

STRUCTURE MÉTALLIQUE DU PREMIER TÉLÉPHÉRIQUE URBAIN DE FRANCE À BREST

Fabrice BEASSE, Dominique DHIER
(SMB – Constructions métalliques)

Structure Métallique du Premier Téléphérique Urbain à Brest



AFGC – Le Génie Civil et l'aménagement des grandes métropoles
ESTP PARIS
15 et 16 Mars 2017 à CACHAN

Structure Métallique du Premier Téléphérique Urbain à Brest

Intervenants:

- ✓ Maître d'Ouvrage: Brest Métropole Océane
- ✓ Concepteur / Réalisateur: Groupement BOUYGUES TP/ BMF Bartholet / Halet Villette / SETEC et DSCA
- ✓ Constructeur Métallique: Société SMB
- ✓ Exploitant: KEOLIS

SOMMAIRE

1- Choix du téléphérique

2- Caractéristiques du projet

3- La structure métallique

- Le pylône
- La gare de Siam
- La gare des Capucins

4- Le référentiel technique

- Etudes
- Acier
- Fabrication
- Montage

5- Points particuliers

- Le pylône
- La gare de Siam
- La gare des Capucins

6- Quelques chiffres

- Moyen de transport
- Structure métallique

7- Conclusion

8- Remerciements

1- Choix du Téléphérique

- Objectif en 2011 :
 - ✓ Assurer un passage entre la rive gauche « centre ville, dynamique de Brest » et la rive droite de la Penfeld, quartier des Capucins en plein développement.
- Contraintes principales :
 - ✓ Laisser un tirant d'air de 50m pour le passage des bateaux militaires.
 - ✓ Minimiser les emprises au sol des constructions.
 - ✓ Assurer un service continu pendant toute l'année.
 - ✓ Assurer une continuité avec les modes de transport en service dans la ville.
- Solutions étudiées :
 - ✓ Pont transbordeur, pont routier levant, passerelles levantes et téléphérique.
 - ✓ Choix d'un téléphérique plus respectueux de l'environnement et moins coûteux.
 - ✓ Respect des contraintes du projet, structure compacte et faible emprise dans la zone militaire.
 - ✓ Un même ticket pour le Tram, le bus et le téléphérique.
 - ✓ Particularité: système dit « saut-de-mouton », les cabines sont l'une au dessus de l'autre. Elles fonctionnent ainsi en va et vient avec des espacements de câbles porteurs différents ne nécessitant qu'une seule largeur de cabine dans les gares.

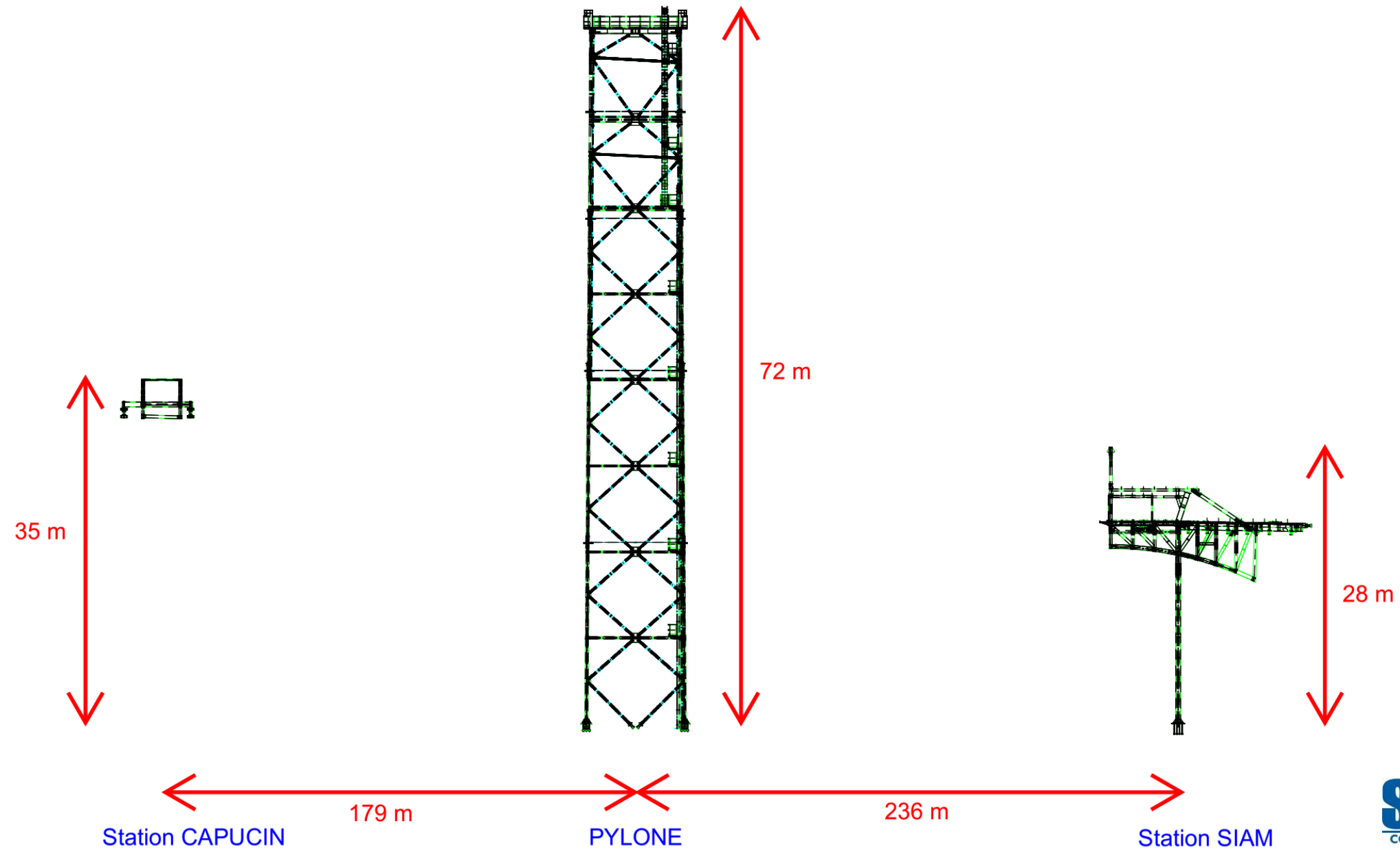
2- Caractéristiques du projet

- Vue en plan



2- Caractéristiques du projet

- Élévation



2- Caractéristiques du projet

- Caractéristiques du projet:

- Pylône 80m de hauteur
- 420 m de distance à franchir
- 3 minutes de traversée
- 5 minutes de fréquence
- 60 personnes dans une cabine en mode évènement, 40 personnes en mode classique
- Poids total sur les câbles: 1 cabine = 10,2 tonnes , 2 cabines = 20,4 tonnes
- 358 jours de fonctionnement de 7h30 à 0h30
- Fonctionnement en automatique, pas de conducteur
- Gestion et commande décentralisées à 5 km du téléphérique
- 50 mètres de tirant d'air
- 108 km/h vitesse de vent maximum pour fonctionner
- Câbles porteurs: diamètre 50 mm, 4 câbles, voie haute = 3,3m d'écart, voie basse = 6,3m
- Câbles de traction: diamètre 25 mm
- Système de récupération d'énergie lors de la descente des cabines

3- La structure métallique

L'acier est très présent sur le téléphérique: câbles, cabine, gares et pylône.

PYLONE :

Le pylône, environ 80m de haut sur une base de 10m x 10m supporte en partie centrale les sabots, porteurs des câbles, pour la voie haute et basse, afin de dégager le tirant d'air nécessaire, 50 mètres.

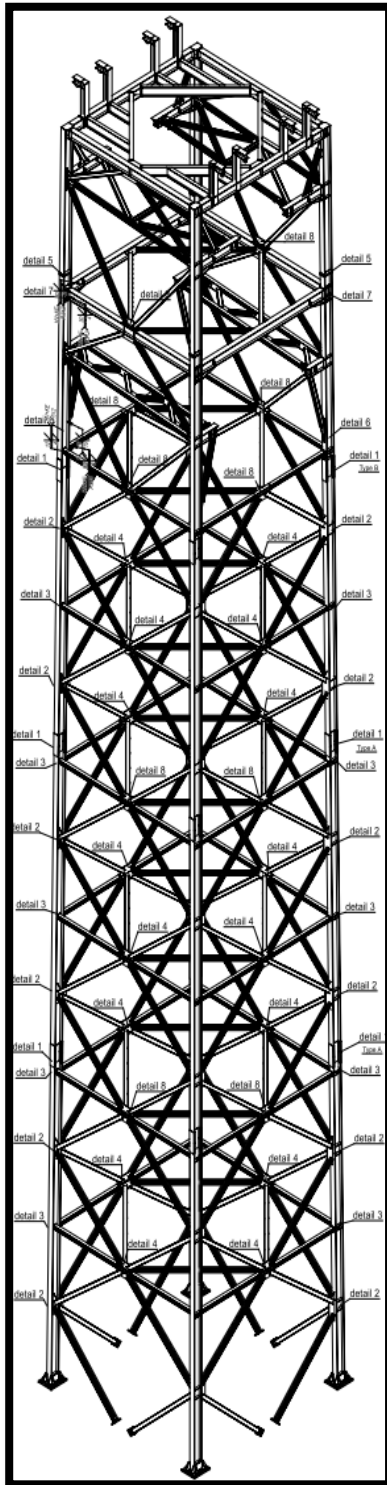
Les sabots assurent aussi la déviation des câbles.

