

3 juillet 2013 à Marseille
Les Terrasses du Port



Le 03 juillet 2013, la délégation Méditerranée de l'AFGC a organisé au sein des locaux du siège du Grand Port Maritime de Marseille une série de conférences sur le projet de centre commercial « Les Terrasses du Port » situé au cœur de Marseille, à proximité de la place de la Joliette et son quartier d'affaire.

Rappel du programme

- 9h00 : Accueil au siège du Grand Port Maritime de Marseille
- 9h30 : Ouverture de la journée
Jacques Resplendino - AFGC Méditerranée
- 9h45 : Présentation générale du programme
C-H Delouis – Hammerson, Maîtrise d'ouvrage
- 10h15 : Le chantier – organisation – spécificités
F Ferrier – Vinci Construction France
- 10h45 : Méthodes chantier – infrastructures – superstructures
P Idrac - VCF
- 11h30 : Les profondés – études – interaction avec les terrassements
S Tellier – SENG-VCF
- 12h00 : Stabilité et comportement d'ensemble
E Lacaux – SENG VCF
- 12h30 : Discussion
- 13h00 : Déjeuner
- 14h30 : Visite du chantier

Présentation de l'opération

Le projet 'les Terrasses du Port' constitue un immense centre commercial marseillais de 61000m², situé en plein cœur de Marseille à proximité de la place de la joliette et son quartier d'affaire.

Avec près de 160 boutiques, une sélection d'enseignes de renom, ce centre commercial sera le futur temple du shopping et du bon temps, avec profusion de boutiques, promenades, restaurants au bord de l'eau. Une longue promenade de 260m le long d'une terrasse de 10 000 m² dévoile, par la recomposition de la façade maritime urbano-portuaire, de nouvelles vues sur la Baie.

C'est le projet des superlatifs. Il intègre un parking en infrastructure comprenant six niveaux de 21000m² chacun pour environ 2600 places par niveau, réalisé dans une fosse de 2 hectares creusée sur une profondeur de 15m.

Cette fosse est obtenue par la réalisation d'une enceinte en paroi moulée. Le terrassement de la boîte se fait 'en taupe', après mise en place de plus de 300 poteaux profondés qui soutiennent la dalle transfert constituant l'interface entre les infrastructures et les superstructures.

Réalisés selon la technique de 'up & down' les terrassements des 390000m³ de la boîte ont été réalisés dans un environnement contraint et ont nécessité pas moins de 200 camions par jour en

pointe tout cela sans perturber l'activité portuaire et en interaction avec la réalisation des structures des infra.

Le chantier des infrastructures en cours permettra de voir la réalisation du dernier plancher intermédiaire réalisé à l'aide d'un outil coffrant de 8.0m de long et 90m de large avançant de front. Cet outil repose sur les préfondés. Il libère le fond de fouille de tout étalement, et permet une totale indépendance entre les travaux de structures et de terrassements. Les travaux sont bien avancés à ce jour et la visite nous permettra de visualiser le volume du futur centre commercial, son organisation et les aménagements en cours.

Synthèse des présentations

1 – Le mot du président de l'AFGC Méditerranée

L'association française de génie civil est un lieu d'échanges où se côtoient maître d'œuvre, maître d'ouvrage, bureaux d'études, architectes et plus généralement tous les acteurs oeuvrant pour le génie civil. Le but de l'association est de faciliter le partage des connaissances et des savoir-faire. Les nombreuses manifestations organisées par les six délégations régionales de l'association ainsi que les publications scientifiques et techniques contribuent grandement à atteindre cet objectif. L'expérience acquise sur le terrain est également mise en avant lors des visites de chantier.

2 – Le mot du maître d'ouvrage sur le projet

Le projet des Terrasses du Port a pour ambition de créer un complexe commercial et de loisirs dans l'enceinte du Grand Port Maritime de Marseille. L'opération est inscrite dans le programme de la ZAC de la Cité de la méditerranée portée par Euroméditerranée.

Le projet longtemps porté par l'investisseur néerlandais ForumInvest a été racheté fin 2009 par le groupe immobilier anglais Hammerson.

Le groupe d'investissement Hammerson est la 6^{ème} foncière européenne de développement et de gestion immobilière. Côtée au London Stock Exchange, elle possède un portefeuille de plus de 6.8 milliards d'euros. Elle développe des activités au Royaume-Uni et depuis 20 ans en France, ce qui lui a permis d'acquérir et de valoriser un énorme patrimoine en centres commerciaux régionaux, en retails parks et en centres de marque premium de plus de 1.6 millions de m² en France et au Royaume-Uni. Fort de cette expérience, pour ce projet, le groupe suit particulièrement la conception et le déroulement du chantier, gère son exploitation et a fait appel à une maîtrise d'œuvre extérieure plutôt que de prendre un marché conception-réalisation.

Les manifestations régionales

Actuellement, Hammerson se concentre surtout sur les centres commerciaux notamment à Beauvais et opère une restructuration de ses centres en France pour être encore plus performant et plus proche des attentes de ses clients.

