

Un Pont à Haubans au Cœur de Casablanca.

Résumé

Intervenant :

M. BAHARI : DR/DOA/SE



I. PRESENTATION DU PROJET :

1. Généralités

L'aménagement du carrefour de Sidi Maârouf est l'une des composantes du programme d'aménagement des pénétrantes du Grand Casablanca, objet de la convention de partenariat signée en Avril 2005 entre le Ministère de l'Équipement, du Transport, de la Logistique et de l'Eau (METLE), la Commune Urbaine de Casablanca (CUC) et le Conseil de la Région.

Cet aménagement vise à résorber le niveau de congestion de la circulation induite par un trafic exceptionnel de 17.000 véhicules/h aux heures de pointe. Il est aussi censé garantir le bon fonctionnement du carrefour avec le passage du tramway et assurer une liaison fluide avec l'axe Aéroport Mohammed V et les différents centres d'affaire de la zone (dont Technopark, Zénith, Casa Nearshore et CFC...).

Les études de ce projet ont été lancées par le METLE en 2006 via le BET Team Maroc avec le concours de BET Internationaux (SEPIA et TRANSITEC). Neuf variantes d'aménagement du carrefour ont été étudiées, et la variante la plus avantageuse retenue est de type échangeur dénivelé composée de :

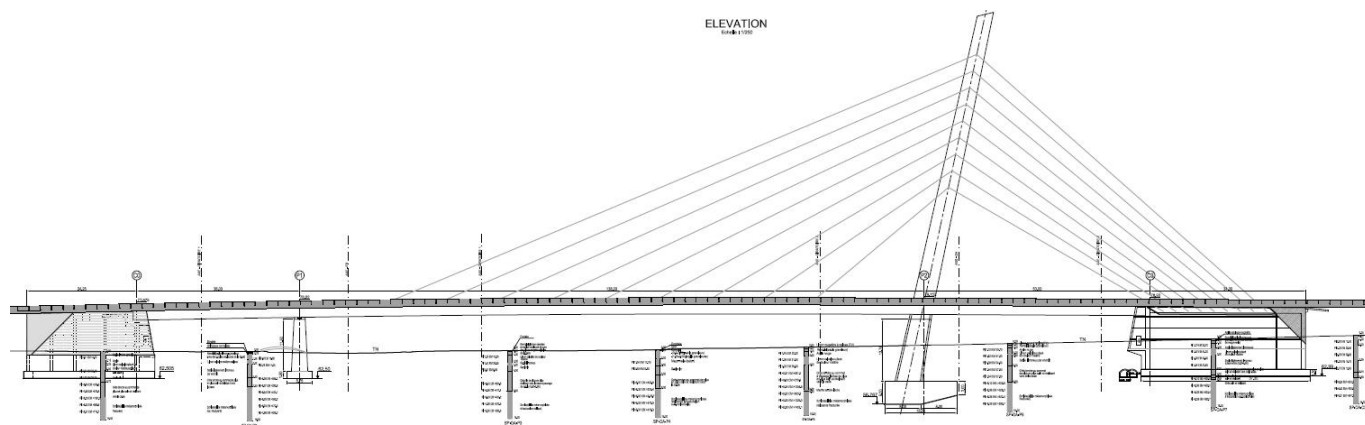
- Un viaduc au niveau (+1) type pont à haubans assurant les flux direct Casablanca-Aéroport Mohammed V et inversement ;
- Deux giratoires circulaires au niveau (0) (terrain naturel actuel) ;
- Des trémies au niveau (-1), assurant les flux direct Sidi Maârouf-RN11 vers les autres artères suscitées de Casablanca et inversement ;

Le choix de construire un ouvrage à haubans à cette pénétrante de la ville est sans ambiguïté. Il dotera la capitale économique du Royaume d'un ouvrage exceptionnel à la réception de ses visiteurs.