Acier à haute limite élastique

- ✓ Montant en HEM 500 - S460 M,
- ✓ Diagonale en UPE 220 et 240 – S355 K2 ou N
- ✓ Contreventement sur les 4 faces, avec zones de planchers techniques sur 3 niveaux (environ 58.5 ml, 67.5ml, 76.5ml)
- ✓ Poids total: 200 Tonnes

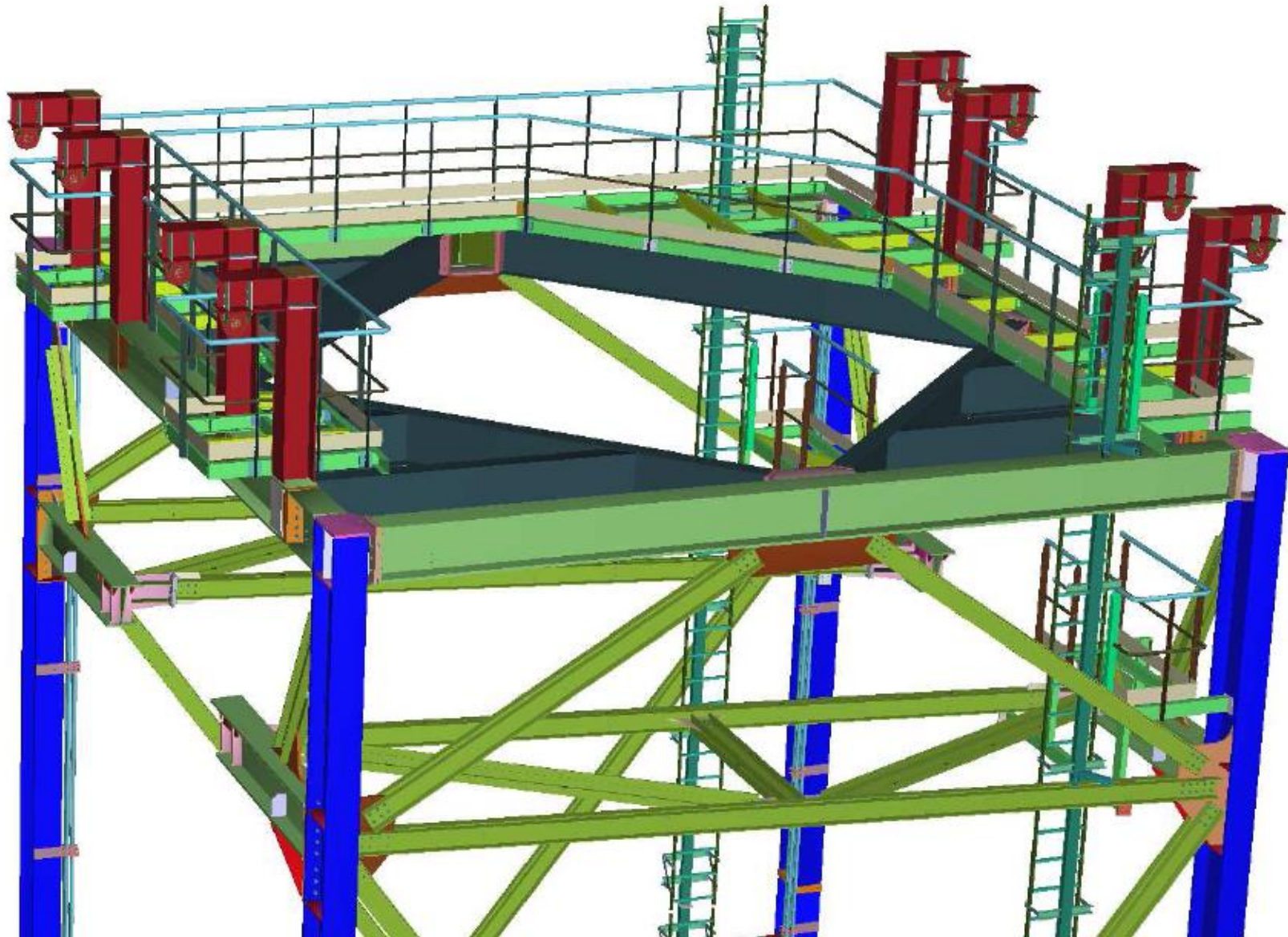
3- La structure métallique

- Elévation



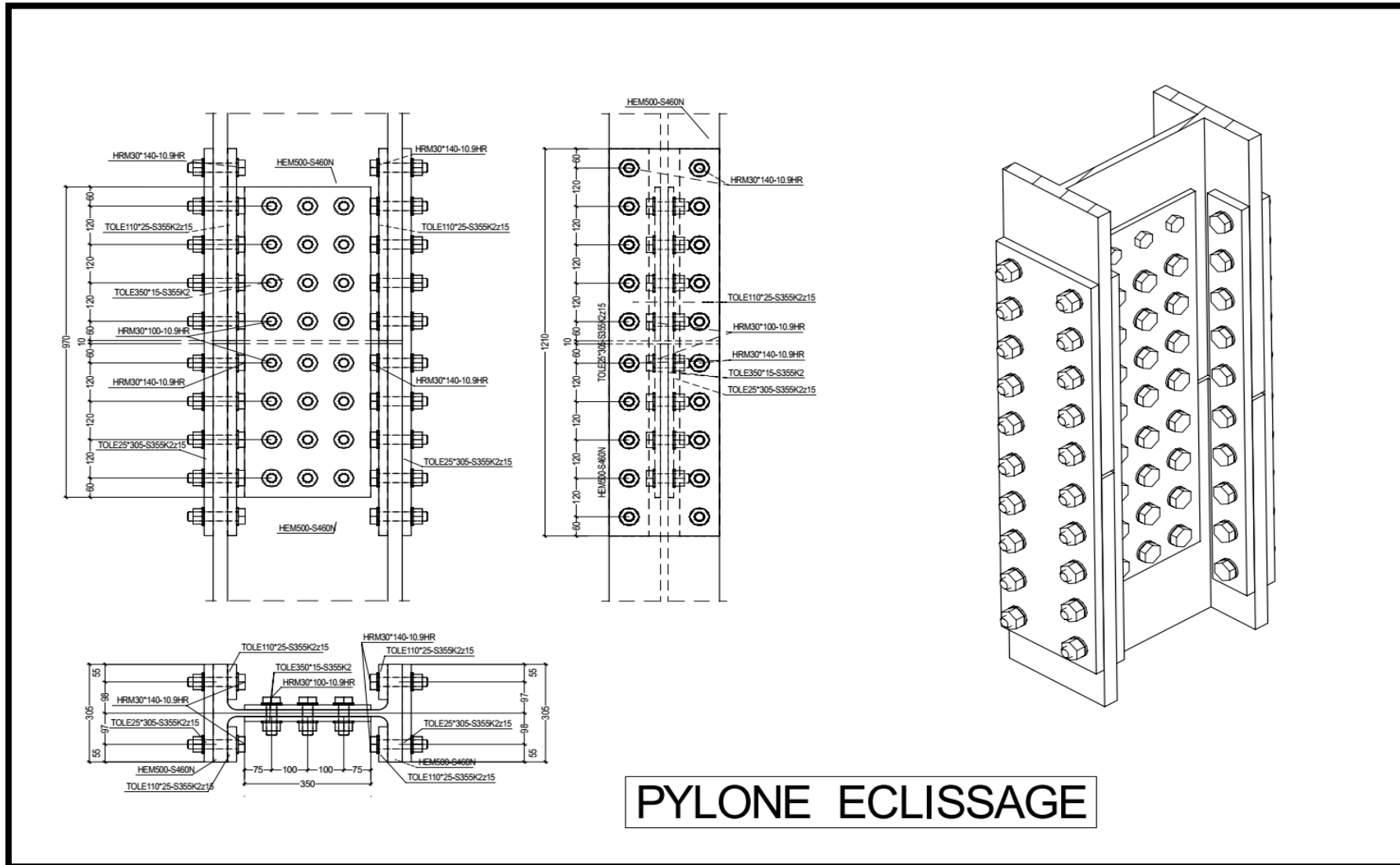