3 – Présentation générale du projet

Celui-ci constitue un immense centre commercial de 61 000 m², situé en plein cœur de Marseille, capitale européenne de la culture 2013, à proximité de la place de la Joliette et de son quartier d'affaire, ainsi que du Port de Marseille, le 1^{er} en méditerranée. Il comportera 4 étages regroupant 160 boutiques de qualité : des petites et grandes surfaces d'environ 2000 m² à 6500 m² comme « Les Printemps », un espace premium, et enfin une terrasse « loisirs et événementielle » (figure 8) avec des restaurants ouverts 7j sur 7 jusqu'à 1h du matin (figure 7). Pour terminer, le projet possèdera un parking sur 6 niveaux comprenant 2 800 places, dont 200 réservées pour le GPMM (Grand Port Maritime de Marseille).

Description des étages du projet :

Niveau R-2 (niveau mer) : Espace de loisirs avec offre de destination pour rejoindre les ferries ;

Niveau RDC (niveau quai) : Une halle gourmande et des enseignes de proximité avec un accès au quai des ferries ;



Figure 1: Modélisation halle gourmande prévue

Niveau R+1 (niveau pont) : Espace de prêt-à-porter et de beauté. On y trouve la présence de 3 espaces typiques (« mails ») de l'Asie, l'Afrique, et la Méditerranée rappelant les principales routes maritimes desservant le Port.



Figure 2: Modélisation du mail Africain prévu



Figure 3: Modélisation mail Méditerranéen prévu



Figure 4: Modélisation du mail Asiatique prévu

Niveau R+2: Espace designers et marques haut-de-gamme (l'espace Premium).



Figure 5: Modélisation de l'espace Premium prévu

On y trouve aussi la présence des 3 mails.

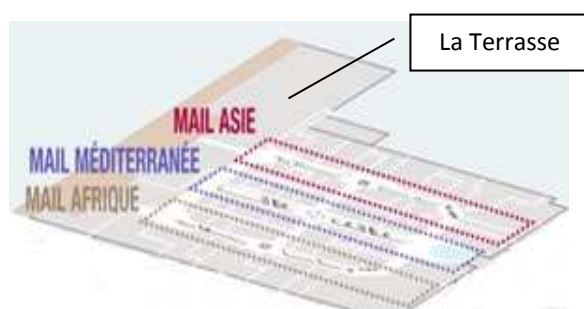


Figure 6: Les 3 mails traditionnels

On peut également accéder à la terrasse panoramique et événementielle avec des restaurants ouverts jusqu'à une heure du matin. Tous les étages communiquent entre-eux et avec le parking enterré au moyen d'escalators ascenseurs en verre panoramiques (figure 9), et ils sont tous équipés de points d'accès WIFI et de plusieurs supports d'orientation interactifs.

Les manifestations régionales



Figure 7: Les restaurants de la terrasse



Figure 8: La terrasse panoramique

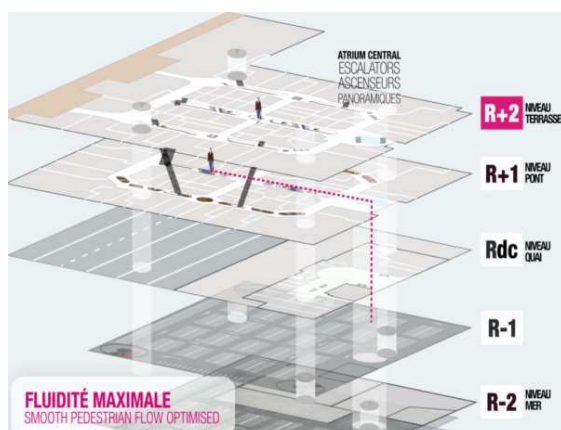


Figure 9: Accès aux étages et au parking enterré

L'architecture du projet a été menée par les cabinets 4A et C Concept design sous la direction de Michel Petuaud-Letang. Leur ambition première était de respecter l'esprit du lieu d'implantation en associant la pierre et l'acier, dans la continuité des volumes et des matériaux environnants. Ce centre commercial devait aussi être accessible par tous les moyens de transports et utiliser la dernière génération des méthodes de construction « durables » labellisées par une certification BREEAM. En ce sens, ce projet possède une dimension qui dépasse le simple centre commercial. En effet, il faut savoir tout d'abord que le projet se situe dans le périmètre d'Euroméditerranée, une opération d'intérêt national qui donne naissance à un nouveau quartier dynamique et attractif au cœur de Marseille. Qui plus est, ce projet se veut être le point de vue emblématique de Marseille et ainsi « the trendy place to be ». C'est pourquoi, Les Terrasses du Port comprennent notamment une terrasse de 260 mètres de long, 15 mètres de large, surplombant la mer (Figure 8) à 20 m de hauteur. Qui plus est, celle-ci jouxte aussi le terminal des ferrys à destination de la Corse et de la Sardaigne, qui ont un flux annuel d'un million de passagers. Sa zone de chalandise comprend 1.450.000 habitants (à moins de 35 minutes de voiture).

