



GRANDS PROJETS

# AFTES Young Members

Paris, le 17 avril 2025

# Hampton Roads Bridge Tunnel Expansion Project - USA



Présenté par : David MAZEYRIE

## SOMMAIRE

1. LE PROJET
2. LES TUNNELS
3. LES VOUSOIRS
4. LE TUNNELIER
5. LE PHASAGE
6. LE SITE ET SES CONTRAINTES
7. LES STRUCTURES INTERNES

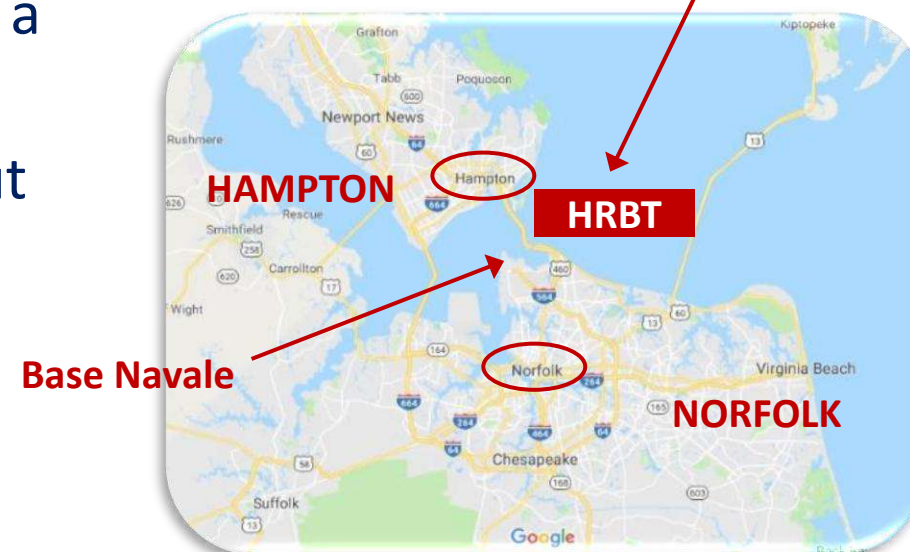
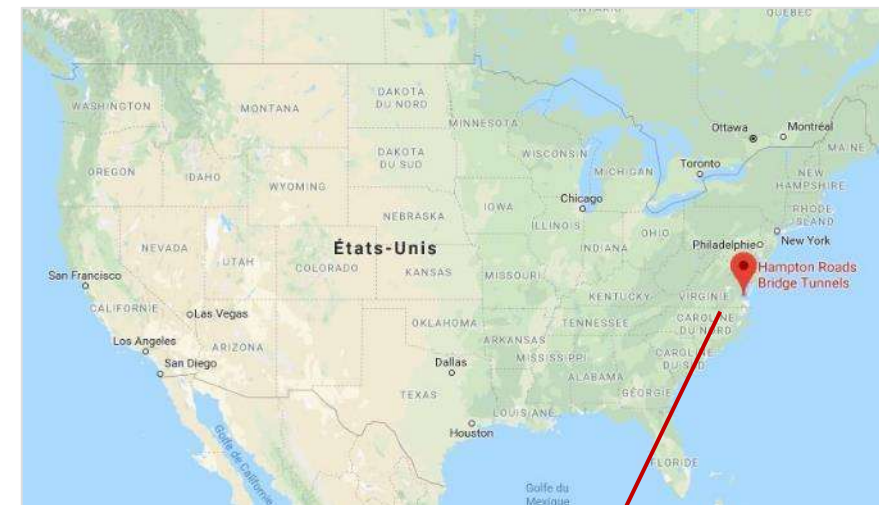
## 1. LE PROJET



# 1. LE PROJET

## Localisation du projet

- ✓ HRBT est une **section existante** de l'autoroute I-64 qui relie les villes de **Hampton** et **Norfolk**, dans l'État de Virginie, aux États-Unis.
- ✓ **Pôle clé du transport maritime** (Navy Station - plus grosse base navale du monde), la zone est confrontée à de gros **problèmes d'embouteillages**.
- ✓ Le HRBT, opérationnel depuis les années 1960, ne peut plus répondre aux **demandes croissantes de trafic**, ce qui nécessite son expansion et sa modernisation.



# 1. LE PROJET

## Etendue du projet

Le projet s'étend sur environ 14 km et comprend:

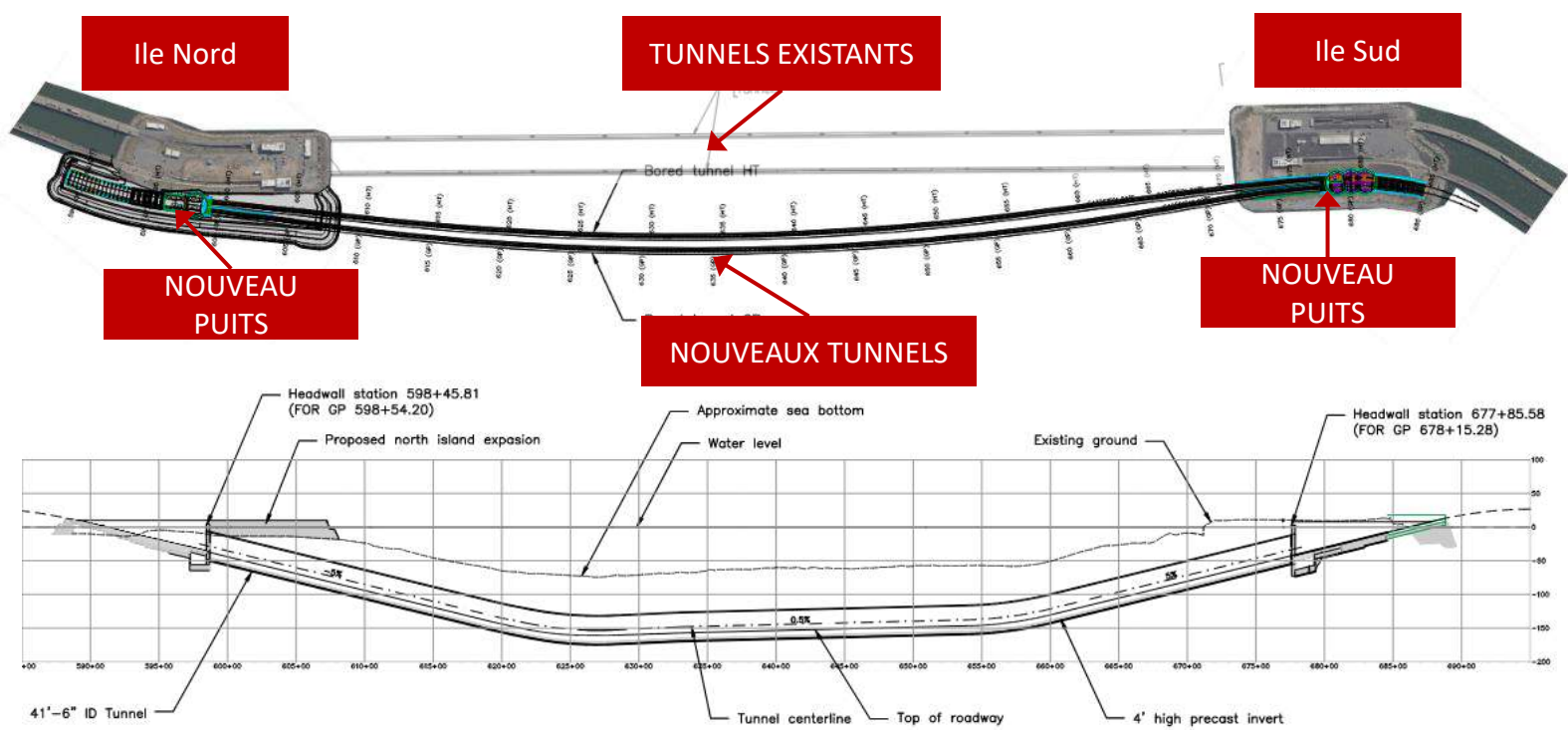
- ✓ **2 nouveaux tunnels** de 2 voies
- ✓ **28 ponts** remplacés ou élargis (offshore et onshore)
- ✓ **1.6km d'élargissement d'autoroute** du côté de Hampton
- ✓ **6.5km d'élargissement d'autoroute** du côté de Norfolk



# 1. LE PROJET

## Etendue du projet

- ✓ 2 extensions d'îles artificielles existantes
- ✓ 2 nouveaux puits pour relier les ponts aux nouveaux tunnels

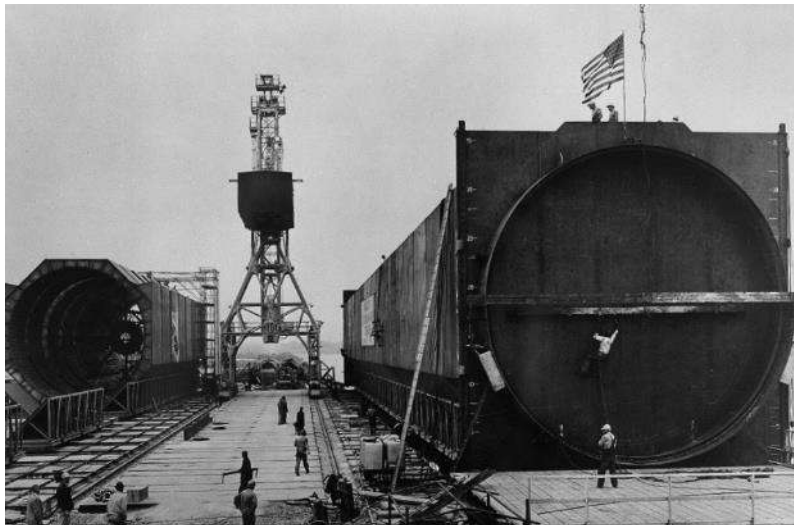
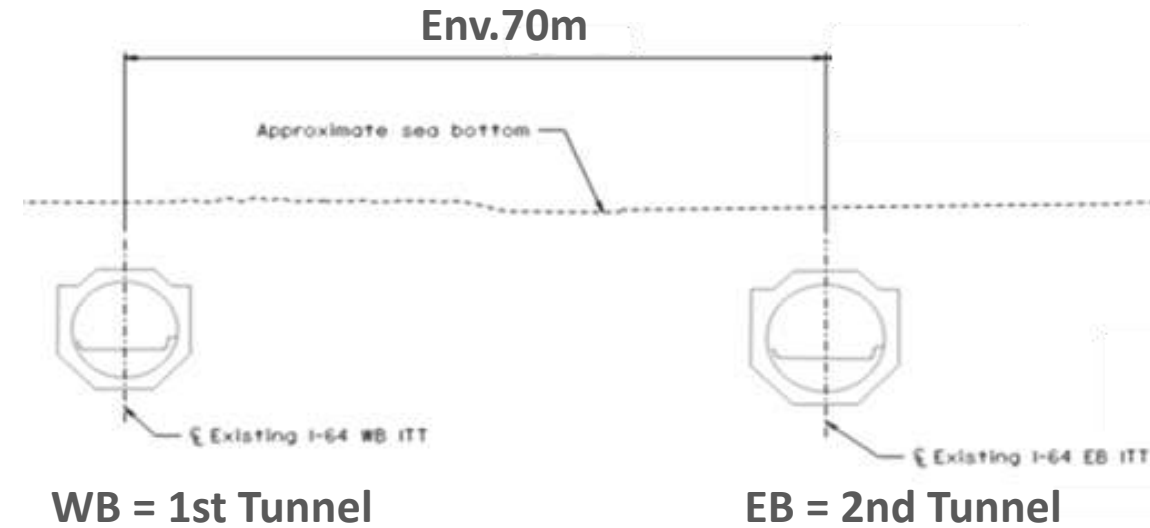




# 1. LE PROJET

## Un peu d'histoire

- Mise en service du 1<sup>er</sup> tunnel : **01/Nov/1957**
- Construction du 2<sup>ème</sup> tunnel : **1972-1976**
- Longueur **7479 FT (2300m)**

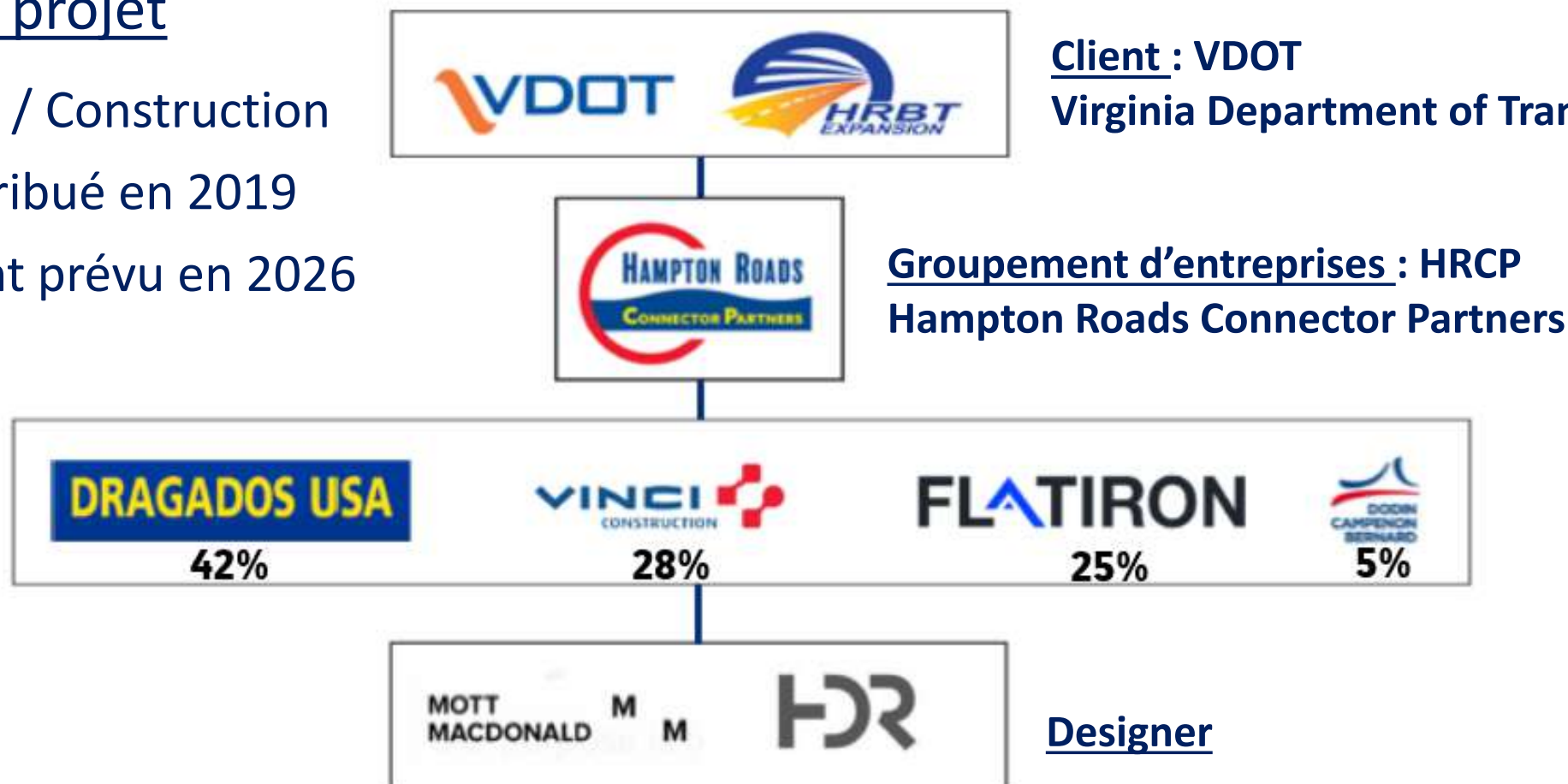




# 1. LE PROJET

## L'équipe du projet

- ✓ Conception / Construction
- ✓ Marché attribué en 2019
- ✓ Achèvement prévu en 2026



# 1. LE PROJET

## Immersion avec une visite virtuelle

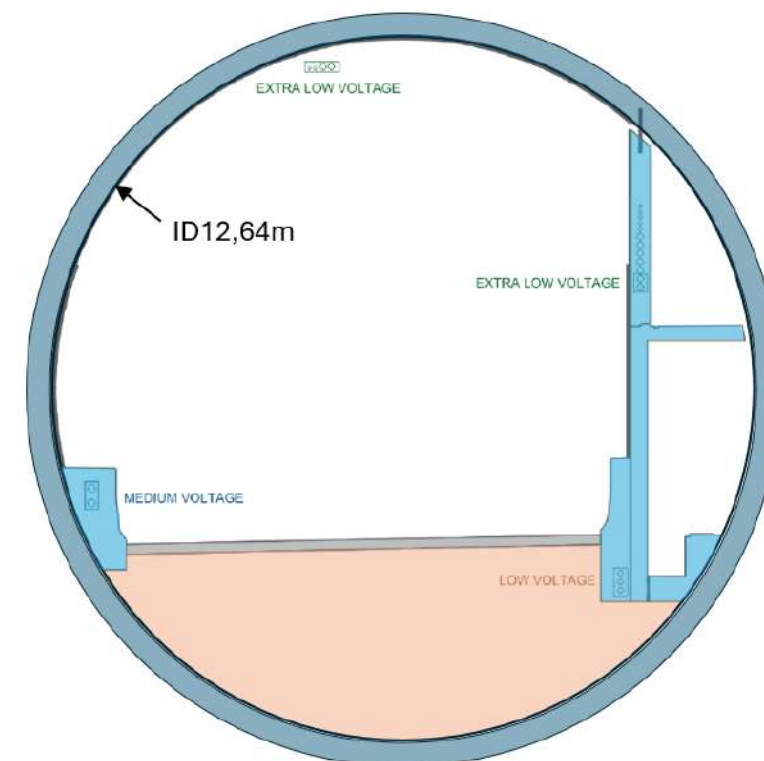
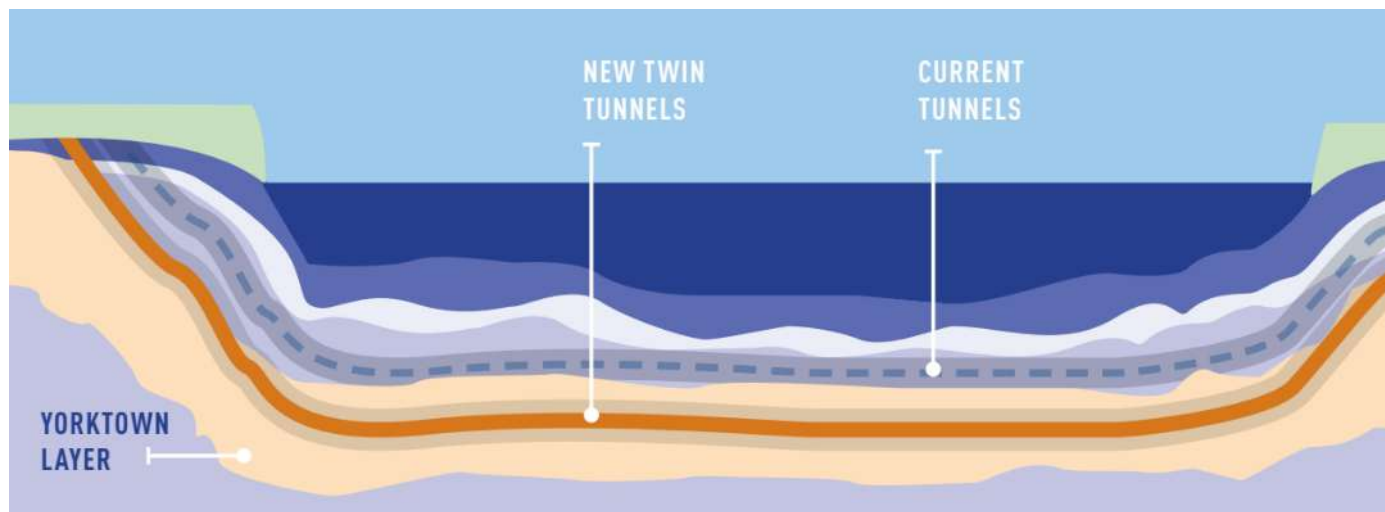