3- La structure métallique

- Quelques détails



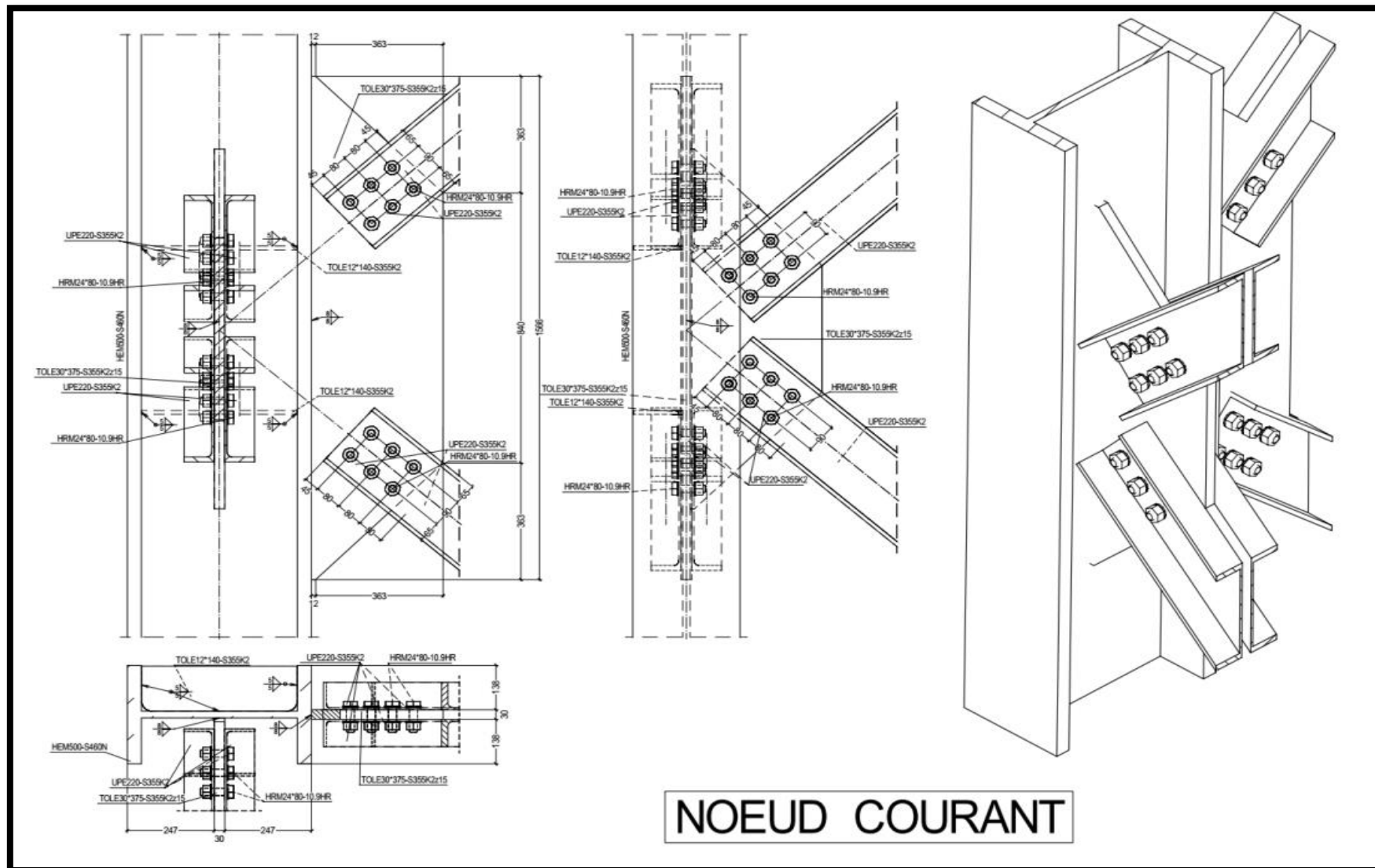
3- La structure métallique

- Quelques détails

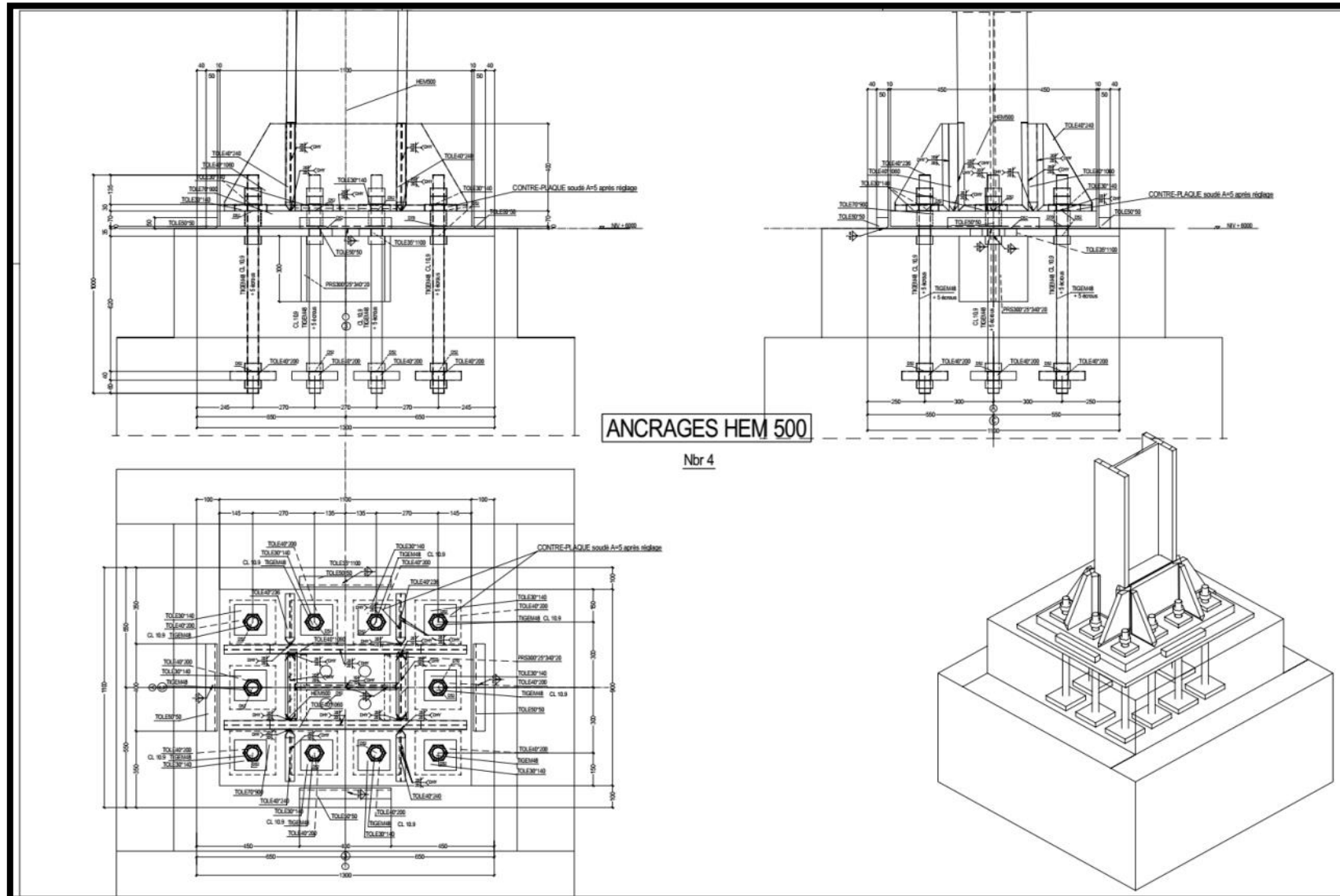


3- La structure métallique

- Quelques détails



- Quelques détails



3- La structure métallique

La gare de SIAM:

Repose sur une palée de 18 m de hauteur et sur un caisson d'ancrage fixé sur le mur de l'enceinte de l'arsenal.