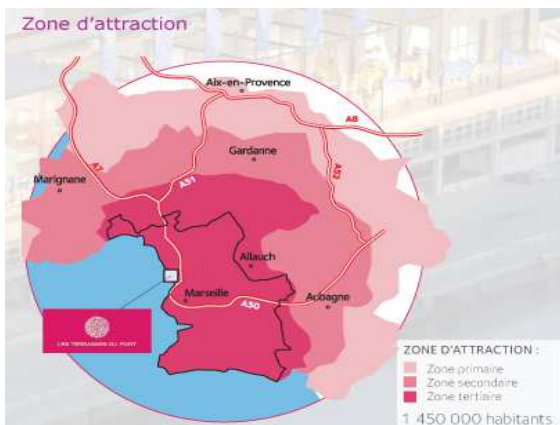


Figure 10 : Les zones de chalandise du projet

De plus, son design déclinera des matières premières en relation avec le site et les 3 routes maritimes du Port : l'Afrique, la Méditerranée, et l'Asie (Figure 6). On retrouvera d'ailleurs cette thématique dans des boutiques typiques des mails. Des interventions artistiques embelliront aussi ce centre commercial avec notamment les œuvres de Cyprien Chabert. L'atrium d'entrée en verre de 40 m de hauteur possèdera une ouverture au soleil et des ascenseurs en verre éclairés du bleu mer (à l'étage le plus bas) au bleu ciel (à l'étage le plus haut) pour rappeler le site exceptionnel d'implantation (figure 11). Pour terminer, le toit des Terrasses et les matériaux utilisés pour la facade auront une géométrie et un aspect qui rappelleront celles des docks à proximité (figure 12).



Figure 11: Le hall d'entrée design



Figure 12: La facade d'entrée du centre commercial

Les manifestations régionales

Un flux de 15 millions de visiteurs par an est estimé, avec des commerces ouverts 7 jours sur 7. Son ouverture est prévue pour Mai 2014.

Ce projet a nécessité un investissement de la part de Hammerson à la hauteur de 475 millions d'€ dont environ 300 millions d'euros pour les travaux et les honoraires de chantier.

4 – L'organisation et les spécificités du chantier

• Un projet urbano-portuaire

Une prise de conscience générale du contexte particulier du site à la fois urbain et portuaire s'est faite ressentir dans l'organisation même du chantier. Pour ce faire, elle s'est articulée en deux phases :

- **En Août 2010**, il y a eu les travaux préparatoires consistant à déplacer les gares d'embarquement de ferrys et à effectuer des travaux de dévoiement et de démolition.

- **Puis, en Avril 2011**, les travaux lourds de construction commencèrent dont le chantier a été confié à 3 groupements au vu de la complexité du site : VINCI Construction France, mandataire du chantier (gros œuvre, clos et couverts, CEA), SPIE (lots techniques), et OTIS (transports verticaux). Ce projet complexe a nécessité de nombreux acteurs (figure 13) avec 6 mois d'études diverses (Décembre-Mai 2011), et environ 52 personnes sur le chantier.

MOA :	SCI Hammerson
Assistant MOA :	GV ingénierie – SCYNA4- RFR éléments
Architecte :	4A
MOE d'exécution	ELITE
BET Structure/VRD :	INGEROP- BARBANEL-AH Conseil
BET Géotechnique	Fugro Géotechnique
Contrôle technique :	Bureau VERITAS
Chantier :	Vinci – SPIE - OTIS
Fondations :	Soletanche Bachy Pieux

Figure 13: Répartition des acteurs du projet

Afin de faire perdurer l'exploitation portuaire pendant le chantier, celui-ci a été découpé en 2 parties (les Bâtiments M1 et M2 de la figure 14) laissant une voie de passage pour l'accès aux ferrys.



Figure 14: Découpage chantier en Juillet 2011

Qui plus est, le chantier ne devait occuper que 23 000 m² sur les 50 000 m² d'emprise générale afin de laisser de l'espace pour les zones d'embarquement et le parking du GPPM. C'est pourquoi notamment, les dimensions des places de parking de M1 ont été réduites.

Le tableau ci-après résume les caractéristiques des deux bâtiments :

	M1	M2
Superstructure	2 niveaux : (emprise : 2 ha) RDC pour l'embarquement des ferries	2 niveaux : (emprise : 1 ha) RDC pour l'embarquement des ferries et restructuration du bâtiment existant le long du quai du Maroc
Infrastructure	Parking 6 niveaux enterrés	-
Fondations	301 poteaux préfondés béton de 7t à 22t	194 pieux STARSOL

Figure 15 : Détails des 2 bâtiments

- *La conception d'un chantier gigantesque en peu de temps*

Dans l'optique de pouvoir livrer le projet le 02 Mai 2014, un mois avant les soldes d'été ; le maître d'ouvrage a décidé de mettre un délai d'exécution très court de 35.5 mois.

Enfin, il faut savoir qu'en plus d'être ambitieux en termes de rapidité d'exécution, ce projet l'est aussi au niveau des quantités de matériaux utilisées (figure 16 ci-après).

Voici quelques chiffres clés de ce projet :

	INFRA	SUPER	TOTAL
Béton	38 000	42 000	80 000 m³
Armature	4 700	5 900	10 600 t
Heures	260 000	165 000	425 000 h
Surface de plancher	136 000	97 000	233 000 m²
Terrassements	350 000	-	350 000 m³

Figure 16 : Quelques quantités du chantier

De ce fait, pour gagner du temps et répondre au mieux à ces besoins énormes en matériaux de construction, des méthodes d'exécution spéciales ont été utilisées, ainsi que l'utilisation de préfabriqués et la mise en place d'une centrale à béton sur site.