2. Conception du Pont:

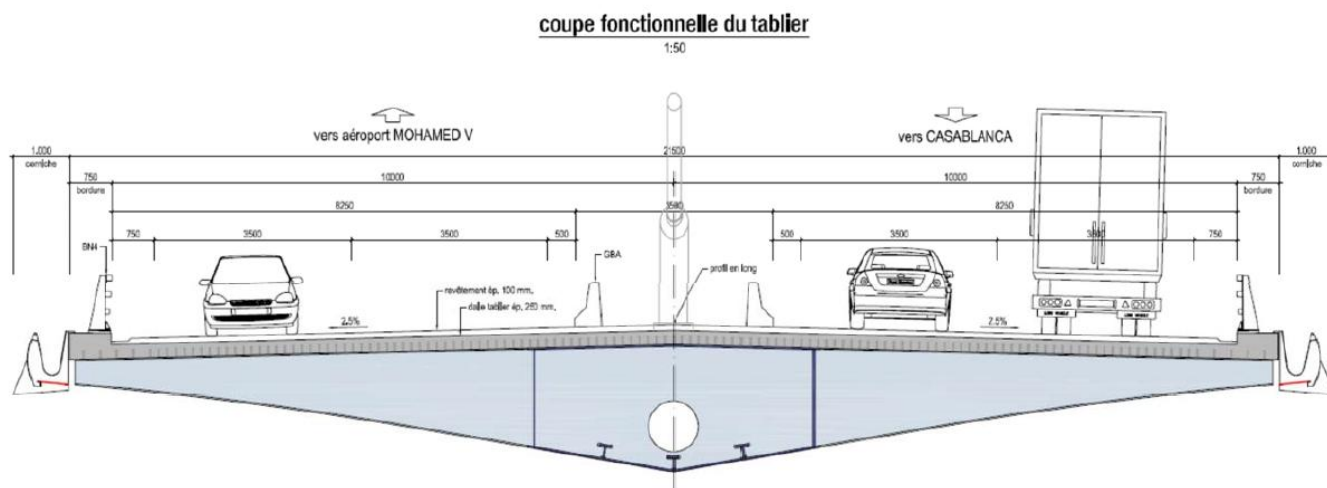
Il s'agit d'un ouvrage de 258 m de longueur totale dont le pylône incliné de 12° atteint 73m de hauteur. Le tablier porte 2 voies de circulation dans chaque sens et est supporté par 27 de haubans.





Le pont se compose de:

- Appuis :
 - C0, P1, Pylône P2 et C3,
 - Pylône incliné de 12° atteint 73m de hauteur,
- Tablier :
 - Caisson mixte hyperstatique de $224=36+138+50$,
 - Dalle Précontrainte de 34m au niveau de C3 (Ancrage haubans, caisson , DT)



- Haubans :
 - 27 haubans (9+9*2),
- Matériaux :
 - Béton 11100 m³
 - Acier pour charpente 1600 T
 - Acier pour BA 1650 T
 - Haubans 102 T
 - Précontrainte 6 T

II. L'Etude du Pont à Haubans de Sidi Maârouf :

Conformément à la convention suscitée, le projet d'aménagement est scindé ainsi :

- Phase 1 : construction du viaduc à haubans et l'aménagement de deux giratoires circulaires sur la RN 11 et des bretelles directes reliant le pont.(niveaux 0 et 1).

- Phase 2: aménagement des trémies pour les flux directs Sidi Maârouf (niveau -1)

1. Intervenants du projet :

Maître d'Ouvrage	Commune Urbaine de Casablanca
Maître d'Ouvrage Délégué	Direction régionale de l'équipement et de la logistique de Casablanca
Responsable des travaux	Direction d'Aménagement de l'échangeur Sidi Maârouf (ASM - ADM)
Entreprise travaux	SEPROB <u>Bureau d'études</u> : Groupement TEAM MAROC-IOA (Fr) <u>Bureau de contrôle externe des études</u> : C ² ODA (Fr)
Contrôle de la qualité	LPEE
Assistance technique	Groupement NOVEC - INGEROP

Le marché travaux de la phase 1 est en cours, à un montant global de 442MDH (217MDH:CUC / 122MDH DGCL/ 103MDH : METLE)

Les travaux de superstructure et raccordement à l'ouvrage sont en cours, tandis que les travaux de structure (appuis, tabliers, haubans) sont achevés, enregistrant ainsi un taux d'avancement global de 80%.