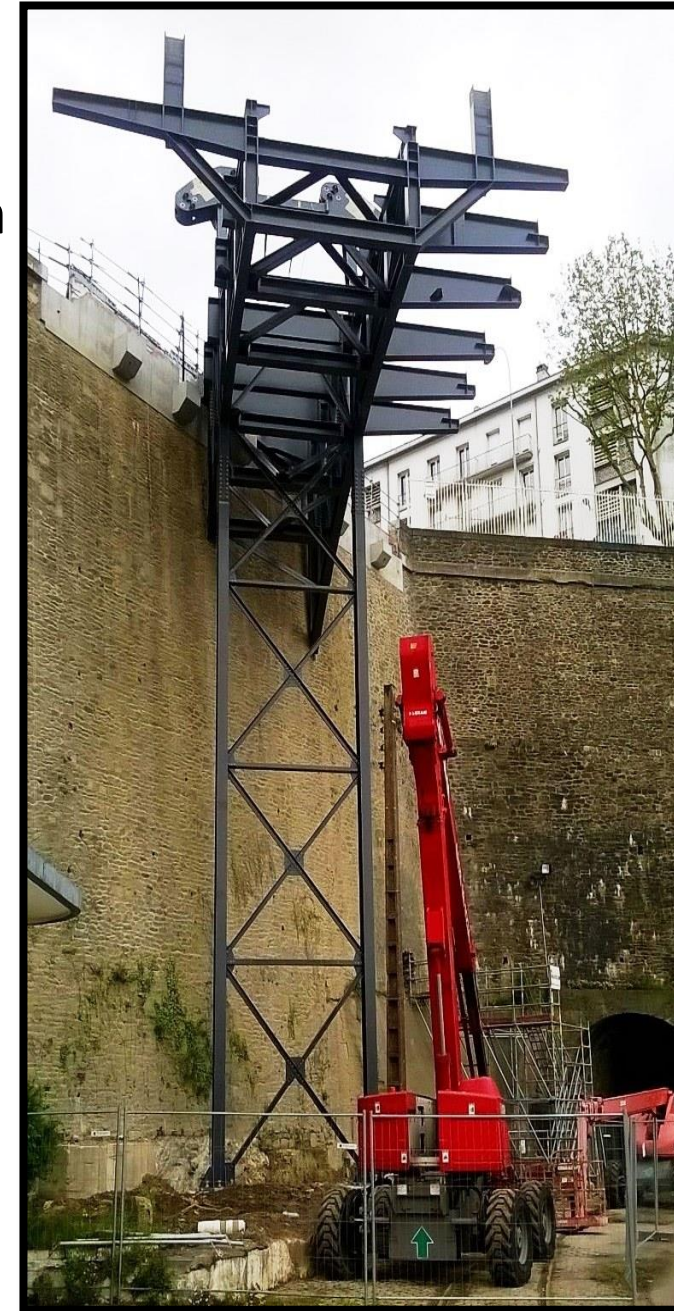
La gare est entièrement métallique et en porte à faux sur toute sa longueur et largeur.

Palée en HEA 500 – S355

Poutres treillis en HEA 300 et HEM 300

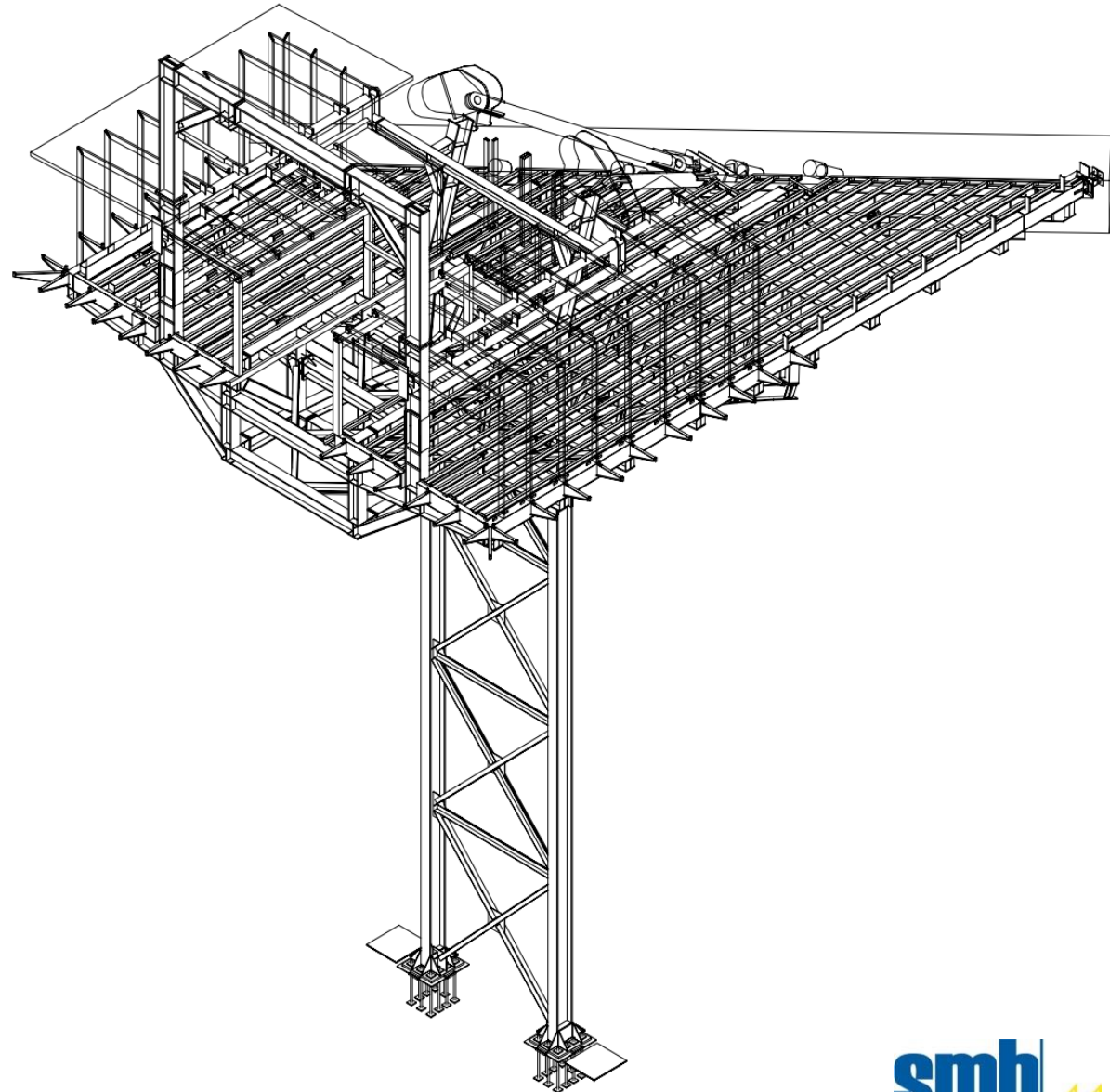
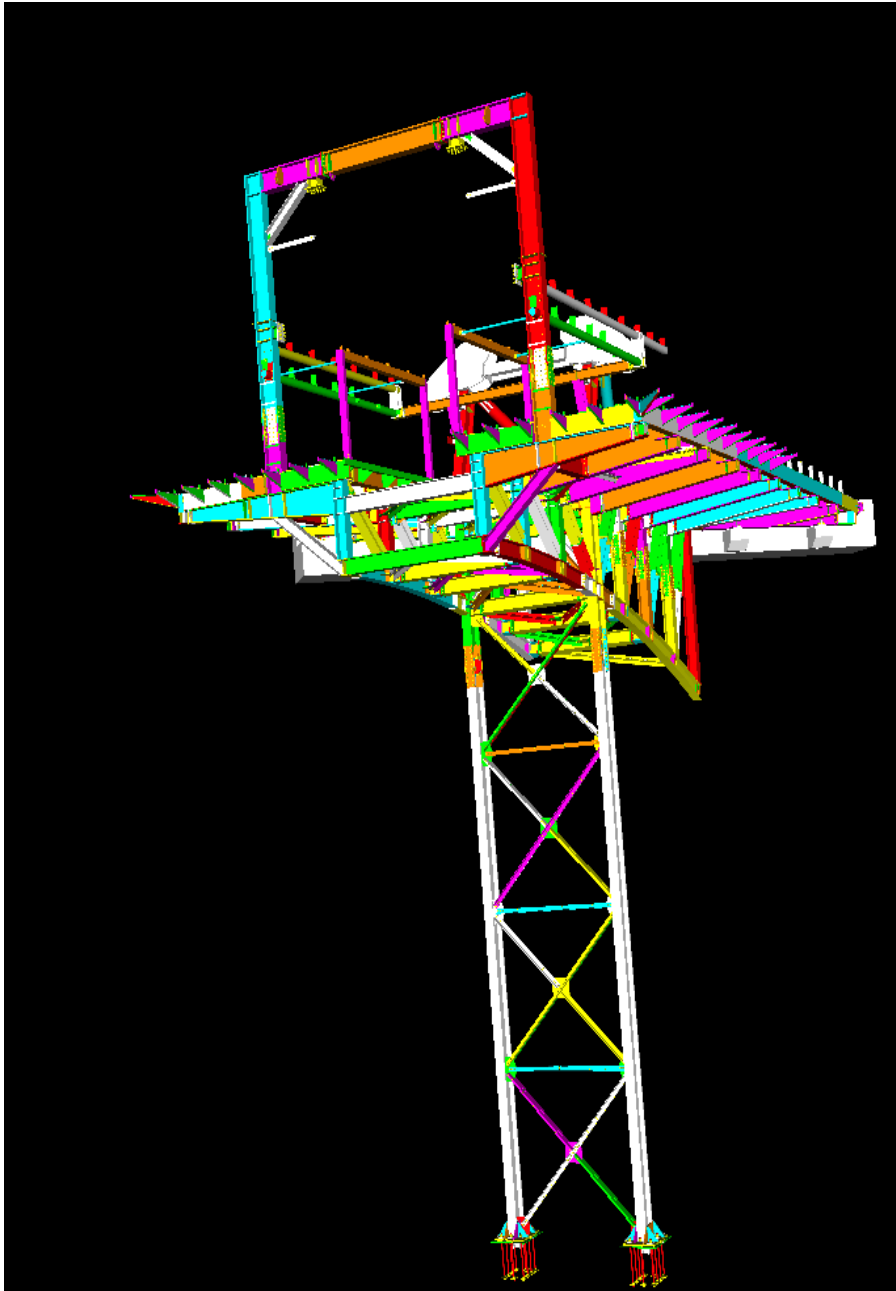
PRS (Profil Reconstitué Soudé) en tôle 650 mm de hauteur et 300 mm de largeur

