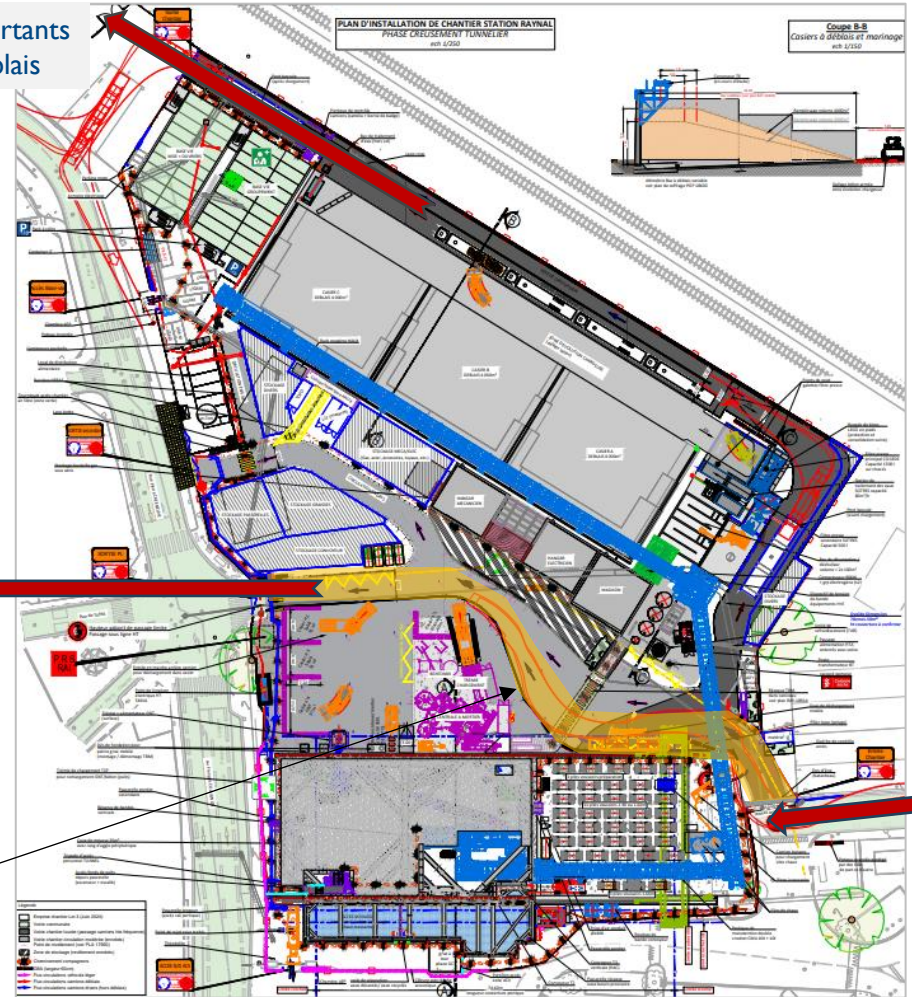
**Fonds de puits : 18/06/2024**

**Mise à disposition Chemin du Raisin : 21/05/2024**

Flux logistiques sortants évacuations déblais

Flux logistiques sortants tous sauf déblais

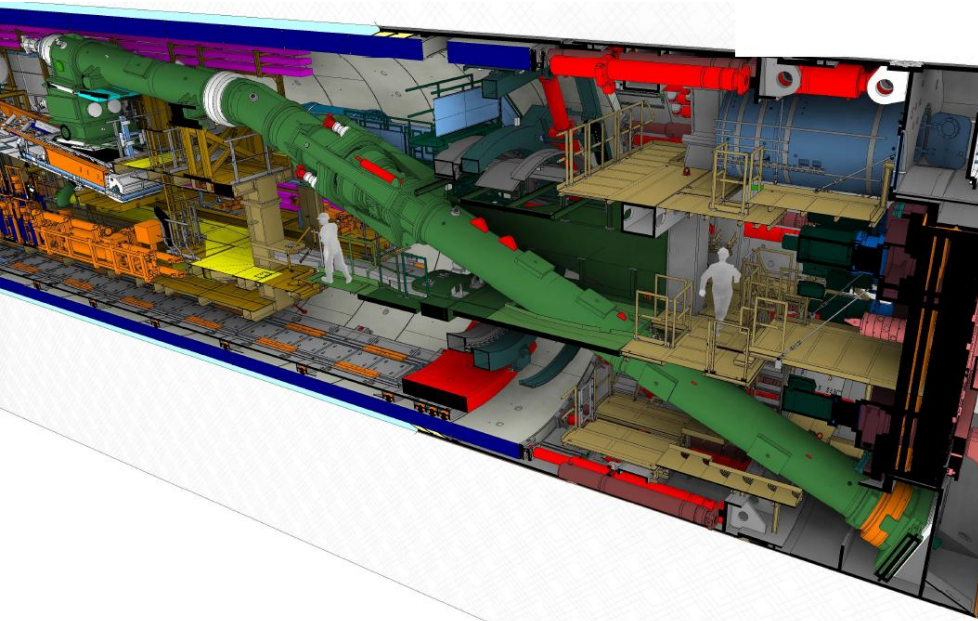
Ancien chemin du Raisin



Flux logistiques entrants

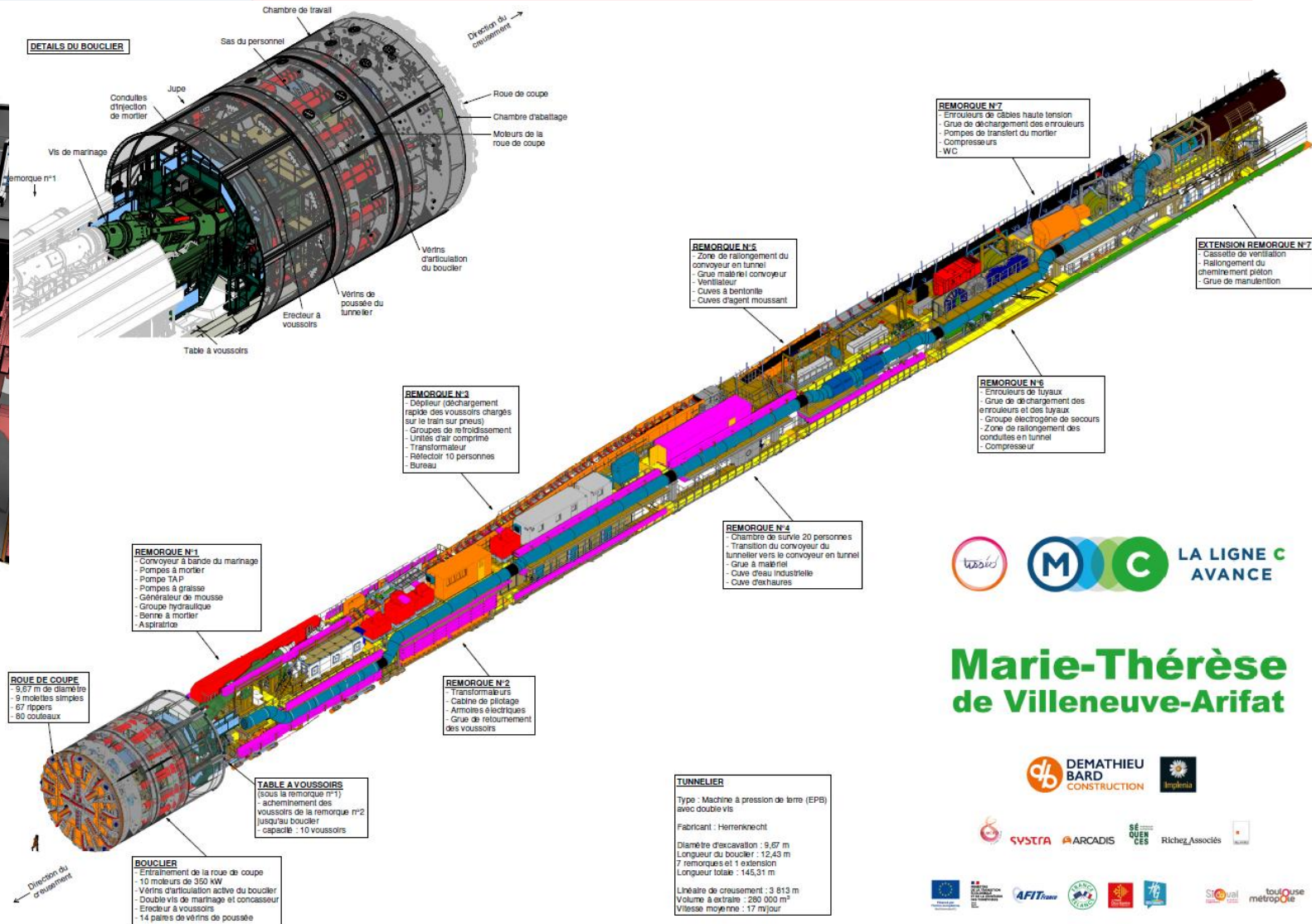