Les manifestations régionales

5 – Travaux et méthodes d'exécution

Les deux bâtiments de ce projet M1 et M2 présentent des spécificités d'exécution différentes au niveau de :

- La création du parking enterré sur 6 niveaux et les fondations préfondées pour M1 ;
- Les terrassements surtout pour M1 ;
- La conception de la console de la terrasse pour M2 ;
- La réalisation des planchers d'infra pour M1.

- *Les fondations types poteaux préfondés et le parking enterré du bâtiment M1*

Afin de gagner du temps et d'ainsi respecter le délai d'exécution très court du chantier, la technique du « up and down » a été utilisée pour les fondations du bâtiment M1. Elle consiste en la réalisation de la superstructure (up) du bâtiment, en parallèle avec la conception de son infrastructure (down).

Pour ce faire, 301 poteaux préfondés d'environ 20 mètres de hauteur en moyenne ont été mis en place pour les fondations du bâtiment M1 par trame de 8 m du Nord au Sud (pour assurer 3 places de parking de 2.5 m de large chacune) et par trame variable de 4.97 m à 11.47 m d'Est en Ouest. Ces préfondés respectent aussi des exigences réglementaires :

- Stabilité au feu de 2h ;
- Enrobage de 4cm ;
- Stabilité au feu ELUA avec un plancher neutralisé ;
- Résistance au choc causé par un engin

Les études géotechniques ont permis de mettre en évidence que les fondations devaient être ancrées de 1.5 m dans la couche de Stampien, seule couche assez résistante et cohérente.

Ces poteaux permettent de travailler « en taube », en réalisant la dalle supérieure en premier lieu, puis les différents ouvrages en sous-sol sans grue dans des conditions difficiles (sécurité, bruit, interactions avec les terrassiers), tout en montant la superstructure.



Figure 17 : Phase 1 : Terrassement à ciel ouvert



Figure 18 : Phase 2: Terrassement en taupé

Le tableau ci-après résume les caractéristiques des préfondés :

Structure :	301 Poteaux préfondés béton C60/75 auto-plaçant
Hauteur :	18 à 20 m
Sections :	40*40 à 60*80
Poids :	7.2 t à 22.6 t
Outils de forage :	Hydrofraise avec rail de guidage
Particularités :	Scellés et frettés dans des pieux de diamètre 1400 mm sur 1.50 m dans le béton de fin de forage
Charge verticale maximale récupérée :	2000 t
Maillage de réalisation :	Trame de 8 m par 8 m

Figure 19 : Détails techniques des préfondés

Phasage de réalisation des préfondés :

- Réalisation avec hydrofraise d'un forage tubé au diamètre 1400 mm sur 21 m :



Figure 20 : Forage pour préfondés

- Réalisation d'un pieux de fondation en arase basse à 16 m de profondeur ;
- Mise en place du préfondé avec fretage dans les pieux :



Figure 21 : Pose des préfondés

- Réglage du préfondé :



Figure 22 : Réglage des préfondés

- Remblaiement;
- Dépose du tube;
- Protection de la tête du préfondé

De ce fait, ces poteaux sont nécessaires car ils servent d'appuis à la dalle supérieure, puis aux planchers effectués en dessous et ceux-ci sont liaisonnés aux poteaux par le biais de poutres. Ces poutres de types « consoles » en tête de poteaux sont : préfabriquées, clavées aux poteaux et accrochées par précontrainte au moyen de 6 manchons intégrés dans les préfondés (figure 23). Il a fallu, en tout, 60 consoles et 30 passerelles pour ce projet immense.



Figure 23: Clavage des poutres aux préfondés

Simultanément à la pose des préfondés, la paroi moulée du parking de 180 m long et 120 m de large sur 22 m de profondeur en moyenne sous le niveau de la mer a été réalisée dès Juillet 2011 (figure 24).

Afin de respecter un débit de fuite de 70 m³/h, une jupe injectée et des puits drainants dans un vide sanitaire ont été ajoutés à la paroi. La pose de cette

paroi s'est faite comme pour les poteaux à l'hydrofraise essentiellement. 600 ml de parois ont été placés en 3.5 mois.



Figure 24 : Réalisation de la paroi moulée

• Réalisation des planchers d'infra de M1

Suite à de nombreux problèmes relatifs à la technique du « up and down » (aucun moyen de levage, interaction avec les engins de terrassement, rendement élevé, tramage spécifique de la structure à établir...), les planchers d'infrastructure n'ont pas été coffrés par étaie mais par un outil coffrant plancher de 850 m² formé de dalles et de poutres suspendus (aucun appui au sol ; figures 25 à 27 ci-après). Les fixations se font par des carquants contenant 8 manchons précontraints scellés sur les poteaux préfondés et non sur la paroi moulée pour limiter les effets du retrait sur les parois moulées et les planchers (Figure 19). Un mois après le bétonnage, les planchers, sont scellés à la paroi moulée pour permettre de transmettre via les préfondés, l'ensemble des charges verticales aux fondations. Les études de stabilité des préfondés ont été décrites dans les parties 6 et 7 ci-après.



