

23 mai 2013 à Dunkerque
Le Terminal méthanier



L'AFGC a organisé le 23 mai 2013, une seconde journée consacrée au terminal méthanier de Dunkerque. Elle fait suite à une première visite organisée le 19 septembre 2012 par la délégation AFGC Nord Picardie.

Rappel du programme

9h00 : Accueil des participants au centre universitaire des Darses à Duinkerque
Yannick Jeanjean – AFGC NP

9h30 : Présentation par les Maîtres d'Ouvrage
GPMD - Le projet depuis l'enquête aux travaux
DK LNG - Le projet industriel
Sylvain Ringot

10h00 : L'infrastructure du nouveau port
Maître d'oeuvre ARCADIS - Le projet
Philippe Braille

10h10 : La construction du terminal méthanier
L'assistant maître d'Ouvrage
Ph. Claret, COFIVA
Le GC dans la centrale Edf
Ph. Claret, COFIVA

Les réservoirs

- géotechnique
- calcul
- chantier (et notamment interface avec le revêtement métallique)
- précontrainte

Philippe Vaillant, Bouygues TP

Les réservoirs métalliques

- Construction des parois
- Hissage du dôme

Serge Casadei, Entrepose

11h10 : Pause

11h20 : Le tunnel d'amenée des eaux

M Thomas, Razel Bessac Soletanche Bachy

- les puits d'amenée d'eau au tunnel
- le tunnel

11h50 : Le Process industriel

La jetty

Technit SENER

12h00 : Questions

12h30 : Déjeuner

Présentation de la journée

Le chantier du Terminal Méthanier de Dunkerque représente un investissement global d'1,5 milliard d'euros, ce qui en fait le 2ème chantier industriel le plus important en France actuellement.

Trois maîtres d'ouvrage sont associés à ce chantier :

- Le Grand Port Maritime de Dunkerque qui réalise l'infrastructure portuaire composée d'une darse, d'un quai de déchargement et d'une plate-forme d'accueil de l'installation industrielle, en partie gagnée sur la mer, d'une superficie d'environ 50 hectares ; (150 millions d'euros d'investissement)
- Dunkerque LNG, filiale d'EDF (65%), Fluxys (25%) et Total (10%) pour l'installation industrielle de déchargement, de stockage du GNL, de regazéification, les circulations et aménagements nécessaires à l'exploitation du terminal ; (1 milliard d'euros d'investissement)
- GRTgaz qui posera les canalisations permettant d'évacuer le gaz ramené à l'état gazeux et les reliera aux réseaux de transport français et belge. (350 millions d'euros d'investissement)

Stockant du Gaz Naturel Liquéfié (GNL) à -162°C arrivé par bateau, le terminal aura une capacité de regazéification de 13 milliards de m^3 par an (soit l'équivalent de 20% de la consommation française et belge annuelle en gaz naturel).

Le chantier a démarré à l'automne 2011 et devrait se terminer fin 2015. Il mobilisera, en période de pointe jusqu'à 1200 emplois simultanés sur site. L'exploitation du terminal en fonctionnement représentera 58 emplois directs et environ 150 indirects.

Sur le site de Loon Plage, le chantier portuaire confié au groupement SODRACO, BOUYGUES Travaux Publics Régions France, MENARD et COLAS est en cours d'achèvement.

Pour la construction du terminal, Dunkerque LNG a, de son côté, découpé le marché en trois lots :

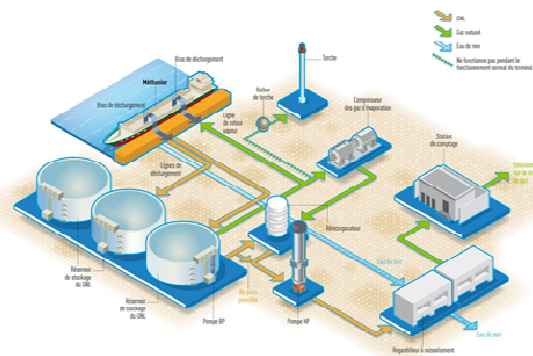
- Le consortium Bessac-Razel-Solétanche réalisera le tunnel entre la centrale nucléaire de Gravelines et le terminal, en vue d'utiliser les eaux de refroidissement pour réchauffer le GNLM ; Le creusement débutera fin juin 2013
- Le consortium Bouygues-Entrepose Contracting sera chargé des trois réservoirs ; un premier dôme sera hissé fin mai 2013
- Le consortium Techint-Sener sera responsable des travaux de process et des installations de déchargement.

Synthèse des présentations

POURQUOI DÉVELOPPER UN TERMINAL MÉTHANIER ?

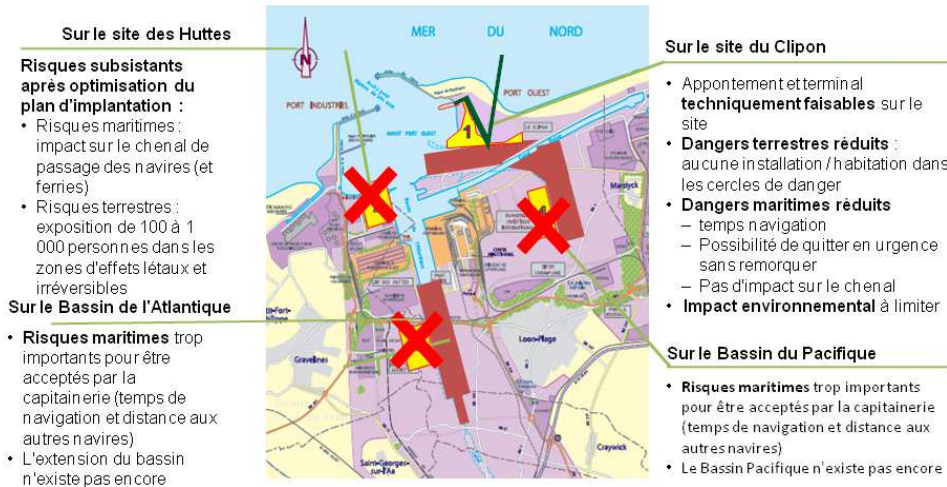
- Un terminal méthanier est une infrastructure d'importation du gaz par une voie maritime
 - ✓ Transformer le GNL en gaz gazeux : fournir un service commercial à des clients souscripteurs de capacité
- Le terminal méthanier de Dunkerque offre ainsi à ses clients (EDF et TOTAL) un service de :
 - ✓ Réception de méthaniers qui déchargent leur GNL (gaz naturel liquéfié)
 - ✓ Stockage du GNL dans les 3 réservoirs de 190.000 m3 chacun
 - ✓ Regazéification du GNL en utilisant les eaux tièdes de rejet de la centrale nucléaire de Gravelines et émission du gaz vers les réseaux de transport en France et en Belgique
- Pour répondre aux besoins en gaz du Groupe EDF
 - ✓ Impératif de diversification d'approvisionnement
 - ✓ Disposer à des capacités de re-gazéification adaptées aux besoins du Groupe EDF
 - ✓ Levier de négociation pour obtenir du GNL de la part des producteurs

QU'EST-CE QU'UN TERMINAL MÉTHANIER ?



LE PROJET: GÉNÈSE

- Dès 2005, EDF a étudié les meilleurs sites possibles pour développer un terminal méthanier en France
- Suite à l'appel à projet lancé en 2006 par le Port de Dunkerque un accord de réservation de terrain dans le Port Ouest est signé pour 50 ans entre EDF et le Grand Port Maritime de Dunkerque (GPMD)
- Contour initial du projet : capacité limitée aux besoins seuls d'EDF, soit 6 Gm3/an
- En 2007, tenue d'un débat public :
 - ✓ En même temps que le Verdon et Antifer
 - ✓ Piloté et animé en co-Maitrise d'Ouvrage GPMD / Dunkerque LNG / GRT Gaz
 - ✓

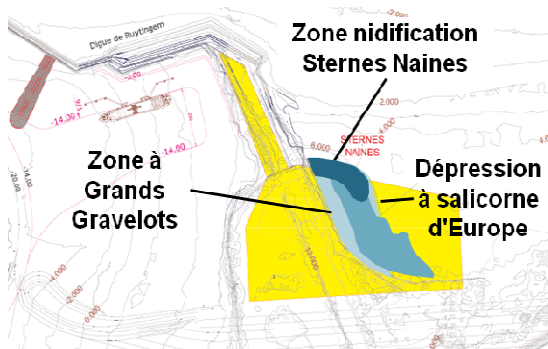


LE PROJET: LA PRISE EN COMPTE DES CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

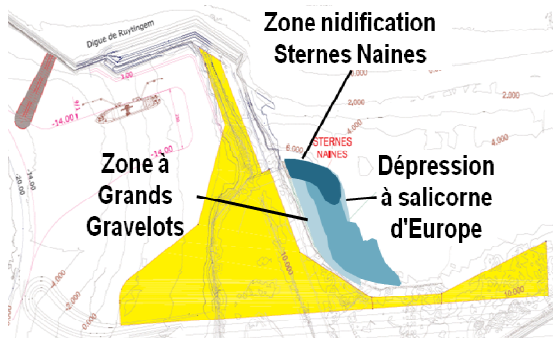
La mesure environnementale phare issue du débat public : la modification du plan masse qui a permis de réaliser le projet

Délimitation comparée des projets Clipon 1, Clipon bis et Clipon ter

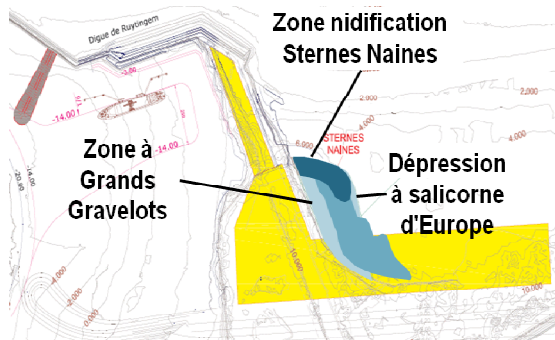
Le site de Clipon 1 (avril 2007)



Le site de Clipon bis (décembre 2007)



Le site de Clipon ter (avril 2008)



La nouvelle délimitation des contours de l'installation, techniquement plus complexe (élargissement ex nihilo sur la darse au sud-ouest, allongement extrême du site avec un 'doigt de gant' étiré à l'est), permet d'éviter tout impact sur les zones de biodiversité les plus importantes (zones de nidification des sternes naines, herbiers à salicorne – habitat remarquable faune et flore).

