



AFTES Young Members

Paris, le 17 avril 2025

Hampton Roads Bridge Tunnel Expansion Project - USA



Présenté par : David MAZEYRIE

SOMMAIRE

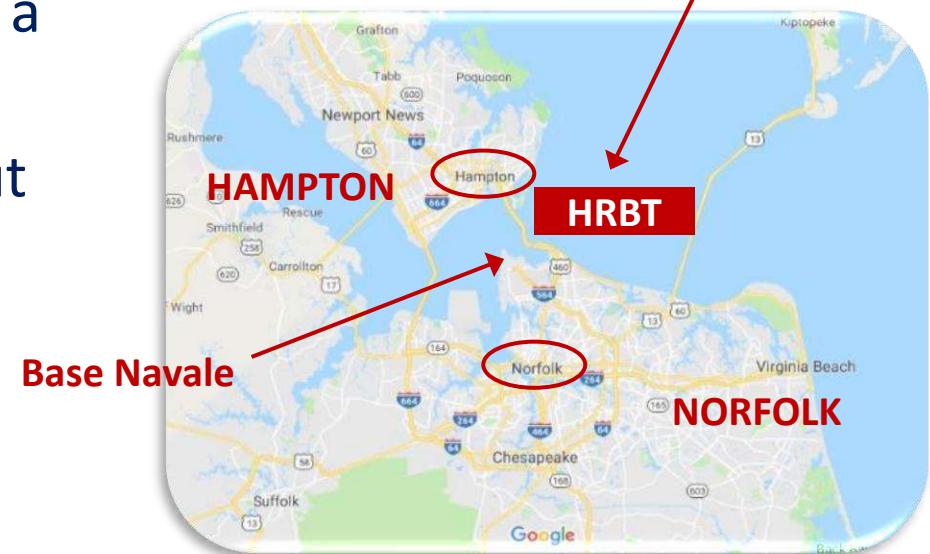
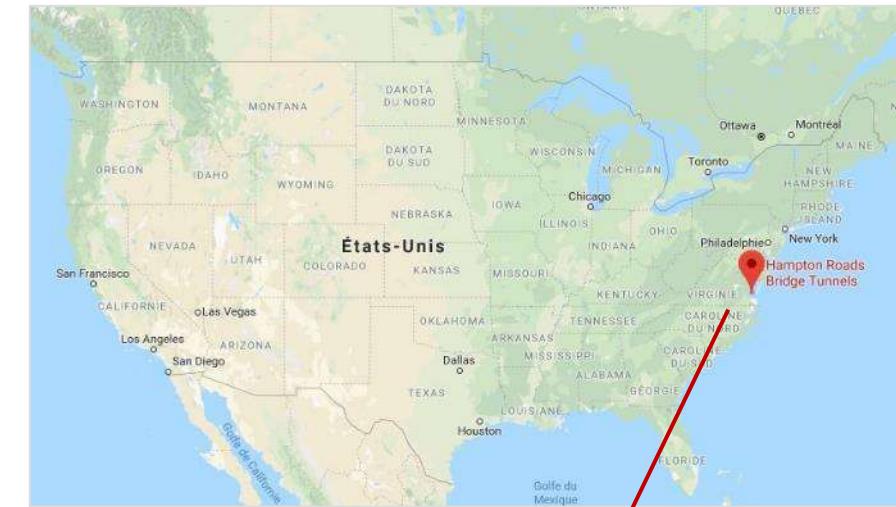
1. LE PROJET
2. LES TUNNELS
3. LES VOUSSOIRS
4. LE TUNNELIER
5. LE PHASAGE
6. LE SITE ET SES CONTRAINTES
7. LES STRUCTURES INTERNES

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:

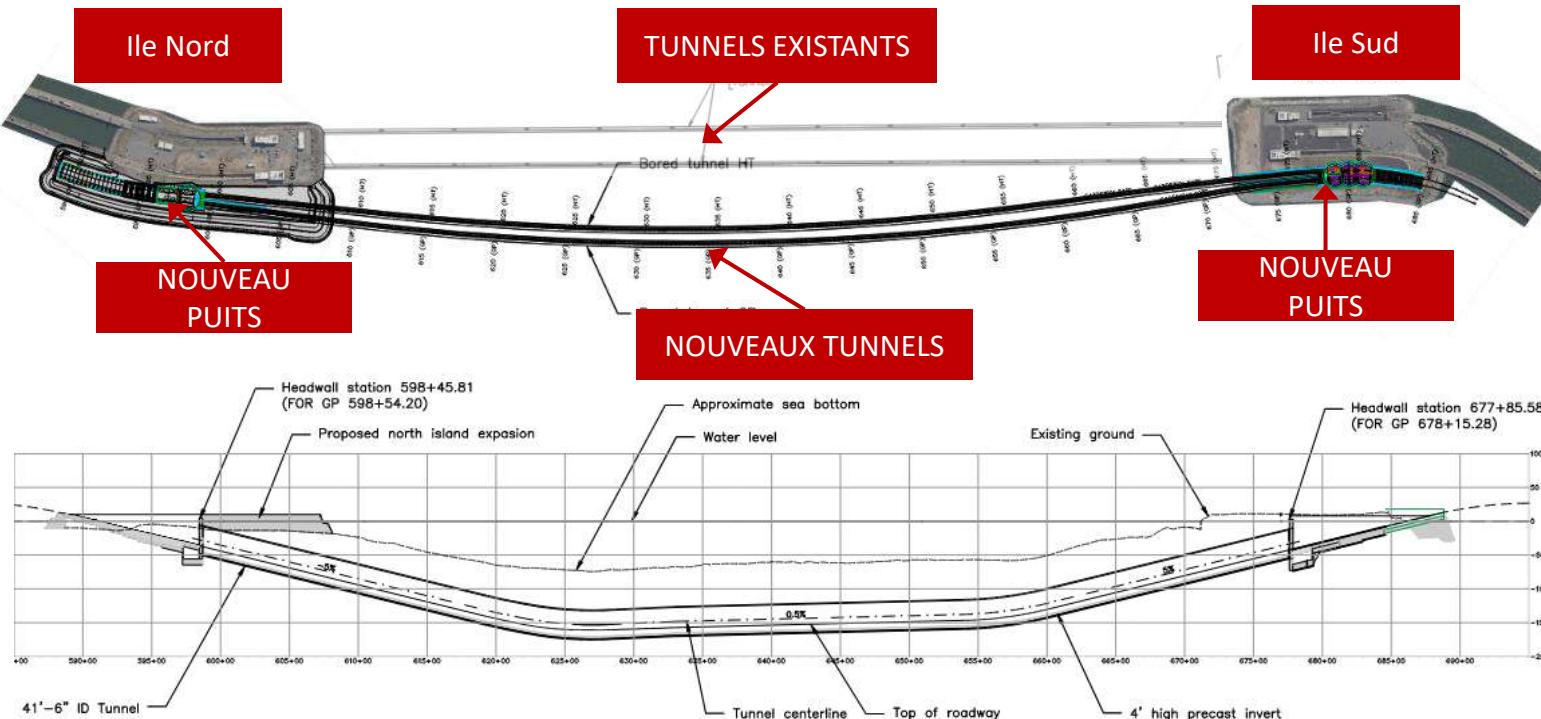
- ✓ **2 nouveaux tunnels** de 2 voies
- ✓ **28 ponts** remplacés ou élargis (offshore et onshore)
- ✓ **1.6km d'élargissement d'autoroute** du côté de Hampton
- ✓ **6.5km d'élargissement d'autoroute** du côté de Norfolk



1. LE PROJET

Etendue du projet

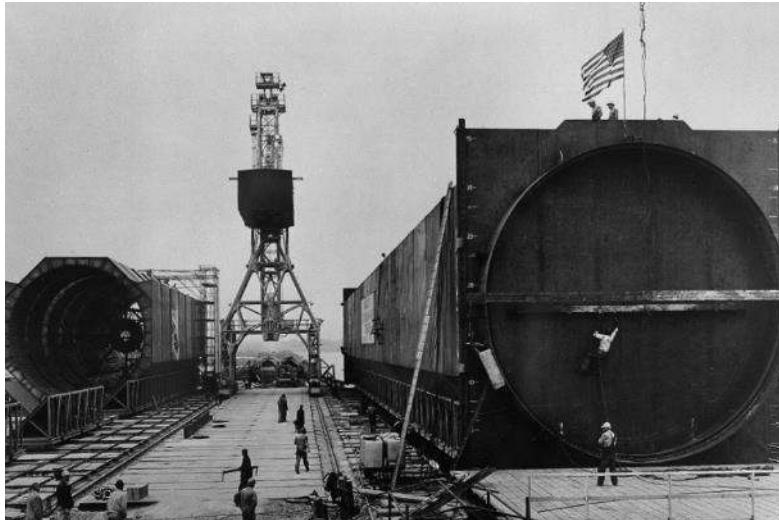
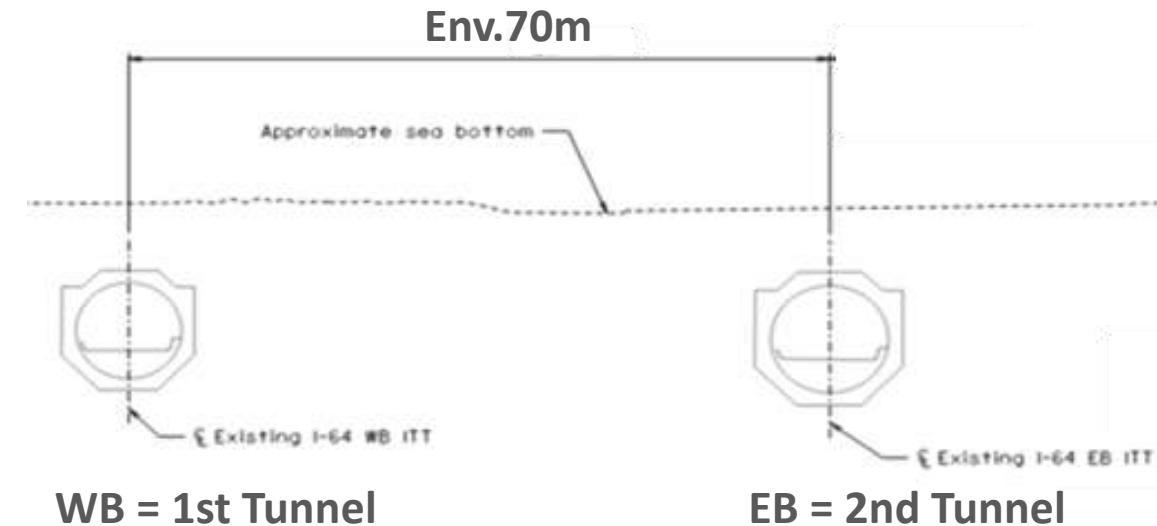
- ✓ **2 extensions d'îles artificielles existantes**
- ✓ **2 nouveaux puits pour relier les ponts aux nouveaux tunnels**



1. LE PROJET

Un peu d'histoire

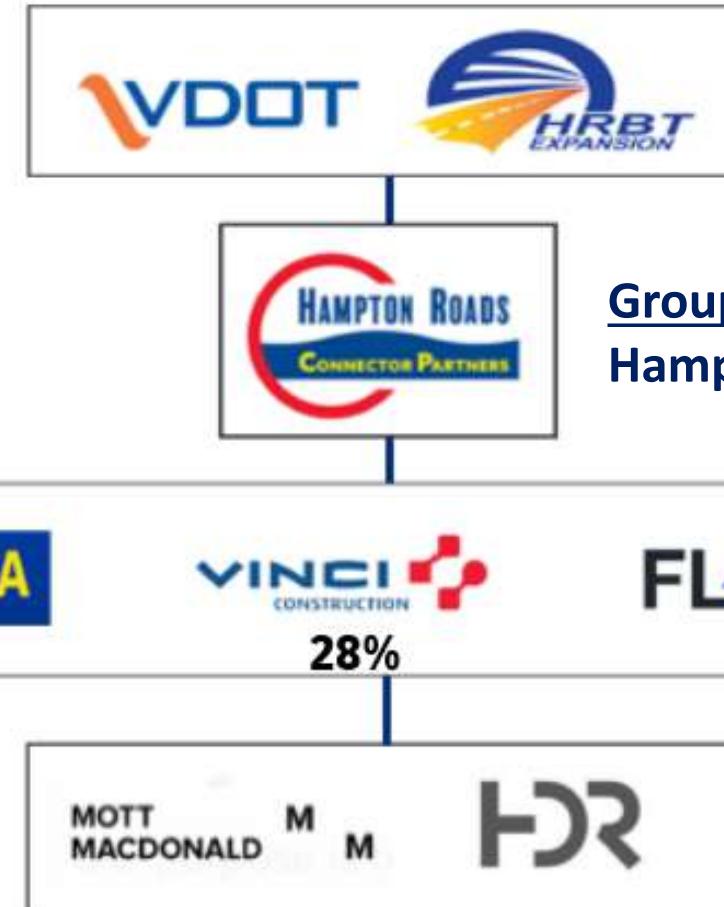
- Mise en service du 1^{er} tunnel : **01/Nov/1957**
- Construction du 2^{ème} tunnel : **1972-1976**
- Longueur **7479 FT** (2300m)



1. LE PROJET

L'équipe du projet

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



1. LE PROJET

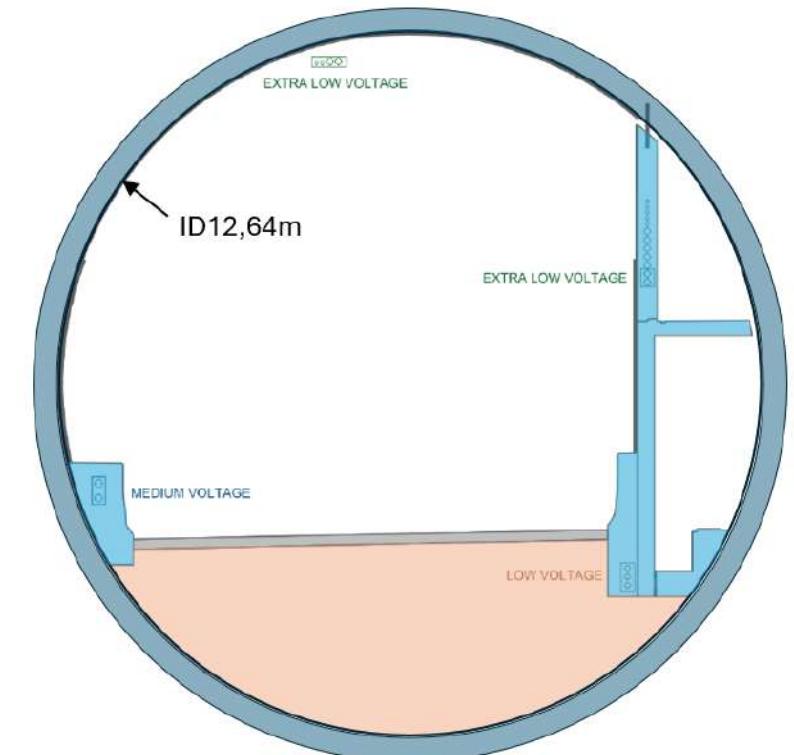
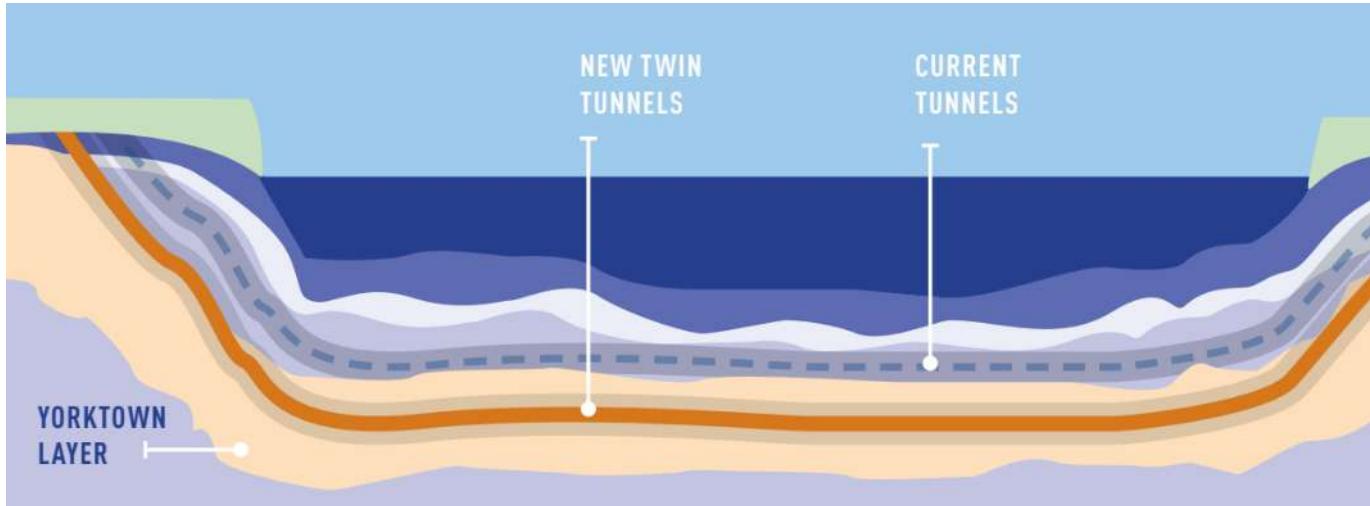
Immersion avec une visite virtuelle



2. LES TUNNELS

2. LES TUNNELS

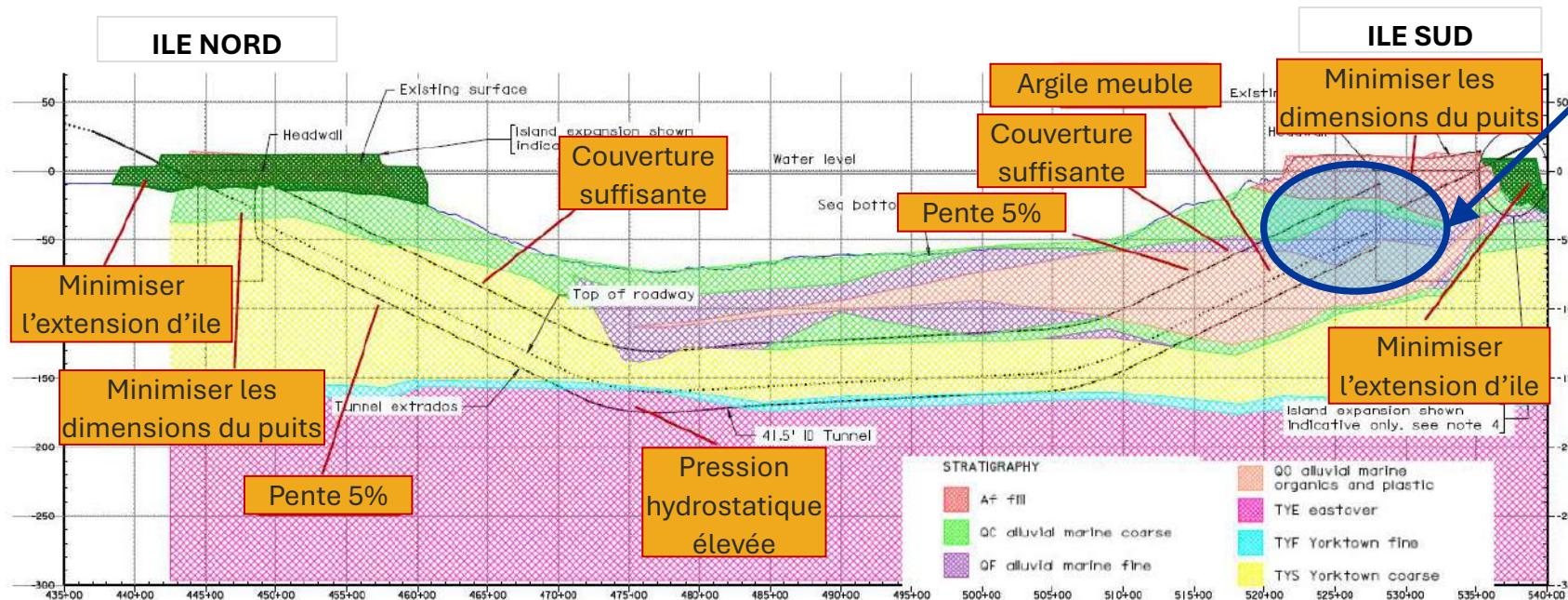
- ✓ Deux tunnels d'environ **2.4km** de long
- ✓ Profondeur de **45m sous le niveau d'eau** de la baie
- ✓ Diamètre intérieur de **12.64m** (41.5ft)