Figure 25 : Coffrage des planchers d'infra

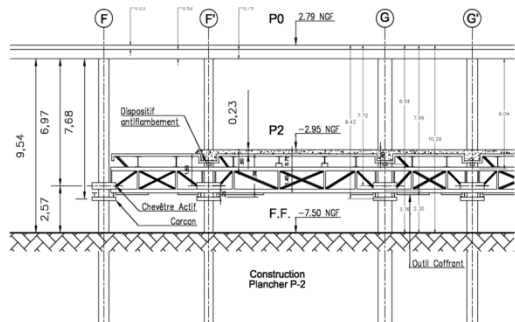


Figure 26 : Coupe du plancher P-2

Les manifestations régionales



Figure 27 : Outil coffrant du plancher

Cette technique de coffrage a coûté environ 1 millions d'euros et a demandé un tramage de réalisation particulier. En effet, la pose des planchers se faisait en ligne du Sud vers le Nord, avec les terrassiers en dessous, sur des cycles de 61 jours par plancher (pose de 1 m² par heure). 4 équipes de 24 personnes au total ont participé : 2 équipes pour le ripage et le coffrage en postes décalées, une pour le coulage du béton, et enfin une dernière pour les arrêts et la pose des joints de dilatation. Un temps de séchage du béton de 24 h était prévu à chaque fois.

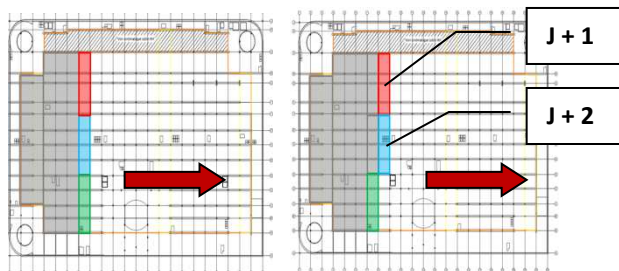


Figure 28 : Cycle réalisation du plancher d'infra

• Réalisation de la Superstructure de M1

La superstructure de tous les étages (poutres/dalles préfabriquées) a été placée ensuite, par grue sur le plancher d'infrastructure posé préalablement.

Chaque étage a respecté une cadence précise : tout d'abord, il y a eu une **1^{ère} phase (figure 29 gauche)** où chaque jour 2 goussets, 4 poteaux, 2 poutres de 16 ml, et 2 poutres de 8 ml ont été posés. Puis, une **2^{de} phase (figure 29 droite)** était prévue où 150 m² de dalle ont été posés journalièrement.

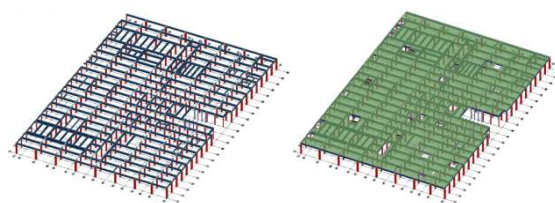


Figure 29 : Phasage pour la superstructure

6 – Interactions entre les préfondés et les terrassements

La gestion des interactions est un point important et crucial en termes de sécurité et de cohérence du chantier. Elle a fait l'objet d'une attention particulièrement rigoureuse vu la complexité du chantier.

Tout d'abord, en ce qui concerne les terrassements de l'infrastructure, vu la faible largeur (120 m) de la paroi moulée et le fait que le parking est excavé sous le niveau de la mer, les terrassements de l'infrastructure se sont faits avec des risbermes périphériques de 8 m de chaque côté, et non pas avec des tirants ou des butons comme habituellement.

D'autre part, la finesse des poteaux préfondés optimisée afin de dégager le maximum d'espace en service pour les places de parking est problématique en phase de construction. De ce fait, les zones de frottement des poteaux préfondés ont été renforcées à leur base grâce à un frettage et des cerces (sur environ 2 m), mais surtout, grâce à des contreventements (figure 30). Ces dispositifs permettent aux poteaux de reprendre horizontalement, comme l'exige le règlement Eurocode, 2 % des charges verticales de la structure (notamment de l'outil coffrant) et de son exploitation (grue par exemple).

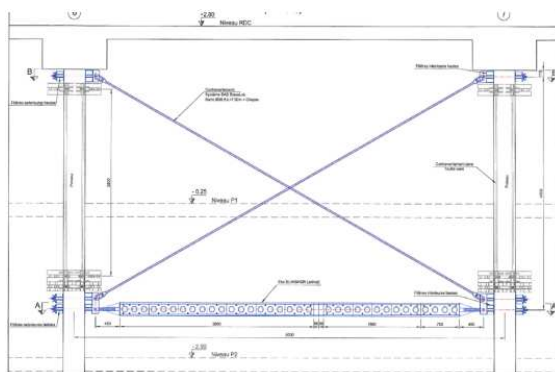


Figure 30 : Renforts des poteaux préfondés

De plus, chaque outil coffrant des planchers d'infrastructure a été conçu pour reprendre environ 50 t à l'ELU, en considérant les charges des grues permettant la réalisation de la superstructure. Chaque outil se situe à plus de 3 m de celui d'en dessous. Enfin, ils ont été posés sur des skis et des vérins vissés et poinçonnés sur les poteaux préfondés (figure 27).