**PIC RAYNAL - creusement actuel**



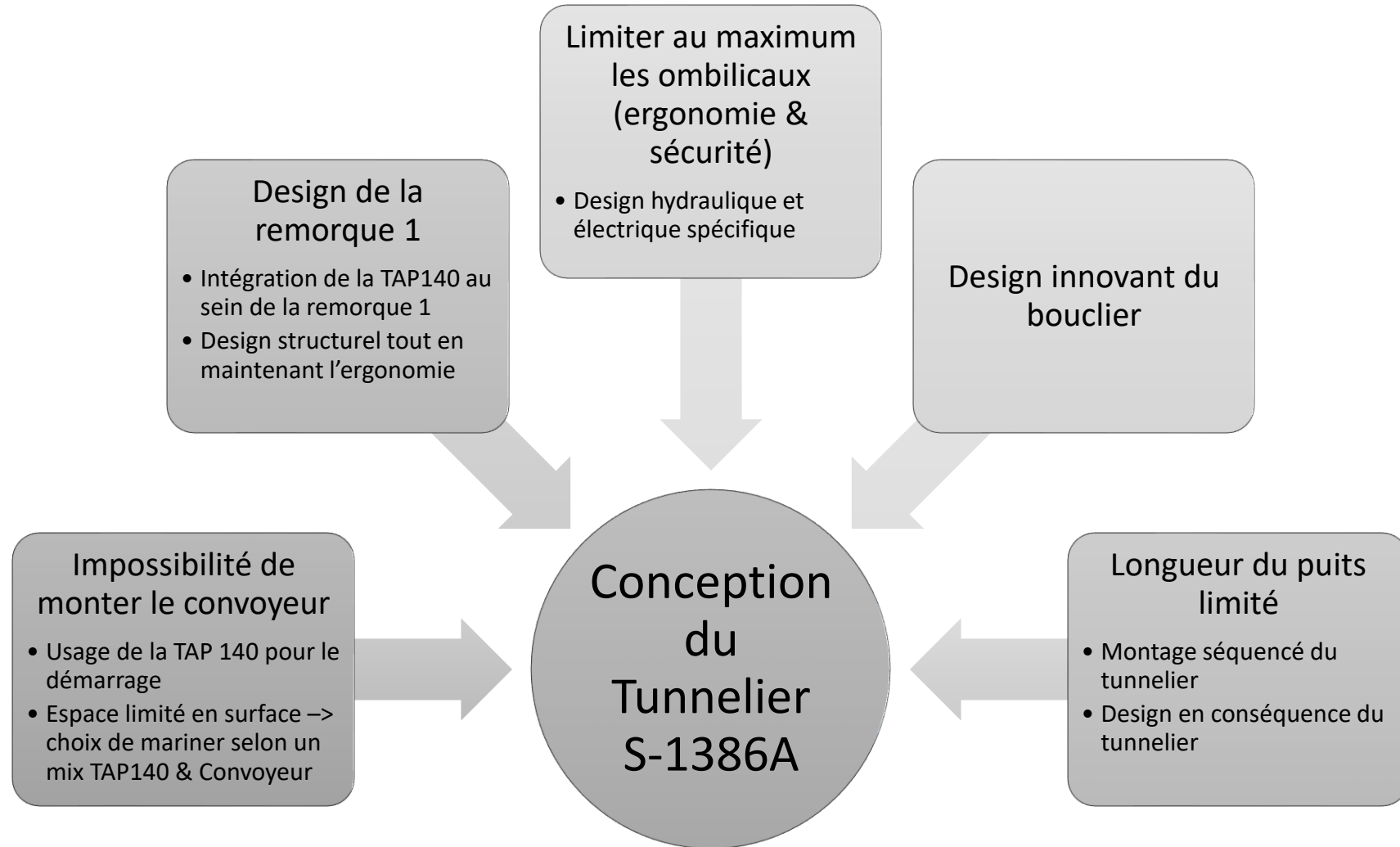


## Tunnelier S-I 386A :

- Diamètre de la roue de coupe : 9.67 m
- Longueur du TBM : 142 m
- Bouclier articulé + 7 remorques + 1 bridge
- Poussée nominale : 60 344 kN
- Poussée maximale : 72 412 kN
- 2 tanks à bentonite embarquées pour système EPB+