2. LES TUNNELS

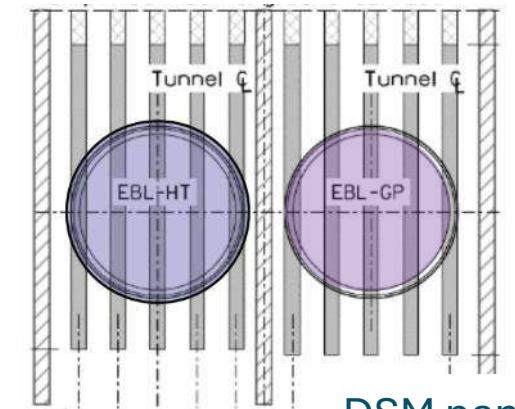
Définition de l'alignement des tunnels

- ✓ **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



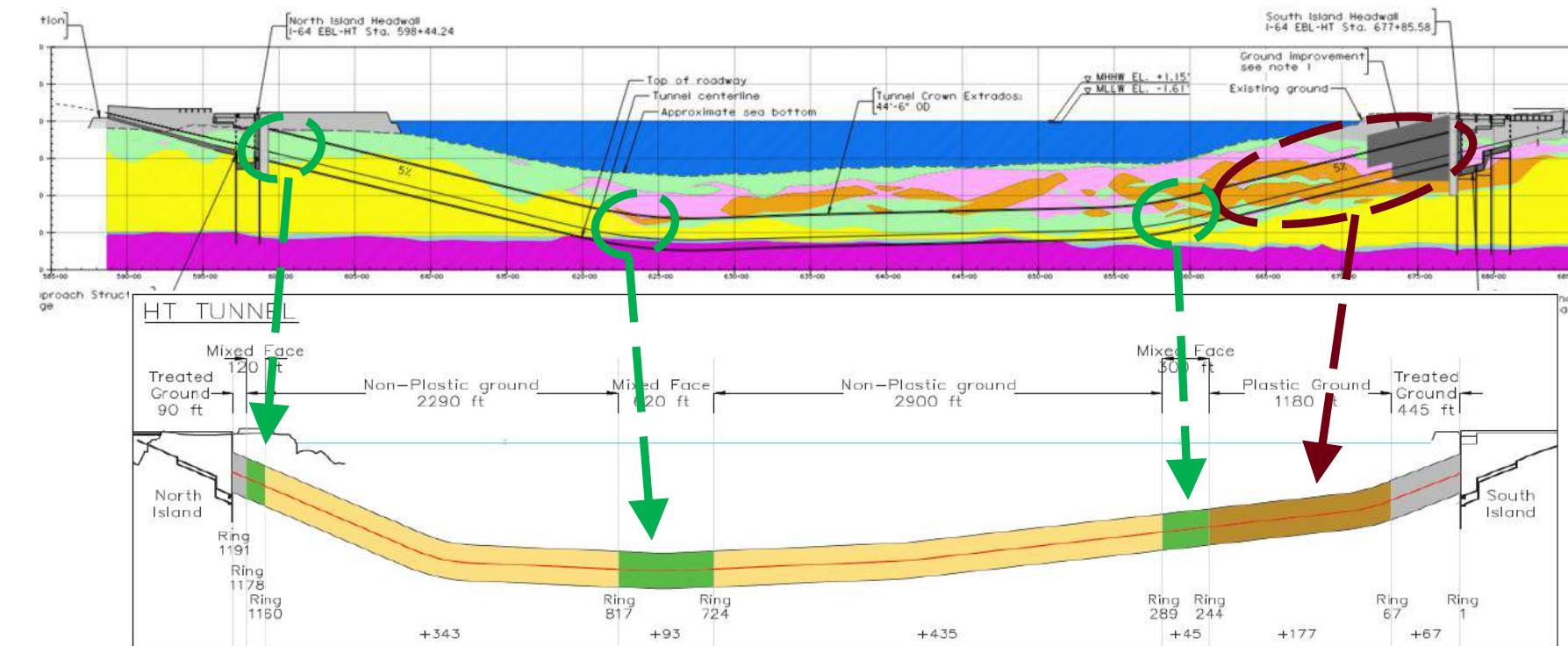
DSM panels

2. LES TUNNELS

Géologie

Formation sédimentaire

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



2. LES TUNNELS

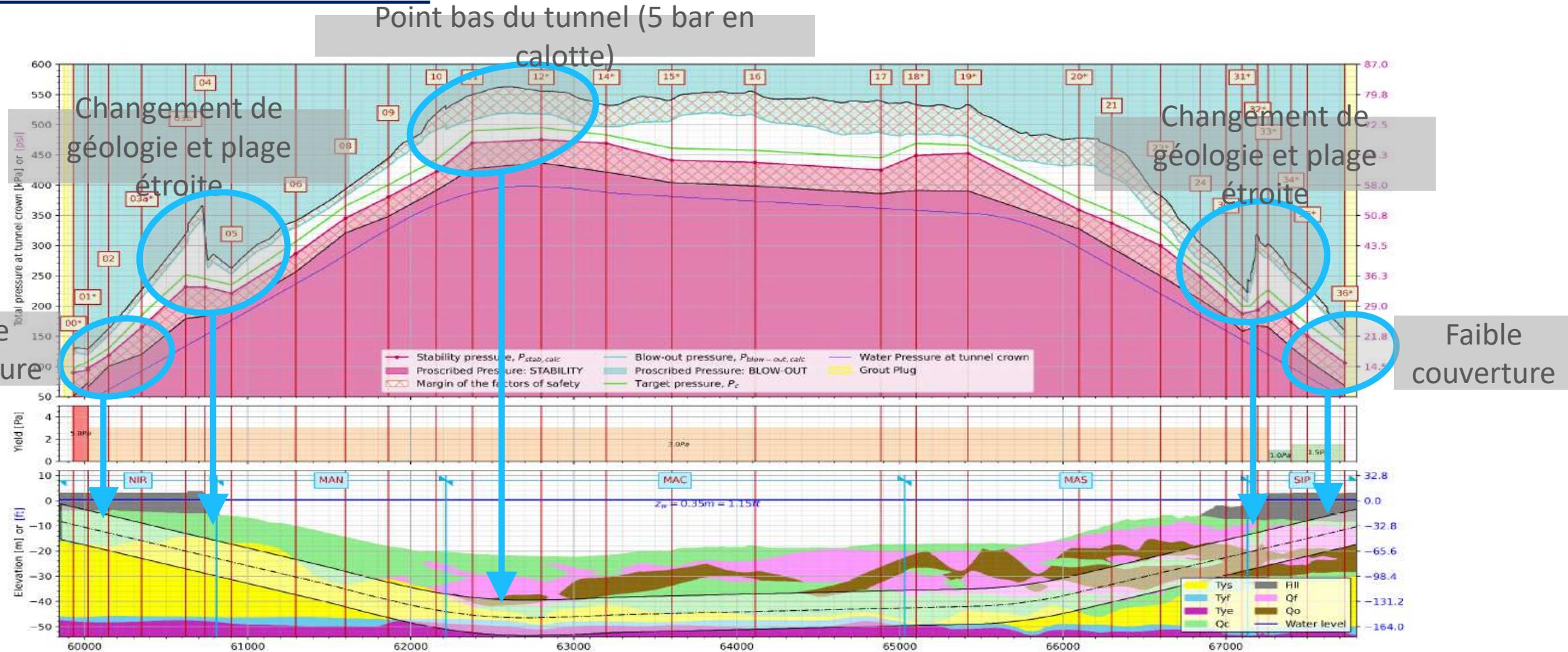
Géologie

Présence de quelques obstacles :

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



Pressions de confinement



3. LES VOUSSOIRS



3. LES VOUSSOIRS

Design de l'anneau

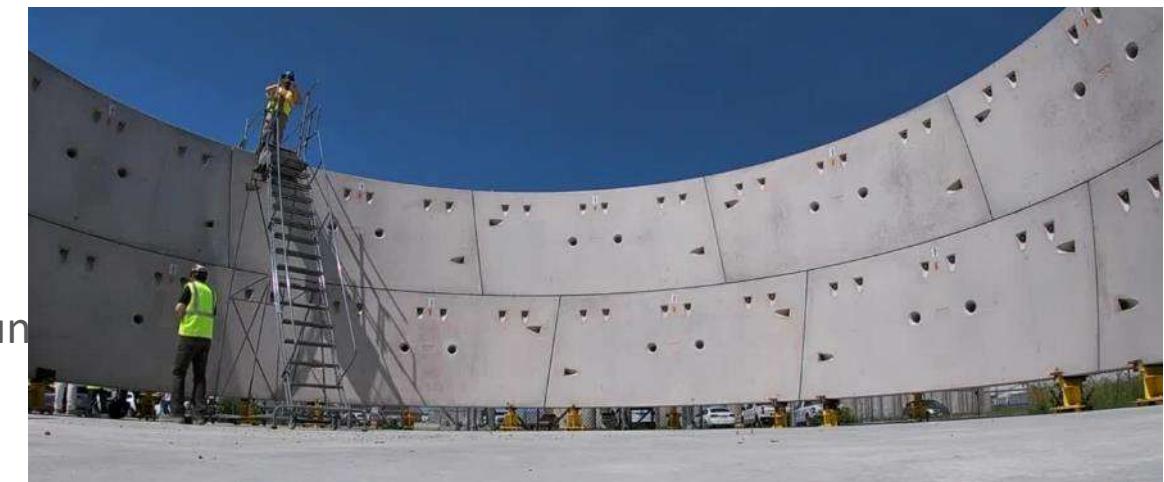
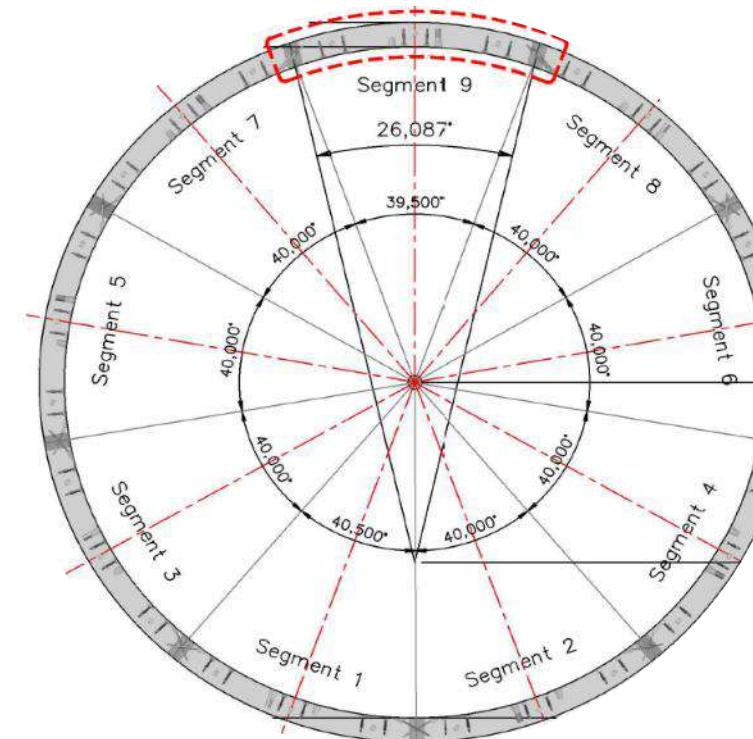
- ✓ Configuration (9 + 0), rhomboïdal,
- ✓ Diamètre Int. / Ext. = 12,65m / 13,56m
- ✓ Epaisseur des voussoirs = 46cm

- ✓ 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 :
 - Ferraillage en périphérie 58 kg/m³
 - Fibres métallique 24 kg/m³

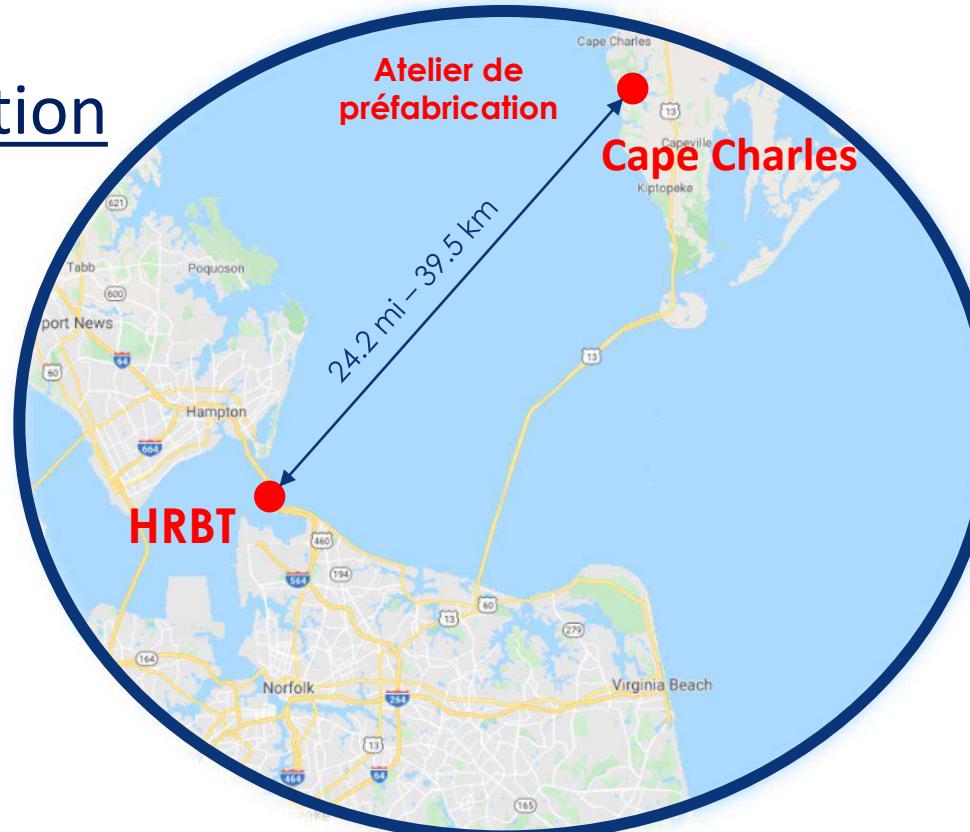
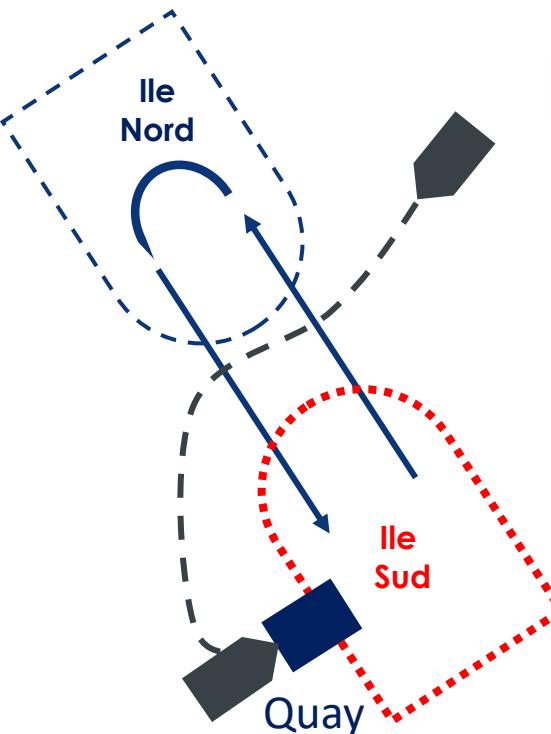
- ✓ Résistance :
 - 50 MPa à 28 jours
 - 70 MPa à 90 jours



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

3. LES VOUSSOIRS

Atelier de préfabrication



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



3. LES VOUSSOIRS

Atelier de préfabrication

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



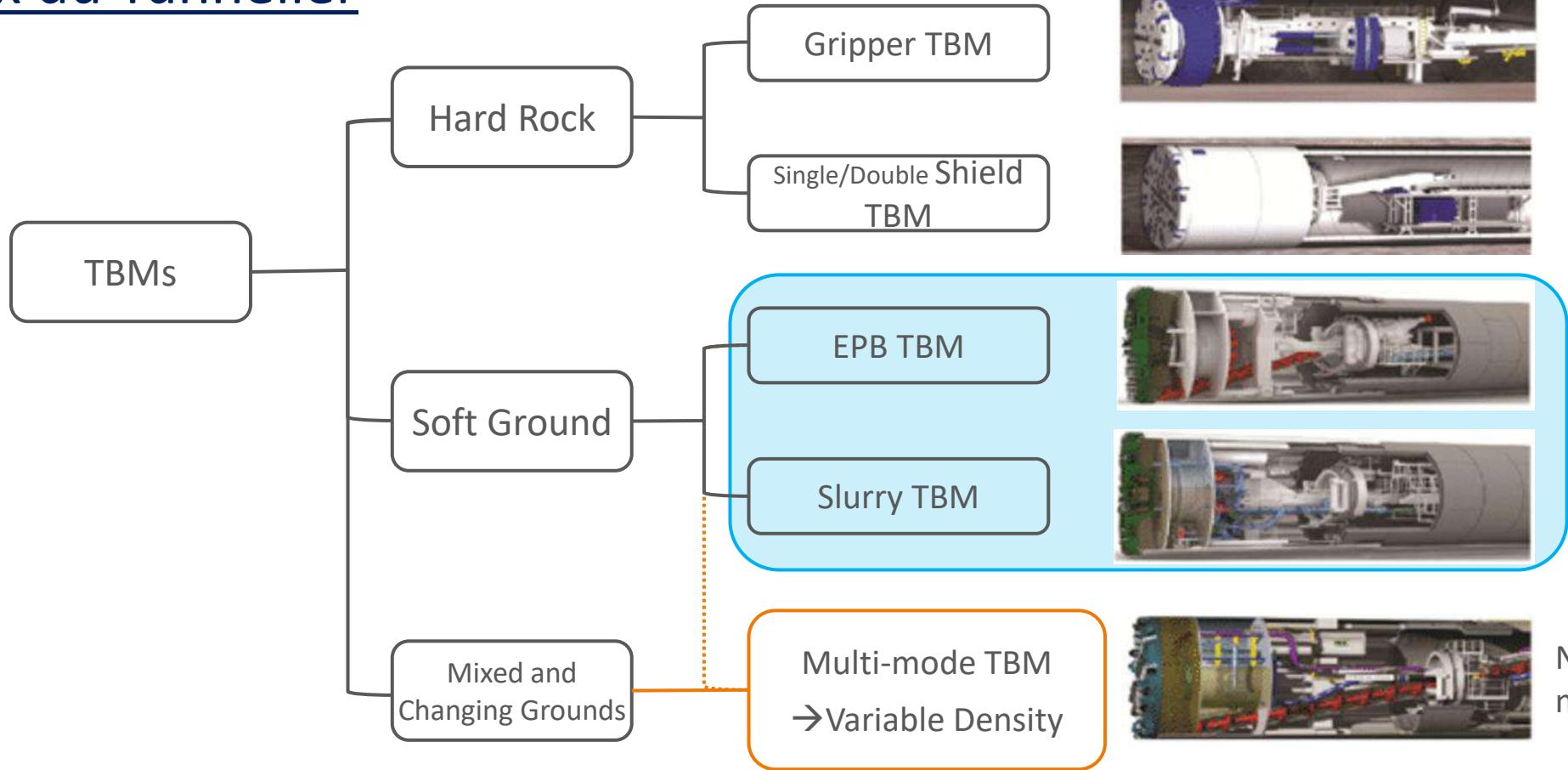
- ✓ Production 54 voussoirs par jour
- ✓ Plus de 21000 voussoirs à produire



4. LE TUNNELIER

4. LE TUNNELIER

Choix du Tunnelier



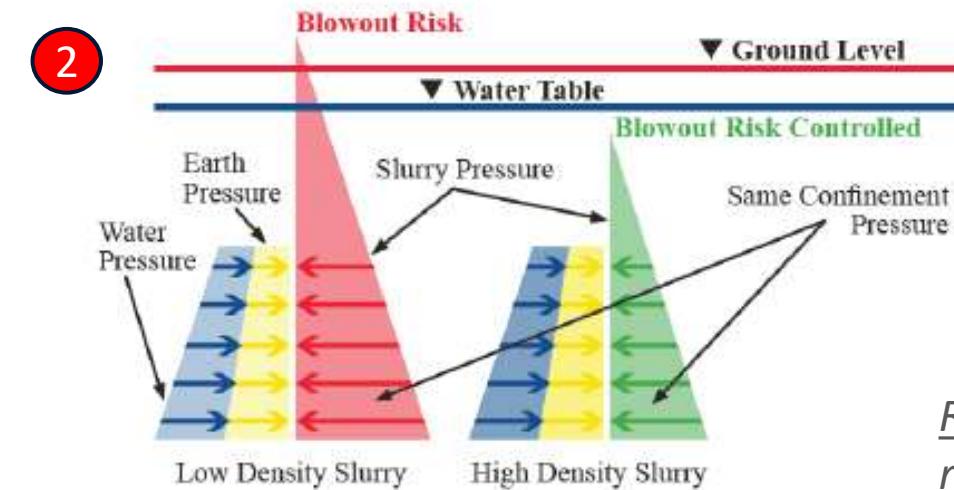
4. LE TUNNELIER

Pourquoi un VD TBM ?