LE PROJET: L'ÉVOLUTION 4 DES BESOINS

- Le contour initial du projet visait une capacité limitée aux besoins seuls d'EDF, soit 6 Gm3/an
- L'approfondissement des études et l'évolution forte des coûts de construction ont mis en évidence le fait qu'un tel dimensionnement n'était plus compétitif
- La taille du projet a été ainsi portée jusqu'à 13 Gm3/an, avec de fait la nécessité d'avoir d'autres partenaires / souscripteurs de capacité aux côtés d'EDF
- La démarche commerciale s'est déroulée jusqu'à la décision de réalisation

Capacité commerciale	Volume de stockage	Appontement	Plage d'émission du gaz
13 bcm/y (# 9.2 mtpa)	3 tanks of 190,000 m ³ 570,000 m ³ total	1	0 – 1,9 Mm ³ /h

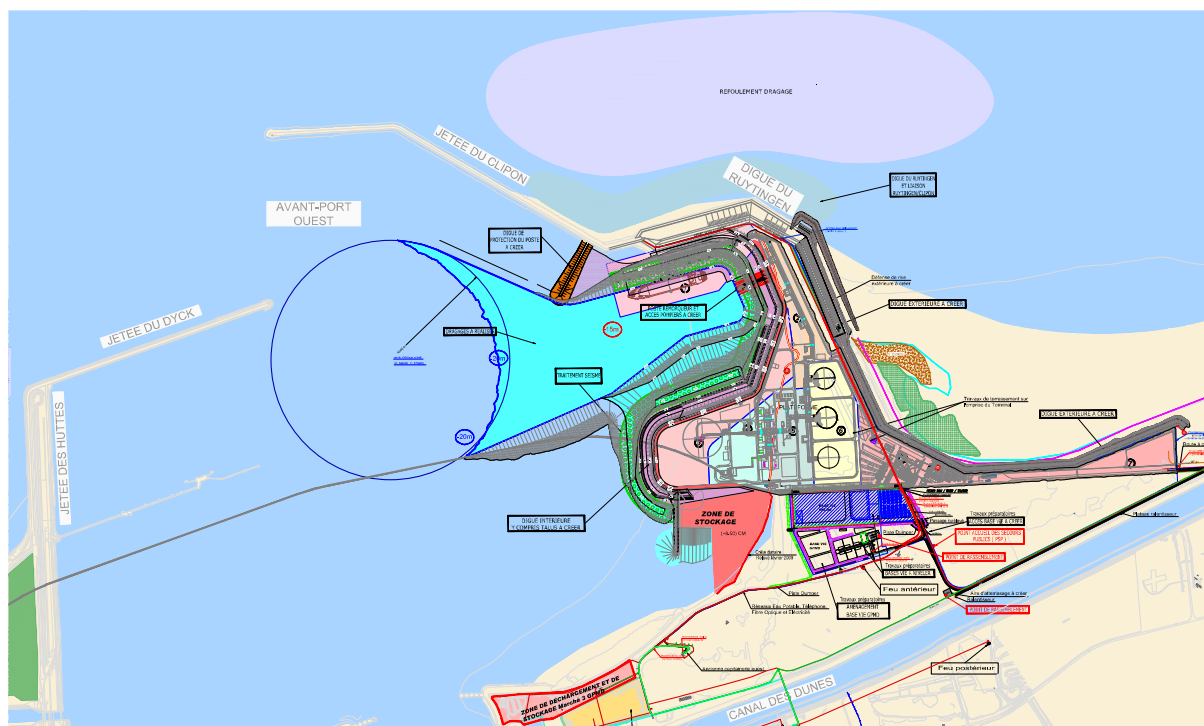


Une capacité commerciale équivalente à 20% de la consommation française et belge de gaz, Dunkerque sera le plus gros terminal de l'Europe continentale

LE PROJET: QUELQUES CHALLENGES

- Plateforme : dimensionnée pour résister aux conditions climatiques extrêmes,
- Réservoirs : à intégrité totale, avec démonstration de la résistance au sur-remplissage
- Prise d'eau : paroi moulée de 65 m, fichée dans l'argile des Flandres, et tunnel de 5 km
- Appontements : accueil prévus des « Qmax »

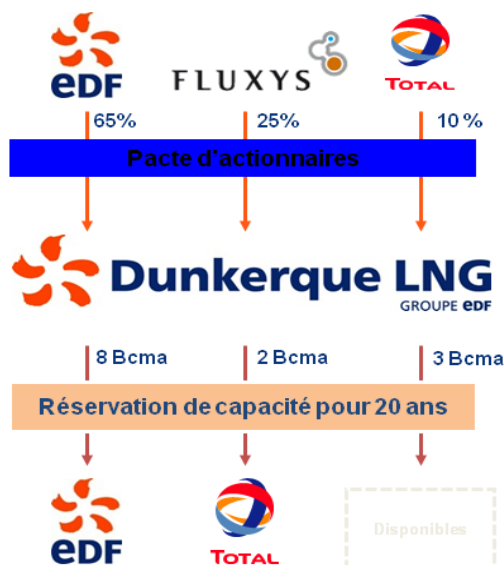
LE PROJET: L'IMPLANTATION 4 DÉFINITIVE



LE PROJET: LE MONTAGE INDUSTRIEL

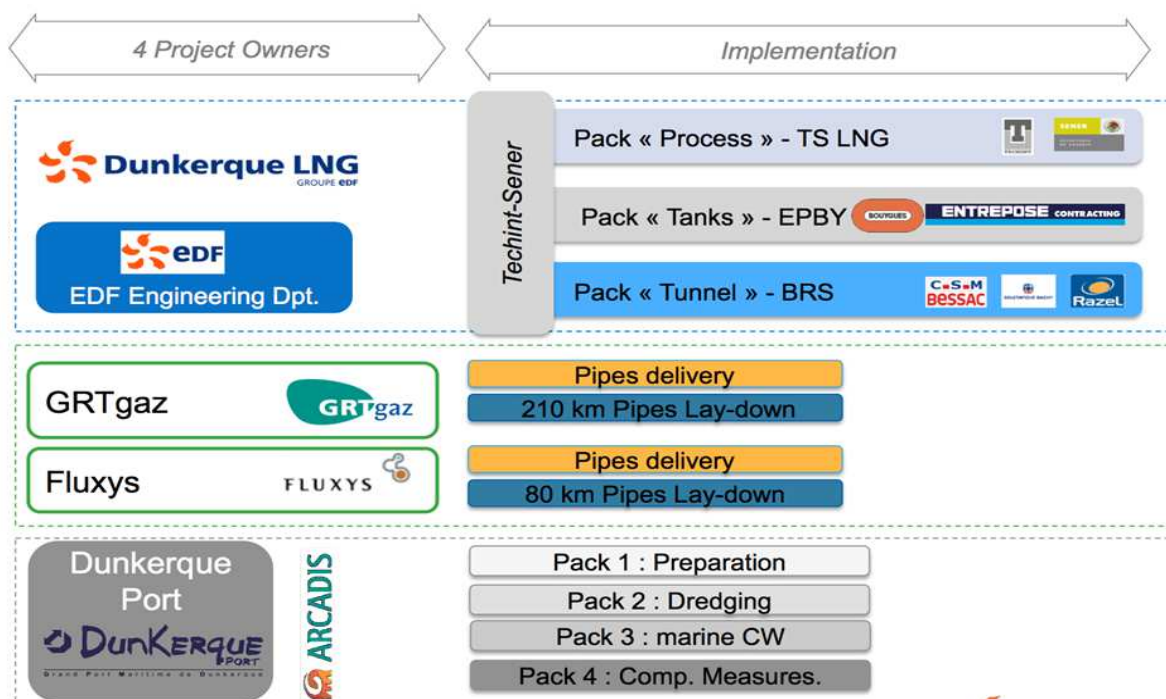
3 actionnaires et 2 clients, pour l'instant

- **Dunkerque LNG** : une filiale du Groupe EDF
- **Fluxys** :
 - Gestionnaire du réseau de transport de gaz en Belgique
 - Opérateur du terminal méthanier de Zeebrugge
- **Total** :
 - Nombreuses participations dans des terminaux de liquéfaction et de regazéification dont Fos-Cavaou et South Hook (Pays de Galles)
 - Fournisseur de gaz naturel en NW Europe
- **3 Gm3 de capacité encore disponibles en vente**



LA PHASE DE REALISATION: DES INVESTISSEMENTS MASSIFS

		CAPEX (Euro 2010)
	Developpement, construction, et exploitation du terminal	1000 M€
	Construction des ouvrages maritimes et préparation du site	150 M€
	Raccordement au réseau de transport de gaz français	400 M€
	Raccordement au réseau de transport de gaz Belge	150 M€
		1700 M€



LA RÉALISATION : VUE SUR L'AMPLEUR DU CHANTIER

Hors site du Clipon, c'est aussi un chantier de pose de 280 kilomètres de tuyaux



LA RÉALISATION : VUE SUR LES MESURES ENVIRONNEMENTALES

Les mesures de transplantation et de déplacement conformément à l'arrêté du 31/07/2009 sont les suivantes :

Mesure T01 : transplantation du Panicaut maritime au sein du site de compensation à l'est

- ➔ Prélèvement d'individus entiers, de graines et de fragments d'individus (opération réalisée avec succès dans les dunes flamandes par le CG59)

Mesure T02 : transplantation de la Sagine noueuse et du Gnaphale jaunâtre au sein des pannes créées au sein du site de compensation à l'est du Clipon

- ➔ Prélèvement de plaques de sol avec la banque de graines + prélèvement de graines à l'automne

Mesure T03 : capture / déplacement du Léopard vivipare

- ➔ Capture des léopards avec des pièges non vulnérants et par des techniques manuelles + pose de plaques et de micro-habitats favorables / Déplacement sur le site de compensation à l'est du Clipon et sur le site du triangle de la Centrale





Les infrastructures du terminal méthanier

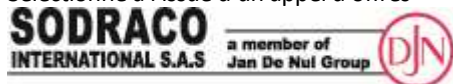
GPMD, Maître d'oeuvre

Le chantier : Dec 2011 – Juin 2013

Les entreprises

Un groupement de 4 entreprises

Sélectionné à l'issue d'un appel d'offres



Mandataire Dragage / Dignes



VRD / Dignes extérieures



REGIONS FRANCE

Dalles béton des digues – X-Blocs



Traitement de terrain

Délais : 14 mois

Nombreux délais partiels de livraison (12)

Période de préparation : 1 mois

Démarrage : Décembre 2011

Travail 24/24 - 7/7 pour 70% des travaux

2 postes de 12H par jour

Montant du marché principal : 124 M€ H.T.