# Design du Tunnelier S-1386A



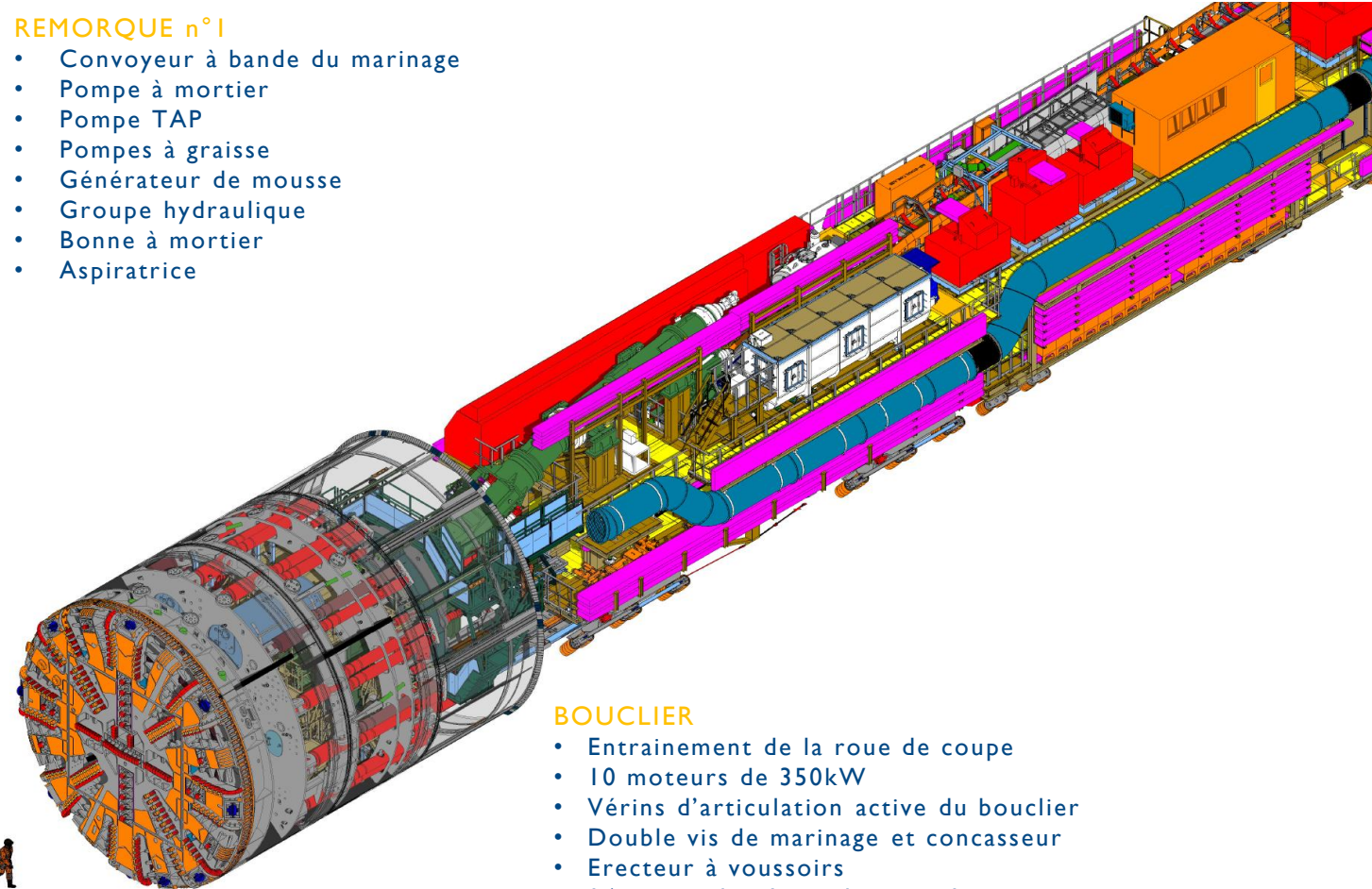


# Design du Tunnelier S-1386A

## Configuration de démarrage du Tunnelier S-1386 : RDC + Bouclier + Remorque 1 et Remorque 2

### REMORQUE n°1

- Convoyeur à bande du marinage
- Pompe à mortier
- Pompe TAP
- Pompes à graisse
- Générateur de mousse
- Groupe hydraulique
- Bonne à mortier
- Aspiratrice



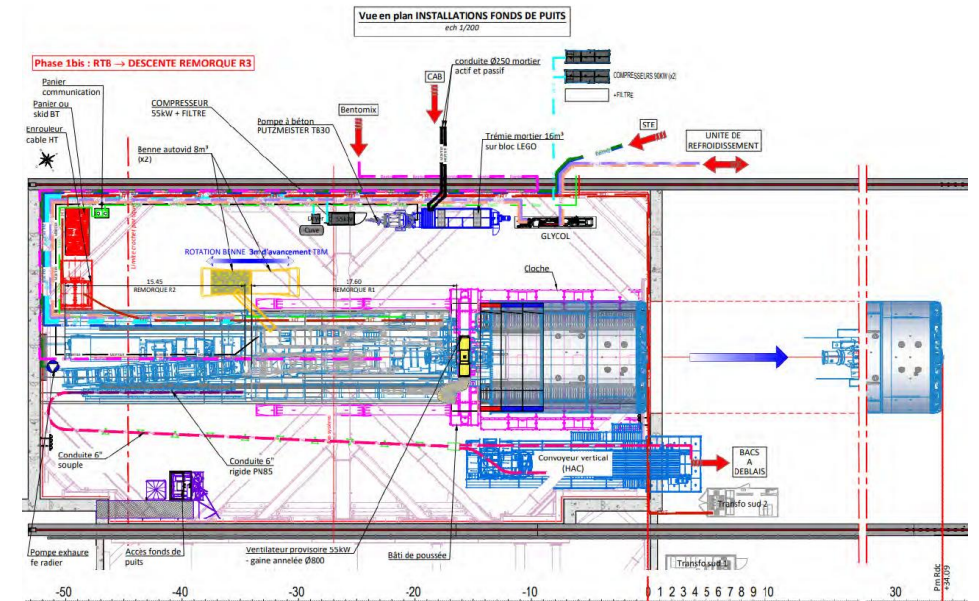
### BOUCLIER

- Entraînement de la roue de coupe
- 10 moteurs de 350kW
- Vérins d'articulation active du bouclier
- Double vis de marinage et concasseur
- Erecteur à voussoirs
- 14 paires de vérins de poussée

### REMORQUE n°2

- Transformateurs
- Cabine de pilotage
- Armoires électriques
- Grue de retournement des voussoirs
- Cellule HTA

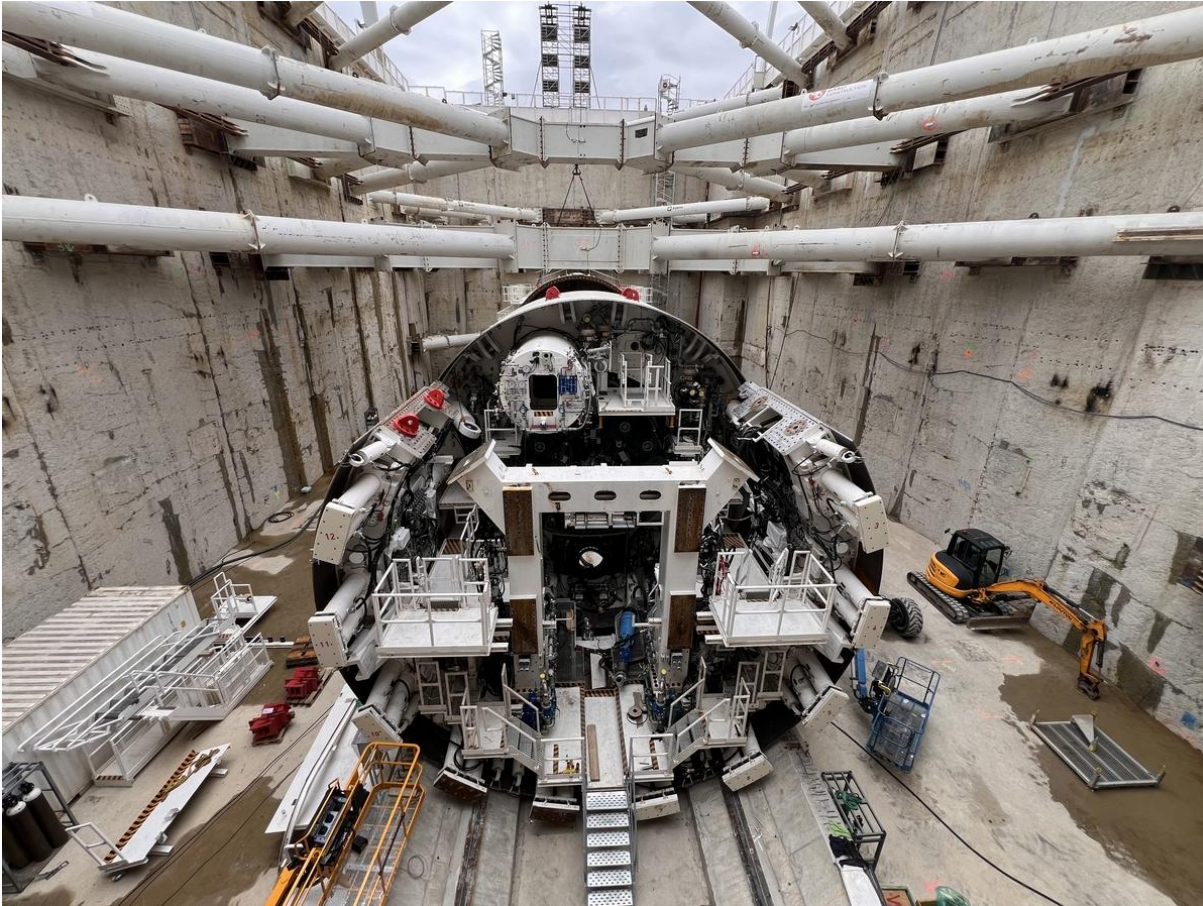
Objectif : Vision du fonds de puits au lancement du tunnelier au 16/09/2024



# Design du Tunnelier S-1386A

## Design du bouclier

- Intégration des pompes graissages de secours en format « mini » dans le bouclier ;
- Design et disposition des passerelles et escaliers en inversion afin de libérer de l'espace au sein du bouclier.



