

# Garantir sécurité et productivité lors de manutention de charges lourdes en tunnel immergé



Infrastructure & Energy



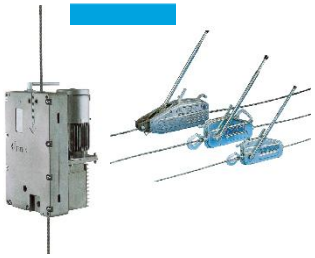
**Aurélien GUIMARD**  
Tractel Special Projects



# Présentation de Tractel Infrastructure & Energy

**1948**

Création de SECALT  
au Luxembourg



**1980**

Rachat par  
le groupe  
TRACTEL



**1980 > 2010**

Âge d'or de la BMU

Quelques projets ponts et nucléaire de  
manière opportuniste en suivant des clients  
historiques

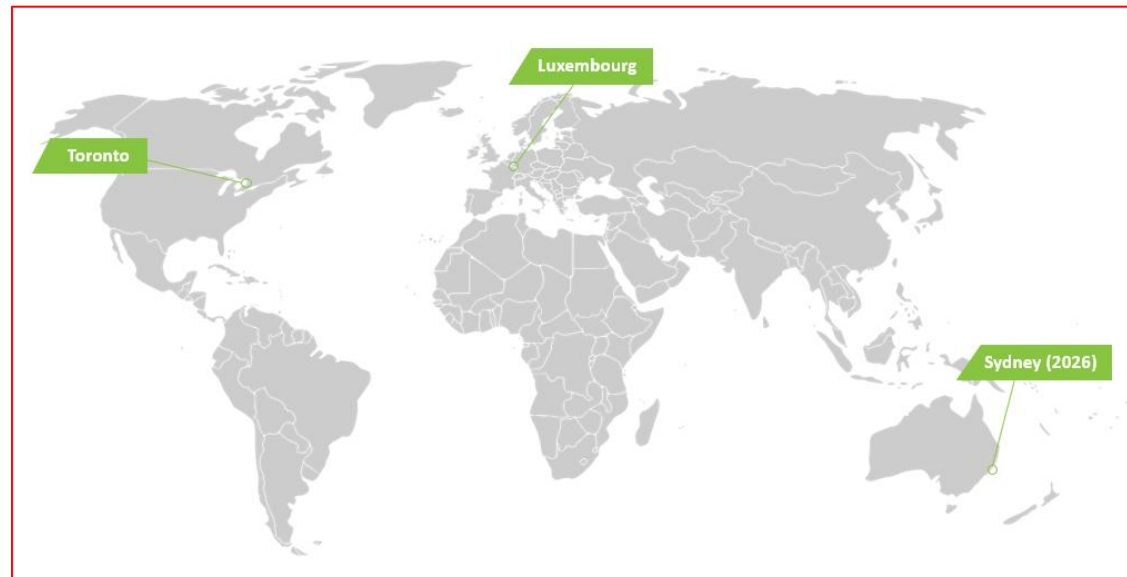


**2020**

Structuration d'une entité  
«Infrastructure & Energy »  
dédiée à ces marchés.

**2022**

Rachat par le groupe ALIMAK  
Et intégration à la division



# Le tunnel Femern

## LE PLUS LONG TUNNEL IMMERGÉ DU MONDE

- Fehmarnbelt consistera en une liaison **autoroutière et ferroviaire** comprenant un tunnel de **18 km de long** qui permettra de voyager plus rapidement et en toute sécurité entre la Scandinavie et l'Europe continentale.
- Il faudra moins de 3 heures pour voyager en train entre Hambourg et Copenhague (contre 4½ heures actuellement).



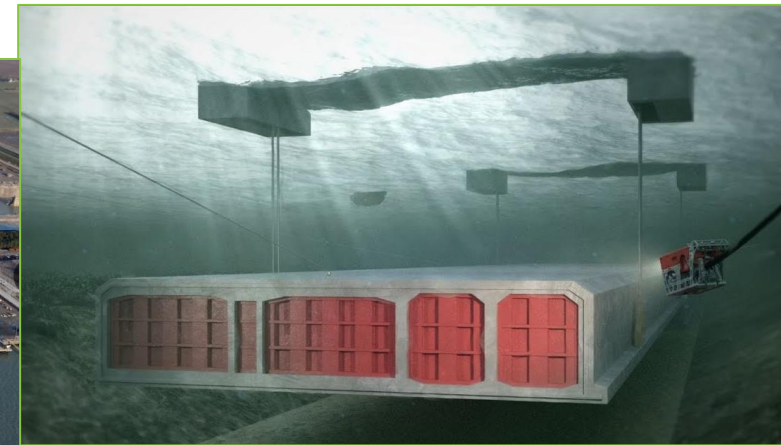
# Le tunnel Femern

- Le tunnel sera composé de
  - deux tubes routiers,
  - deux tubes ferroviaires,
  - un tube maintenance et urgence