2. Etudes d'exécution du PAH

Les études sont établies en se conformant aux plans de l'APD remis à l'entreprise. Et vu l'importance du projet un PAQ type C est prévu par le marché pour le contrôle des études établis par cette dernière.

Afin de permettre un déroulement normal des travaux au fur et à mesure de l'avancement de l'étude du projet d'exécution, un phasage suivant des études a été adopté :

- Phase1 : Dossier d'exécution des fondations de l'ouvrage, ainsi que toutes les pièces nécessaires à l'examen de cette phase (note de modélisation d'ensemble, note de descente de charge générale avec un réglage sommaire des haubans, note de calculs des fondations et des soutènements et plans de coffrage et ferrailage y afférents)
- Phase 2 : Dossier d'exécution des appuis de l'ouvrage (culées, piles et pylône) ainsi que le calcul de la flexion du tablier, des entretoises, de la précontrainte, des pylônes.
- Phase 3 : le reste des plans et des notes de calcul nécessaires à l'intelligence du dossier d'exécution y compris les adaptations éventuelles (Charpente, haubans, adaptations...)

Aussi, il est à noter qu'afin d'assurer la fluidité des échanges entre les différents intervenant du projet (5 BET dispersés, Entreprise, ASM, MO), une plateforme de partage des documents et avis d'examen a été mise en place et gérée par l'ASM.

2.1. Organisation des études du PAH

S'agissant d'un PAQ de type C, les études sont organisées ainsi :

BET: Team+IOA	Etablir l'ensemble des documents relatifs aux études d'exécution (modèles numériques, notes calculs, plans,...)
	Interpréter les résultats du laboratoire (géotechnique, soufflerie...)
Contrôle Externe: C ² ODA	Vérifier la consistance et le contenu des notes et plans,
	Vérifier la conformité des études aux règlements et au marché, des hypothèses et données de chaque note,
	Apprécier la pertinence des résultats (Ordre de grandeur, ratios...)
Contrôle extérieur: NOVEC+INGEROP	S'assurer que le BET s'est organisé conformément aux stipulations du marché,
	S'assurer de la conformité des études aux règlements et au marché, des hypothèses et données de chaque note,
	Apprécier la pertinence des résultats (Ordre de grandeur, ratios...)
	Aviser l'e MO sur les éventuelles dispositions de l'étude non prévues par le marché,
	Validation de l'étude par l'expert OA,
	Interventions ponctuelles de l'expert OA pour instruire les différentes situations inhabituelles au chantier,
Direction des Routes	Vérification des hypothèses contractuelles (CCTP, Eurocodes, Règles de l'art...)
	Réexamen sommaire des études et plans,
	Réexamen des fiches d'examen des contrôles externes et extérieurs en s'assurant que leurs observations ont été satisfaites,
	Validation définitive du dossier,

