

La mise en place de la 4D et le suivi des travaux de la charpente métallique sur le chantier de l'Arena92.

Lieu du Projet de Fin d'Études

BATEG, Vinci Construction France

Tuteur du Projet de Fin d'Études

Sébastien TOUZEAU

Correspondant pédagogique INSA

Mael COUCHAUX

PFE soutenu le 23/06/2017



Remerciement :

Au terme de ce projet de fin d'étude, je tiens tout d'abord, à remercier l'entreprise BATEG de m'avoir accueilli et intégré en son sein.

Je remercie Mr. Jean-René Labonne, directeur de projet sur le chantier de l'ARENA qui m'a fait confiance et a accepté de me prendre dans son équipe.

Je remercie également Mr. Francois-Xavier Gonnot ingénieur travaux et chef de service de la cellule clos couvert, Mr. Jean-Baptiste Chaffard ingénieur travaux principal, Mr Pierre-Baudouin COMMINS ingénieur travaux et Mr. Sebastien Touzeaux ingénieur travaux et mon tuteur de stage, en chargeant des travaux de charpente métallique sur le projet de l'Arena92. Les assister pendant 6 mois a été pour moi une expérience particulièrement formatrice à la fois sur le plan technique et sur le plan humain. Ils m'ont transmis avec beaucoup de bienveillance une large partie de leurs professionnalismes et m'ont laissés autonome sur des sujets aux enjeux particulièrement complexes.

Je remercie les autres conducteurs de travaux du chantier de l'Arena92, pour leur patience et leurs conseils. J'ai pu voir de façon directe, à leurs côtés, quelles étaient les facettes du métier de conducteur de travaux.

Je joins également à ces remerciements Marco Catane, chef de chantier, et ses équipes. Leurs professionnalismes, les valeurs humaines qu'ils développent au quotidien et leurs conseils m'ont énormément apportés et m'ont conforté dans mon choix de vouloir poursuivre dans ce métier si complet.

J'exprime mon profond respect et gratitude à tous le corps professoral et administratif de l'institut Nationale des Sciences Appliquées de Rennes pour leurs efforts.

Je remercie aussi les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer mon travail.

Sommaire

Remerciement :	1
Sommaire	2
Tables des illustrations :	5
Liste des tableaux	6
Abstract	7
Liste d'abréviations:	8
Introduction :	9
1 Présentation du contexte :	10
1.1 Présentation de l'entreprise :	10
1.1.1 Le groupe Vinci	10
1.1.1.1 Une présence à l'internationale	10
1.1.2 L'entreprise Bateg :	13
1.1.2.1 Histoire de l'entreprise :	13
1.1.2.2 La position de Bateg et ses engagements :	14
1.2 Présentation du projet Arena92.	16
1.2.1 Présentation général.	16
1.2.2 Le projet de l'ARENA et la charpente	18
2 LE BIM et la planification 4D	25
2.1 Le BIM :	25
2.1.1 Définition :	25
2.1.2 Etat des lieux	27
2.1.3 Déroulement d'un projet BIM	29
2.1.3.1 Définition des objectifs de la maquette numérique :	29
2.1.3.2 Création de la charte graphique :	30
2.1.3.3 Définition du niveau de détail	30
2.1.3.4 Mise en place d'un moyen d'échange et de stockage d'information :	32
2.1.4 Les 3 étapes d'évolution vers un modèle central :	33
2.1.4.1 Niveau1 : la maquette numérique isolée	33
2.1.4.2 Niveau2 : la maquette numérique collaborative :	34
2.1.4.3 Niveau3 : la maquette numérique intégrée	34

2.1.5	Mode de fonctionnement de la maquette centrale.....	35
2.1.6	Les avantages du BIM :.....	36
2.2	La planification 4D :	37
2.2.1	Définition générale.....	37
2.2.2	Définition pour le BTP :.....	38
2.2.3	Les Etapes de la planification 4D :.....	39
2.2.4	Les avantages de la planification 4D :.....	40
2.2.4.1	L'intérêt commercial :.....	40
2.2.4.2	L'intérêt technique :.....	40
2.2.4.3	L'intérêt sécuritaire :.....	41
2.2.5	Présentation du logiciel de planification 4D Synchro pro.....	41
2.2.6	Planification 4D de la toiture centrale :.....	42
3	Missions confiées.....	47
3.1	Suivi des fiches de non conformités.....	47
3.1.1	Exemples des non-conformités :	48
3.2	Les ouvrages provisoires :.....	51
3.2.1	Présentation du système de levage du décompresseur :.....	51
3.2.2	Problématique du chantier et solutions proposées :	54
3.2.3	Justification de la nouvelle configuration et vérifications des oreilles.	56
3.2.3.1	Efforts sur les point d'ancrages de décompresseur P14.....	56
3.2.3.1.1	Schéma général.....	56
3.2.3.1.2	Valeurs des efforts	57
3.2.3.2	Efforts sur le système de levage.....	57
3.2.3.2.1	Procédure de calcul pour la détermination des efforts dans les éléments 57	
3.2.3.2.2	Efforts sur les élingues DU DECOMPRESSEUR P14	58
3.2.3.3	OREILLES DE LEVAGE	58
3.2.3.3.1	Vérification des Manilles.....	58
3.2.3.3.2	Vérification des Oreilles	60
3.2.3.3.2.1	Vérification de la géométrie et la pression diamétrale de l'axe sur le trou. 61	
3.2.3.3.2.2	Vérifications de la connexion oreilles/platine.	63

3.2.3.3.2.3 Vérifications de la connexion platine/poutre.....	66
Conclusion.....	72
Bibliographie :.....	73
Annexes.....	74

Tables des illustrations :

Figure 1 : L'arborescence du groupe Vinci.....	12
Figure 2 : Positionnement de Bateg au sein du groupe Vinci	15
Figure 3 : Coupe Nord-Sud du projet de l'Arena92.....	16
Figure 4 : Vue de l'intérieur mode : stade de Rugby	17
Figure 5 : Vue de l'intérieur mode ; salle de spectacle.	17
Figure 6 : Vue de la façade sud de l'ARENA	18
Figure 7 : vue à travers montre la structure de l'ARENA 92.....	19
Figure 8 : Organigramme du projet.....	20
Figure 9 : Photo aérienne de la pose du dernier tronçon de la méga-poutre sud.....	21
Figure 10 : Levage de la MN3	22
Figure 11 : La maquette 3D du mur-manteau.	24
Figure 12: La maquette de la toiture centrale.....	25
Figure 13 : Intervenants sur un modèle BIM	26
Figure 14 : La méthode de la communication classique (sans BIM).....	29
Figure 15 : exemple des niveaux de détail d'une embase d'un poteau métallique.	31
Figure 16 : La mise en place du langage IFC pour un travail collaboratif.....	32
Figure 17 : le niveau 1 du BIM (la maquette numérique isolée).....	33
Figure 18 : le niveau 2 du BIM (la maquette numérique collaborative).....	34
Figure 19 : le niveau 3 du BIM (la maquette numérique intégrée)	34
Figure 20 : Mode de fonctionnement de la maquette centralisée.....	36
Figure 21 : définition de la 4D d'un point de vue géométrique.	37
Figure 22 : Tesseract (hypercube).....	38
Figure 23 : Planning des zones de la toiture centrale.....	43
Figure 24 : Planning détaillé de quelques zones de la toiture centrale.	44
Figure 25 : la tâche « montage de C1 de la zone3-4-5 » et la maquette correspondante	45
Figure 26 : Assimilation du montage de la toiture centrale pour la date du 21 juin.	46
Figure 27 : Procédure de traitement d'une FNC	48
Figure 28 : FNC « enfoncement d'âme au niveau du S26 »	49
Figure 29 : Chauffage de la partie enfoncée	49
Figure 30 : Dressage de l'âme en utilisant des vérins.	50
Figure 31 : Renfort de l'âme par des caissons (des 2 côtés).	50
Figure 32 : Le système de levage du décompresseur.	52
Figure 33 : Système de levage avec des oreilles sur le décompresseur (prévu).....	53
Figure 34 : le détail des oreilles soudées (prévu)	54
Figure 35 : système de levage avec la position finale des oreilles.....	55
Figure 36 : Détails des oreilles boulonnées.....	55
Figure 37 : Le modèle éléments finis du décompresseur et la position des oreilles	56
Figure 38 : les types des soudures sur l'oreille de levage	63
Annexe 1 : Numérotation des ouvrages de la charpente.	74

Annexe 2 : Les degrés de liberté des appuis	75
Annexe 3 : Plan de levage du décompresseur P14	76
Annexe 4 : Découpage de la toiture centrale.....	77

Liste des tableaux

Tableau 1 : récapitulatif des efforts normaux aux points d'ancrages.....	57
Tableau 2 : Taux d'efficacité des manilles pour toutes les forces de réaction obtenus par les modèles de calcul.	60
Tableau 3 : Les efforts de réaction aux points repères	60
Tableau 4 : Récapitulation des vérifications des soudures (W1) au niveau des nœuds.	64
Tableau 5: Récapitulation des vérifications des soudures (W2) au niveau des nœuds.....	66

Abstract

This report summarizes the work carried out during the internship at the Bateg Company, Vinci Construction France.

This project was carried out at the position of driver of works on the site of the Arena92 in La Défense. The objective is to put into practice all the knowledge and methods acquired throughout the INSA Rennes curriculum.

The project, set out in this submission, deals with the implementation of 4D for the follow-up with the structural work on the Arena92, as well as the monitoring of temporary works and nonconformities present on site.

Given the successful experience with BIM on the project, Bateg wanted to optimize the planning of his project and move from 3D BIM to 4D planning. My mission is to study the operation of 4D and to use it for planning the work of the framework. The implementation of this tool allowed to develop and improve the method of collaboration, facilitating the understanding of the assembly, the associated delays, and the organization of the site. In addition, 4D was a very convincing and practical tool, to justify the method adopted, during the meetings of the site.

On the practical level, the presence of nonconformities and contingencies were a challenge for the team, the confrontation with these problems was for me a great experience, which allowed me to develop my analytical express and enrich my knowledge in the metal framework.

Thanks to this internship, I have contributed to missions that have allowed me to glimpse what constitutes the profession of engineer of works in this sector of activity. The work I have done has proved to be very enriching for my professional experience both in the technical field and the human aspect. In the works, I was able to bring my theoretical knowledge and to deepen certain areas that I did not know yet.

Liste d'abréviations:

Lev : levage

Ass : assemblage

FNC : fiche de non-conformité

BIM: Building Information Modeling

SPS : Sécurité et Protection de la Santé

Introduction :

La dernière année au sein de l'Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Rennes, s'achève par un stage de fin d'études nous permettant une insertion dans le monde professionnel et également de répondre, seul ou au sein d'une équipe, à une problématique touchant le domaine du génie civil.

Afin de parfaire ma formation et d'évoluer dans un domaine qui me correspond, j'ai choisi d'effectuer ce stage de fin d'études au sein de l'entreprise BATEG, filiale de Vinci Construction France, sur le chantier de l'Arena92. Dans un premier temps je me suis intéressé au BIM et la mise en place de la 4D pour la planification des travaux de la toiture en charpente métallique du projet. Dans un deuxième temps je me suis chargé de suivre les travaux modificatifs ainsi que les ouvrages provisoires sur le chantier.

Ce mémoire présente les grandes étapes du projet de fin d'études, de façon synthétique.

Mon projet de fin d'études comporte deux sujets principaux, et chacun est décomposé en plusieurs sous-parties.

Le premier sujet « Le BIM et la planification 4D » se décompose ainsi :

- présentation du BIM
- Définition des étapes d'un projet BIM.
- Les étapes d'évolution d'un modèle BIM vers un modèle central
- Les avantages de BIM
- présentation de la planification 4D et ses étapes.
- Présentation du logiciel de planification 4D « Synchro pro »
- Application : planification 4D de la toiture centrale.

Le deuxième sujet sera traité comme suite :

- suivi des fiches de non-conformité
- suivi des ouvrages provisoires, vérification des oreilles de levage de décompresseur P14.

1 Présentation du contexte :

1.1 Présentation de l'entreprise :

1.1.1 Le groupe Vinci

VINCI est un groupe industriel français leader mondial de concessions, de constructions et de services associés (énergie, promotion immobilière).

Le groupe construit des bâtiments, des grands ouvrages, des parkings, des infrastructures d'énergies et de transport (routes, autoroutes et voies ferrées). VINCI gère également des stades, des parcs de stationnement automobiles, des aéroports et des autoroutes.

VINCI est né du regroupement de plusieurs entités :

1899 : création de la SGE (Société Générale d'Entreprise) par deux polytechniciens. Les activités sont variées : lignes de chemin de fer, usines hydro-électriques et réseaux de distribution électrique.

- 1988 : achat de la société Campenon-Bernard spécialisée dans la construction
- 2000 : la SGE est rebaptisée VINCI, qui rachète le groupe GTM
- 2001 : création de VINCI Park, qui deviendra une entité de VINCI Concessions
- 2005 : naissance de VINCI Autoroutes
- 2006 : création de VINCI Energies, future filiale du Pôle Energies

1.1.1.1 Une présence à l'internationale

L'effectif de Vinci est de plus de 185 452 salariés en 2015. Son chiffre d'affaires pour l'exercice 2015 est de 38.5 milliards d'euros pour un résultat de 2 046 millions d'euros.

Vinci est un groupe qui réunit un ensemble de compétences très complémentaires dans la construction et les concessions dans plus de 100 pays.

En effet, Vinci possède :

- 4398 kms d'autoroutes françaises (sous la tutelle de VINCI Autoroute)
- 1 390 000 places de stationnement à travers le monde (gérées par VINCI Concessions)
- 34 aéroports dans le monde (sous la tutelle de VINCI Airports)
- VINCI Railways pilote la réalisation en France de la ligne à grande vitesse Sud Europe Atlantique.

- Vinci Stadium exploite quatre stades en France dont le stade de France et un stade en Grande-Bretagne.

Et un nombre important de chantiers :

- 280 000 chantiers dans le monde en 2015.

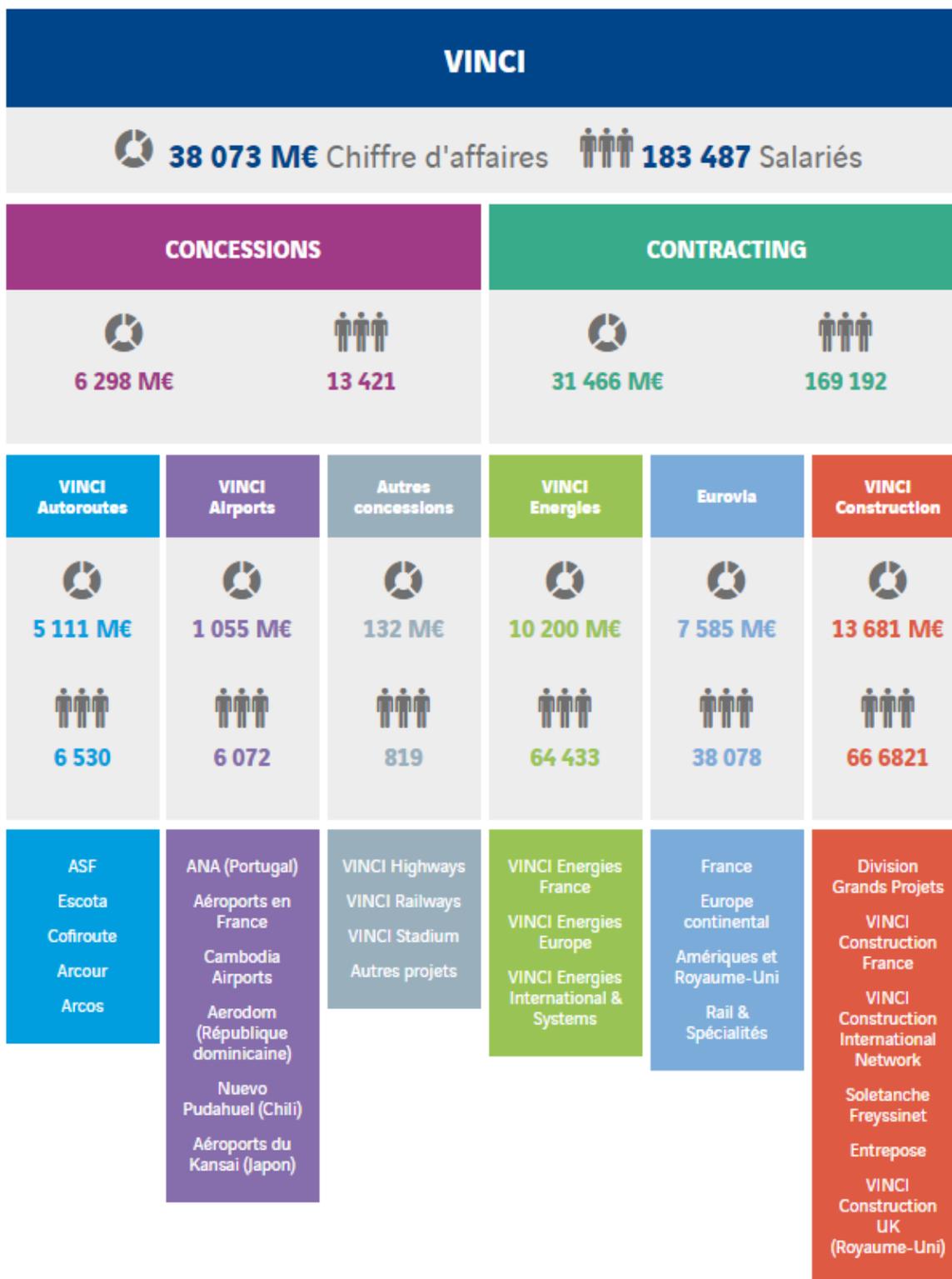


Figure 1 : L'arborescence du groupe Vinci.

1.1.2 L'entreprise Bateg :

1.1.2.1 Histoire de l'entreprise :

BATEG, entreprise générale du bâtiment, intervient depuis plus de 30 ans en Ile-de-France.

BATEG, anciennement entreprise Oger, née en 1979 est une filiale de VINCI Construction France.

BATEG prend une place prépondérante dans le développement du quartier de La Défense à Paris. Devenue filiale du groupe CBC en 1982, elle réalise pendant plus de dix ans les plus grands ouvrages de ce quartier : les tours IBM, UAP, Manhattan, Neptune et restructure une première fois le CNIT en 1989.

- Années 1990

BATEG, forte de son expérience des grands projets, réalise la Cité de la musique à la Villette, la galerie du Carrousel au Louvre et les galeries de Paris Matignon. L'activité se diversifie et l'entreprise se développe sur tous les secteurs du neuf et de la réhabilitation. Elle reste incontournable à La Défense où elle réalise notamment durant cette période les tours Kupka, une des tours jumelles de la Société Générale, ainsi que la Colline de l'automobile.

- 1997

BATEG rejoint le groupe SGE qui deviendra VINCI en 2000.

- Années 2000

BATEG confirme une présence forte sur le marché de l'Ile-de-France avec près de trente chantiers ouverts chaque année. Parmi ces chantiers, des opérations d'envergure sur le site de La Défense : la Tour Granite, la salle des marchés de la Société Générale ou la deuxième restructuration du CNIT et de la Tour Descartes, mais aussi le Palais des Sports à Issy-les-Moulineaux, le siège de Groupama à Paris, la restructuration du château de la Muette, siège de l'OCDE. C'est dans cette période que BATEG complète son développement en initiant des opérations de montage immobilier ou la réalisation de la Cité du cinéma à Saint-Denis, la deuxième restructuration de la tour Eqho, le conservatoire de Puteaux, l'opération de logements d'Evry, le réaménagement du premier étage de la tour Eiffel.

- 2017

Inscrite dans un mouvement global de renouvellement de VINCI Construction France, l'activité Bâtiment Île-de-France se réinvente autour de 4 pôles d'expertise :

- L'Habitat
- Les ouvrages fonctionnels neufs
- Les ouvrages fonctionnels réhabilités
- Le développement immobilier

BATEG est en charge de la partie privée de la direction opérationnelle des ouvrages fonctionnels neufs.

1.1.2.2 La position de Bateg et ses engagements :

Filiale du groupe VINCI, BATEG a bâti une solide relation de confiance avec ses clients avec lesquels elle s'implique très en amont pour que tout concorde à la bonne marche du projet. La démarche de performance de BATEG se base également sur une méthodologie rigoureuse et une exigence quotidienne en matière de sécurité, qualité et environnement.

BATEG s'engage au quotidien :

- Tous concernés par la prévention

BATEG s'investit sur le front de la prévention et déploie un ensemble d'actions pour éviter tout risque d'accident.

- La tenue des délais

BATEG s'emploie à livrer des ouvrages de qualité en visant le "zéro réserve".

- La maîtrise de l'impact environnemental

BATEG développe des expertises et des solutions pour éco concevoir ses ouvrages. La limitation du bilan carbone et la réduction des nuisances du chantier font partie intégrante de

l'offre de l'entreprise.

BATEG a réalisé plus de 700 projets depuis sa création et plus de 35 opérations dans le seul quartier de La Défense dont une quinzaine de tours.

Cette réussite est le fruit du travail de nos 540 collaborateurs et de notre volonté de promouvoir en interne les valeurs de l'entreprise. Notre implication pour la satisfaction du client, la transparence, le partage et le plaisir de travailler ensemble nous permettent de donner du sens à notre travail au quotidien.