**79** éléments standard ayant pour dimensions  
10 mètres hauteur, 40m largeur, 217m longueur  
73 000 tonnes

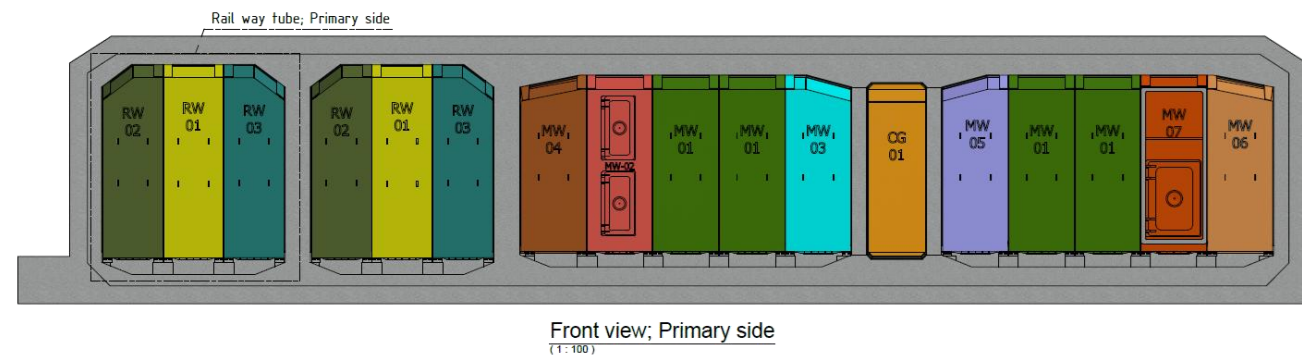
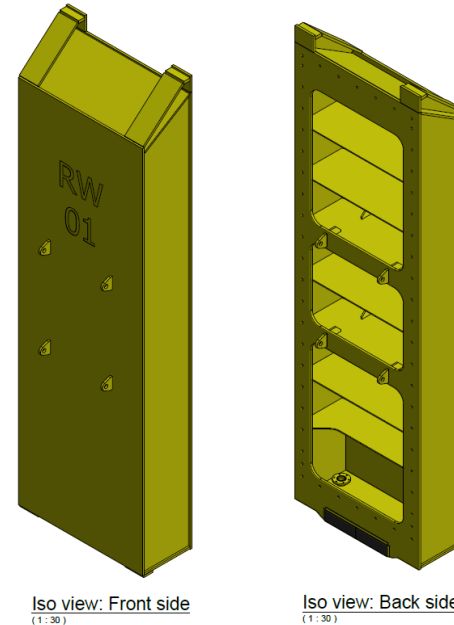
+10 éléments de service, longueur 85,7 m, plus larges et plus hauts, avec un sous-sol pour abriter l'équipement technique.

- La section la plus profonde est de 35 mètres
- Les éléments du tunnel seront fabriqués sur 6 lignes de préfabrication



# Une opération contrainte

- Avant l'immersion, les éléments du tunnel doivent être fermés par 34 portes en acier (bulkhead) d'un poids d'environ **10 tonnes**. Cette opération s'effectue au bout de la ligne de préfabrication.