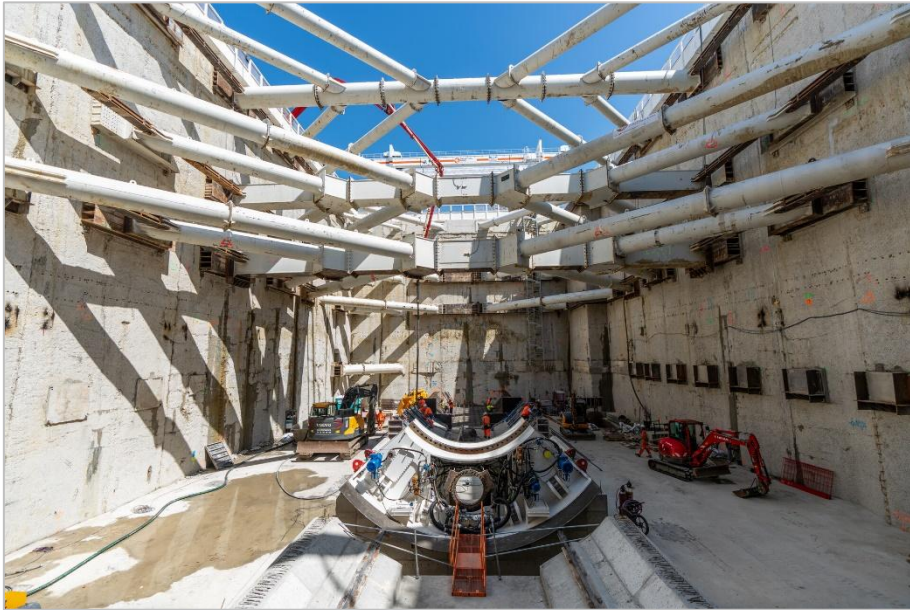


# Montage du Tunnelier S-1386A

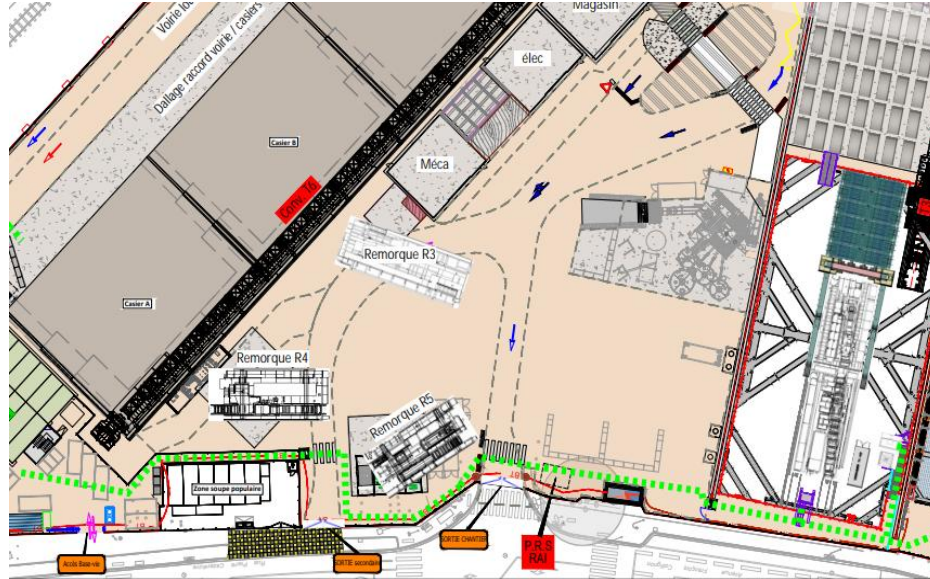
## Décorrélérer le montage tunnelier de l'espace restreint du puits

- Montage en parallèle du TBM et des installations fonds de puits nécessaires au démarrage (cloche, convoyeur vertical, exhaure...);
- Mise en place d'un atelier à ciel ouvert de prémontage en surface pour : roue de coupe, entraînement, jupe et remorques;
- Usage de SPMT et remorque à vérins afin de transporter les éléments de TBM en tête de puits;
- Précâblage en inter-remorque réalisé en surface;
- Capacité de prémonter 3 remorques à la fois en surface;
- Assemblage des boogies lors du levage.

Descente du secteur 3 bouclier et entraînement le 18/06/2024 :



Organisation surface pour mise en place atelier montage TBM :



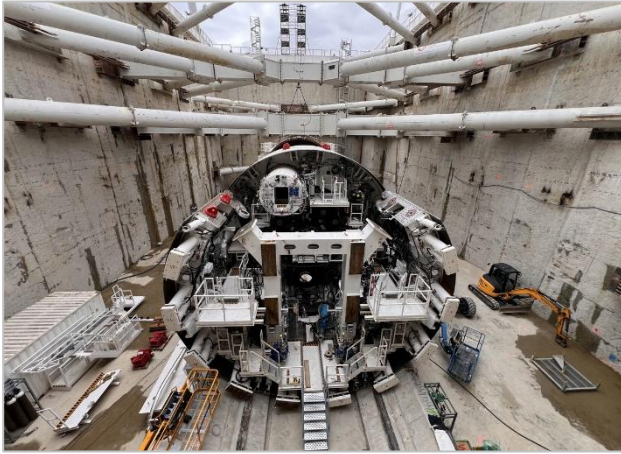
Descente remorque 2 le 06/08/2024 :



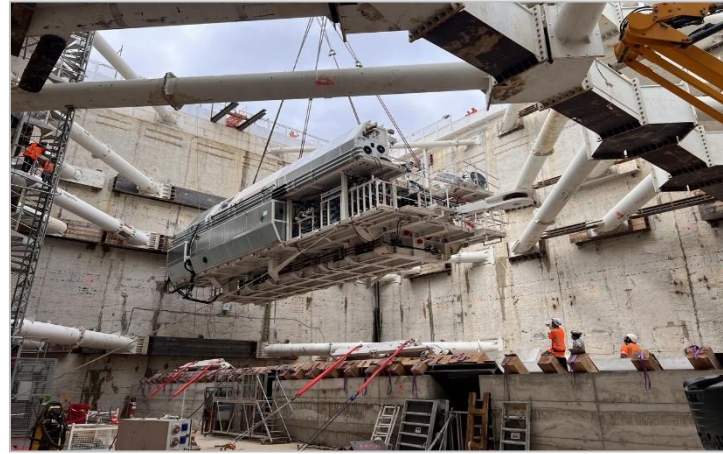


# Montage du Tunnelier S-1386A

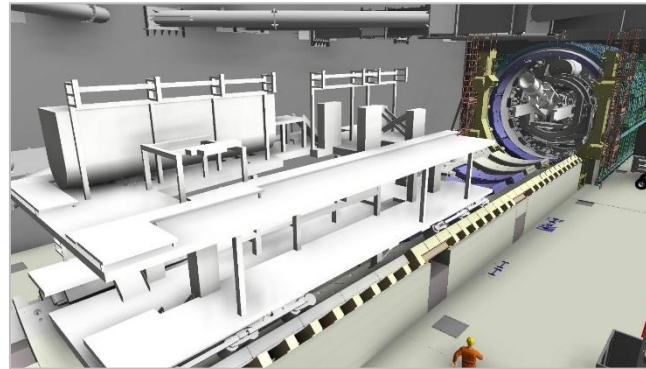
Etape 1 : Montage du bouclier



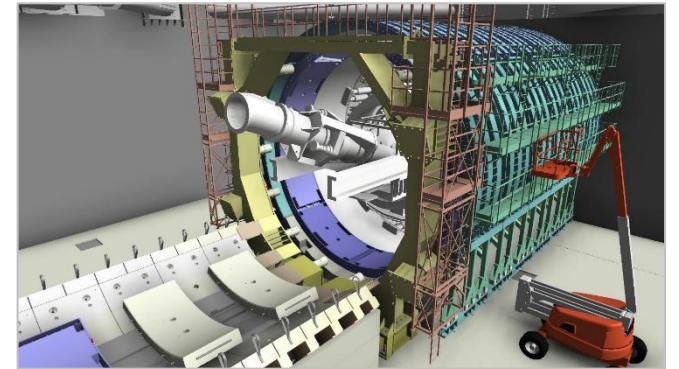
Etape 2 : Ripage du bouclier pour générer l'espace de montage de la R1



Etape 3 : Ripage du bouclier + R1 en cloche pour générer l'espace de montage de la R2