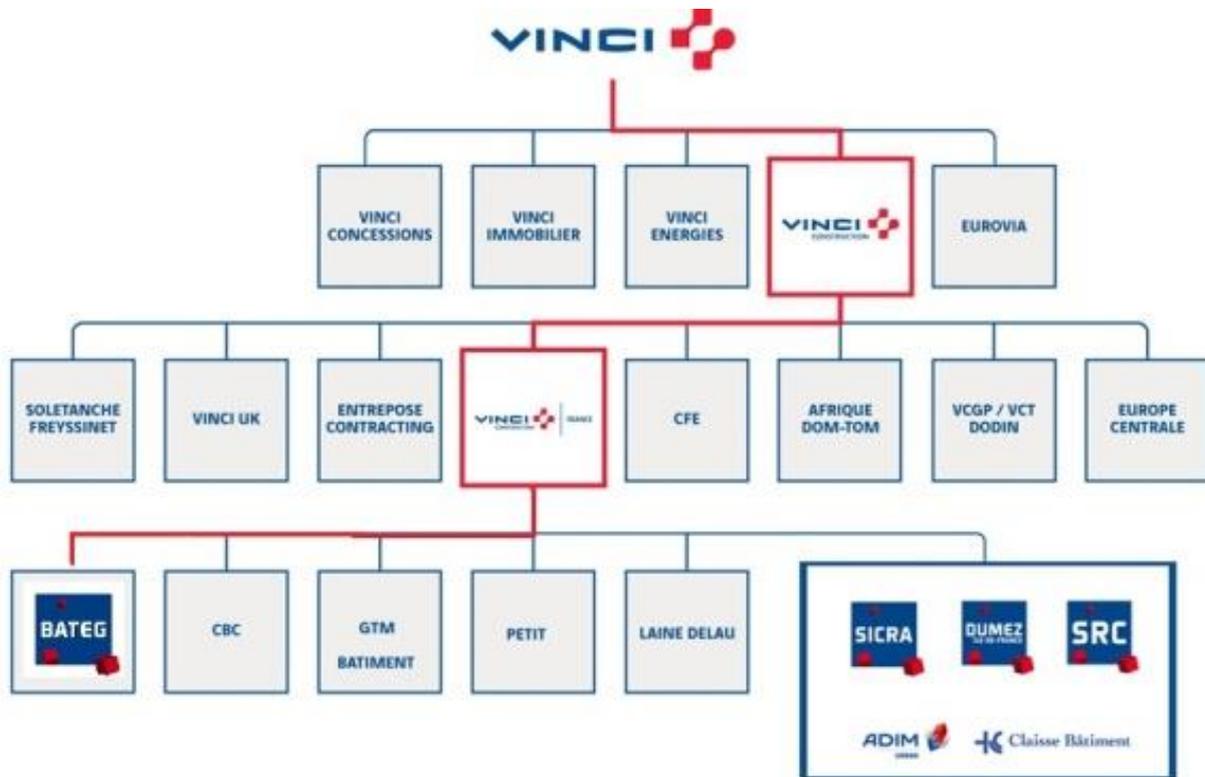


Figure 2 : Positionnement de Bateg au sein du groupe Vinci

1.2 Présentation du projet Arena92.

1.2.1 Présentation général.

Le projet Arena Nanterre-La Défense, qui accueillera « indoor » en 2017 l'équipe de rugby du Racing-Métro 92, le club des Hauts-de-Seine, légende du rugby français depuis 1882, repris en 2006 par son président Jacky Lorenzetti, sera aussi un très grand lieu de spectacle pouvant accueillir de 10 à 40.000 personnes. Ce sera la plus grande salle de spectacle indoor à jauge variable de France.

Celle-ci sera située sur la commune de Nanterre aux pieds de la Grande Arche de La Défense. Ce projet s'inscrit dans le périmètre de l'opération d'intérêt national Seine-Arche. C'est une arena installée dans le rectangle de la trame viaire du nouveau quartier. Une face du rectangle est un immeuble de bureaux qui recevra le Conseil Général des Hauts-de-Seine. Il s'agit de construire la maison du Racing, une enceinte ultra-moderne, dont le club tirera l'essentiel de ses ressources en y organisant, en dehors des matchs de rugby, des spectacles de toutes natures.

Les bureaux et l'Arena sont séparés par un mur manteau, qui assure le rôle d'isolation acoustique, et sur lequel sera accroché le plus grand écran au monde !



Figure 3 : Coupe Nord-Sud du projet de l'Arena92



Figure 4 : Vue de l'intérieur mode : stade de Rugby



Figure 5 : Vue de l'intérieur mode ; salle de spectacle.

1.2.2 Le projet de l'ARENA et la charpente



Figure 6 : Vue de la façade sud de l'ARENA

Projet phare de Vinci Construction France, la construction du stade « ARENA NANTERRE LA DEFENSE » est une mission du groupement d'entreprises Bateg (50%), PETIT (25%), CHANTIER MODERNE (12,5%) et TPI (12,5%) et avec comme entreprise mandataire de ce projet, Bateg.

La durée des travaux prévue est de 36 mois, à partir de décembre 2013. Initialement, la date de livraison prévue était le 2 Janvier 2017. Mais, un retard sur la charpente métallique a entraîné la signature d'un avenant décalant la livraison du projet au 30 Septembre 2017 et un budget révisité de 353 millions d'euros.

Ce projet a pour mission :

- D'enrichir l'urbanité du site et accompagner le geste architectural de l'axe historique Tuilerie-Concorde-Etoile-La Défense.
- De soutenir les activités sportives de haut niveau en offrant une résidence au club de rugby du Racing 92 (actuellement le stade Yves du Manoir à Colombes).
- De compléter l'offre culturelle en Île-de-France.



Figure 7 : vue à travers montre la structure de l'ARENA 92.

Ce stade porte le nom d'ARENA car il a la particularité d'être complètement clos. En effet, après une version du projet avec toiture rétractable, il a finalement été décidé notamment pour des raisons acoustiques de doter le stade d'une toiture fixe et fermée.

La maîtrise d'ouvrage de ce projet est portée par Racing ARENA, une filiale d'OVALTO Investissement (pour le compte du Racing 92) et les abords ont la particularité d'être gérés par la ville et plus particulièrement l'aménageur urbain des Jardins de l'Arche (EPADESA : Établissement public d'aménagement de la Défense Seine Arche).

L'architecte de ce projet est le français Christian de Portzamparc, il a déjà réalisé de nombreux bâtiments connus et reconnus par leur architecture et a reçu de nombreux prix de distinction dont le prix Pritzker (1er français à recevoir ce prix).

L'ARENA Nanterre La Défense sera une salle modulable et polyvalente capable d'accueillir 32 000 spectateurs pour les matchs de rugby et entre 10000 et 40000 spectateurs en configuration concert ou spectacle, elle deviendra alors la plus grande salle de spectacle de France. 35 000 m² de bureaux et des commerces sont également prévus dans l'enceinte du stade.

Le projet est également composé d'une partie bureau de 10 étages bâtiment évoluant de manière indépendante par rapport au stade.

La partie stade est constituée de trois tribunes : à l'est, au sud et à l'ouest.

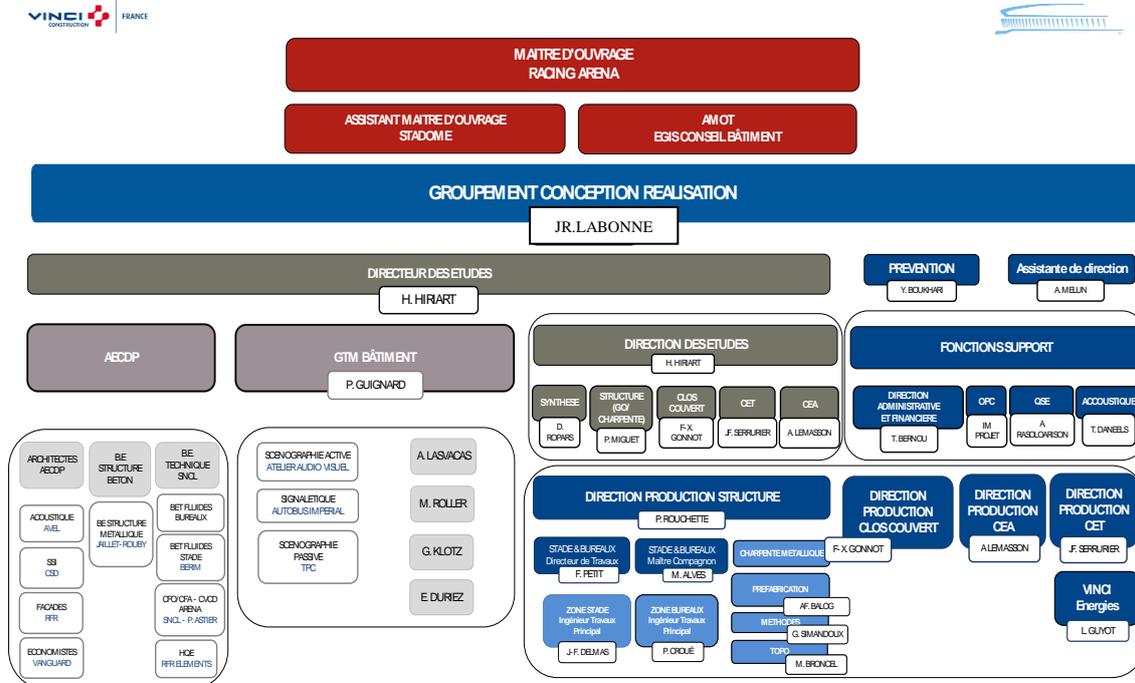


Figure 8 : Organigramme du projet

La charpente métallique correspond à la zone du stade sur laquelle j'ai été amené à travailler. La charpente est constituée de quatre grands ensembles (voir la numérotation des ouvrages de la charpente en annexe 1) :

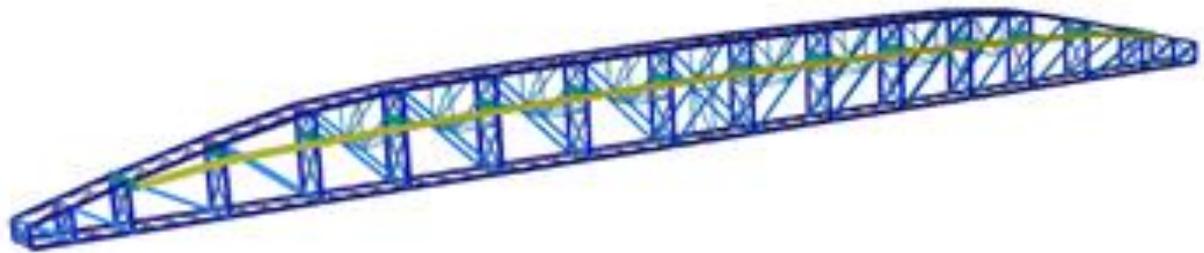
- Superstructures : les 2 méga-poutres Nord/ Sud (MS et MN) et les 2 longitudinales Est/Ouest (LE et LO)

Ces éléments sont porteurs de l'ensemble du reste des éléments de charpente qui seront décrits ci-dessous.

La méga poutre sud est constituée de quatre tronçons MS1, MS2, MS3 et MS4 qui sont assemblés au sol. Chaque tronçon est ensuite levé et posé à l'aide d'une grue d'une capacité de 1350 tonnes du type LR1350. Une fois que deux tronçons sont posés ceux-ci sont

connectés bout à bout, soit par des assemblages boulonnés, soit par des assemblages soudés.
Le poids moyen d'un tronçon est de 300 tonnes.

La méga-poutre sud est considérée à juste titre comme le deuxième plus grand pont de Paris.
En effet sa portée entre appuis de 150 m en fait un véritable ouvrage d'art d'exception.



Méga-poutre Sud (portée=150m, hauteur max=11.5m)

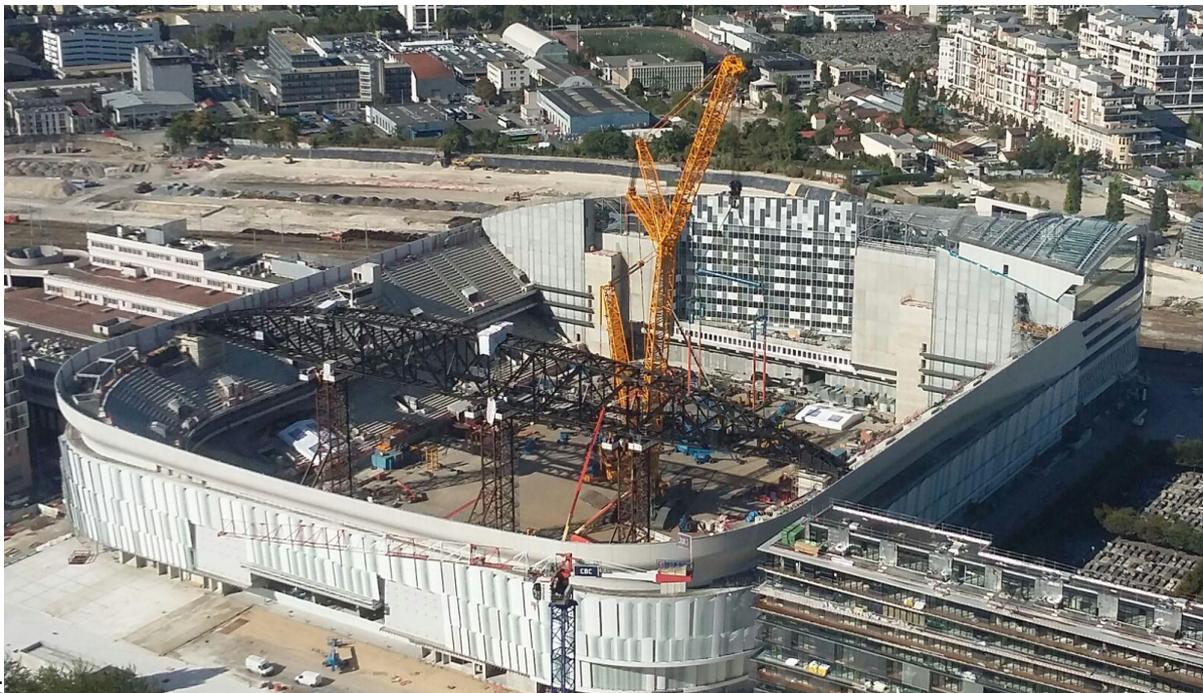


Figure 9 : Photo aérienne de la pose du dernier tronçon de la méga-poutre sud

Les deux mégas poutres, est et ouest, également appelées longitudinales est et ouest sont-elles même subdivisés en deux tronçons. La longitudinale ouest constitué de la LO1 et de la LO2 ainsi que la poutre longitudinale est constituée de la LE1 et de la LE2 supporteront à terme les secteurs ouest et est ainsi que la toiture centrale. La LE et la LO sont symétriques et faites exactement de la même façon. Un tronçon (par exemple LO1) pèse en moyenne 250 tonnes.

La méga poutre nord fait le lien entre les deux longitudinale et constitue le support du mur manteau. Celle-ci est constituée de trois tronçons MN1, MN2 et MN3. MN1 et MN2 sont levées et posées directement connectées aux longitudinales. MN3 est assemblée au sol et levées indépendamment avant d'être connectées à MN1 et MN2.

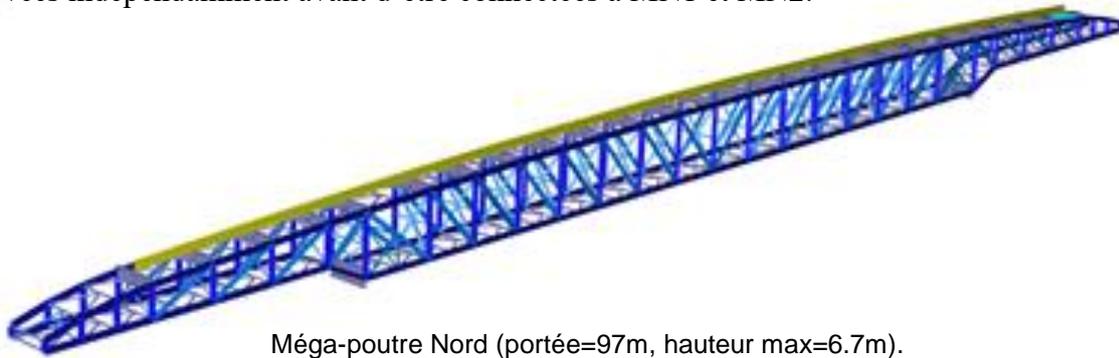


Figure 10 : Levage de la MN3

Sous chacun des points d'appuis provisoires ou finaux, des vérins reprennent les charges des méga-poutres. Ces vérins, d'une capacité de 200 tonnes chacun, sont nécessaires pour le réglage dans l'espace des différents points de référence topographiques implantés sur les poutres et donc plus simplement le réglage de la charpente dans sa globalité.

En phase provisoire des tours d'étaisements de type métallique viennent supporter le poids des méga-poutre.

En phase finale toute cette structure reposera sous les appuis de la MS1, de la MS4, de la MN1 et de la MN2.

La charge totale de la charpente sera reprise au niveau de ses mêmes appuis par quatre tours en béton appelés tours pompiers (celles-ci servent également d'accès pour les pompiers en cas d'incident majeur).

➤ Les « secteurs », les « virages » et le « pièce par pièce »

Ces éléments constituent le remplissage extérieur de la charpente métallique.

Les secteurs peuvent être doubles ou simple et comprennent l'ensemble des locaux technique et machinerie nécessaire au fonctionnement des réseaux énergétiques de la salle de spectacle. L'intégration de corps techniques dans une charpente métallique implique une très bonne organisation car un grand nombre d'intervenants (charpentier, plaquiste, machiniste...) sont amenés à travailler en même temps dans un espace restreint.

Ces secteurs sont connectés en partie sud sur la poutre sud et à l'est et à l'ouest sur les poutres longitudinales.

Entre chaque secteur les éléments métalliques sont montés à la pièce par pièce à l'aide d'une grue située à l'extérieur du stade.

➤ Le « mur manteau »

Cet ensemble métallique suspendu à la méga poutre nord sert de support à un complexe assurant l'isolation acoustique entre la partie stade et la partie bureau.

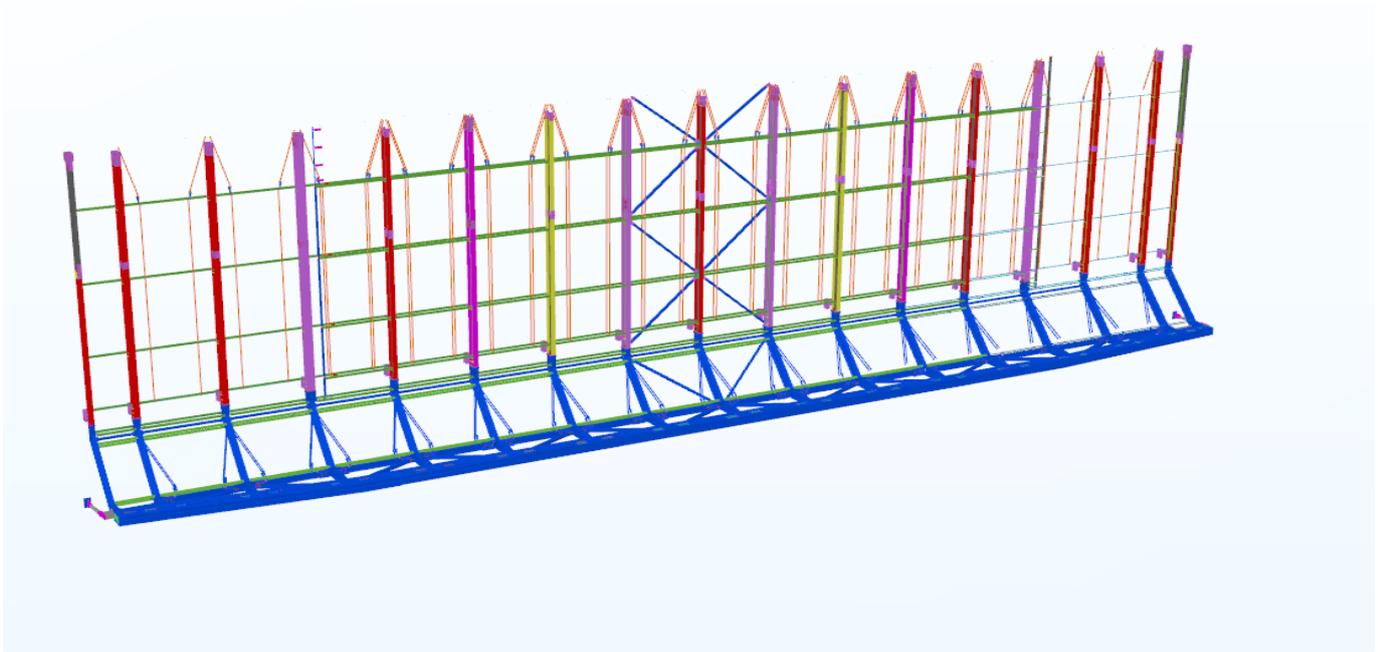


Figure 11 : La maquette 3D du mur-manteau.

- La « toiture centrale », qui assure dans un dernier temps la fermeture de l'ensemble de la charpente métallique.

Cette partie se décompose en : poutres principales posées dans le sens Est-Ouest sont nommées (C1), et des poutres dans la direction nord-sud (C2). Entre les 2 familles des poutres il y a un remplissage en treillis.

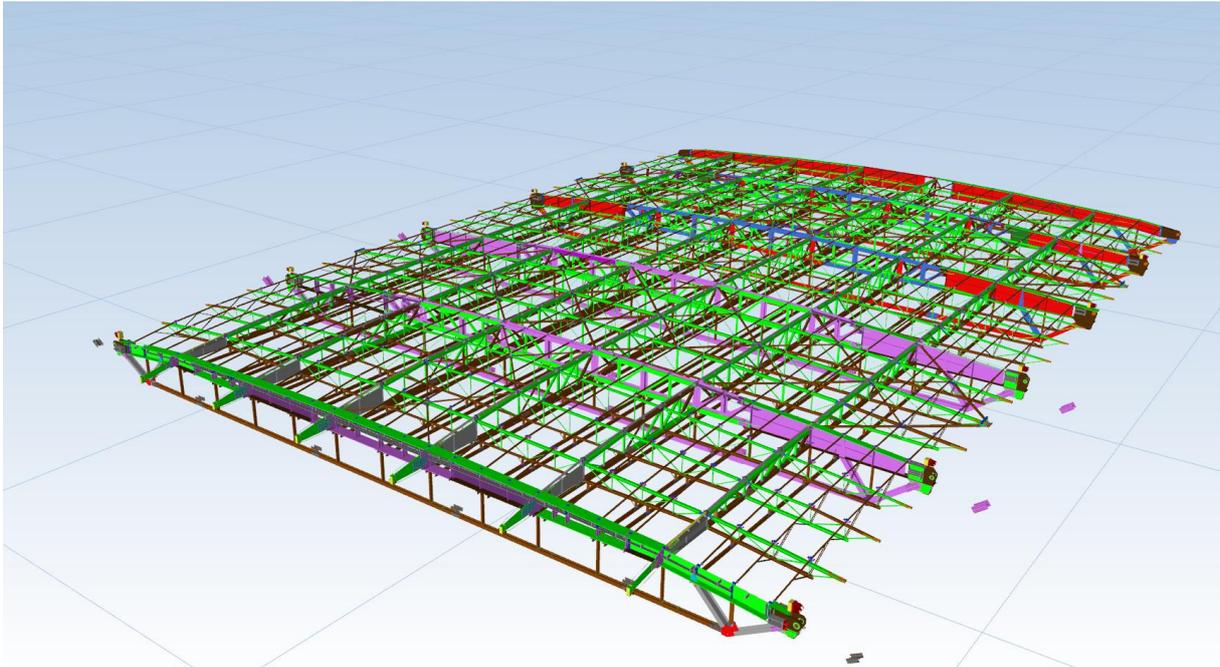


Figure 12: La maquette de la toiture centrale

Principe de stabilité

L'ensemble de la structure est stabilisé latéralement sur les quatre tours. Afin de ne pas induire des phénomènes de bridage dus à la dilatation des mégas-poutres, l'ensemble des quatre appuis forme un système isostatique (les appuis de type « pont »). Tous les autres sont libres en X et Y (bielles ou appuis glissants). (Voir le plan des degrés de liberté des appuis en annexe 2)

2 LE BIM et la planification 4D

2.1 Le BIM :

2.1.1 Définition :

Le BIM vient de l'américain (Building Information Modeling), ce qui être traduit comme : Modélisation des données du bâtiment.