- Une fois les éléments "accouplés" au fond de la mer, les bulkheads doivent être désinstallés puis transportés vers l'usine de préfabrication pour être réutilisés.
- **Manutention de charge lourde en milieu confiné** (spécialement dans les RW)
- Objectifs : une opération ...
  - **Sécuritaire** - 1<sup>st</sup> priority
  - **Rapide** - aucun travaux ne peut commencer tant que les bulkheads n'ont pas été désinstallés
  - **Précise** - aucun impact sur le béton admissible
  - **Automatique** - limiter l'erreur humaine



# Design conceptuel, Juillet à Décembre 2021

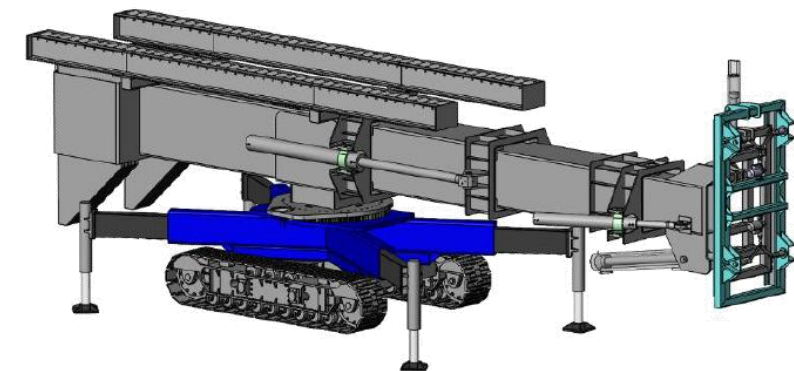
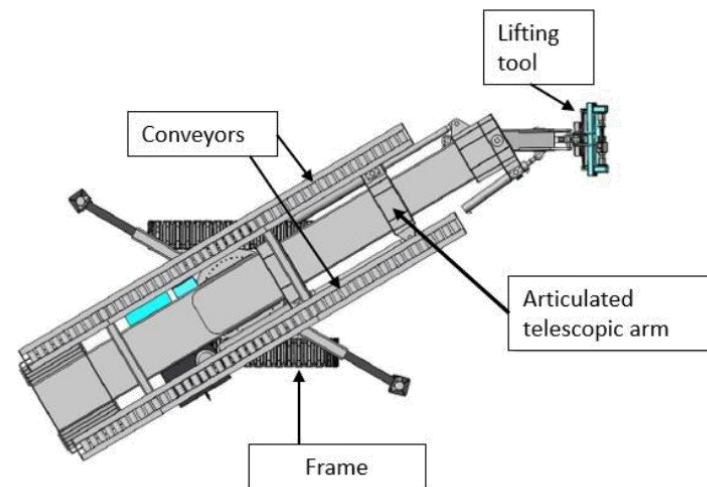
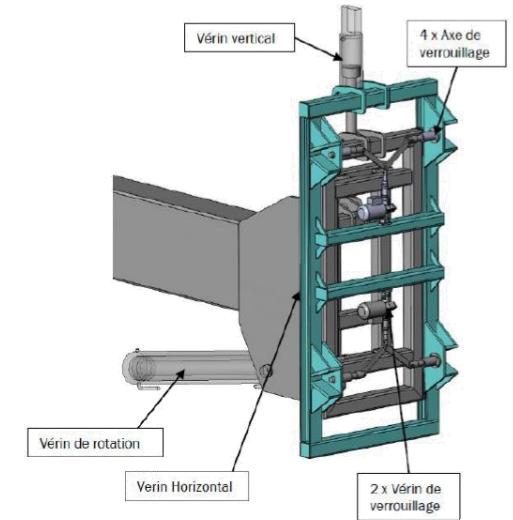
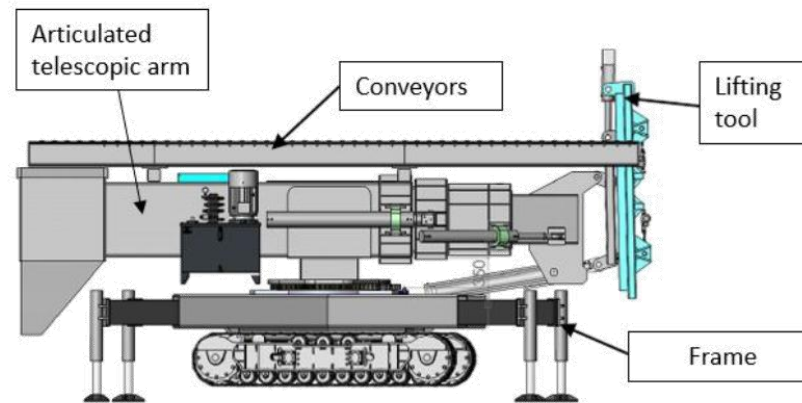
- **Fruit d'un travail collaboratif FLC et Tractel Infrastructure & Energy**