Poids total = 120 tonnes



3- La structure métallique

- Perspectives



- Quelques Vues



3- La structure métallique

La gare des CAPUCINS

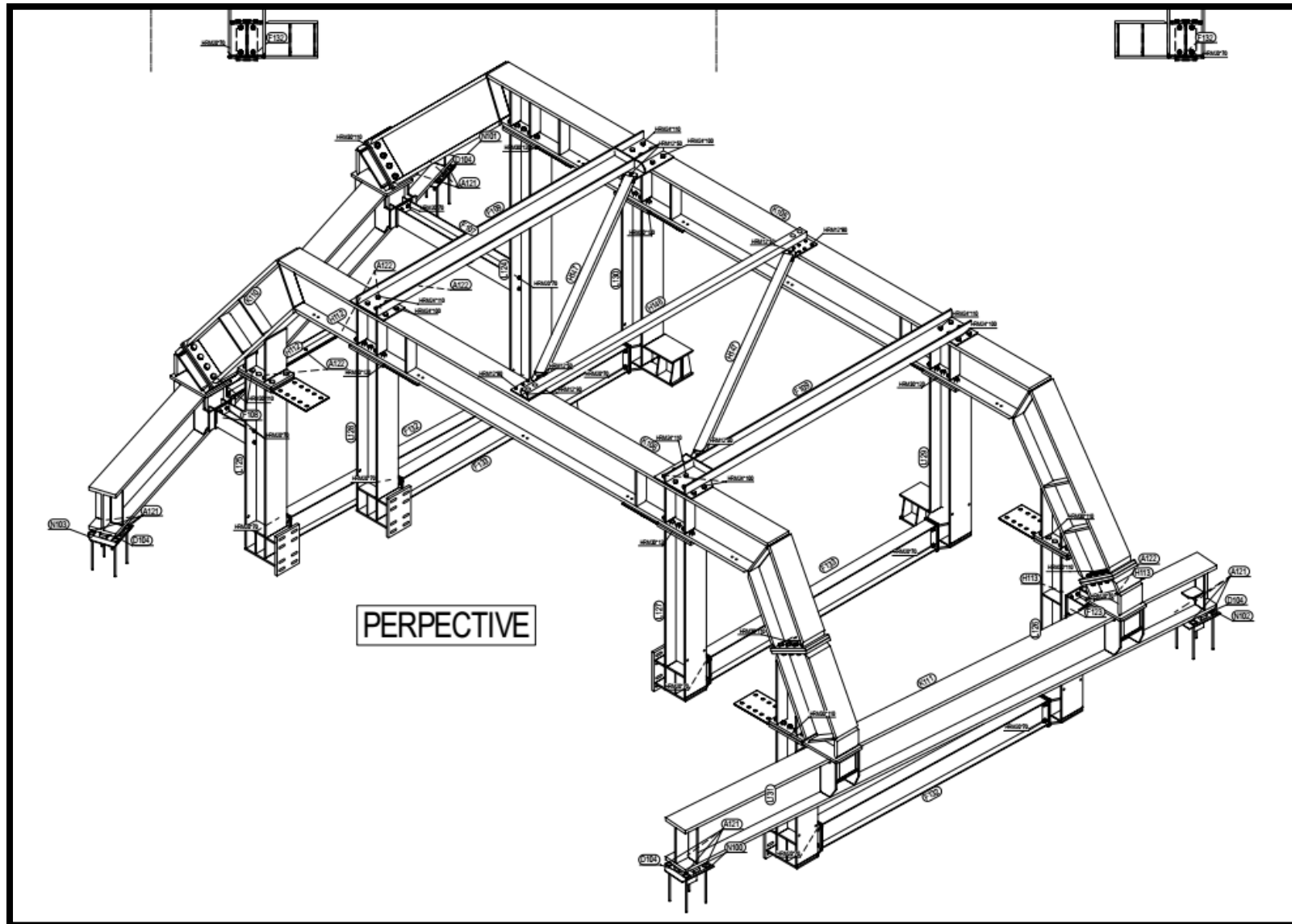
L'ossature supporte uniquement les systèmes sabots, support des câbles et cabines.

La gare est située dans l'ancien bâtiment des Capucins.

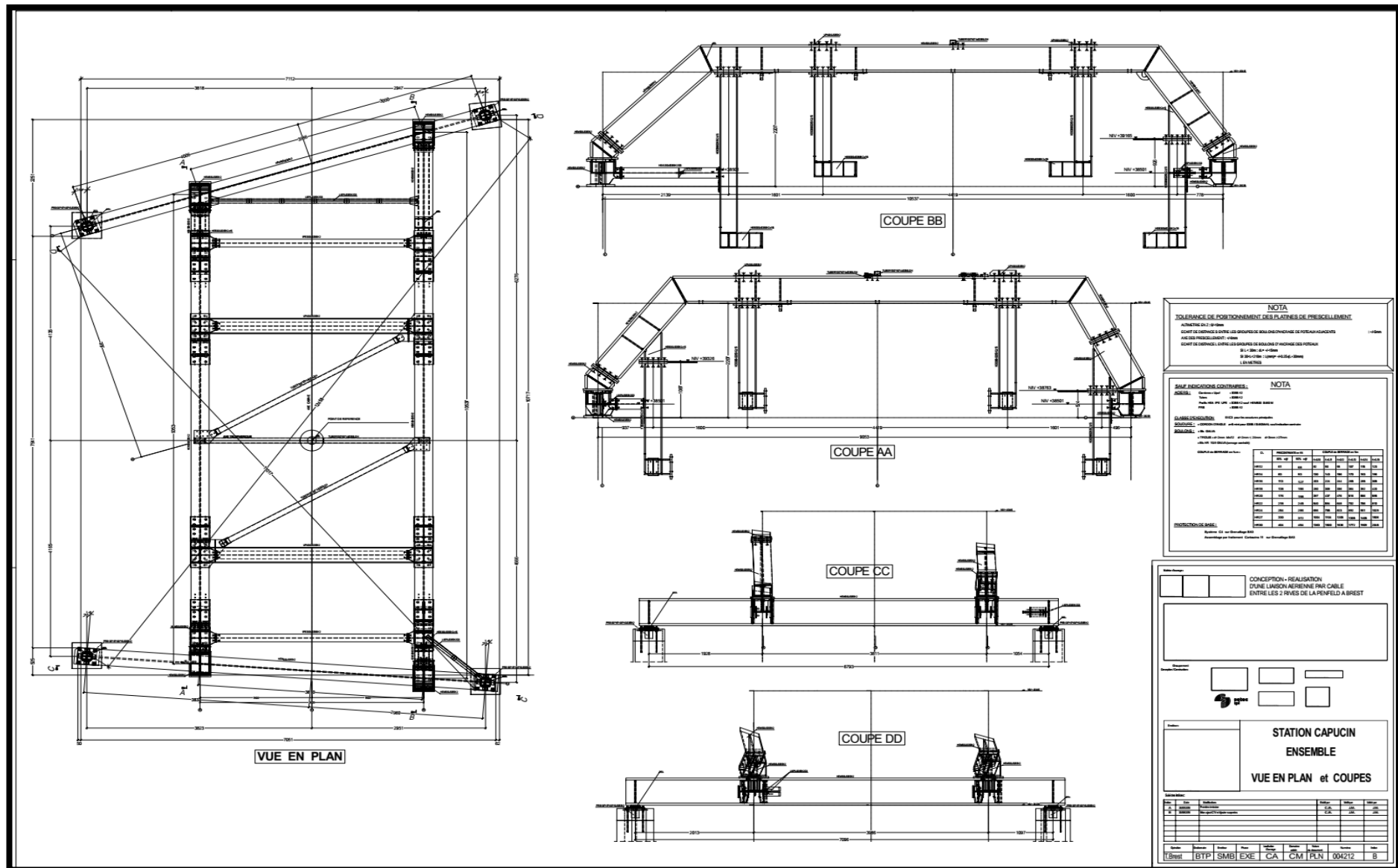


3- La structure métallique

- Perspective



- Quelques coupes et vue en plan



4- Référentiel technique

- Référentiel technique général:

Il y a deux réglementations spécifiques pour ce type d'ouvrage en complément des référentiels communs pour les ouvrages de Charpente Métallique.