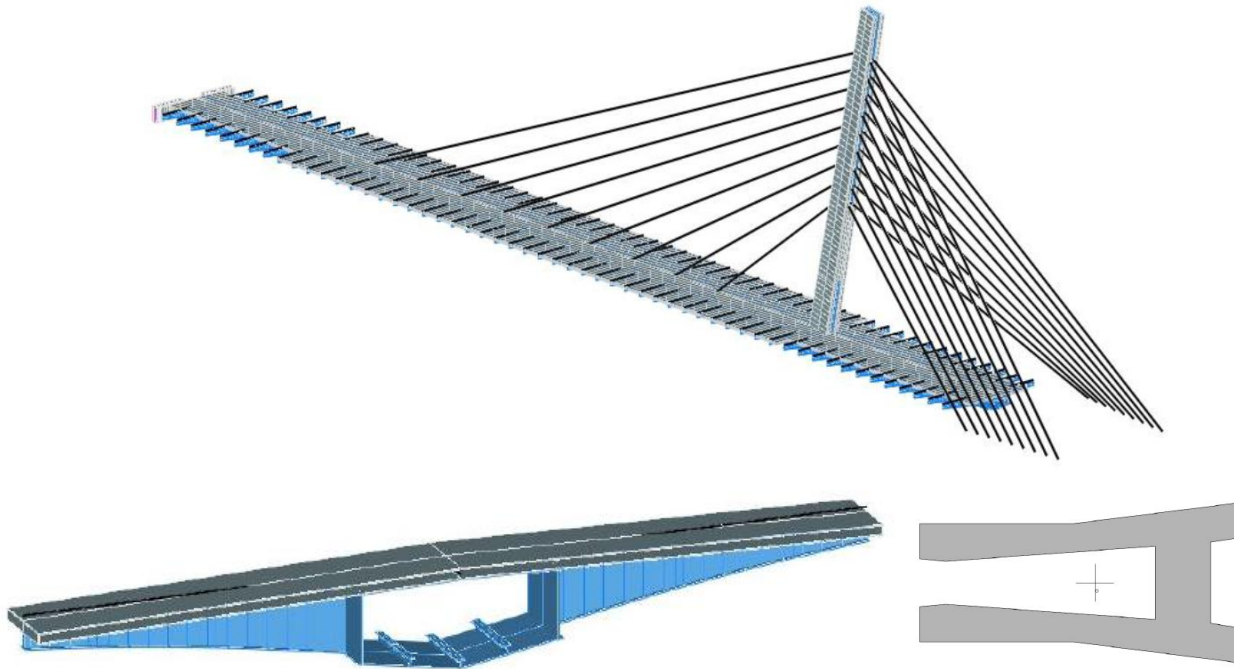
2.2. Quelques points particuliers :

a) *Modèle en EF*

Le logiciel Pythagore de SETEC TPI a été utilisé pour modéliser l'ouvrage. Des éléments filaires ont été considérés pour représenter les différents composants de la structure (Caisson, hourdis, pylône, haubans...)

Il a servi à déterminer les sollicitations dans les différents éléments structuraux (Tablier, Pylône, Haubans, Appuis) au niveau global. Les sollicitations locales sont déterminées au moyen de modèles locaux.

Cet outil a permis de plus de vérifier les déplacements de la structure durant la construction de l'ouvrage et sous les charges d'exploitation.



b) Etude aérodynamique du tablier :

Pour les structures non usuelles tel que définies à l'Eurocode1 (partie 1.4 §8), ce règlement prévoit le à des essais en soufflerie et/ou à des méthodes numériques dûment validées afin d'obtenir des informations concernant les charges et la réponse, à l'aide de modèles appropriés de la structure et du vent naturel.

En effet, les données appropriées obtenues en vraie grandeur peuvent fournir des informations concernant les charges et la réponse ainsi que les paramètres relatifs au site.

L'étude se compose de deux parties :

- L'analyse climatique du site permettant de caractériser les différents paramètres de vent du site nécessaires à cette étude,
- L'étude en soufflerie d'une maquette sectionnelle du tablier à l'échelle 1/20ème.