Analyse comparative multicritères

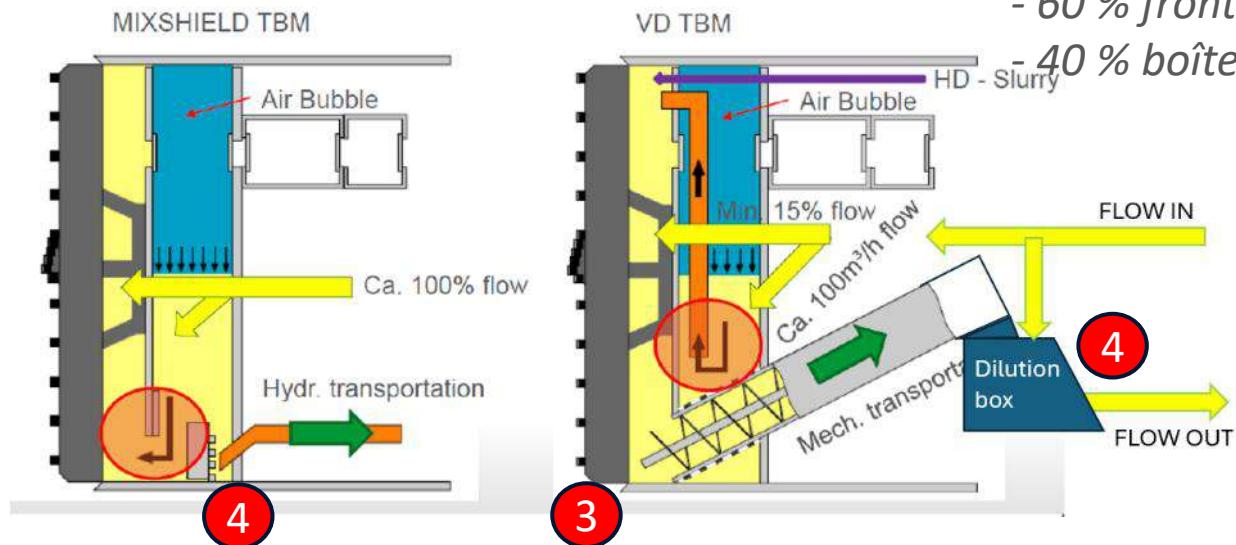
Critères	EPB TBM	VD TBM	Slurry TBM	Comment
Gas (presence of methane)	-	+	+	Hazardous environment - high water pressure, hard to reduce slurry rate
Confined pressure	-	++	+	Can keep confined in pipes until surface
Type of ground (soil - mineral)	-	++	+	Designed limited with high density slurry, working high pressure
Accessible cutterhead at slurry pressure	--	+	+	Low torque with slurry
Cost	**	-	**	No accessible cutterhead for EPB
Penetrative case management for CA	**	-	**	VD & Slurry TBM more expensive than standard EPB TBM and requires a DTP
Water	-	+	+	Better value than EPB additional equipment for DTP (VD)
Destruction layers pipes	-	+	+	Less wear with slurry (high abrasive material required)
Dripping	-	+	+	Not needed
TBM Performance	-	+	-	High thrust contents and clayey material
Soil management	-	++	+	Advanced soil treated for TBM due to torque limit plus character for high pressure
State of material	--	++	+	Good control of the material quality (SDP)
Soil storage	-	-	+	Good material coming out of SDP
Methods for launching & U-turn	+	-	-	SDP request space
Environment	-	+	-	Many circuit water than conveyor belt
	+4	17	+15	Use of boronite lime vs use of flame 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

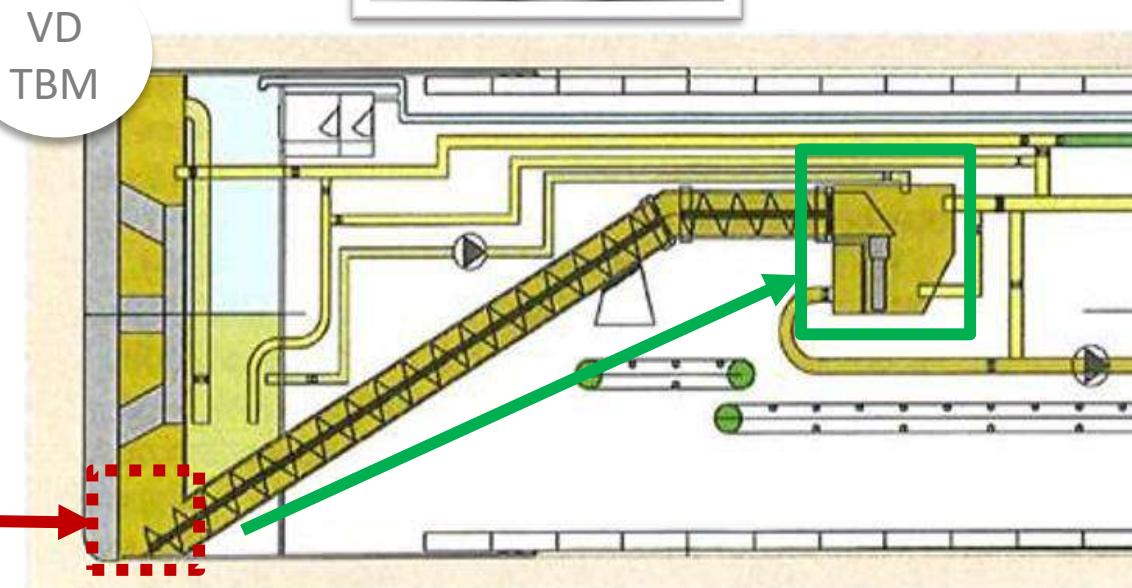


4. LE TUNNELIER

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)

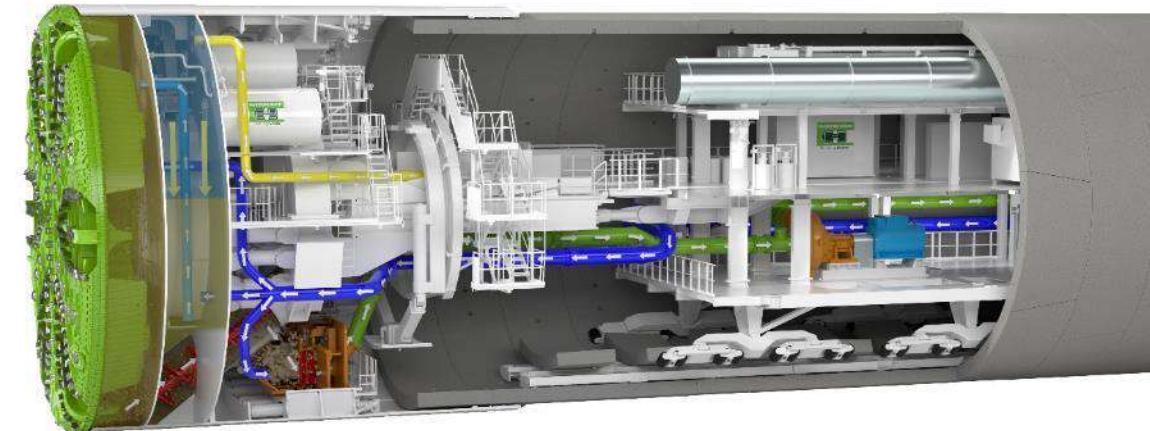


4. LE TUNNELIER

Caractéristiques principales du TBM



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

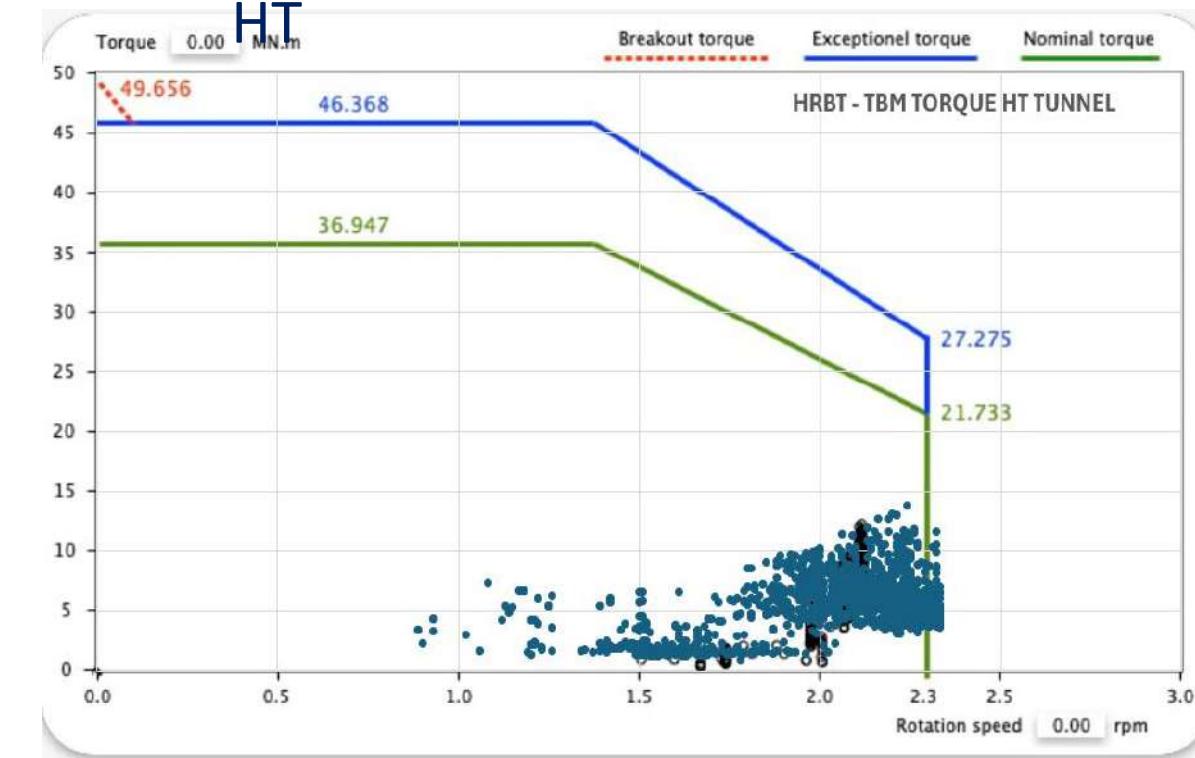


4. LE TUNNELIER

Caractéristiques principales du TBM : quelques chiffres

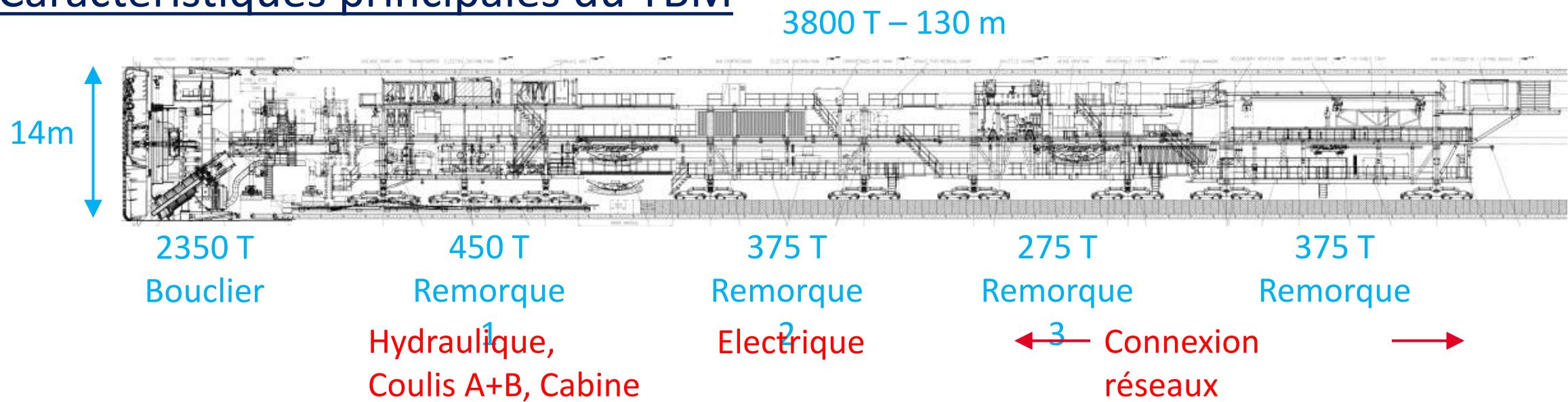
- Roue accessible Ø14,04m (46,1 FT)
- Pression max. **6 bar** à l'axe
- Entraînement principal Ø6,60m, Couple nominal **37MN.m**
- **5 600kW** de puissance installée sur la roue (16 moteurs de 350kW)
- Vérins de poussée : 27 paires. **Poussée 171 510kN** à 350 bars
- Articulation de la roue de coupe : 12 vérins. 60 288kN à 400 bars
- **Vis de marinage courte Ø1,60m, 800kW** de puissance installée
- Circuit de **marinage** : **3200m³/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'écaillles**
- Capacité Transformateurs (4u) **10800 kVA**

Couple Entraînement Tunnel
HT



4. LE TUNNELIER

Caractéristiques principales du TBM



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 » :

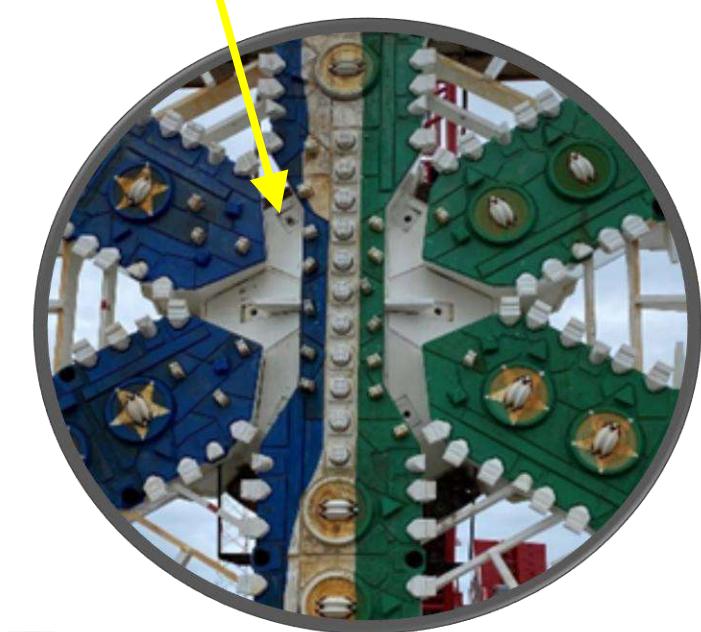
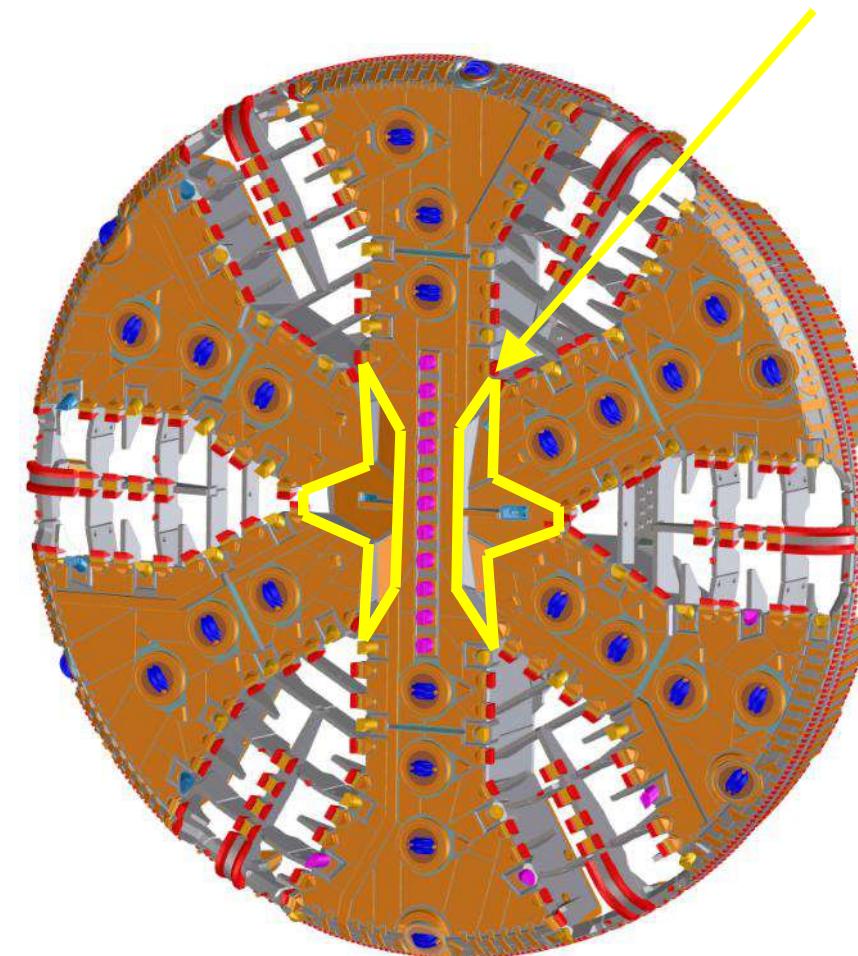
- **26 Molettes doubles 19"**
- **11 Rippers au centre**
- **50 Couteaux**

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



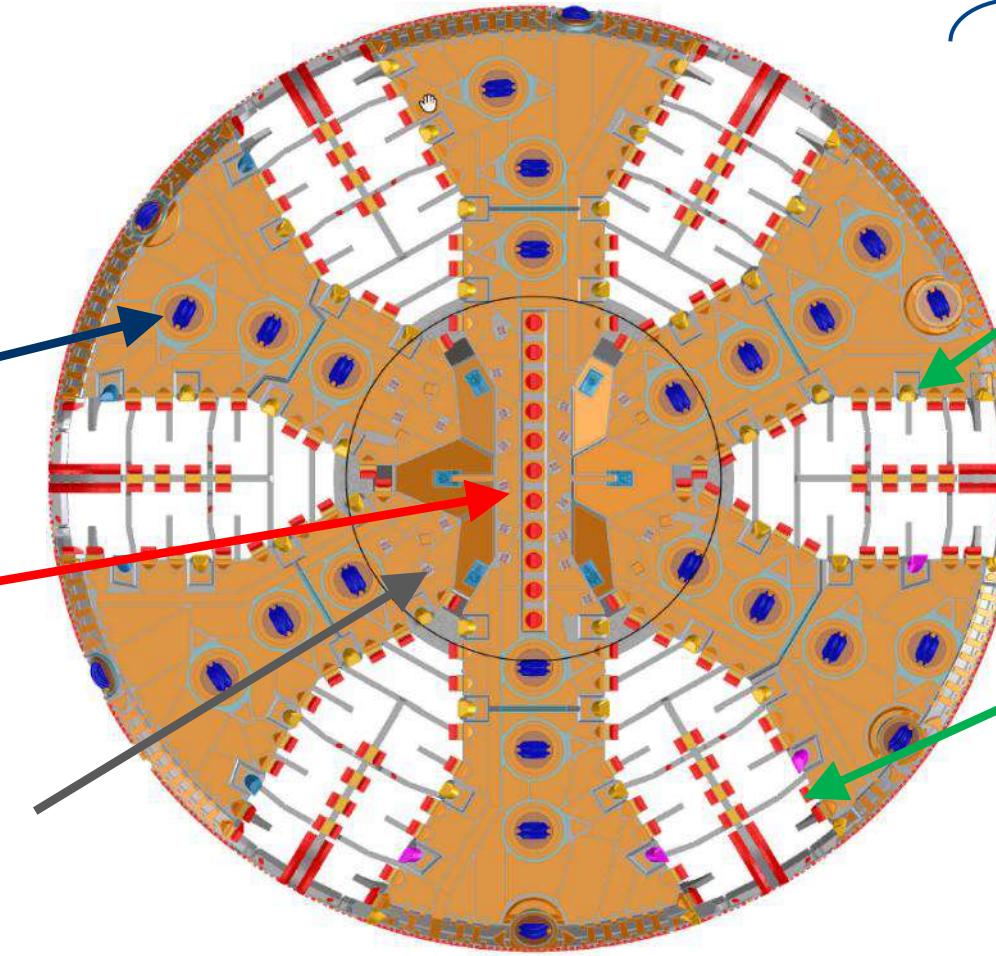
26 Double Disc-cutters 19"



11 Rippers



Additional Sacrificial tool
in the center (no disc cutters)



2nde ligne de coupe

→ En retrait de 40 mm

Couteaux
"accessibles"