Cependant, le principal point problématique provient du fait que les planchers d'infrastructure ne sont clavés à la paroi moulée qu'un mois après

Les manifestations régionales

la fin de leur réalisation afin d'éviter tout phénomène de retrait et de fluage du béton qui pourraient fissurer, et déformer la paroi moulée et les planchers. Par conséquent, 2 joints de dilatations de 75 m de long ont été posés pour l'infrastructure et l'ont divisé en 3 plaques (figure 32). Mais surtout, au sein de chaque plaque, 9 structures points fixes (groupe de points violet de la figure 32 et figure 31) sur les poteaux préfondés ont été rigoureusement choisis pour reprendre 2 % de l'ensemble de toutes les charges verticales appliquées à chacune des plaques, et donc palliant ainsi le problème de clavage tardif des planchers à la paroi moulée.

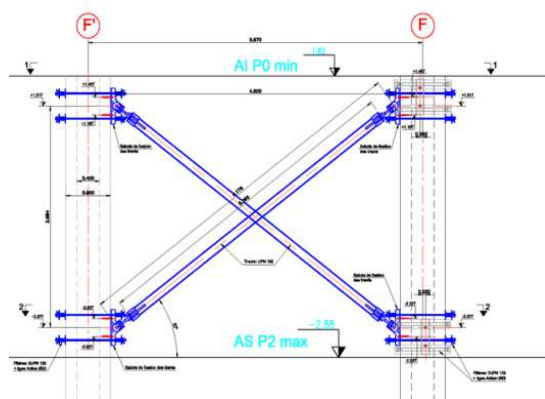


Figure 31 : Dispositifs de fixation des préfondés

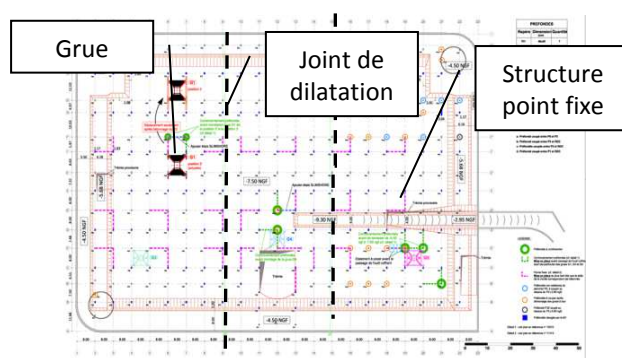


Figure 32: « Gestion interactions terrassement/préfondés de l'infra »

Pour vérifier la résistance des préfondés sous les structures et l'outil coffrant, et par cohérence avec la réglementation Eurocode, le logiciel TIGE a été utilisé notamment pour les vérifications au flambement de l'ouvrage. Pour ces vérifications, l'excentricité e_2 provenant de la charge verticale de l'outil coffrant sur les préfondés (excentricité intervenant longitudinalement dans la direction de la grande inertie) a été ajoutée à l'excentricité réglementaire additionnelle e_1 prise de façon sécuritaire suivant la direction de la petite inertie (figure 33).

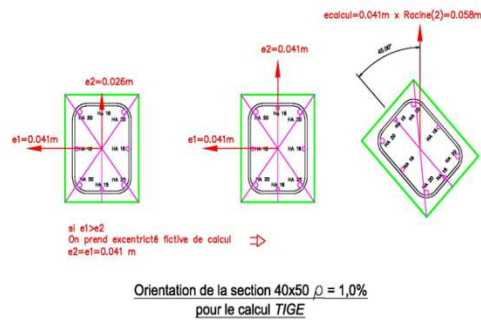


Figure 33 : Excentricités des préfondés

Cette vérification a permis de prendre les mesures adéquates de renforcement des poteaux préfondés liées à leur géométrie et élanement particuliers.

Stabilité et comportement d'ensemble de la structure

• Conception globale des interactions études-travaux

Durant plusieurs semaines en début de projet, de nombreuses réunions avec le bureau d'étude SENG ont permis d'optimiser les solutions techniques sur différents points importants du projet : vérification des descentes de charge et des problèmes de flambement des préfondés, justification de la stabilité des planchers d'infrastructure, analyse des effets de poussée des parois latérales. Ces études ont permis de trouver un compromis entre avancement-cadence et sécurisation par le calcul des phases, et de consolider les différentes méthodes d'exécution comme la préfabrication, l'excavation, le levage, le butonnage, les assemblages poteaux/poutres, les bandes de clavage, et les outils de coffrage. Par ailleurs, il est important de noter qu'au vu de l'ampleur du projet (grandes surfaces, volumes de béton importants, liaisons complexes et nombreuses), les phénomènes de retrait, de fluage et de déformation des sections de béton ne sont vraiment pas négligeables, et ont été rigoureusement appréhendés lors de ces études.

• Articulation en RDC – filtrage des efforts de superstructure

Compte tenu des contraintes d'espace au niveau du parking du projet, les dimensions des poteaux d'infrastructure ont été affinées.

Les poteaux ont été réalisés avec des sections de béton rétrécies afin de ne subir que de la compression centrée pour fiabiliser les calculs et les vérifications au flambement. En effet, les préfondés sont très minces, mais doivent supporter, pour certains une charge verticale allant jusqu'à 2000 t ainsi que des charges de grues importantes (figure

34). Un soin particulier a ainsi été porté sur la gestion des interfaces en réduisant au maximum les continuités entre les structures up and down.