Le BIM est alors une méthode de travail, un processus, qui utilise une maquette numérique 3D intelligente comme élément central des échanges entre les différents collaborateurs du projet.

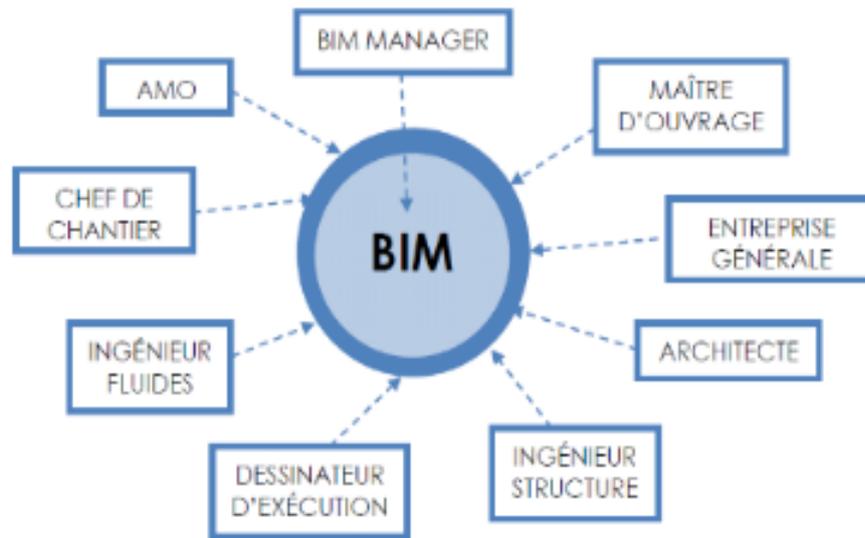


Figure 13 : Intervenants sur un modèle BIM

La maquette prend sa forme initiale entre les mains de l'architecte, après elle est rendue accessible aux différents bureaux d'études à fin d'être complétée et rectifiée. Pour faciliter ces modifications, la maquette sera la plus souvent divisée sous la forme des maquettes élémentaires (métier) par exemple : une maquette fluide, une maquette structure... ces maquettes élémentaires sont ensuite regroupé et fusionner dans une maquette globale (master maquette) pour s'assurer de la cohérence des maquettes entre eux, et de détecter et résoudre les conflits éventuels. Ce travail d'assemblage et d'analyse des incohérents est connu par le nom de « synthèse ». Ainsi conçue, la maquette sert à produire les plans d'exécution pour le chantier.

Cette maquette est utilisée aussi par les entreprises pour la réalisation des métrés, planification ou phasages. Pendant les travaux la maquette est maintenue à jour par les concepteurs et les constructeurs, pour qu'à la fin du chantier « l'avatar du bâtiment » soit exactement identique au bâtiment construit.

Cette maquette, donne la possibilité au Maître d'ouvrage de gérer informatiquement son bien immobilier, dans le but de réaliser des travaux ultérieurs, réaliser des simulations, d'intégrer des systèmes domotiques ...

La maquette numérique est en quelque sorte le dossier personnel d'un bâtiment, permet de suivre l'état de la construction jusqu'à sa démolition.

2.1.2 Etat des lieux

Actuellement dans le monde des BTP, le cheminement des informations d'intervenant à intervenant suit des circuits et des étapes définis réglementairement, précisément par la loi Maîtrise d'ouvrage Public (MOP) et le décret n° 93-1268 du 29 novembre 1993. Ce processus destiné au début aux marchés publics a trouvé un écho auprès du secteur privé qui est a adopté ces étapes pour la réalisation de ses projets.

Un projet de construction suit successivement les étapes ci-dessous :

1. faisabilité du projet architectural et autorisation

- a. La rencontre avec l'architecte
- b. Etudes d'esquisse (ESQ)
- c- Etudes d'avant-projet (AVP)
- d. Avant-projet sommaire (APS)
- e. Avant-projet définitif (APD)

2. Conception détaillée du bâtiment

- a. Etudes de projet-PRO

3. Construction

- a. Dossier de consultation des entreprises (DCE)
- b. Plans d'exécution (EXE)

4. Sélection des entreprises de la construction

- a. Assistance aux contrats de travail (ACT)

5. Le chantier

- a. Direction de l'exécution des travaux (DET)
- b. La gestion du chantier
- c. Ordonnancement, coordination et pilotage du chantier (OPC)

6. Livraison du bâtiment au maître d'ouvrage

- a. Assistance aux opérations de réception (AOR)
- b. Remise au client des dossiers d'ouvrages exécutés (DOE)

Ces étapes sont primordiales pour la réussite d'un projet. Mais, la manière dont collaborent les différents intervenants du projet et comment l'information chemine temporellement et physiquement reste limitée. Le BIM donc, a été créé pour dépasser ces limites.

Pour bien illustrer le rôle du BIM, je donne l'exemple de travail de bureau en entreprise. Le schéma classique veut que les bureaux soient tous cloisonnés. Certaines entreprises où la nature du travail exige plus de collaboration ont alors décidé de décloisonner et s'ouvrir les uns aux autres en créant des open-spaces. Cette nouvelle méthode de travail a démontré de nombreux intérêts. Parmi lesquels, créer une émulation et une synergie efficace au sein des équipes de travail.

Pour le domaine de la construction, la conversion est analogique : le BIM permet de passer d'un travail isolé à un travail collaboratif.

Le BIM est alors la solution-miracle pour la perte d'information due à la conversion 3D/2D qui se répète pendant chaque partage d'information.

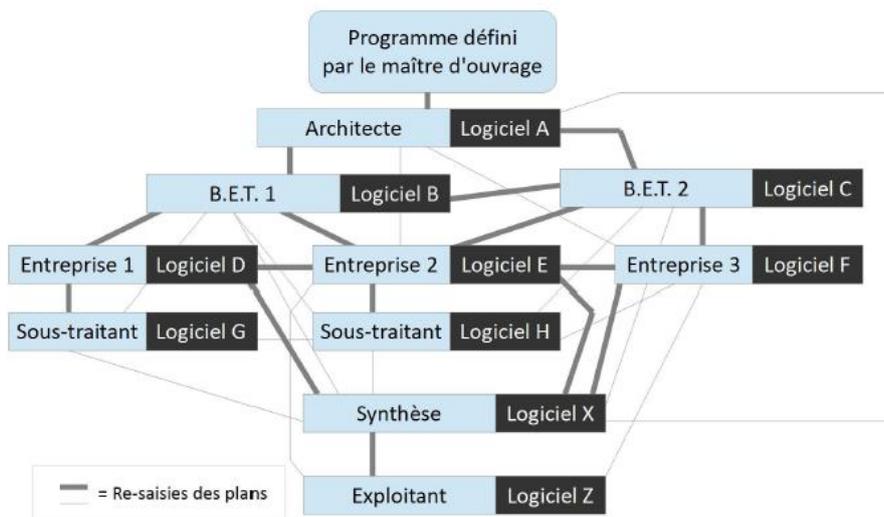


Figure 14 : La méthode de la communication classique (sans BIM)

Ce schéma illustre la méthode de communication classique et la perte d'informations résultantes.

2.1.3 Déroulement d'un projet BIM

Chaque projet à son propre BIM qui répond à ses points spécifiques. Par contre, tous les projets BIM ont des étapes de mises en place communes qui sont :

2.1.3.1 Définition des objectifs de la maquette numérique :

Comme pour chaque projet la définition de l'objectif est primordiale pour sa réussite. Pour avoir à la fin une maquette numérique qui répond aux besoins du projet, il faut bien définir l'objectif de ce dernier. En plus, un objectif bien défini permet à la fois au réalisateur de la maquette de pouvoir anticiper et planifier avec précision la charge de travail qui lui incombe, et au client de recevoir un modèle BIM répondant à sa demande.

Le modèle BIM a plusieurs intérêts parmi lesquels :

- Valider la partie architecturale et vérifier la faisabilité du projet.
- Permet la réalisation des ouvrages et des formes plus complexes.
- Réduire les erreurs, et manipuler la gestion et le contrôle des changements.

- Analyser l'impact des choix de la conception sur les dépenses énergétiques du projet, faciliter l'étude de comportement de la structure porteuse, estimer le prix de projet.
- Utiliser le modèle comme référence pour l'exploitation du bâtiment, sa maintenance...
- Visualiser la durée globale d'un projet et afficher la progression des activités de construction en temps réel (planification 4D), et même en plus, la prévision budgétaire (5D).

2.1.3.2 Création de la charte graphique :

La charte graphique est un document de travail contenant l'ensemble des règles d'utilisation des éléments qui forment l'identité numérique d'un projet. Le but de la charte numérique est de préserver la cohérence dans la réalisation des maquettes numériques du projet. Ainsi que, la protection de l'identité graphique. Tout ça dans le but d'avoir un projet uniforme et homogène.

La charte graphique facilite au récepteur l'identification de l'émetteur et permet de se repérer visuellement dans les différentes maquettes numériques et au sein d'un même support graphique (la lecture sélective). Par exemple, il faut définir une charte et une méthodologie précises, pour chaque échange d'informations : qui, doit rendre quelle pièce graphique ? Dans quel délai ? Sous quel format ?

La création de cette charte est la première étape d'un projet BIM, c'est elle qui gère les méthodes d'échange de fichiers, la codification des maquettes numériques ainsi que les vues du projet.

2.1.3.3 Définition du niveau de détail

Un projet BIM est caractérisé par la qualité et le niveau de fiabilité de ces informations. Cette qualité est influencée par le niveau de détail de la maquette numérique (LOD). Les niveaux LOD vont de 100 à 400 par pas de 100 pour les puristes. A titre d'exemple voici des illustrations schématiques de ces niveaux (LOD), appliqués à une embase d'un poteau métallique.

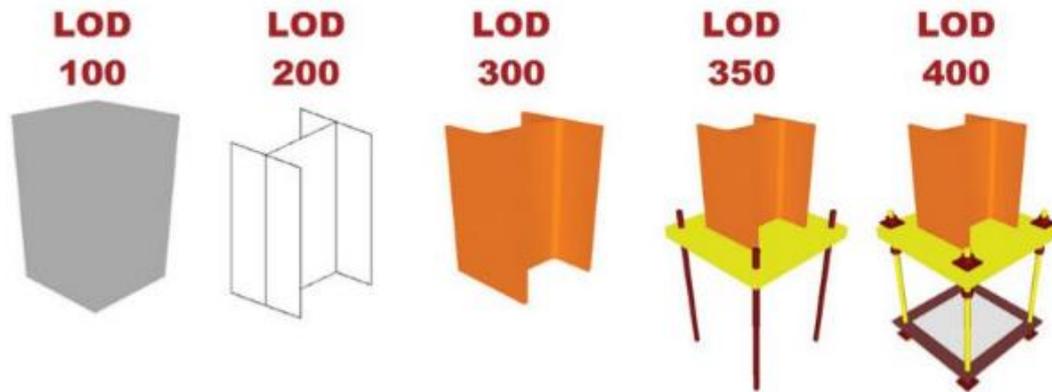


Figure 15 : exemple des niveaux de détail d'une embase d'un poteau métallique.

LOD100 : l'ouvrage n'est qu'un volume sommaire. Ce niveau est comparable à l'esquisse. Il permet déjà de réaliser des simulations d'encombrement et d'aménagement des locaux.

LOD200 : le poteau devient un ouvrage ayant des caractéristiques mécaniques sommaires mais suffisantes pour réaliser des calculs d'efforts et de dimensionnement.

LOD300 : le poteau est clairement identifié, il possède des dimensions précises et il est associé à un modèle précis de profilés métalliques existants dans le commerce.

LOD350 : les détails d'assemblage sont à l'étude, ils permettent déjà de consulter des entreprises et l'établissement de devis mais ne sont pas assez aboutis pour être utilisés en exécution.

LOD400 : le niveau de construction, suffisamment détaillé et documenté pour servir à lui seul de base au chantier pour réaliser des travaux.

Et un dernier niveau non représenté sur cet exemple est le LOD500, qui correspond à la maquette numérique DOE (Dossier des Ouvrages Exécutés), livrée au client et qui lui sert de base pour l'exploitation de son bâtiment en tant qu'avatar réaliste.

2.1.3.4 Mise en place d'un moyen d'échange et de stockage d'information :

De la conception à l'exécution, l'ouvrage passe par des multiples étapes. Sur un processus traditionnel, une grande quantité d'informations importantes sont perdues, suite à des conversions successives 3D/2d et 2D/3D et à la différence des outils utilisés par les collaborateurs.

Le BIM, est considéré comme la solution-miracle de toutes ces sources d'incohérents. Puisque les informations sont capitalisées à chaque étape du projet. Ainsi, une bonne partie des informations est conservée dans la maquette.

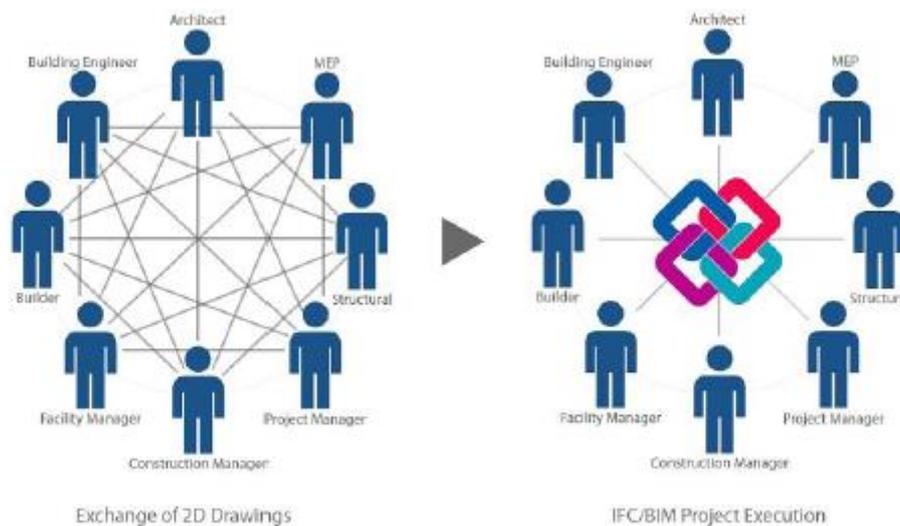


Figure 16 : La mise en place du langage IFC pour un travail collaboratif.

Pour assurer le travail collaboratif du BIM, la mise en place d'un moyen d'échange avec un serveur de stockage est incontournable. Pour permettre la bonne communication entre les différents corps de métier, ainsi que le regroupement sur une base de données commune, un langage a été mis en place et reconnu par le nom d'IFC (Industry Foundation Classes).

Le format IFC : est un format de fichier orienté objet destiné à assurer l'interopérabilité entre les différents logiciels de maquette numérique. Il s'agit d'un format libre et gratuit qui se veut être le garant d'un « OpenBIM ».

2.1.4 Les 3 étapes d'évolution vers un modèle central :

L'adoption du BIM en tant que processus complet implique en plus de passage des outils 2D à des outils 3d, un changement profond des méthodes de travail. Ce passage se fait en 3niveaux successifs.

2.1.4.1 Niveau1 : la maquette numérique isolée

NIVEAU 1

LA MAQUETTE NUMÉRIQUE ISOLÉE

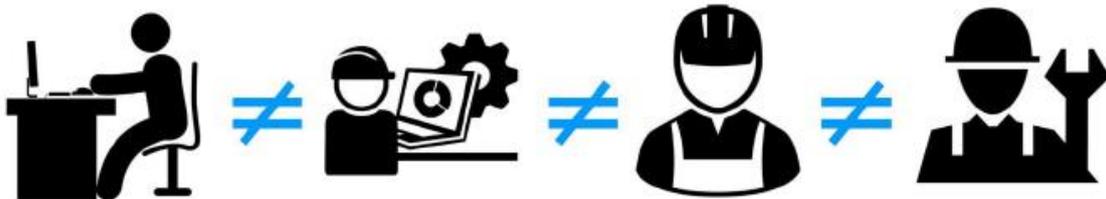


Figure 17 : le niveau 1 du BIM (la maquette numérique isolée)

Le niveau 1 correspond à ce qui se pratique déjà fréquemment : l'architecte possède sa propre maquette, de même pour les bureaux d'études qui modélisent leurs maquettes, et parfois les exploitants en modélisent à nouveau une. Chaque partie modélise de son côté, pour répondre à ses propres exigences, et sans aucune mutualisation.

2.1.4.2 Niveau2 : la maquette numérique collaborative :

NIVEAU 2

LA MAQUETTE NUMÉRIQUE COLLABORATIVE



Figure 18 : le niveau 2 du BIM (la maquette numérique collaborative)

Ce niveau est devenu de plus en plus obligatoire par de nombreux États. On ne parle pas ici d'une seule maquette, mais des plusieurs maquettes. Chaque corps de métier conçoit sa propre maquette, mais il dispose pour cela d'un accès aux maquettes des autres, dans le but de partager certaines informations et de vérifier la cohérence de sa conception par rapport à celles des autres collaborateurs. Concrètement, il s'agit en quelque sorte de stocker sur un serveur qui sert uniquement d'archivage commun sans qu'il serve de répertoire de travail.

2.1.4.3 Niveau3 : la maquette numérique intégrée

NIVEAU 3

LA MAQUETTE NUMÉRIQUE INTÉGRÉE

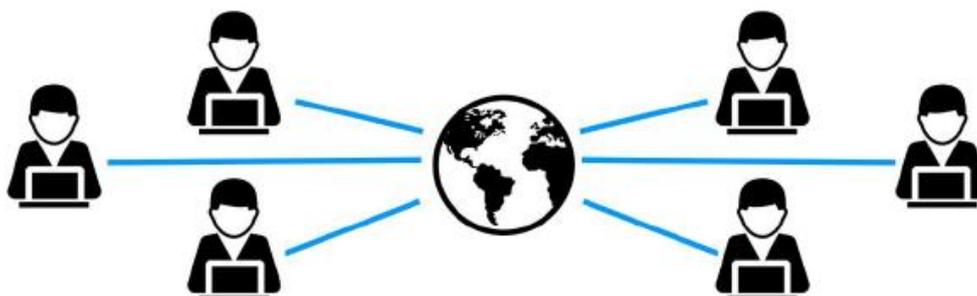


Figure 19 : le niveau 3 du BIM (la maquette numérique intégrée)

À ce niveau, la maquette est centralisée sur un serveur commun. Chaque collaborateur travaille directement sur la maquette centrale, et non sur une maquette individuelle. Donc la collaboration se fait d'une manière permanente et l'avancement global de la conception est instantané, et un BIM manager se charge d'effectuer la synthèse en temps réel des conflits.

2.1.5 Mode de fonctionnement de la maquette centrale

Le premier défi rencontré par ce nouveau processus est représenté par la question suivante : comment est-il possible de savoir quelle version du fichier doit être conservée ?, si tous les collaborateurs dessinent en même temps dans le même fichier.

Pour répondre à cette contrainte, lors du travail collaboratif autour d'une maquette centrale, il est nécessaire de créer des sous-projets. Il y'aura à titre exemple des sous-projets : structure, menuiseries, plomberie, étage1, étage2.... Chaque corps de métier doit posséder le même logiciel. Chacun va sur le serveur commun, et ouvre la maquette centrale. À partir de là, le logiciel créé une copie locale de la maquette sur le disque dur de la machine. C'est sur ces fichiers locaux que chaque collaborateur va travailler. Un concepteur doit se déclarer propriétaire de ce sous-projet en premier, et personne d'autre ne pourra se déclarer propriétaire tant que ce premier travaille. À intervalles réguliers, chaque concepteur synchronise sa maquette locale vers la maquette centrale. À cet instant, le logiciel s'occupe de copier les nouvelles données du sous-projet local pour les injecter dans le même sous-projet présent dans la maquette centrale. En parallèle, il charge les nouvelles données éditées par les autres collaborateurs, pour que toutes les modifications soient visibles pour tous les concepteurs.



Figure 20 : Mode de fonctionnement de la maquette centralisée.

2.1.6 Les avantages du BIM :

Le BIM offre plusieurs avantages à ses clients parmi lesquels :

- Minimisation des ressaisies et gains financiers associés,
- Optimisation du coût global du projet grâce à une meilleure conception,
- Efficience améliorée lors de la conception et la synthèse,
- Erreurs minimisées pendant la conception, la synthèse et la construction,
- Simulations aisées lors de la conception et de la maintenance,
- Construction facilitée lors de la réalisation,
- Travail collaboratif permettant d'améliorer le dialogue entre intervenants et de décloisonner les métiers.
- En plus de tous ces avantages, le BIM donne naissance à un nouveau type de planification c'est la planification 4D.

2.2 La planification 4D :

2.2.1 Définition générale

Le terme de planification 4D, comme 4 dimensions, laisse réfléchir de la nature de cette quatrième dimension dans un espace tridimensionnel tel que le nôtre.

Pour répondre à cette question : j'ai dû chercher dans des divers domaines pour donner une définition plus au moins convaincante

Si nous regardons l'actualité du cinéma, vous trouverez l'apparition d'un nouveau type : le cinéma 4D

Ce type est obtenu en rajoutant au cinéma-3D une quatrième dimension qui prend la forme des effets spéciaux par exemple : simuler du vent, la pluie, un tremblement de terre ou des coups de bâton.

Géométriquement parlant la 4D peut être définie en suivant ce principe : un point translaté donne un segment, un segment translaté donne un carré, un carré translaté donne un cube, et si nous continuons avec cette logique nous aboutissons à une forme connue par le nom de tesseract ou hypercube

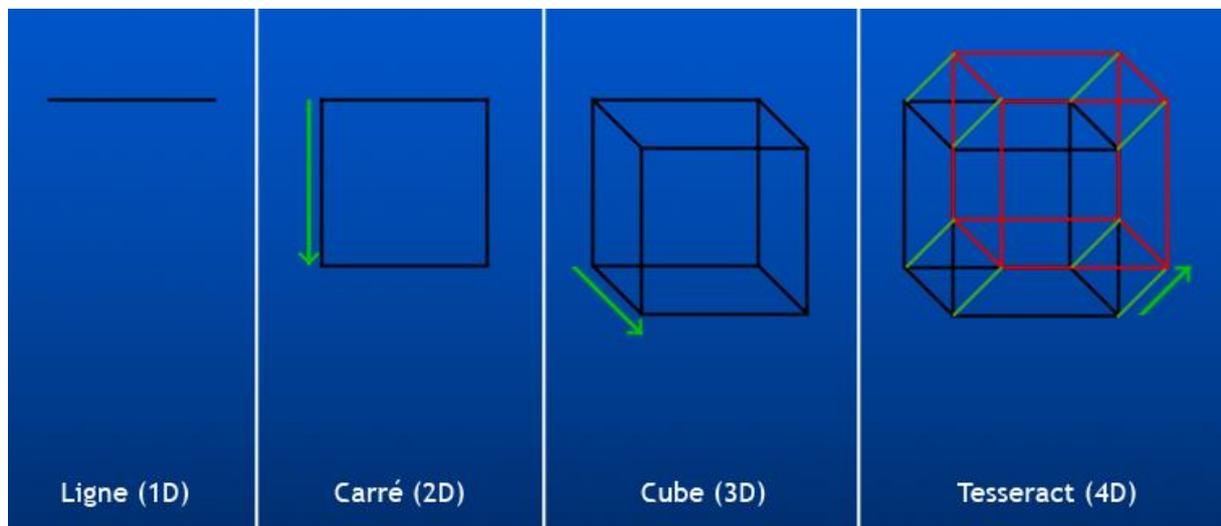


Figure 21 : définition de la 4D d'un point de vue géométrique.