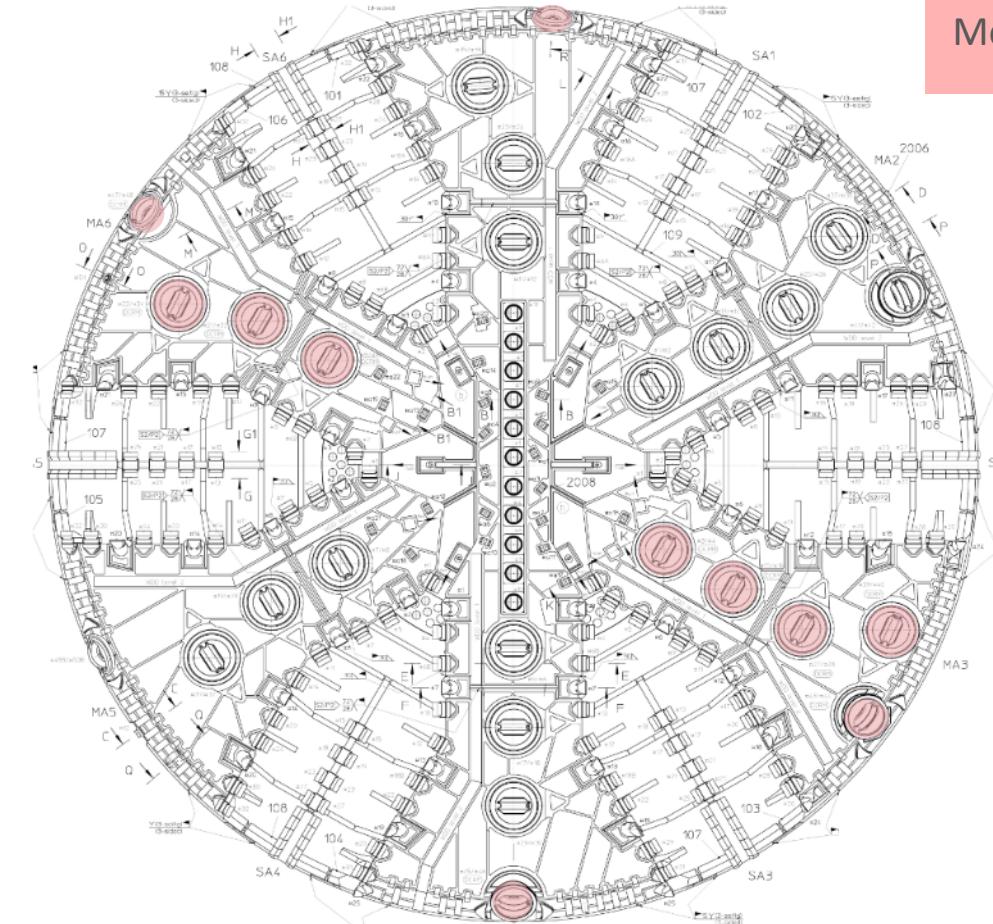
Couteaux et Racleurs
"non-accessibles"



4. LE TUNNELIER

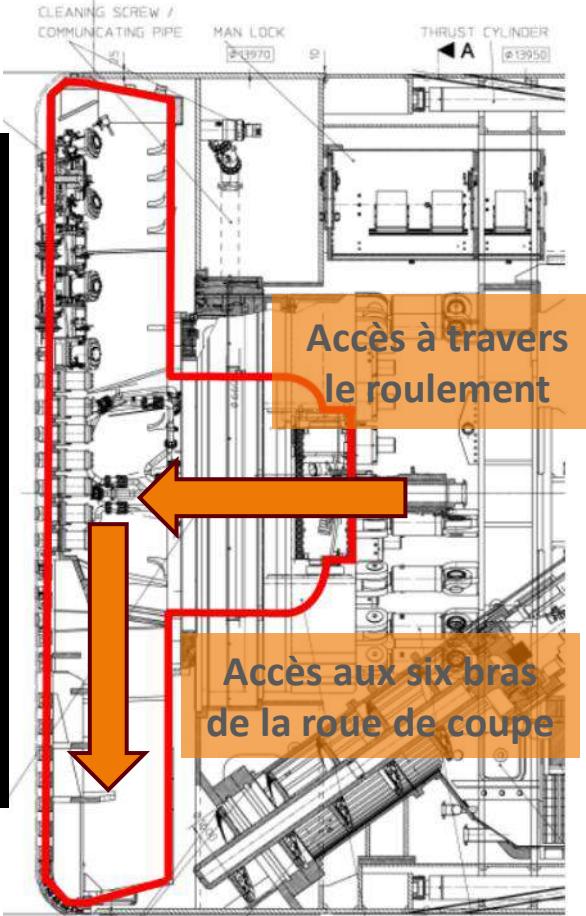
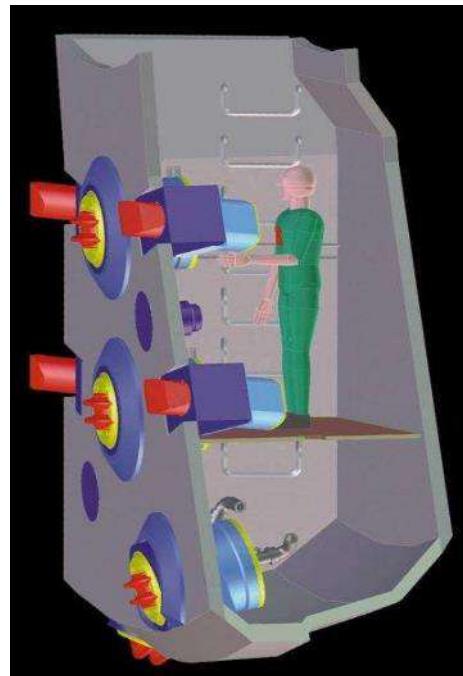
Roue de coupe – Instrumentation d'outils de coupe

- 11 outils équipés du système « Disc Cutter Rotation Monitoring system » (DCRM)
- Outils répartis pour couvrir toute la face de la tête de coupe
- L'état des outils est affiché dans la cabine de pilotage et des **alertes** sont déclenchées si non-rotation.



Disc Cutter
Rotation
Monitoring system
(11x)

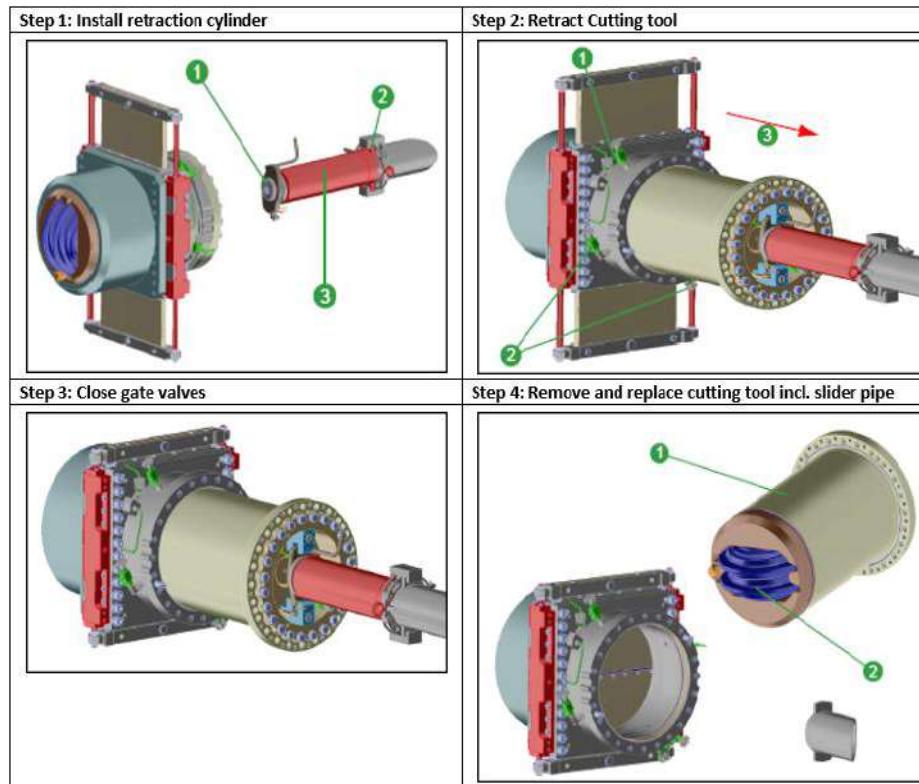
Roue de coupe – Accessible à P. Atmo



4. LE TUNNELIER

Roue de coupe – Accessible à P. Atmo

Sliding Box Lock-out Mechanism



Tool replacement under atmospheric pressure

4. LE TUNNELIER

Roue de coupe – Accessible à P. Atmo

- L'ensemble des outils de la 1^{ere} ligne de coupe peuvent être remplacés à P. Atmo
- Certains couteaux de la 2^{eme} ligne d'outils de coupe peuvent être remplacés à P. Atmo
- 26 molettes changées 1^{er} tube
- Interversion Molette / Ripper



4. LE TUNNELIER

Intervention hyperbare

→ 2 SAS (capacité **6 bars**).

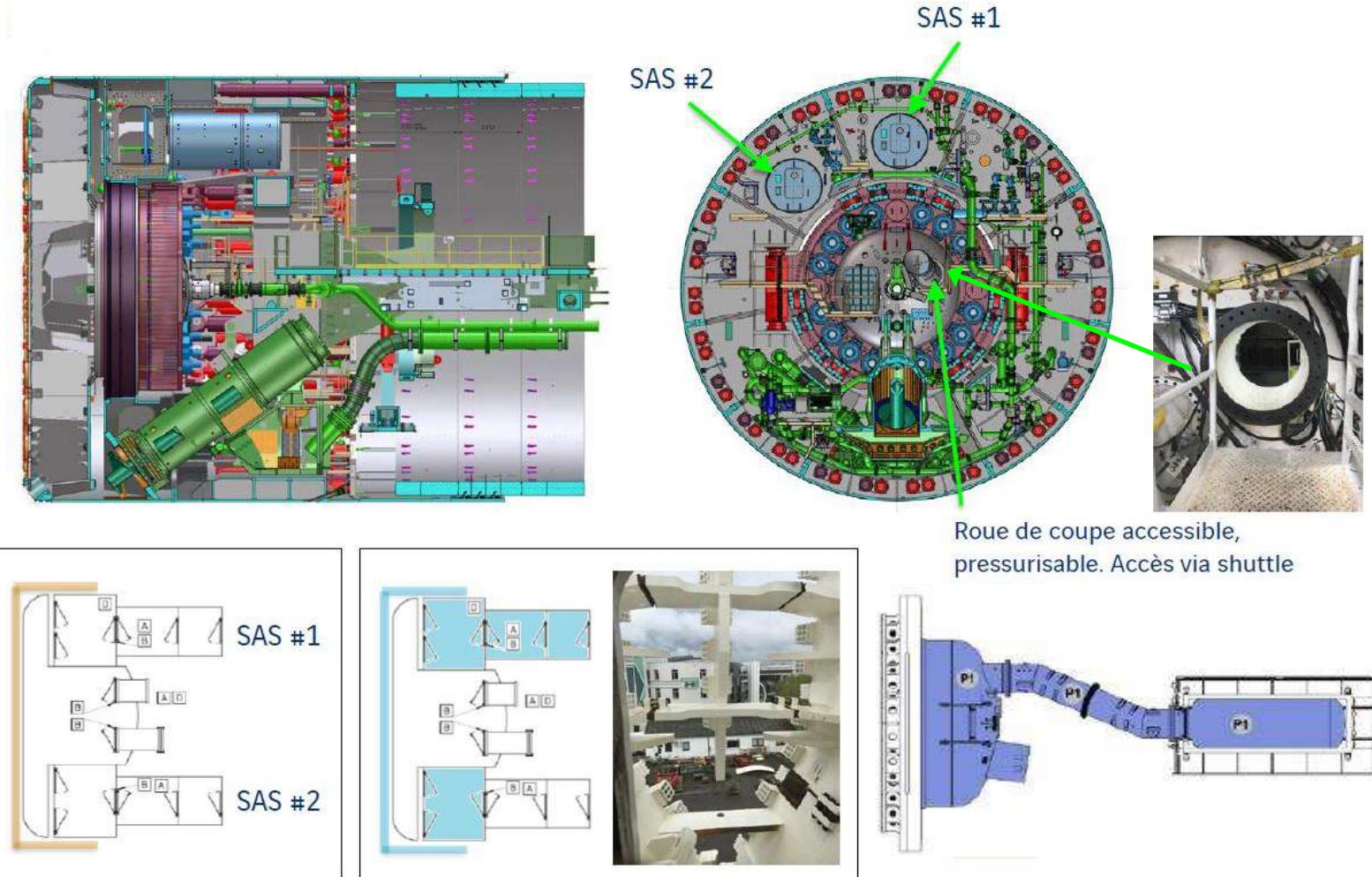
→ Compatibilité Shuttle

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



4. LE TUNNELIER

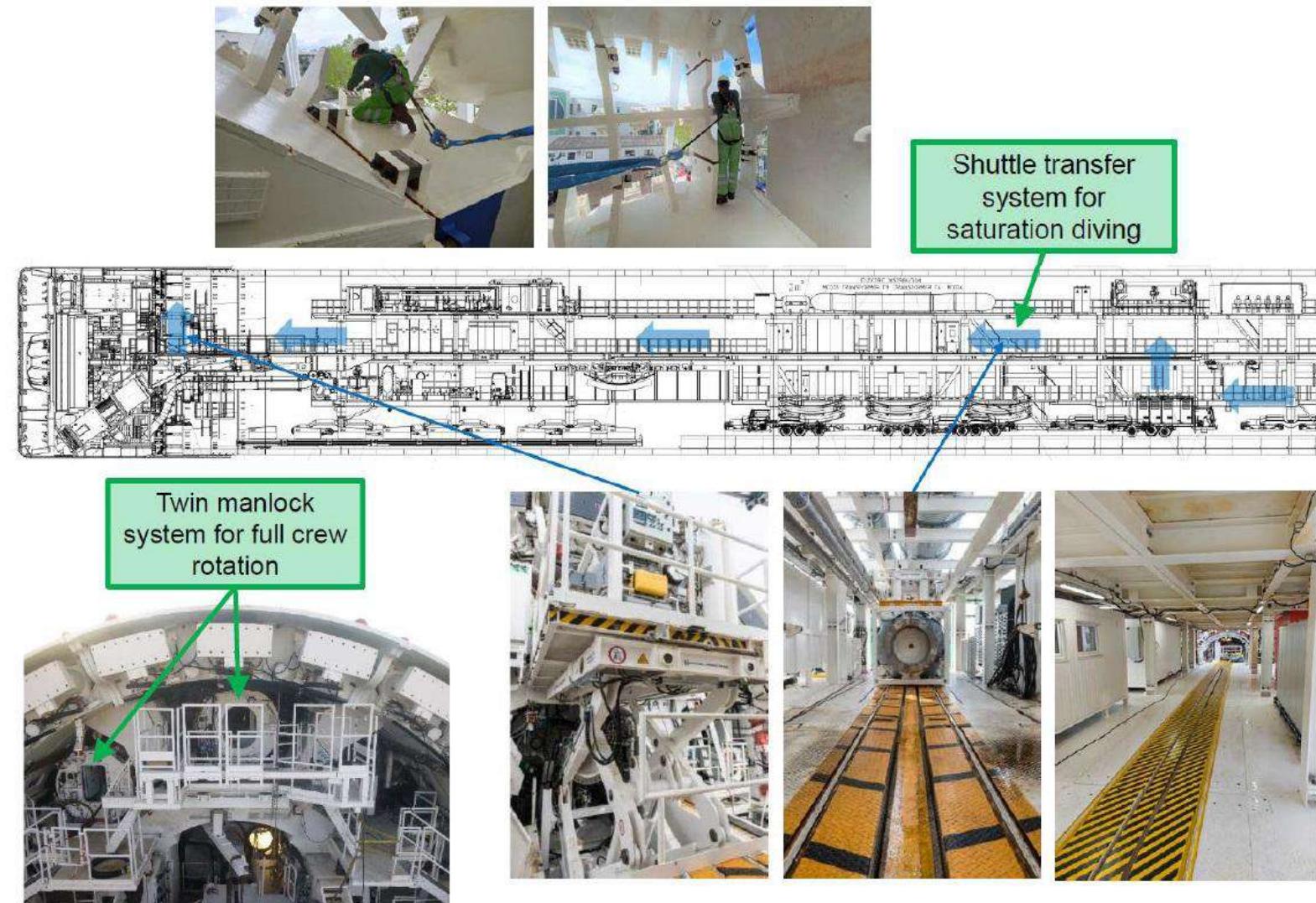
Intervention hyperbare

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 :

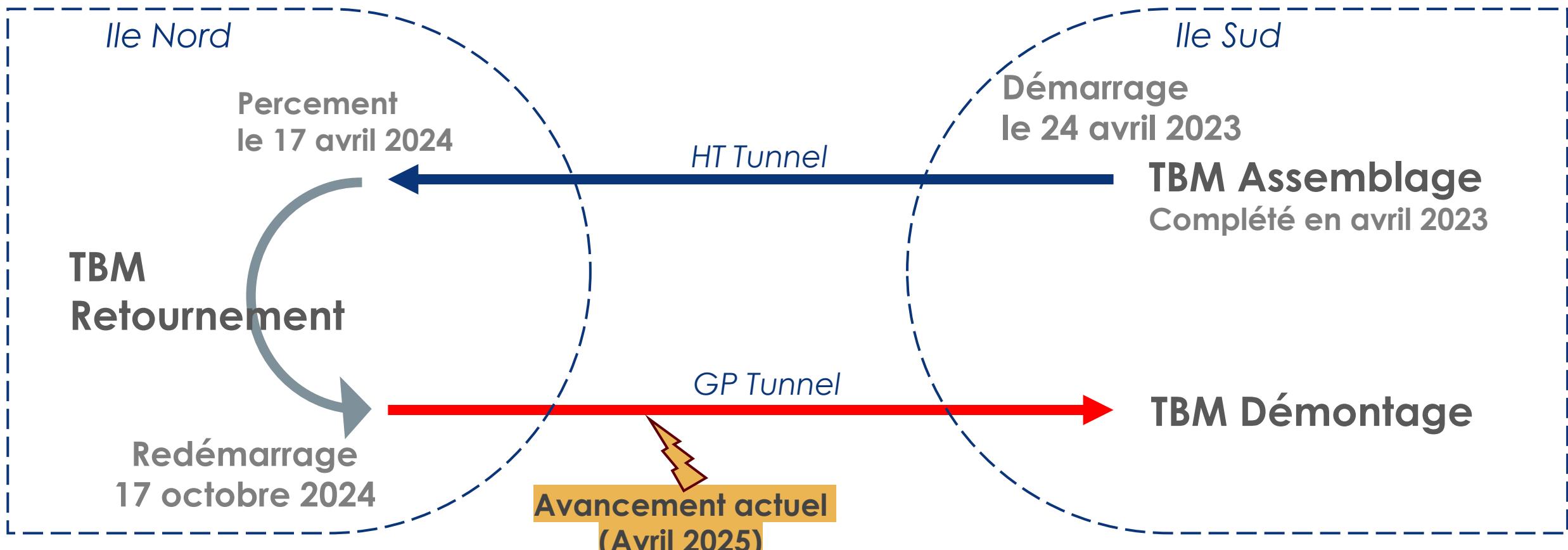
- Evacuation d'un plongeur en cas d'incident.
- Plongée hyperbare en saturation (transfert vers un habitat en surface).
- Transfert sous pression entre le SAS1 de compression et le centre de la roue.