Le programme d'étude proposé sur maquette du tablier en soufflerie a pour but :

- De vérifier le comportement du pont au détachement tourbillonnaire pour des vitesses de vent usuelles et pour des taux d'amortissement structurels représentatifs des taux d'amortissement de l'ouvrage réel en comparaison avec un critère d'amplitude maximale admissible défini au préalable,
- De proposer si le besoin en était avéré une solution corrective (corniche, écrans sous le tablier) pour réduire le détachement tourbillonnaire et la valider sur la maquette,
- De vérifier la stabilité du tablier aux fortes vitesses de vent et de proposer puis mettre en œuvre sur la maquette une solution corrective (corniches, écrans) si cela s'avérait nécessaire au regard d'un seuil de vitesse préalablement défini,
- De mesurer les coefficients aérodynamiques du tablier (C_x , C_y et C_{mz}) pour permettre de calculer la réponse de l'ouvrage soumis au vent turbulent (Amortissement, fréquence propre).

Etude aérodynamique de la stabilité du tablier du pont de Sidi Maârouf à Casablanca

Olivier FLAMAND, Jean Paul FLORI

Direction Climatologie – Aérodynamique
Pollution – Eruption

Cette étude a été réalisée
à la demande de SEPRI/DS
selon le Marché CAP10/2014-V0/DS/DS/N°084/2015
en date du 14/04/2015
Offre n°5581 - 26043903
Nantes, le 29 août 2015

P.O. J.P. BOUCHET

Jean-Paul FLORI
Ingénieur
Climatologie-Aérodynamique-
Pollution-Eruption

Olivier FLAMAND

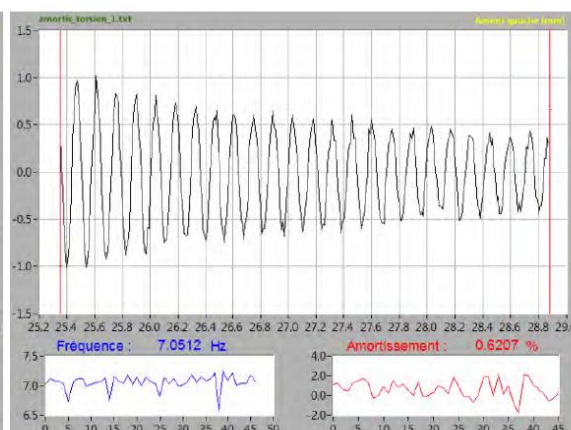
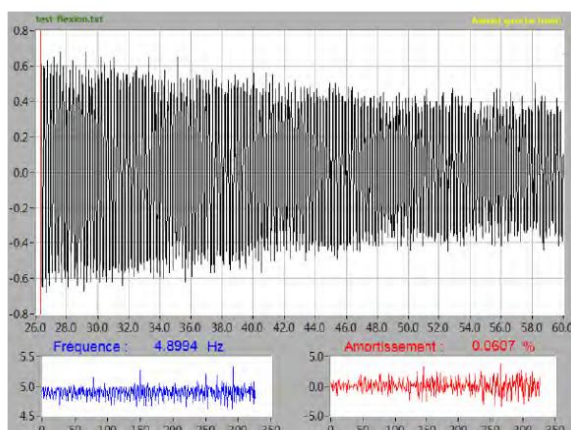
Pilote de Département
Climatologie-Aérodynamique-
Pollution-Eruption
Co-responsable domaine
thématique Vent/Ouvrages

Mots clés : AÉROELASTICITÉ ; COEFFICIENT AÉRODYNAMIQUE ;
ESSAI SOUFFLERIE ; MODE VIBRATION ; PONT ; TABLIER

Nombre de pages : 29
Version n° : 0

CSTB
le futur en construction

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT
11 RUE HENRI FÉCHERIT, BP 83241, 44323 NANTES CEDEX 3
Tél : 02 40 37 26 00 Fax : 02 40 37 26 06



Avec une vitesse de référence de 26 m/s et une catégorie de terrain 3 (zone suburbaine), l'amortissement (en torsion) du tablier est de 0.6%

c) Haubans :

Les haubans ont été justifiés vis-à-vis de :