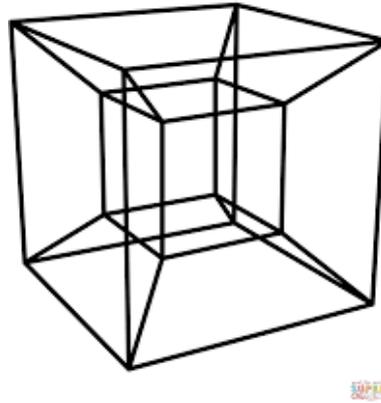


Figure 22 : Tesseract (hypercube)

Mais, en regardant la définition physique d'Einstein concernant la relativité : « la quatrième dimension représente le temps qui fait partie de référentiel espace-temps »

Voilà la définition qui est la plus rapprochée et qui coïncide avec ce que désigne le terme de -planification 4D. Il s'agit donc de détenir une maquette BIM (3D) et de lui ajouter une 4ème dimension: le temps.

2.2.2 Définition pour le BTP :

Pour le domaine de BTP : la planification 4D peut être définie comme étant une séquence d'images pouvant prendre la forme soit d'une vidéo, soit de plusieurs extraits à des dates clés du chantier.

Chaque visuel représente une projection tridimensionnelle du chantier à la date concernée, il s'agit donc en quelque sorte d'un phasage en 3 dimensions.

Le planning 4D est obtenu alors en ajoutant au modèle 3D (la maquette BIM) la dimension temporelle (planning traditionnel).

Dans le but d'avoir une visualisation anticipée du chantier à une date clé.

On peut dire aussi que la 4D est une extension du BIM.

On peut tout simplement résumer le principe de la planification 4D par l'équation suivante :

Maquette BIM + planning(temps) = Planning 4D

2.2.3 Les Etapes de la planification 4D :

Dans cette partie je vais annoncer les différentes étapes incontournables pour la réalisation du planning 4D qui se base sur le BIM, ce dernier sera détaillé dans la partie qui suit.

a) La maquette BIM :

Est une maquette numérique paramétrique 3D qui contient des données intelligentes et structurées.

Cette maquette qui est indispensable pour réussir la planification 4D, contient toutes les données nécessaires de chaque élément : la longueur, la masse, le type de matériau ...

b) Filtrer les objets :

Après avoir récupéré la maquette numérique auprès de l'architecte il faut bien filtrer cette dernière en gardant que les éléments structurels qui représentent les parties ou les éléments concernées par le planning.

c) Modifier les objets :

Il s'agit d'adapter la maquette d'une façon permettant la structure d'être bâti dans le respect de la logique envisagée.

d) La planification traditionnelle :

Ce planning transcrit sous la forme d'un diagramme de Gantt donne en général la réponse aux questions : Qui fait quoi et quand ?

En plus, Il s'agit du 2ème élément de la planification 4D et représente un paramètre sensible pour le projet qui est le temps, alors il faut bien organiser et adapter le plus possible le planning au besoin du chantier,

e) Compiler planning et maquette :

Pour ce faire nous avons recours à un logiciel 4D : SYNCRO PRO qui permet d'une part d'adopter une maquette numérique BIM et d'une autre part d'ajouter le planning.

f) Lier les ouvrages aux tâches :

Cette étape représente l'étape finale de la planification 4D et donne à la fin une simulation du projet sous forme d'une vidéo ce qui permet de visualiser le projet en cours de construction

2.2.4 Les avantages de la planification 4D :

La planification 4D a plusieurs intérêts parmi lesquels on peut citer :

2.2.4.1 L'intérêt commercial :

L'impact visuel de planning 4D est très fort sur le client qui a besoin d'être rassuré que l'entreprise est capable de mener à bien les travaux en respectant le délai imparti. Joindre un tel document à une offre de prix permet de valoriser la crédibilité de celle-ci et démontrer l'intérêt porté par l'entreprise pour le projet.

2.2.4.2 L'intérêt technique :

Malgré que la planification reste incapable de se prémunir des aléas de chantier, elle donne un meilleur outil à la maîtrise d'œuvre et à l'entreprise pour dialoguer d'une façon optimale sur le pilotage de chantier et de mieux saisir les éventuelles zones de conflit entre les différents corps d'état intervenant sur le projet.

Pour l'entreprise d'exécution, la planification 4D permet également d'optimiser et de fiabiliser ses plannings : la connaissance des quantités de chaque ouvrage planifié à l'aide de la maquette BIM permet d'obtenir des données telles que :

- Le volume de béton coulé à une date donnée
- Le nombre et le type des boulons à mettre en place, chaque jour.
- La surface de mur coffrée, chaque jour.
- Le nombre et le type des poutres à mettre en place dans chaque secteur, avec la date de livraison possible

Ces informations sont capitales aux conducteurs de travaux et chefs de chantier de chaque entreprise pour une meilleure communication entre eux. Elles permettent aussi de gérer en bonnes quantités et aux bonnes dates les commandes de matériaux et d'optimiser l'exploitation des matériels.

2.2.4.3 L'intérêt sécuritaire :

En termes de sécurité, le coordonnateur SPS peut utiliser le planning 4D pour mieux appréhender les intentions de l'entreprise et de mettre son avis, avant le début des travaux, ce qui permet d'éliminer une grande partie des situations à risques avant même qu'elles ne se produisent.

En plus de tous ces intérêts cités précédemment la planification 4D peut donner naissance à d'autres types de planification : planification 5D et plus

Sur le même principe que la planification 4D, l'ajout des dimensions supplémentaires à la maquette numérique au-delà de la quatrième dimension, ces dimensions peuvent être en diverses natures (coût de production, nombre de visiteur, consommation d'énergie, coût d'entretien....)

Ce type de planification multidimensionnelle donne plusieurs bénéfices citant par exemple :

Le directeur de l'entreprise peut optimiser la gestion des mouvements de personnel d'un chantier à l'autre, en consolidant les plannings 4D de tous ses chantiers, voyant ainsi l'évolution des ressources nécessaires à chacun.

Le client peut comparer visuellement l'avancement du chantier prévu dans le planning prévu et l'avancement réel sur le terrain

2.2.5 Présentation du logiciel de planification 4D Synchro pro

Synchro pro est un logiciel de planification 4D, conçu spécialement pour réduire les complexités dynamiques des projets du XXIe siècle avec une technique numérique interopérable.

Synchro est un outil fort pour la planification d'un projet, qui permet de :

Automatiser le modèle BIM à l'heure pour mettre à jour le plan de construction en 4D en quelques minutes.

Réduire l'écart de calendrier avec les rapports visuels prospectifs qui identifient les activités, les zones de travail et l'équipement - voir la liste des tâches par l'entrepreneur, le paquet de travail, etc.

Réduire la variance des coûts en utilisant la gestion complète des ressources, voir le suivi des quantités planifié et mis en place, la valeur gagnée du projet / entrepreneur, le chemin critique et plus encore.

Diriger les réunions d'évaluation du progrès en utilisant le modèle Synchro en tant que centre central d'information pour une planification claire, collaborative et productive et une prise de décision avec toutes les parties prenantes.

Prévoir des risques pour la sécurité avant de commencer à travailler sur le chantier en utilisant une analyse dynamique de la coordination spatiale qui identifie le chevauchement du secteur de travail, les risques liés aux grues, le potentiel de retards d'obstruction et plus encore.

Ce logiciel possède une plate-forme bien conçue, ce qui facilite la gestion des paramètres du projet. En plus, il met à disposition des outils performants pour une animation convaincante.

2.2.6 Planification 4D de la toiture centrale :

Parmi les missions qui m'ont été confié, la planification 4D de la toiture centrale. Pour ce faire je me suis basé sur le plan de phasage donné par le bureau d'études.

Afin d'optimiser le temps de montage de la dernière partie de la toiture, nous avons choisi de subdiviser la toiture centrale en 10 zones et de mettre 3 équipes pour le montage :

Le premier groupe s'occupe du montage des poutres principales, appelées (C1), une fois les 2 poutres principales de la zone sont posées, le 2ème groupe attaque les poutres secondaires C2. Au Même temps, le 3ème groupe commence le sous-bandage des poutres principales et le premier groupe passe à la zone suivante et ainsi de suite.

Nous avons choisi de commencer par la zone 1-2 puis la zone 3-4-5 ensuite aller au nord vers la zone 15-16 et finissons par la partie 24-25 où se trouve l'entrée des engins. Tout ça pour

faciliter la circulation des engins et les grues et ne pas gêner la circulation de la grande grue utilisée pour le montage du Mur manteau qui sera monté en parallèle de la toiture centrale.

Une fois la structure est assemblée au sol, nous allons la hisser pour qu'elle prenne sa position finale. Voir le plan de découpage de la toiture centrale en annexe 4.

Pour ce faire nous allons adopter le planning suivant :

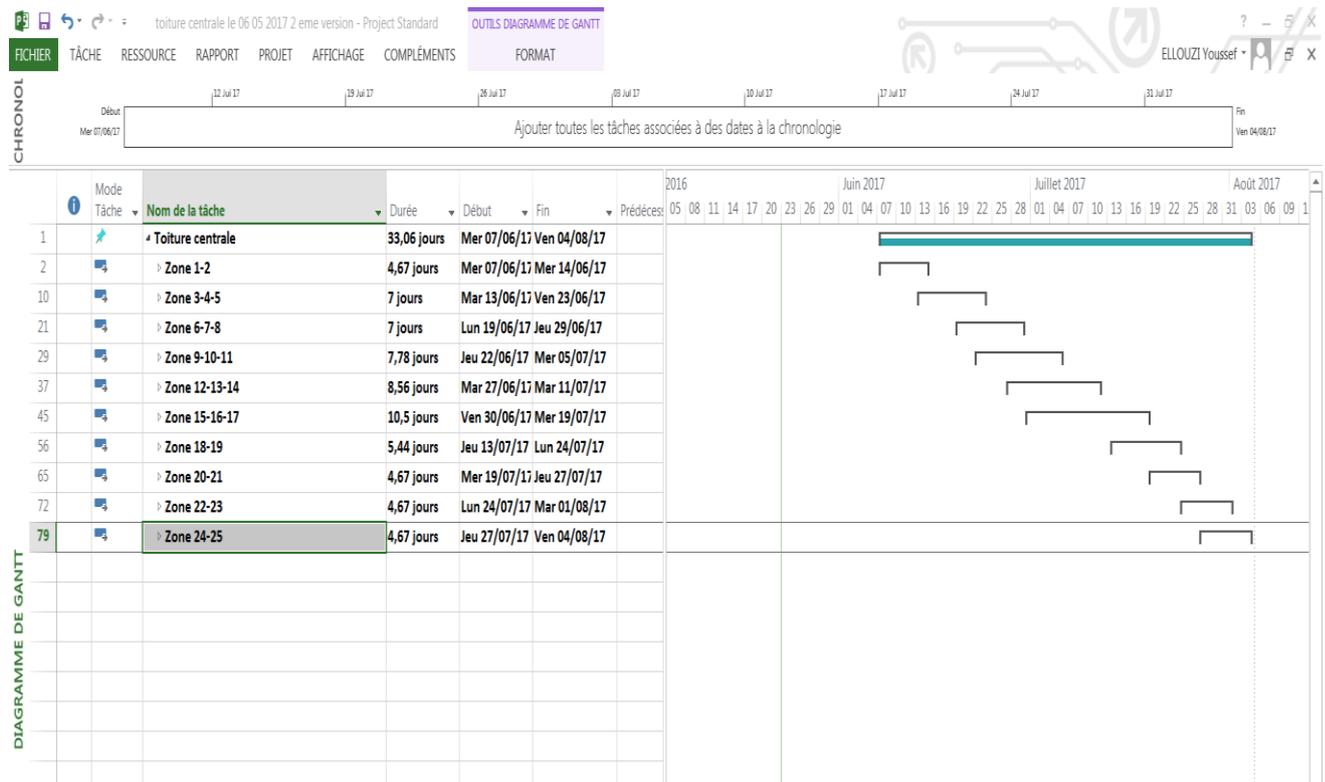


Figure 23 : Planning des zones de la toiture centrale

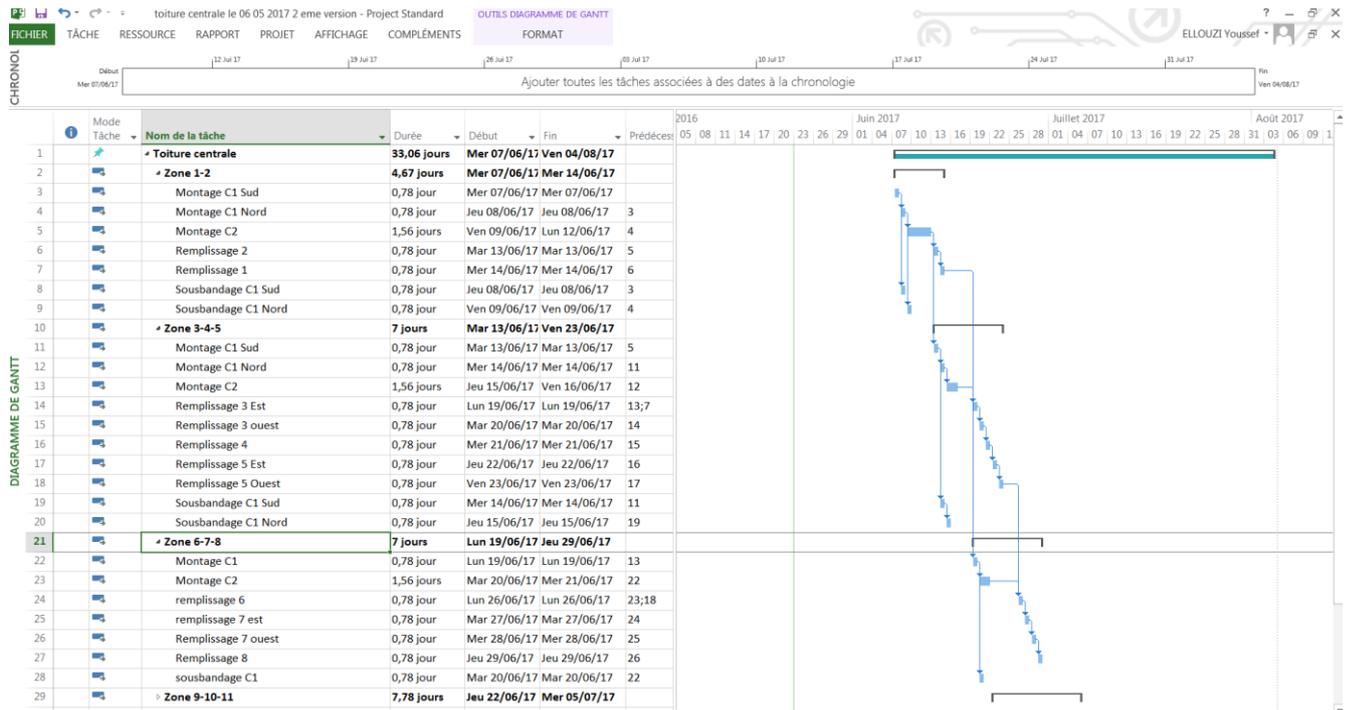


Figure 24 : Planning détaillé de quelques zones de la toiture centrale.

Une fois le planning établi, nous allons faire un découpage de la maquette numérique de la toiture centrale en sous-maquettes, d'une façon à avoir pour chaque phase de planning la maquette correspondante.

L'étape qui suit, est l'association de chaque étape du planning à l'élément IFC qui lui représente. Cette opération est faite à l'aide du logiciel Synchro pro.

La visualisation du montage de la toiture m'a permis de détecter quelques incohérences dans le planning et donc de l'affiner.

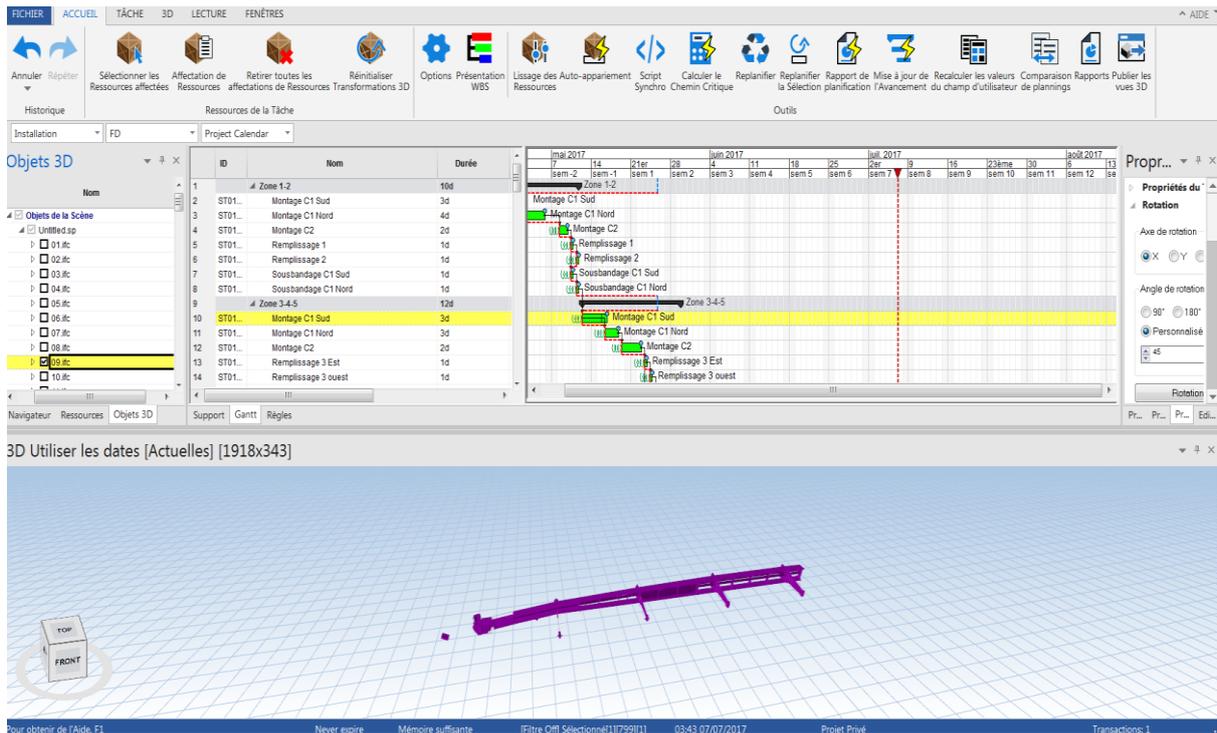


Figure 25 : la tâche « montage de C1 de la zone3-4-5 » et la maquette correspondante

Ensuite, nous avons rajouté les grues et leurs positions pour pouvoir à la suite planifier son apparition et ses mouvements, en fonction du planning adopté.

Le logiciel met à notre disposition des outils pour régler la vitesse d'apparition des tâches ainsi que l'angle de visualisation. Chose qui nous permettons de présenter une vidéo dynamique, pratique et convaincante.



Figure 26 : Assimilation du montage de la toiture centrale pour la date du 21 juin.

Conclusion :

L'évolution du BIM a donné naissance à des nouvelles techniques, tel que la planification 4D. L'intégration de la planification 4D a permis de développer et d'améliorer la méthode de collaboration, en facilitant la compréhension du montage, les délais associés, et l'organisation du chantier. En plus, la 4D était un outil très convaincant et pratique, pour justifier la méthode adoptée, lors des réunions du chantier.

3 Missions confiées

3.1 Suivi des fiches de non conformités

Les fiches de non-conformités constituent un constat fait sur des éléments qui ne sont pas conformes au cahier des charges. Ces non-conformités peuvent porter sur des pièces fabriquées en usine et qui ne sont pas conformes au plan de fabrication. Elles peuvent également porter sur le modèle de calcul de la charpente qui n'est pas conforme aux normes de calcul.

L'important dans le traitement des FNC n'est pas temps le constat en lui-même mais plus la gestion de la remise en conformité. En effet dans la majorité des cas une FNC est décelée lorsqu'il y a blocage au moment du montage et donc les équipes sur chantier ne peuvent plus monter de charpente. Le type de non-conformités peut être de toutes sortes :

Perçements non conformes sur des pièces

Soudures non conformes

Eléments mal soudés entre eux empêchant le montage

Longueur de poutre non conformes aux maquettes

Les FNC les moins importantes peuvent être traités immédiatement sur chantier. Celles plus importantes demandent une analyse poussée tout en étant capable d'agir vite pour ne pas bloquer le montage mais également de prendre les bonnes dispositions techniques.

Pour certaines FNC qui demandaient des modifications importantes sur chantier, je demandais conseil à Mr Serge HURET, un ingénieur études présent sur chantier doté d'une très grande expérience en calcul de charpente métallique, et qui était capable de me donner une réponse rapide et justifiée par le calcul. Sa capacité d'analyse et ses connaissances continuent de m'impressionner et m'ont énormément appris.

Il est important de suivre les FNC du début à la fin, cela peut se résumer de la façon décrite dans le document ci-dessous.