5. LE PHASAGE

5. LE PHASAGE

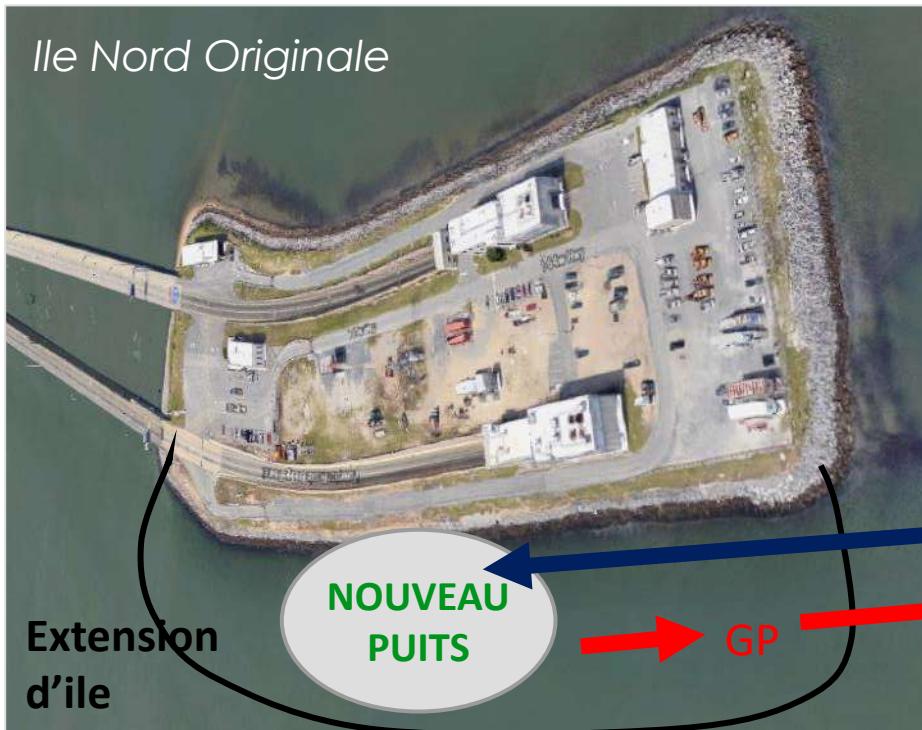
Séquence générale de construction



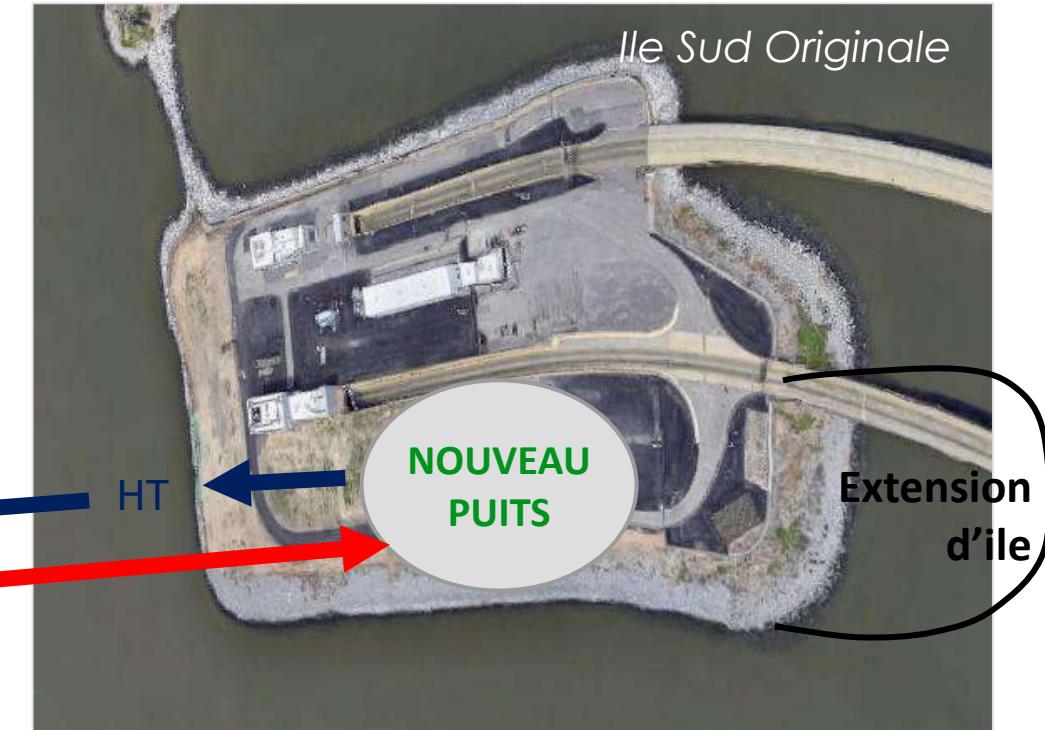
5. LE PHASAGE

Ile Nord

→ **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*)

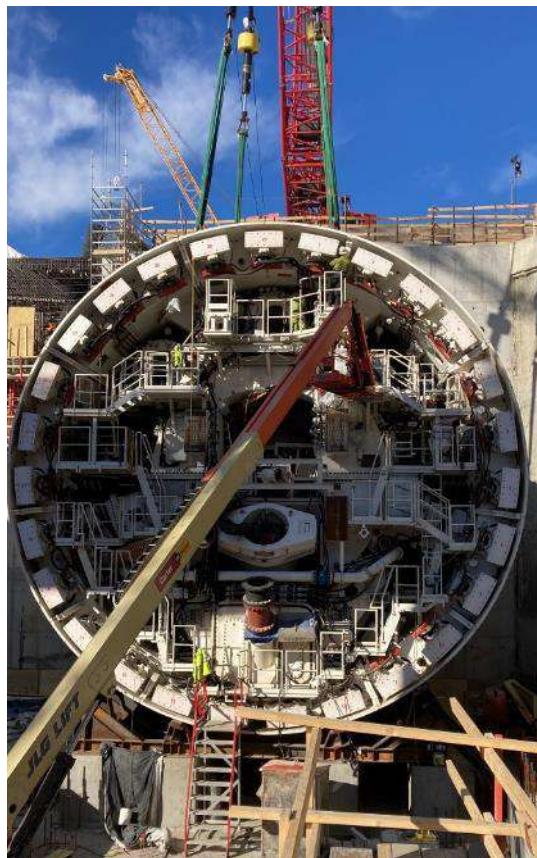


Ile Sud



5. LE PHASAGE

Assemblage du Tunnelier dans le puits de lancement de l'Île Sud



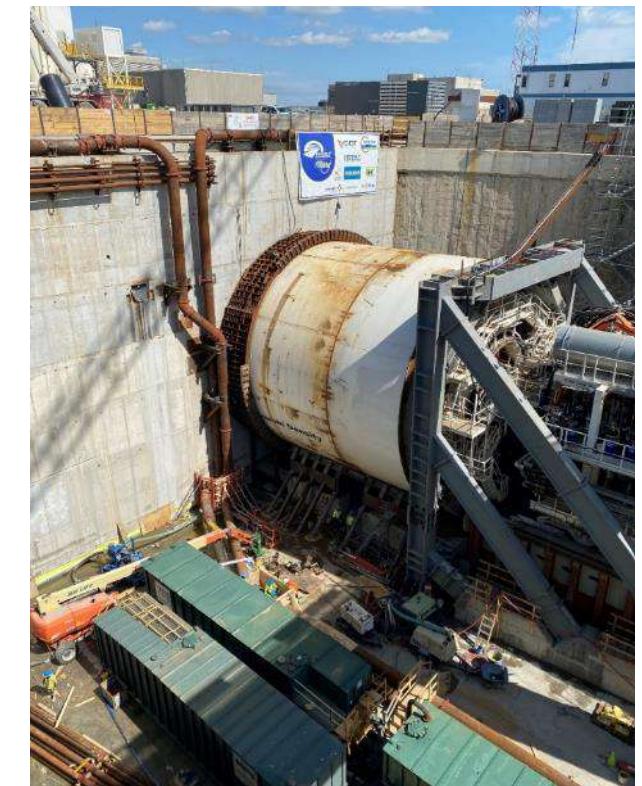
Décembre 2022



Janvier 2023



Janvier 2023

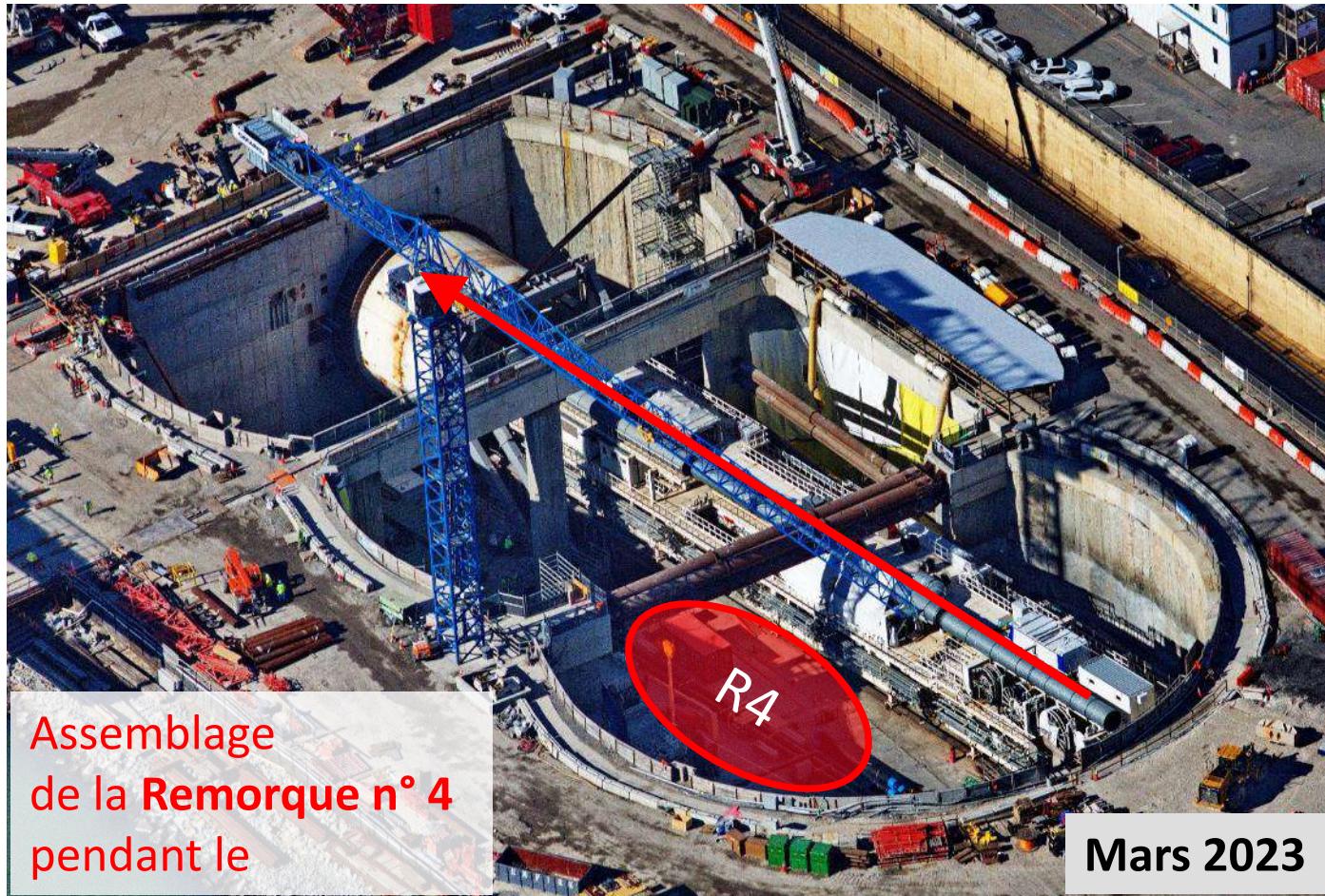


Avril 2023

→ Démarrage du TBM

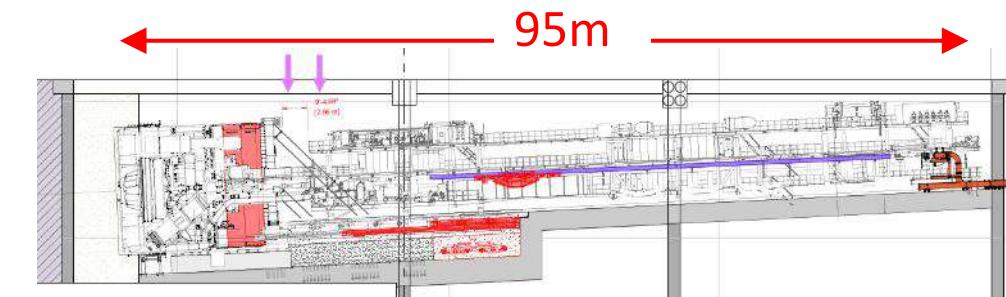
5. LE PHASAGE

Assemblage du Tunnelier dans le puits de lancement de l'Île Sud



AFTES YM - 17 avril 2025

Démarrage avec 3 remorques



HRBT

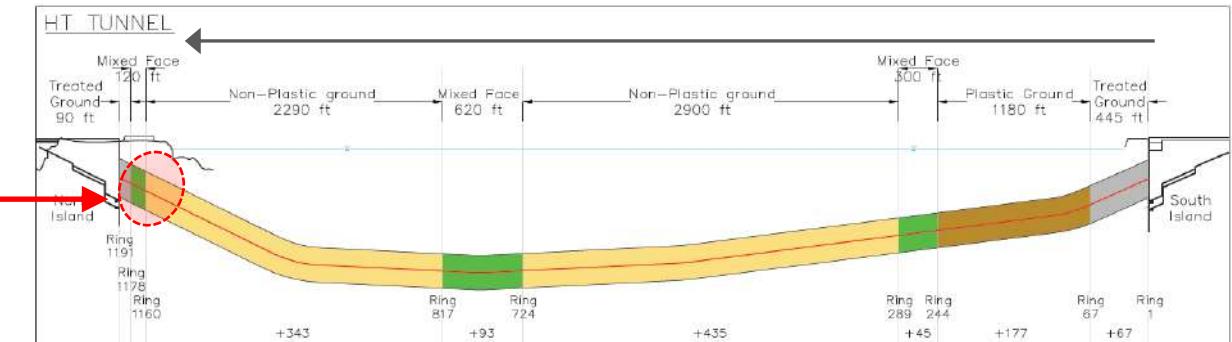
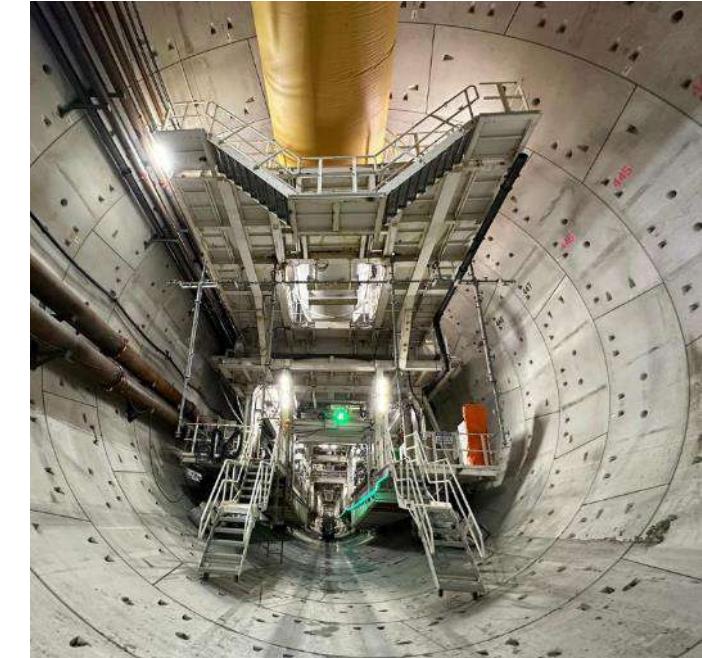
5. LE PHASAGE

Performance de Creusement HT Tunnel

- **51 semaines** travaillées pour compléter le **1^{er} 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



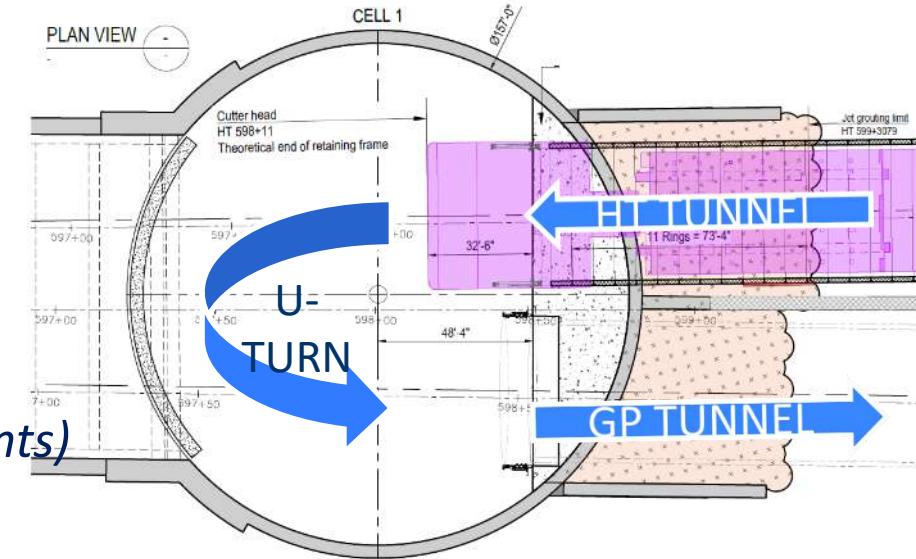
5. LE PHASAGE

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^{eme} bouclier à l'Île Sud & Transférer uniquement les remorques jusqu'à l'Île Sud

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

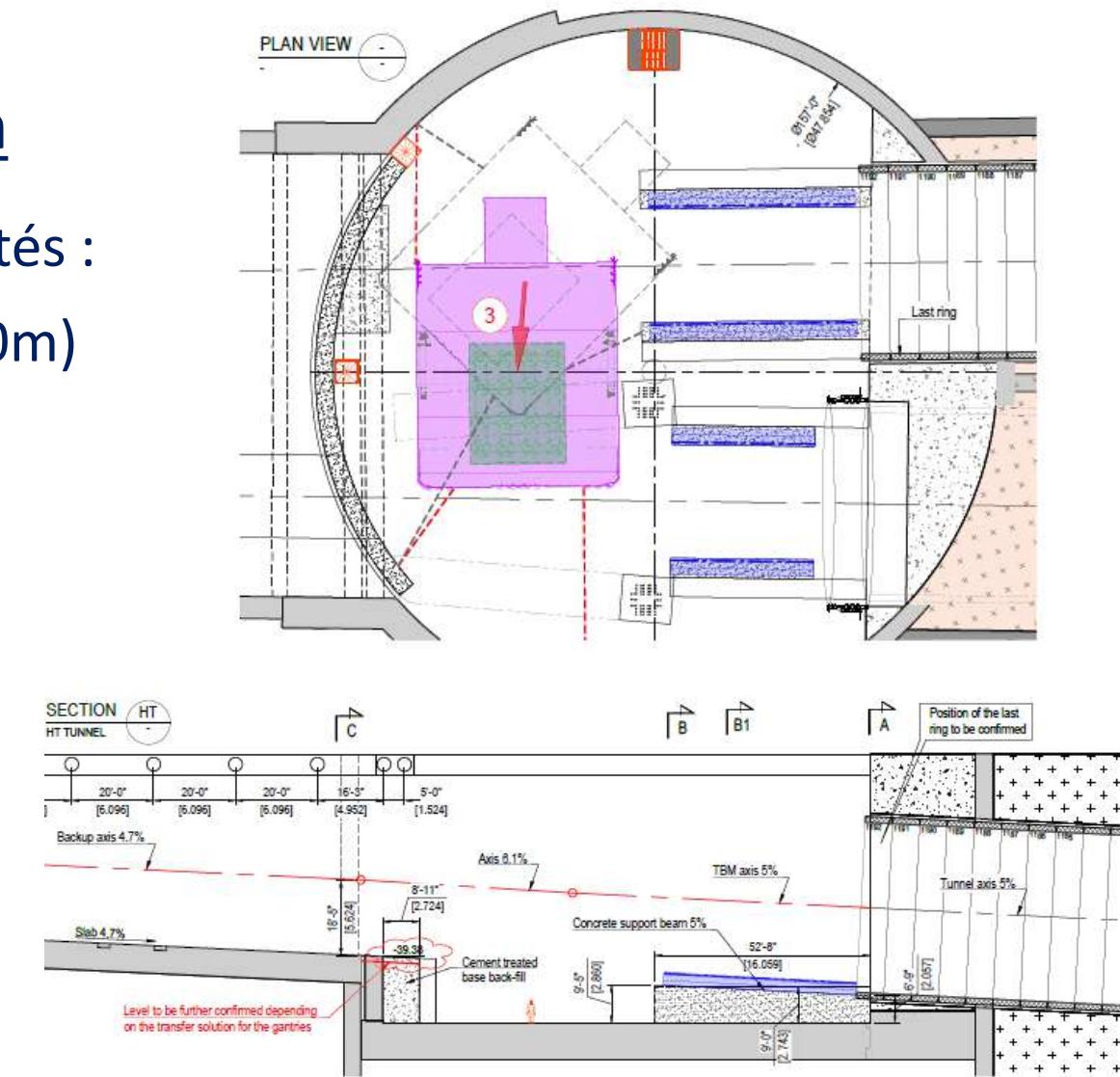
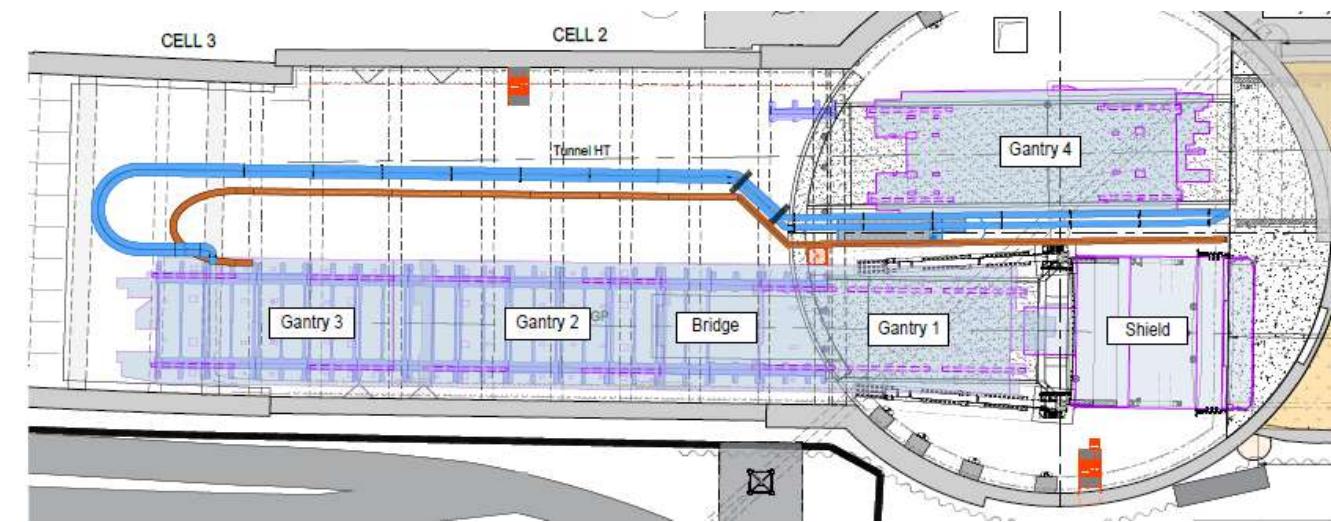
Le scenario U-Turn est compatible avec le planning général du projet, à un coût plus faible.