- **A partir d'une page blanche, livraison en Décembre 2021:**

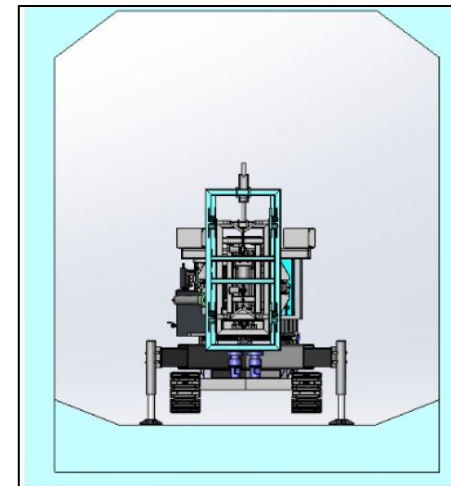
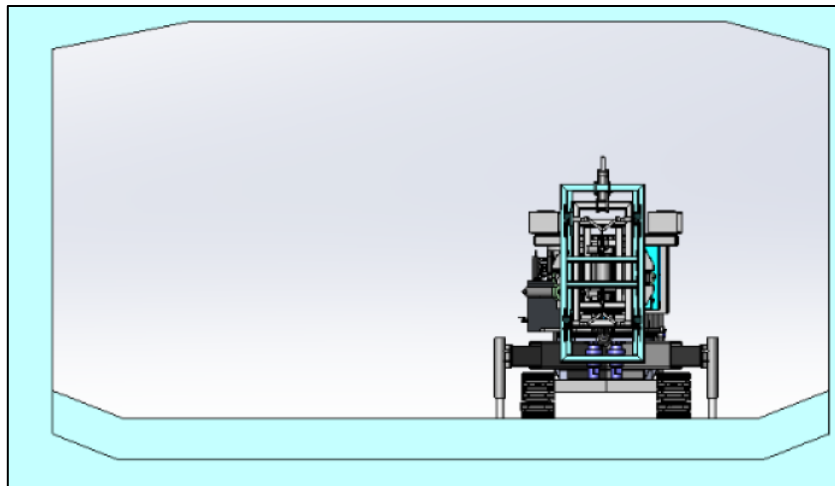
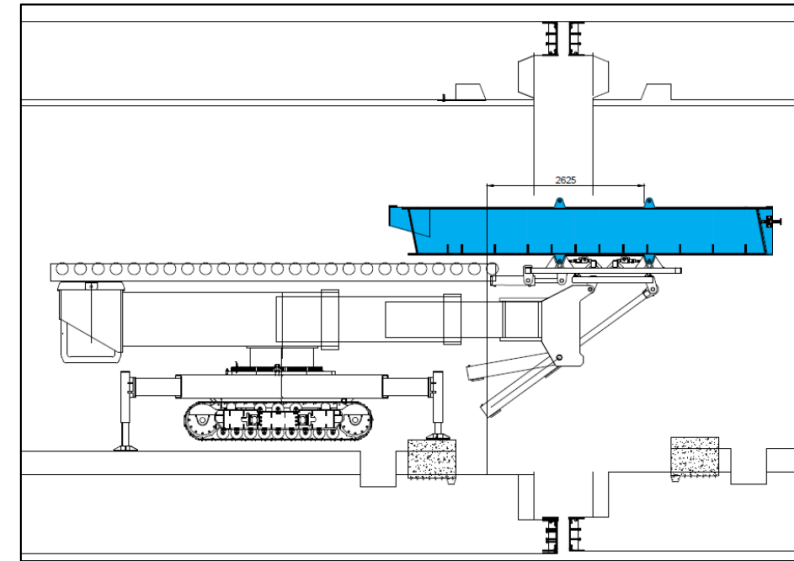
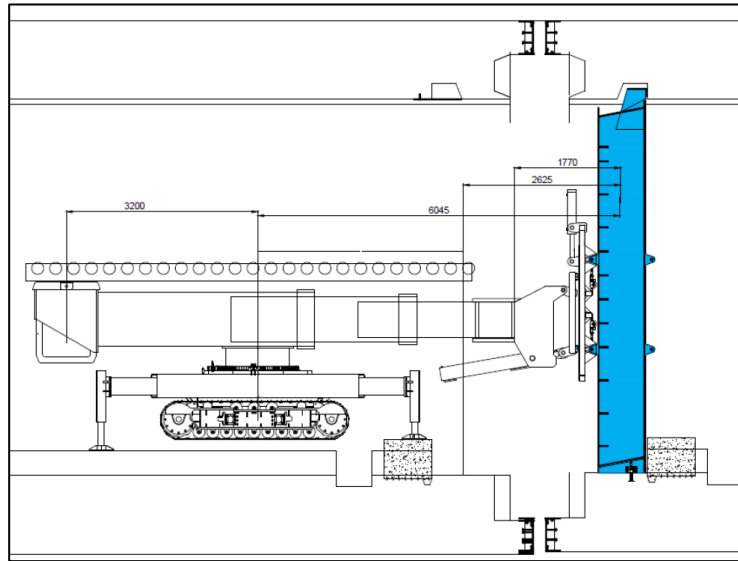
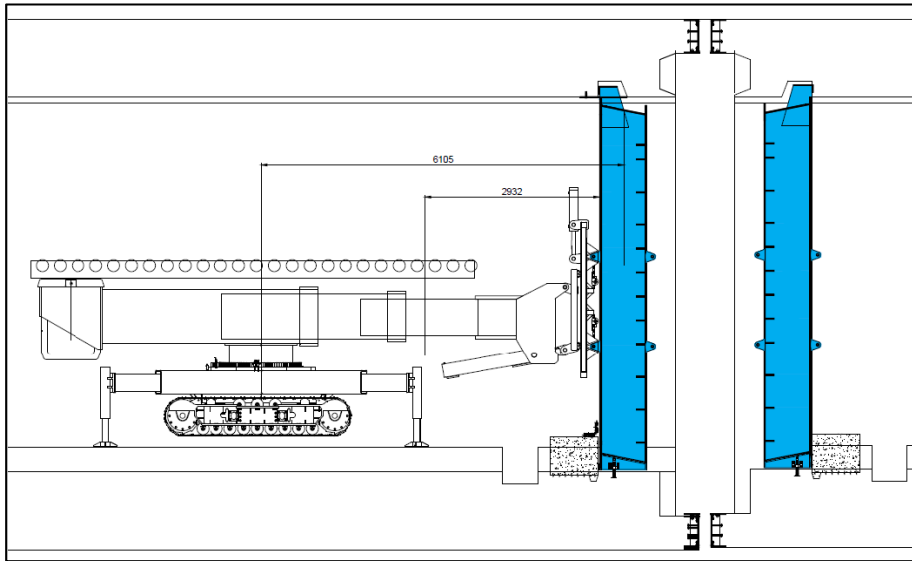
- Présentation Générale
- Space proofing
- Analyse de risques
- Description des systèmes de sécurité
- Etude de cycle
- Planning design & fabrication
- Offre de prix

- **Contrat signé en Janvier 2022**

- **Nom de la machine : BLRT**  
(Bulkhead Lifting and Removal Tool)