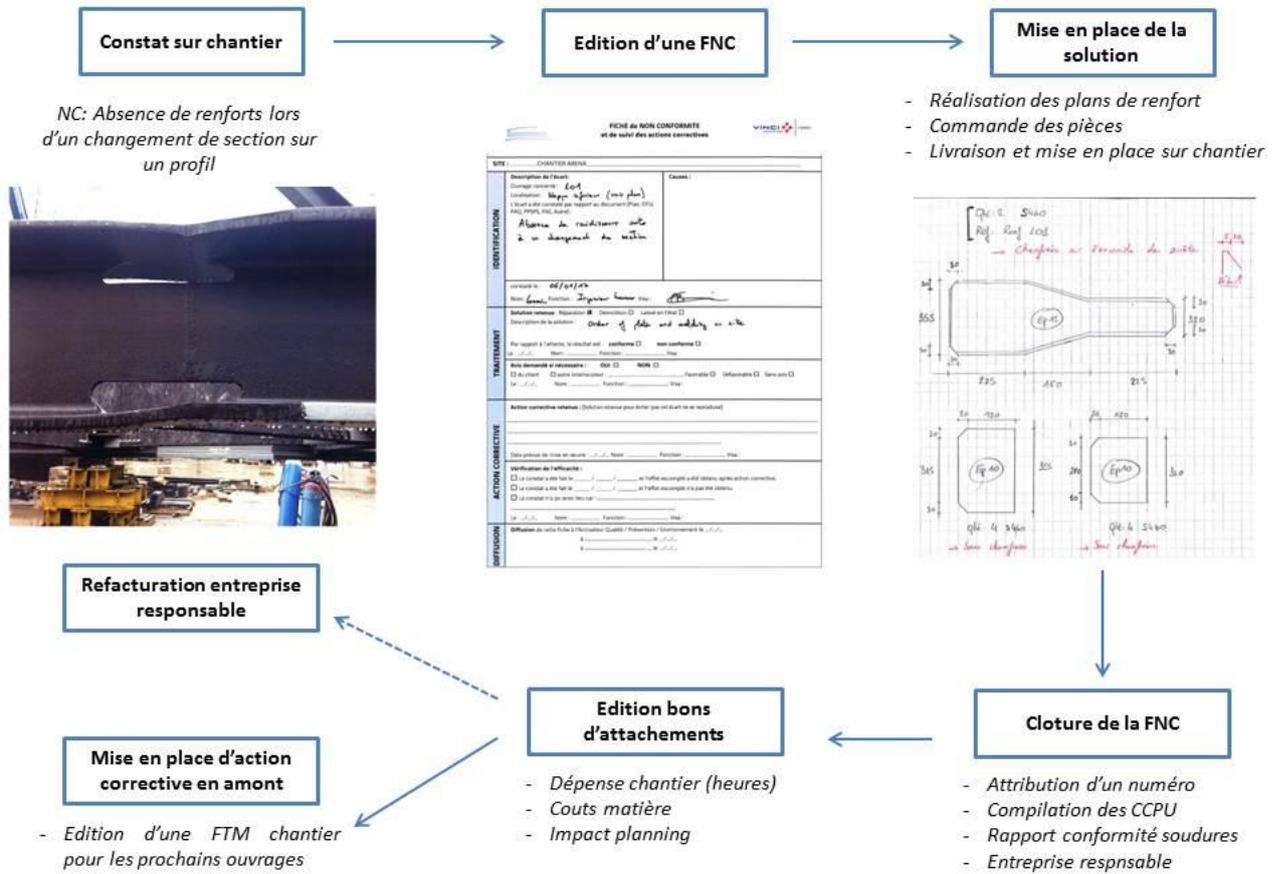


Figure 27 : Procédure de traitement d'une FNC

3.1.1 Exemples des non-conformités :

Parmi les non-conformités rencontrées sur chantier, la déformation d'une grande poutre au niveau du secteur S26. La cause de cette déformation est due au mauvais positionnement des pupitres. La solution retenue est de replacer les supports à l'aplomb des raidisseurs et redresser la poutre à chaud et ressouder des plaques pour renforcer l'âme enfoncée.

**FICHE de NON CONFORMITE
et de suivi des actions correctives**

VINCI  FRANCE

SITE : CHANTIER ARENA

IDENTIFICATION	Description de l'écart: Ouvrage concerné : S26 Localisation : Beam n° 2604713 L'écart a été constaté par rapport au document (Plan, DTU, PAQ, PPSPS, PAE, Autre): Déformation de la poutre n° 2604713 à cause du mauvais emplacement des piliers donné par le plan n° 20685	Causes: Déformation of the beam n° 2604713 because of the bad position of the piers given by plan n° 20685.
	constaté le : 22/05/2017 Nom : Elouzi Fonction : Ass. conducteur Visa : 	
TRAITEMENT	Solution retenue : Réparation <input checked="" type="checkbox"/> Démolition <input type="checkbox"/> Laissez en l'état <input type="checkbox"/> Description de la solution : Couper la partie déformée et remplacer localement les parties déformées.	
	Par rapport à l'attente, le résultat est : conforme <input type="checkbox"/> non conforme <input type="checkbox"/> Le : / / Nom : Fonction : Visa :	
ACTION CORRECTIVE	Avis demandé si nécessaire : OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> du client <input type="checkbox"/> autre interlocuteur : Favorable <input type="checkbox"/> Défavorable <input type="checkbox"/> Sans avis <input type="checkbox"/> Le : / / Nom : Fonction : Visa :	
	Action corrective retenue : (Solution retenue pour éviter que cet écart ne se reproduise) positionner les supports à l'aplomb de raidisseurs	
DIFFUSION	Date prévue de mise en œuvre : / / Nom : Fonction : Visa :	
	Vérification de l'efficacité : <input type="checkbox"/> Le constat a été fait le / / et l'effet escompté a été obtenu après action corrective. <input type="checkbox"/> Le constat a été fait le / / et l'effet escompté n'a pas été obtenu. <input type="checkbox"/> Le constat n'a pu avoir lieu car ;	
Le : / / Nom : Fonction : Visa :		
Diffusion de cette fiche à l'Animateur Qualité / Prévention / Environnement le / / à le / / à le / /		

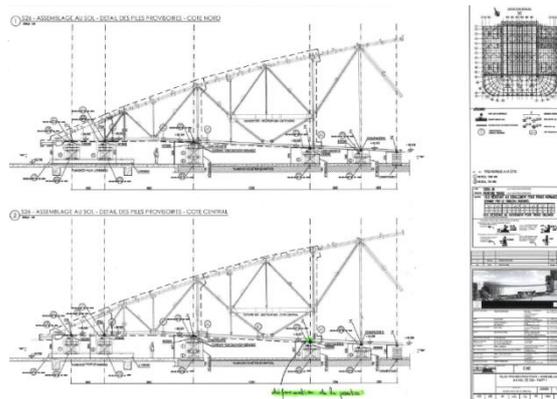


Figure 28 : FNC « enfoncement d'âme au niveau du S26 »



Figure 29 : Chauffage de la partie enfoncée



Figure 30 : Dressage de l'âme en utilisant des vérins.



Figure 31 : Renfort de l'âme par des caissons (des 2 côtés).

Conclusion :

Les imprévus et les non-conformités présentes sur un chantier, sont des éléments pénalisants pour l'avancement des travaux. Pour remédier à ces problèmes, des FNC sont édités.

Ces fiches étaient des outils pratiques permettant de suivre la qualité des travaux, et justifier le retard et les dépenses générés par les non-conformités.

3.2 Les ouvrages provisoires :

Parmi les missions qui m'ont été confiées, le suivi des ouvrages provisoires. Ces ouvrages sont assez présents sur chantier et assurent des différents rôles. J'ai choisi dans cette partie de détailler les oreilles provisoires de levage pour le décompresseur P14, qui ont reconnu un changement de conception suite à l'évolution du chantier.

3.2.1 Présentation du système de levage du décompresseur :

Le schéma typique général de l'équipement de levage des treillis des décompresseurs est montré ci-dessous :

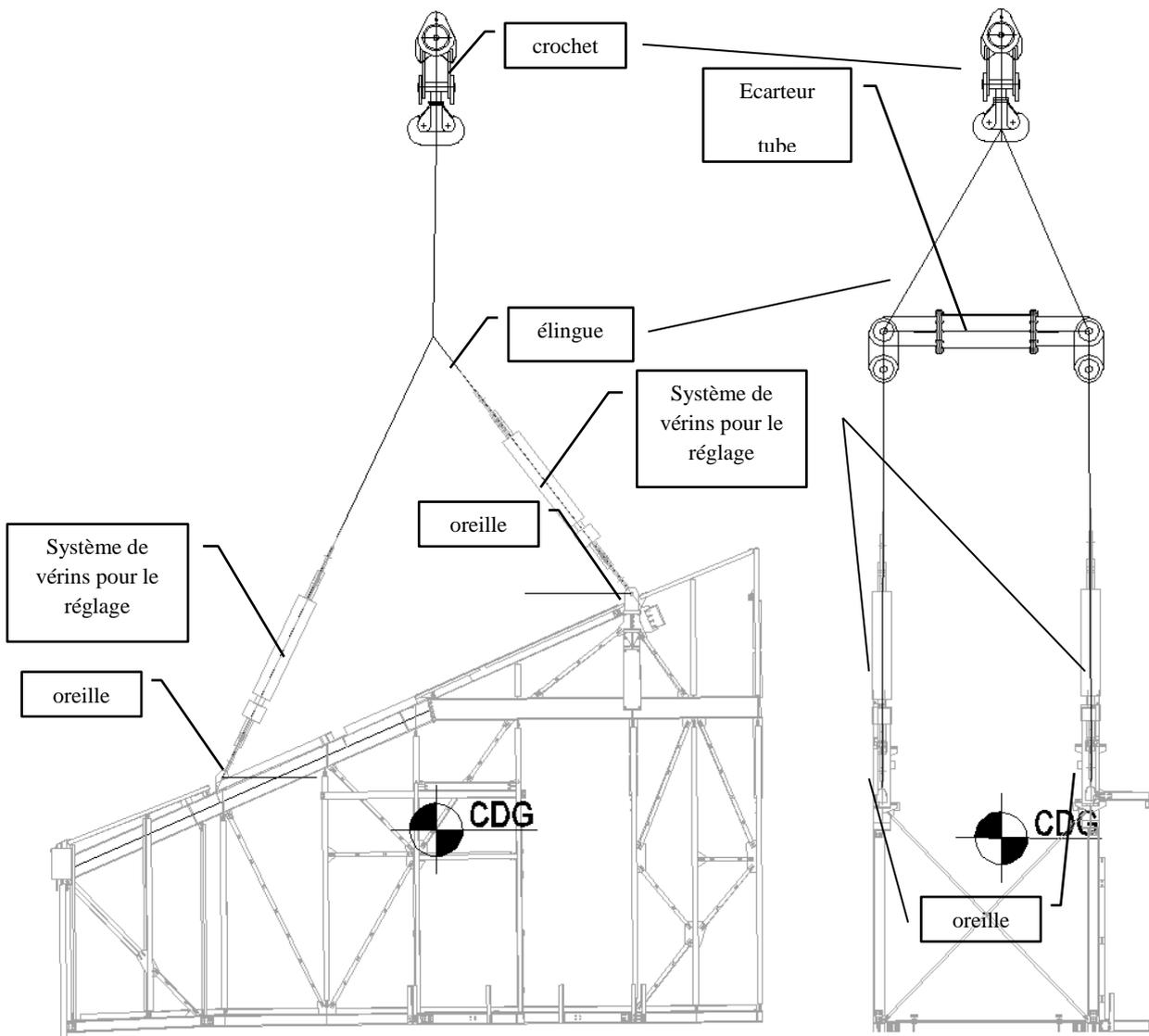


Figure 32 : Le système de levage du décompresseur.

Le système est constitué, à partir du Bas, par :

- Quatre points d'ancrage (oreilles) fixées sur les membrures supérieures du décompresseur
- Quatre élingues connectant les oreilles à un système de réglage.
- Un système de réglage hydraulique (type «Sarspin»), connecté à un ordinateur et qui permet de contrôler et affiner le réglage.
- Un écarteur (3.7m)

-Deux élingues connectant l'écarteur au crochet de la grue.

-Le crochet de la grue

Toutes les élingues ont des manilles aux extrémités pour la connexion avec vérins, palonniers et oreilles.

Le plan de levage proposé par le bureau méthodes « Incide » et le suivant :

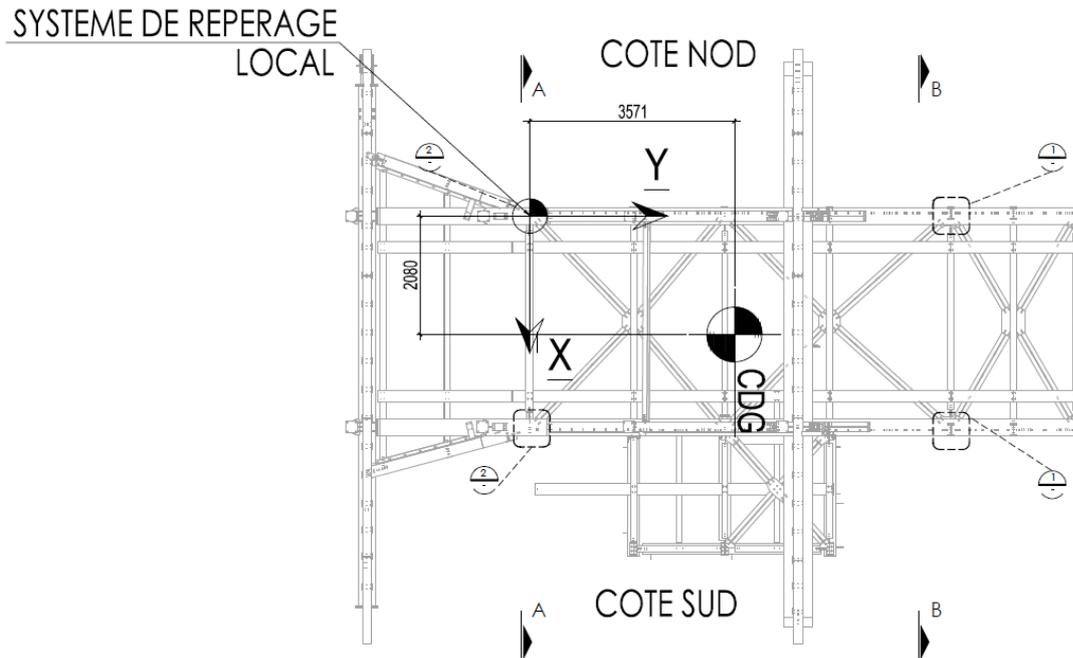


Figure 33 : Système de levage avec des oreilles sur le décompresseur (prévu)

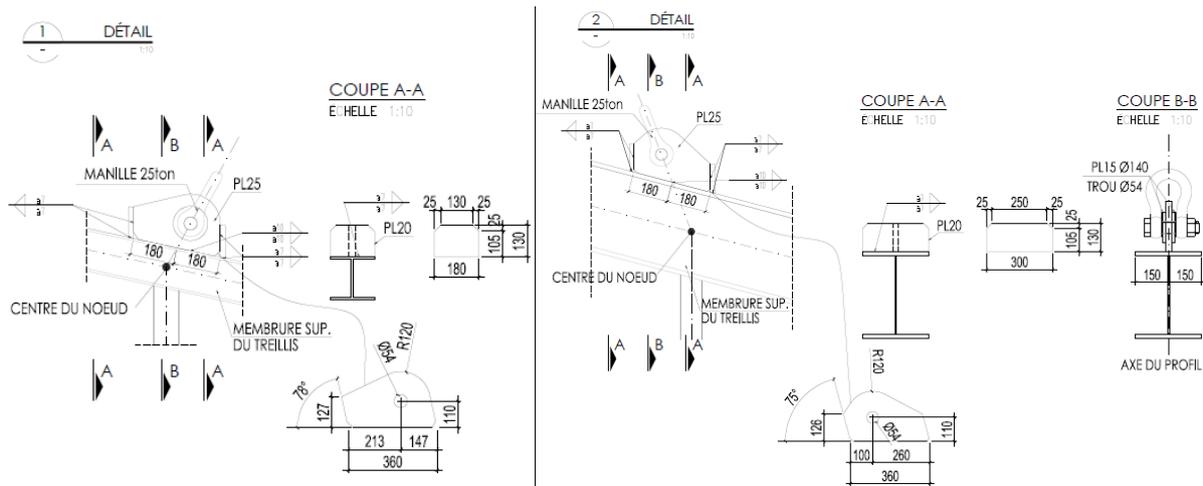


Figure 34 : le détail des oreilles soudées (prévu)

3.2.2 Problématique du chantier et solutions proposées :

Suite à un changement de la méthode du montage, l'habillage du décompresseur est fait avant son levage. Ce changement empêche le positionnement des oreilles à leurs emplacements prévus. Nous avons décidé donc, d'adapter les oreilles aux changements, et de les positionner à l'extérieur de la partie habillée. En plus, pour faciliter le démontage des oreilles après le levage, Nous avons préféré le boulonnage au lieu du soudage.

Pour les nouvelles positions des oreilles nous adoptons la configuration suivante :

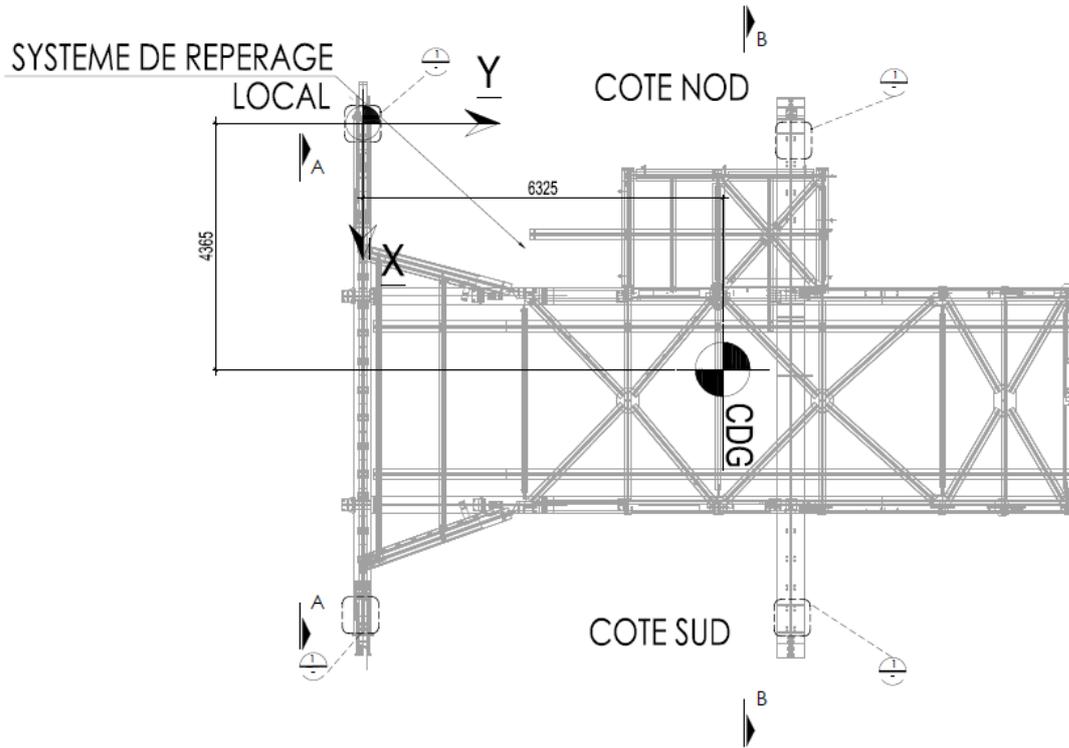


Figure 35 : système de levage avec la position finale des oreilles

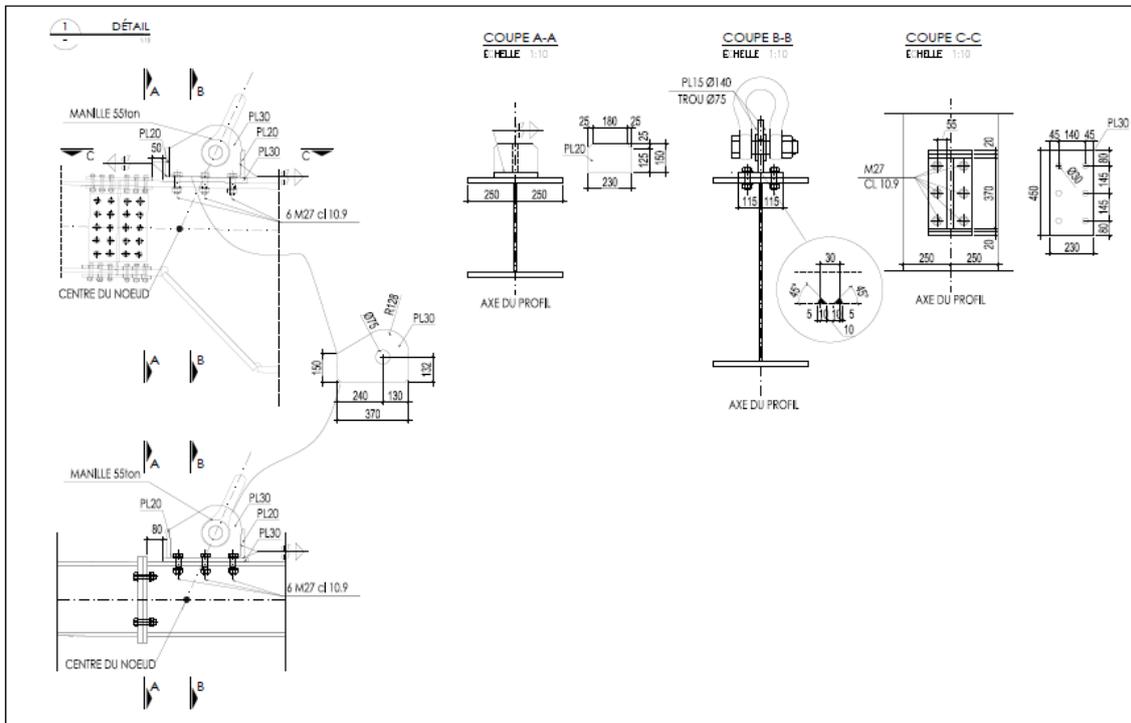


Figure 36 : Détails des oreilles boulonnées

3.2.3 Justification de la nouvelle configuration et vérifications des oreilles.

Pour justifier et vérifier cette solution, J'ai collaboré avec l'équipe du bureau chargée d'études « incidé »

Dans ce qui suit nous allons détailler les calculs faits, pour but de déterminer les efforts sur le système de levage et de vérifier les éléments du système (manilles et oreilles de levage).

3.2.3.1 Efforts sur les point d'ancrages de décompresseur P14

3.2.3.1.1 Schéma général

Un modèle des éléments finis (FEM) a été fait pour les différents treillis principaux de décompresseur, afin de calculer les efforts dans les positions souhaitées.