Figure 34 : Stabilité des planchers et des préfondés sous la charge des grues

• Poussée des parois et effets d'angle

Afin de reprendre ces effets sans butonnage ni tirant, le groupement a mené un calcul aux éléments finis de plaques montrant la stabilité des planchers d'infrastructure indépendamment, et a ainsi décidé de créer des dalles liernes incorporées pour reprendre notamment ces effets dans les zone de trémies. De plus, une rampe de terrassement jusqu'au fond de fouille et des renforcements en armature pour les phases provisoires du chantier ont été également mis en place. Dans les angles du parking, 4 cylindres ont été réalisés pour l'accès aux différents niveaux du parking. Ceux-ci ont nécessité des dispositions techniques particulières, car ils ont dû être réalisés en descendant comme les planchers d'infra. Au vu de la complexité du site, la technique du butonnage pour stabiliser ces angles a été écartée pour préférer la création d'épaulements en béton avec des amorces de rampes contenant des bielles (figures 35 et 36). Ce dispositif ingénieux permet de reprendre des efforts de poussée allant jusqu'à 75t/ml et de stabiliser les cylindres. Enfin, des poteaux ont été réalisés entre les préfondés et les cylindres pour éviter leur flambement (figure 36).

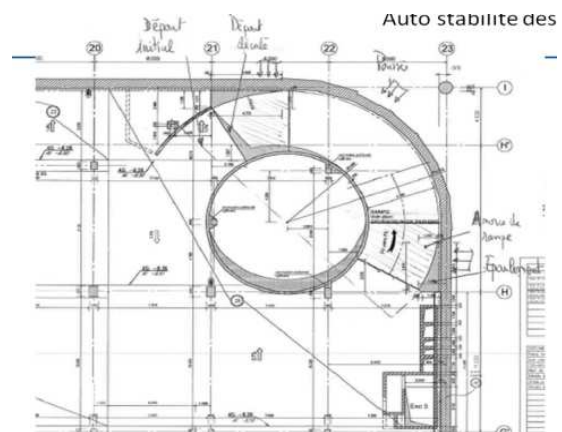


Figure 35 : Plan détaillé des angles avec les cylindres auto-stables

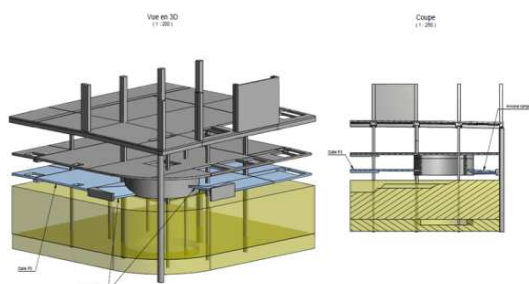


Figure 36 : Vue en 3D des angles et des cylindres

- **Fluage, retrait et flambement**

Pour apprécier ces phénomènes en phase étude et envisager tous les scénarios possibles de retrait et de fluage, des méthodes observationnelles en accord avec les règlements Eurocodes et BAEL ont été utilisées pour les planchers d'infrastructure, les angles et les préfondés.

Pour éviter ces problèmes de fluage, retrait des bandes de clavage ont été prévues pour chaque trame de 8 et pour les angles. Elles ont été posées un mois après la réalisation de chaque trame. Egalement, de grandes plaques (120*64) ont été utilisées, et les armatures renforcées au niveau des points jugés sensibles (trémies).

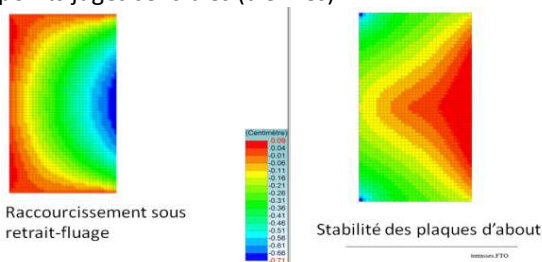


Figure 37 : Modélisations aux abords du retrait, fluage et stabilité



Figure 38 : Analyse temporelle du fluage du plancher d'infrastructure du 2nd étage

- **Le problème de marnes gonflantes du radier**

Afin de pallier à ce problème, deux solutions étaient envisagées pour le sol de l'infrastructure. La première consistait en la mise en place d'une dalle qui devait reprendre la poussée de ces marnes gonflantes avec l'eau. Or, il aurait fallu investir dans des dalles de très grandes superficies et qui devaient résister à plus de 20 t/m². Cela n'étant pas envisageable, ce fut la seconde solution qui fut

réalisée. Elle consiste en la création d'un vide sanitaire suspendu (pas d'appuis sur les pieux) avec des longrines d'appuis dimensionnées pour le gonflement et le soulèvement des marnes sous la plaque du plancher. Cette solution a tout de même demandée un suivi géotechnique hebdomadaire du sol pendant toute la création du vide sanitaire.