Le chantier en quelques chiffres

- Plateformes : 90 Ha pour l'ensemble du projet
 - Dont 29 Ha par remblais hydrauliques
 - Dont 60 Ha livrés à Dk LNG pour les besoins du terminal
 - 1 450 000 m³ remblais hydrauliques
 - 800 000 m³ remblais terrestres définitifs ou provisoires
- Dragages : 8 Millions de m³ à draguer (darse à -15 CM)
 - 3,4 Mm³ de vases clapées en mer
 - 4,6 Mm³ de sable refoulés en plateforme ou en protection
- Ouvrages de protection :
 - 2260 ml protections côtières extérieures (enrochements ou digue en sable)
 - 2230 ml de protections côtières intérieures (enrochements)
 - 250 ml de digue de protection du poste méthanier

Matériaux mis en oeuvre :

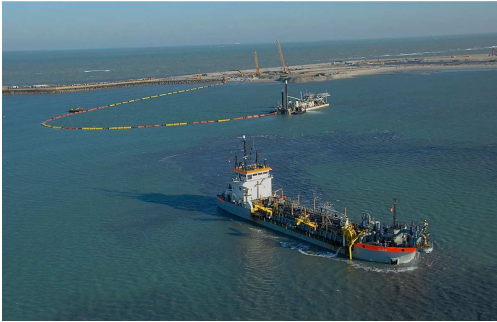
- 1 000 000 de tonnes d'enrochements naturels ;
- 600 000 tonnes de tout-venant de carrière ;

- 2 900 blocs artificiels X-Blocs en béton de 15 T de poids unitaires ;
- 350 000 m² de géosynthétiques ;
- 10 Hectares de terrains traités en profondeur vis-à-vis du risque de liquéfaction sismique (vibro-flotation et colonnes ballastées).

Sécurisation pyrotechnique

- Détection systématique
- Mise à jour et dépollution

Dragage



Drague aspiratrice en marche



Drague stationnaire - Rendement 110 000 m³/sem

Refoulement



La digue de protection



Hauteur totale 23 m (-15 CMG à + 8 CMG)

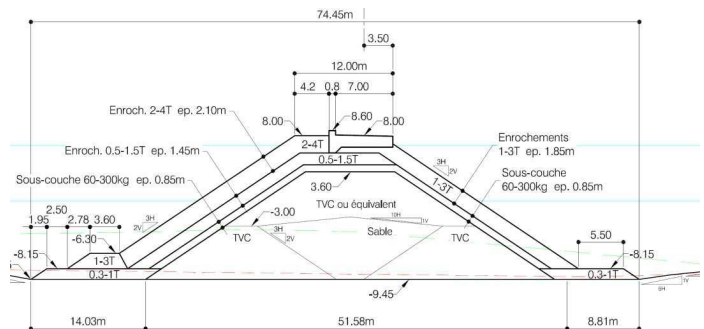
Longueur 250 ml

Carapace 1-3 T / 2-4 T / 5-7 T

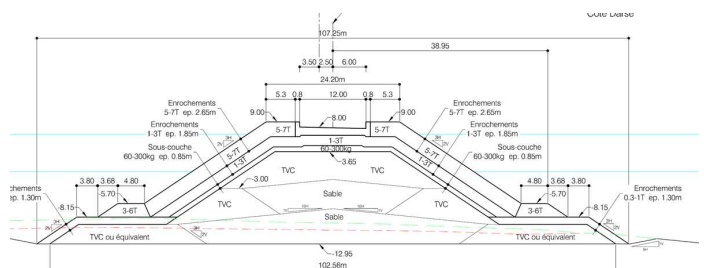
Noyau Tout-Venant encageant du sable

Pas de géotextile filtre (filtres naturels)

Dalle de couronnement béton (ep. 1,40 m)



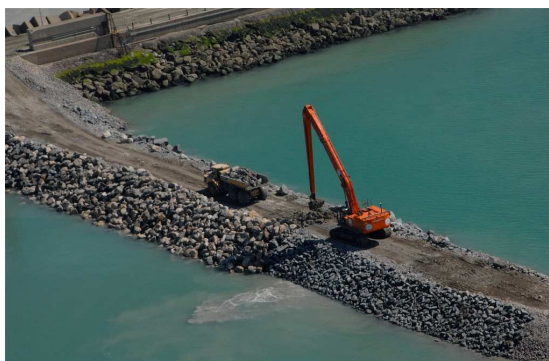
Section courante



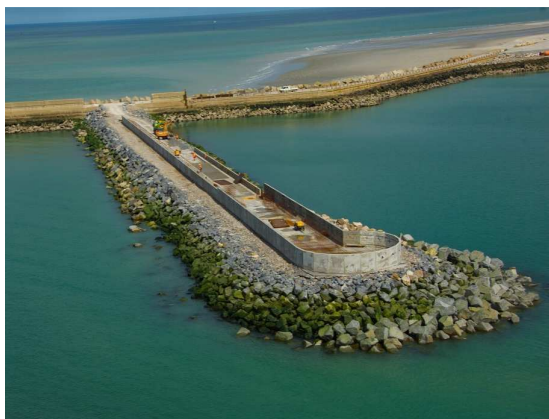
Section Musoir



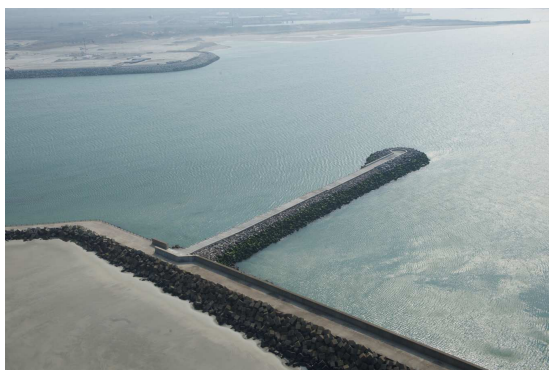
Mise en oeuvre du noyau inférieur et des butées de pied par moyens nautiques



Mise en oeuvre des enrochements par moyens terrestres



Dalle de couronnement à la marée



La logistique d'approvisionnement

600 000 tonnes de TVC 3-200 mm

1 000 000 tonnes d'enrochements

9 catégories différentes

60-300 kg / 0.3-1 T / 0.5-1.5 T / 1-2 T / 1-3 T

2-4 T / 3-6 T / 5-7 T / 6-10 T

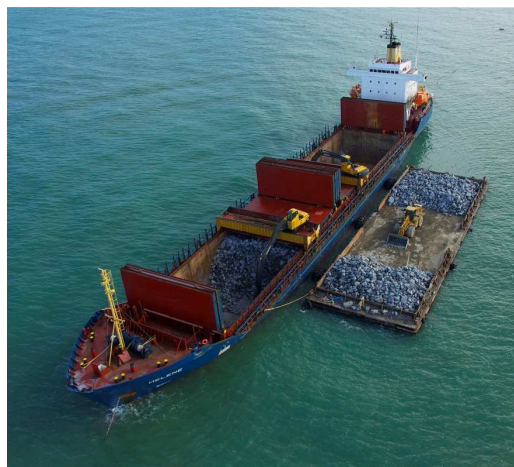
Fourniture représentant 31 % du coût des travaux

2 origines

- Calcaire des 3 carrières du Boulonnais :
Approvisionnement routier
- Granit de Norvège :
Approvisionnement maritime



Livraison des enrochements de carapace 5-7 T et 6-10 T par barges de 20 000 T en provenance de Norvège



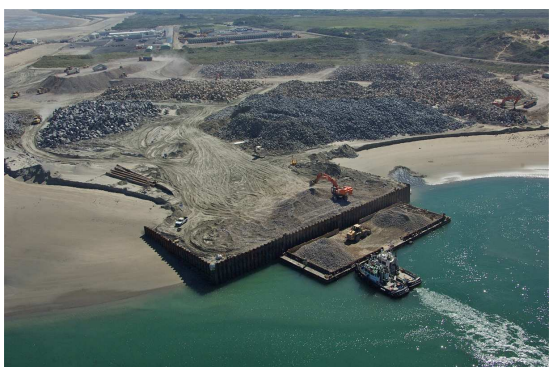
Transbordement des enrochements 60-300 kg à partir de navires auto-déchargeant de 5000 T en provenance de Norvège



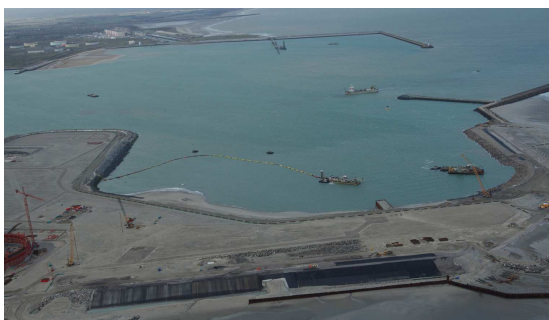
Semi-remorque pour amenée à pied d'oeuvre les enrochements du Boulonnais



Stock n°1 – Quai provisoire n°1



Stock n°2 – Quai provisoire n°2
Reprise des enrochements pour mise en oeuvre par voie nautique



Les protections intérieures



Les protections intérieures - Sur talus en sable à 4/1 ou 6/1

Les protections intérieures

Sur noyau en TVC à 3/2

A l'avancement après dragage d'une souille pour la butée de pied

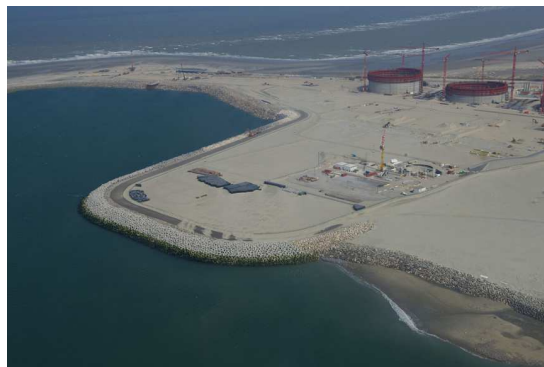
Le noyau sert de digue d'enclosure pour les remblais hydrauliques de la plateforme