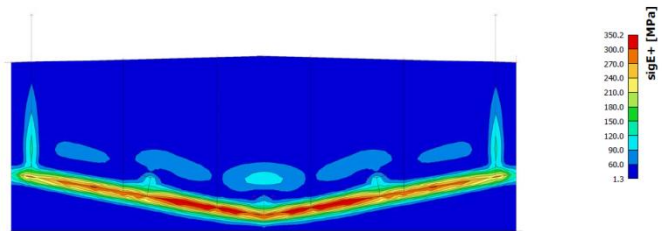
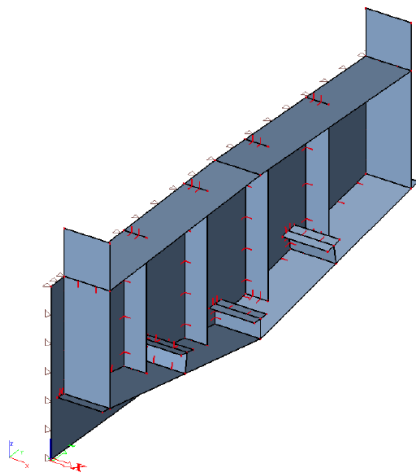
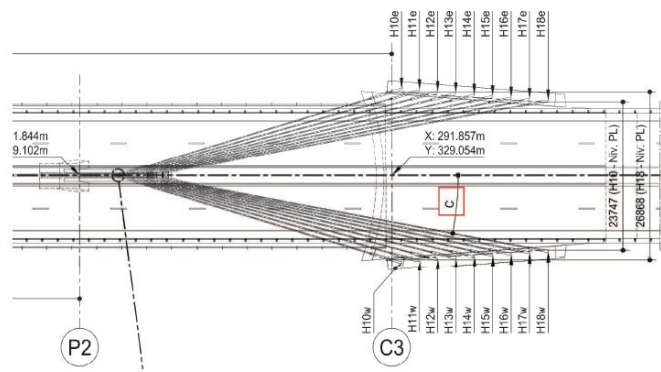
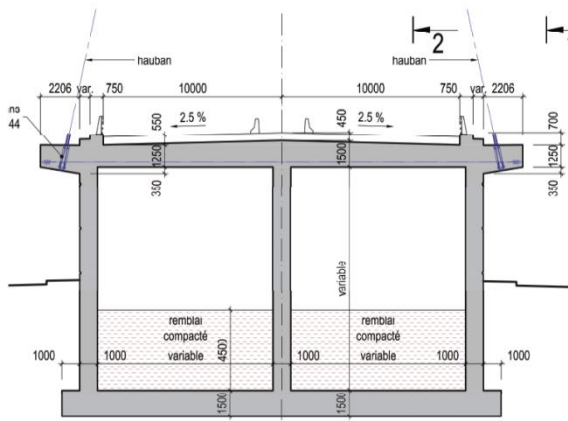
- Charges d'exploitation,
- Action du vent sur les haubans : vent statique et turbulent
- Actions thermiques : retrait, gradient thermique...
- Rupture accidentelle d'un hauban
- Remplacement des haubans
- Vérification à la fatigue

d) La culée C3 :

La particularité de la culée creuse C3, peut se résumer par le fait qu'elle constitue un contrepoids d'ancrage de la structure, en effet, elle assure :