- Réglementation générale de système de transports guidés
- Réglementation spécifique de remontées mécaniques

et deux services de l'Etat:

- STRMTG : Service Technique des Remontées Mécaniques et des Transports Guidés
- GART: Groupement des Autorités Responsables de Transport

- Etudes:

Eurocodes:

- 1990: Base de Calcul
- 1991: Action générale
- 1993: Calcul des structures en acier
- 1998: Calcul des structures pour la résistance aux séismes

Classe d'exécution: EXC4 la plus contraignante

Analyse linéaire de 1^{er} ordre

4- Référentiel technique

Ordre de grandeur des efforts ramenés par les câbles : 46 tonnes voie haute x2

38 tonnes voie basse x2

Pression dynamique de pointe: 135 daN/m² soit en haut du pylône= 172 daN/m².

Zone sismique: zone 2 : faible.

Déplacement maximum: $u \leq H/300$ soit 266 mm.

Calcul à la fatigue avec un nombre de cycles de: 80 000 soit 4 000 000 pour 50 ans méthode de la durée de vie la plus sure.

- Acier:

EN 1090-2

EN 10.025/10029/10160/10163/10204/10164.

S355K2 – S355 N ou N2 – S460 M avec certificat 3.1.

Essai complémentaire mécanique sur les 4 poteaux principaux.

- Fabrication:

EN 1090-2 Classe d'exécution 4.

Soudure interpénétrée sur tous les goussets et platines pour respecter les conceptions liées à la fatigue.

Assemblage à blanc de tous les sous ensembles pour valider les tolérances de fabrication et le bon assemblage sur chantier.

Fascicule 56 pour la peinture.

4- Référentiel technique

- Plan de contrôle Atelier

PLAN DE CONTRÔLE
ACTIVITE : ATELIER

ind A du 10/11/2015

Type de contrôle	Responsable contrôle :	Responsable application :
V : Vérification	M. CHEVALIER	B. CARDOUAT
A : Point d'arrêt		

MATERIAUX							Type contrôle	Date	Type contrôle	Date
N°	Description	Type d'essai	% Inspection	Documentation d'application	Critère d'acceptation	Observations	SMB		CLIENT	
1	Profilés de nuances S355K2 et S460M	Vérification certificats matière	100%	NF EN 10025 ; NF EN 10204 ; NF EN 10163	Certificat type 3.1 traçabilité pour EXC3		V			
2	Tôles de nuances S355K2 et S460N	Vérification certificats matière	100%	NF EN 10025 ; NF EN 10204 ; NF EN 10029 ; NF EN 10163	Certificat type 3.1 traçabilité pour EXC3		V			
3	Tôles et profilés de nuance S235JR (serrurerie)	Vérification certificats matière	100%	NF EN 10025 ; NF EN 10204	Certificat type 2.2 traçabilité pour EXC 2		V			
4	Tôles d'acier structurels avec propriétés garanties dans le sens perpendiculaire à la surface.	Vérification certificats matière et PV d'essai	100%	NF EN 10164	NF EN 10164 Z15-25 ou 35		V			
5	Connecteurs	Vérification certificats matière	100%	NF EN 13918	Certificat type 2.2 traçabilité pour EXC 3	Sans objet	V			
6	Traçabilité des tôles et profilés	Visuel	100%	NF EN 1090-2	NF EN 1090-2	Traçabilité pour EXC3	V			
7	Matériaux d'apport	Vérification certificats matière	100%	NF EN 1090-2 ; NF EN 10204	Certificat type 2.2		V			
PROCESSUS DE SOUDURE										
8	Cahier de soudage	Vérification documentaire	100%	NF EN 1090-2 ; NF EN 15614-1	NF EN 1090-2 ; NF EN 15614-1	Cahier spécifique	V			
9	Homologation soudeurs	Attestation de qualification	100%	NF EN 1090-2 ; NF EN 287-1	NF EN 1090-22 ; NF EN 287-1		V			
INSPECTION DE SOUDURES BOUT A BOUT										
10	Inspection des soudures	Visuel	100%	NF EN 1090-2 ; NF EN 5817 ; NF EN ISO 8501-3	NF EN 5817 : Niveau B ; NF EN ISO 8501-3: Niveau P2		V			
11	Soudures transversales tendues supérieures ou égales à 50 % de la contrainte admissible.	Ultra sons	20%	NF EN 17640	NF EN ISO 11666 niveau 2		V			
12	Soudures transversales tendues à valeur inférieure à 50 % de la contrainte admissible.	Ultra sons	10%	NF EN 17640	NF EN ISO 11666 niveau 2		V			
13	Soudures interpénétrés sur platines d'assemblage	Ultra sons et Magnétoscopie	100%	NF EN 17640	NF EN ISO 11666 niveau 2		V			
INSPECTION DE SOUDURES D'ANGLE										
14	Inspection des soudures	Visuel	100%	NF EN 1090-2 ; NF EN 5817 ; NF EN ISO 8501-3	NF EN 5817 : Niveau B ; NF EN ISO 8501-3: Niveau P2		V			
15	Soudures d'angles avec chanfreinage	Magnétoscopie	10%	NF EN 17638 ; NF EN 23278	NF EN ISO 23278 : Niveau 2		V			
16	Soudures d'angles, sans préparation	Magnétoscopie	10%	NF EN 17638 ; NF EN 23278	NF EN ISO 23278 : Niveau 2		V			
CONTRÔLE DIMENSIONNEL										
17	Pièces débitées	Dimensionnel	5%	CCTP art 1.4.5	CCTP art 1.4.5 : +/- 1mm distance 2 trous consécutifs, +/-2mm pour trous extrêmes		V			
18	Poteaux	Dimensionnel	100%	NF EN 1090-2; CCTP art 2.6	NF EN 1090-2 : Classe 2 ; CCTP art 2.6		V			
19	Contreventements / diagonales	Dimensionnel	5%	NF EN 1090-2; CCTP art 2.6	NF EN 1090-2 : Classe 2 ; CCTP art 2.6		V			
20	Montage à blanc d'1 face de T1 et présentation individuelle des poteaux T1-T2	Dimensionnel	100%	NF EN 1090-2; CCTP art 2.6	NF EN 1090-2 : Classe 2 ; CCTP art 2.6		V			
CONTRÔLE ANTICORROSION										
21	Grenaillage	Visuel	100%	NF EN ISO 8501-1; NF EN ISO 8503-1	NF EN ISO 8501-1; NF EN ISO 8503-1		V			
22	Epaisseur du système appliqué	Dimensionnel	Par sondage	NF T 30-124	Niveau A selon NF T 30124		V			

4- Référentiel technique

- Peinture:
 - Système ACQPA C5 Ma ANV 604 (Association pour la Certification et la Qualification en Peinture Anticorrosion).
 - Grenaillage SA3.
 - 4 couches 60 μ /30 μ /140 μ /50 μ .
 - Garantie 9 ans Ri1 – OHGPI.

- Montage:
 - EN 1090-2 avec mise en place:
 - Procès verbal de réception des ancrages.
 - Procès verbal de réception des serrages de boulons.
 - Procès verbal de réception des contrôles effectués (verticalité, position,.....).
 - Suivi des non-conformités éventuelles.

5- Points particuliers

- Pylône

Etude :

- Cas de chargement, rupture d'un câble porteur.

Atelier:

- Assemblage à blanc de la structure.
- Soudure interpénétrée sur les platines et goussets.
- Détail pied de poteau.

Montage:

- Pylône est construit de 5 tronçons.
- Montage en 3 jours avec une grue de 700 tonnes.
- Accostage délicat, il y a 70 boulons par joint soit un total de 280 boulons par jonction. (Boulons HR 10.9 diamètre 27).