Ci-dessous le repère pour les points en question :

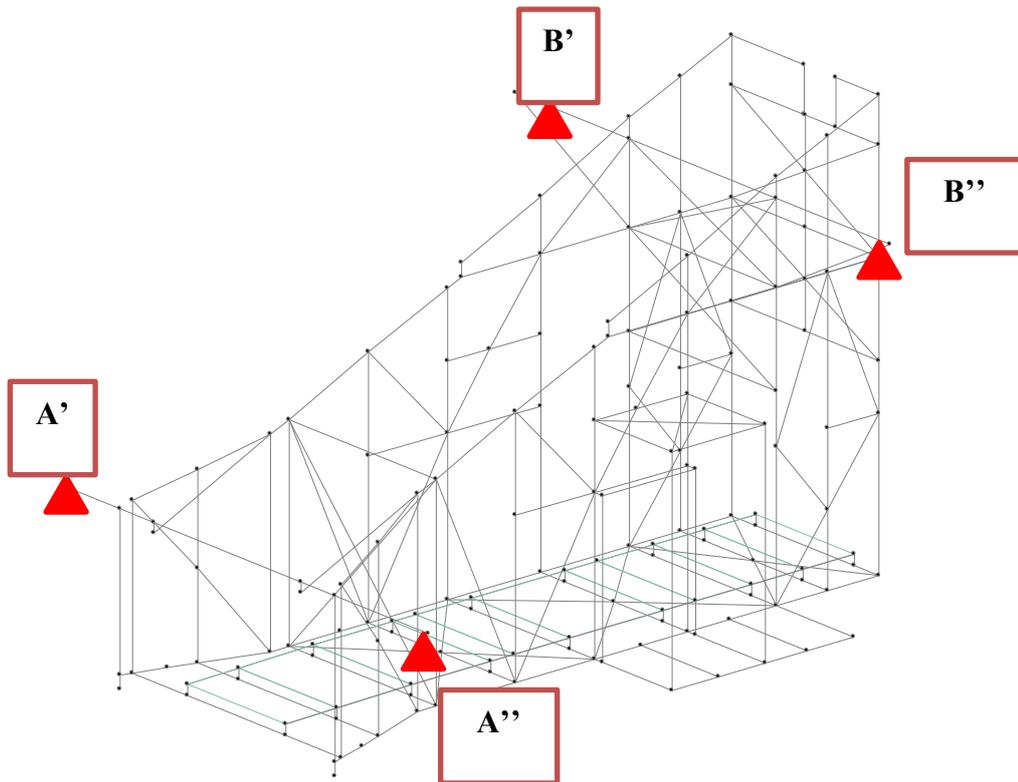


Figure 37 : Le modèle éléments finis du décompresseur et la position des oreilles

3.2.3.1.2 Valeurs des efforts

Pour la combinaison ELU nous avons utilisé un coefficient égal à 1,725, qui tient compte du coefficient de 1,5 indiqué par la législation pour l'ELU et du coefficient 1.15 utilisé pour les charges dynamiques.

Les manilles sont choisies en fonction des valeurs à ELS et la vérification des oreilles de levage est faite à l'ELU.

Les valeurs des réactions sur les points d'ancrage à ELS et à ELU sont données par le tableau suivant :

	Décompresseurs - Noeud	N _{SD} ELS kN	N _{SD} ELU kN
Décompresseurs P14	P14 - Noeud A'	24.0	41.3
	P14 - Noeud A''	321.8	555.2
	P14 - Noeud B'	5.9	10.2
	P14 - Noeud B''	237.6	409.9

Tableau 1 : récapitulatif des efforts normaux aux points d'ancrages

3.2.3.2 Efforts sur le système de levage

3.2.3.2.1 Procédure de calcul pour la détermination des efforts dans les éléments

Le calcul des efforts sur les élingues est fait à partir des réactions calculées à l'ELS sur les points d'ancrage obtenues par les modèles de levage (ref. INCD-EXE-150-NDC -TZA -TOI -10701).

Ces réactions comprennent le poids de la charpente, les éléments secondaires (pannes, équipements, éléments provisoires pour levage etc.) Notez que le poids de la charpente est ajusté pour obtenir la même valeur (et le même centre de gravité) fourni par les dessins d'atelier.

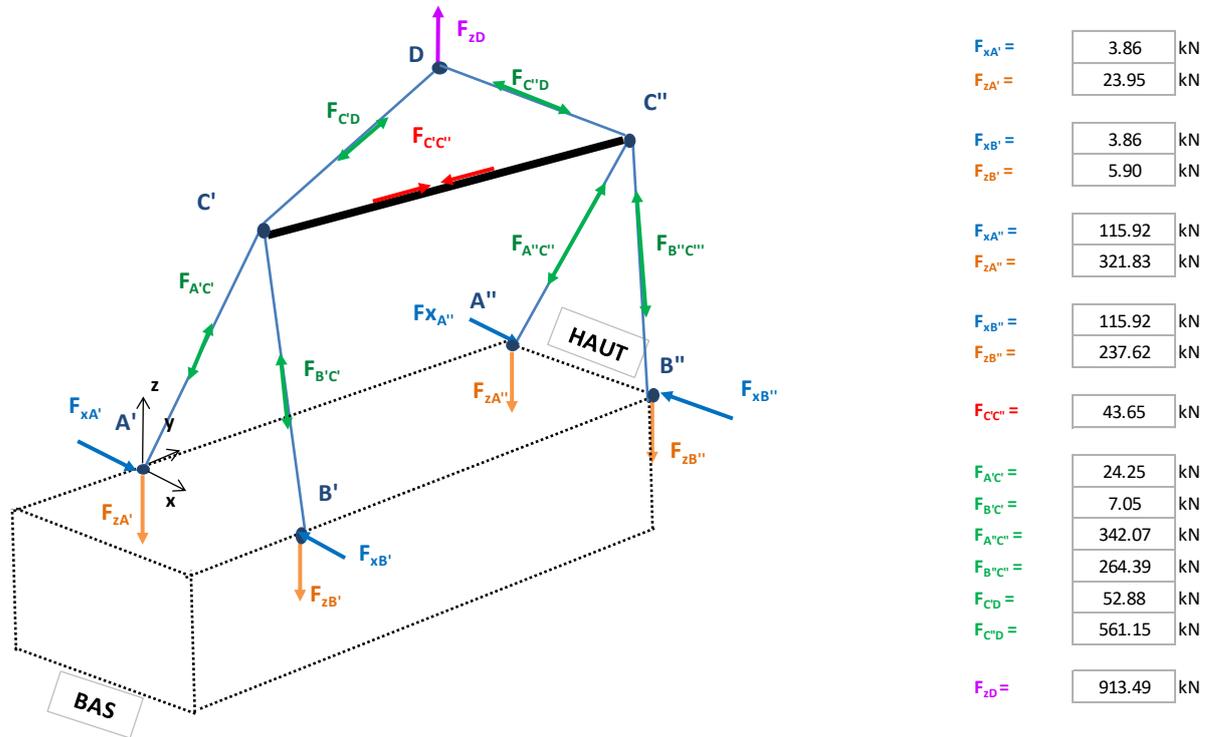
Le poids du système de levage n'est pas considéré pour la détermination du centre de gravité. Il est toutefois ajouté aux efforts sur les élingues.

Pour le système des décompresseurs le calcul est fait avec une feuille Excel à partir des réactions sur les points d'ancrage.

Notez aussi que tous les efforts sont à l'ELS.

Dans ce qui suit nous allons détailler le calcul des efforts obtenus sur le système de levage. Les angles et les longueurs des élingues sont donnés par le plan de levage du décompresseur P14 en annexe3.

3.2.3.2.2 Efforts sur les élingues DU DECOMPRESSEUR P14



3.2.3.3 OREILLES DE LEVAGE

3.2.3.3.1 Vérification des Manilles

Les manilles sont choisies en fonction des valeurs des contraintes ELS.

Les manilles de levage sont fournis par « Sarens », société en charge de levage, et sont listés dans le tableau suivant. Pour lever le décompresseur, nous avons choisi une manille avec une capacité de 55 tonnes, type Crosby.

STANDARD													SHACKLES			
												Safety factor / Sicherheitsfaktor Facteur de sécurité / Veiligheidsfactor GREEN PIN : G4163 – P6036 WLL 1t - 85t 6.00 WLL 120t - 150t 5.00 CROSBY : G2130 WLL 1t – 150t 6.00				
Tolerances / Toleranzen Toërances / Toeranties On length & width Sur la longueur & la largeur 5% Auf Länge & Breite Op lengte & breedte																
WLL	A	B	C	C Center	Ød	ØD	E	F	G	H	I	2r	Weight Poids Gewicht	Manufacturer		
ton	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg			
1.00	17.0 16.8	10.0 ...	36.5 36.6	42.0 42.2	11.0 11.2	10.0 9.65	23.0 23.1	71.0 63.0	61.0 ...	16.0 ...	49.0 45.2	26.0 26.2	0.16 0.15	GREEN PIN CROSBY		
1.50	19.0 19.1	11.0 ...	43.0 42.9	49.5 49.2	13.0 12.7	11.0 11.2	26.0 26.9	80.0 74.0	68.0 ...	16.0 ...	54.0 51.5	29.0 29.5	0.22 0.22	GREEN PIN CROSBY		
2.00	22.0 20.6	13.5 ...	51.0 47.8	59.0 55.8	16.0 16.0	13.5 12.7	34.0 30.2	91.0 83.5	83.0 ...	21.0 ...	63.0 58.5	32.0 33.3	0.42 0.36	GREEN PIN CROSBY		
3.25	27.0 26.9	16.0 ...	64.0 60.5	73.5 70.0	19.0 19.1	16.0 16.0	40.0 38.1	114.0 106.0	99.0 ...	23.0 ...	79.0 74.5	43.0 42.9	0.74 0.76	GREEN PIN CROSBY		
4.75	31.0 31.8	19.0 ...	76.0 71.5	87.0 82.7	22.0 22.4	19.0 19.1	47.0 46.0	136.0 126.0	115.0 ...	26.0 ...	94.0 89.0	51.0 51.0	1.18 1.23	GREEN PIN CROSBY		
6.50	36.0 36.6	22.0 ...	83.0 84.0	96.0 96.7	25.0 25.4	22.0 22.4	53.0 53.0	157.0 148.0	131.0 ...	28.0 ...	107.0 102.0	58.0 58.0	1.77 1.79	GREEN PIN CROSBY		
8.50	43.0 42.9	25.0 ...	95.0 95.5	109.0 110.0	28.0 28.7	25.0 25.4	60.0 60.5	176.0 167.0	151.0 ...	33.0 ...	124.0 119.0	68.0 68.0	2.58 2.57	GREEN PIN CROSBY		
9.50	47.0 46.0	28.0 ...	108.0 108.0	124.0 124.0	32.0 31.8	28.0 28.7	67.0 68.5	197.0 190.0	167.0 ...	36.0 ...	137.0 131.0	75.0 74.0	3.66 3.75	GREEN PIN CROSBY		
12.00	51.0 51.5	32.0 ...	115.0 119.0	133.0 136.0	35.0 35.1	32.0 31.8	74.0 76.0	218.0 210.0	179.0 ...	33.0 ...	154.0 146.0	83.0 82.5	4.91 5.31	GREEN PIN CROSBY		
13.50	57.0 57.0	35.0 ...	133.0 133.0	152.0 152.0	38.0 38.1	35.0 35.1	80.0 84.0	240.0 233.0	198.0 ...	37.0 ...	170.0 162.0	92.0 92.0	6.54 7.18	GREEN PIN CROSBY		
17.00	60.0 60.5	38.0 ...	146.0 146.0	167.0 167.0	42.0 41.4	38.0 38.1	89.0 92.0	262.0 254.0	203.0 ...	48.0 ...	183.0 175.0	99.0 98.5	8.19 9.43	GREEN PIN CROSBY		
25.00	74.0 73.0	45.0 ...	178.0 178.0	203.0 203.0	50.0 51.0	45.0 44.5	104.0 106.0	314.0 313.0	244.0 ...	56.0 ...	226.0 225.0	126.0 127.0	14.22 15.40	GREEN PIN CROSBY		
35.00	83.0 82.5	50.0 ...	197.0 197.0	225.0 225.0	57.0 57.0	50.0 51.0	119.0 122.0	358.0 348.0	270.0 ...	60.0 ...	250.0 253.0	138.0 146.0	19.85 23.70	GREEN PIN CROSBY		
55.00	105.0 105.0	65.0 ...	260.0 267.0	295.0 302.0	70.0 70.0	65.0 66.5	145.0 145.0	463.0 453.0	330.0 ...	62.0 ...	329.0 327.0	180.0 184.0	39.59 44.60	GREEN PIN CROSBY		
85.00	127.0 127.0	75.0 ...	329.0 330.0	370.5 371.0	83.0 82.5	75.0 76.0	163.0 165.0	556.0 546.0	376.0 ...	59.0 ...	355.0 365.0	190.0 200.0	62.46 70.00	GREEN PIN CROSBY		
120.00	144.0 133.0	89.0 ...	381.0 372.0	428.0 420.0	95.0 95.5	95.0 92.0	215.0 203.0	667.0 626.0	440.0	416.0 419.0	238.0 229.0	110.00 120.00	GREEN PIN CROSBY		
150.00	165.0 140.0	100.0 ...	400.0 368.0	454.0 422.0	108.0 108.0	105.0 104.0	245.0 229.0	702.0 653.0	490.0	485.0 468.0	275.0 254.0	160.00 153.00	GREEN PIN CROSBY		

Voici un tableau avec le taux d'efficacité des manilles pour toutes les forces de réactions obtenues par les modèles de calcul.

Décompresseur-Nœud	N _{sd} ELS (T)	rapport (N _{sd} /N _{manille})
P14-Nœud A'	2,4	0,04
P14-Nœud A''	34,9	0,63
P14-Nœud B'	0,7	0,01
P14-Nœud B''	27	0,49

Tableau 2 : Taux d'efficacité des manilles pour toutes les forces de réaction obtenus par les modèles de calcul.

Avec : N_{manille}= 55T

Avec une utilisation maximale de 63% il peut être soutenu que les manilles 55 tonnes sont de taille convenable pour être utilisé pour chaque oreille de levage.

3.2.3.3.2 Vérification des Oreilles

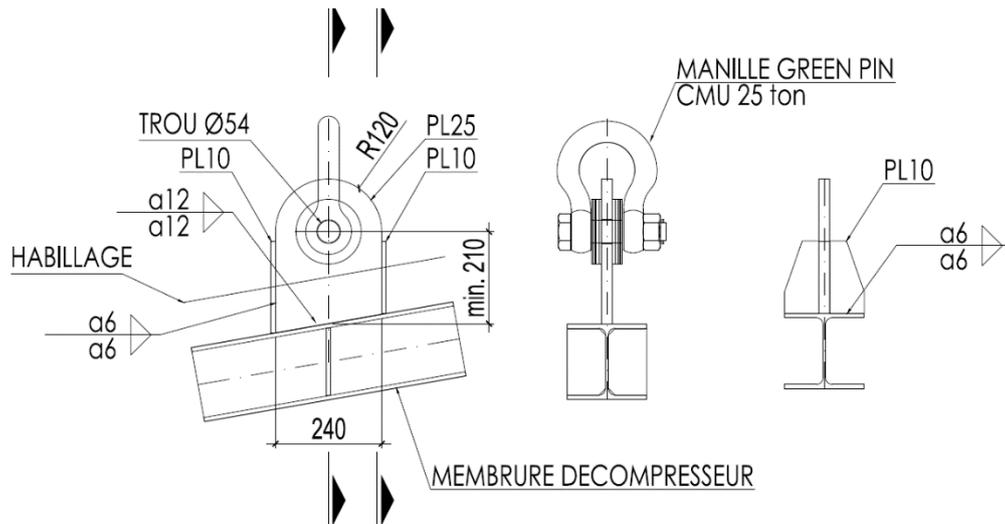
Pour vérifier les oreilles de levage, nous allons nous intéresser aux 3 connexions suivantes: la connexion des oreilles à la manille, la connexion des oreilles à la platine et la connexion de la platine à la poutre (PRS).

Les efforts de réaction aux points, où les dispositifs de levage seront boulonnés, sont calculés à l'aide d'un logiciel élément fini.

	Décompresseurs - Noeud	N _{SD} ELS kN	N _{SD} ELU kN
Décompresseurs P14	P14 - Noeud A'	24.3	41.8
	P14 - Noeud A''	342.0	590.0
	P14 - Noeud B'	7.0	12.1
	P14 - Noeud B''	264.0	455.4

Tableau 3 : Les efforts de réaction aux points repères

Les dispositifs de levage seront donc produits en adaptant la forme en fonction de la section des profils qui doivent être soudés, en conformité avec les dimensions minimales indiquées dans la vérification et le dessin paramétrique ci-dessous.



3.2.3.3.2.1 Vérification de la géométrie et la pression diamétrale de l'axe sur le trou.

Pour la première connexion deux vérifications seront envisagées :

- La vérification de la géométrie de la connexion
- La vérification de la pression diamétrale du pivot sur le trou

ELEMENT: Verifica

Réglementation

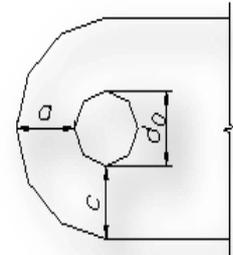
Facteurs partiels de sécurité

coefficient	$\gamma_{M0} =$	1.00
coefficient	$\gamma_{M1} =$	1.00
coefficient	$\gamma_{M2} =$	1.25

Géométrie

Caractéristiques géométriques de la connexion a pivot

diamètre du pivot	$d_{piv} =$	70	mm
diamètre du trou	$d_{tr} =$	75	mm
distance trou-borde parallèle à l'axe de la plaque centrale	$a_{pc} =$	110	mm
distance trou-borde perpendiculaire à l'axe de la plaque centrale	$c_{pc} =$	110	mm
épaisseur de la plaque centrale	$t_{pc} =$	30	mm



Matériaux

Plaque centrale

nuance d'acier	S355	
résistance plastique	$f_{y,pc} =$	345 N/mm ²
résistance ultime	$f_{u,pc} =$	470 N/mm ²

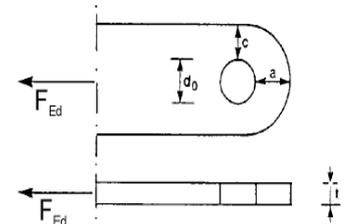
Charges

force axiale sur le pivot (ELS)	$N_{ed,ELS} =$	342.00	kN
force axiale sur le pivot (ELU)	$N_{ed,ELU} = 1.725 \times N_{ed,ELS}$	590	kN

Vérifications

Vérification de la géométrie de la connexion

$a_{pc,min} = (N_{ed} \gamma_{M0}) / (2t_{pc} f_{y,pc}) + (2d_0) / 3 =$	79	mm
$c_{pc,min} = (N_{ed} \gamma_{M0}) / (2t_{pc} f_{y,pc}) + (d_0) / 3 =$	54	mm



$a_{pc} \geq a_{pc,min} \rightarrow$	110	mm	>	79	mm	ratio: 0.71	OK
$c_{pc} \geq c_{pc,min} \rightarrow$	110	mm	>	54	mm	ratio: 0.49	OK

Vérification de la pression diamétrale du pivot sur le trou

$N_{b,pc,Rd} = 1.5 \cdot t_{pc} \cdot d_p \cdot f_{y,pc} / \gamma_{M0} =$	1087	kN					
$N_{Sd} < N_{E,pc,Rd} \rightarrow$	590	kN	<	1087	kN	ratio: 0.54	OK

	Décompresseurs - Noeud	N _{SD} ELU kN	Vérification de la connection a pivot		
			a _{pc}	c _{pc}	N _{b,pc,Rd}
Décompresseurs P14	P14 - Noeud A'	42.00	0.47	0.25	0.04
	P14 - Noeud A''	590.00	0.71	0.49	0.54
	P14 - Noeud B'	12.00	0.46	0.23	0.01
	P14 - Noeud B''	456.00	0.65	0.43	0.42

Nous avons dans tous les cas, des rapports inférieurs à 1. Donc, les oreilles résistent bien à la pression diamétrale de l'axe exercé au niveau des trous.

3.2.3.3.2 Vérifications de la connexion oreilles/platine.

Pour la deuxième connexion nous allons vérifier les 2 types de soudure :

- W1 : soudure à pénétration partielle avec un cordon de soudure.
- W2 : soudure d'angle à cordon double.

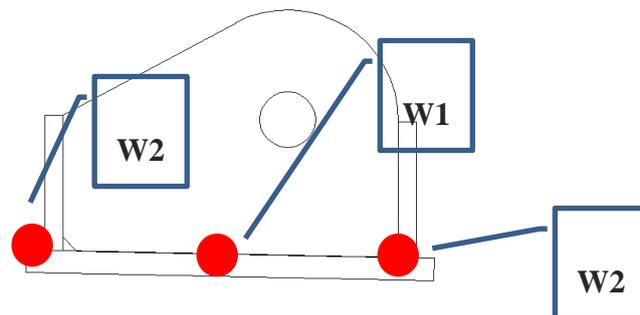


Figure 38 : les types des soudures sur l'oreille de levage

Vérification de la soudure W1 :

ELEMENT: **BASE**

Facteurs partiales

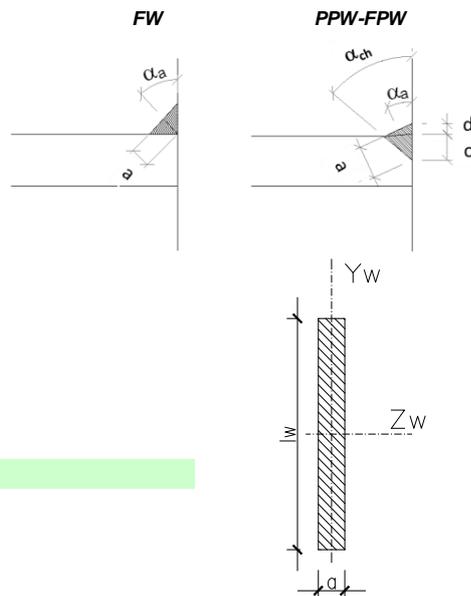
facteur partiel pour le matériel $\gamma_{M2} = 1.25$

Matériaux

nuance acier **S355**
 type de produit **flat**
 tension de élasticité $f_{yk} = 345$ N/mm²
 tension de rupture $f_u = 470$ N/mm²
 facteur de corrélation $\beta_w = 0.9$
 résistance de la soudure (méthode simplifiée) $f_{v,w,d} = (f_u/\sqrt{3})/\beta_w\gamma_{M2} = 241$ N/mm²

Geometrie

épaisseur de la plaque a souder $t_p = 30$ mm
 type de soudure **SSW** Soudure a single cordon
 type de soudure **PPW** Soudure à pénétration partielle
 gorge - FW $a_{FW} = -$ mm
 angle de la gorge - FW $\alpha_{a,PPW} = -$ °
 angle de chanfrein - PPW e FPW $\alpha_{ch} = 45$ °
 côté interieure de la soudure - PPW $c_{PPW} = 17$ mm
 côté exterieure de la soudure - PPW $d_{PPW} = 5$ mm
 angle de la gorge - PPW $\alpha_{a,PPW} = 16.4$ °
 gorge - PPW $a_{PPW} = 21.1$ mm
 côté interieure de la soudure - FPW $c_{FPW} = t_p/2 = -$ mm
 côté exterieure de la soudure - FPW $d_{FPW} = -$ mm
 angle de la gorge - FPW $\alpha_{a,FPW} = -$ °
 gorge - FPW $a_{FPW} = -$ mm
 longueur du cordon de soudure $l_w = 370$ mm
 area de la soudure $A_w = 7809$ mm²
 module résistant de la soudure - axe Z $W_{z,w} = 4.82E+05$ mm³



Charges de projet sur la soudure

effort axial - axe X $F_{X,w} = 563$ kN
 effort de cisellement - axe Z $F_{Z,w} = 0$ kN
 effort de cisellement - axe Y $F_{Y,w} = 202$ kN
 moment flechissant - axe Z $M_{Z,w} = 30$ kNm

Vérification de la soudure

tension normale sur la soudure $n_{\perp} = F_{X,w}/A_w + M_{Z,w}/W_{Z,w} = 135$ N/mm²
 tension ortogonale sur la soudure $t_{\perp} = F_{Z,w}/A_w = 0$ N/mm²
 tension parallele sur la soudure $t_{//} = F_{Y,w}/A_w = 26$ N/mm²

$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)} \leq f_{v,w,d} \rightarrow 138$ N/mm² < 241 N/mm² ratio: 0.57 **OK**

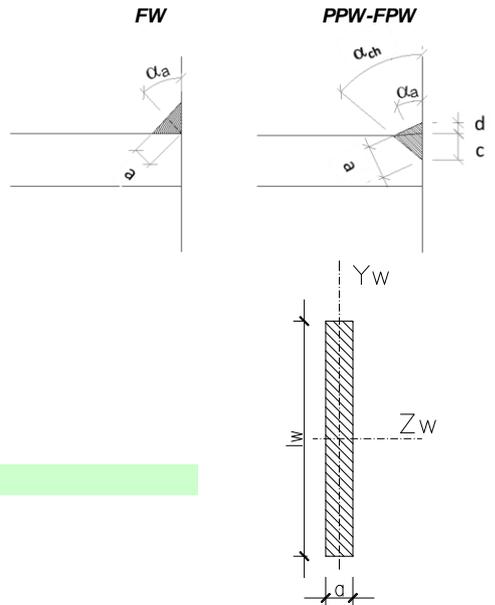
	Décompresseurs - Noeud	N _{SD} ELU kN	Vérification de la soudure
Décompresseurs P14	P14 - Noeud A'	41.3	0.06
	P14 - Noeud A''	555.2	0.56
	P14 - Noeud B'	10.2	0.02
	P14 - Noeud B''	409.9	0.49

Tableau 4 : Récapitulation des vérifications des soudures (W1) au niveau des noeuds.