## 2. LES TUNNELS



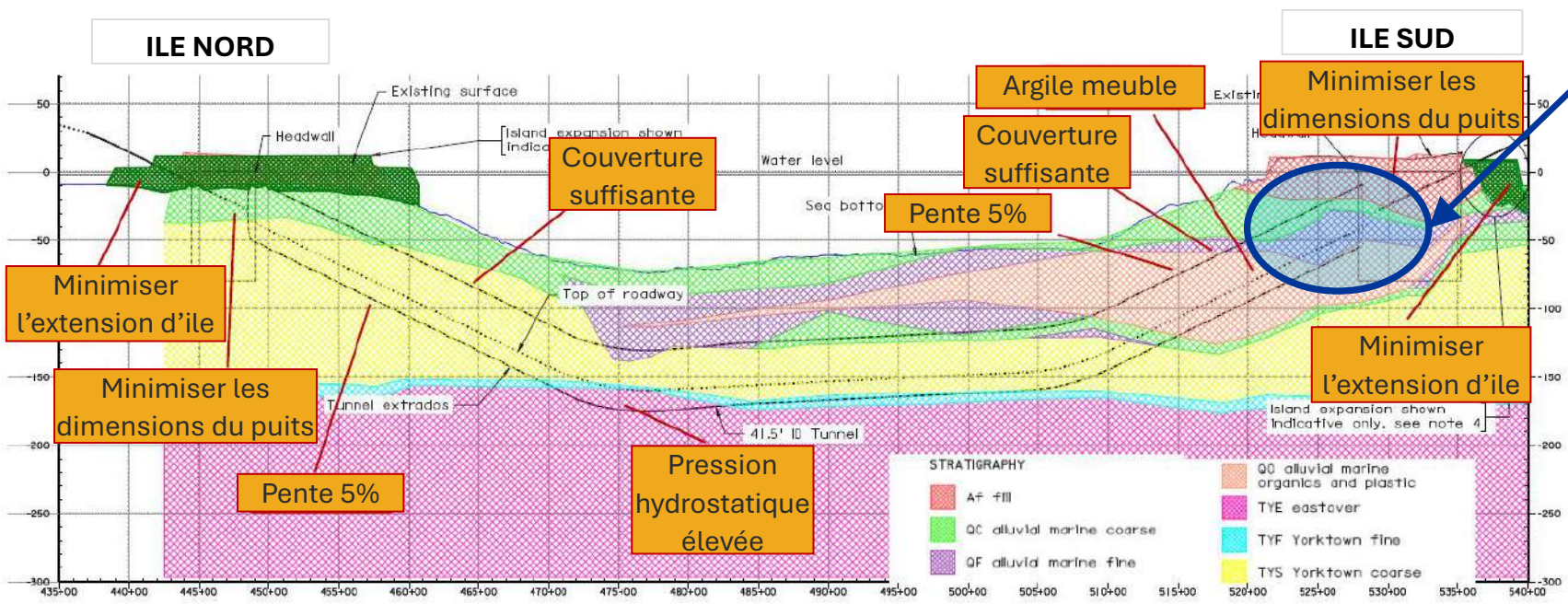
## 2. LES TUNNELS

- ✓ Deux tunnels d'environ **2.4km** de long
- ✓ Profondeur de **45m** sous le niveau d'eau de la baie
- ✓ Diamètre intérieur de **12.64m** (41.5ft)



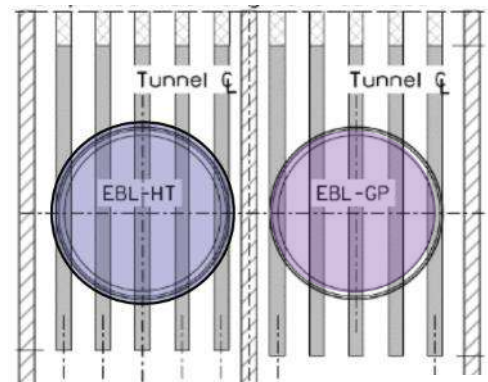
## Définition de l'alignement des tunnels

- ✓ **Couverture suffisante** au-dessus des tunnels : minimum un diamètre en section courante.
- ✓ **Pente de 5 %** pour minimiser les dimensions des structures d'approche et pour limiter les coûts d'exploitation.



Traitement de terrain pour compenser une couverture insuffisante.

→ Risque de soulèvement



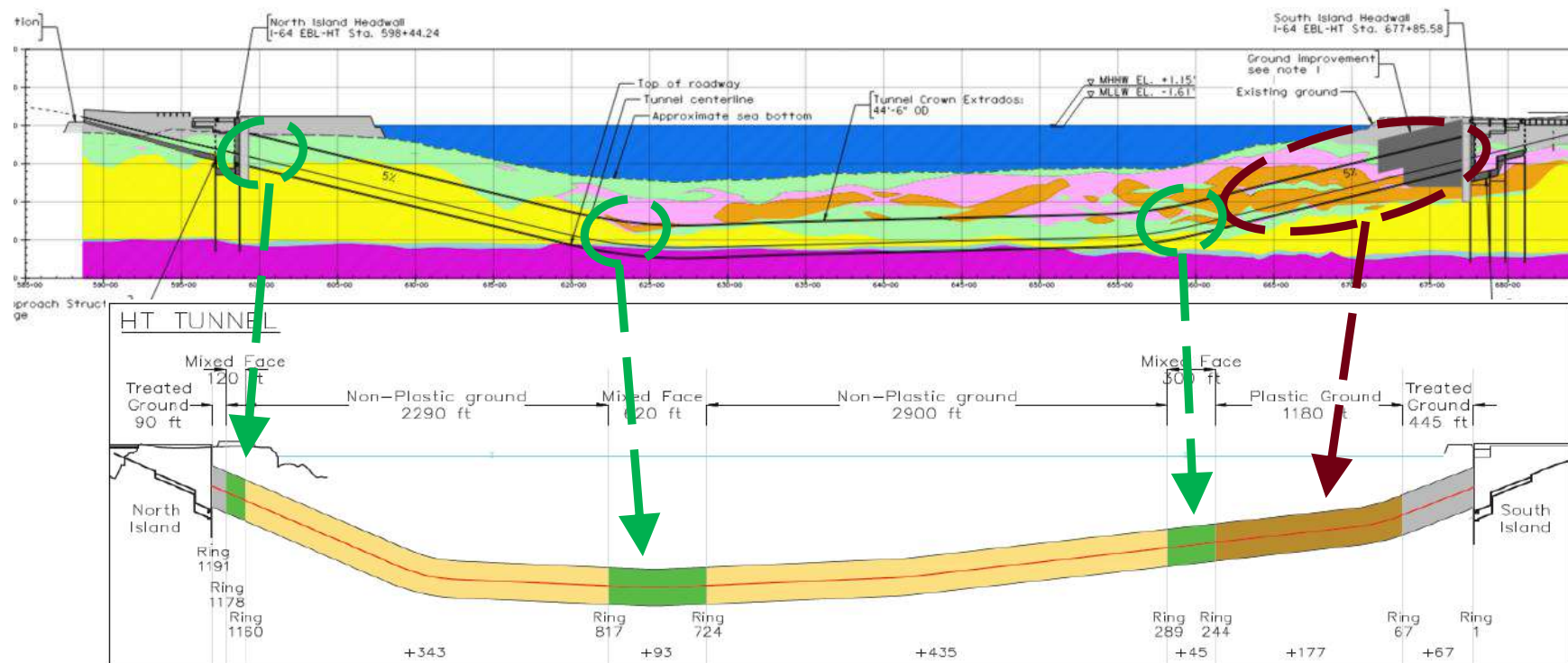
DSM panels

## 2. LES TUNNELS

### Géologie

#### Formation sédimentaire

- Formation argileuse proche des portails et sables fins dans la zone approfondie.
- Présence de tourbe.





## 2. LES TUNNELS

### Géologie

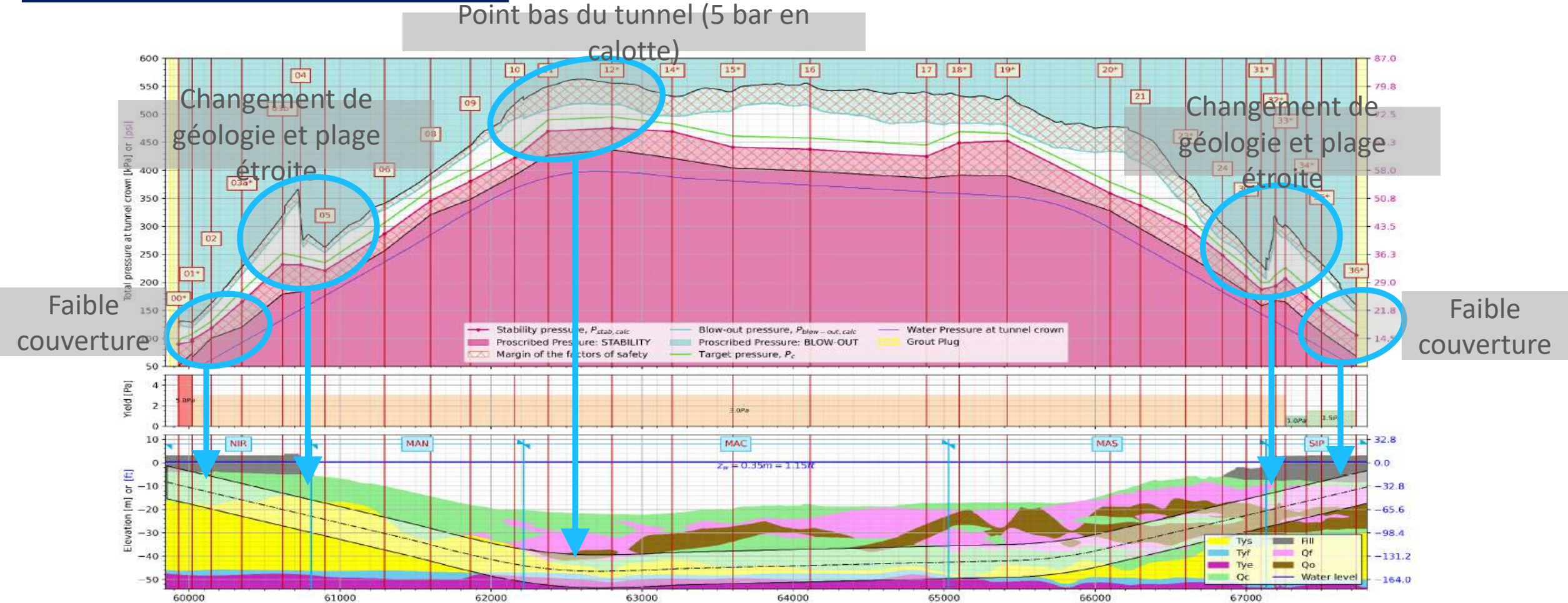
#### Présence de quelques obstacles :

- Instrumentation antérieure
- Tirants d'ancrage (non actifs)
- Boulets de canon (jusqu'à Ø. 8'')



# 2. LES TUNNELS

## Pressions de confinement



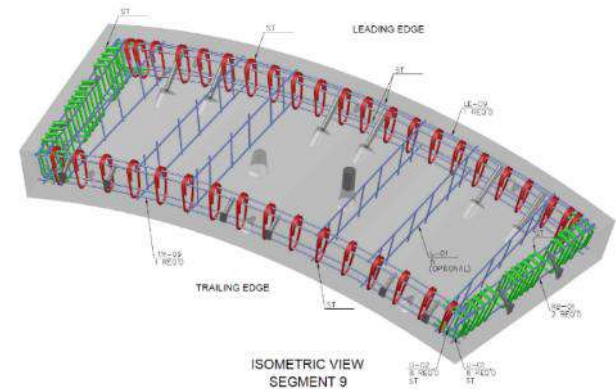
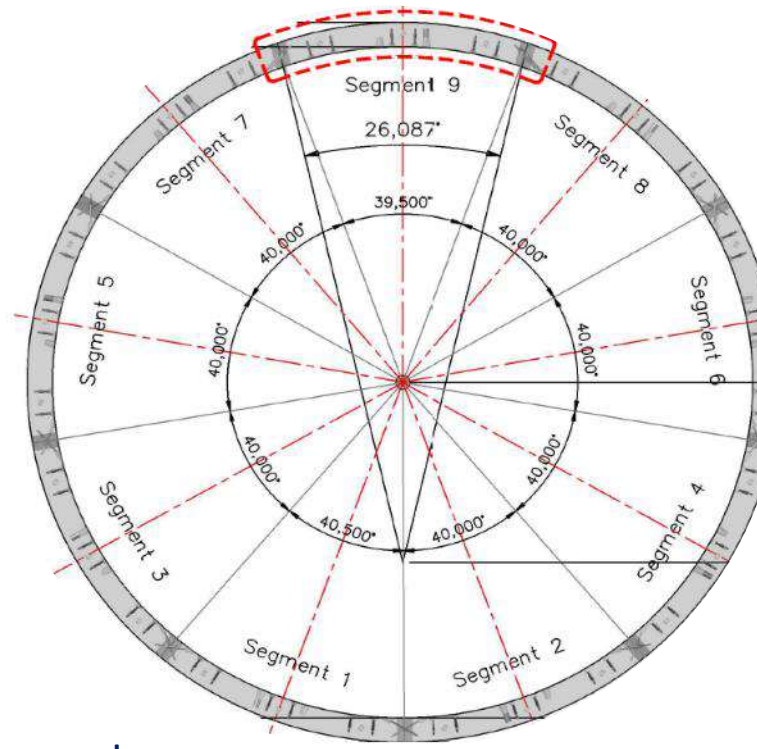
## 3. LES VOUSOIRS



# 3. LES VOUSSOIRS

## Design de l'anneau

- ✓ Configuration (9 + 0), rhomboïdal,
- ✓ Diamètre Int. / Ext. = 12,65m / 13,56m
- ✓ Epaisseur des voussoirs = 46cm
  
- ✓ Longueur / Poids = 2032mm / 95t
- ✓ Pincement de 2 x 16mm
  
- ✓ Système de connexion :
  - Boulons entre voussoirs (9x2=18) → permanents
  - Boulons entre anneaux (9x6=54) → temporaires
  - Bicones (9x3= 27 bicones par anneau)
  
- ✓ Renforcement hybride :
  - Ferrailage en périphérie 58 kg/m3
  - Fibres métallique 24 kg/m3
  
- ✓ Résistance :
  - 50 MPa à 28 jours
  - 70 MPa à 90 jours

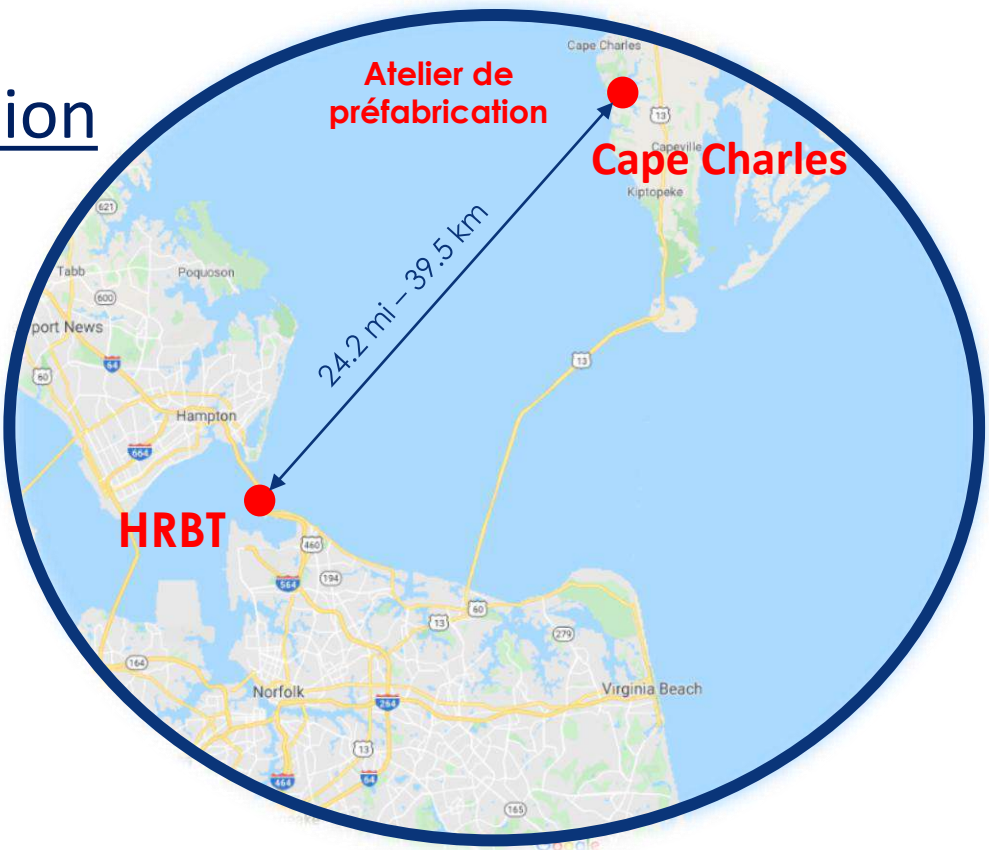
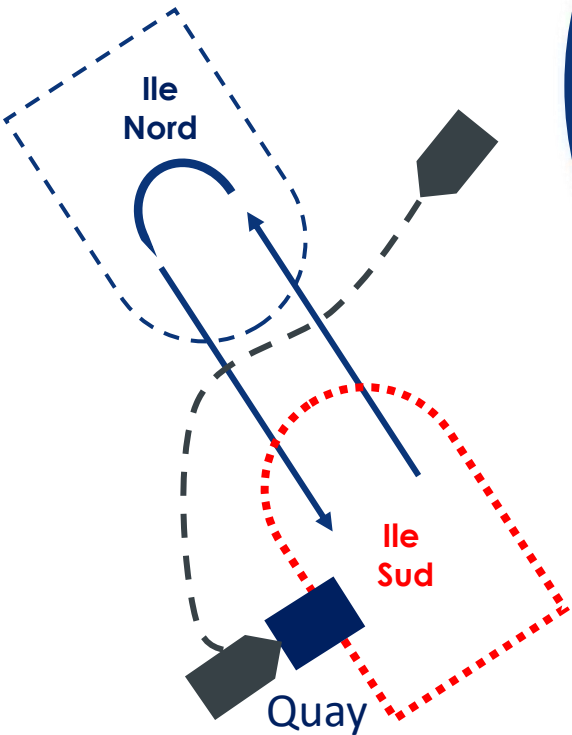


Durée de pose d'un anneau sur TBM :  
→ Moy. 45min



# 3. LES VOUSOIRS

## Atelier de préfabrication



Transport :  
- 1 barge = 19 anneaux  
85 camions pour la même quantité





# 3. LES VOUSOIRS

## Atelier de préfabrication

- ✓ 27 Moules CBE
- ✓ Installation « poste fixe »
- ✓ Joint EPDM 44mm
- ✓ Packer 3mm
- ✓ Barres de guidage