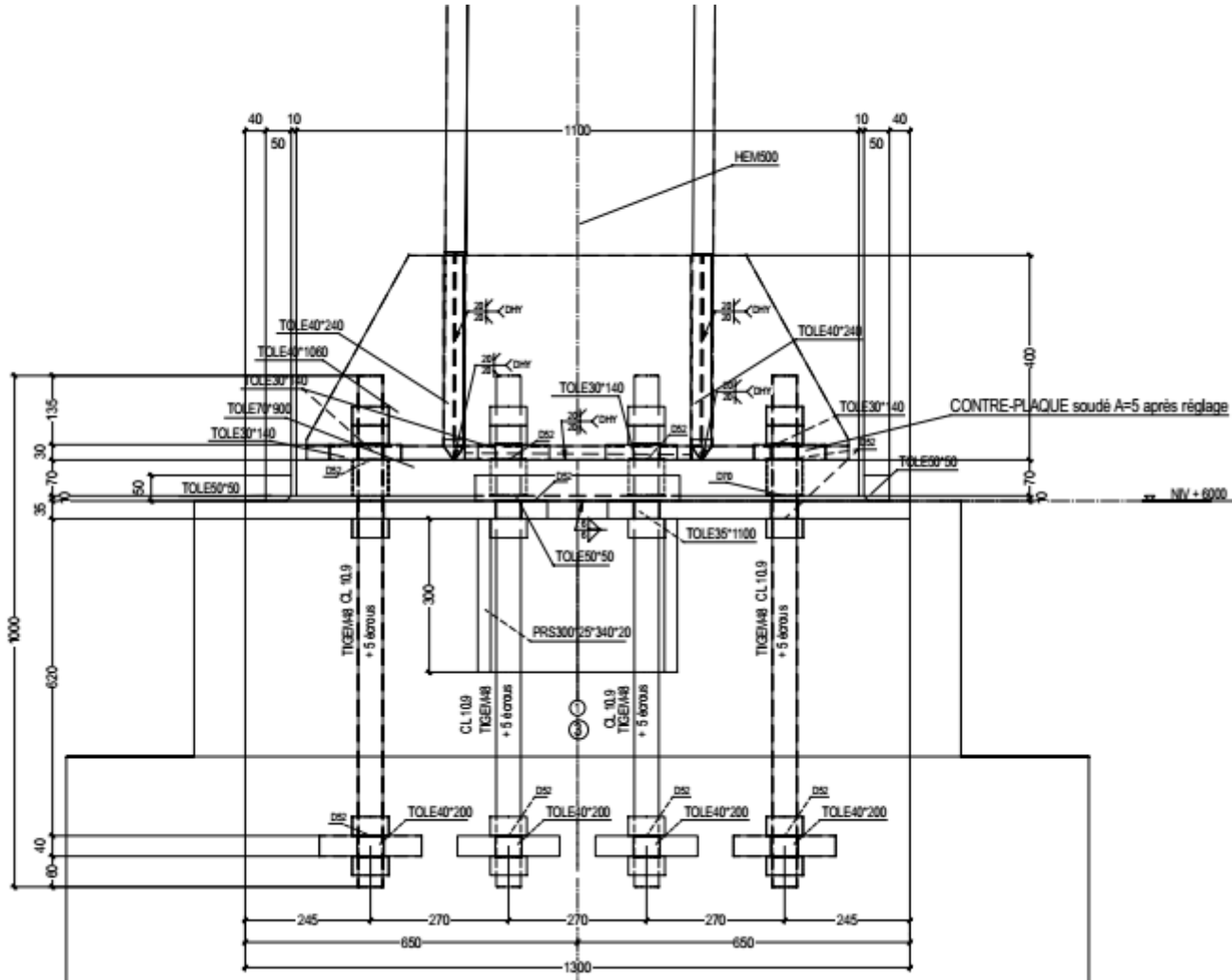
Détail d'un nœud



Assemblage à blanc du pylône



Détail pied de poteau



Montage sur site



5- Points particuliers

- Gare de SIAM

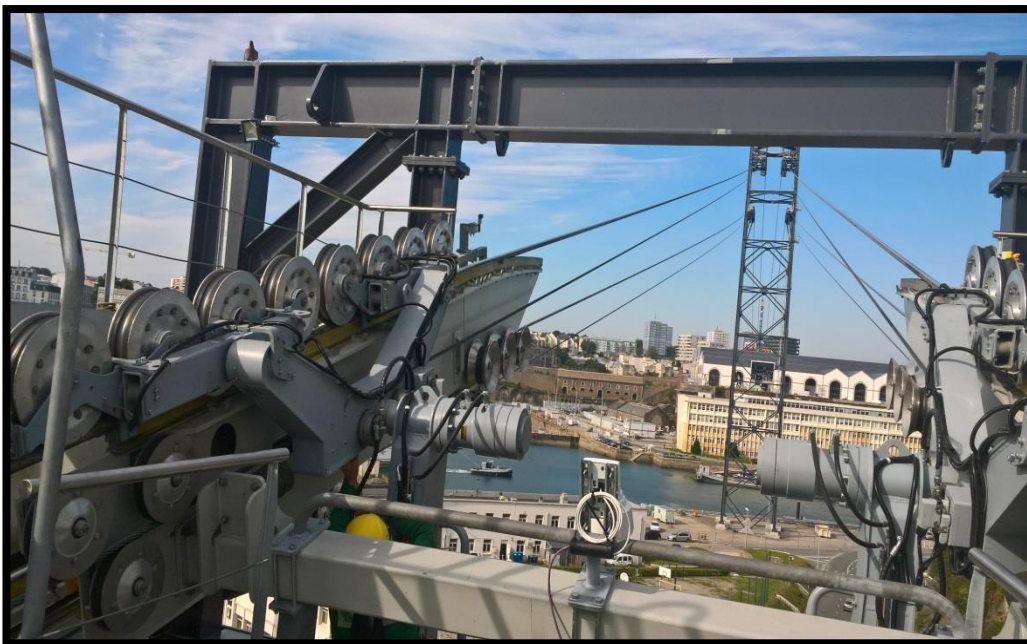


5- Points particuliers

- Gare de SIAM

Etude :

- Ouvrage le plus complexe, accroché à un mur d'enceinte avec un appui en PRS de longueur 20 m biais par rapport à la ligne téléphérique.
- Tirant arrière avec 700 tonnes de traction. (E.L.U)
- Modélisation des pièces propres au téléphérique dans le modèle de calcul de charpente.

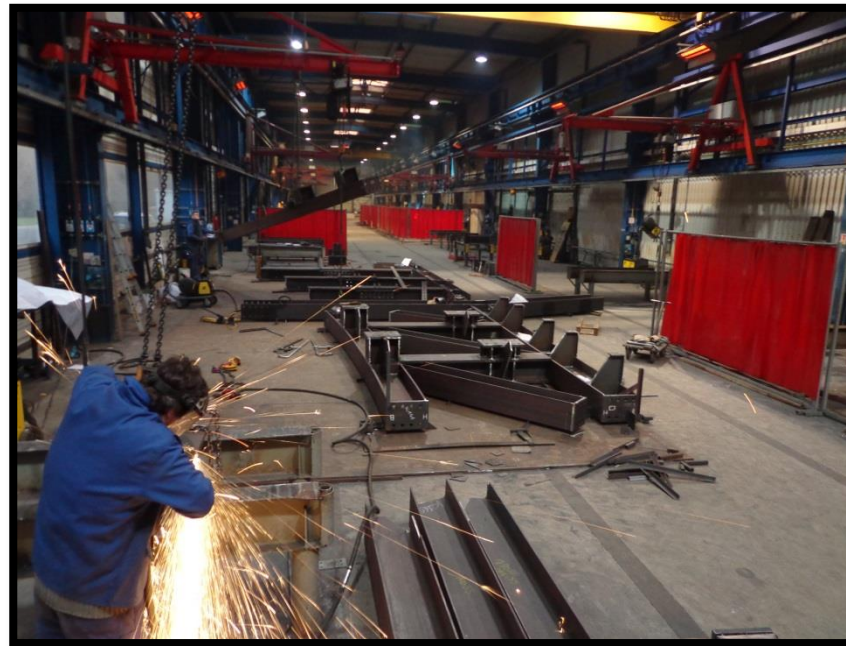


5- Points particuliers

- Gare de SIAM

Atelier:

- Assemblage à blanc.
- Treillis compact avec beaucoup de soudures en interpénétration ce qui entraînent donc une gestion délicate des déformations.



Montage:

- Géométrie complexe avec des tolérances serrées pour la charpente.

Assemblage à blanc de la gare de Siam



Oreilles du tirant arrière



5- Points particuliers

- Gare des Capucins



Etude :

- La charpente supporte les sabots
- Nous avons dû mettre des appuis libres en rotation pour ne pas solliciter les parties béton.

Atelier:

- Assemblage à blanc.