Pose de géotextile intérieur
(filtre/corps de remblais en sable)

Les protections intérieures

Section en musoir



Carapace en blocs artificiels X-Blocs



Les protections intérieures – Section musoir

2 900 blocs artificiels de 6 m³

Béton C 25/30 – CEM I 42,5 PM (280 Kg/m³) – Cendres Volantes (120 Kg/m³)

Pose à la grue à câble par voie terrestre

Les protections extérieures : Digue en enrochements
et Digue en sable revêtu de grave bitume



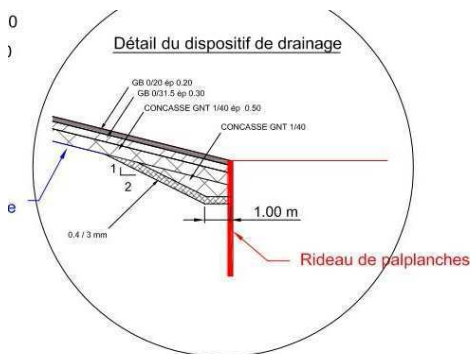
- Le consortium EPBY Bouygues TP – Entrepote Projets réalise les 3 réservoirs
 - TS LNG SAS (filiale commune Techint et Sener) réalise l'usine (du déchargement à la regazéification et l'émission)
- COFIVA, filiale d'EDF, a reçu un mandat du Maître d'Ouvrage Dunkerque LNG.

Construction des Réservoirs LNG

ENTREPOSE Projets / BYTP

Les protections extérieures : Digue en sable DEX-ER

- Longueur : 470 m
- Mise en remblai de 70 000 m³ de sable
- 25 000 m² de géotextile
- 6000 m³ de GNT 1/40
- 20 000 Tonnes d'enrobés (GB 0/20 et GB 0/31,5)
- Epaisseur d'enrobé 50 cm / 20 cm en tête



Les protections extérieures



La construction du Terminal Méthanier de Dunkerque
Assistant maître d'ouvrage Cofiva

L'Organisation mise en place pour la construction

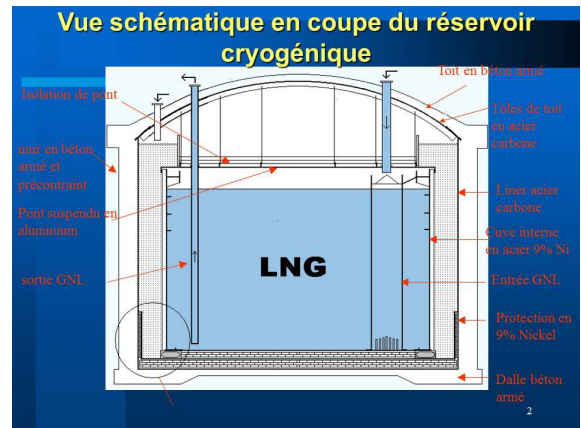
Une organisation industrielle rigoureuse

Dunkerque LNG est le Maître d'Ouvrage des travaux de construction du terminal.

Dunkerque LNG est une filiale d'EDF (65 %), Fluxys (25 %) et Total (10 %)

Trois contrats EPCC (clé en main forfaitaire) vont réaliser le Terminal :

- Le groupement BRS - CSM Bessac – Razel – Solétanche Bachy réalise le tunnel



Dalle béton



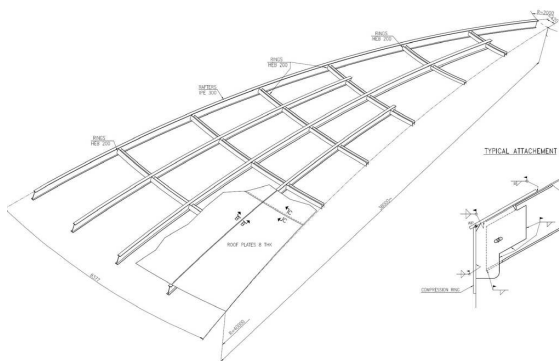
Ferrailage dalle



Construction mur béton



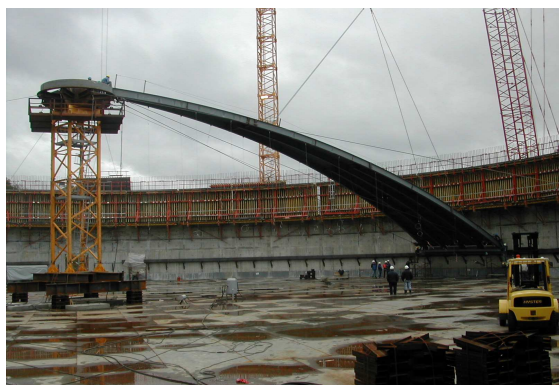
Éléments de toit



Levage éléments toit (~25t)



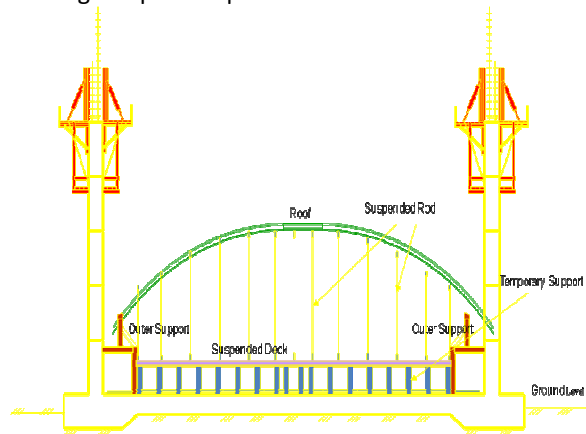
Pose 1^{er} élément de toit



Montage éléments de toit



Montage du pont suspendu



Anneau de compression



Toit en position basse



Levage à l'air du toit



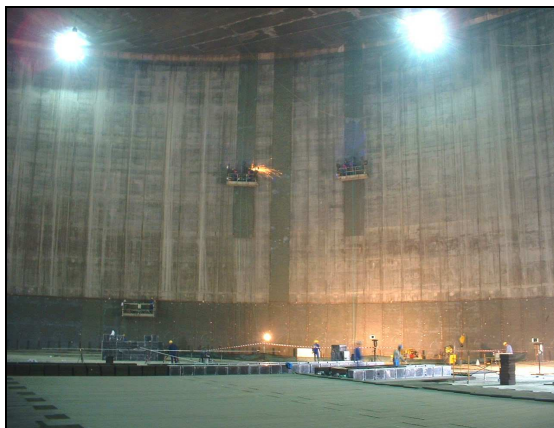
Raccordement toit (position haute)



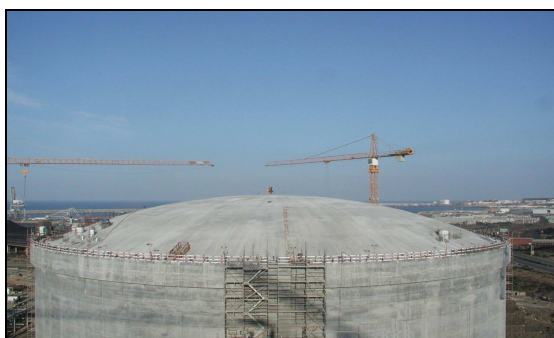
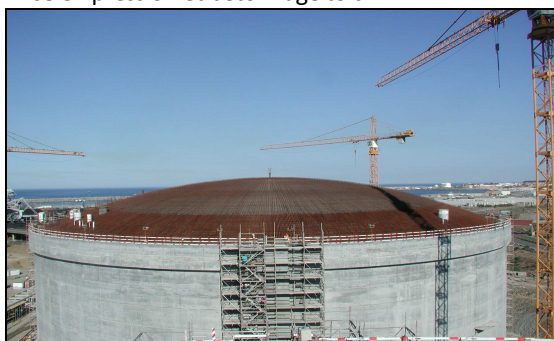
Toit en position finale



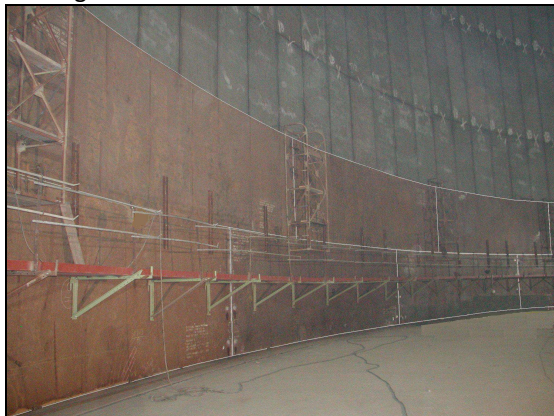
Montage soudage barrière vapeur + installation isolation de fond