Nous avons donc les soudures W1 vérifiées pour tous les oreilles avec un rapport maximal de 0.56, au niveau du nœud A''.

Vérification de la soudure W1 :

ELEMENT:		BASE
Facteurs partiales		
facteur partiel pour le matériel	$\gamma_{M2} =$	1.25
Matériaux		
nuance acier		S355
type de produit		flat
tension de élasticité	$f_{yk} =$	345 N/mm^2
tension de rupture	$f_u =$	470 N/mm^2
facteur de corrélation	$\beta_w =$	0.9
résistance de la soudure (méthode simplifiée)	$f_{vw,d} = (f_u/\sqrt{3})/\beta_w\gamma_{M2} =$	241 N/mm^2
Geometrie		
épaisseur de la plaque a souder	$t_p =$	30 mm
type de soudure		DSW Soudure a double cordon
type de soudure		FW Soudure d'angle
gorge - FW	$a_{FW} =$	7 mm
angle de la gorge - FW	$\alpha_{a,PPW} =$	45.0 °
angle de chanfrein - PPW e FPW	$\alpha_{ch} =$	45 °
côté interieure de la soudure - PPW	$c_{PPW} =$	- mm
côté exterieure de la soudure - PPW	$d_{PPW} =$	- mm
angle de la gorge - PPW	$\alpha_{a,PPW} =$	- °
gorge - PPW	$a_{PPW} =$	- mm
côté interieure de la soudure - FPW	$c_{FPW} = t_p/2 =$	- mm
côté exterieure de la soudure - FPW	$d_{FPW} =$	- mm
angle de la gorge - FPW	$\alpha_{a,FPW} =$	- °
gorge - FPW	$a_{FPW} =$	- mm
longueur du cordon de soudure	$l_w =$	230 mm
area de la soudure	$A_w =$	3220 mm^2
module résistant de la soudure - axe Z	$W_{z,w} =$	1.23E+05 mm^3
Charges de projet sur la soudure		
effort axial - axe X	$F_{X,w} =$	0 kN
effort de cisellement - axe Z	$F_{Z,w} =$	0 kN
effort de cisellement - axe Y	$F_{Y,w} =$	101 kN
moment flechissant - axe Z	$M_{Z,w} =$	0 kNm
Vérification de la soudure		
tension normale sur la soudure	$n_{\perp} = F_{X,w}/A_w + M_{Z,w}/W_{Z,w} =$	0 N/mm^2
tension ortogonale sur la soudure	$t_{\perp} = F_{Z,w}/A_w =$	0 N/mm^2
tension parallele sur la soudure	$t_{//} = F_{Y,w}/A_w =$	31 N/mm^2
$\sqrt{(n_{\perp}^2 + t_{\perp}^2 + t_{//}^2)} \leq f_{vw,d}$	→	31 N/mm^2 < 241 N/mm^2 ratio: 0.13 OK

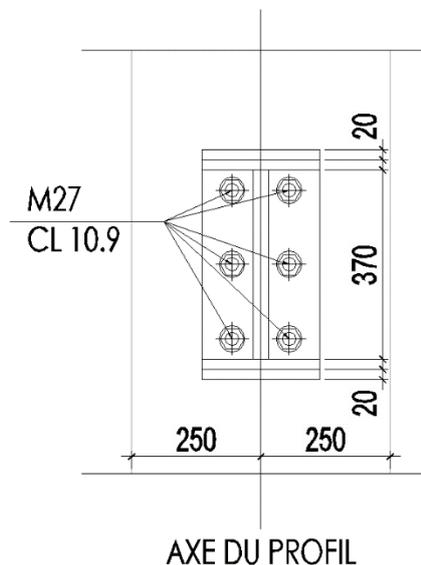


	Décompresseurs - Noeud	N _{SD} ELU kN	Vérification de la soudure
Décompresseurs P14	P14 - Noeud A'	3.3	0.01
	P14 - Noeud A''	101.0	0.13
	P14 - Noeud B'	3.2	0.01
	P14 - Noeud B''	101.0	0.13

Tableau 5: Récapitulation des vérifications des soudures (W2) au niveau des noeuds.

Nous avons donc les soudures W2 vérifiées pour toutes les oreilles avec un rapport faible, qui ne dépasse pas 0,13.

3.2.3.3.2.3 Vérifications de la connexion platine/poutre.



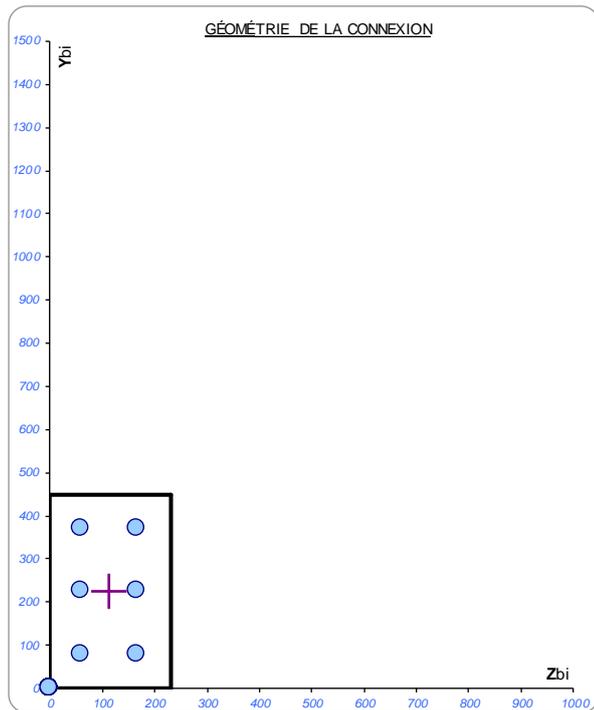
Pour la troisième connexion nous allons vérifier:

- la résistance des boulons
- la résistance de la platine
- La résistance de la platine en T tendu : dans cette partie nous allons parcourir les 3 modes (mode 1: mécanisme complet, mode2 : mécanisme partiel et rupture boulons, mode 3 : rupture boulons) et vérifier le mode le plus défavorable.
- La résistance du PRS : vérification des soudures et de résistance à la flexion composée.

Ces vérifications sont faites conformément aux indications de la partie 1.8 de l'Eurocode 3.

CONNEXION - ENCASTRÉ - FLANGE (EC3)		
ELEMENT :	BASE	GUSSET: BASE
Réglementation		
Coefficients partiels de sécurité		
coefficient	$\gamma_{M0} =$	1.05
coefficient	$\gamma_{M2} =$	1.25
Matériaux		
Poutre		
nuance d'acier - poutre		S355
tension de élasticité - poutre	$f_{yk,p} =$	355 N/mm ²
tension de rupture - poutre	$f_{u,p} =$	510 N/mm ²
Flange		
nuance d'acier		S355
tension de élasticité	$f_{yk} =$	345 N/mm ²
tension de rupture	$f_u =$	470 N/mm ²
Boulons		
classe de boulons		10.9
tension de élasticité	$f_{y,b} =$	900 N/mm ²
tension de rupture	$f_{u,b} =$	1000 N/mm ²
cisèlement sur la portion de boulon fileté		Y Oui
Soudure		
facteur de corrélation soudure 1	$\beta_{w,1} =$	0.9
résistance de la soudure 1 (méthode simplifiée)	$f_{vw,d,1} = (f_u/\sqrt{3})/\beta_{w,1}/\gamma_{M2} =$	262 N/mm ²
facteur de corrélation soudure 2	$\beta_{w,2} =$	0.9
résistance de la soudure 2 (méthode simplifiée)	$f_{vw,d,2} = (f_u/\sqrt{3})/\beta_{w,2}/\gamma_{M2} =$	262 N/mm ²
Géométrie		
Poutre		
ID de la poutre	ID =	PRS
hauteur	h =	1000 mm
largeur de l'aile	b =	500 mm
épaisseur de l'âme (ou épaisseur du tube dans le cas de section SHS)	t _w =	10 mm
épaisseur de l'aile (ou épaisseur du tube dans le cas de section SHS)	t _f =	30 mm
hauteur nette de l'âme	h _w =	940 mm
aire totale	A =	39400 mm ²
aire des ailes	A _f =	30000 mm ²
aire de l'âme	A _w =	9400 mm ²
moment d'inertie de la section - axe Z	J _z =	7.75E+09 mm ⁴
moment d'inertie de la section - axe Y	J _y =	6.25E+08 mm ⁴
module de résistance de la section - axe Z	W _z =	1.55E+07 mm ³
module de résistance de la section - axe Y	W _y =	2.50E+06 mm ³
Flange		
épaisseur de la flange	t _f =	30 mm
largeur de la flange	b _f =	230 mm
hauteur de la flange	h _f =	450 mm
épaisseur de la plaque de renforcement (0 si absente)	t _{bp} =	0 mm
angle entre la flange et l'axe de la poutre	$\alpha =$	0 °
excentricité de la flange da le noeud theorique	e _f =	150 mm
Boulons		
type de boulon		M27
diamètre du boulon	d _b =	27 mm
diamètre	d ₀ =	30 mm
distance du bord - dir. Y	e ₁ =	80 mm
entreaxe - dir. Y	p ₁ =	145 mm
distance du bord - dir. Z	e ₂ =	60 mm
entreaxe - dir. Z	p ₂ =	105 mm

B1	60	80
B2	60	225
B3	60	370
B4	165	80
B5	165	225
B6	165	370
B7	-	-
B8	-	-
B9	-	-
B10	-	-
B11	✓	✓
B12	✓	✓
B13	✓	✓
B14	✓	✓
B15	✓	✓
B16	✓	✓
B17	✓	✓
B18	✓	✓
B19	✓	✓
B20	✓	✓
B21		
B22		
B23		
B24		
B25		
B26		
B27		
B28		
B29		
B30		
B31		
B32		
B33		
B34		
B35		
B36		
B37		
B38		
B39		
B40		



nombre total de boulons
barycentre - coord. Z
barycentre - coord. Y
moment d'inertie polaire
moment d'inertie - axe Z
moment d'inertie - axe Y
position de l'axe neutrale
axe bord comprimé - // Y - LEV
axe bord comprimé - // Z - LEV
axe bord comprimé - // Y - ASS
axe bord comprimé - // Z - ASS

$$n_b = 6$$

$$Z_G = \sum Z_{Bi} / n_b = 112.5 \text{ mm}$$

$$Y_G = \sum Y_{Bi} / n_b = 225.0 \text{ mm}$$

$$J_{p,b} = \sum [(Z_G - Z_{Bi})^2 + (Y_G - Y_{Bi})^2] = 1.01E+05 \text{ mm}^2$$

$$J_{z,b} = \sum (Y_{Bi} - n_y)^2 = 1.08E+05 \text{ mm}^2$$

$$J_{y,b} = \sum (Z_{Bi} - n_z)^2 = 2.34E+04 \text{ mm}^2$$

2 à 1/3 de l'hauteur de la plaque

$$n_{z,LEV} = 77 \text{ mm}$$

$$n_{y,LEV} = 150 \text{ mm}$$

$$n_{z,ASS} = 77 \text{ mm}$$

$$n_{y,ASS} = 150 \text{ mm}$$

Soudure - aile		
type de soudure	FW	Soudure d'angle
gorge - FW	7	mm
angle de chanfrein - PPW	-	°
côté intérieure de la soudure - PPW	c_f	mm
côté extérieure de la soudure - PPW	d_f	mm
angle de la gorge - PPW	$\alpha_{a,f}$	°
gorge - PPW	$a_{PPW,f}$	mm
gorge de calcul - aile	$a_{W,f}$	7 mm
nombre de cordons de soudure - aile	$n_{W,f}$	2

Soudure - âme

type de soudure	FW	Soudure d'angle
gorge - FW	$a_{FW,w} = 7$	mm
angle de chanfrein - PPW	$\alpha_{ch,w} = -$	°
côté intérieure de la soudure - PPW	$c_w = -$	mm
côté extérieure de la soudure - PPW	$d_w = -$	mm
angle de la gorge - PPW	$\alpha_{a,w} = -$	°
gorge - PPW	$a_{PPW,w} = -$	mm
gorge de calcul - âme	$a_{w,w} = 7$	mm
nombre de cordons de soudure - âme	$n_{w,w} = 2$	

Charges

Efforts sur le profil

ensemble de charges	LEV	ASS
effort axial - dir. X	$F_{xp} = 563$ kN	0 kN
effort de cisellement - dir. Y	$F_{yp} = 202$ kN	0 kN
effort de cisellement - dir. Z	$F_{zp} = 0$ kN	0 kN
torsion - axe X	$M_{xp} = 0$ kNm	0 kNm
moment fléchissant - axe Y	$M_{yp} = 0$ kNm	0 kNm
moment fléchissant - axe Z	$M_{zp} = 30$ kNm	0 kNm

Efforts sur la flange

ensemble de charges	LEV	ASS
effort axial - dir. X	$F_x = 563$ kN	0 kN
effort de cisellement - dir. Y	$F_y = 202$ kN	0 kN
effort de cisellement - dir. Z	$F_z = 0$ kN	0 kN
torsion - axe X	$M_x = 0$ kNm	0 kNm
moment fléchissant - axe Y	$M_y = 0$ kNm	0 kNm
moment fléchissant - axe Z	$M_z = 61$ kNm	0 kNm

Efforts sur les boulons

ensemble de charges	LEV	ASS
force max - dir. Z	$R_{zj,max} = \max [F_z/n_b + M_x/J_{p,b}(y_G - y_{Bi})] = 0.0$ kN	0.0 kN
force max - dir. Y	$R_{y1,max} = \max [F_y/n_b + M_x/J_p(z_G - z_{Bi})] = 33.7$ kN	0.0 kN
force max - plan ZY	$R_{zy,max} = \sqrt{(R_{z,max}^2 + R_{y,max}^2)} = 33.7$ kN	0.0 kN
force max - dir. X	$R_{x,max} = \max [F_x/n_b + M_z/J_z(y_{Bi} - n_y) + M_y/J_y(z_{Bi} - n_z)] = 218.3$ kN	0.1 kN

Vérifications

Boulons

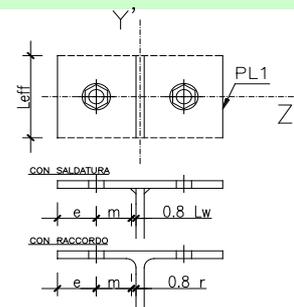
charge de projet à cisellement - LEV	$F_{V,Sd,LEV} = R_{zy,max,LEV} = 34$ kN	
charge de projet à traction - LEV	$F_{N,Sd,LEV} = R_{x,max,LEV} = 218$ kN	* : Seulement si positif autrement 0
charge de projet à cisellement - ASS	$F_{V,Sd,ASS} = R_{zy,max,ASS} = 0$ kN	
charge de projet à traction - ASS	$F_{N,Sd,ASS} = R_{x,max,ASS} = 0$ kN	* : Seulement si positif autrement 0
résistance de projet au cisellement	$F_{V,Rd} = 183.6$ kN	
résistance de projet à la traction	$F_{N,Rd} = 330$ kN	
$F_{V,Sd,LEV} \leq F_{V,Rd}$	34 kN < 183.6 kN	ratio: 0.18 OK
$F_{N,Sd,LEV} \leq F_{N,Rd}$	218 kN < 330.5 kN	ratio: 0.66 OK
$F_{V,Sd,LEV}/F_{V,Rd} + F_{N,Sd,LEV}/(1.4F_{N,Rd}) \leq 1$	0.66 < 1.0	ratio: 0.66 OK
$F_{V,Sd,ASS} \leq F_{V,Rd}$	0 kN < 183.6 kN	ratio: 0.00 OK
$F_{N,Sd,ASS} \leq F_{N,Rd}$	0 kN < 330.5 kN	ratio: 0.00 OK
$F_{V,Sd,ASS}/F_{V,Rd} + F_{N,Sd,ASS}/(1.4F_{N,Rd}) \leq 1$	0.00 < 1.0	ratio: 0.00 OK

Flange - Préhension diamétrale

charge de projet pour la pression diamétrale - LEV	$F_{b,Sd,LEV} = R_{zy,max,LEV} = 34$ kN	
charge de projet pour la pression diamétrale - ASS	$F_{b,Sd,ASS} = R_{zy,max,ASS} = 0$ kN	
coeff. - boulons bord dir. //	$\alpha_{d,edge} = e_1/(3 d_0) = 0.89$	
coeff. - boulons intérieurs dir. //	$\alpha_{d,inn} = p_1/(3 d_0) - 0.25 = 1.36$	
coeff. - dir. //	$\alpha_b = \min(\alpha_{d,inner}; \alpha_{d,edge}; f_{ub}/f_u) = 0.89$	
coeff. - boulons bord dir. ⊥	$k_{inner} = \min(2.8 e_2/d_0 - 1.7; 2.5) = 2.50$	
coeff. - boulons intérieurs dir. ⊥	$k_{edge} = \min(1.4 p_2/d_0 - 1.7; 2.5) = 2.50$	
coeff. - dir. ⊥	$k = \min(k_{edge}; k_{inner}) = 2.50$	
résistance à la pression diamétrale	$F_{b,Rd} = k \alpha_b f_u d_b t_f / \gamma_{M2} = 676.8$ kN	
$F_{b,Sd,LEV} \leq F_{b,Rd}$	34 kN < 676.8 kN	ratio: 0.05 OK
$F_{b,Sd,ASS} \leq F_{b,Rd}$	0 kN < 676.8 kN	ratio: 0.00 OK

Flange - Résistance (T-Stub)

effort axial de traction (sur deux boulons) - LEV	$F_{N,Sd,LEV} = 2 \cdot R_{x,max,LEV}$	437	kN		
effort axial de traction (sur deux boulons) - ASS	$F_{N,Sd,ASS} = 2 \cdot R_{x,max,ASS}$	0	kN		
longueur efficace élément T équivalent	$L_{eff} =$	145	mm		
distance réduite du boulon da l'âme	$m =$	55	mm		
distance minimale du boulon da le bord	$e =$	60	mm		
distance de calcul du boulon da le bord	$n =$	60.0	mm		
moment plastique résistant du T-stub	$M_{pl,Rd} = 0.25 \cdot L_{eff} t_f^2 f_{yk} / \gamma_{MO}$	1.07E+07	Nmm		
moment plastique résistant de la plaque de renforcement	$M_{bp,Rd} = 0.25 \cdot L_{eff} t_{bp}^2 f_{yk} / \gamma_{MO}$	0.00E+00	Nmm		
mécanisme plastique complet de aile	$F_{T,Rd1} = (4 \cdot M_{pl,Rd} + 2 \cdot M_{bp,Rd}) / m$	779.6	kN		
rendement de l'aile	$F_{T,Rd2} = (2 \cdot M_{pl,Rd} + n F_{t,Rd}) / (m+n)$	531.3	kN		
rupture des boulons	$F_{T,Rd3} = 2 \cdot F_{t,Rd}$	661.0	kN		
résistance de calcul du T-stub	$F_{T,Rd} = \min(F_{T,Rd1}; F_{T,Rd2}; F_{T,Rd3})$	531.3	kN		
$F_{N,Sd,LEV} \leq F_{T,Rd}$	→	436.7 kN	<	531.3 kN	ratio: 0.82 OK
$F_{N,Sd,ASS} \leq F_{T,Rd}$	→	0.2 kN	<	531.3 kN	ratio: 0.00 OK



Résistance poutre - aile

ensemble de charges		LEV		ASS	
tension axiale	$\sigma_{x,i} = (F_x /A) + (M_x /W_x) + (M_y /W_y)$	18.32	N/mm ²	0.01	N/mm ²
tension cisellement	$\tau_{z,i} = F_z /A_y$	0.01	N/mm ²	0.01	N/mm ²
tension VM	$\sigma_{VM} = \sqrt{(\sigma_{x,i})^2 + 3\tau_{z,i}^2}$	18.32	N/mm ²	0.01	N/mm ²
tension limite de calcul	$f_{y,Rd} = f_{yk} / \gamma_{MO}$	338.1	N/mm ²		
$ \sigma_{VM,LEV} \leq f_{y,Rd}$	→	18 N/mm ²	<	338.1 N/mm ²	ratio: 0.05 OK
$ \sigma_{VM,ASS} \leq f_{y,Rd}$	→	0 N/mm ²	<	338.1 N/mm ²	ratio: 0.00 OK

Résistance poutre - âme

ensemble de charges		LEV		ASS	
tension axiale	$\sigma_{x,w} = (F_x /A) + (M_x /W_x) + (M_y /W_y)$	18.21	N/mm ²	0.00	N/mm ²
tension cisellement	$\tau_{y,w} = F_y /A_w$	21.49	N/mm ²	0.00	N/mm ²
tension VM	$\sigma_{VM} = \sqrt{(\sigma_{x,w})^2 + 3\tau_{y,w}^2}$	41.44	N/mm ²	0.00	N/mm ²
tension limite de calcul	$f_{y,Rd} = f_{yk} / \gamma_{MO}$	338.1	N/mm ²		
$ \sigma_{VM,LEV} \leq f_{y,Rd}$	→	41 N/mm ²	<	338.1 N/mm ²	ratio: 0.12 OK
$ \sigma_{VM,ASS} \leq f_{y,Rd}$	→	0 N/mm ²	-	338.1 N/mm ²	ratio: 0.00 OK

Soudure - aile

ensemble de charges		LEV		ASS	
tension perpendiculaire sur la soudure	$n_{\perp f} = \sigma_{xt} (t_f / n_{W,f} a_{W,f})$	39	N/mm ²	0	N/mm ²
tension parallèle sur la soudure	$t_{//f} = \tau_{zt} (t_f / n_{W,f} a_{W,f})$	0	N/mm ²	0	N/mm ²
$\sqrt{(n_{\perp f})^2 + (t_{//f})^2}_{LEV} \leq f_{wd}$	→	39 N/mm ²	<	262 N/mm ²	ratio: 0.15 OK
$\sqrt{(n_{\perp f})^2 + (t_{//f})^2}_{ASS} \leq f_{wd}$	→	0 N/mm ²	<	262 N/mm ²	ratio: 0.00 OK

Soudure - âme

ensemble de charges		LEV		ASS	
tension perpendiculaire sur la soudure	$n_{\perp w} = \sigma_{xw} (t_w / n_{W,w} a_{W,w})$	13	N/mm ²	0	N/mm ²
tension parallèle sur la soudure	$t_{//w} = \tau_{yw} (t_w / n_{W,w} a_{W,w})$	15	N/mm ²	0	N/mm ²
$\sqrt{(n_{\perp w})^2 + (t_{//w})^2}_{LEV} \leq f_{wd}$	→	20 N/mm ²	<	262 N/mm ²	ratio: 0.08 OK
$\sqrt{(n_{\perp w})^2 + (t_{//w})^2}_{ASS} \leq f_{wd}$	→	0 N/mm ²	<	262 N/mm ²	ratio: 0.00 OK

Nous constatons que tous les vérifications ont un rapport, qui ne dépasse pas 0.2. Sauf, la vérification de la résistance T-stub qui représente un rapport de 0.89.