5. LE PHASAGE

Choix de méthodologie pour le TBM U-Turn

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

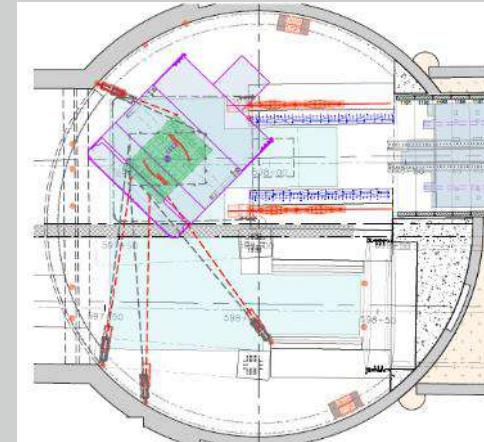
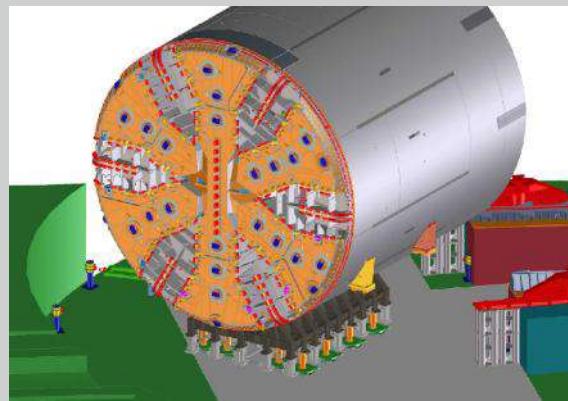
- ✓ Retournement du bouclier (Puits diam. 47,80m)
- ✓ Retournement des remorques (une par une)



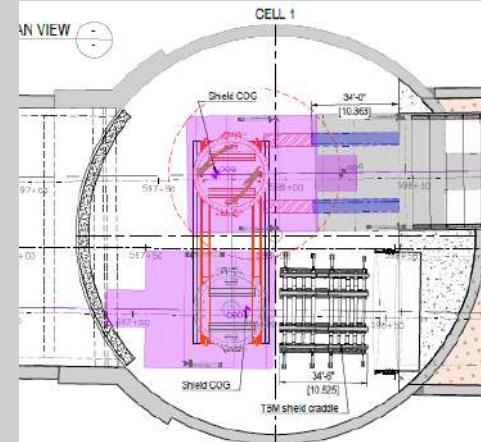
5. LE PHASAGE

LE BOUCLIER

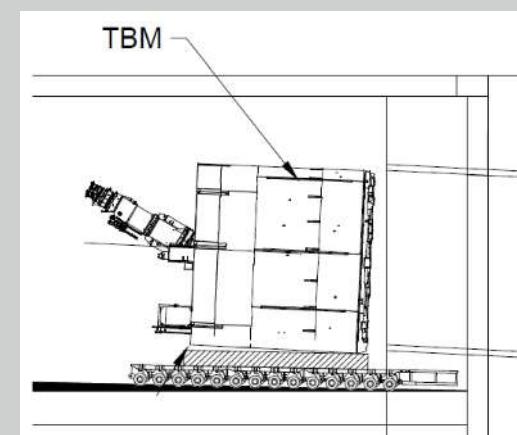
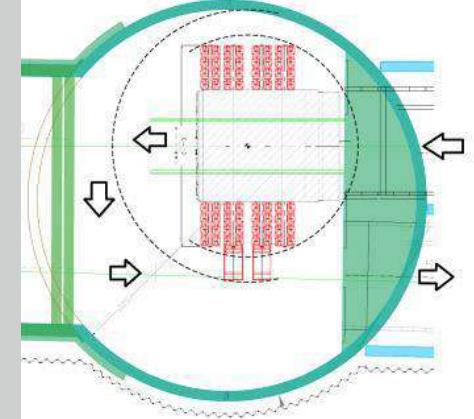
OPTION 1: NITROGEN TABLE



**OPTION 2: TURNING TABLE
including tilting installation**



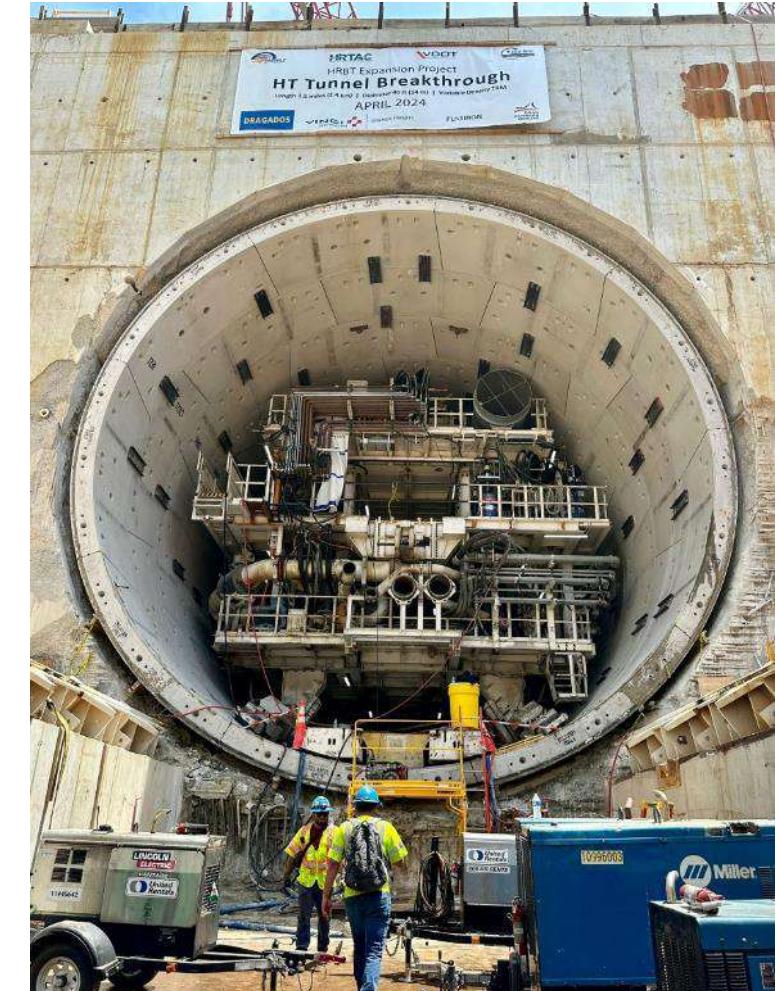
**OPTION 3: SPMT with
supporting steel cradle**



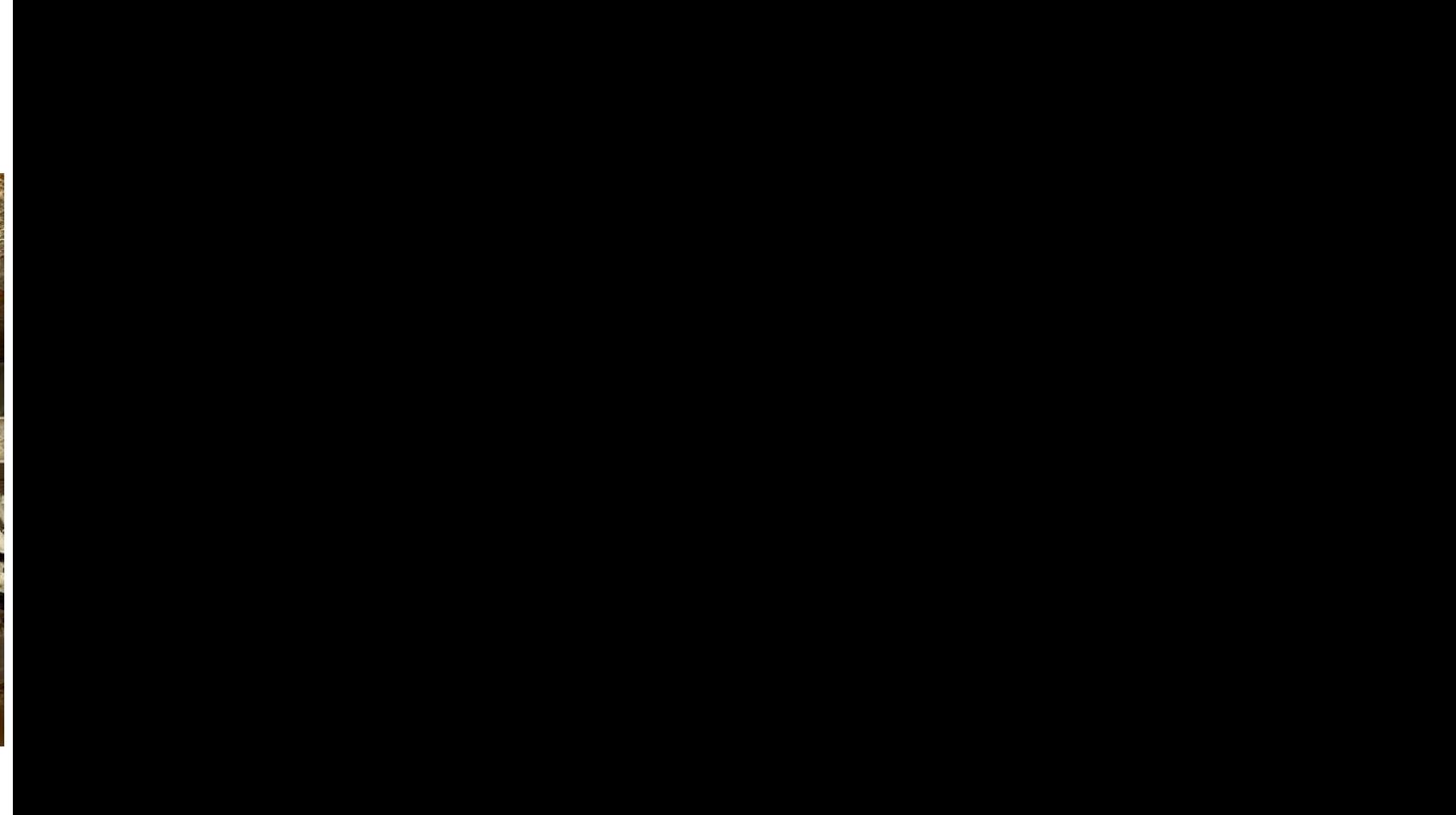
Options 2 et 3 : interfaces GC lourdes, impact avec structures de lancement, impact planning global

Option retenue → Opt. 1

5. LE PHASAGE



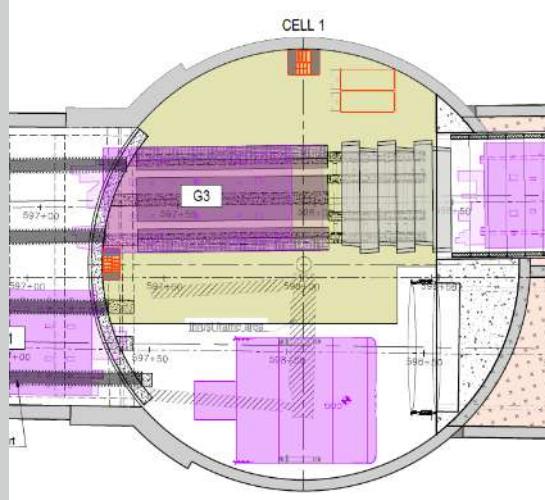
5. LE PHASAGE



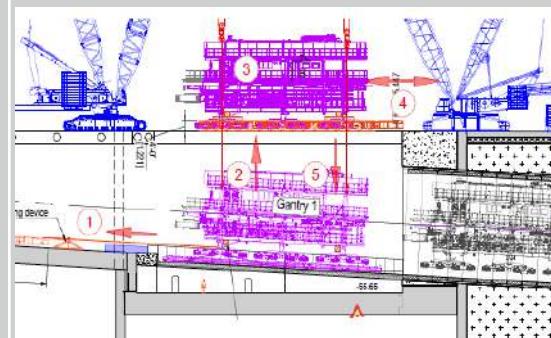
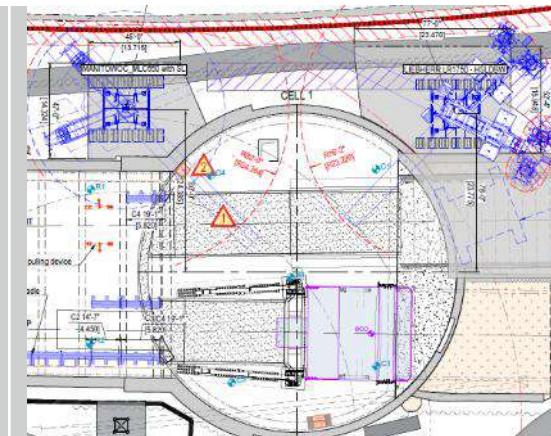
5. LE PHASAGE

LES REMORQUES

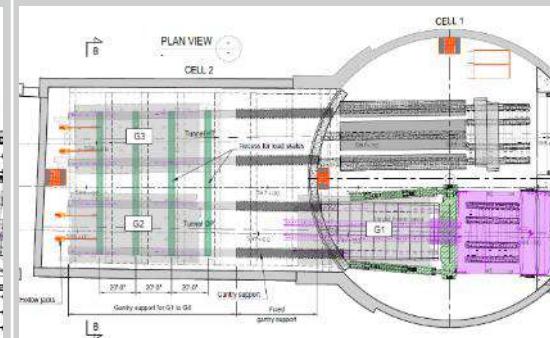
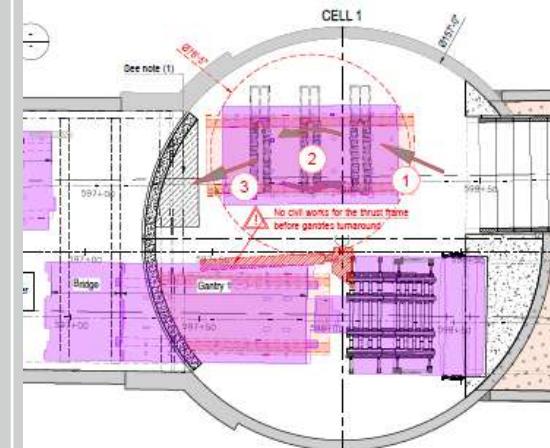
OPTION 1: BACKFILL + U-TURN on SPMT in shaft



OPTION 2: HEAVY LIFT + U-TURN on SPMT



OPTION 3: SPMT + Cradle



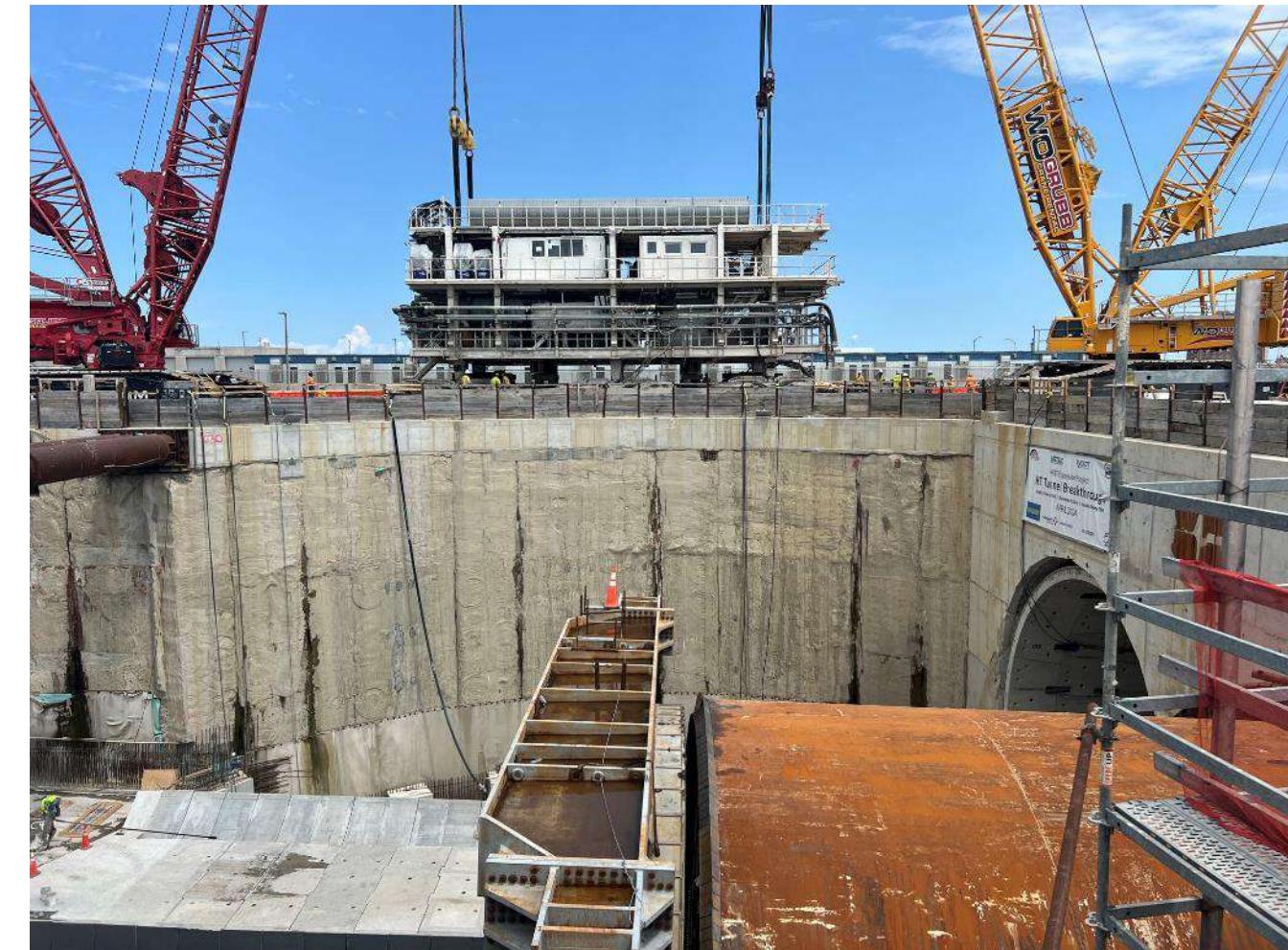
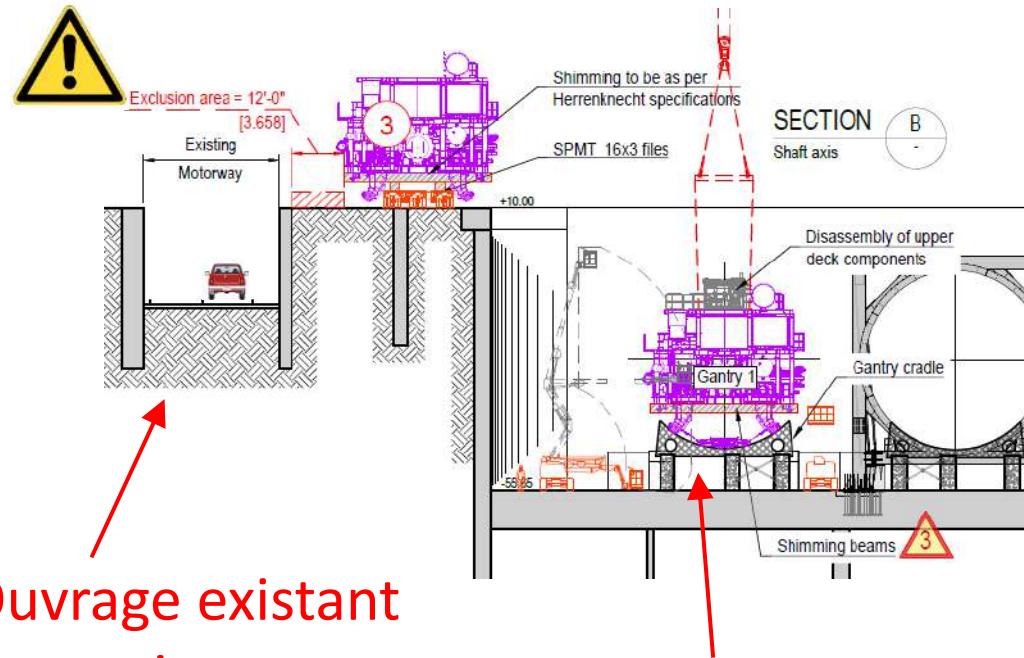
Option 1 : interface backfill et bouclier en position de parking
→ impact planning.