Mise en pression et bétonnage toit



Montage cuve interne



Installation isolation de fond



Montage tuyauteries internes



Couronne de mise en froid

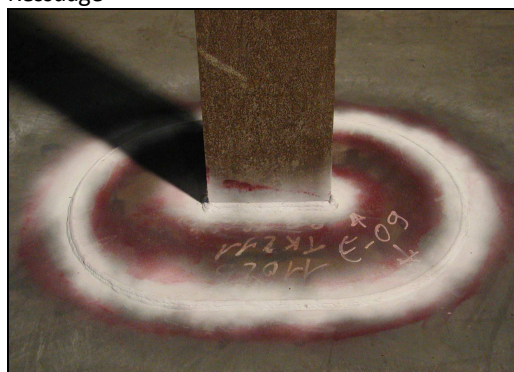


Contrôle qualité

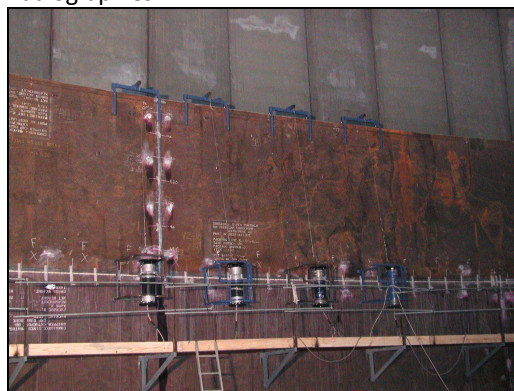
Visuel et dimensionnel



Ressuage



Radiographies



Vérification composition métallurgique





Échafaudage pour pipe rack



Pipe rack et gaines précontraintes



Tuyauteries externes



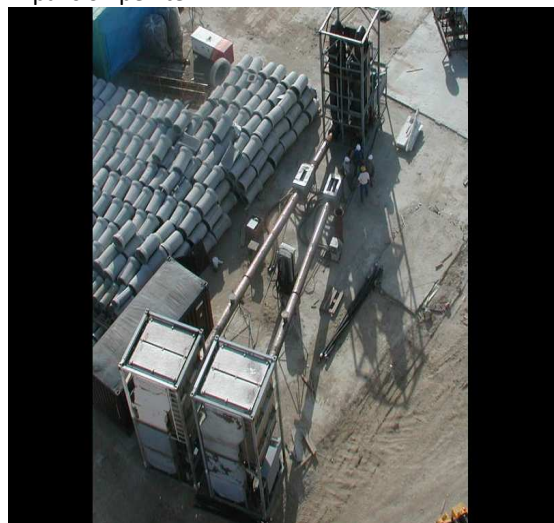
Instrumentation



Mise en place isolation



Expansion perlite



Perlite : mise en place et vibration



Isolation pont suspendu



Vue générale extérieure

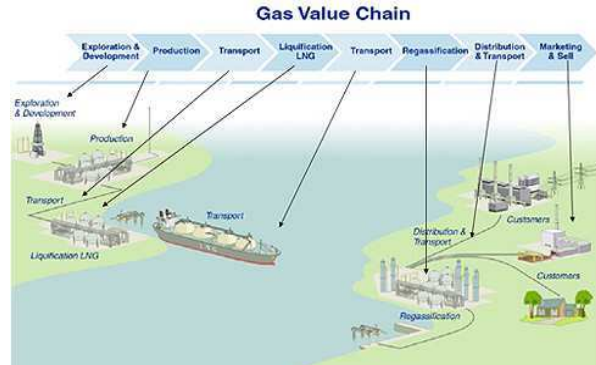


Les réservoirs

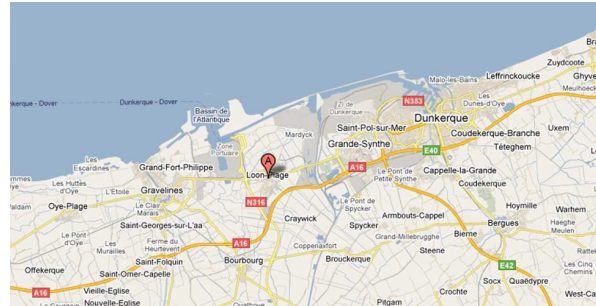
Philippe Vaillant, Bouygues TP
Serge Casabei, Entrepose

I. Rappel Aperçu Projet

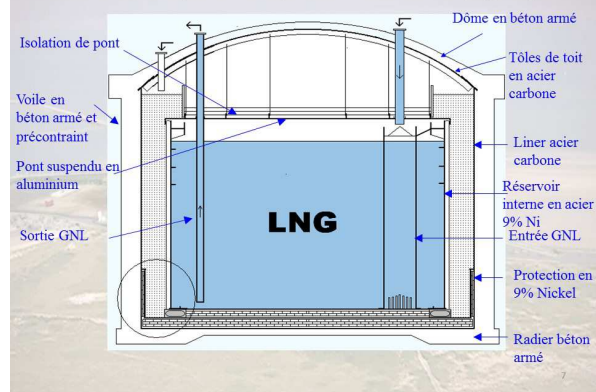
Circuit du gaz



Situation du projet



Vue schématique en coupe d'un réservoir cryogénique



Dimensions

3 réservoirs d'une capacité de 190 000 m³ pour le passage d'environ 13 milliard de m³ par an.

Quelques chiffres – Génie Civil

26000 m² de sol à traiter sur environ 20m de profondeur.

52 000 m³ de béton de structure

6 000 T de ferrailage normal, 1 900 T de ferrailage cryogénique.

1 700 T de précontrainte.

10 grues à tour

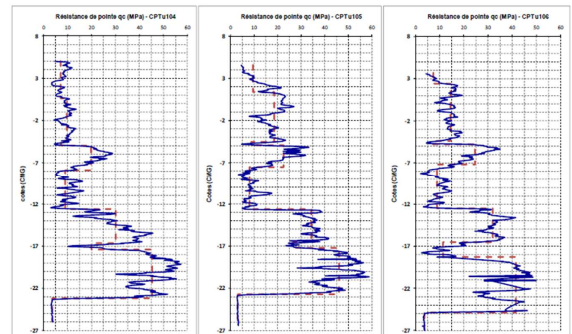
2 centrales à béton.
5 pompes à béton jusqu'à 62 ml de portée
3 jeux complets de coffrage grim pant.

Formation très hétérogène, avec identification d'un passage très lâche à la base (ancien rivage)

Contexte géotechnique : les sables Flandriens

II. Amélioration de sol

Vue du terrain avant traitement

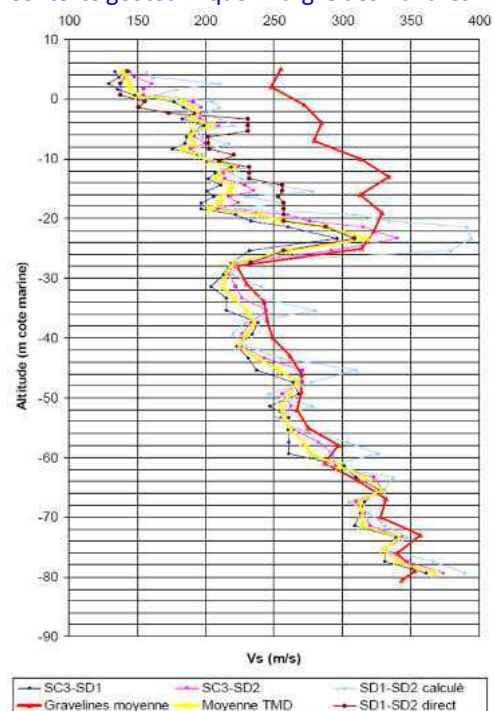


Identification d'un horizon lâche entre 15 et 20 m de profondeur environ

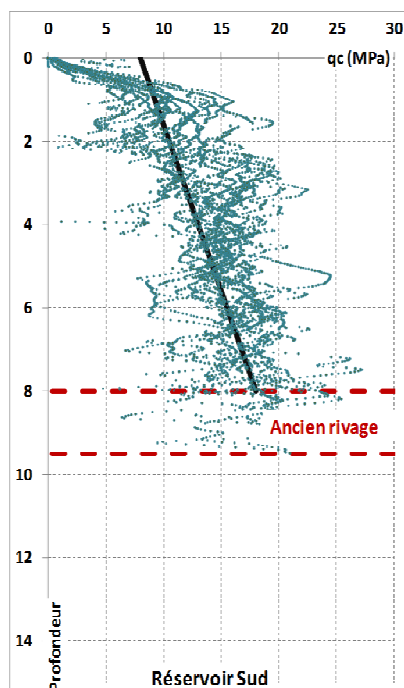
Contexte géotechnique

- Remblais hydrauliques (~12 m) : extension du port de Dunkerque depuis 1964 achevée en 1983.
- Sables Flandriens (~20 m) : fond marin (alternance de sables fins et de fines inclusions argileuses).
- Argile des Flandres (~75m) d'âge Yprésien, formation repère à l'échelle régionale (argile très homogène, consistante, sur-consolidée, très plastique et très peu perméable).
- L'argile des Flandres recouvre les sables et argiles du Landénien (~50 m), supposés compacts et raides.
- Le substratum géologique régional est formé par la craie blanche du Crétacé.

Contexte géotechnique : L'argile des Flandres



Contexte géotechnique : remblais hydrauliques



Formation très homogène : en particulier, caractéristiques identiques à celles mesurées au droit de la centrale de Graveline (5 km)

Amélioration de sol – Etude du besoin

⇒ Deux problématiques :

- Stabilité (en service et sous séisme) : capacité du sol à reprendre les charges amenées par les réservoirs ;
- Tassements : capacité de la structure à encaisser les déformations absolues et différentielles « imposées » par le sol ;

⇒ Les études géotechniques ont montré que :

- Les tassements attendus étaient acceptables, à condition d'assurer une homogénéité horizontale du

sol support pour éviter tout risque de basculement ou de défaut de portance localisée ;
 – Pas de problème de stabilité en phase de service, en revanche, risque de liquéfaction des passages lâches sous séisme ;

Amélioration de sol – Dimensionnement

⇒ Dans les remblais hydrauliques : vibro-compactage
 – Homogénéisation latérale de l'assise des réservoirs
 – Elimination du risque de liquéfaction dans la base
 ⇒ Dans les sables silteux lâches : colonnes ballastées
 – Elimination de tout risque de liquéfaction

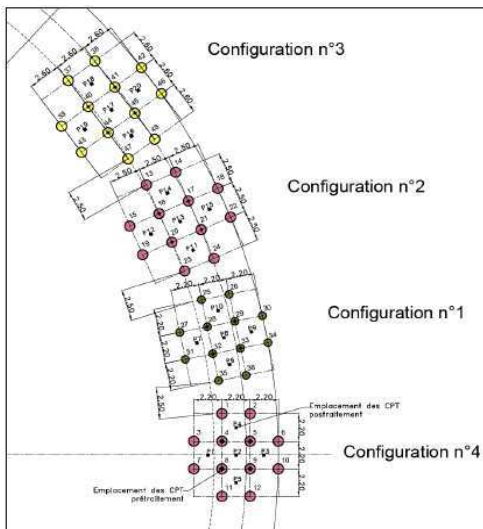
Travaux d'amélioration de sol

• Planche d'essai

Plusieurs planches d'essais ont été réalisées afin de déterminer quelle était la configuration la plus efficace vis-à-vis des critères indiqués.

(Dr > 60 à 70 % dans les remblais hydrauliques ; critère de liquéfaction à respecter).

Chaque point de traitement correspondant à la mise en œuvre d'une technique de vibrocompactage seul sur la hauteur des remblais hydrauliques et dans les sables denses sous-jacents avec apport de matériaux sur la hauteur des sables silteux lâches.