Zoom des longrines



Figure 39 : Le vide sanitaire et les longrines

8 – Visite de chantier

Après les différentes conférences de la matinée, l'après-midi a été consacrée à la visite du chantier. Presque tout le gros œuvre était achevé. En effet, celui de la terrasse du bâtiment M2 est déjà terminé, il reste uniquement les éléments de superstructure à poser (figure 40), et l'infrastructure du bâtiment M1 est pratiquement terminée, il reste les finitions : peinture, éclairage, coffrages provisoires à enlever... (Figures 41 et 42).



Figure 40 : La terrasse panoramique



Figure 41 : Le parking enterré

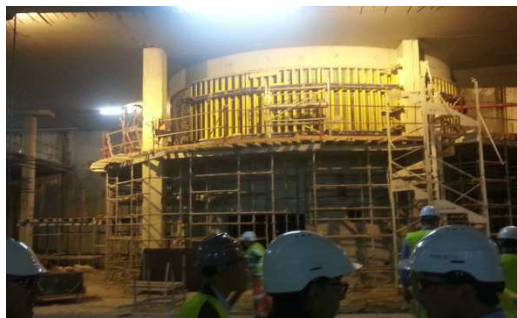


Figure 42 : Les cylindres d'accès au parking

De plus, l'atrium d'entrée, lui aussi, est presque achevé, seul le sol sur le vide sanitaire reste à finir ainsi que la superstructure (escalators, miroir, parois en verre...).



Figure 43 : Vues de l'atrium

Enfin, la façade est achevée et rappelle vraiment bien les docks alentours.



Figure 44 : La façade d'entrée

Actuellement, le maître d'ouvrage essaie de louer les espaces aux différentes boutiques. Il se trouve donc en pleine campagne de publicité pour attirer les gens et les enseignes.

Lors de la visite, nous avons pu remarquer que les deux bâtiments M1 et M2 divisés en phase chantier

Les manifestations régionales

ne l'étaient plus. L'ensemble formait un tout bien cohérent.

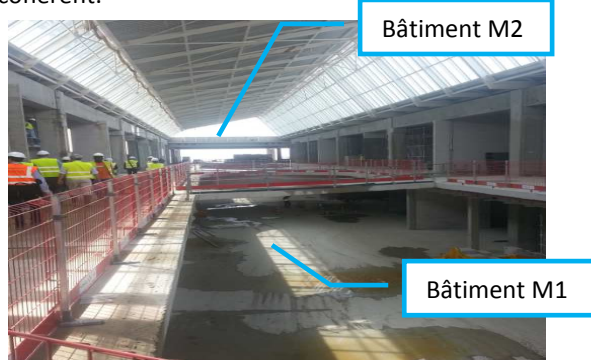


Figure 45 : Vue d'ensemble du projet

Sur site, on pouvait également se rendre compte de la grandeur de ce projet et de l'importante réflexion préalable qu'a dû demander une telle réalisation aussi bien en termes de fonctionnalité, que de défis techniques et d'originalité pour en faire la destination shopping privilégiée des touristes et des personnes alentours.



Figure 46 : Espace pour les Printemps avec une charpente design et aux normes sismiques

Sur site, on pouvait aussi se rendre compte de la présence de la digue qui protégeait le bâtiment M2 de la houle et des chocs de bateaux (figure 47). Qui plus est, les 2/3 de M2 étaient montés sur pilotis pour plus de sécurité.



Figure 47 : Vue panoramique depuis la terrasse avec la digue

Pour terminer, ce qui m'a le plus étonné, ce fut l'implication et la présence fréquente du maître d'ouvrage sur le chantier. Celui-ci a apporté de nombreuses modifications en tirant profit de son expérience dans l'établissement de centres commerciaux. Ce souci du confort des enseignes et des futurs clients du centre commercial est un



véritable gage de qualité, à la hauteur de son coût d'investissement.

9 – Conclusion

Lors de cette journée, l'ensemble des corps de métiers intervenants dans la réalisation de ce projet des « Terrasses du port » ont pu présenter avec clarté et précision les détails de réalisation de cet ouvrage. Cette journée fut intéressante car elle s'est avérée être un moment d'échanges à la fois lors de questions-réponses de la matinée, mais surtout lors du déjeuner et de la visite de chantier. Ce centre commercial design et moderne se veut être un espace commercial et événementiel cosmopolite, original, et de haute qualité. Il participera d'un côté au rayonnement du quartier de la Joliette, et plus généralement à Marseille, capitale de la culture 2013, et d'un autre, à mettre en lumière le projet « Euroméditerranée ». La complexité de ce chantier qui se situe entre le Port

Les manifestations régionales

et l'urbain et qui se veut innovant, souligne encore une fois que les entreprises de Génie civil peuvent réussir de véritables prouesses tant techniques que créatives en s'adaptant de manière ingénieuse à toute situation, aussi complexe soit elle.

C'est sur de tels projets que l'on voit que le Génie Civil recouvre de nombreux aspects et ne cessent d'évoluer, mais surtout, que l'investissement et les idées d'un groupe de personnes soudé peut permettre d'accomplir de grands exploits.

Je tiens réellement à remercier l'ensemble des participants de cette journée pour leur disponibilité, aussi bien les membres de l'AFGC que les autres acteurs du projet pour m'avoir permis d'y participer.

Compte-rendu rédigé par Philippe Nogues, élève-ingénieur de 2ème année à l'ENTPE de Lyon