- L'ancrage des haubans arrière, au niveau de ses oreilles

- Encastrement du tablier à la culée à travers un diaphragme d'ancrage



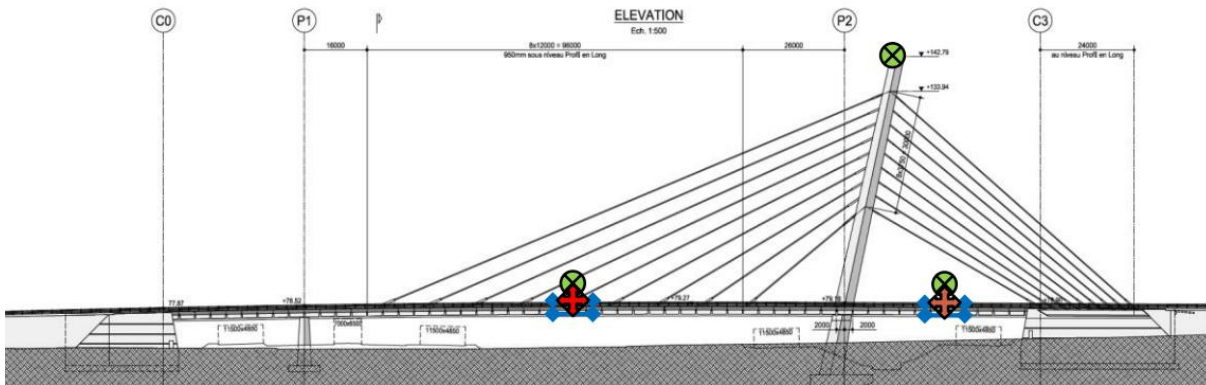
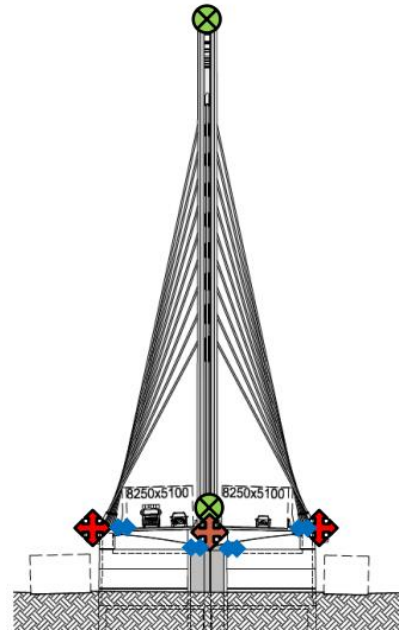
3. Surveillance du pont à haubans

Comme toute structure, il est nécessaire d'assurer son suivi et sa surveillance. Particulièrement, les ponts à haubans son sensible à l'égard des points ci-après :

- Effet du vent sur la vibration des haubans s
- Effet du gradient de la température sur la charpente métallique
- Risque de corrosion de la charpente métallique. A noter que le caisson et le pylône sont protégés par un complexe antirouille.

Ainsi, des mesures du comportement dynamique de cet ouvrage consistent en la mise à disposition, l'installation, la maintenance et l'exploitation d'un dispositif de suivi dynamique complet qui comprend:

- Anémomètres sur le tablier et le pylône
- Anémomètre/girouette situé à distance
- Accéléromètres sur le tablier
- Sondes de température
- Une centrale d'acquisition
- Un routeur permettant la transmission des données



III. Déroulement des travaux :

4. Organisation du chantier du PàH :

Le chantier est géré par un PAQ « C » impliquant trois niveaux de contrôles :

Intérieur à la charge de l'entreprise : l'entreprise, et dans le cadre de son marché met en place une entité de contrôle qualité, en charge d'assurer le contrôle de la production. Piloté par un Directeur qualité, cette entité est indépendante de la chaîne de production et relève directement du Directeur de chantier. Elle assure la réalisation des essais laboratoires, le contrôle topographique, et les réceptions techniques, suivant les cadences contractuelles issues du cahier des charges et les normes en vigueur

Contrôle extérieur : assuré par l'Aménagement de l'Echangeur de Sidi Maârouf mis en place par la DRETLE suite à la convention établie avec l'ADM, avec l'Assistance Technique du groupement Novec /Ingerop (ingénieurs résidents et interventions d'experts). Le contrôle de qualité des travaux de l'ouvrage est assuré par LPEE

L'organigramme ci-dessous illustre l'organisation de l'aménagement



5. Particularités rencontrés et solutions apportées :

Ce chapitre vise la capitalisation et le partage de l'expérience de ce chantier important, ainsi, sera abordé les différents problèmes majeurs rencontrés lors de la réalisation du pont à haubans de Sidi Maarouf, en mettant le point sur l'apport de l'aménagement en matière de solutions apportées pour les différents obstacles rencontrés.