• Moyens

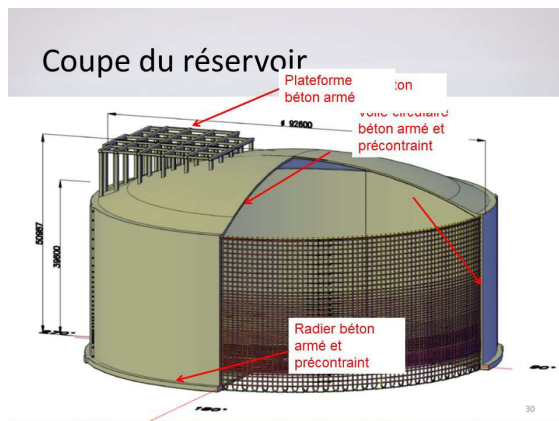


• Vérification en cours de traitement

- Suivi en continu des paramètres de réalisation :
 - profondeur de l'outil
 - Ampérage
 - volume de ballast incorporé
- Puis, fiche d'enregistrement reprenant les caractéristiques du point d'impact :
 - numéro du point
 - date et heures de réalisation
 - durée de réalisation
 - profondeur maximale
 - volume de ballast incorporé

• Validation du traitement

III. Dimensionnement des Réservoirs



Situations de projet

- Phases de construction
- Périodes de test : Pneumatique, hydraulique
- Service : A court terme et à long terme => Prise en compte de la variation des efforts dans le temps :
 - Variation des efforts de précontrainte (pertes)
 - Tassements du sol (consolidation)
- Situations accidentelles : Impacts, Explosion, Overfilling, etc.
- Situations sismiques: OBE, SSE

Principaux cas de charges

Charges permanentes

Poids propre

Précontrainte : Horizontale+Verticale

Equipements et superstructures

Ajustement des tassements => Prise en compte de l'interaction sol-structure

Charges variables

Remplissage de GNL : Poids + Pression (fluctuant)

Climatiques : Température, neige, vent

Charges d'exploitation : situation transitoire et durable

Charges accidentelles

Impacts : missile + réacteur Cessna

Effet de souffle/Blast

Incendie

Séisme: OBE (Operationnal Basis Earthquake)

SSE (Safe Shutdown Earthquake)

Cold spot/Tâche froide

Overfilling/Sur-remplissage accidentel

Major leak/Fuite du réservoir intérieur

Critère de conception du radier central

- Epaisseur : 0,50 m ; diamètre : 85,40 m
- Se comporte comme une dalle sur « sol élastique ».
- Quasiment pas sollicité en service, les charges appliquées sur le radier étant transmises directement au sol.

• Ferrailage dimensionné essentiellement vis-à-vis du retrait au jeune âge du béton. Optimisation du ferrailage grâce à la:

- mise en place d'une couche de polyane sous le radier

- mise en oeuvre d'un phasage de bétonnage approprié pour se prémunir au mieux des risques de fissuration (découpage en plots, cure soignée, etc.)

Epaisseur de 1,20 m nécessaire pour assurer la diffusion des efforts de compression du voile.

- Précontraint par 4 câbles 19T15.
- Élément sensible au tassement différentiel bord/centre
- Sujet à rotation en service, due à la compressibilité du sol, sous l'effet de la charge transmise par le voile. Susceptible d'être très préjudiciable à la structure (jonction radier/voile)

Critère de conception du voile

- Epaisseur de 0,80 m
- Fortement précontraint dans les 2 directions : horizontalement (19T15) et verticalement (12T15)
- Précontrainte horizontale: Dimensionné pour le cas d'overfilling. En service, permet également de reprendre la pression interne.
- Précontrainte verticale : Réduction des contraintes de traction à la jonction radier/voile et dôme/voile (risque fissuration horizontale) + Reprise de la résultante de la pression interne verticale sur le dôme.
- Peu sollicité en service en zone « courante ». Zones sensibles : encastrement radier/voile et voile/dôme.

Critère de conception de la liaison dôme-voile

- Élément le plus critique du projet
- Fonctionne comme une « barre » en traction/compression
- A vide, sous poids propre, la jonction est entièrement tendue (650T)
- En service, sous l'effet de la pression interne, la jonction est entièrement comprimée...
- Fortement précontraint et armé !

Critère de conception du dôme

Dôme sphérique de rayon 91,006 m

- Epaisseur de 0,40 m en zone centrale et 0,70 m à la jonction avec le voile

- Bétonnage en deux couches:

1ère couche de 0,15 m. Au bétonnage, le poids est repris par la coupole métallique interne et la pression.

2ème couche de 0,25 m dont le poids du béton « frais » est repris par la seule première couche dès lors que celle-ci est résistante !

Fonctionnement du dôme

- En service, le dôme fonctionne essentiellement comme une membrane fonctionnant en traction/compression,
- Ferrailage dimensionné en service sous l'effet de la pression interne (traction généralisée dans le dôme), pour limiter la fissuration du béton (durabilité)
- Dôme sensible également aux charges localisées et au poinçonnement (impacts, etc.)

IV. Béton

Choix de la formule béton

Cahier des charges sur la formule

- Béton précontraint: C50/60 ; $R_t > 4,1 \text{ MPa}$; Module élastique $> 37 \text{ GPa}$
- Classe d'exposition XS3 (NF EN 206-1: C35/45 + $e/c=0,5$; $Leq=350\text{Kg}$ + ciment PM)
- Liant Equivalent $> \text{ou} = 400 \text{ Kg}$ (orientation vers formulation avec cendres volantes)
- $E_{eff}/Leq < \text{ou} = 0,4$
- Porosité $< \text{ou} = 13\%$
- Diffusion aux ions chlorures $< \text{ou} = 5.10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$
- Perméabilité à l'eau (NFP 18855) $< \text{ou} = 0,5 \cdot 10^{-18} \text{ m}^2/\text{s}$
- Perméabilité à l'eau (EDF TEGG) $< \text{ou} = 1 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$
- Absorption capillaire $< \text{ou} = 1,16 \text{ Kg}/\text{m}^2/\text{heure}^{1/2}$
- Perméabilité à l'air $< \text{ou} = 10^{-16} \text{ m}^2$
- Exothermie : $T_{max} < \text{ou} = 65^\circ\text{C}$ + $DT < \text{ou} = 40^\circ\text{C}$

⇒ SUR L'ENSEMBLE DES MATERIAUX

- Taux de chlorure $< \text{ou} = 0,1\%$ pour ouvrage précontraint (NF EN 206-1 = 0,2%)
- Taux de soufre $< \text{ou} = 0,5\%$

⇒ GRANULAT : Non réactif + Catégorie A de la norme XP P 18545 + pour précontrainte : Friabilité $< \text{ou} = 30$ et respect du fuseau EDF

- 2 granulats ont du être mélangés.

• 1 des sables est marin (Problème des chlorures) ⇒ travail de fond avec fournisseur pour réduire bilan des chlorures (de 0,056 à 0,027%)

⇒ CIMENT: NF + CP1 + Prise Mer + Low Heat (faible chaleur d'hydratation)

⇒ ADJUVANT : NF

⇒ EAU : NF EN 1008

Nombreuses Spécifications plus exigeantes que les Normes Habituelles, permettant d'assurer la durabilité de l'ouvrage.

Plus d'un an d'étude et de nombreux essais ont été nécessaires pour :

- Choisir les constituants
- Trouver la formule permettant de respecter le cahier des charges et de garantir la durabilité de l'ouvrage.
- Trouver la formule permettant d'assurer la mise en oeuvre du béton dans l'ouvrage.

En conclusion, cette formule béton est extrêmement pointue, tout le travail a consisté à définir le juste milieu afin de respecter la durabilité attendue tout en assurant la faisabilité de la mise en oeuvre.

De plus les exigences environnementales particulières au site (Zéro rejet d'eau dans le milieu) nous ont amené à mettre en place des systèmes de traitement performant afin de réduire l'impact environnemental et de préserver les ressources en eau (3 décantations primaires, lessivage des rebus de béton frais, récupération des granulats, filtre-presse, traitement PH...)

V. Précontrainte

Un volume de précontrainte important sur un délai court:

- Tubes: 30 000 ml
- Gaines: 56 400 ml
- Câbles: Horizontaux Gc 6-19

Verticaux Gc 6-12

- Torons: 1 683 tonnes

Un partenariat entreprise générale / entreprise de précontrainte:

- Pose des gaines et ancrages dans les coffrages par BYTP

- Fourniture, approbation et mise en oeuvre par VSL

Un projet exigeant:

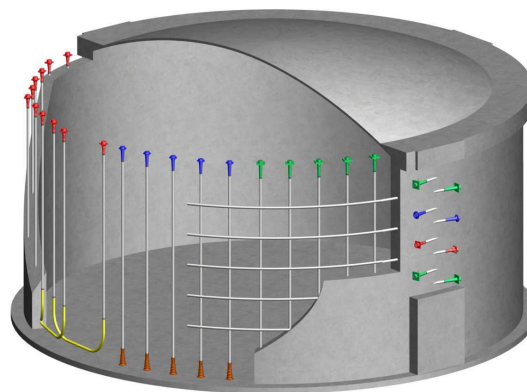
- Spécifications communes au socle génie civil d'EDF (Nucléaire et Réservoir de Gaz)
- Des procédures adaptées aux contraintes du projet
- Maquette d'injection à l'échelle 1 avec des longueurs réduites
- Critères physico-chimiques des matériaux et des remplissages identiques aux projets nucléaires

Câbles Horizontaux

- 3 x 256 = 768 x Gc 6-19,
- longueur moyenne 145.5 m
- Coulis 621 l/câbles

Câbles Verticaux

- 3 x 248 = 744 x Gc 6-12,
- longueur moyenne 81 m
- Coulis 315 l/câbles



Maquettes d'injections horizontales à l'échelle 1 (longueur 24 m)



Sommet de la maquette d'injection des câbles verticaux

VI. Coffrage grim pant

Le coffrage en chiffre :

Pour 3 outils coffrant:

- 312 panneaux (ht: 3.83m, long. variable 4m ou 6m)
- 6350 m² de coffrage
- 1350 t d'acier
- 7200 ml de passerelle sur 4 niveaux
- 24 panneaux type escaliers
- 90 échafaudages de travail
- 2880 sabots (fixation et guidage)



Présentation générale

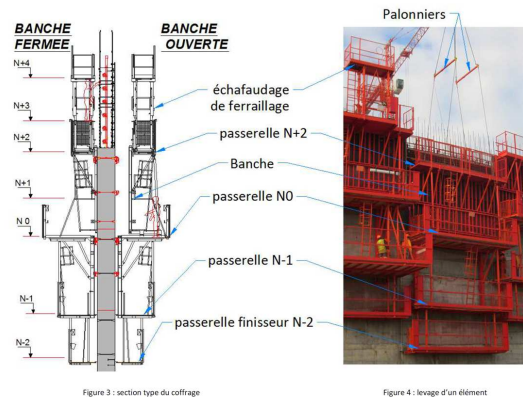


Figure 3 : section type du coffrage

Figure 4 : levage d'un élément

Les développements spécifiques

Le coffrage est de type guidé grimpant, une fois en place, il est dimensionné pour permettre un levage jusqu'à une vitesse de vent de l'ordre de 60 km/h.