# Design conceptuel, Juillet à Décembre 2021



# Design conceptuel, Juillet à Décembre 2021

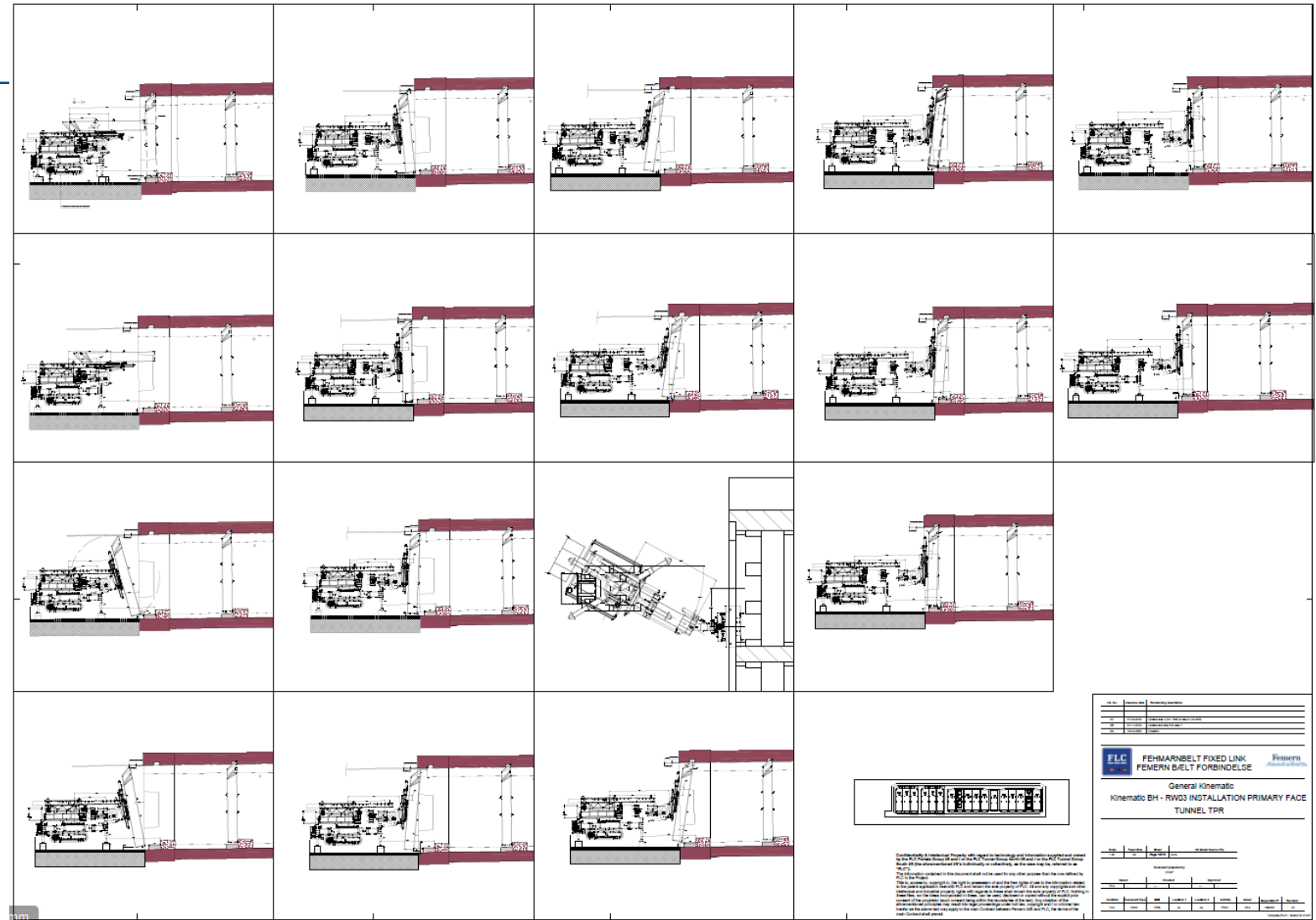
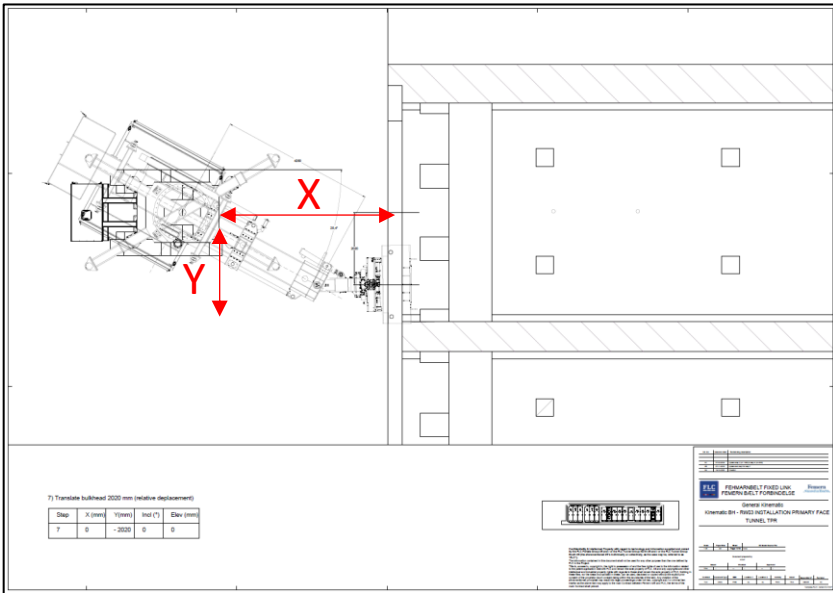
---

- [Vidéo 1](#)