- ✓ Production 54 voussoirs par jour
- ✓ Plus de 21000 voussoirs à produire

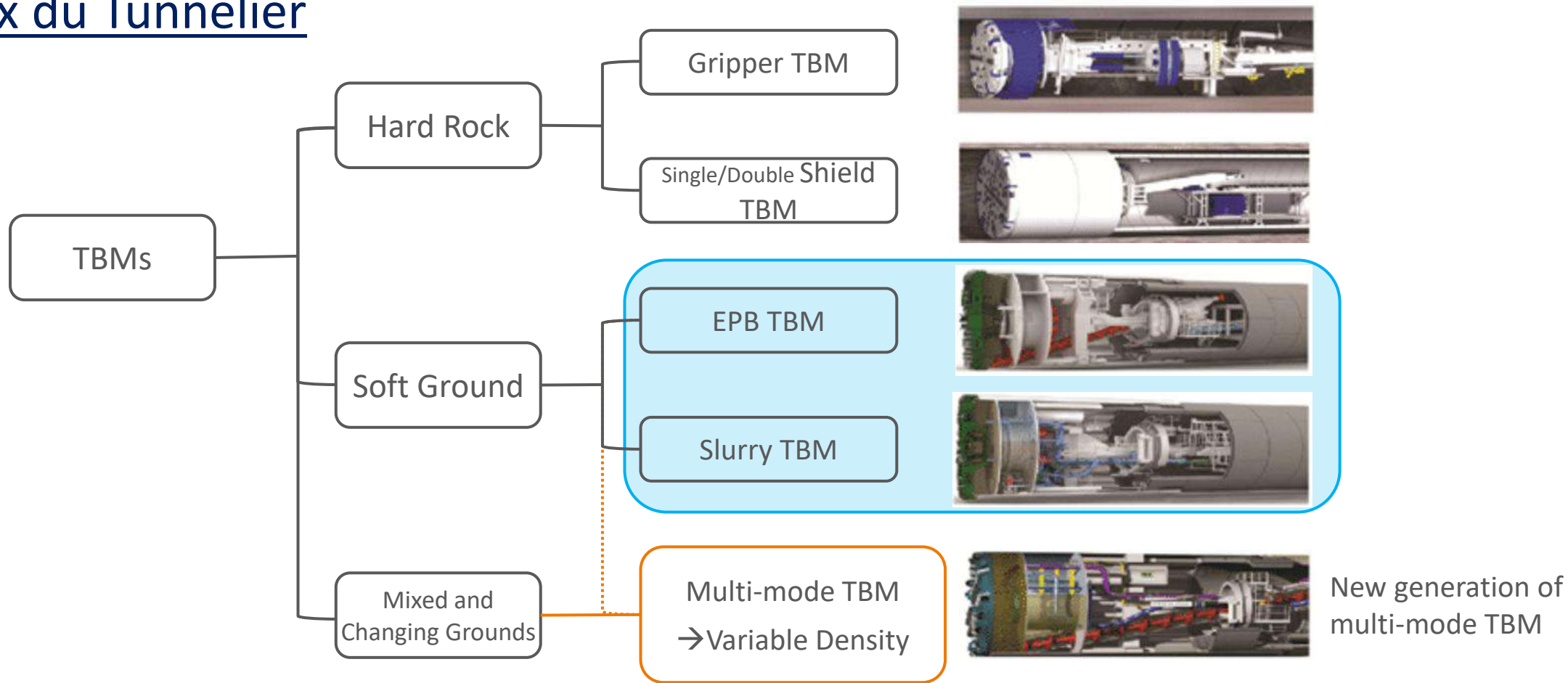


## 4. LE TUNNELIER



# 4. LE TUNNELIER

## Choix du Tunnelier

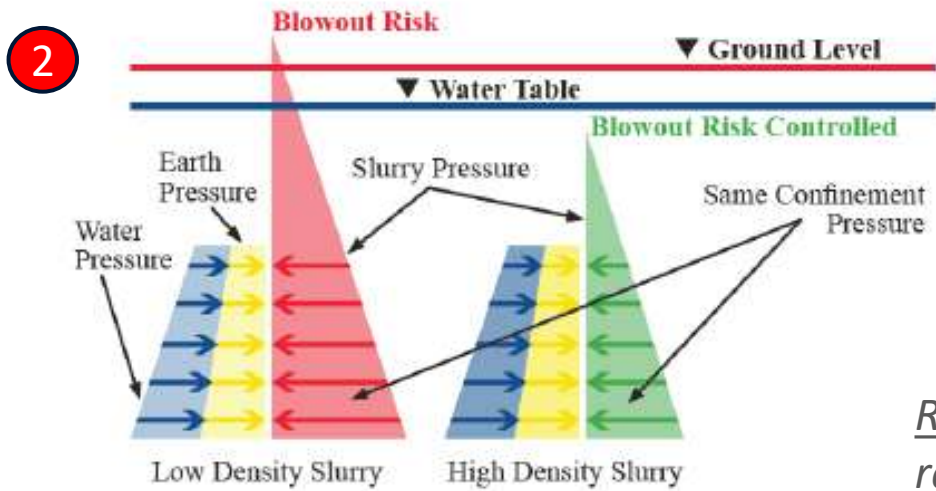


## Pourquoi un VD TBM ?

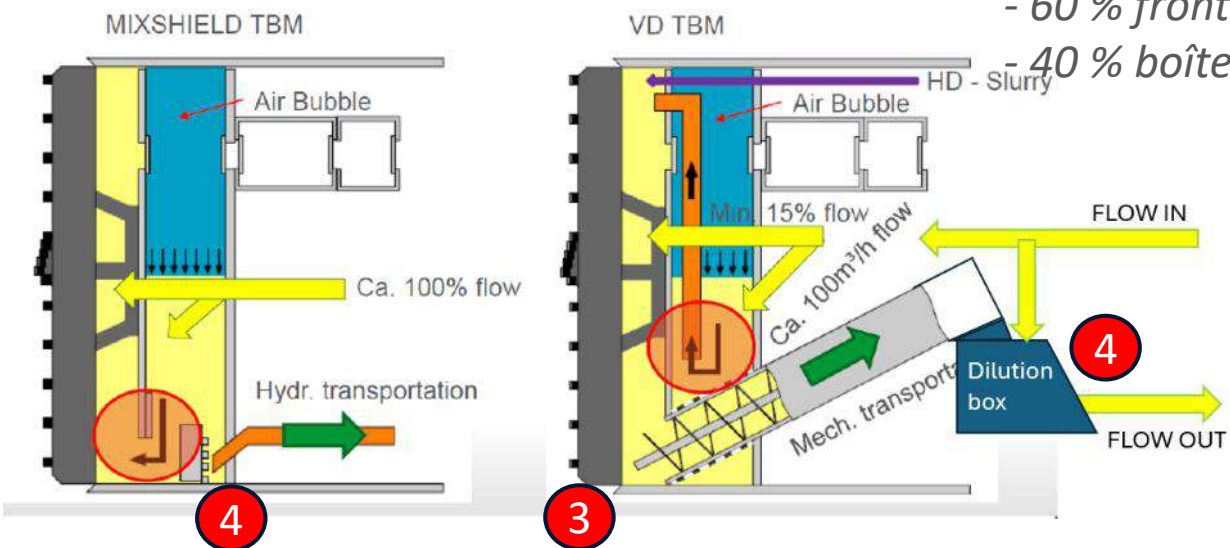
Analyse comparative multicritères

Criteria	EPB TBM	VD TBM	Slurry TBM	Comment
Seals	+	+	+	Important intervention: high water pressure, need to create hermetic seal
Gas (presence of methane)	-	+	+	Gas kept confined in pipes until surface
Confined pressure	-	+	+	Blowout limited with high density slurry, working high pressure
Type of ground (aqueous material)	+	+	+	Low torque with slurry
Accessible cutterhead at all pressure	-	+	+	No accessible cutterhead for EPB
Cost	+	+	+	VD4 Slurry TBM more expensive than standard EPB TBM and requires a STP
Hermetic case management for CAI	+	+	+	Remains case from STP (additional equipment for STP TBM)
Wear	+	+	+	Less wear with slurry (high abrasive material expertise)
Dredging (steel pipes)	+	+	+	Like crusher
Drilling	+	+	+	High flow contents and slurry material
TBM Performance	+	+	+	Advances rate limited for EPB due to torque limit (full chamber for high pressure)
Spill management	+	+	+	Good control of the material quality (STP)
Reuse of material	+	+	+	Good material coming out of STP
Site layout	+	+	+	STP required space
Methods for Launching & U-turn	+	+	+	Slurry circuit makes that conveyor belt
Environment	+	+	+	Use of hermetic line is use of foam/polymer

1. Pressions de confinement élevées
2. Faible couverture → Risque de Blow-out
3. Colmatage en pied de chambre
4. Maintenance du concasseur
5. Compatibilité avec roue accessible



*REX drive 1 sur la répartition des flux*  
 :  
 - 60 % front  
 - 40 % boîte



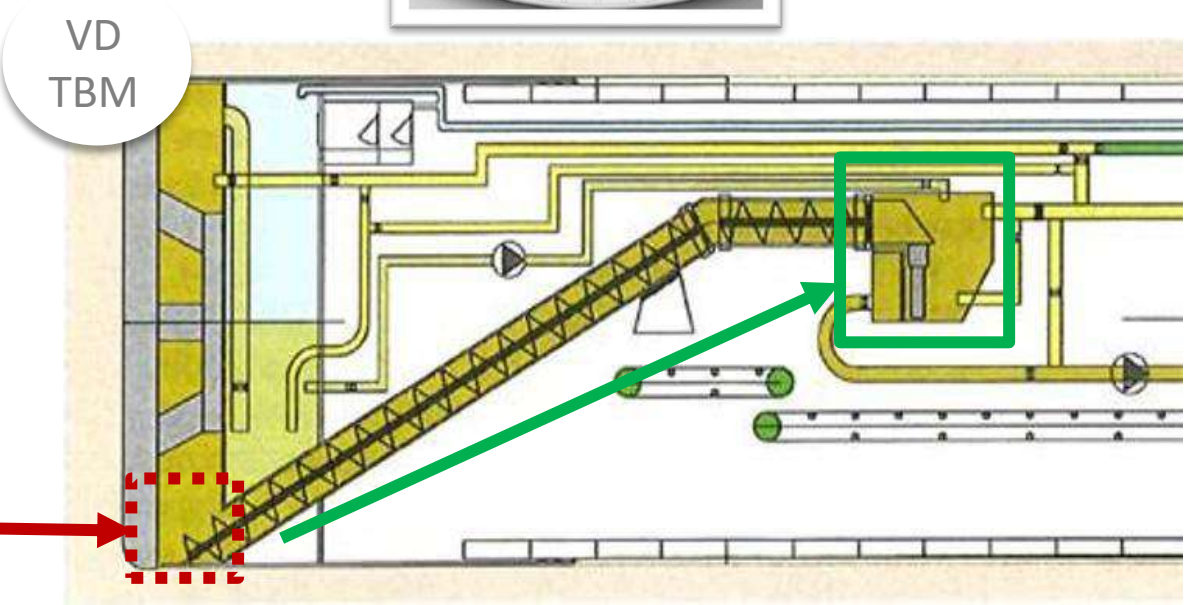
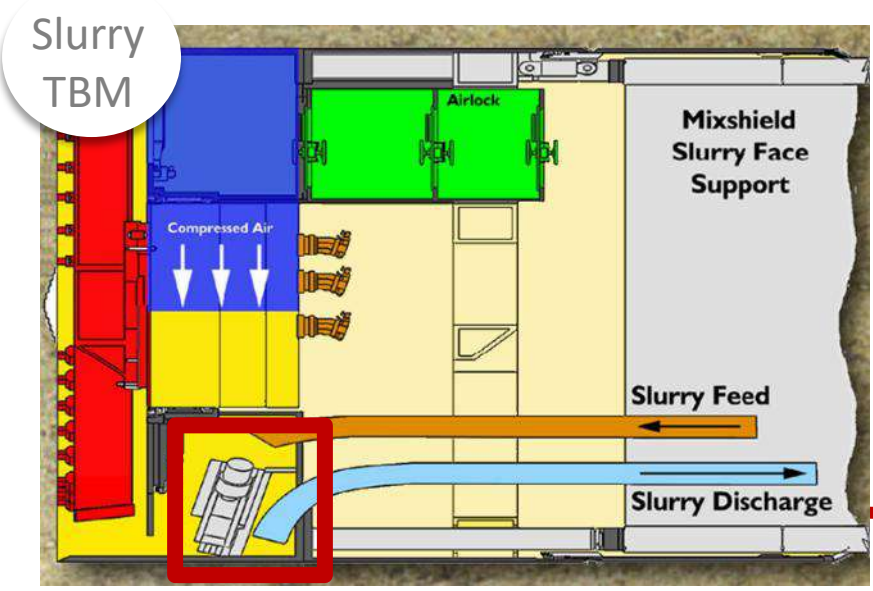
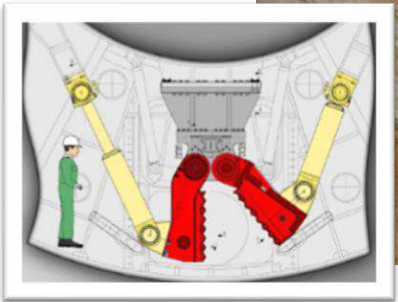


# 4. LE TUNNELIER

## Pourquoi un VD TBM ?

Risque de **boulets de canon non explosés**

→ Concasseur situé à l'arrière de la vis (accès à **pression atmosphérique** pour inspection ou maintenance)

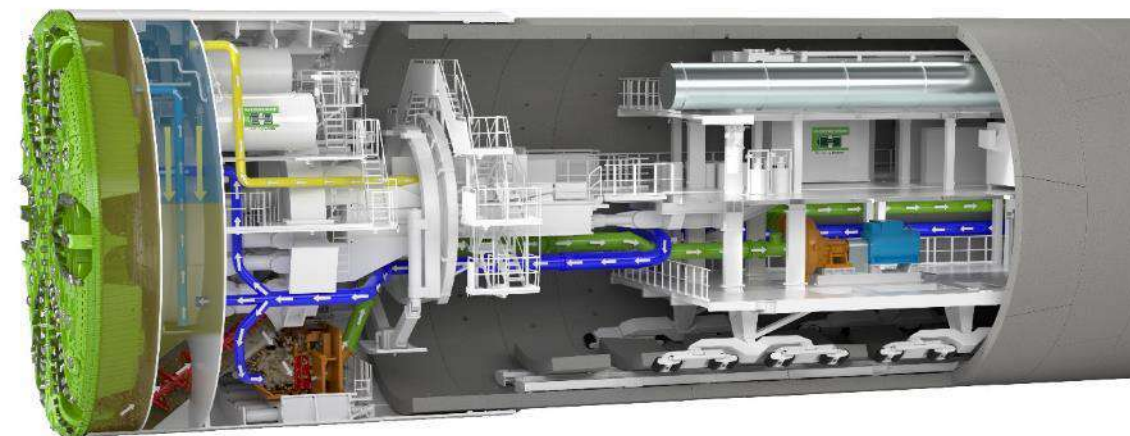




## Caractéristiques principales du TBM



- ✓ Diamètre d'excavation de **14,04 m**  
→ « Grand diamètre »
- ✓ Conçu et Construit par **Herrenknecht**
- ✓ **Assemblé** en Allemagne

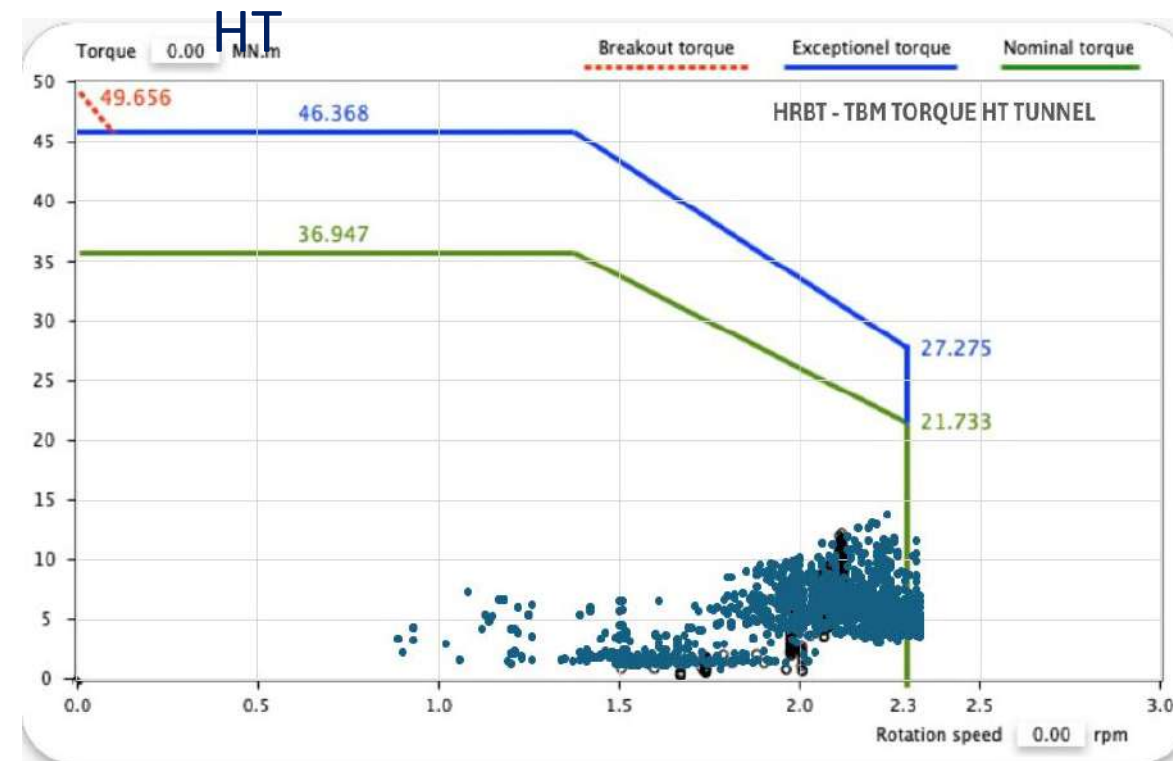




## Caractéristiques principales du TBM : quelques chiffres

- Roue accessible **Ø14,04m** (46,1 FT)
- Pression max. **6 bar** à l'axe
- Entraînement principal Ø6,60m, Couple nominal **37MN.m**
- **5 600kW** de puissance installée sur la roue (16 moteurs de 350kW)
- Vérins de poussée : 27 paires. **Poussée 171 510kN** à 350 bars
- Articulation de la roue de coupe : 12 vérins. 60 288kN à 400 bars
- **Vis** de marinage courte **Ø1,60m, 800kW** de puissance installée
- Circuit de **marinage** : **3200m<sup>3</sup>/h**, conduites en Ø22" (DN550)
- 2 SAS dont 1 compatible à l'utilisation d'un shuttle
- Etanchéité Jupe/Anneau : **3 rangées de brosses et 1 rangée d'écailles**
- Capacité Transformateurs (4u) **10800 kVA**

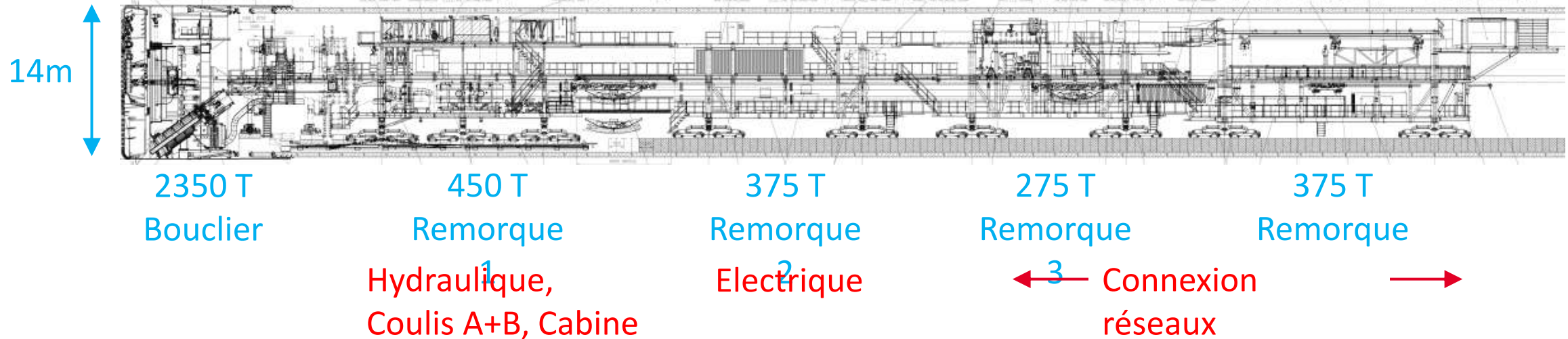
### Couple Entraînement Tunnel



# 4. LE TUNNELIER

## Caractéristiques principales du TBM

3800 T – 130 m



### Main Equipment :

- Cutterhead
- Erector
- Thrust jacks

### Main Equipment :

- Control cabin
- Segment feeder
- Grease pumps
- Grout system

### Main Equipment:

- Vacuum crane
- Ventilation
- Electrical cabinets
- Water Cooling unit

### Main Equipment :

- Utilities drums
- Densimeters
- Shuttle

### Main Equipment:

- Ventilation cassette
- Refuge chamber
- Pipe storage
- Pipes extension system

## 4. LE TUNNELIER

### Roue de coupe accessible

Dont outils « accessibles » :