Assemblage à blanc de la gare de Capucins



6- Quelques Chiffres

- Téléphérique :

- 60 personnes maxi. dans une cabine
- Temps de trajet: 3 min
- Longueur: 420 mètres

- En charpente :

- Pylône: 80 mètres de haut, 200 tonnes
- Siam: 120 tonnes
- Capucins: 16 tonnes
- Total = 336 tonnes

- Planning :

Etudes	Environ 7 mois
Fabrication	Environ 4 mois
Montage	Environ 4 mois

- Coût total (information presse): 19,1 M€
- Coût total de la charpente: 2 M€

7- Conclusion

Ce projet est une première en France par le mode de transport par câble en ville et une première mondiale dans le choix de la solution « saut-de-mouton », une largeur de cabine en gare.

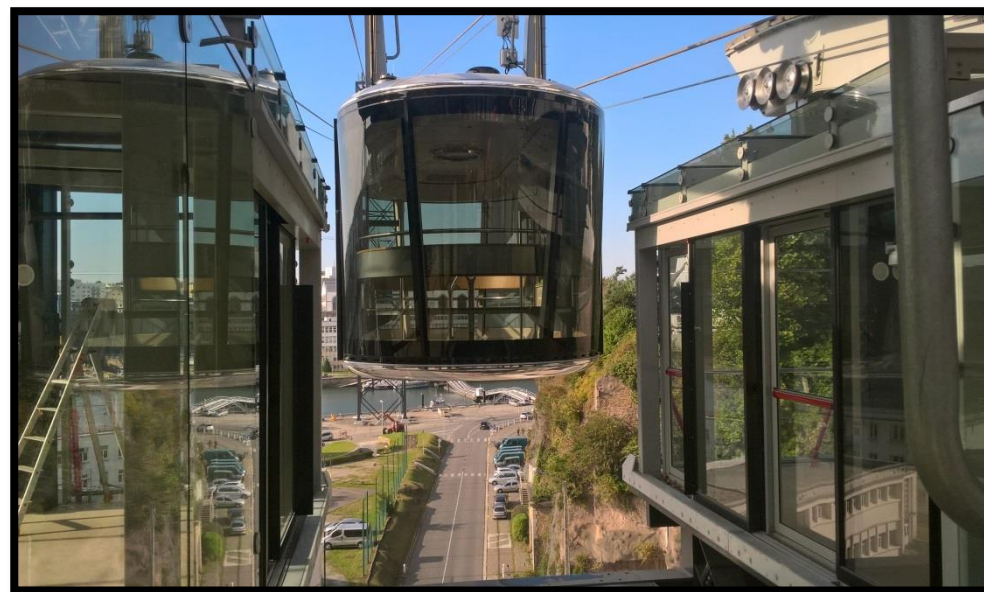
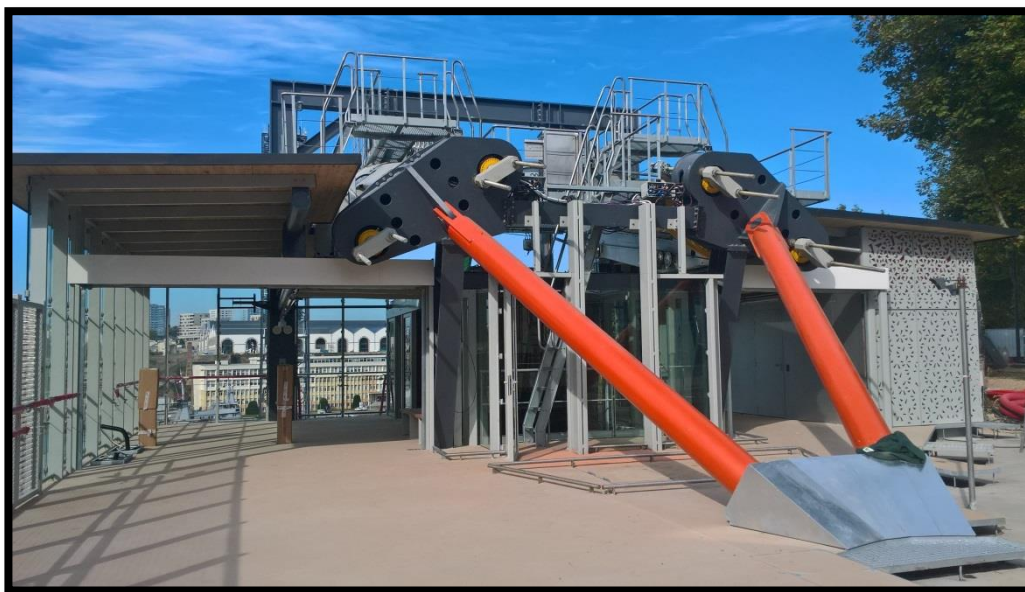
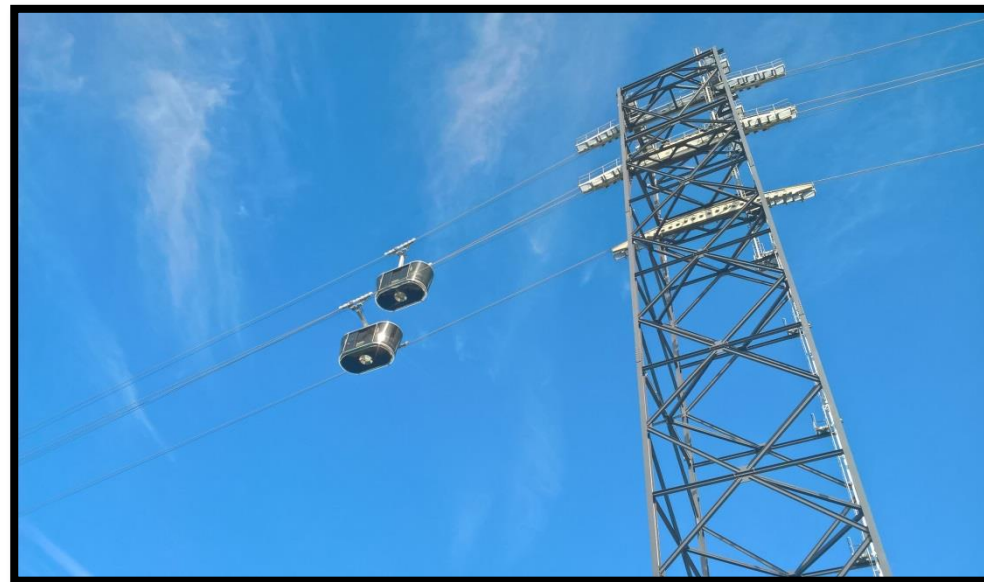
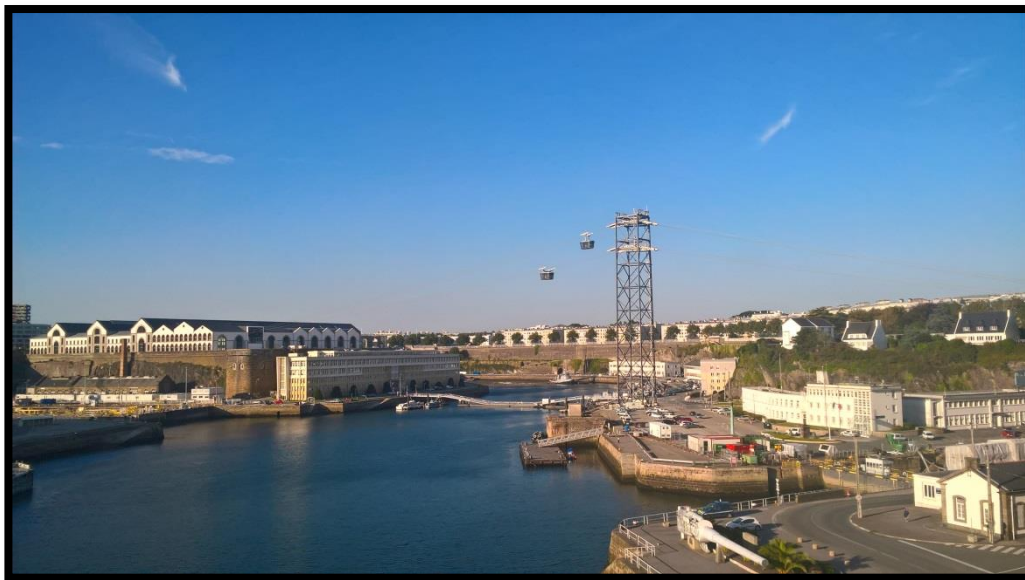
L'acier a toute sa place dans ce mode de déplacement (câbles, gare, pylône, cabine...).

Le maître d'ouvrage et le concepteur ont réussi à intégrer ce mode de déplacement sans modifier la configuration des lieux (une gare en porte-à-faux et l'autre dans un bâtiment existant et pour le pylône avec un espace réduit au sol).

Brest est précurseur en choisissant ce mode de transport et aujourd'hui il y a une dizaine de projet en cours d'études et de réalisation (Orléans, Toulouse,).

SMB est fier d'avoir participé à la réalisation de ce projet.

Le téléphérique en images



8- Remerciements



Merci pour votre attention.