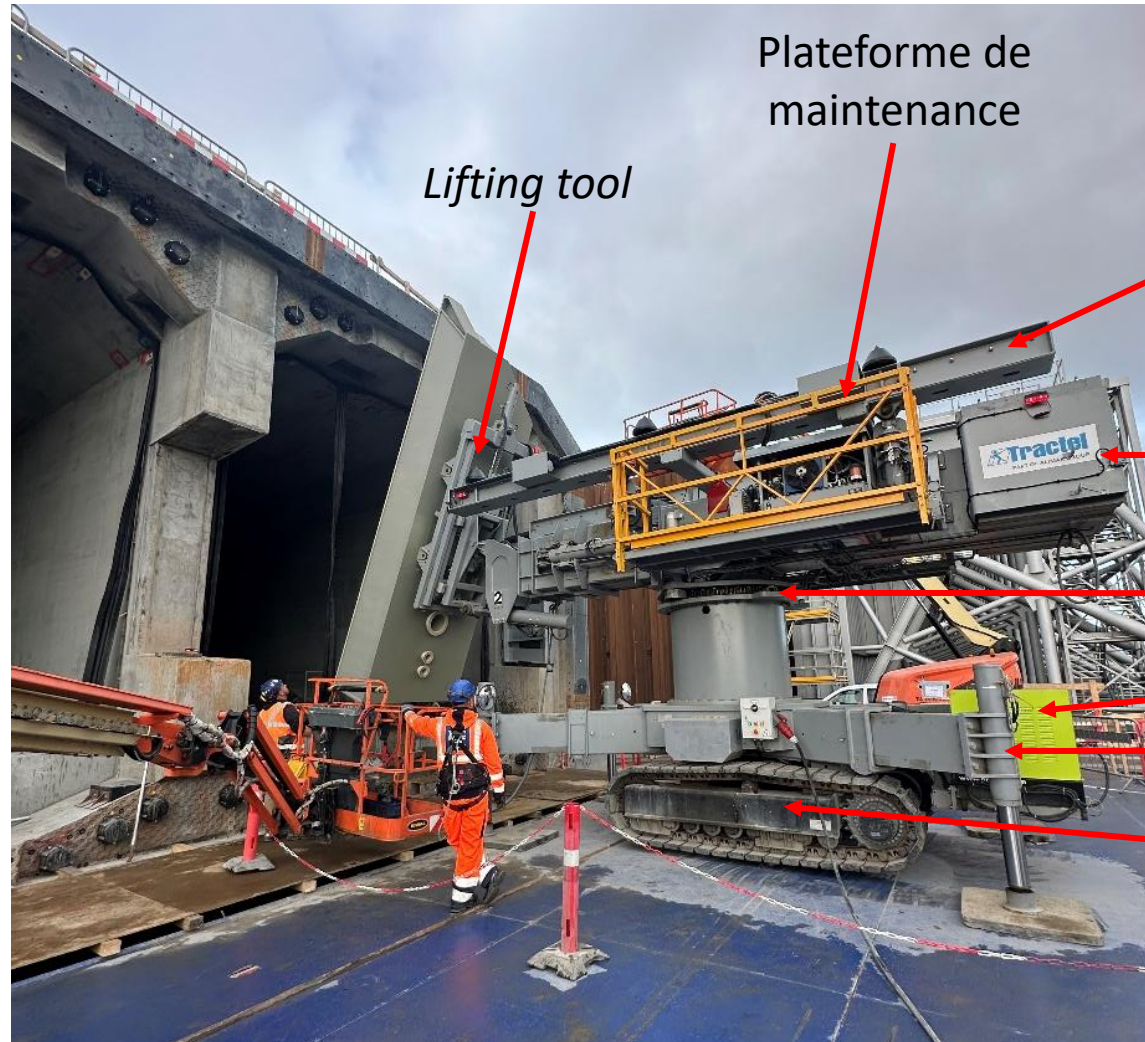
# Design détaillé

- Point de départ : les cinématiques
- Ce sont elles qui ont permis de dimensionner la machine, vérins, allongements et courses, contrepoids, etc...
- Une cinématique « pose » par bulkhead



# Composants

- Poids total : 30 tonnes
- Hauteur : 4m



Plateforme de maintenance

Lifting tool

Convoyeurs à rouleaux

Contrepoids

Couronne giratoire

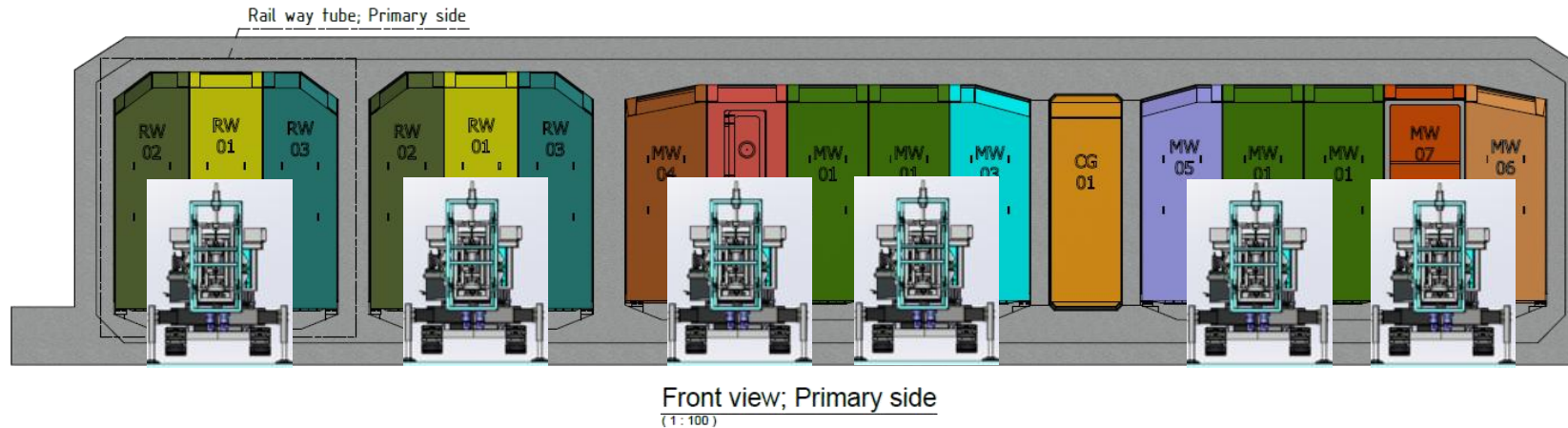
Groupe électrogène

Stabilisateurs

Chenillard

# Positionnement et automatisme

- Les opérateurs positionnent le BLRT selon des coordonnées X/Y à partir d'un point de l'élément de tunnel