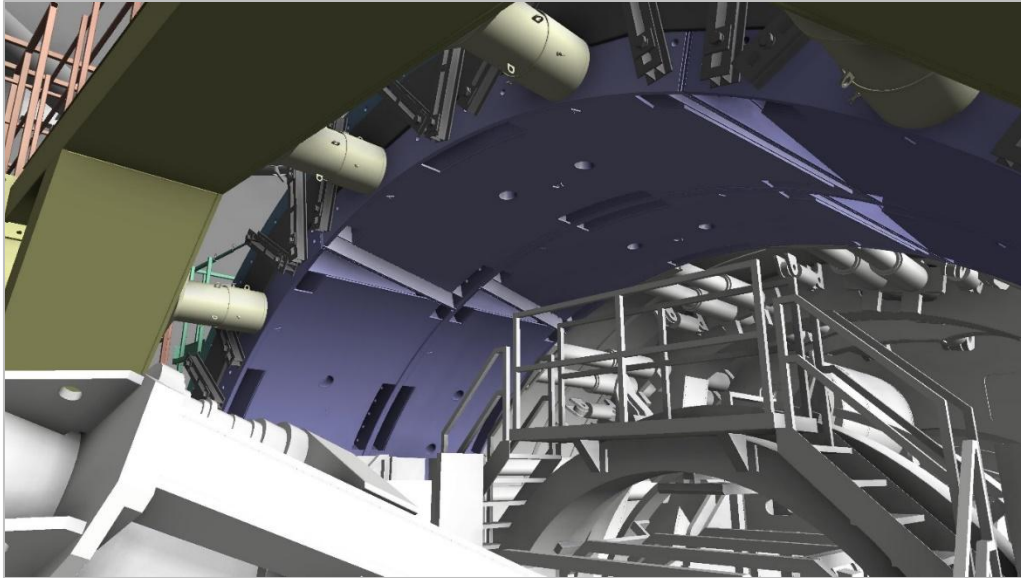
Etape 4 : Montage du bâti de poussée





# Montage du Tunnelier S-1386A

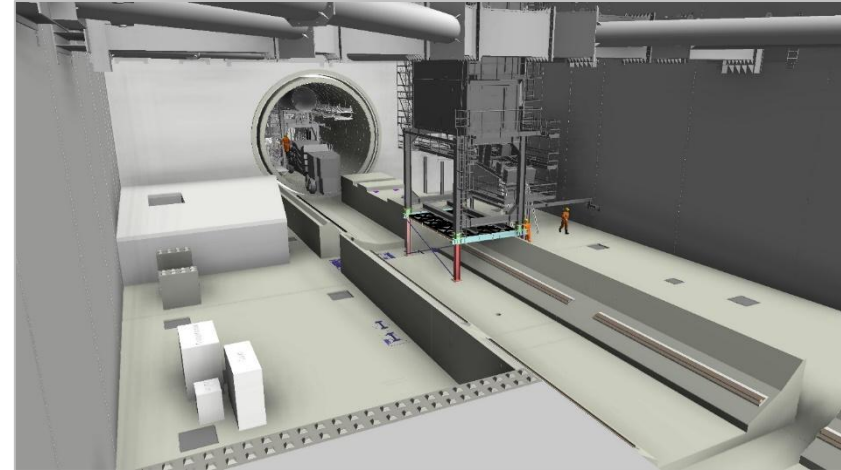
**Etape 5 : Montage faux anneaux et du joint annulaire gonflable**



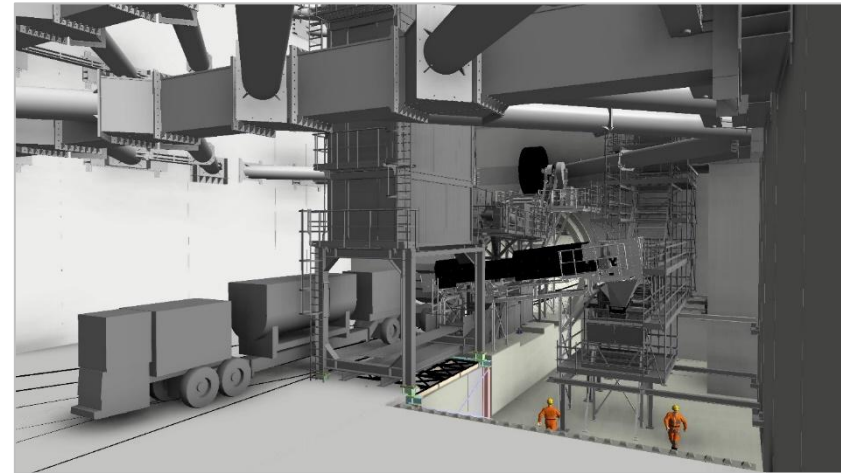
**Etape 6 : Excavation de 165ml de tunnel avec marinage à la pompe TAP et montage associé des remorques R3 à R8**



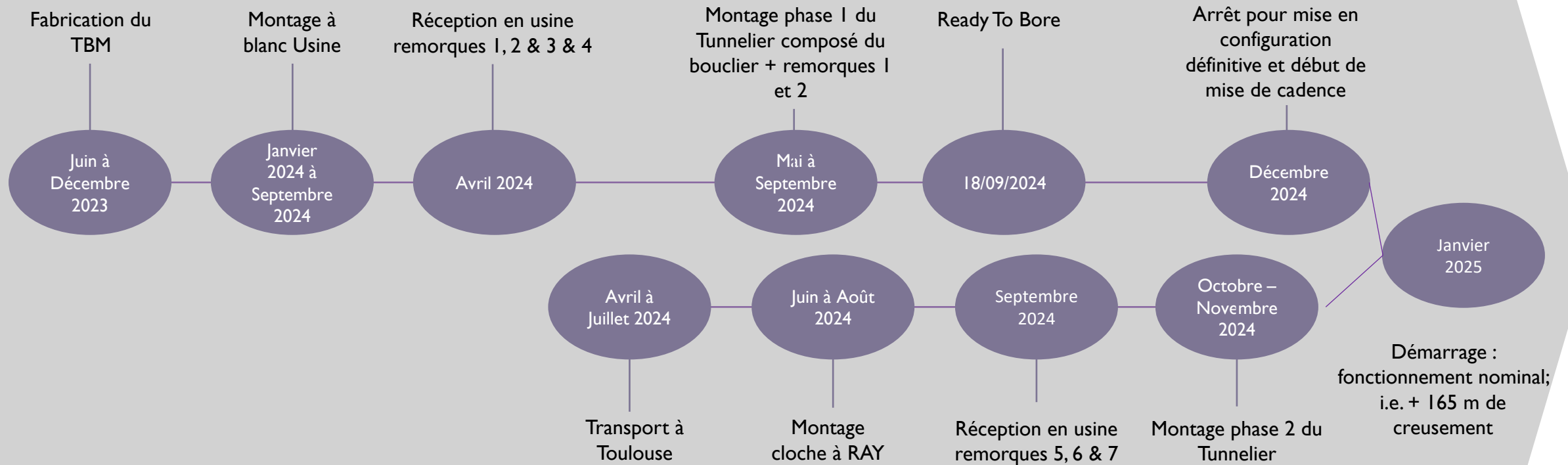
**Etape 7 : Reconfiguration du fond de station avec installation complète des convoyeurs**



**Etape 8 : Excavation du tunnel en configuration nominale**



# Planning





# Défis de la mise en service en parallèle du montage

## Phasage du montage des remorques en parallèle :

### Prémontage en surface des remorques

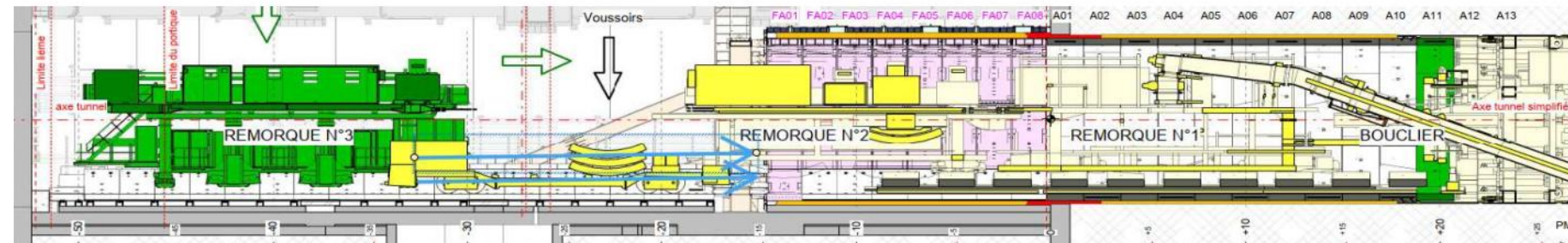
- Creusement en parallèle
- Câblage au maximum de l'ensemble des équipements électriques en surface
- Connections hydrauliques au maximum de l'ensemble des équipements en surface