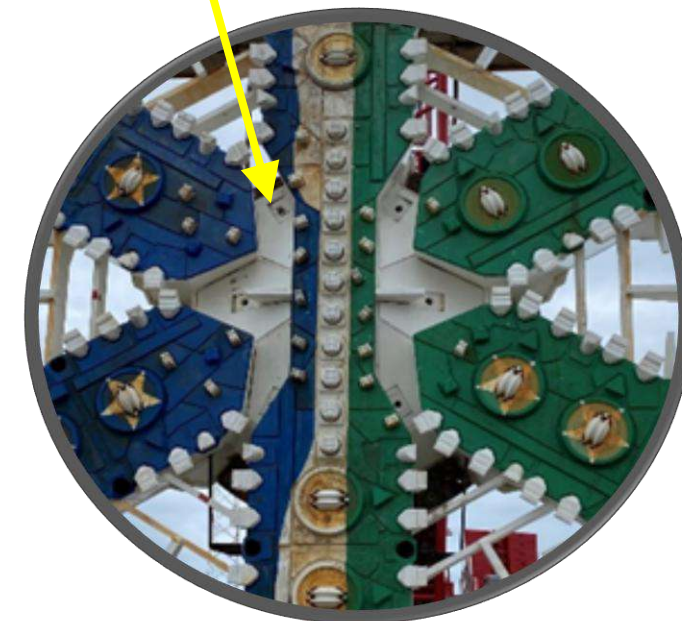
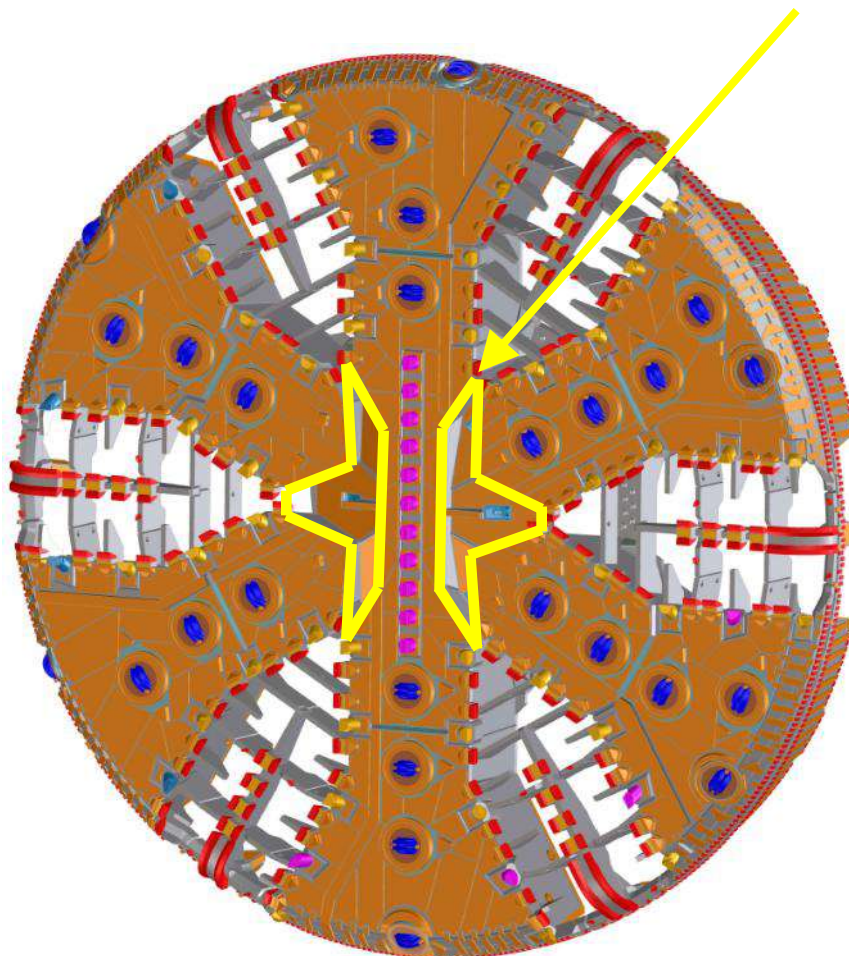
- **26 Molettes doubles 19''**
- **11 Rippers au centre**
- **50 Couteaux**

Et « Non accessibles » :

- **148 Couteaux**
- **12 jeux de racleurs**
- **Outils sacrificiels**

**Taux d'ouverture 37%**

Création de chenaux au centre pour limiter le risque de colmatage. Installation de buses d'injection de boue





# 4. LE TUNNELIER

## Roue de coupe D.14,04m

1ère ligne de coupe



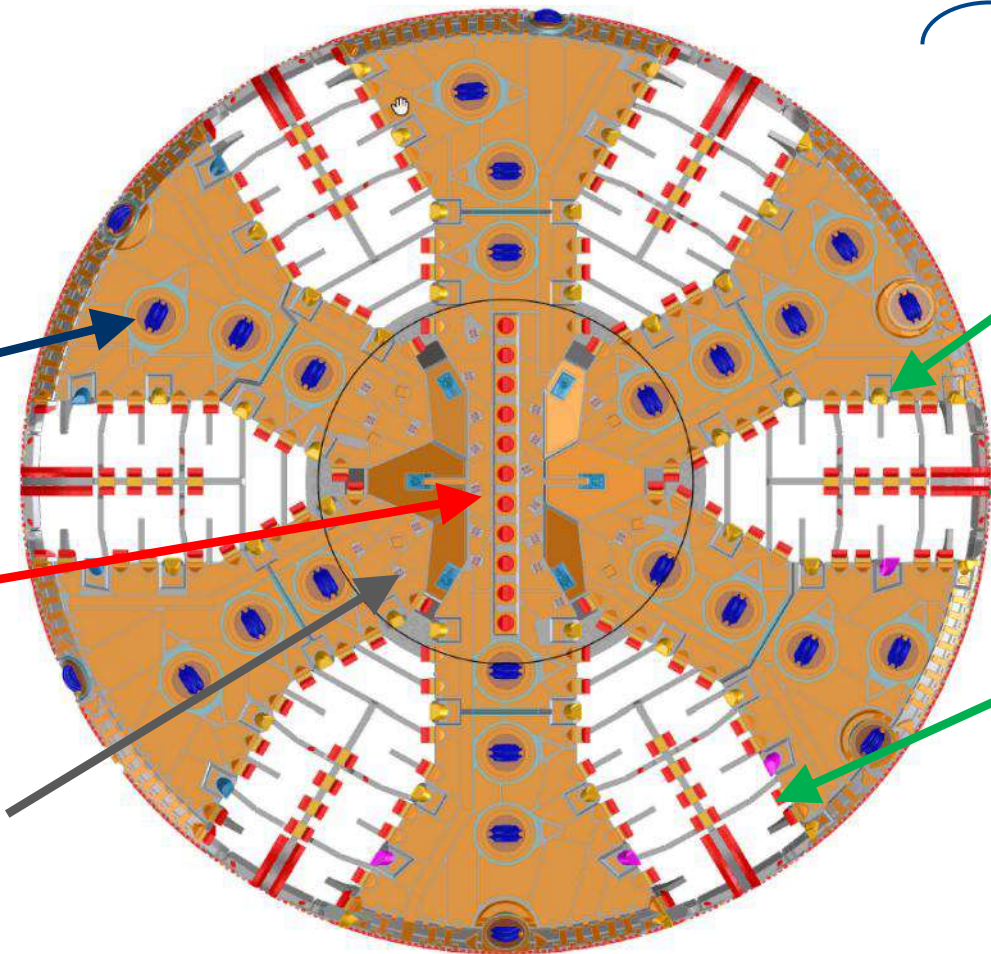
26 Double  
Disc-cutters 19"



11 Rippers



Additional Sacrificial tool  
in the center (no disc  
cutters)



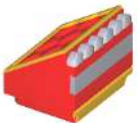
2nde ligne de coupe

→ En retrait de 40 mm

Couteaux  
"accessibles"



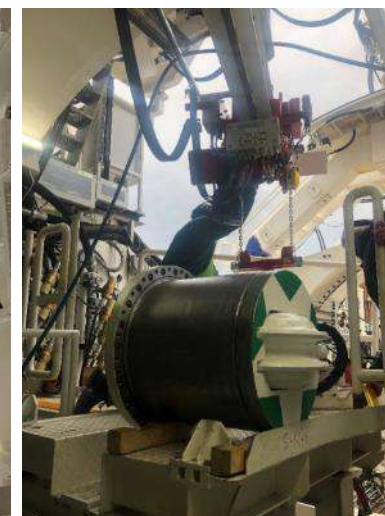
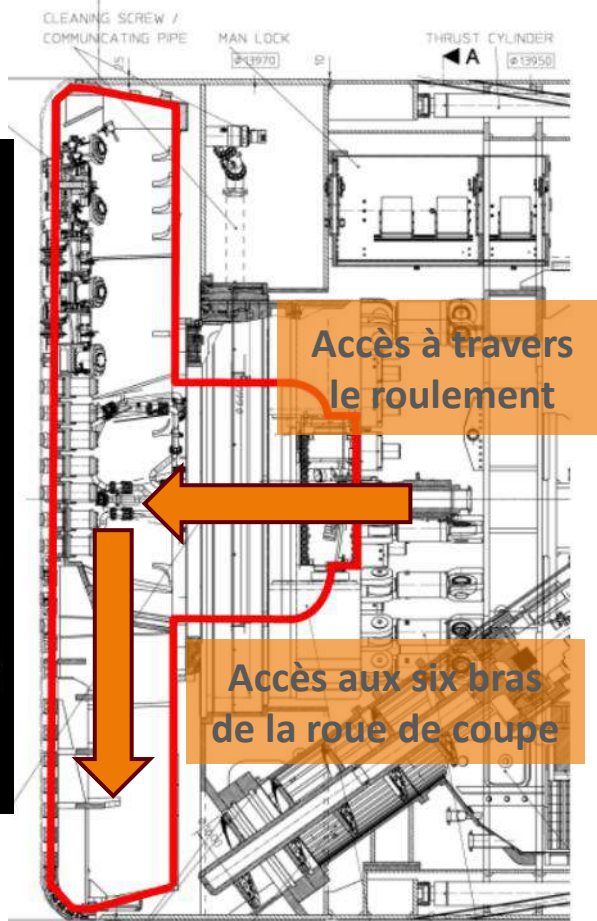
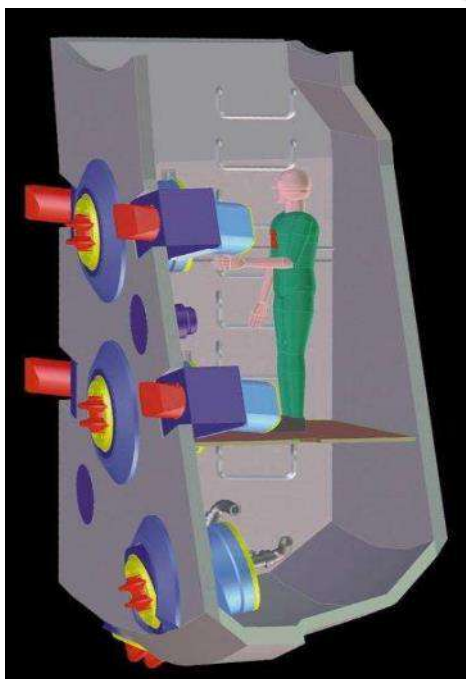
Couteaux et Racleurs  
"non-accessibles"







## Roue de coupe – Accessible à P. Atmo

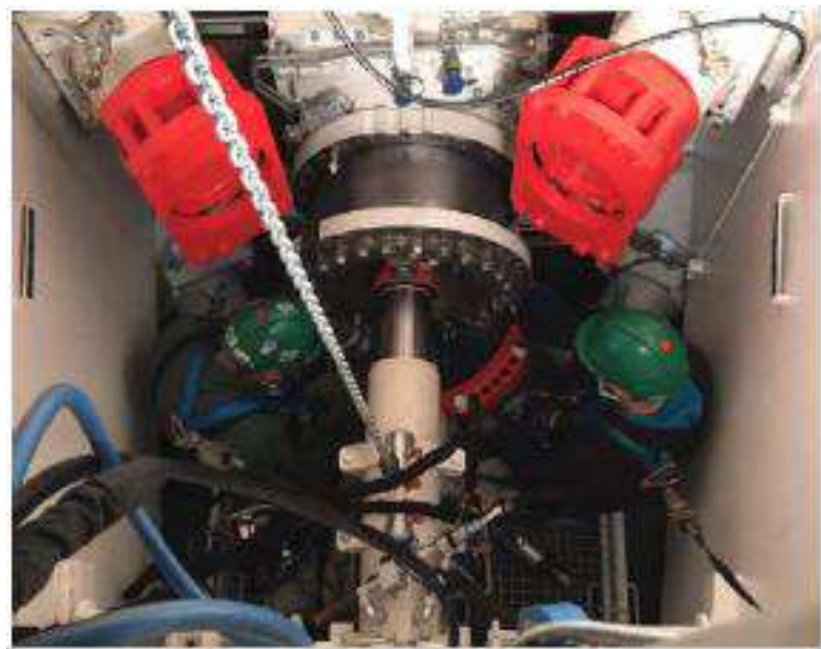
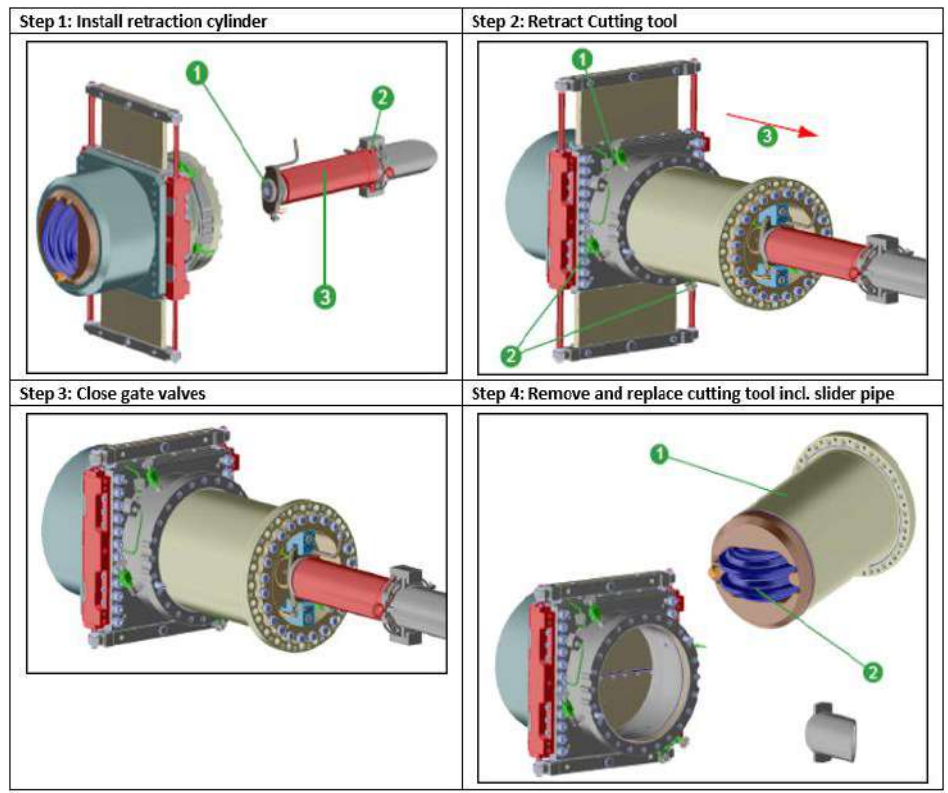




# 4. LE TUNNELIER

## Roue de coupe – Accessible à P. Atmo

Sliding Box Lock-out Mechanism





## 4. LE TUNNELIER

### Roue de coupe – Accessible à P. Atmo

- L'ensemble des outils de la 1<sup>ère</sup> ligne de coupe peuvent être remplacés à P. Atmo
- Certains couteaux de la 2<sup>ème</sup> ligne d'outils de coupe peuvent être remplacés à P. Atmo
- 26 molettes changées 1<sup>er</sup> tube
- Intersion Molette / Ripper





## Intervention hyperbare

→ 2 SAS (capacité **6 bars**).

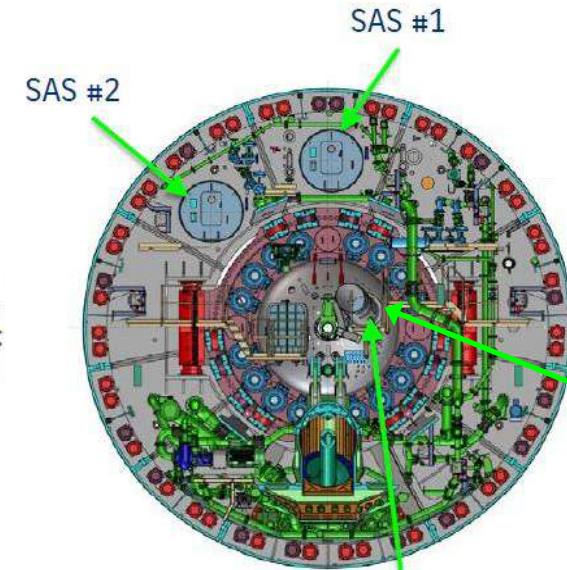
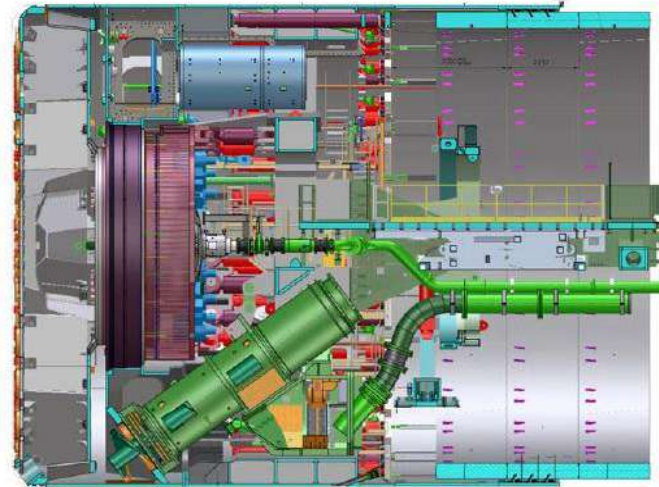
→ Compatibilité Shuttle

Le shuttle peut se connecter :

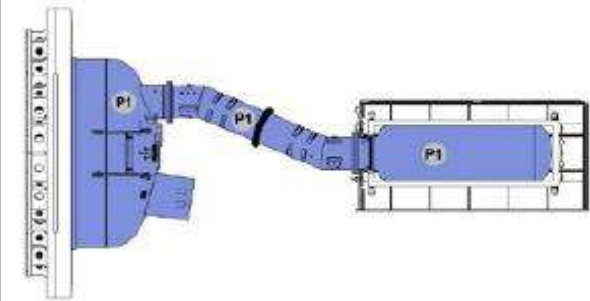
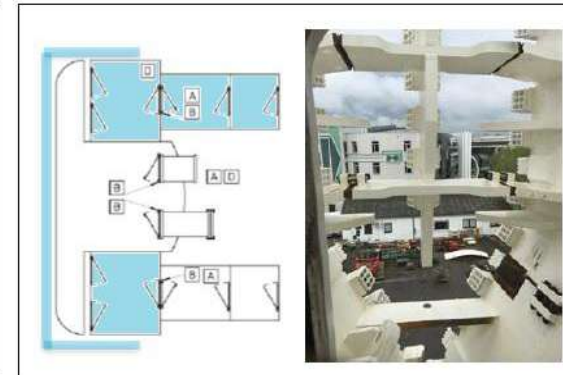
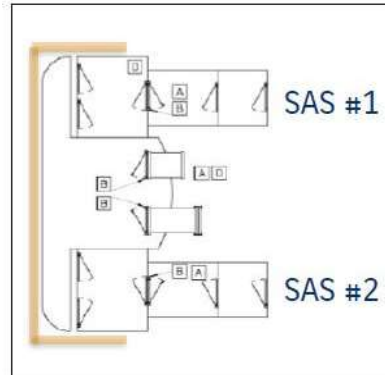
- au SAS 1 de compression / décompr.
- au centre du joint tournant pour accéder aux bras de la roue de coupe (en cas de maintenance).

Capacité shuttle : 3 + 1 p

Nombre de shuttle : 1 u



Roue de coupe accessible, pressurisable. Accès via shuttle





# 4. LE TUNNELIER

## Intervention hyperbare

Tables de décompression françaises :

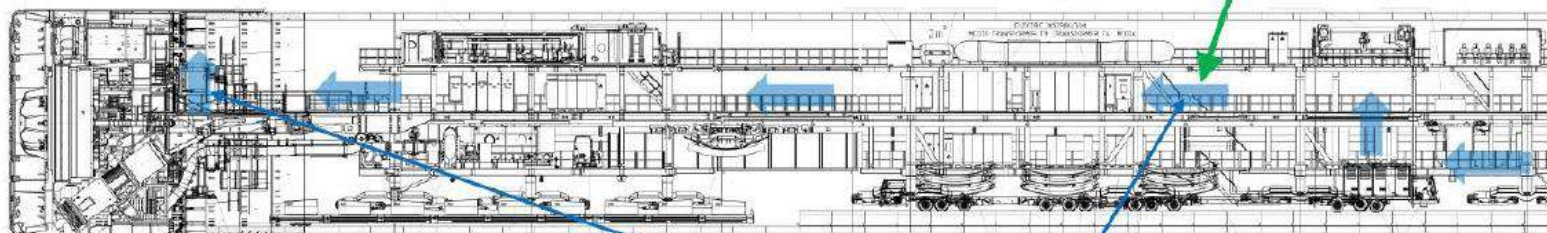
- 0-1.05 bar: décompression à l'air
- 1.05-4.8 bar: décompression à l'oxygène
- 4.8-6.0 bar: décompression au Trimix (Oxygène/Azote/Hélium - teneur 20%/47%/33%)

Trois utilisations possibles de la navette :

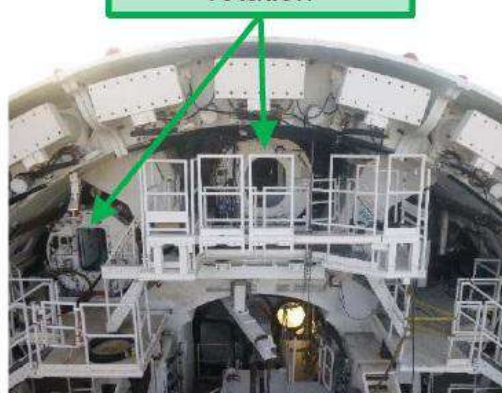
- Evacuation d'un plongeur en cas d'incident.
- Plongée hyperbare en saturation (transfert vers un habitat en surface).
- Transfert sous pression entre le SAS1 de compression et le centre de la roue.