- Les cycles de dépose sont enregistrés dans l'automate : l'opérateur n'a pas à manipuler manuellement les vérins
- Cependant, en cas de décalage, il peut reprendre la main sur le contrôle et manipuler chaque vérin indépendamment :
  - Rotation tourelle
  - Rotation lifting tool
  - Inclinaison bras
  - Déploiement
  - Mode cartésien (crabe)

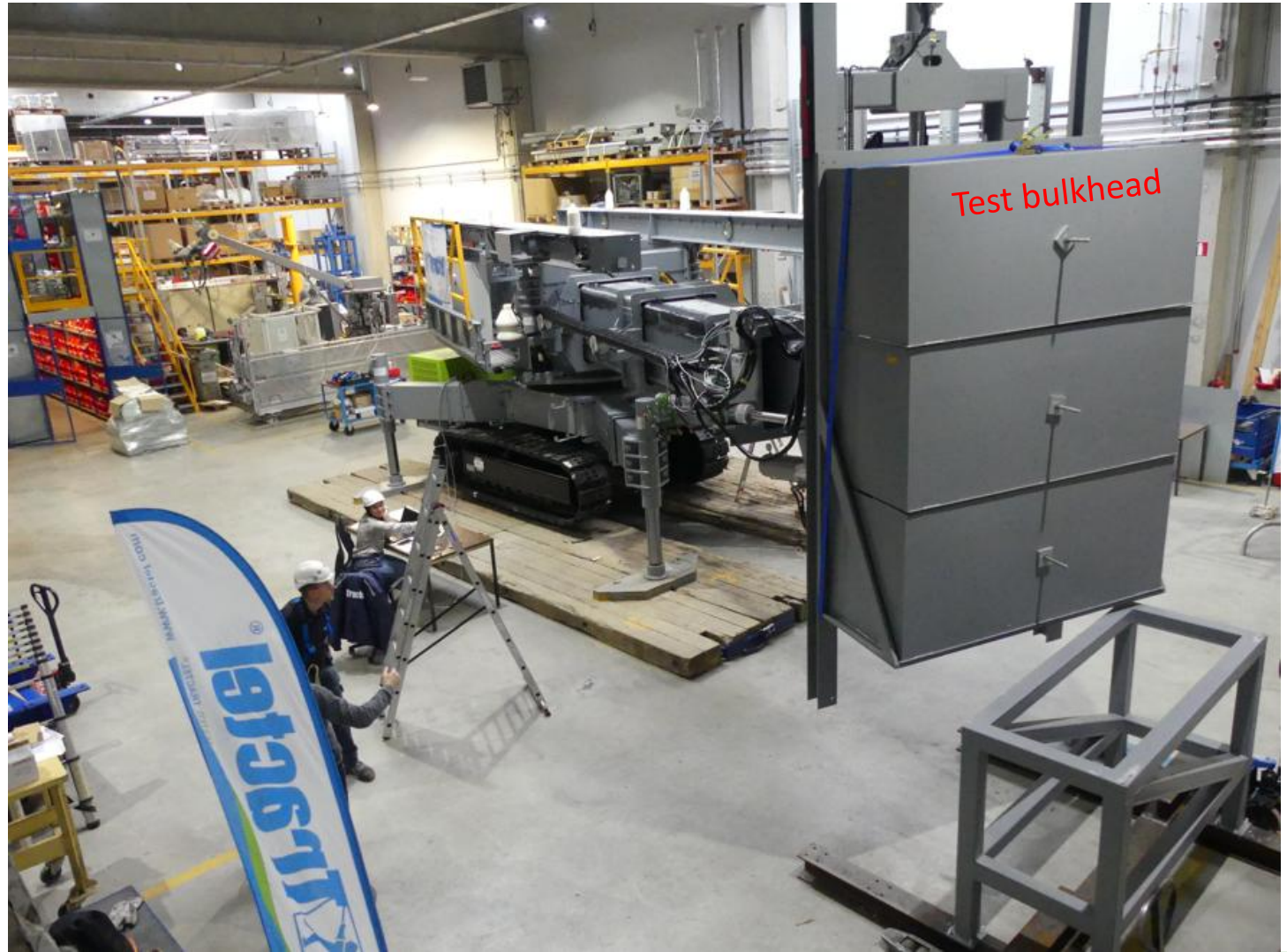
# Lifting tool : interface machine / bulkhead



- 2 vérins permettent le déploiement de 4 goupilles dans les ergots (lugs) du bulkhead
- Lien mécanique exigé par le client