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

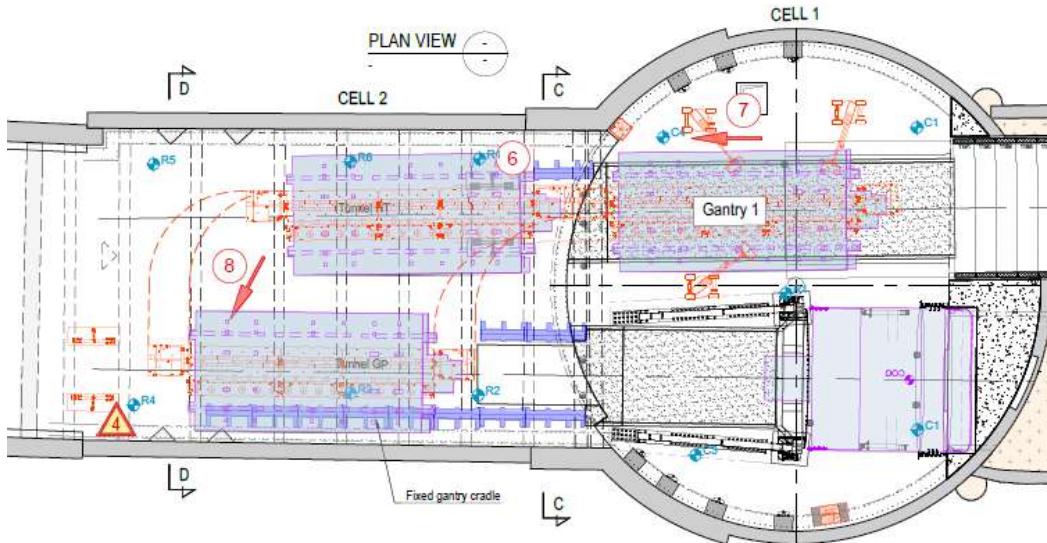
Option retenue → Opt. 2

5. LE PHASAGE

Le retournement



5. LE PHASAGE



Retournement

5 mois

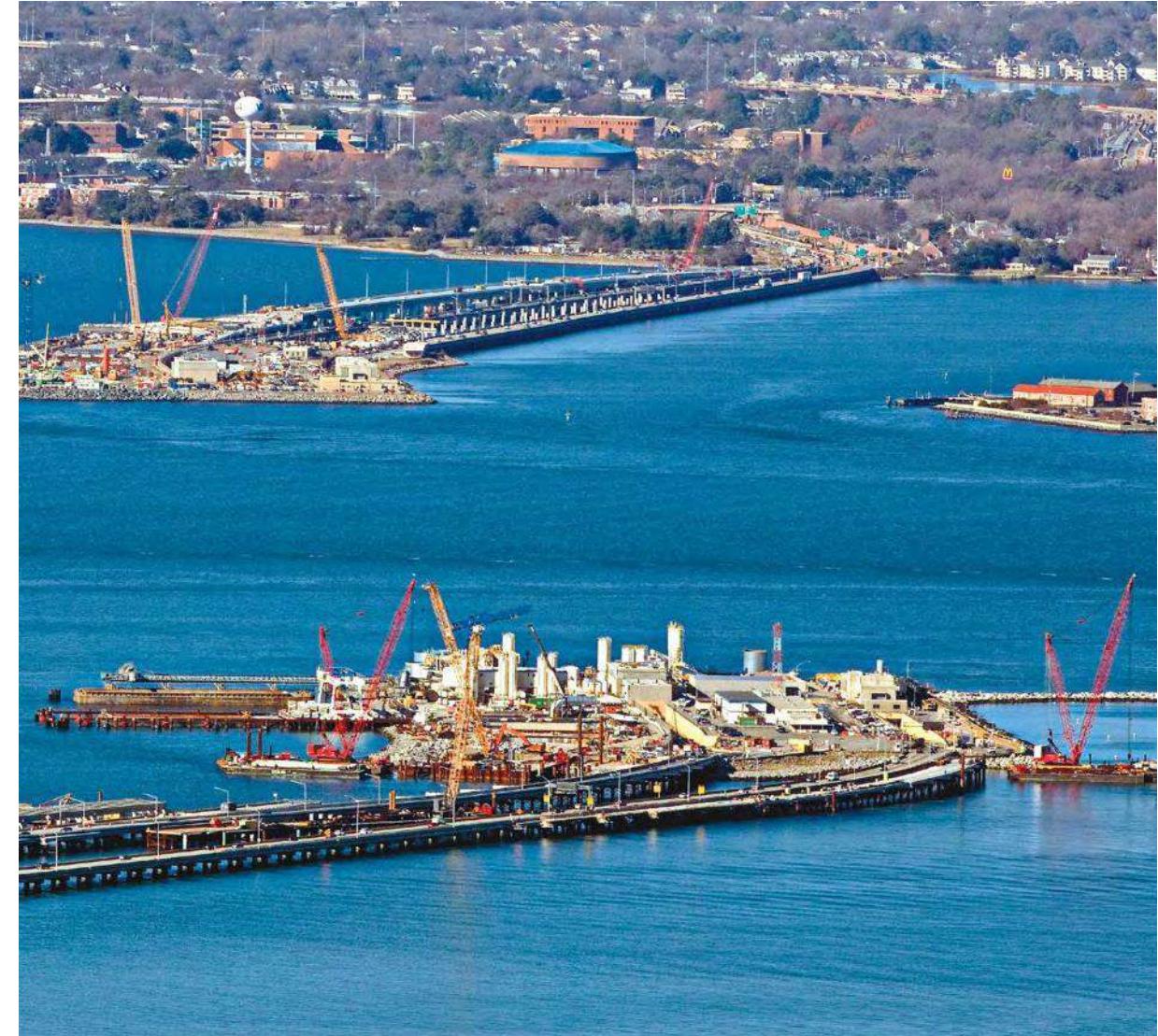


6. LE SITE ET SES CONTRAINTES

6. LE SITE

LES PRINCIPALES CONTRAINTES

- Trafic existant
- Environnement
- Emprise limitée
- Logistique



6. LE SITE

EMPRISE LIMITÉE

STATION DE TRAITEMENT DES EAUX

CENTRALE DE REFROIDISSEMENT

ATELIER

CENTRALE A BALLAST ET BÉTON
POUR LES STRUCTURES INTERNES

CENTRALE A MORTIER
BI-COMPOSANTS

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

CONVOYEUR

Env. 20 000m² « utile »

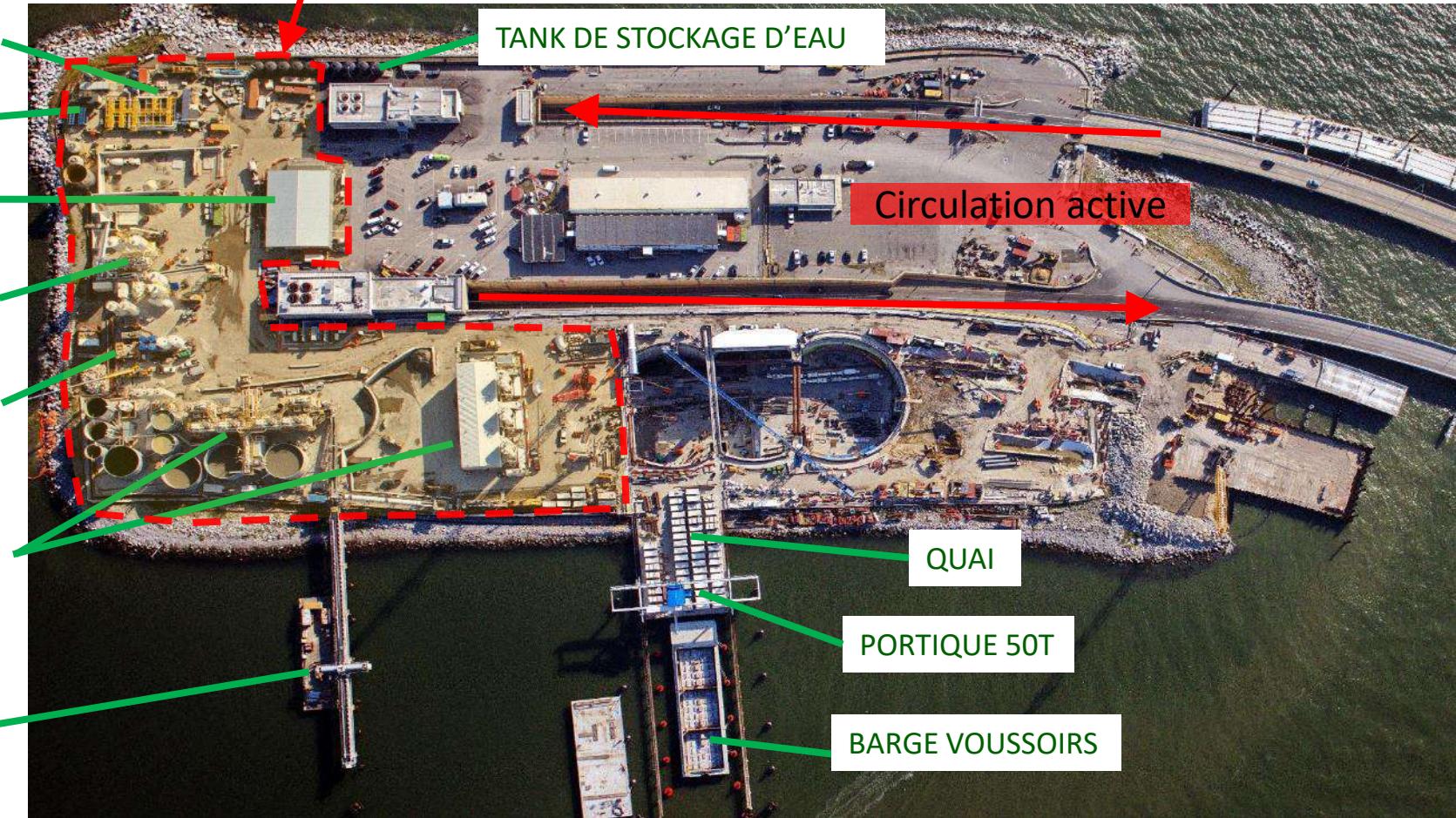
TANK DE STOCKAGE D'EAU

Circulation active

QUAI

PORTIQUE 50T

BARGE VOUSSIORS



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**

6. LE SITE

EMPRISE LIMITÉE

Fournisseur MS
Débit : 3200m³/h

STP
DESANDING
UNIT

→ Traitement des matériaux supérieurs à 63 µm

6 unités de dessablage
Capacité 1180t/h

STP : env. 8000m² d'entreprise



FILTRE-
PRESSES

→ Traitement des matériaux inférieurs à 63 µm

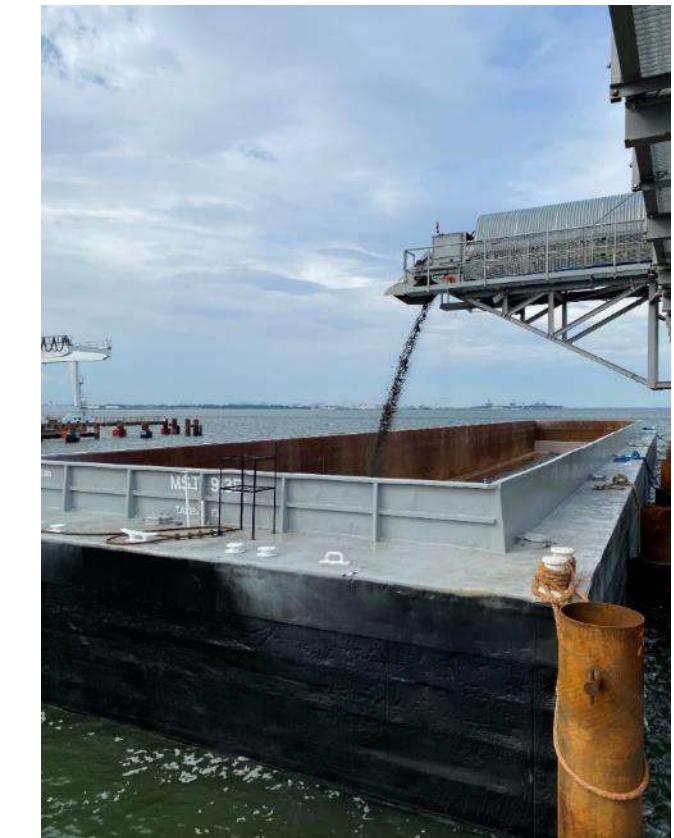
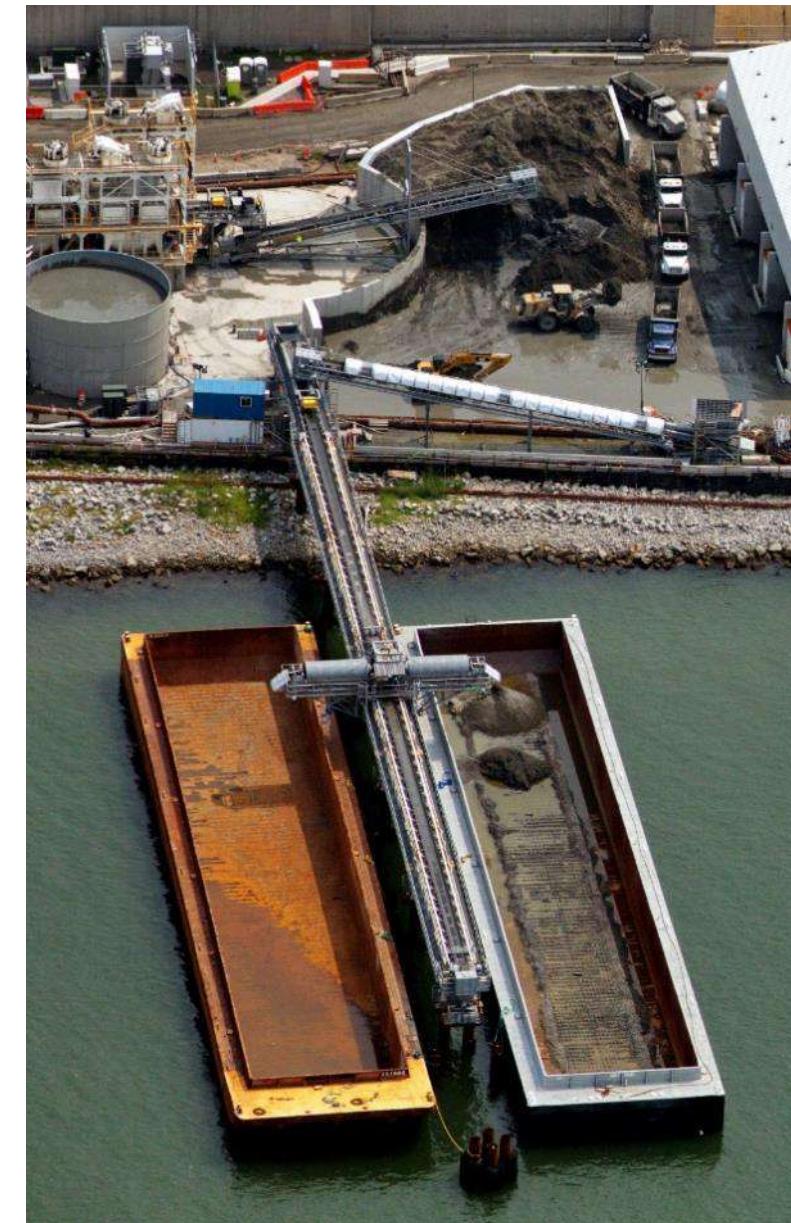
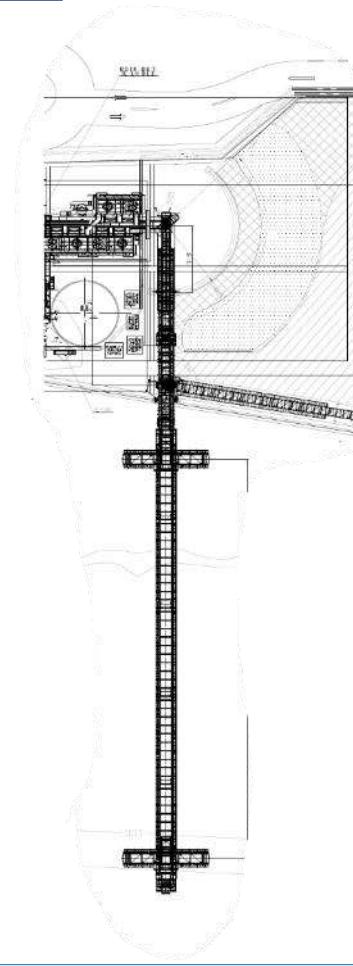
Capacité
Pressage
1800t/jour

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

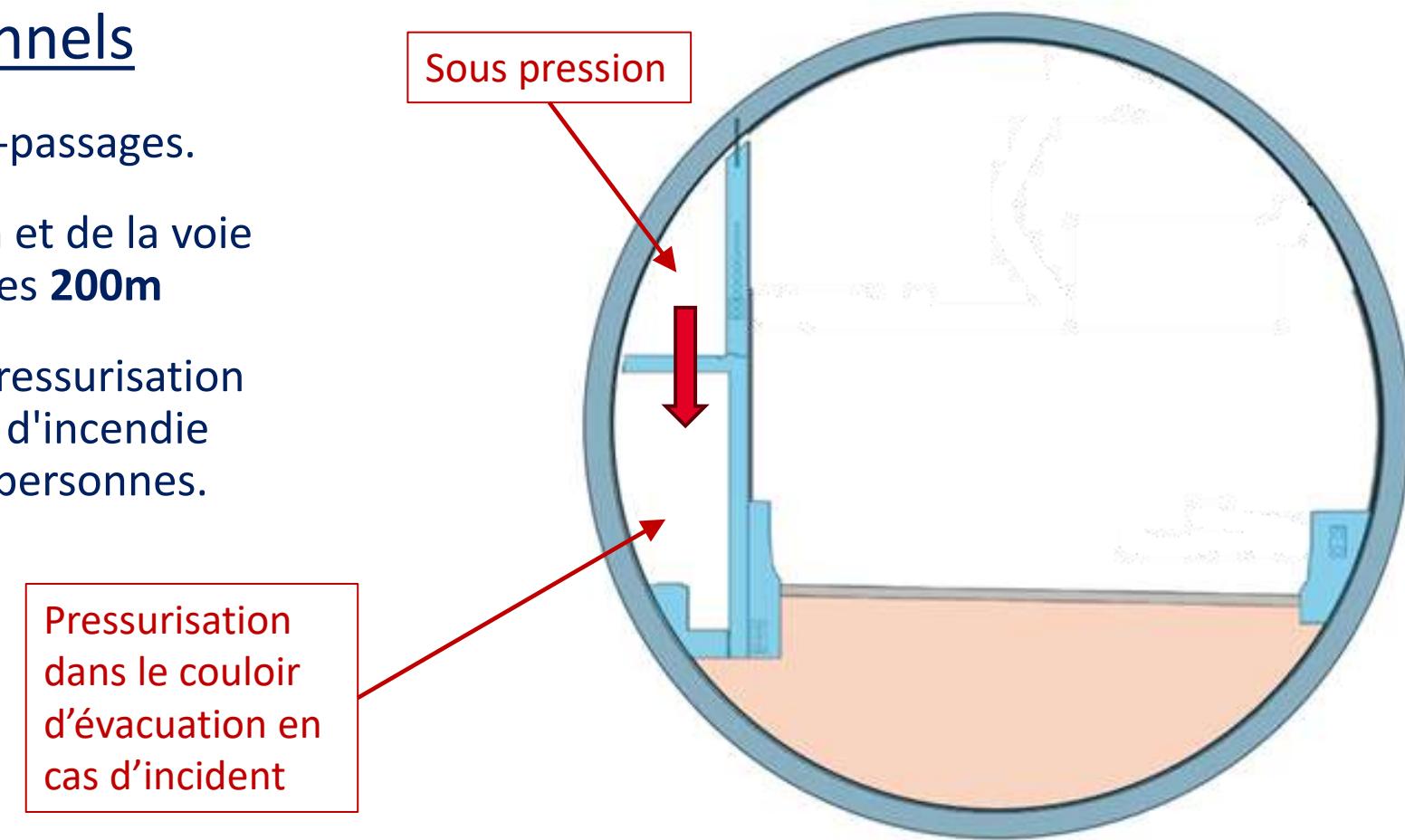


7. LES STRUCTURES INTERNES

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

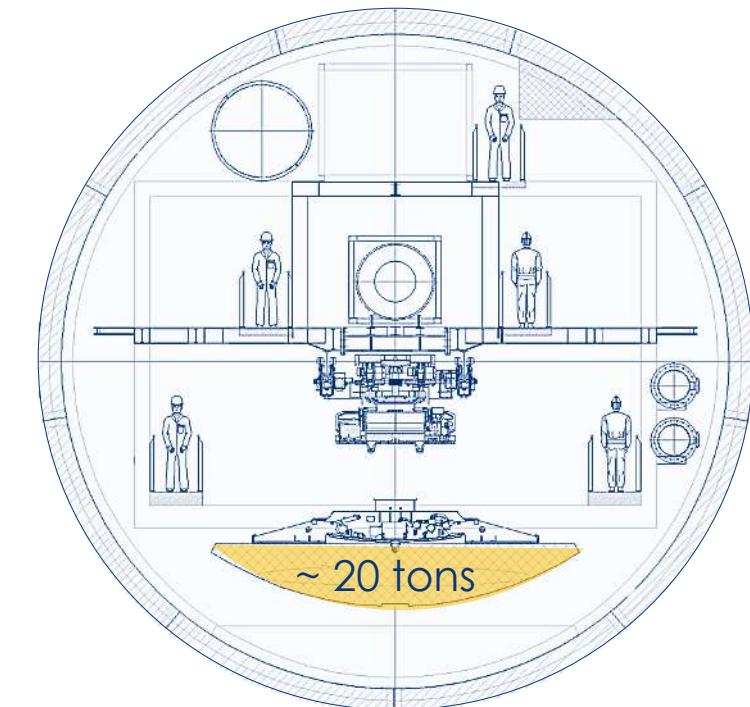
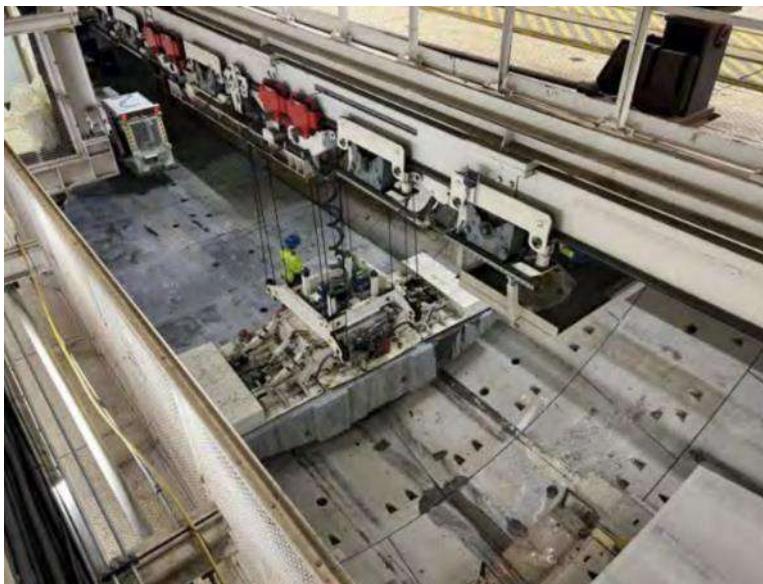