Shuttle transfer system for saturation diving



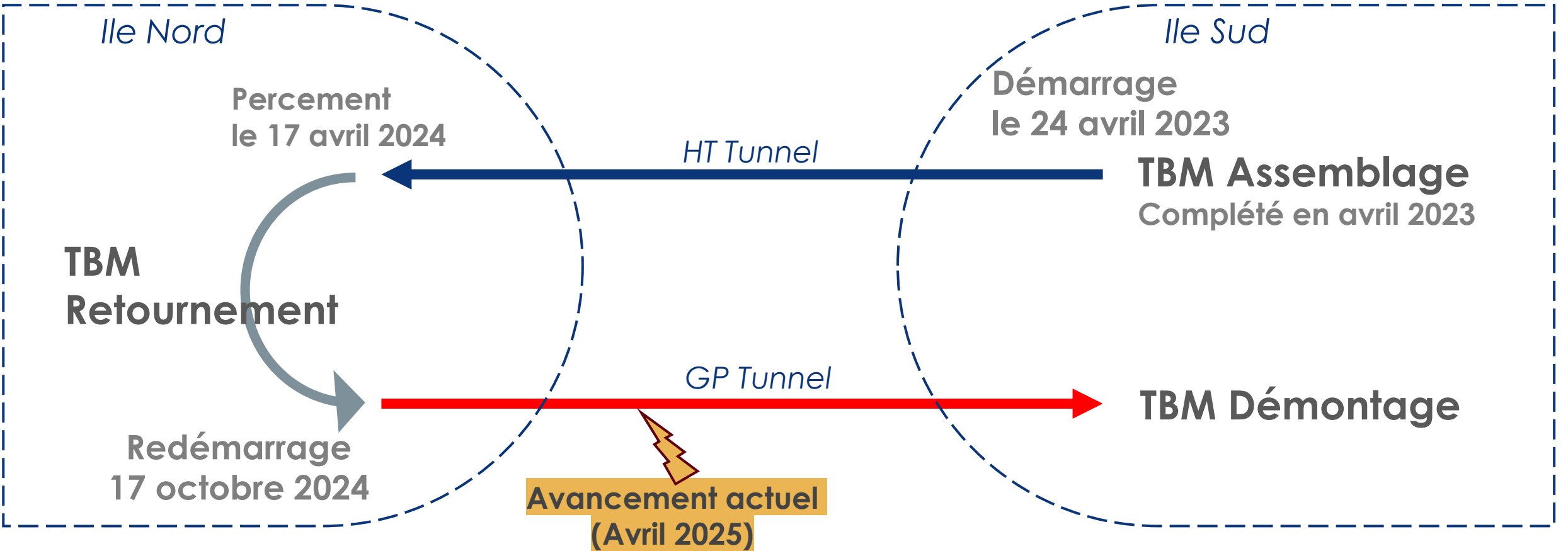
Twin manlock system for full crew rotation



## 5. LE PHASAGE

# 5. LE PHASAGE

## Séquence générale de construction



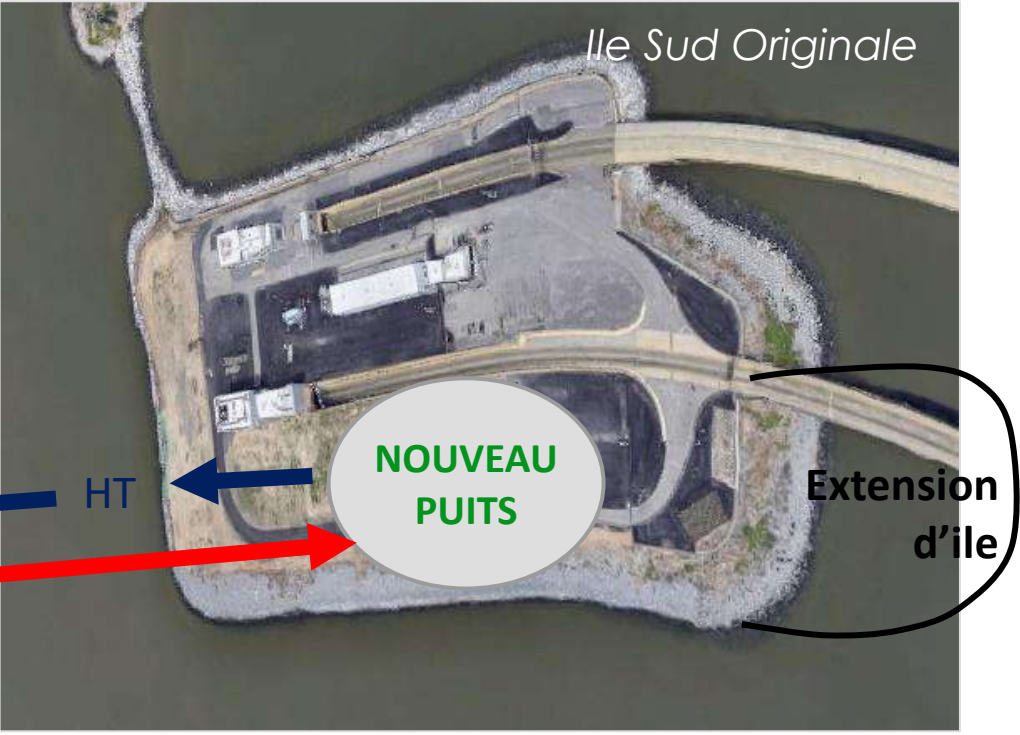
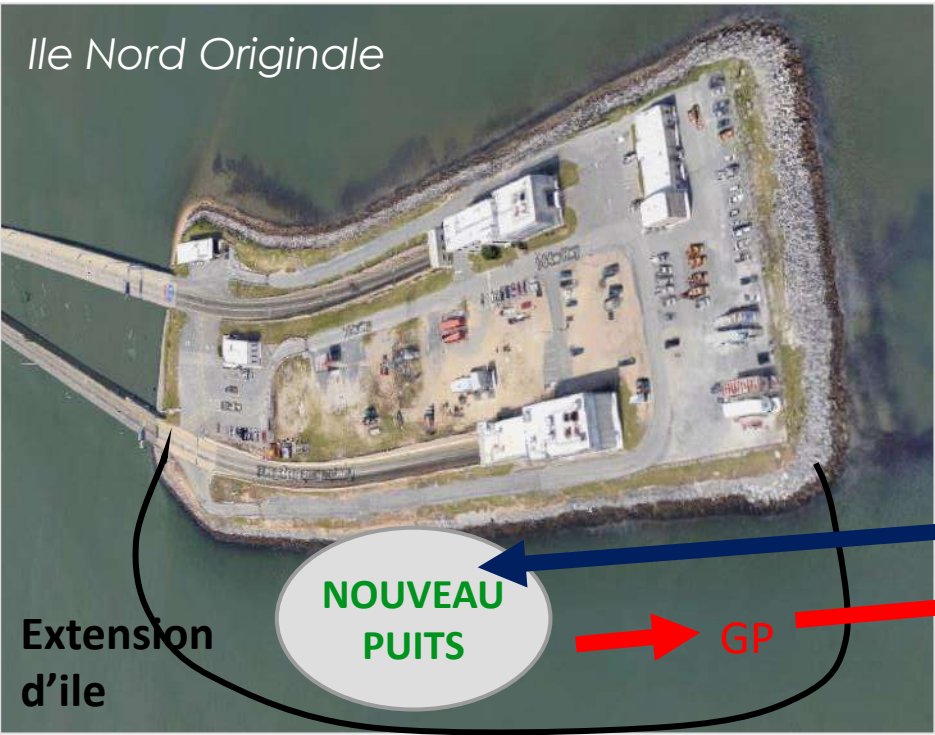


# 5. LE PHASAGE

## Ile Nord

## Ile Sud

→ **Tunnelier lancé** depuis **l'île Sud** car le puits de lancement n'est pas dans l'emprise de l'extension d'île (*sur le chemin critique pour le tunnelier*)





## Assemblage du Tunnelier dans le puits de lancement de l'île Sud



Decembre 2022



Janvier 2023



Janvier 2023



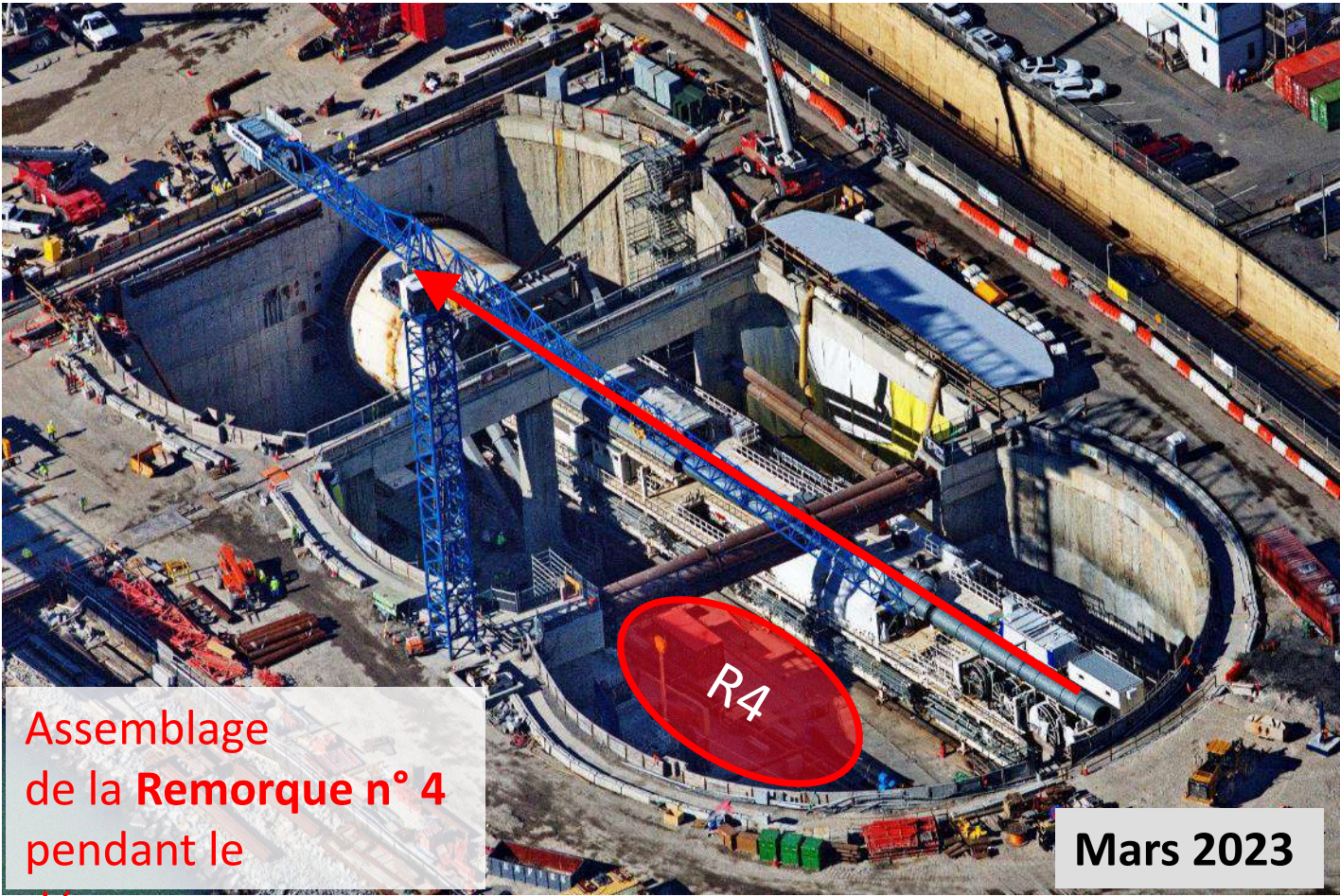
Avril 2023

→ Démarrage du TBM



# 5. LE PHASAGE

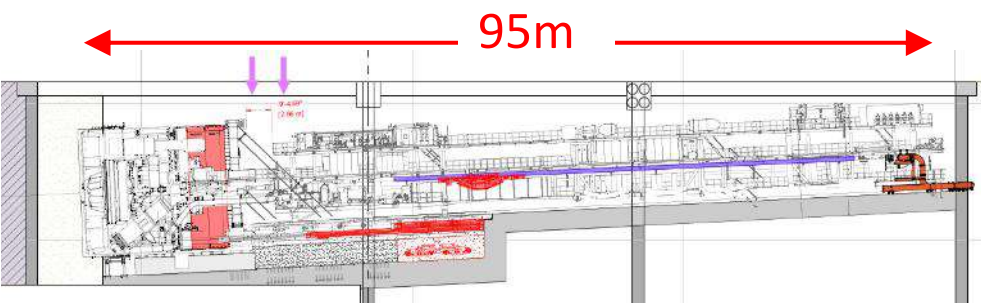
## Assemblage du Tunnelier dans le puits de lancement de l'île Sud



Assemblage de la **Remorque n° 4** pendant le démarrage

Mars 2023

Démarrage avec 3 remorques



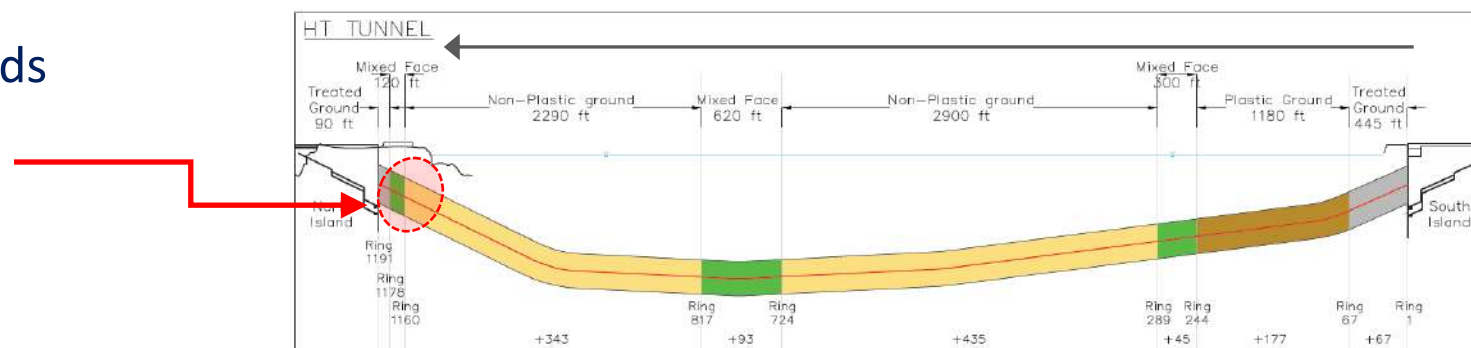
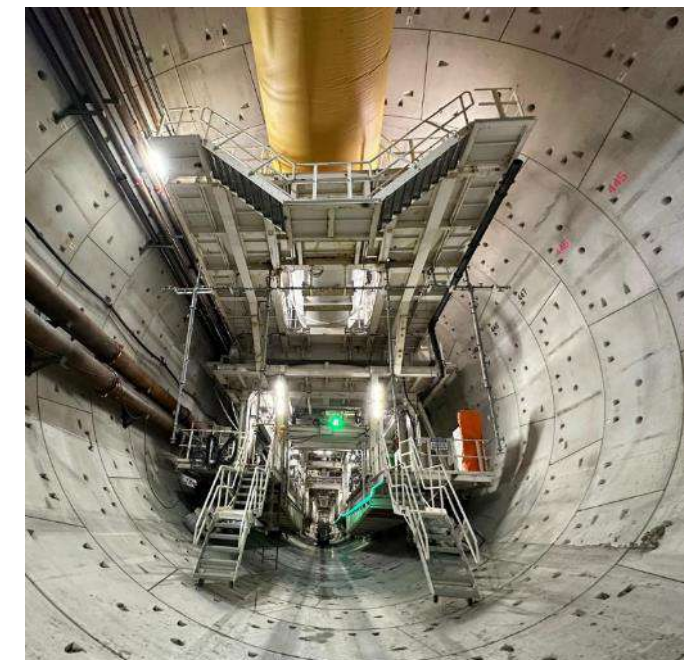


## Performance de Creusement HT Tunnel

- **51 semaines** travaillées pour compléter le 1<sup>er</sup> tunnel
- Avancement moyen : **10 m / jour.**
- Meilleure production journalière (24 h) / hebdo (5jr) : **34m/100m**

## REX

- ✓ Impact important des **intempéries** sur la logistique : pas de barge → transport par camion déblais et voussoirs
- ✓ Décharge fermée la nuit et les Week-ends
- ✓ **Géologie** : Teneur en fines plus élevées



# 5. LE PHASAGE

## Pourquoi un TBM U-Turn ?

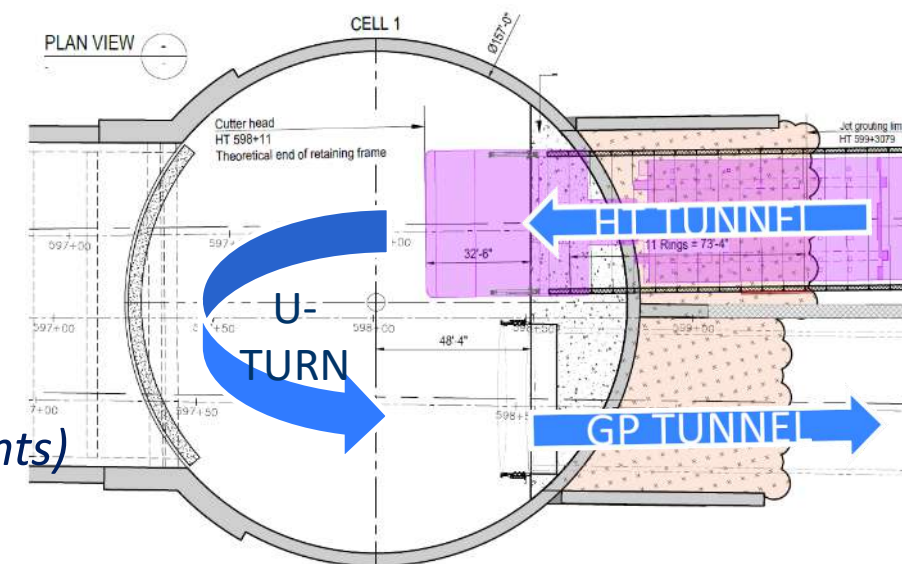
### 1. Scenario 1: Transférer le TBM de l'Île Nord à l'Île Sud:

- ✓ Transfert par le tunnel (*impact sur les structures internes*)
- ✓ Transfert par la route (*charges limitées sur les ponts existants*)
- ✓ Transfert par barge (*structures temporaires lourdes*)

➔ Scenario 1 avec fort impact sur le planning projet + coût élevé

### 2. Scenario 2: Assembler un 2<sup>ème</sup> bouclier a l'Île Sud & Transférer uniquement les remorques jusqu'à l'Île Sud