### Levage & ripage

- Méthodologie du big lift dès que la fenêtre de levage est ouverte pour les voussoirs
- Fin de montage en fonds de puits pendant que le TBM creuse
- Ripage : au TSP ou aux palans

### Connections et mises en service de la remorque

- Arrêt du TBM pour < 24 heures
- Déconnexions & reconnections des fluides
- Goupillage et mise en service des boogies automatisées
- Mise en service des autres équipements des remorques en parallèle du creusement



# Défis de la mise en service en parallèle du montage

Du point de vue sécurité :

Levage, ripage, connexion et mise en service d'une nouvelle remorque

- Creusement en parallèle
- Accélérer le montage et mise en service du tunnelier avant arrêt pour sa mise en configuration définitive

Intégration et mise en service de nouveaux équipements

- (+) : Amélioration des cadences de production
- (-) : Dangers issus de la mise en service des nouveaux équipements

Sécurité électrique et automates

- Câblage en parallèle → nécessité d'identifier chaque réseau électrique
- Powerization séquencée
- Consignation des équipements non débuggé
- Mise en place procédure particulière pour les activités de production
- Cahier de suivi des mises à jour automates (5 automaticiens en parallèle/jour)



# Défis de la mise en service en parallèle du montage

## Commissioning du TBM & creusement en parallèle :

### Creusement du TBM

#### Creusement en parallèle

Débogage des équipements en parallèle du creusement

Fiabilisation des équipements en parallèle du creusement

→ 1 automaticien affecté à cette tâche

### Intégration et mise en service de nouveaux équipements

Coordination de mise en service des nouveaux équipements entre le Fournisseur et Ligam afin de maximiser à la fois la production et la mise en service du TBM

→ 1 automaticien affecté à cette tâche

### Impacts sur la production

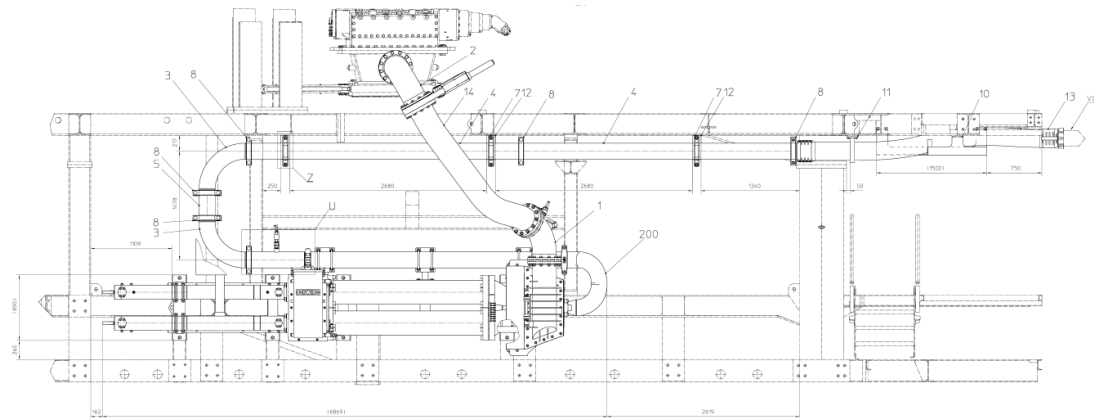
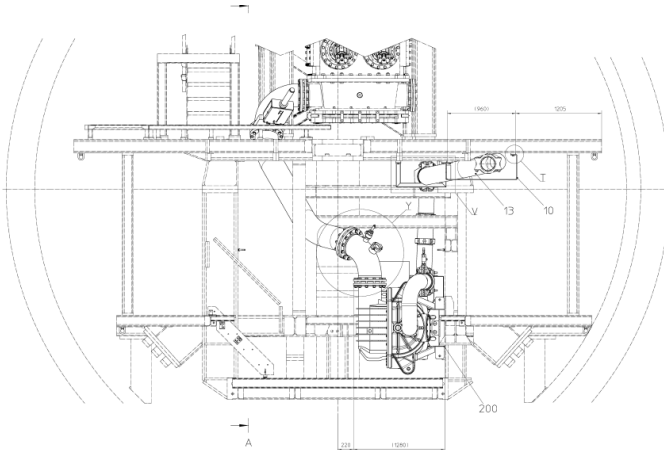
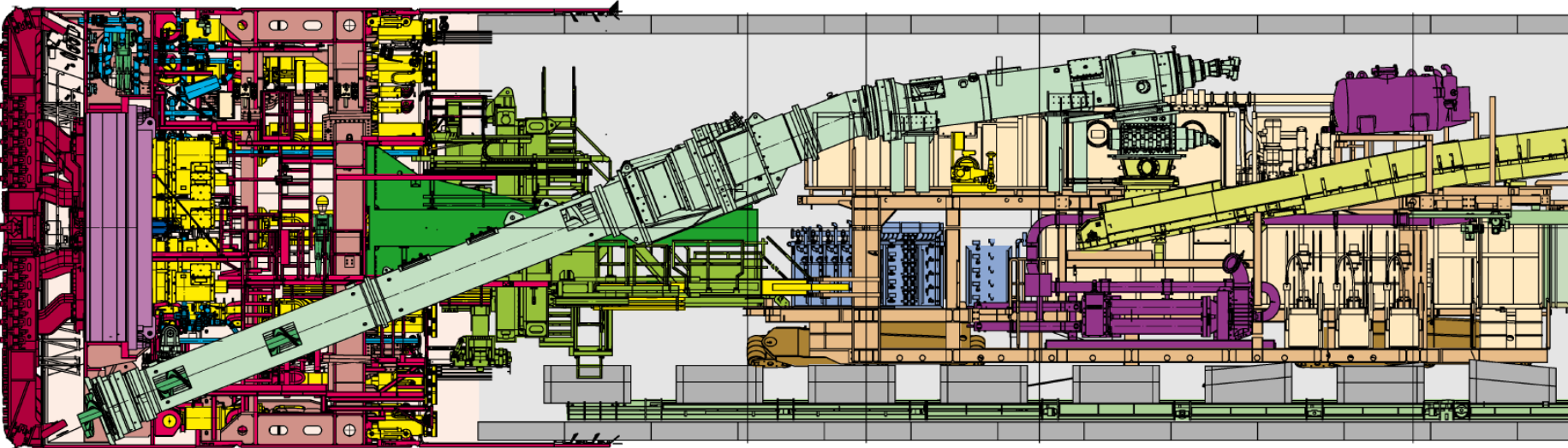
*Fonctionnement empirique :* apprendre à connaître le TBM tout en devant l'exploiter

*Impacts sur les cadences :* à la fois l'usage de la TAP140 et à la fois les temps de programme de fin de câblage et débogage des équipements.