Les coffrages d'escaliers qui permettent un accès ergonomique entre les différents niveaux de passerelles (3 niveaux différents)

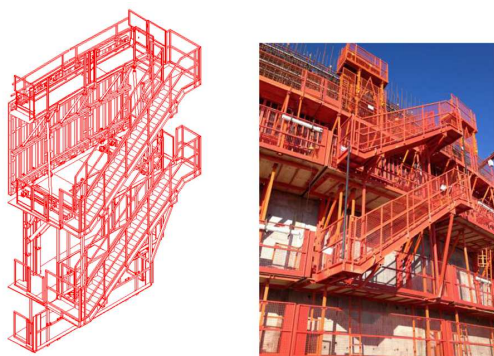
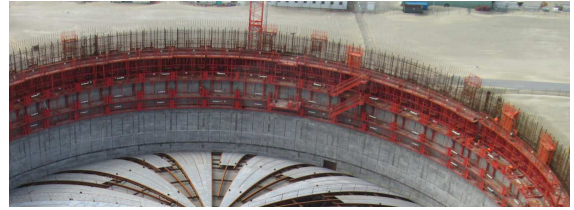


Figure 18 : les escaliers

Le coffrage est équipé d'un système de sécurisation : ce système est conçu de manière à retenir le coffrage en cas de rupture d'un ancrage de sabot d'appui. /ou d'un sabot par exemple (cas extrême)

- Ce système permet de retenir le coffrage en servant du sabot de guidage comme appui.

- les échafaudages roulants sur la passerelle de travail (n+2) permettant de travailler de manière ergonomique sans avoir à faire appel à la grue pour déplacer l'échafaudage



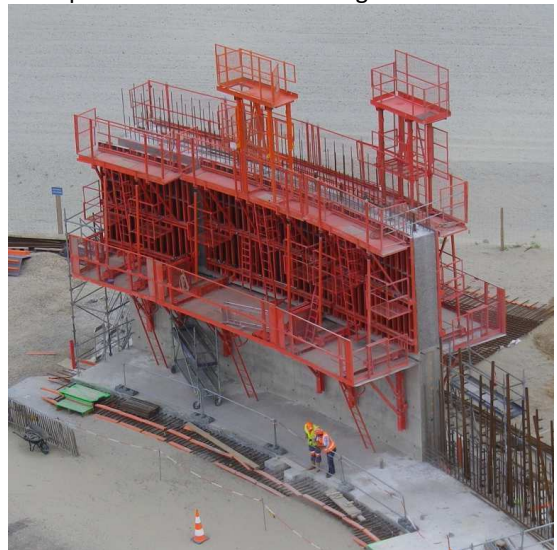
- Des postes de travail ergonomiques
 - Des passerelles adaptées pour permettre l'accès aux trous de tige, dont le calepinage est spécifique (présences des gaines de précontraintes, de platines intérieures et extérieures, d'inserts spécifiques)
 - L'enlèvement des sabots se fait à hauteur d'homme

Des recettes à matériels / matériaux pour permettre la manutention à la grue à différents niveaux de passerelle et un panneau spécial pour permettre l'accès au moyen d'un ascenseur

- La continuité des accès lors des hissages

Une formation dédiée à l'outil

- Maquette de formation au hissage



VII. Travaux

Dates clé passées

- Début des Travaux (NTPS) : février 2012
- Début du Traitement de Sol : mars 2012
- Bétonnage des premiers radiers de réservoirs : août 2012.
- Bétonnage première levée de voiles : octobre 2012.

Avancement du projet

- Travaux préparatoires terminés
- Radiers des réservoirs : terminés
- Voiles des réservoirs:
- R1 10ème levée : en cours
- R2 8ème levée : prête à bétonner le 21/05/2013
- R3 7ème levée: prête à bétonner le 24/05/2013

Réalisation de l'ouvrage – Radiers

- Phasage
- Inserts (tubes chauffant et instrumentation)



Réalisation de l'ouvrage - Voiles

Voiles :

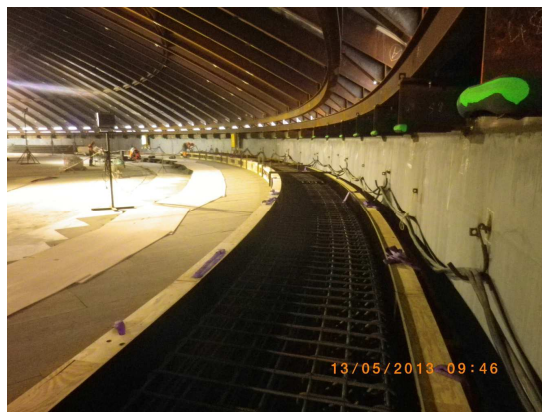
- Objectif 1 levée / 11 jours



Dates clé à venir

Et pour la suite :

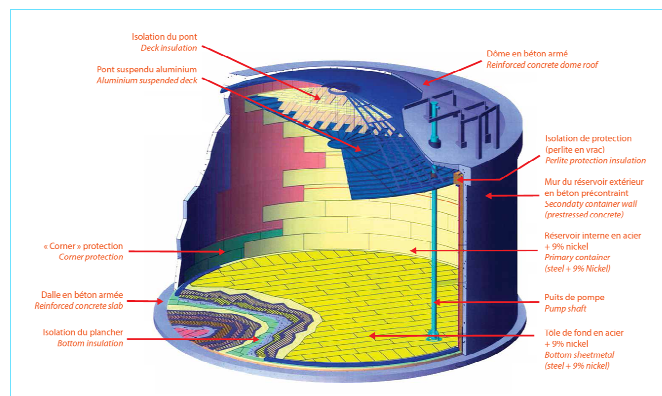
- Fin des voiles avant travaux hissage coupole : juin à août 2013
- Coulage des bétons des dômes : septembre à décembre 2013
- Réalisation du GC des plateformes : octobre à mars 2014



Copyright Dunkerque LNG – Happy Day

=> Répartition Activités entre Entrepose Projets et Bouygues Travaux Publics

=> Commentaires sur la base d'une coupe schématique et vue 3D du réservoir



Vue 3D du réservoir cryogénique

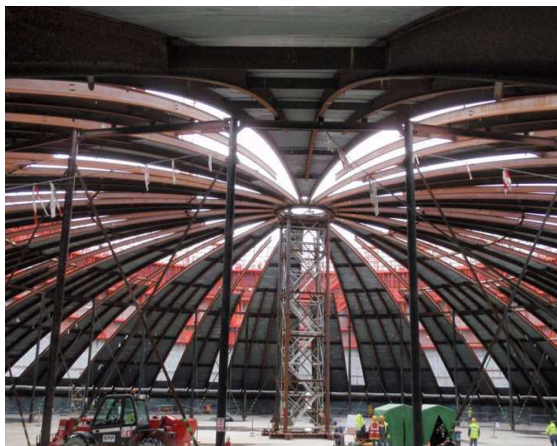
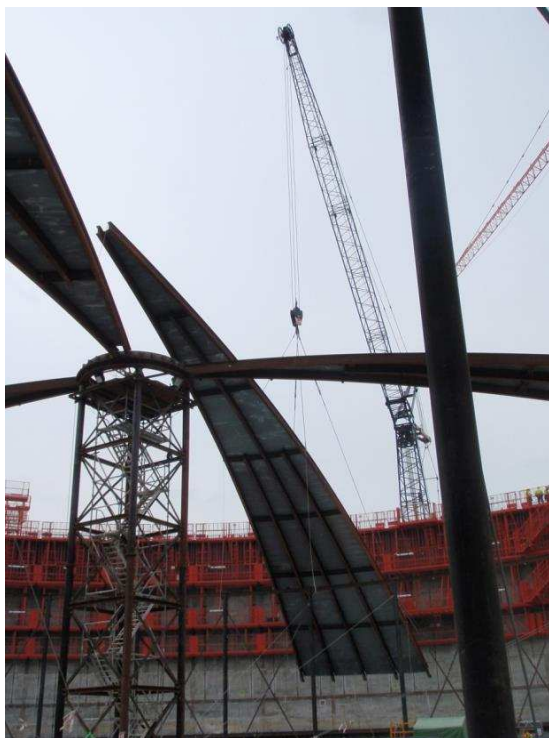


Le Génie Mécanique – Dates Clé

- Début Assemblage secteurs de toit : Septembre 2012
- Début montage du toit : Janvier 2013
- Levage des toits à l'air : Mai, Juin, Juillet 2013
- Début du montage cuve 9% Nickel : Aout 2013
- Hydrotests : Juin à Octobre 2014
- Début Travaux de plateforme et tuyauteries / équipements externes : Déc 2013
- Début travaux Electricité & Instrumentation : Février 2014
- Réservoirs prêts à remplir : 30 Avril 2015

Le Génie Mécanique – Avancement à Fin Avril 2013

- Mobilisation terminée
- Pré-assemblage des secteurs de toit terminé
- Installation des secteurs de toit terminée
- Démarrage de l'isolation intérieure
- Installation et soudage des pare-vapeur en cours



Le Génie Mécanique – Quelques exemples de commandes passées

- ⇒ AKKA – Prestation service
- ⇒ CMP – Préfabrication
- ⇒ DEPAEUW Littoral – Transports
- ⇒ EIFFAGE INDUSTRIE – Travaux électricité
- ⇒ ETMI – Préfabrication
- ⇒ FIPROTEC – EPI
- ⇒ HAPPY DAY - Reportage
- ⇒ INSITUT DE SOUDURE – Qualification soudage
- ⇒ SARENS – Levage
- ⇒ SPIE – Installation électriques

Le Génie Mécanique – Quelques Perspectives pour la suite des travaux

- ⇒ Travaux plateforme, tuyauteries et équipements externes : offres reçues en cours d'analyse / clarification.
- ⇒ Travaux Electricité & Instrumentation : appel d'offres à préparer pour lancement mi 2013.
- ⇒ Travaux de perlitage (isolation interne) : appel d'offres à préparer pour lancement mi 2013.
- ⇒ Inspections pour contrôle ultrasons « PHASED ARRAY » : appel d'offres en cours de préparation pour lancement printemps 2013.