➔ Coût élevé, planning général similaire au planning de U-Turn

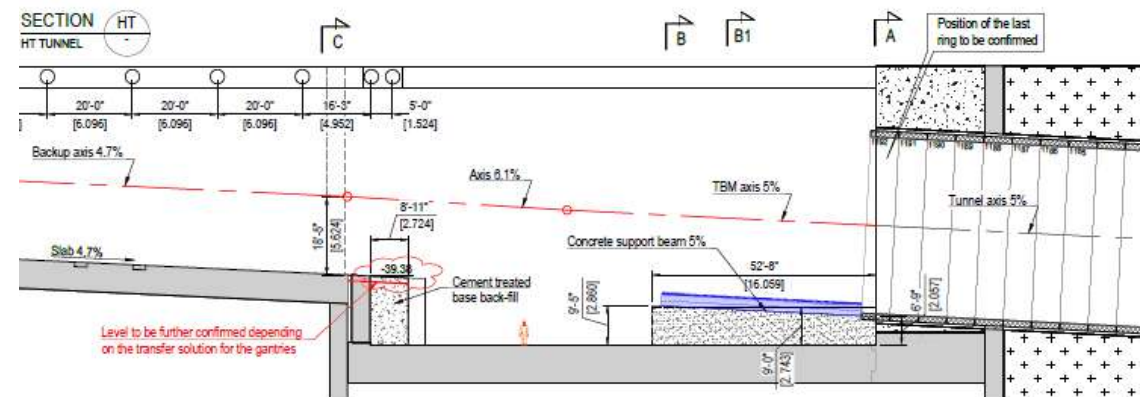
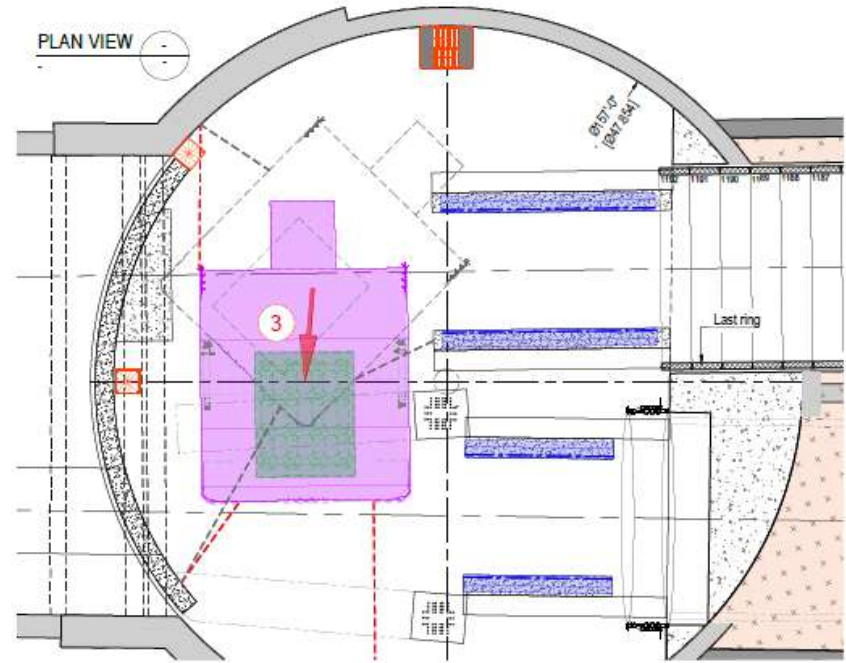
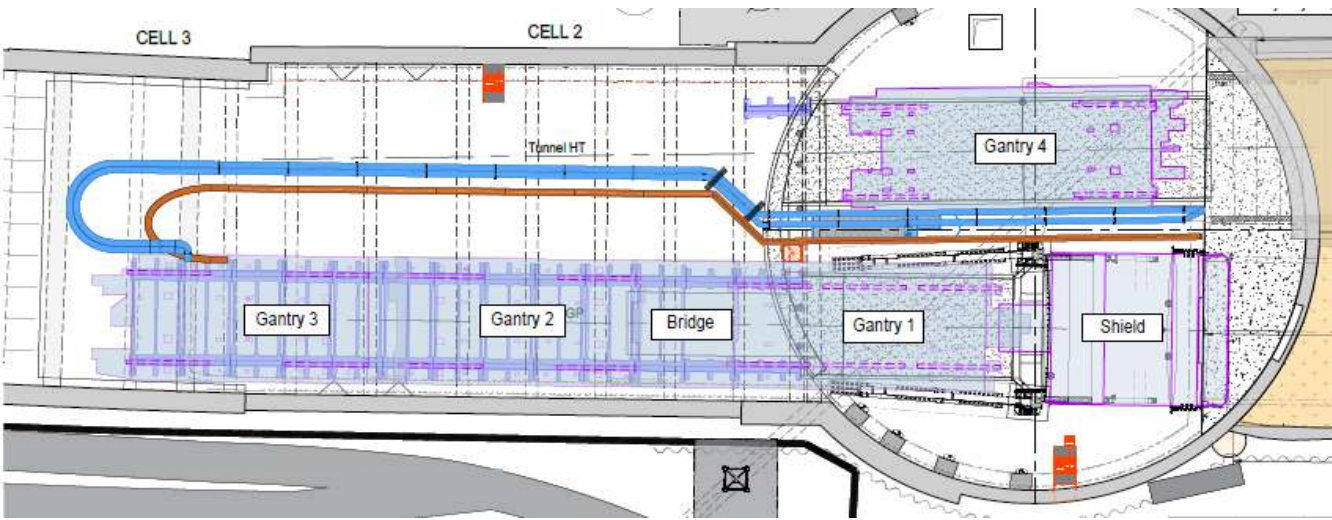


**Le scenario U-Turn est compatible avec le planning général du projet, à un coût plus faible.**

## Choix de méthodologie pour le TBM U-Turn

Le TBM U-Turn est divisé en deux principales activités :

- ✓ Retournement du bouclier (Puits diam. 47,80m)
- ✓ Retournement des remorques (une par une)

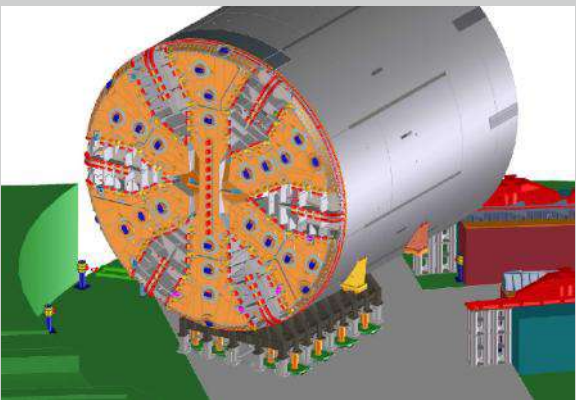




# 5. LE PHASAGE

## LE BOUCLIER

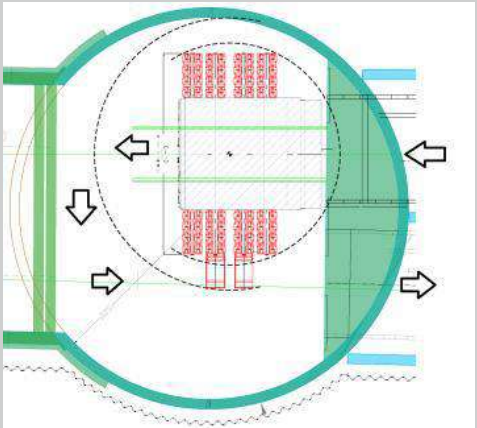
OPTION 1: NITROGEN TABLE



OPTION 2: TURNING TABLE including tilting installation

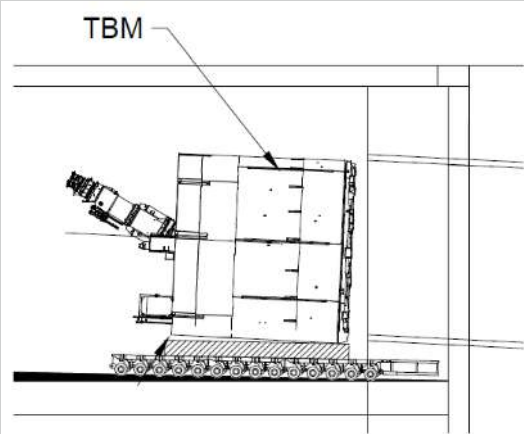
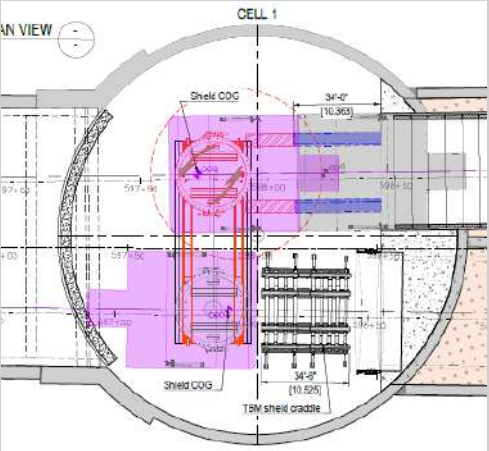
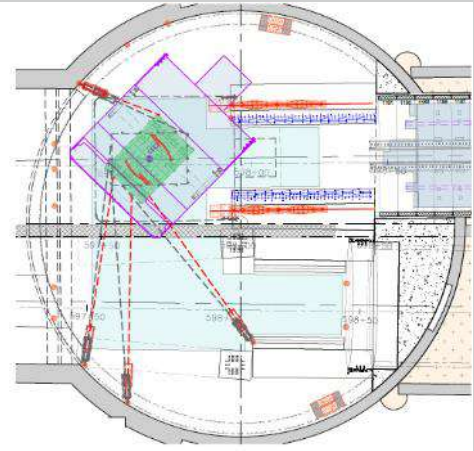


OPTION 3: SPMT with supporting steel cradle



Options 2 et 3 : interfaces GC lourdes, impact avec structures de lancement, impact planning global

Option retenue → Opt. 1



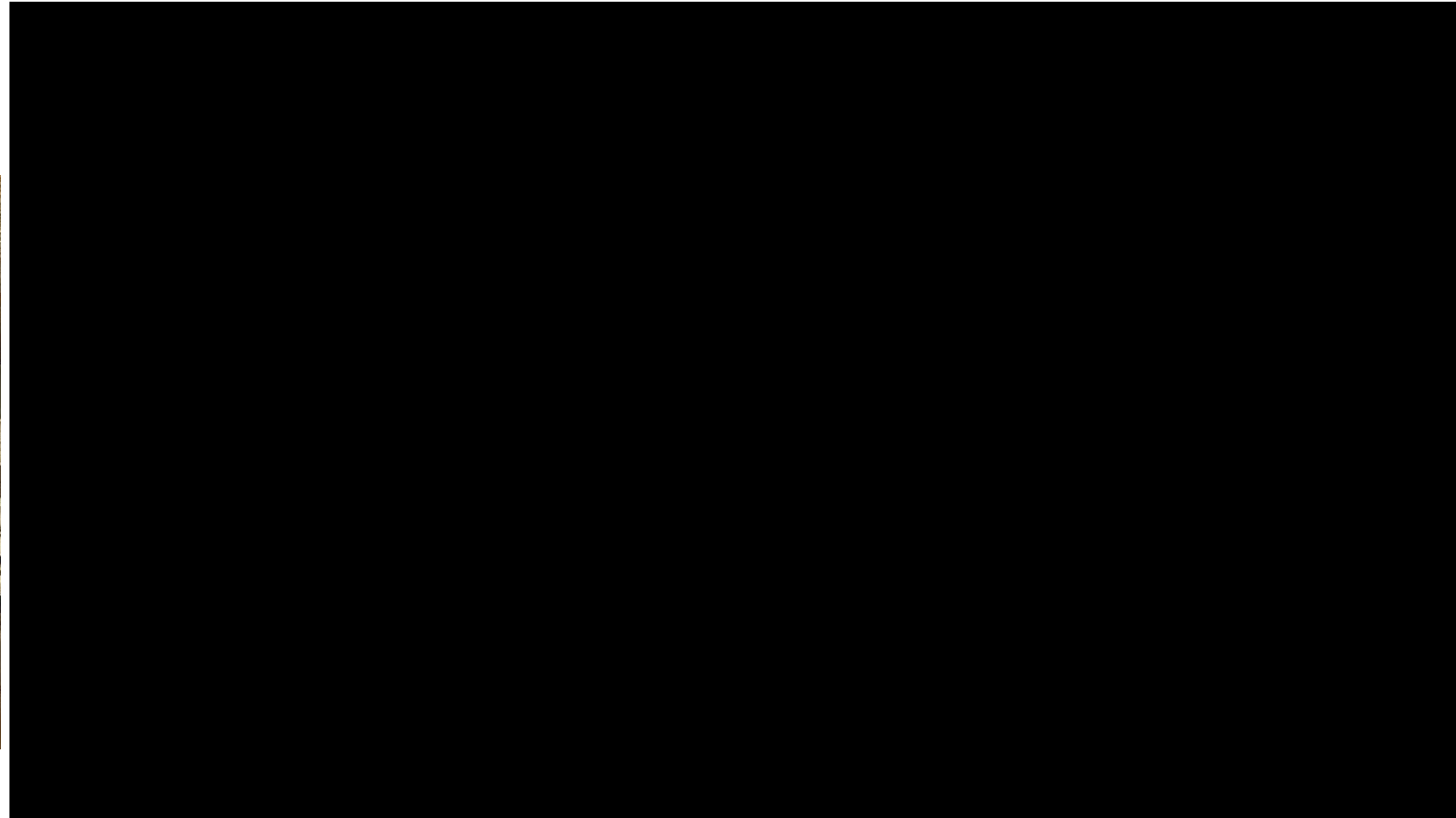


# 5. LE PHASAGE





# 5. LE PHASAGE

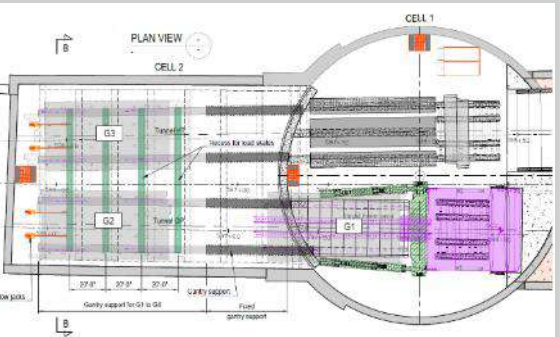
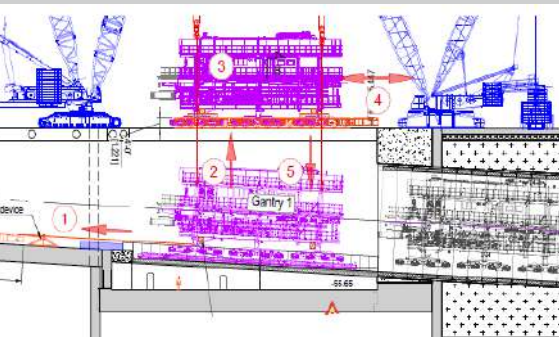
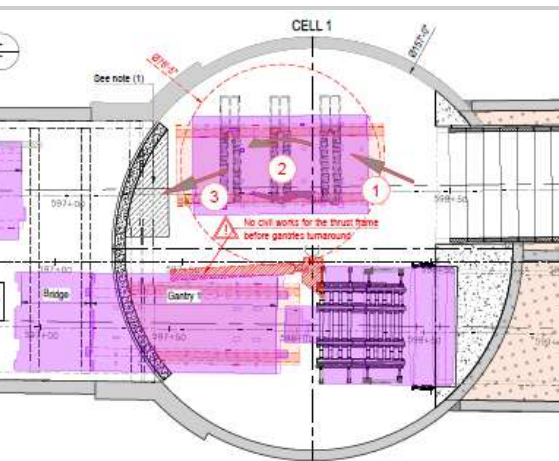
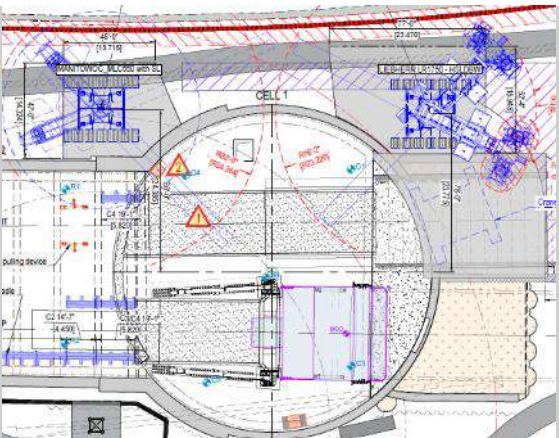
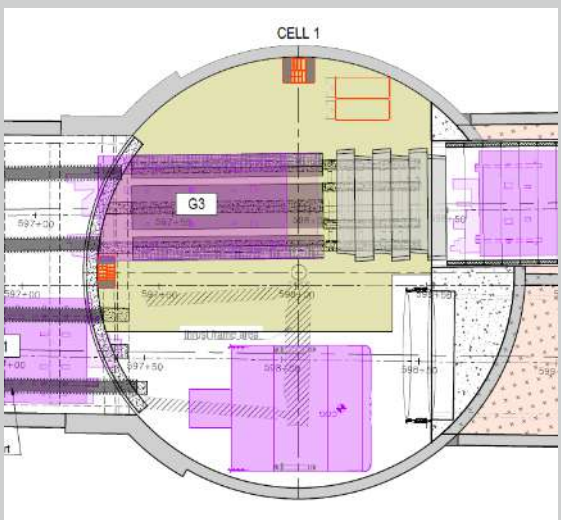




**OPTION 1: BACKFILL + U-TURN on SPMT in shaft**

**OPTION 2: HEAVY LIFT + U-TURN on SPMT**

**OPTION 3: SPMT + Cradle**



Option 1 : interface backfill et bouclier en position de parking  
→ impact planning.

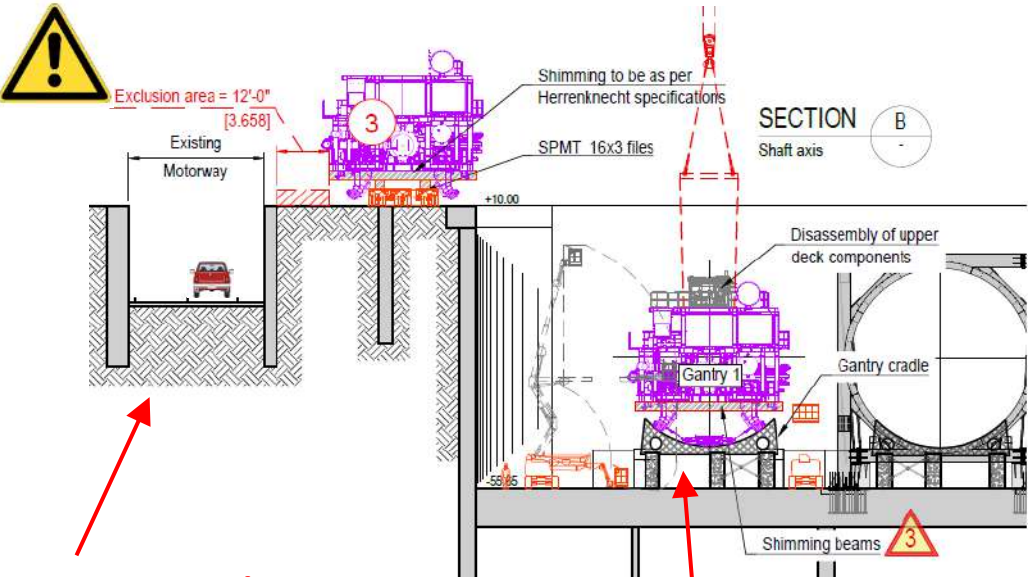
Option 3 : clash remorque et bouclier. Nécessité de déséquiper certaines remorques.