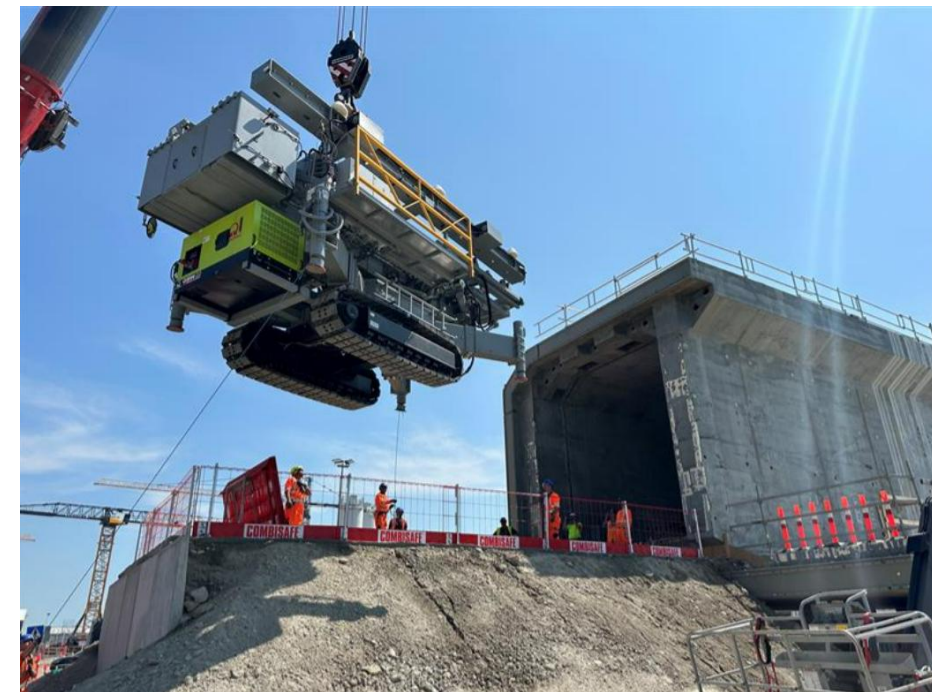
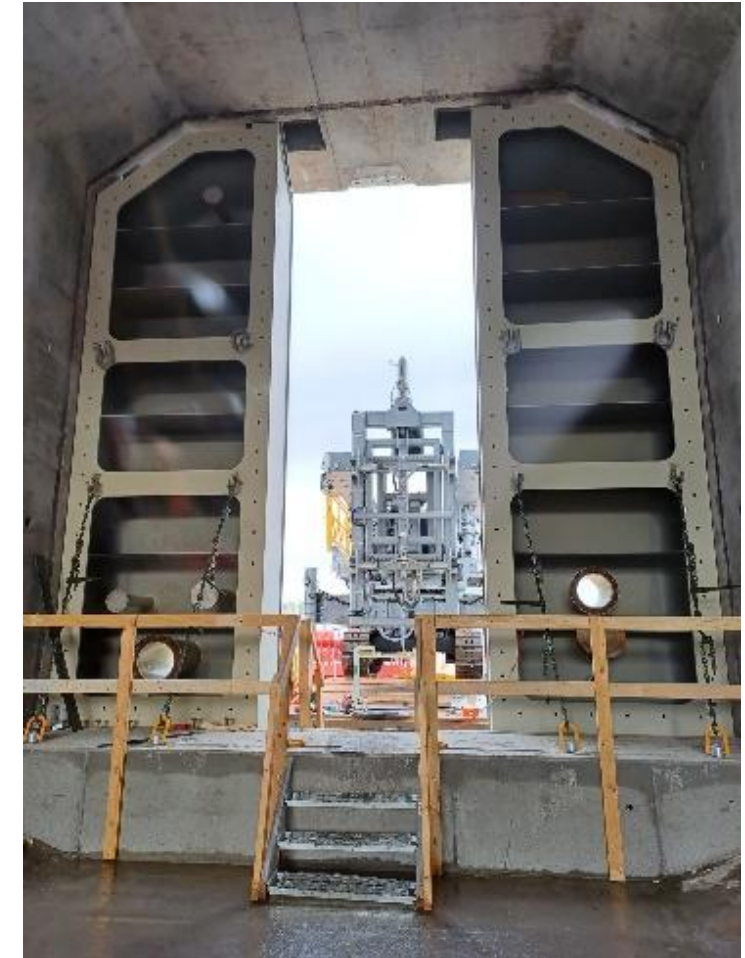


# Assemblage final au Luxembourg puis FAT



# SAT sur mock-up

Railway gallery  
Test des cycles  
pose et dépose  
Débugage



# SAT - Test de surcharge



# Cycle dépose en image

---

- [Vidéo 2](#)



# Cycle installation

- Au cours du développement, demande du client de pouvoir également installer les bulkheads avec la machine
- Avec la même position, il s'agit du cycle inverse, donc pas de modification de l'automate
- L'installation se fait en bout de ligne de préfabrication, sur une plateforme temporaire, plus basse que le niveau du tunnel et d'un delta non absorbable par les stabilisateurs
- Surélévation de 2 machines par ajout d'un mât entre châssis et couronne giratoire
- Le mât est amovible pour garantir la flexibilité



# Table à ciseaux

- Une fois le processus d'extraction du bulkhead terminé, il se trouve sur le convoyeur, à une hauteur d'environ 4 m.
- Le BLRT est monté sur stabilisateurs pendant l'extraction
- Les chenilles ne sont pas dimensionnées pour rouler en charge
- Milieu confiné (spécialement dans les railways), les solutions classiques (grue / bras articulé / straddle carrier) ne sont pas appropriées
- **SPMT disponibles sur le chantier -> Adaptation sur le SPMT d'un système table à ciseaux + convoyeurs**
- Les systèmes de convoyeur « BLRT » et table ciseaux sont **connectés** pour empêcher le transfert du bulkhead si l'alignement n'est pas respecté



# TPR - Premier élément (non immergé)

- Flexibilité : les BLRT sans mât (tunnel) ont été utilisés pour l'installation des bulkheads du TPR
- La profondeur des bulkheads dans l'élément impose l'utilisation de la table à ciseaux pour alimenter le BLRT (cette opération est assurée à la grue + palonnier en bout de ligne de préfabrication)



# Merci pour votre attention