Risque de soulèvement



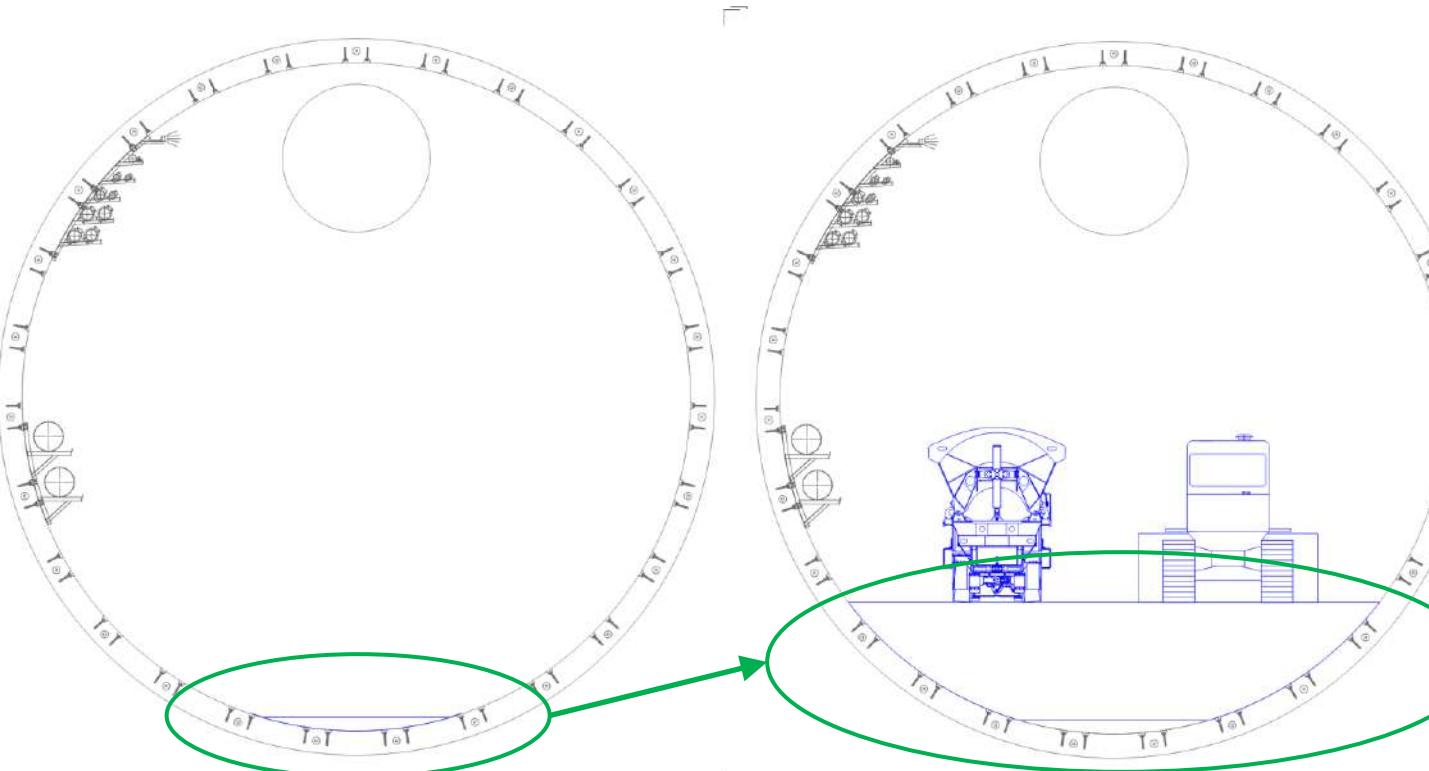
FLOTTABILITE

Voussoirs de radier



7. LES STRUCTURES INTERNES

Structures internes aux Tunnels – Séquences de travaux



Couche de drainage (#57 stone)
+ Geotextile

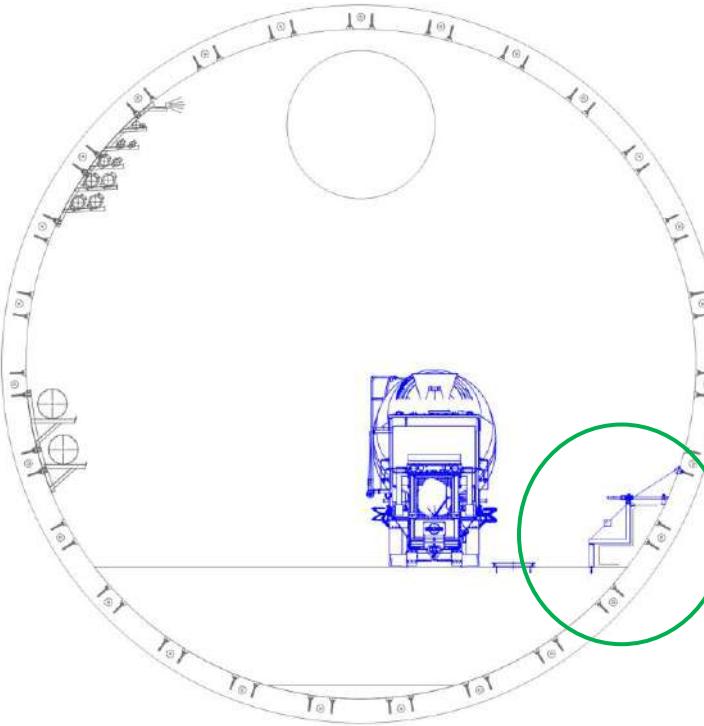
Remplissage en ballast



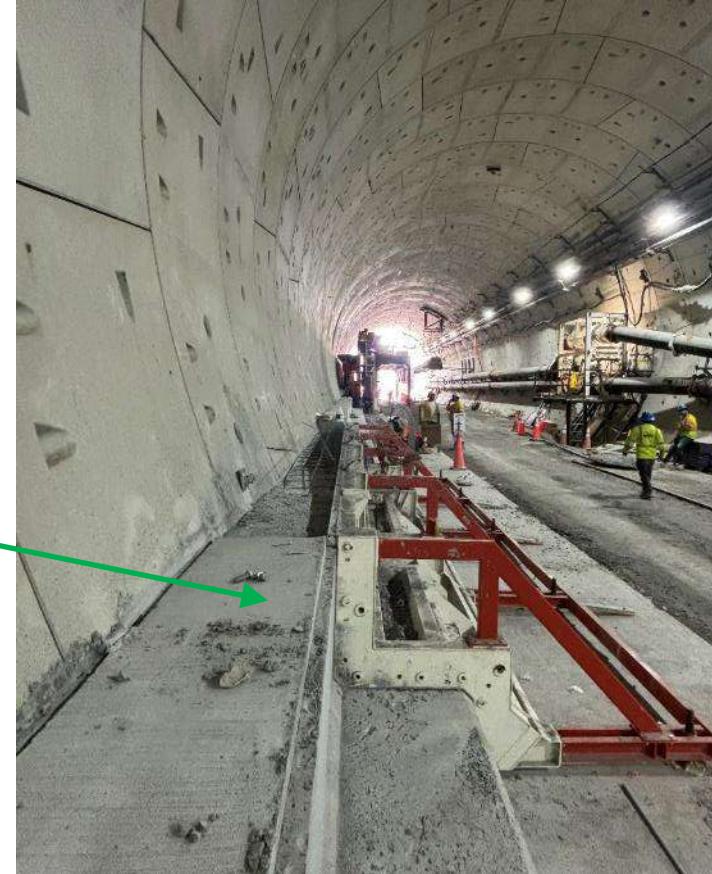
Travaux de remplissage en ballast
niveau 1

7. LES STRUCTURES INTERNES

Structures internes aux Tunnels – Séquences de travaux



Travaux de "Footer" and "Kicker"



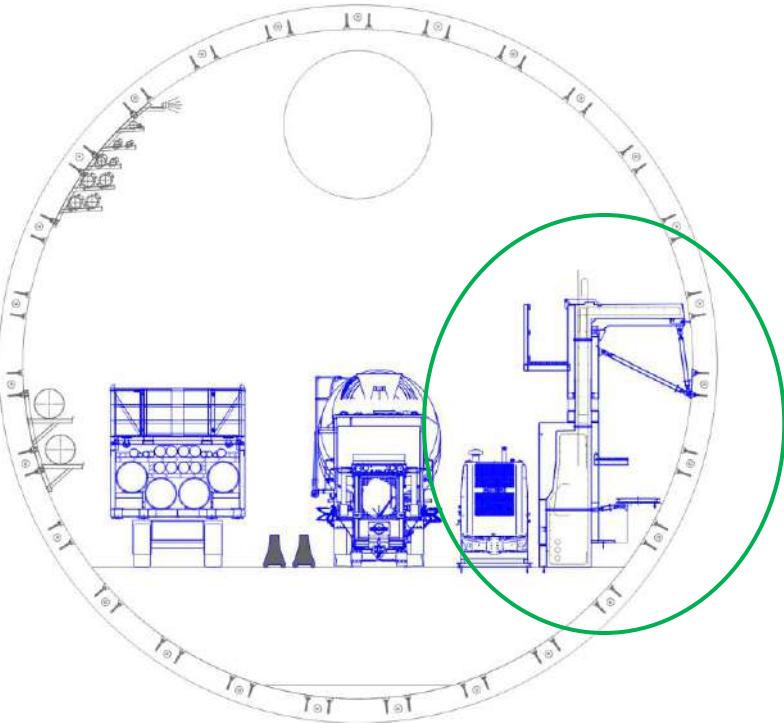
HRBT



Acier inoxydable

7. LES STRUCTURES INTERNES

Structures internes aux Tunnels – Séquences de travaux



Travaux des "murs en L"



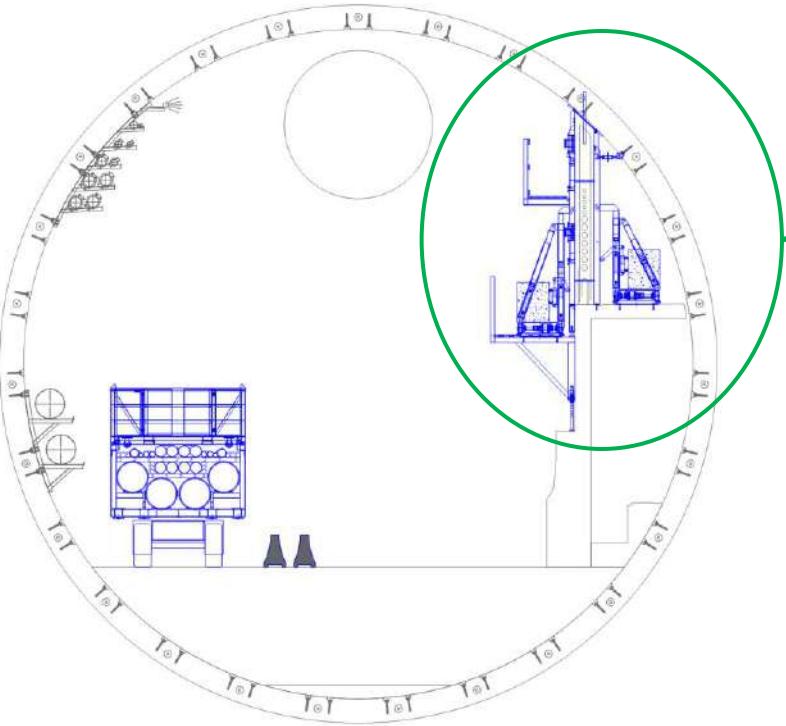
HRBT



Acier inoxydable

7. LES STRUCTURES INTERNES

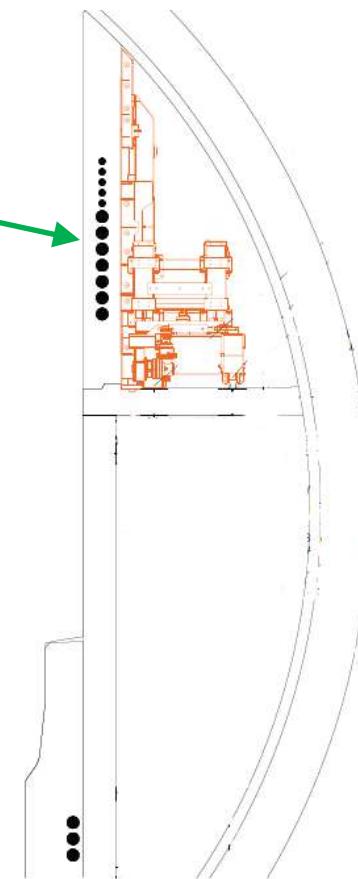
Structures internes aux Tunnels – Séquences de travaux



Travaux des “murs supérieurs”
Activités non commencées



HRBT

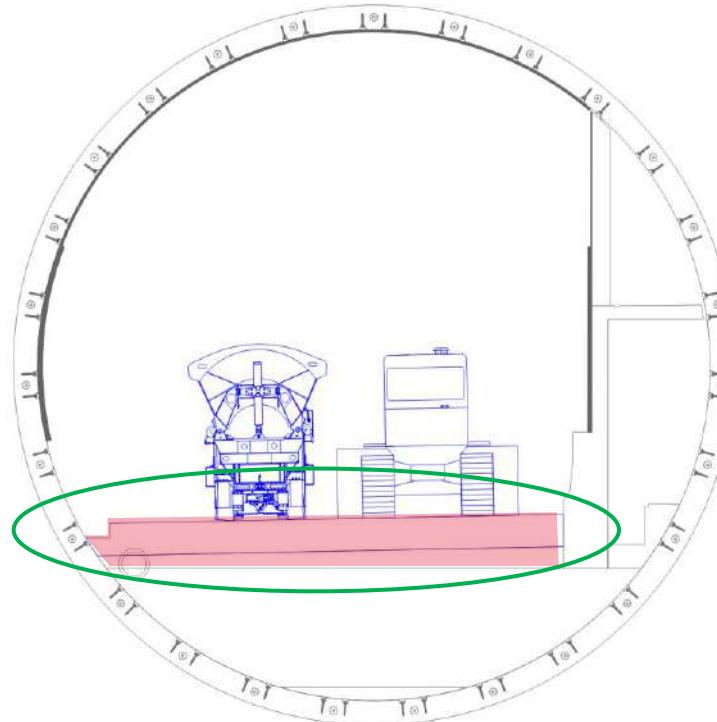


Toutes les
structures
internes sont en
acier inoxydable

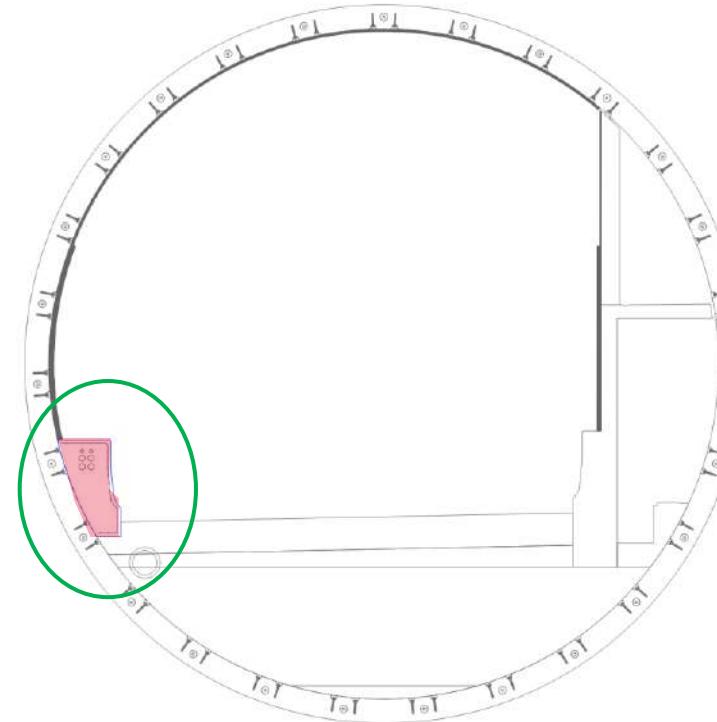
**Avancement à
avril 2025 :**
50% Bétons
1er tunnel

7. LES STRUCTURES INTERNES

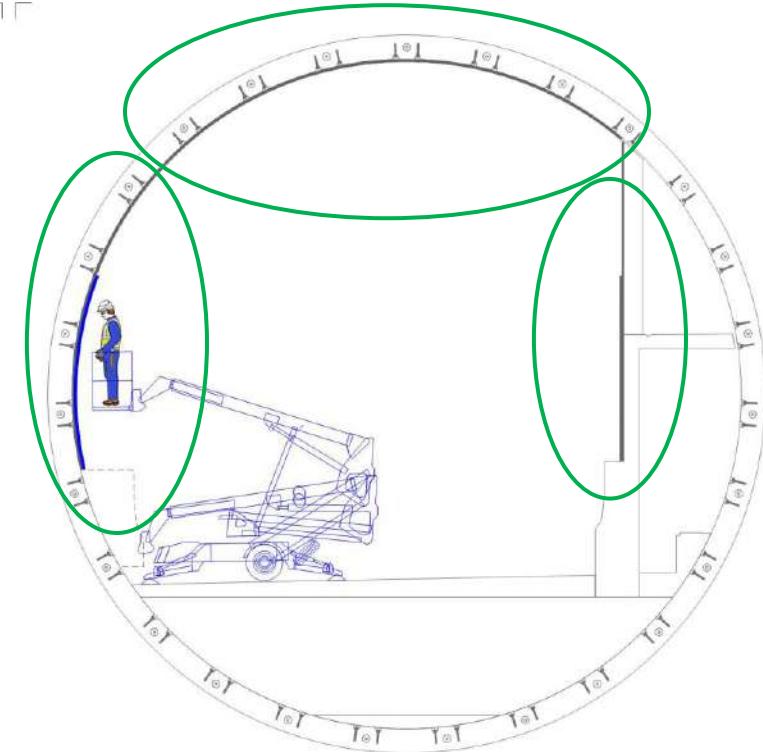
Structures internes aux Tunnels – Séquences de travaux



Travaux de remplissage en ballast
niveau 2

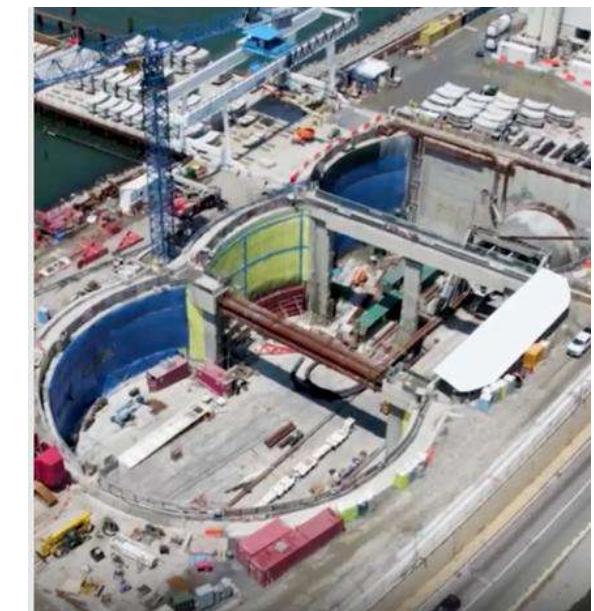


Travaux de barrière routière



Travaux de finitions (panneaux
anti-feu et carrelage)

Hampton Roads Bridge Tunnel



HRBT : un tunnel, mais pas que !



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

QUESTIONS ?