# Usage de la TAP140

SHIELD MACHINE

GANTRY 1



## TAP140 :

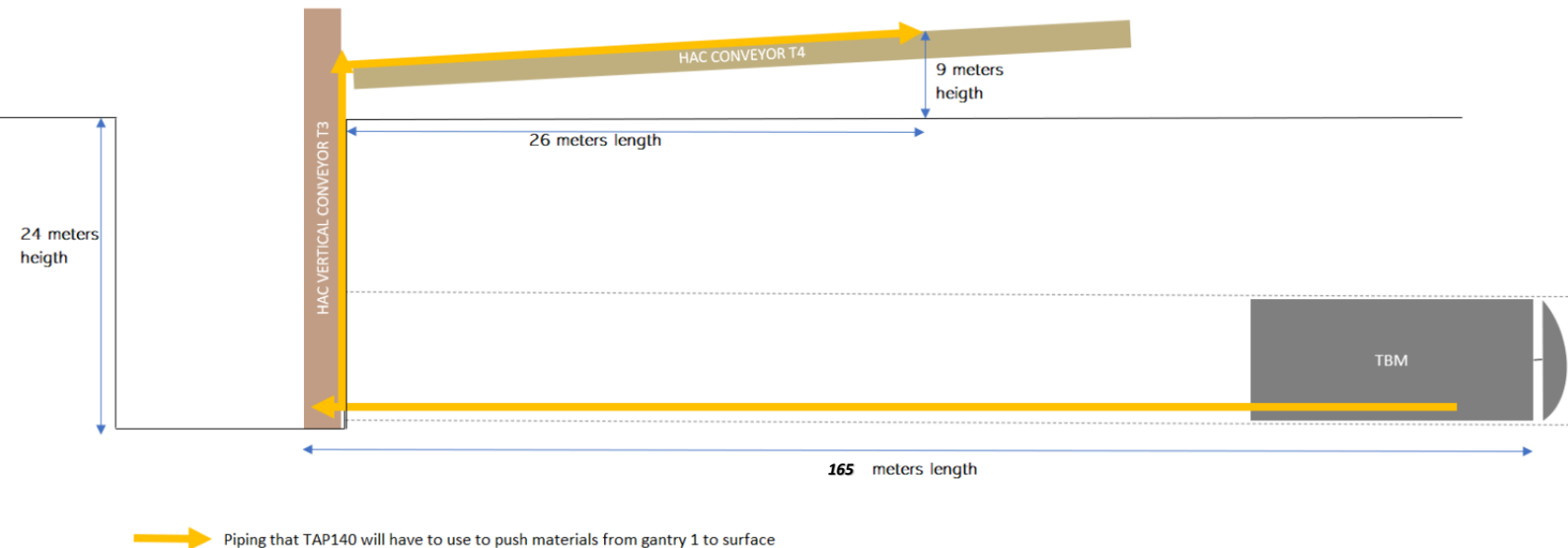
- Pompe à double pistons
- Connection via vanne hydraulique à la sortie de concasseur
- Choix d'évacuer sur le convoyeur CI du TBM (mode nominal de creusement) soit de pomper jusqu'à la surface (mode démarrage dégradé)
- Lubrification en eau (réseau BP) et/ou en bentonite
- Possibilité de la piloter en automatique ou en manuel
- Volume de déblais évacué par coup de piston : 35 dm<sup>3</sup>
- **Cadence de creusement atteinte de l'ordre 12 mm/min**



# Usage de la TAP140

## ORDRES DE GRANDEUR :

- 35 à 40 mètres de remontée verticale à pousser
- 170 mètres de linéaire horizontal à pousser
- Power installation : 2 pompes (A4VCSG 250) de 250 kW spécifiques à l'utilisation de la TAPI40
- Hydraulique branchée sur la bâche même de l'huile TBM



- Pression hydraulique maximale : 350 bar
- Pression maximale de sortie : 51 bar
- Pression de gavage : 0 à 4 bar
- Théoriquement → capacité évacuation de 102 m<sup>3</sup>/h

# Usage de la TAP140

## INCOMPATIBILITES en ENTREE DE TERRE :

- Incompatibilité du passage de la paroi moulée avec une pompe TAP → Risque de plombage conséquent avec les fibres de verre
- Anticiper par adaptation du design de la remorque l en fabricant une chute en sortie de concasseur

## DIFFICULTES RENCONTREES :

### Mise en service :

- Programme pompe TAP lourd et compliqué à mettre en œuvre → nécessite du personnel hautement qualifié
- Plage de réglage des pistons de la TAP très fin qui rend compliqué sa position de démarrage

### Exploitation :

- Préhension du pompage en tant que pilote : piloter la TAP140 comme une pompe type Warman de slurry → assurer un gavage continu et constant
- Nécessité de faire du marinage pompable → très liquide
- Nécessite de faire du solide pour les convoyeurs
- **Equilibre entre la fluidité et solidité pour la mise en œuvre des convoyeurs : jouer constamment sur la limite entre sec & fluide**

### Sécurité :

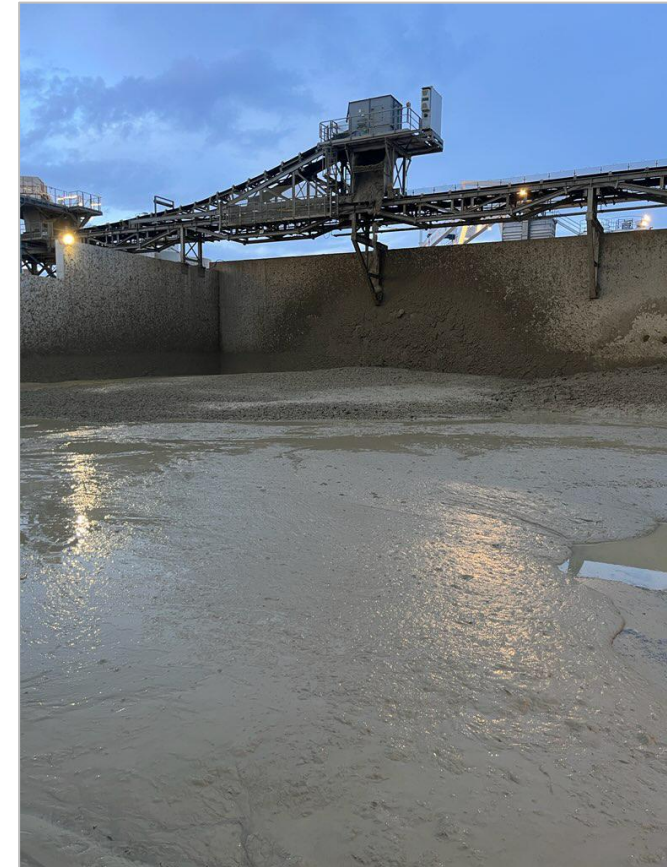
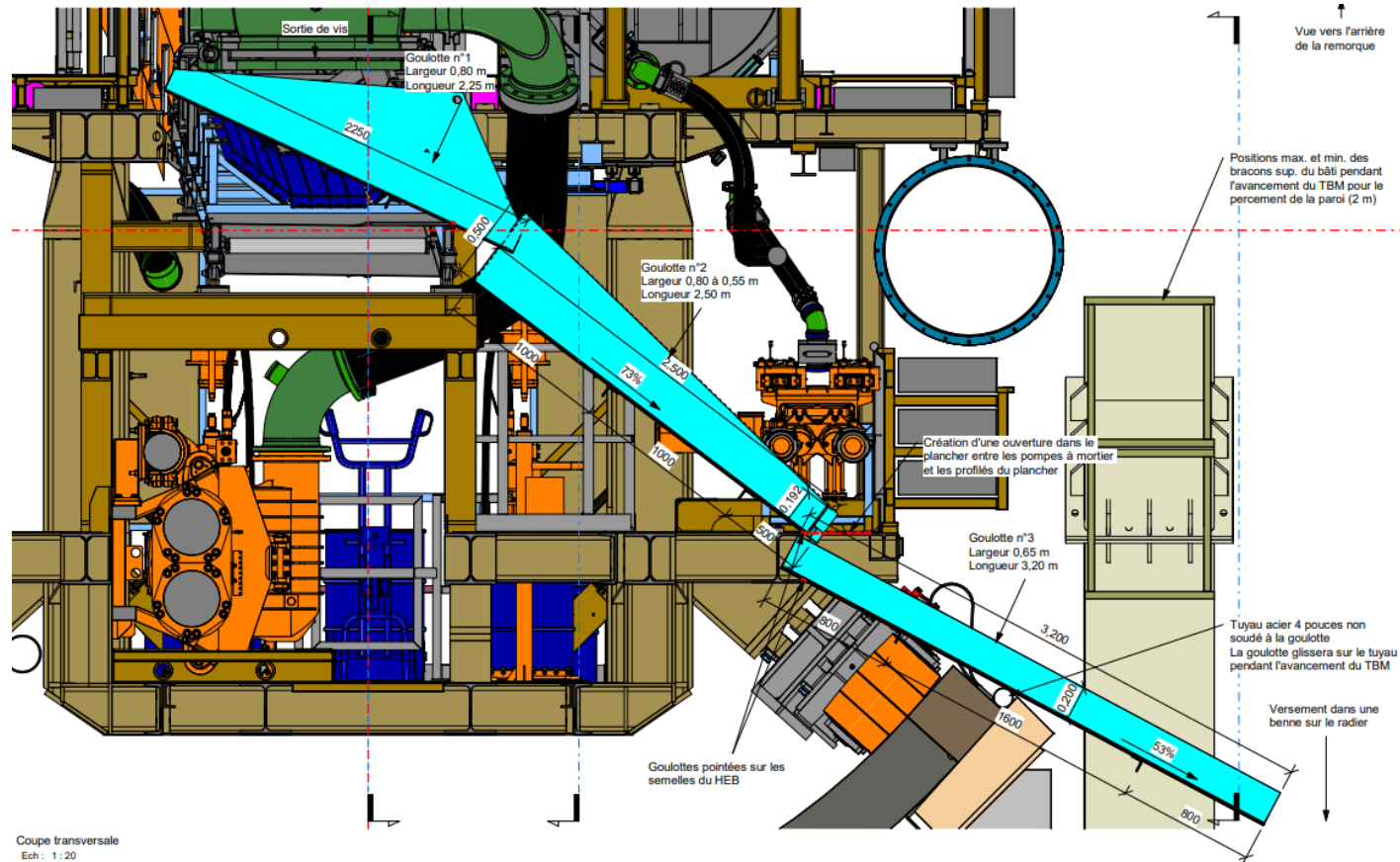
- Risques élevés lors des bouchons car travail à très haute pression (tuyauterie montée en DN200 pour PNI00 sur TBM)
- Gestion de l'exhaure du site compliqué, création de la boue chargée en fine