→ impact planning

**Option retenue → Opt. 2**



## Le retournement



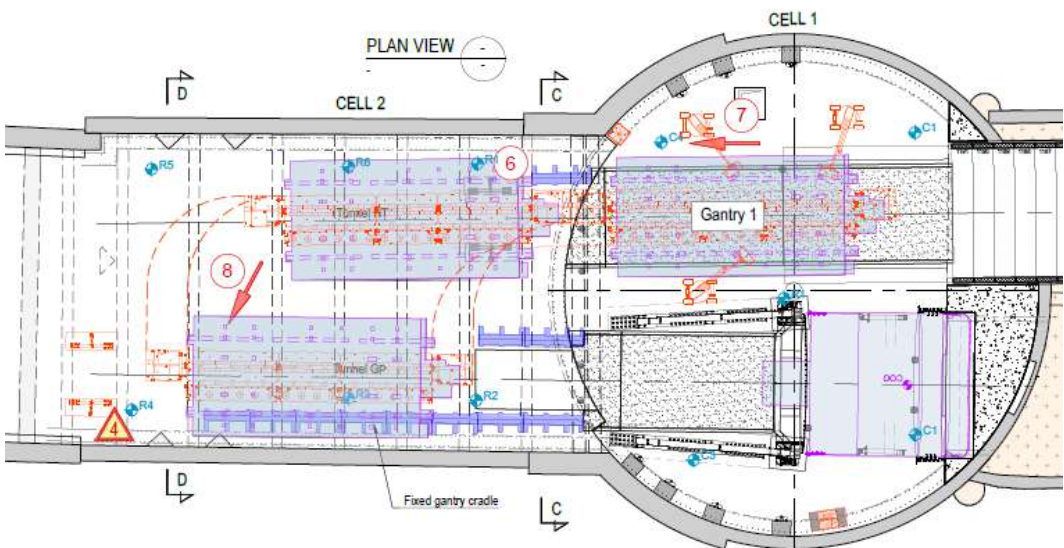
Ouvrage existant en service

Pont de 40m de long, hauteur 5m





# 5. LE PHASAGE



Retournement  
5 mois





## 6. LE SITE ET SES CONTRAINTES

## 6. LE SITE

### LES PRINCIPALES CONTRAINTES

- Trafic existant
- Environnement
- Emprise limitée
- Logistique





## EMPRISE LIMITEE

STATION DE TRAITEMENT DES EAUX

CENTRALE DE REFROIDISSEMENT

ATELIER

CENTRALE A BALLAST ET BETON  
POUR LES STRUCTURES INTERNES

CENTRALE A MORTIER  
BI-COMPOSANTS

STATION DE TRAITEMENT DES  
BOUES ET FILTRES-PRESSES  
Emprise **8000m2**

CONVOYEUR

Env. 20 000m2 « utile »

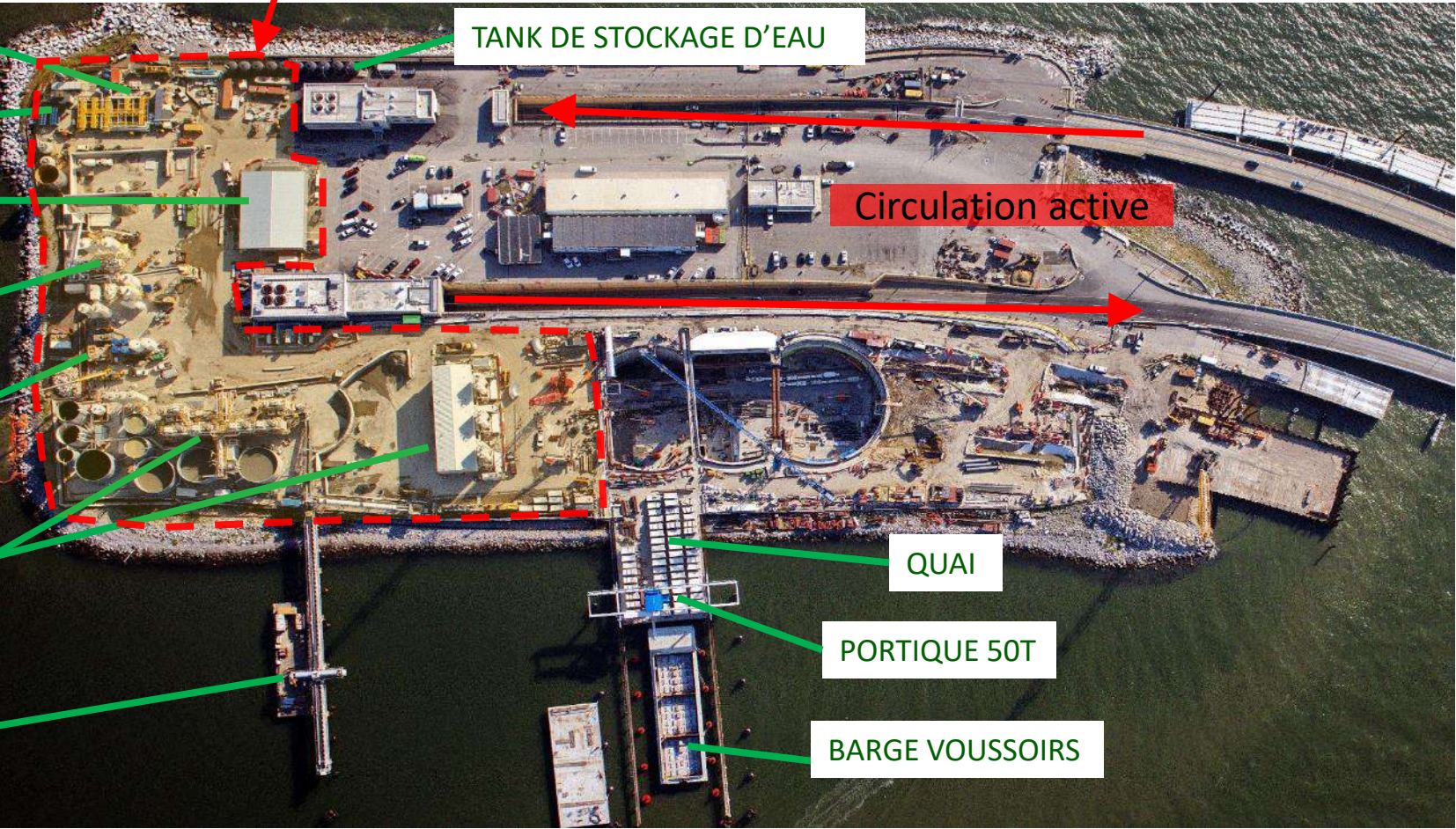
TANK DE STOCKAGE D'EAU

Circulation active

QUAI

PORTIQUE 50T

BARGE VOUSOIRS





## 6. LE SITE

### EMPRISE LIMITEE

➤ PRIVILEGIER UNE LOGISTIQUE MARITIME



#### Chiffres clefs:

Matériaux excavés = **630T** par anneau

Capacité de stockage de matériaux =

**10 anneaux**

AFTES YM – 17 avril 2025

#### Évacuation des déblais:

**1 barge** pour évacuer **4 à 5 anneaux**

**40 camions** pour évacuer **1 anneau**

→ **1 barge équivaut à 180 camions**

#### Transport des segments:

**4,5 camions** pour transporter **1 anneau**

**1 barge** pour transporter **19 anneaux**

→ **1 barge équivaut à 85 camions**



## EMPRISE LIMITEE

STP : env. 8000m<sup>2</sup> d'emprise

Fournisseur MS  
Débit : 3200m<sup>3</sup>/h

STP  
DESANDING  
UNIT

→ Traitement des  
matériaux  
supérieurs à 63 µm

6 unités de dessablage  
Capacité 1180t/h



FILTRE-  
PRESSES

→ Traitement des  
matériaux inférieurs  
à 63 µm

Capacité  
Pressage  
1800t/jour

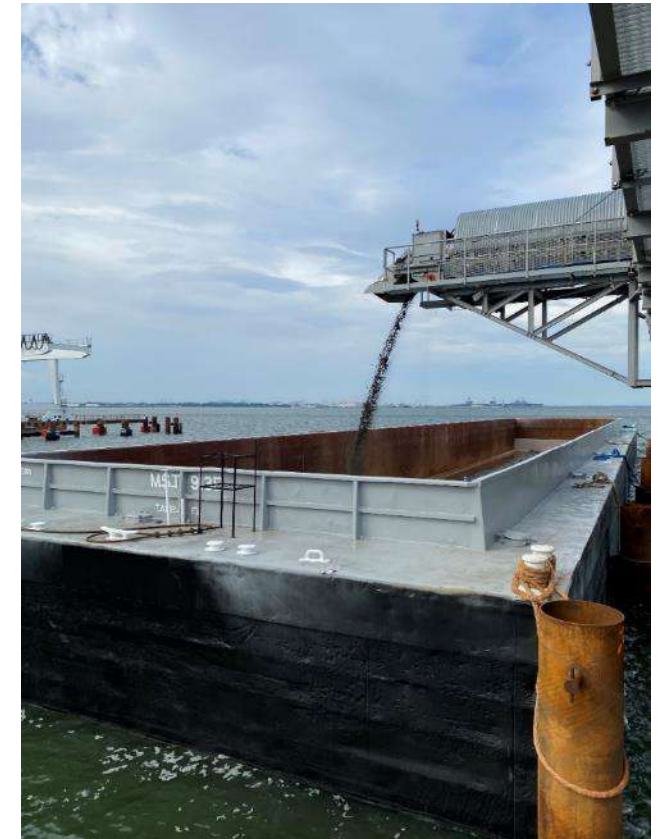
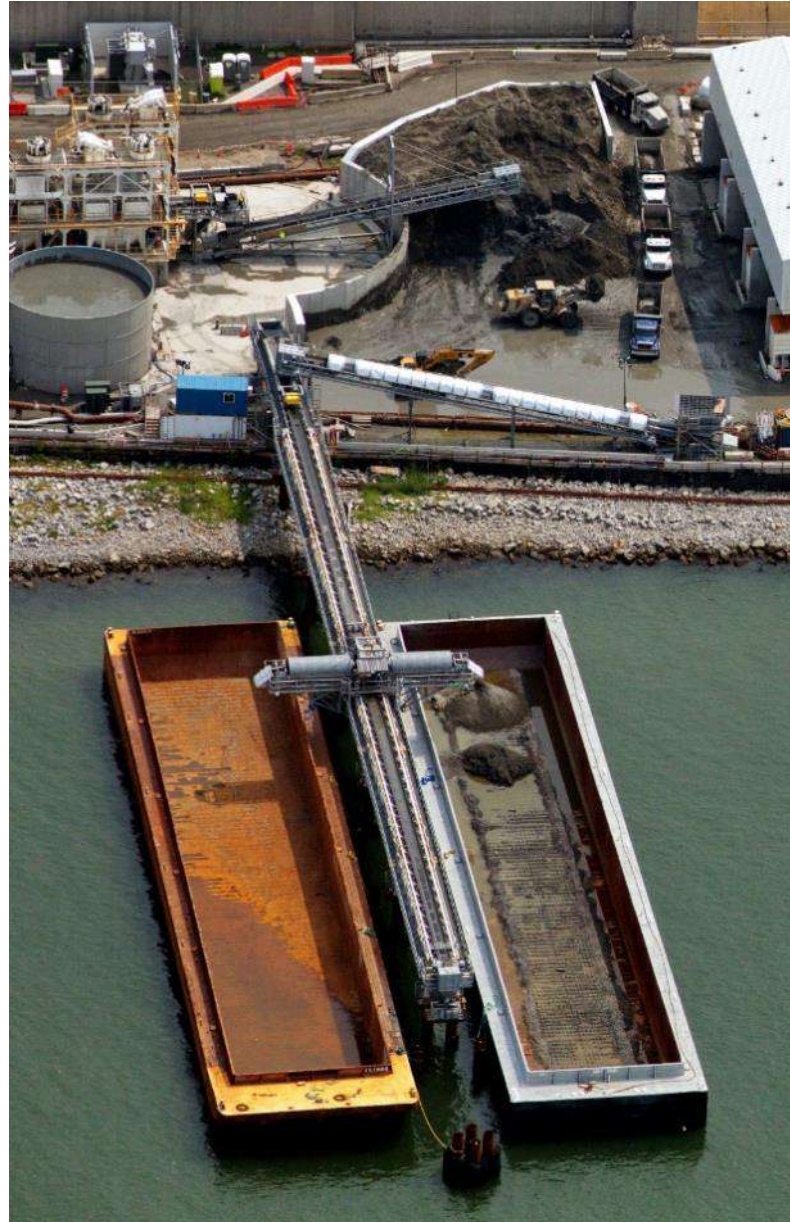
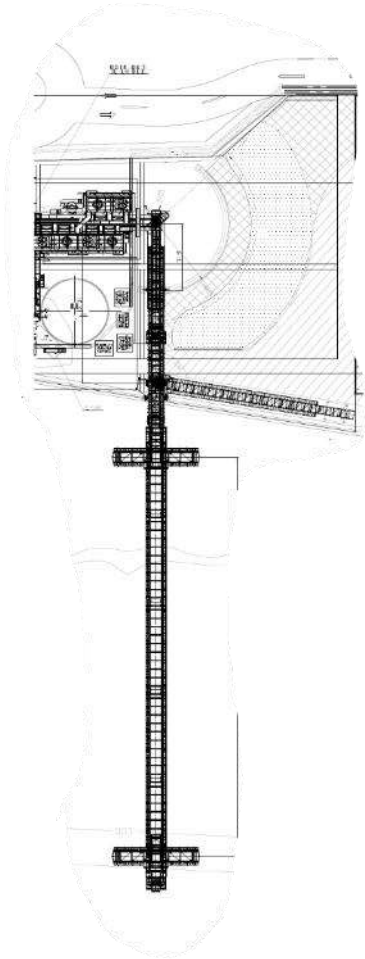


## 6. LE SITE

### Logistique déblais

Fournisseur **H+E**  
Capacité **1200t/h**  
+ Tripper / navette

**1 barge** pour évacuer  
**4 à 5 anneaux**





# 6. LE SITE

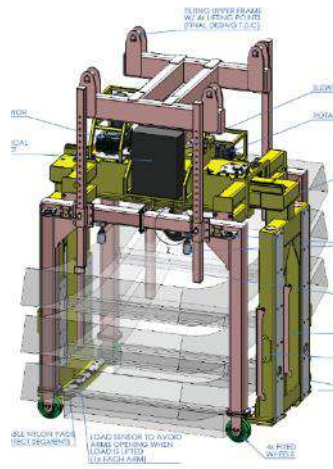
## Logistique voussoirs

PORTIQUE 50t POUR  
MANUTENTIONNER  
VOUSSOIRS

QUAI DE STOCKAGE  
DE VOUSSOIRS

PIEUX  
D'AMARRAGE POUR  
BARGES

Portique se déplaçant au-dessus de la baie et du puits (env. 150m)

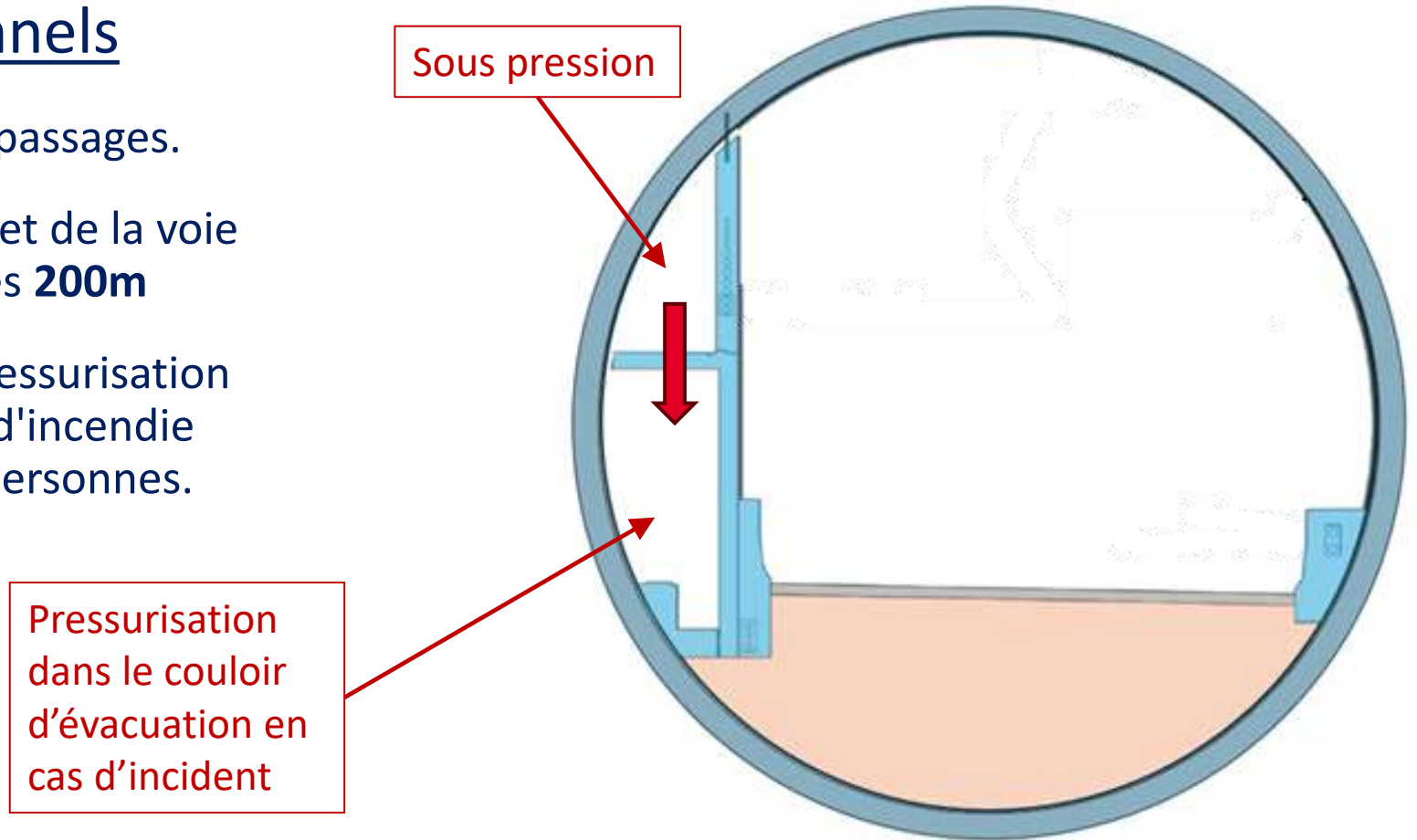


## 7. LES STRUCTURES INTERNES



## Structures internes aux Tunnels

- Solution adoptée plutôt que cross-passages.
- Séparation de la voie d'évacuation et de la voie de circulation : porte d'accès tous les **200m**
- Partie supérieure sous pression, pressurisation dans le couloir d'évacuation en cas d'incendie ou d'incident pour évacuation des personnes.



# 7. LES STRUCTURES INTERNES

## Structures internes aux Tunnels

→ faible couverture proche des îles

→ grand diamètre

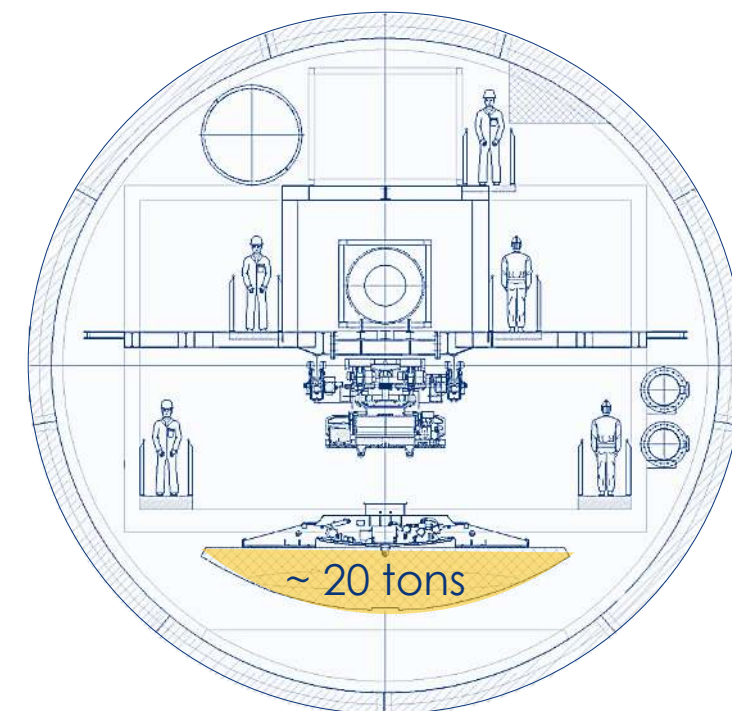
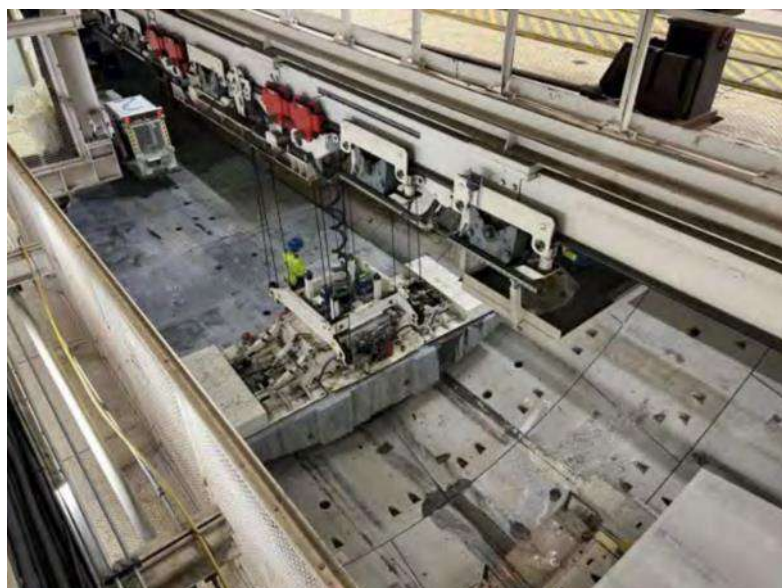