Les phases provisoires et les ouvrages qui ont décollent sont des étapes fondamentales dans la vérification des ouvrages, car il est peu probable dans les ouvrages du bâtiment que les structures voient les charges pour lesquels ils ont été dimensionnés. Il est certain qu'ils virent ces charges en phase provisoire. Par ailleurs, il est important de prévoir une conception robuste et une sécurité suffisante pour que dans les phases de construction et de manutention

les plus défavorables (mauvaise manutention, position des élingues inadéquates), les structures levées soient toujours en sécurité.

Conclusion

Ce projet de fin d'études avait pour but l'étude de la mise en place de la 4D, pour la planification des travaux de la charpente métallique sur le projet de l'Arena92. Et le suivi des ouvrages provisoires ainsi que les non-conformités sur le chantier.

En premier lieu, j'ai dû comprendre le principe et les étapes de la planification 4D. J'ai aussi fait recours aux compétences de mes collègues. Ainsi j'ai pu comprendre la méthode de construction de la charpente et les plannings associés, ce qui m'a permis de Solidifier mes acquis dans le BIM, et de m'initialiser avec le logiciel SYNCHRO PRO pour la planification 4D.

Ma contribution sur les 2 niveaux, planification et exécution, m'a permis de comprendre le fonctionnement du chantier et le rôle du BIM pour l'optimisation des travaux. En plus, ma participation à la vérification et au suivi des ouvrages provisoires m'a permis de mettre en pratique mes acquis et de développer mes compétences du calcul de la charpente métallique.

La bonne intégration d'un processus BIM est primordiale pour l'entreprise, le suivi du développement du BIM est un aspect important pour Vinci construction, d'autant plus qu'il deviendra obligatoire pour les marchés publics. L'intégration de la planification 4D à permet de développer et d'améliorer la méthode de collaboration, et de mettre en place des nouvelles idées en cherchant à diminuer de nombreuses étapes restent à franchir afin de tendre vers l'idéal BIM.

Bibliographie :

- Couchaux, Mael, 2012, *Intra VINCI Construction Assemblages selon l'Eurocode 3 présentation de l'EN 1993-1-8 Calcul des assemblages.*
- BIM&BTP construire grâce à la maquette numérique, Edition 2016
- L'EUROCODE 3

Annexes

Annexe 1 : Numérotation des ouvrages de la charpente.

Numérotation des ouvrages

04 à 08 : Secteurs et Pièce par pièce du Sud (n°4 à 8)
12 à 19 : Secteurs et Pièce par pièce de l'Ouest (n°12 à 19)
21 à 28 : Secteurs et Pièce par pièce de l'Est (n°21 à 28)

31 : P1 (virage Est)
32 : T1 (virage Est)
33 : P2 (virage Est)
34 : T2 (virage Est)
35 : P3 (virage Est)
36 : T3 (virage Est)
37 : P4 (virage Est)

51 : LO2
52 : LO1
53 : LE2
54 : LE1

61 : MN1
62 : MN2
63 : MN3

64 : MMB
65 : MMH

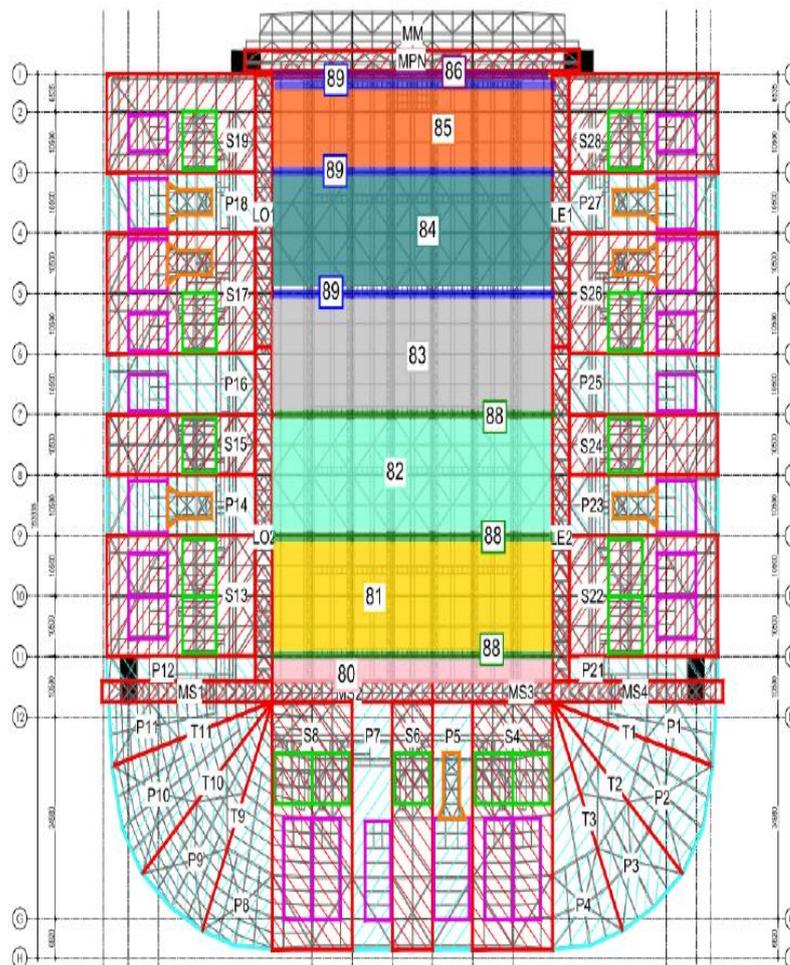
71 : MS1
72 : MS2
73 : MS3
74 : MS4

80 : Remplissage entre MPS et file 11 (Toiture Centrale partie Sud)
81 : Remplissage entre files 11 et 9 (Toiture Centrale partie Sud)
82 : Remplissage entre files 9 et 7 (Toiture Centrale partie Sud)
83 : Remplissage entre files 7 et 5 (Toiture Centrale partie Nord)
84 : Remplissage entre files 5 et 3 (Toiture Centrale partie Nord)
85 : Remplissage entre files 3 et 1 (Toiture Centrale partie Nord)
86 : Remplissage entre files 1 et MPN (Toiture Centrale partie Nord)

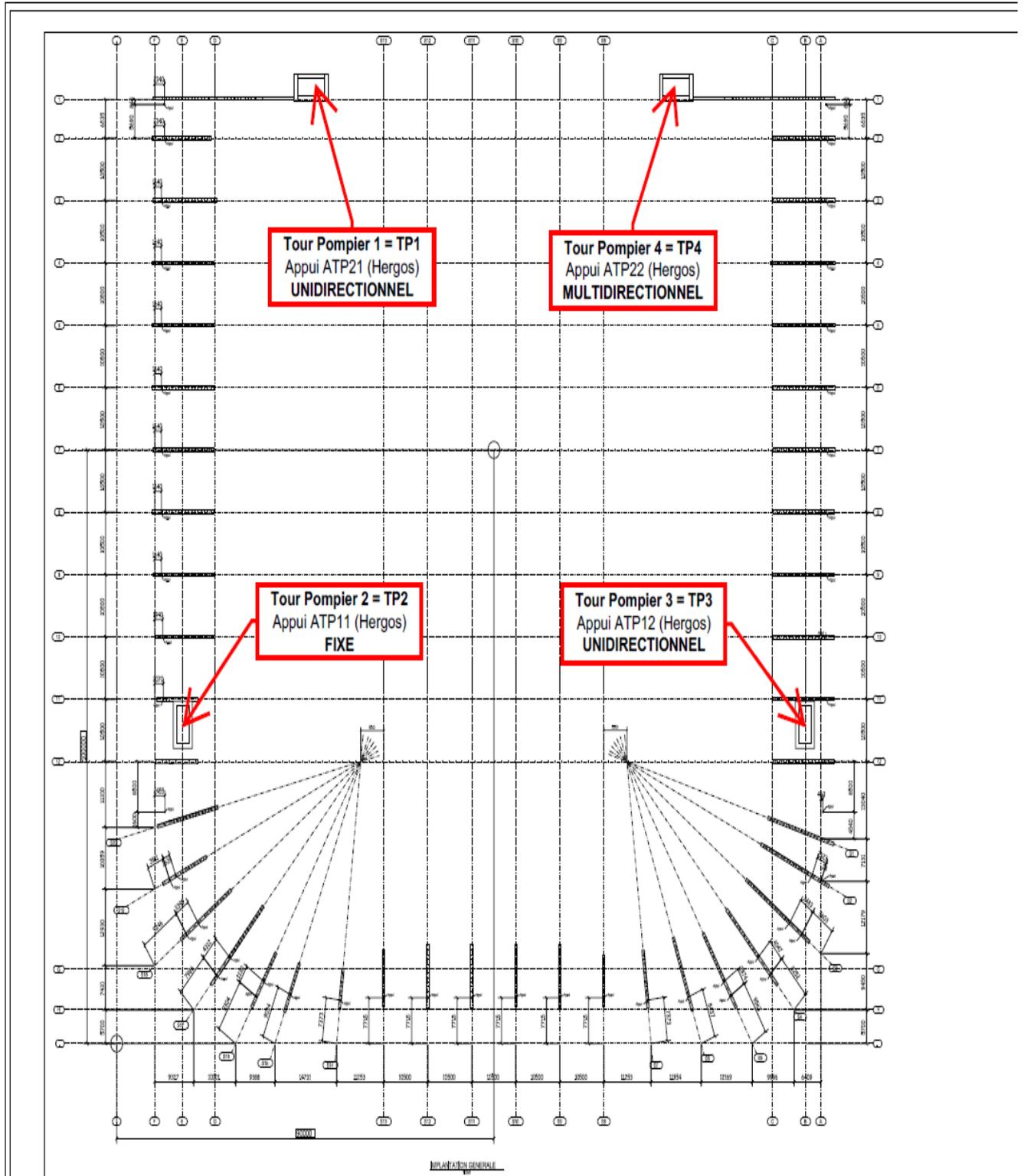
88 : Treillis principal C1 des files 11 / 9 / 7 (Toiture Centrale partie Sud)
89 : Treillis principal C1 des files 5 / 3 / 1 (Toiture Centrale partie Nord)

TCS	80 - 81 - 82 - 88
TCN	84 - 85 - 86 - 89
TCC	83

91 : P8 (virage Ouest)
92 : T9 (virage Ouest)
93 : P9 (virage Ouest)
94 : T10 (virage Ouest)
95 : P10 (virage Ouest)
96 : T11 (virage Ouest)
97 : P11 (virage Ouest)



Annexe 2 : Les degrés de liberté des appuis



Annexe 3 : Plan de levage du décompresseur P14

POIDS À LEVER - DÉCOMPRESSEUR P14

PARTIELLE - CHARPENTE (Structure: Pannes, Bouloins et souches)

PARTIELLE - ÉQUIPEMENTS

PARTIELLE - HABILLAGE + TUBES

PARTIELLE - ÉLINGAGE (élingues, manilles, palan)

PARTIELLE - MOULÉ (moulle + crochet et moufle rapide)

TOTAL GÉNÉRAL À LEVER

Poids [ton]	K _{acc} [m]	V _{acc} [m]	Acc. [m]	V _{acc} [m]
20,65	32,129	84,272	4,543	6,174
6,20	32,763	83,773	5,042	6,808
33,25	32,284	84,687	4,128	6,329
13,26	32,280	84,450	4,965	6,325
19,80	32,280	84,450	4,965	6,325
99,16	32,280	84,450	4,965	6,325

POIDS TOTAL À LEVER - DÉCOMPRESSEUR P14

CHARPENTE

ÉQUIPEMENTS

HABILLAGE DÉCOMPRESSEUR + TUBES

Poids [ton]	V _{acc} [m]	Acc. [m]	V _{acc} [m]
20,65	32,129	84,272	4,543
6,20	32,763	83,773	5,042
33,25	32,284	84,687	4,128
13,26	32,280	84,450	4,965
19,80	32,280	84,450	4,965
99,16	32,280	84,450	4,965

REMARQUES:

- TOUTES LES RÉACTIONS SONT À L'ÉTAT DE DÉPART.
- LE FOND DU SYSTÈME DE LEVAGE (Système de levage compris).
- LE SCHEMA EST SEULEMENT UNE REPRÉSENTATION APPROXIMATIVE DU SYSTÈME DE LEVAGE. LES LONGUEURS, LES ANGLES, LES PENTES, LES COORDONNÉES, LES COORDONNÉES DE GRAVITE MONTRÉES DANS LES COORDONNÉES 3D ET 2D SONT DÉTERMINÉES À PARTIR DE RELEVÉS LOCALS.

1) DÉCOMPRESSEUR P14 - LEVAGE

COUPE A-A

COUPE B-B

COUPE C-C

COUPE D-D

COUPE E-E

COUPE F-F

COUPE G-G

COUPE H-H

COUPE I-I

COUPE J-J

COUPE K-K

COUPE L-L

COUPE M-M

COUPE N-N

COUPE O-O

COUPE P-P

COUPE Q-Q

COUPE R-R

COUPE S-S

COUPE T-T

COUPE U-U

COUPE V-V

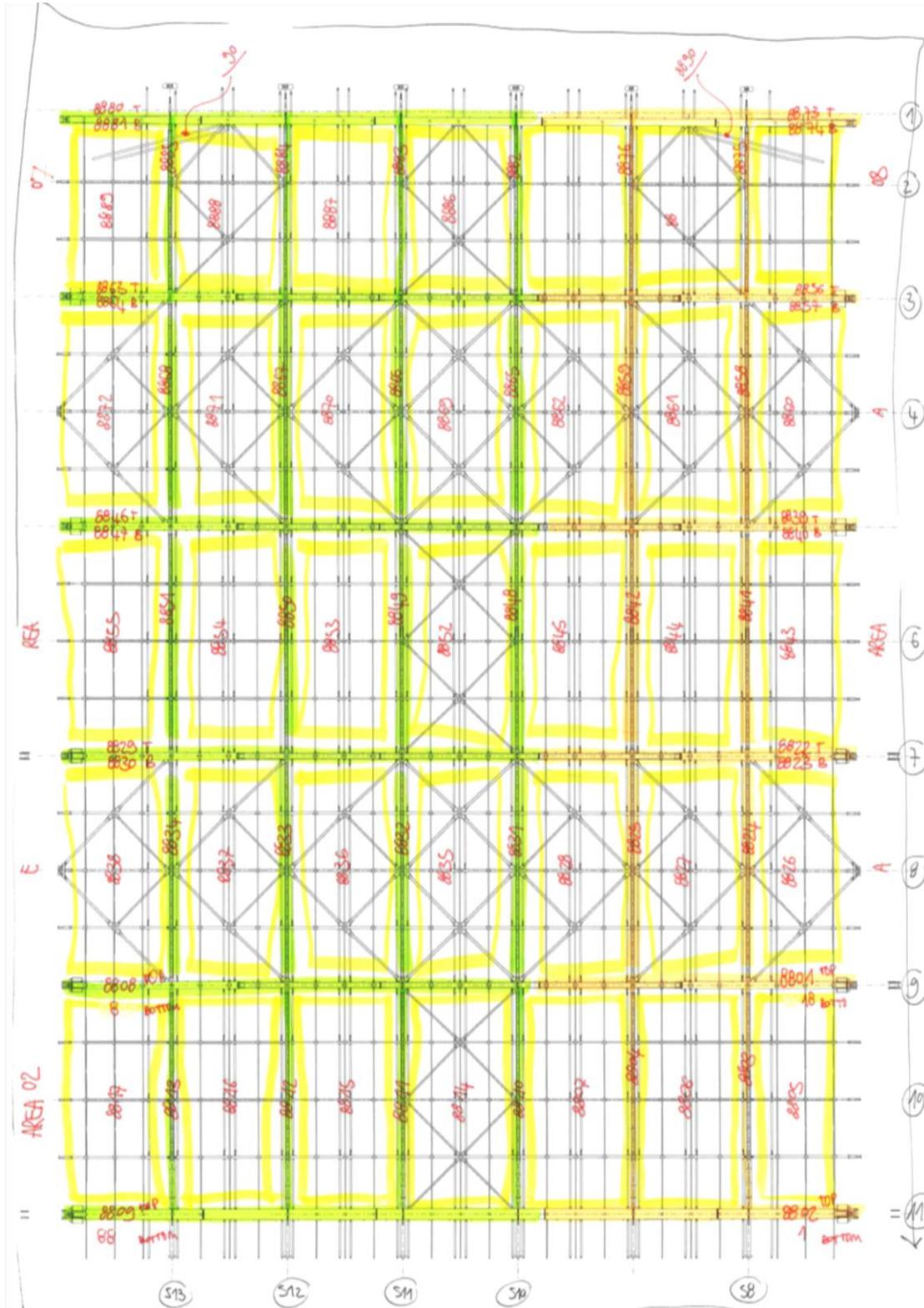
COUPE W-W

COUPE X-X

COUPE Y-Y

COUPE Z-Z

Annexe 4 : Découpage de la toiture centrale



Résumé

Le présent rapport synthétise le travail effectué dans le cadre du stage de fin d'études au sein de la société Bateg, Vinci construction France.

Ce projet a été effectué au poste de conducteur des travaux sur le chantier de l'Arena92 à la Défense. L'objectif est de mettre en pratique l'ensemble des connaissances et méthodes acquises tout au long du cursus de l'INSA Rennes.

Le projet, exposé dans le présent mémoire, porte sur la mise en place de la 4D pour le suivi des travaux de la charpente métallique sur le chantier de l'Arena92, ainsi que le suivi des ouvrages provisoires et les non-conformités présentes sur chantier.

Vu l'expérience réussie avec le BIM sur le projet, Bateg a voulu optimiser la planification de son projet et de passer du BIM 3D à la planification 4D. Ma mission est d'étudier le fonctionnement de la 4D et de s'en servir pour la planification des travaux de la charpente. La mise en place de cet outil a permis de développer et d'améliorer la méthode de collaboration, en facilitant la compréhension du montage, les délais associés, et l'organisation du chantier. En plus, la 4D était un outil très convaincant et pratique, pour justifier la méthode adoptée, lors des réunions du chantier.

Sur le niveau pratique, la présence des non-conformités et les imprévus ont été un défi pour l'équipe, la confrontation à ces problèmes était pour moi une grande expérience, ce qui m'a permis de développer mon esprit analytique et enrichir mes connaissances dans la charpente métallique.

Grâce à ce stage, j'ai contribué à des missions qui m'ont permis d'entrevoir en quoi consiste la profession d'ingénieur de travaux dans ce secteur d'activité. Le travail réalisé s'est avéré très enrichissant pour mon expérience professionnelle aussi bien en ce qui concerne le domaine technique que l'aspect humain. Dans les travaux réalisés, j'ai pu apporter mes connaissances théoriques et approfondir certains domaines que je ne connaissais pas encore.

Abstract

This report summarizes the work carried out during the internship at the Bateg Company, Vinci Construction France.

This project was carried out at the position of driver of works on the site of the Arena92 in La Défense. The objective is to put into practice all the knowledge and methods acquired throughout the INSA Rennes curriculum.

The project, set out in this submission, deals with the implementation of 4D for the follow-up with the structural work on the Arena92, as well as the monitoring of temporary works and nonconformities present on site.

Given the successful experience with BIM on the project, Bateg wanted to optimize the planning of his project and move from 3D BIM to 4D planning. My mission is to study the operation of 4D and to use it for planning the work of the framework. The implementation of this tool allowed to develop and improve the method of collaboration, facilitating the understanding of the assembly, the associated delays, and the organization of the site. In addition, 4D was a very convincing and practical tool, to justify the method adopted, during the meetings of the site.

On the practical level, the presence of nonconformities and contingencies were a challenge for the team, the confrontation with these problems was for me a great experience, which allowed me to develop my analytical express and enrich my knowledge in the metal framework.

Thanks to this internship, I have contributed to missions that have allowed me to glimpse what constitutes the profession of engineer of works in this sector of activity. The work I have done has proved to be very enriching for my professional experience both in the technical field and the human aspect. In the works, I was able to bring my theoretical knowledge and to deepen certain areas that I did not know yet.