# Usage de la TAP140

## ILLUSTRATIONS :

### Principe goulotte sortie de vis :



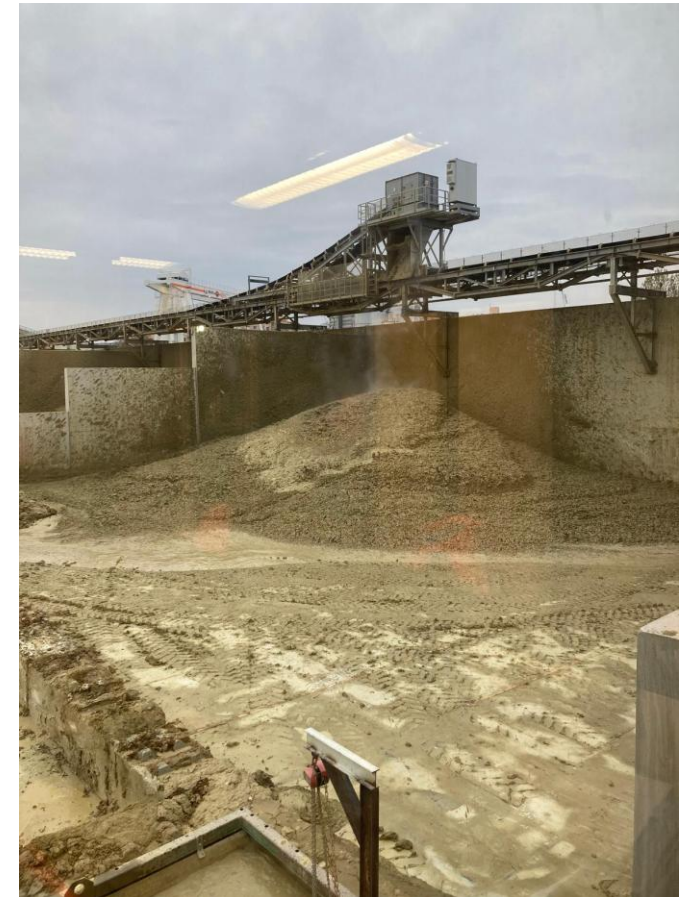
# Usage de la TAP140

## GESTION DES MARINS :

Densité cible du matex avec utilisation TAP : 2,8 (rappel 2,15 CCTP)

Densité réelle et de transport :  $d = 3,20$

PM Rdc	Densité
PM 56,2 mètres	D = 2,93
PM 102,6 mètres	D = 3,46
<i>Ajout de l'anneau de lubrification</i>	
PM 149 mètres	D = 2,96
PM 193,8 mètres	D = 3,44





# Usage de la TAP140

## GESTION DES MARINS :

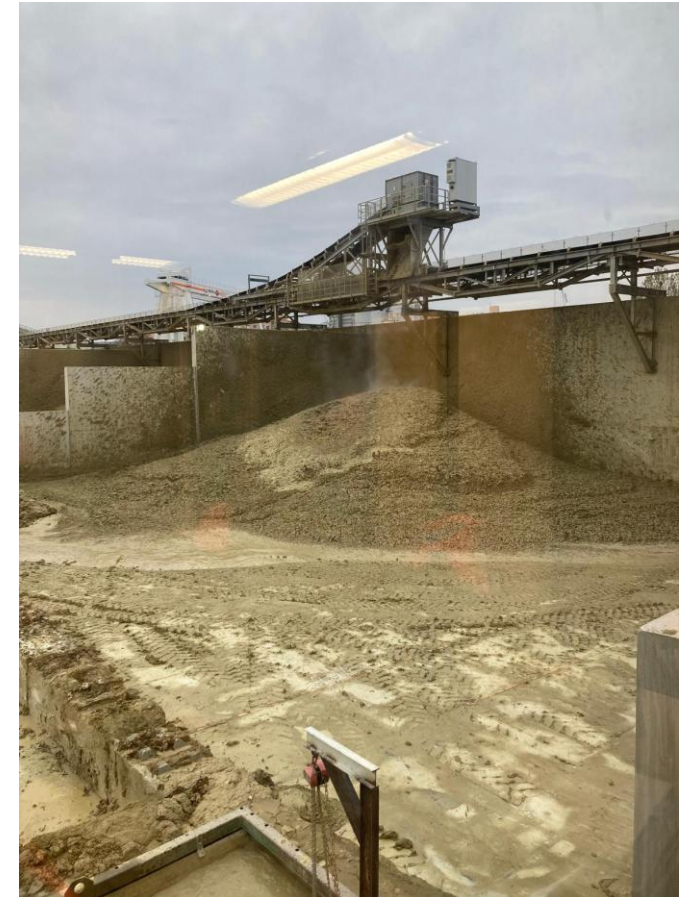
- **Enjeux financiers majeurs :**

« Equilibre entre fluide & sec... »

- Evacuation déblais par camions bennes sur voies routières & mise en exutoire
  - Nécessite d'assurer le conditionnement et mise en œuvre par usage de la pelle
  - Nécessité de respecter un indice de portance pour la mise en exutoire
- Nécessité de traiter les déblais avec un liant type chaux ou Gralitek afin de limiter la teneur en eau et assurer le transport et l'indice de portance.
- Schéma du marché ligne C : ajout d'eau à limiter afin que l'évacuation des déblais ne soit pas dispendieuse pour l'Entrepreneur

- **Enjeux de production majeurs :**

- Creusement long, avancement de l'ordre de 10 à 12 mm/min
- Extrême vigilance au vu de la faible pénétration de ne pas colmater dans la chambre d'abattage !



# Usage de la TAP140

## AMELIORATIONS TECHNIQUES REALISEES ET IDENTIFIEES :

- **Améliorations techniques :**

- Systématiquement installer des anneaux de lubrification «lub ring» sur le réseau outlet de la TAP 140 connectée en HP eau :
  - Permet de limiter les bouchons aux interfaces de réduction ou position de déviation linéaire de la conduite
- Mise en œuvre de vannes hydrauliques sur le réseau outlet TAP140 afin de pouvoir isoler et nettoyer par portions les conduites.
- Ajouter ponctuellement des appoints eau en HP et bentonite pour le flushing et aider au nettoyage et glissement des matériaux.

- **Limites techniques :**

- L'hydraulique limite le TBM : Passer les 165 mètres linéaires de creusement, la pompe à 2 unités de 250 kW atteint ses capacités maximales !
- Solution hydride TAP & convoyeurs demandent une grande finesse de pilotage.





# Fin ! Merci de votre attention.