Risque de soulèvement



Voussoirs de radier

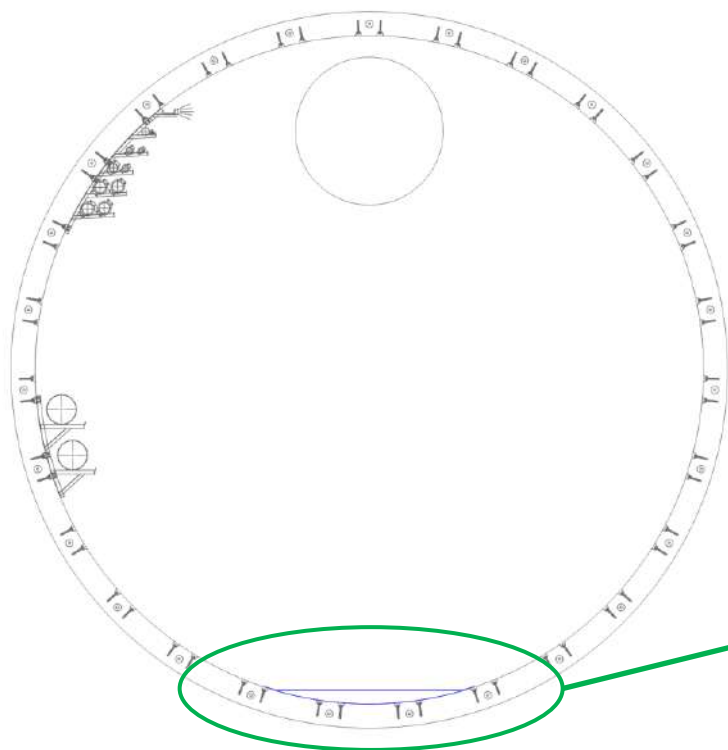
**FLOTTABILITE**



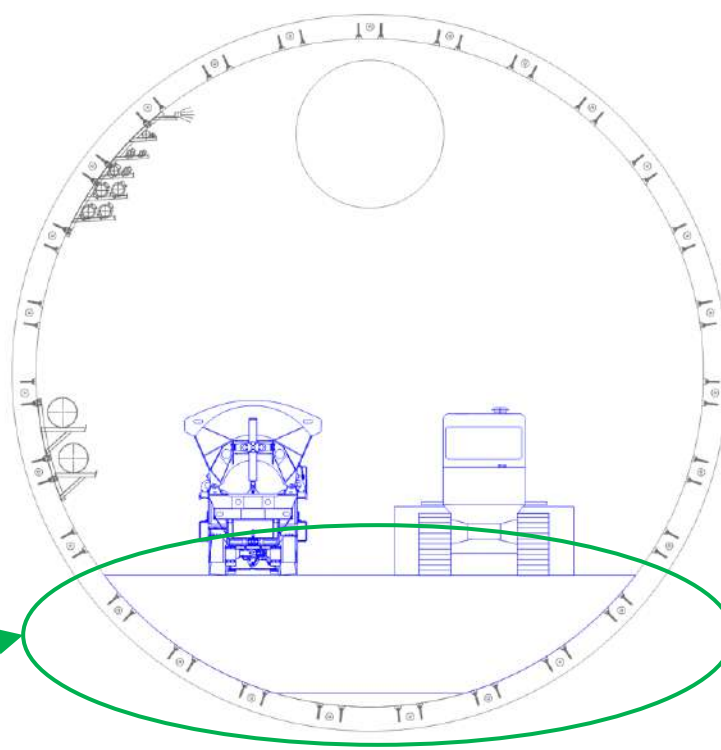


# 7. LES STRUCTURES INTERNES

## Structures internes aux Tunnels – Séquences de travaux



Couche de drainage (#57 stone)  
+ Geotextile



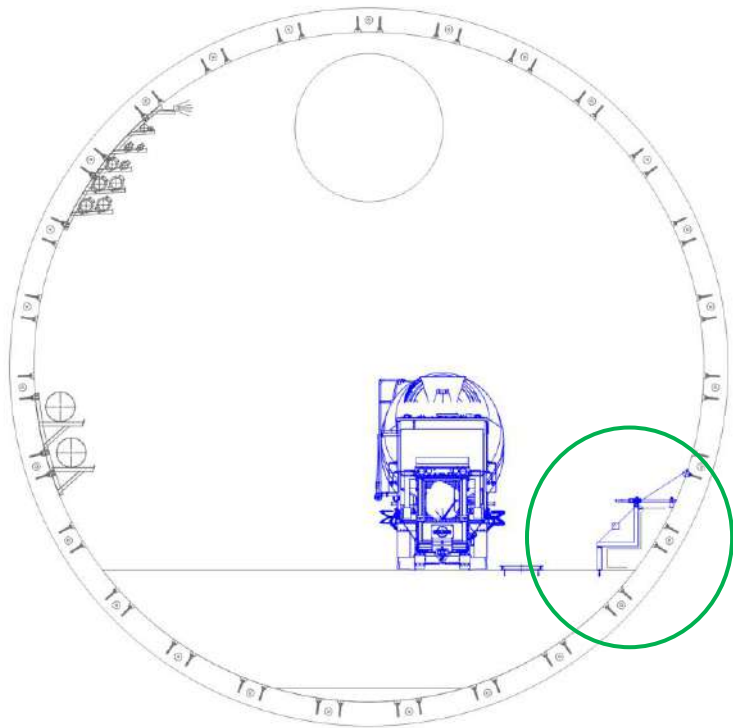
Remplissage en ballast



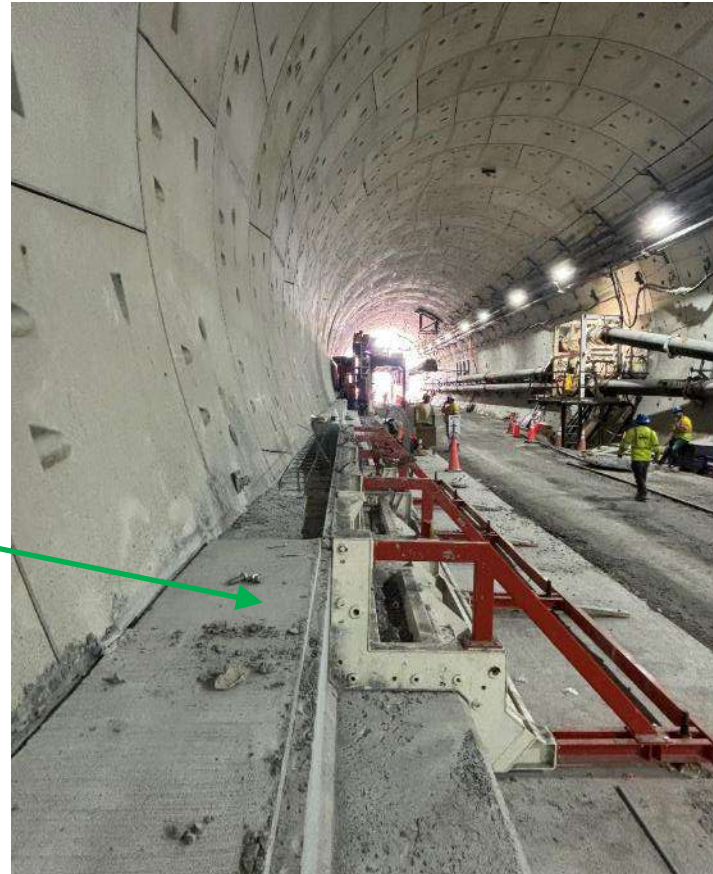
Travaux de remplissage en ballast  
niveau 1

# 7. LES STRUCTURES INTERNES

## Structures internes aux Tunnels – Séquences de travaux



Travaux de "Footer" and "Kicker"



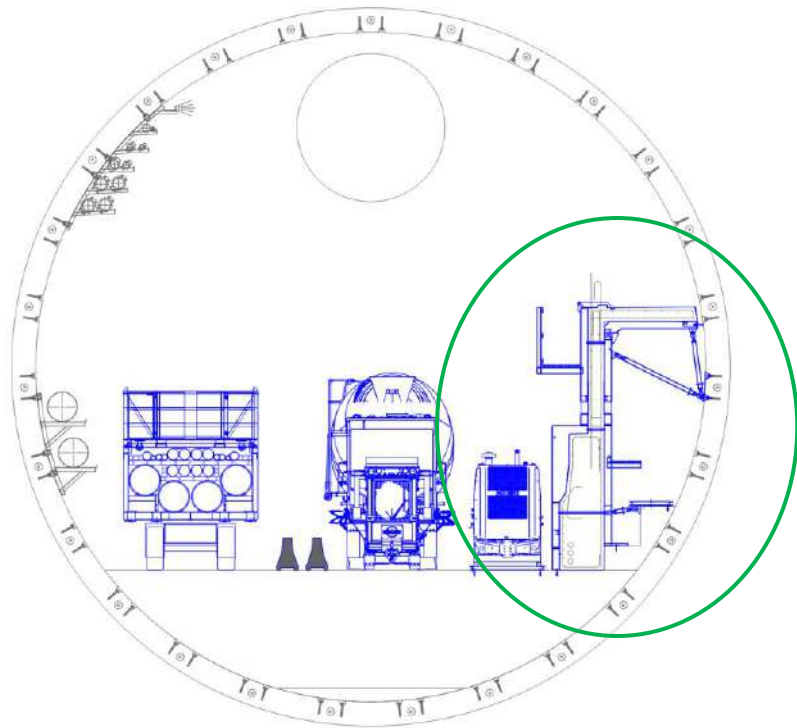
Acier inoxydable



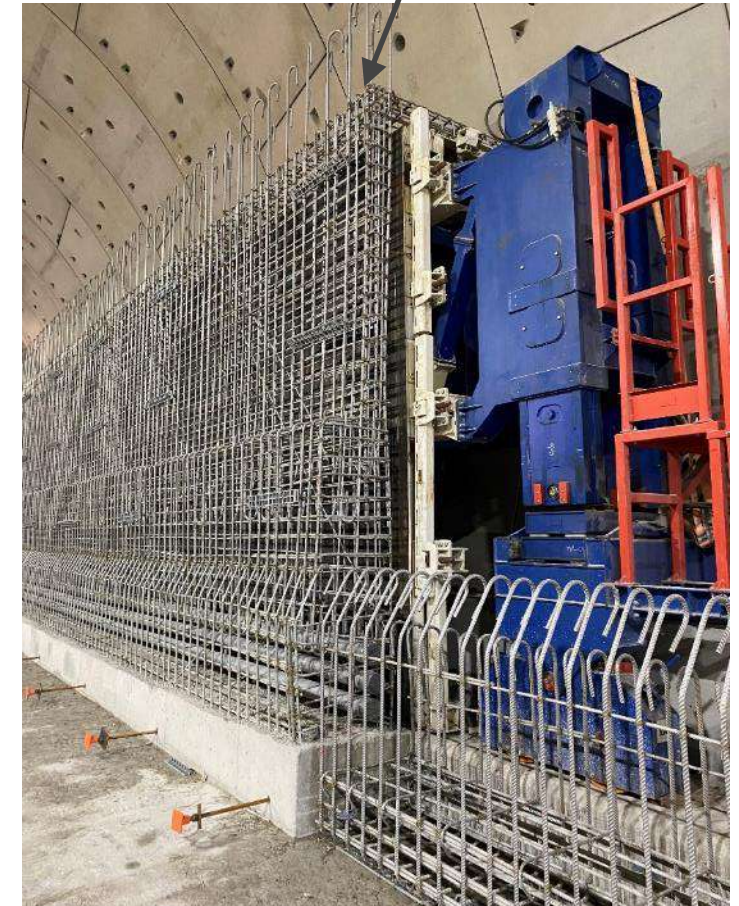


# 7. LES STRUCTURES INTERNES

## Structures internes aux Tunnels – Séquences de travaux



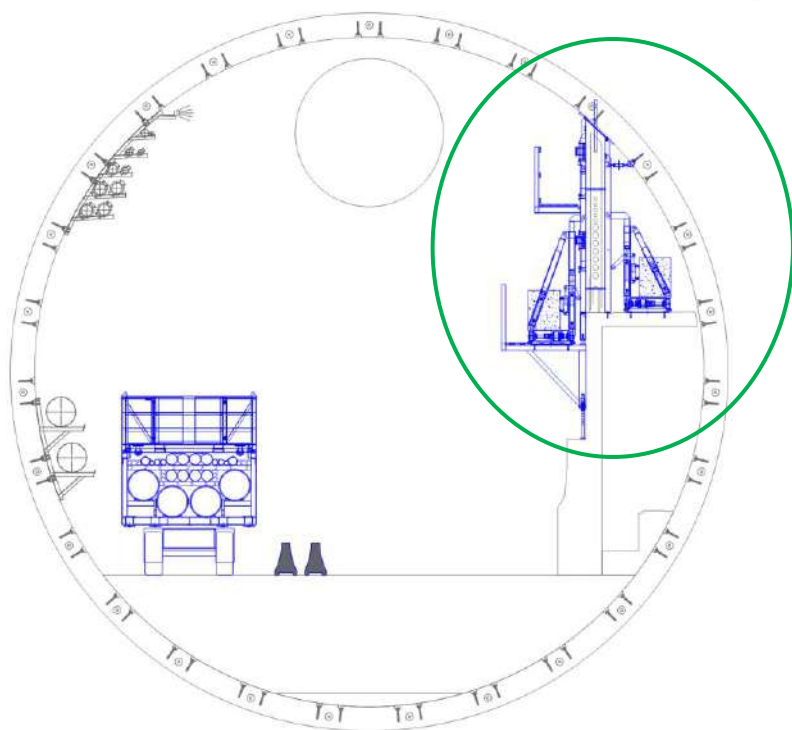
Travaux des “murs en L”



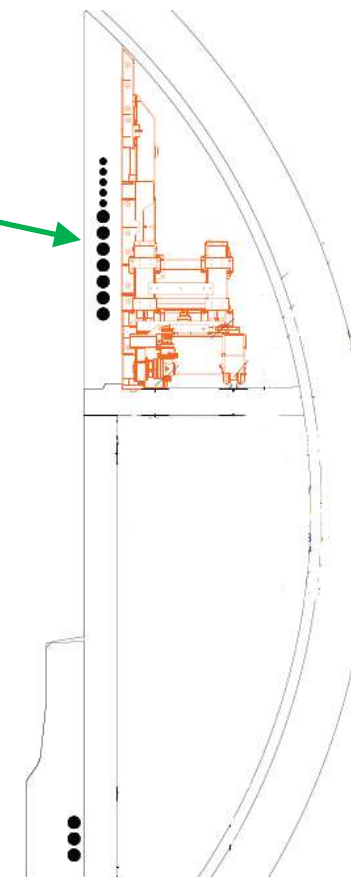
Acier inoxydable

# 7. LES STRUCTURES INTERNES

## Structures internes aux Tunnels – Séquences de travaux



Travaux des “murs supérieurs”  
Activités non commencées



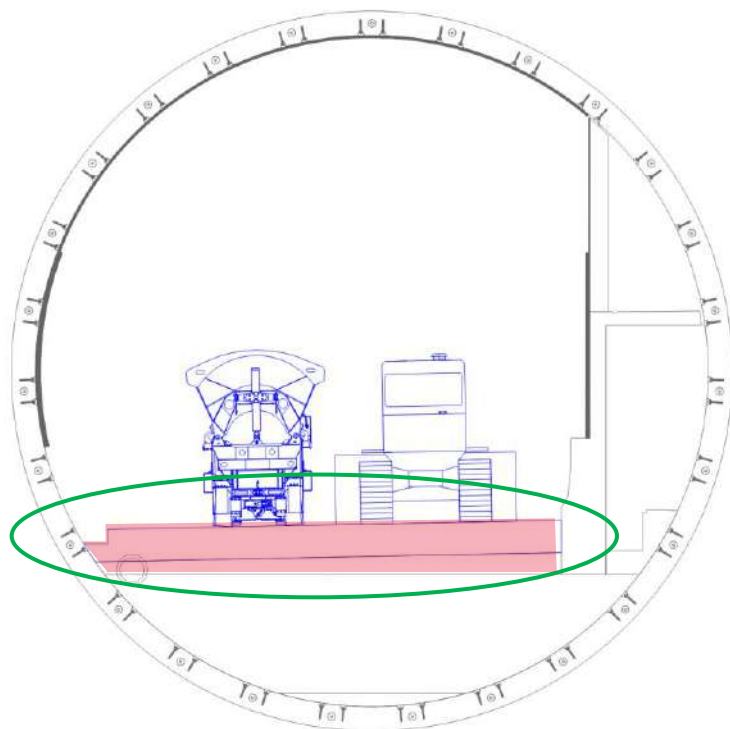
Toutes les  
structures  
internes sont en  
acier inoxydable

**Avancement à  
avril 2025 :  
50% Bétons  
1er tunnel**

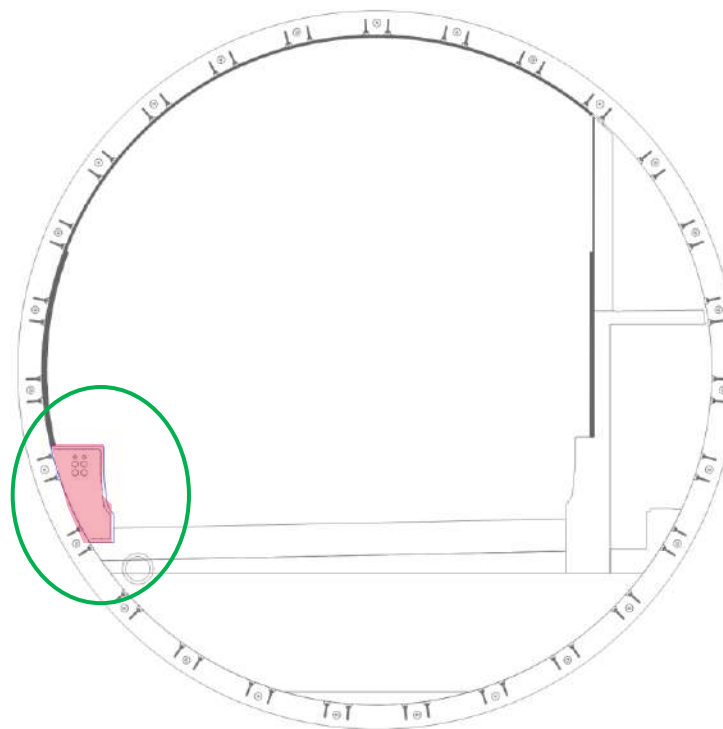


# 7. LES STRUCTURES INTERNES

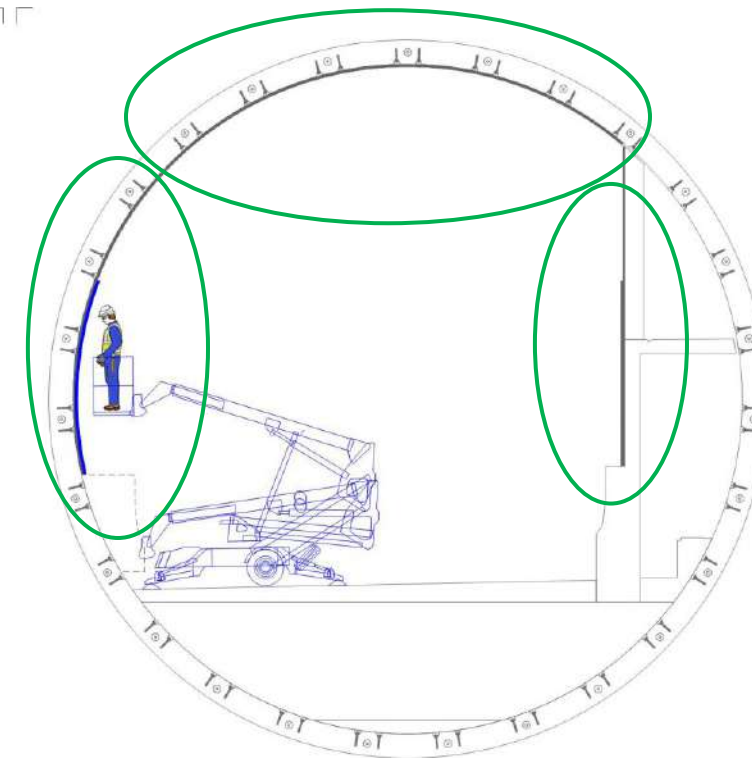
## Structures internes aux Tunnels – Séquences de travaux



Travaux de remplissage en ballast  
niveau 2

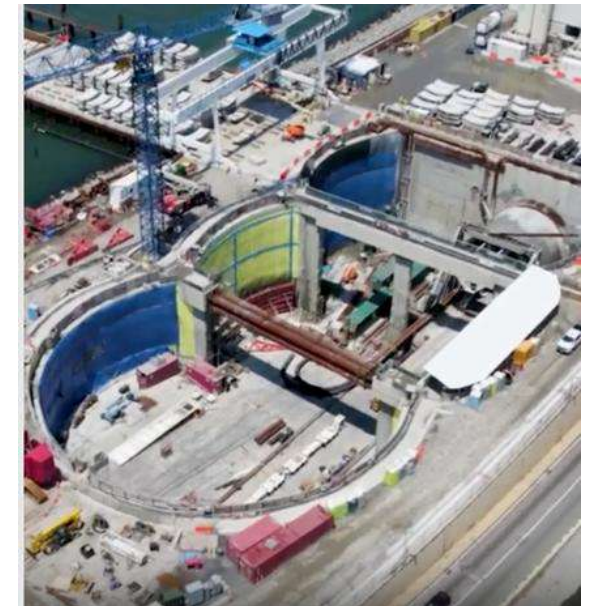


Travaux de barrière routière



Travaux de finitions (panneaux  
anti-feu et carrelage)

# Hampton Roads Bridge Tunnel



**HRBT : un tunnel, mais pas que !**





GRANDS PROJETS

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

QUESTIONS ?