« SEA WATER TUNNEL »

Razel, CSM Bessac, Soletanche Bachy

LES TRAVAUX DE NOTRE MARCHÉ COMPRENNENT

- Deux puits en paroi moulée qui serviront à la construction du tunnel puis qui seront converti en station de pompage des eaux du tunnel vers les installations du terminal méthanier.
- Un tunnel d'amenée d'eau tiède de la centrale de Gravelines vers le terminal méthanier pour réchauffer le gaz liquide avant son envoi dans le réseau de distribution.
- 12 Raccordements sur les siphons de prise d'eau au niveau de la Centrale Nucléaire de Gravelines

PRÉSENTATION DU GROUPEMENT ATTRIBUTAIRE DU MARCHÉ « SEA WATER TUNNEL »

Réalisation du tunnel

CSM Bessac : Mandataire du groupement

Fournisseur du tunnelier

Razel

Réalisation du puits en paroi moulée

Soletanche Bachy

SOUS-TRAITANCE

Pré fabricant de Voussoirs

Réalisation des plates-formes de chantier

Terrassement

Transport et évacuation des déblais

Évacuation et traitement de boues

Levages

Transports

Sciage / carottage de béton

Travaux topographiques

Nettoyage

LES TECHNIQUES

LE PUITS

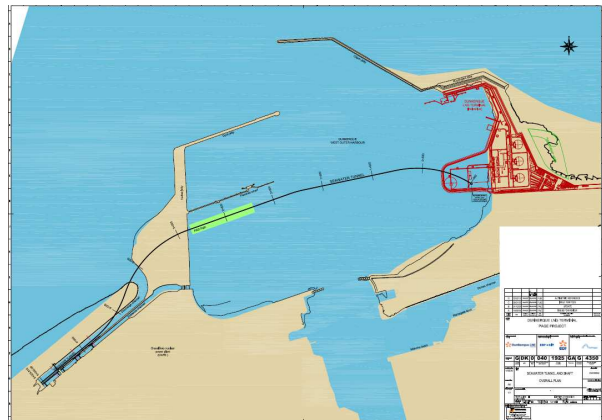
- Profondeur : 50 m (fiche à 70 m)
- Diamètre intérieur : 16 m
- Épaisseur de la paroi moulée : 1,50 m
- Outillage : Benne hydraulique type KS

LE TUNNEL



CONSTRUCTION DU TUNNEL

VUE EN PLAN DU TRACE



PRINCIPALES QUANTITÉS DU PROJET

TUNNEL

Longueur : 5 000 m

Couverture : 50 m

Charge hydrostatique : 50 mCE

Déblais : 55 000 m³

Volume de béton préfabriqué voussoirs : 12 800 m³

Volume d'injections de blocage : 7500 m³

Poids d'armatures 1100 T :

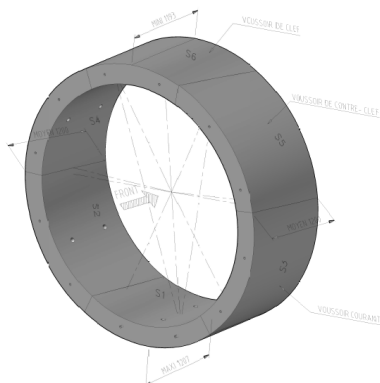
TUNNELIER A PRESSION DE TERRE - EPB

Principe de la pression de terre : Le terrain abattu est malaxé avec des additifs, il est mis en pression dans la chambre par la poussée du tunnelier en corrélation avec l'extraction par la vis



VUE 3D D'ENSEMBLE DE L'ANNEAU

Ech = 1/33



L'anneau de voussoirs : est assemblé dans la jupe du tunnelier puis au fur et à mesure de la poussée du tunnelier, l'anneau est libéré dans le terrain. Le vide annulaire est alors comblé de mortier

GALERIE DE RECU

La galerie de recul : permet le recul du train de marinage dans le puits pour la vidange des bennes et la mise en place des voussoirs

TRANSPORT ET DESCENTE DU TUNNELIER

La descente du tunnelier : est une opération délicate et importante consistant à décharger le tunnelier du convoi pour le descendre dans le fond du puits.



INSTALLATIONS DE CHANTIER

Les installations de chantier du tunnelier : Ce sont toutes les installations nécessaires au bon déroulement des travaux de tunnelier (moyens de levage, poste de transformation électrique, Atelier, Magasin, zone de préparation des voussoirs, compresseur, alimentations en air respirable, ...)

Chantier en groupement pour la réalisation d'un tunnel d'acheminement des eaux de mer pour le terminal méthanier de Dunkerque.

Montant du projet : 43 159 003 € H.T.

- CSM BESSAC / RAZEL BEC : (radier provisoire, galerie de recul, tunnel de 5 km et branchement sur les siphons) – **55 000 m3 de déblais de marinage, 5 km de tunnel**
- Soletanche Bachy : (murettes guides, paroi moulée, puits de rabattement, recépage, rabotage de la paroi, poutres de couronnement, poutres de jonction, radier du puits et de la station de pompage) – **6 500 m3 de déblais de paroi moulée en épaisseur de 1 200 et 600 mm à 65 et 35 m de profondeur, 20 000 m3 de terrassement**

Travaux de paroi moulée

- **Paroi moulée du puits:**
 - 1 200 mm d'épaisseur
 - 65 m de profondeur
 - 8 panneaux de 520 m3 de béton
 - Rendement estimé = 1 panneau par semaine
- **Paroi moulée de la station de pompage:**
 - 600 mm d'épaisseur
 - 35 m de profondeur
 - 11 panneaux de 150 m3 de béton
 - Rendement estimé = 2 à 3 panneaux par semaine
- **Barrettes**
 - 1 200 mm d'épaisseur
 - 35 m de profondeur
 - 2 barrettes de 65 m3 de béton

Travaux de génie civil

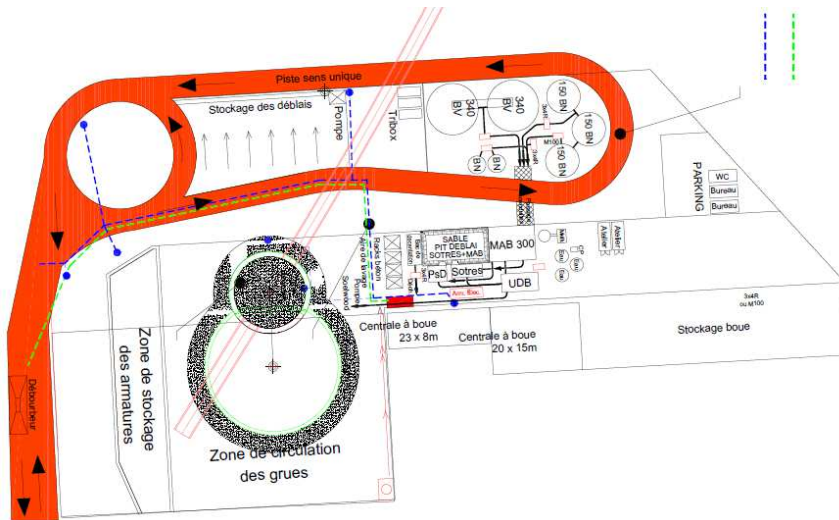
- Poutres de couronnement (élément en tête des parois moulées) – cet ouvrage a pour objectif d'unir les panneaux de paroi moulée
- Poutres de jonction (3 éléments répartis entre +9.85 CMG et -1.00 CMG) – ces ouvrages reprennent la résultante de compression entre les parois moulées du puits et de la station de pompage
- Radier de la station de pompage – 1 m d'épaisseur – cet élément doit reprendre les sous-pressions, il est encastré dans les parois moulées et les barrettes
- Radier du puits – 0.40 m d'épaisseur – de type radier piston

CHIFFRES CLÉS

Quantités:

- 140 ml de murettes guides
- 6 320 m³ de béton de paroi moulée
- 900 m³ de béton de génie civil
- 6 500 m³ de déblais de paroi moulée
- 20 000 m³ de déblais de terrassement
- 4 000 m³ d'eau à extraire pour vider la boîte (2m³/h pour maintenir le niveau d'eau de la nappe durant les travaux)
- Déviation de 0.40% autorisée sur la verticalité de la paroi moulée
- Béton en C40/50 pour les parois moulées avec une rhéologie de 4 heures
- Béton en C35/45 pour les ouvrages en génie civil
- 3 postes de travail durant l'exécution de la paroi moulée – 50 personnes réparties sur les trois postes

PLAN GENERAL DU SITE – phase paroi moulée



Avancement des études

- **Paroi moulée:**
- Note d'hypothèses générales => FUS
- Note de sollicitation => FUS
- Note de ferrailage => FAC, en attente de remarques
- Plan de cages => FAC, en attente de remarques
- Note de vérification au séisme + liquéfaction => en cours, envoi prévu pour semaine 23
- **Génie civil:**
- Note de calcul du radier de la station de pompage => FAC, en attente de remarques
- Plan de coffrage du radier de la station de pompage => FAC, en attente de remarques
- Plan de ferrailage du radier => en cours
- Note de calcul des poutres de jonction et couronnement => en cours
- Plan de coffrage et ferrailage des poutres => en cours

- Note de calcul et plan de coffrage et ferrailage du radier du puits => en attente des résultats des essais sur les argiles des Flandres

Fabrication des voussoirs



Moules dans le hall de production



Ferrailage



Finitions



Bétonnage et vibration



Collage des joints



Décoffrage



Stockage avant expédition