Les différentes situations de difficultés identifiées se présentent comme suivant :

5.1. plate -forme des documents de chantier :

Tenant compte du nombre important des documents à éditer à l'occasion du présent chantier, et pour satisfaire les points ci-après :

- Assurer une large diffusion des documents en temps réel entre les différents intervenants
- Accélérer l'échange des données entre les partenaires
- Assurer une meilleure organisation des documents, faciliter l'accès à l'information, et optimiser le temps de recherche des données

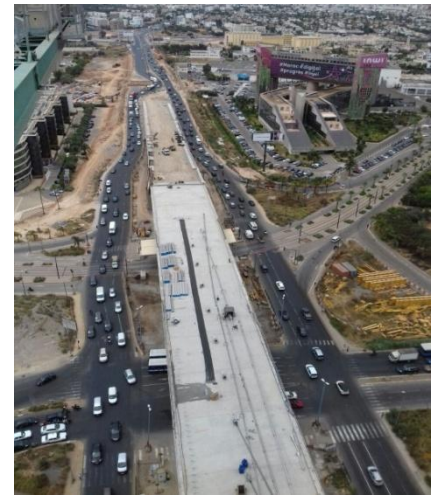
Et à l'instar de la base des données de la gestion des études, une plate-forme similaire pour la gestion des travaux a été mise en place, pour une meilleure efficacité de la gestion des données liées aux travaux : procédures d'exécution, agréments, planning, rapport de contrôle

5.2. Contraintes de site :

Le site logeant le projet du pont à haubans est le carrefour de Sidi Maarouf , situé au niveau de l'entrée sud de la capitale économique Casablanca , un carrefour avec un trafic énorme avoisinant les 17 000 véhicules en heures de pointes , impactant ainsi, d'une part , en baisse , la productivité des travaux , et d'autre part posant, un ensemble de difficultés liées à la gestion du trafic pendant les travaux. La solution était de procéder à une séquence de déviations provisoires, avec des schémas de basculement de trafic pour permettre la réalisation des ouvrages, tout en assurant la continuité et la sécurité de la circulation aux abords de chantier en question

En outre, ce carrefour logeant le projet, est traversé par un nombre important des réseaux relevant des différents gestionnaires des réseaux , associé à une soixantaine de grands panneaux publicitaires, dont la dépose a été particulièrement délicate auprès des exploitants de ces panneaux

De même, ce carrefour logeant le pont était traversé par le Tram en exploitation. A cet effet, un ouvrage provisoire a été construit pour assurer la sécurité du tram pendant la durée de chantier.



5.3. Bétons :

Le présent projet est caractérisé par certaines parties d'ouvrages classées comme pièces massives par rapport à la quantité du béton qu'elles contiennent. A cet effet, un coulage par levé, avec usage du béton en ciment prise mer « CPM » de faible chaleur d'hydratation, a permis de limiter les effets de la réaction sulfatique interne du béton. De même, des cheminées de bétonnage ont été prévues dans les semelles pour la bonne vibration du béton massif

Pour les pièces en hauteur : pylône de 64 m, et les voiles des culées avoisinant les 14 m, un coffrage grimpeur a été utilisé pour maîtriser la vibration du béton

En outre, et particulièrement, pour le béton matricé, une attention particulière a été accordée à l'enrobage augmenté à cet effet à 9.5 cm au lieu de 4 cm pour les parties courantes, et ce, dans l'objectif de compenser les engravures du coffrage matricé

5.4. Découpage et assemblage de la charpente

Le tablier du pont et son pylône sont conçus en structure mixte : charpente métallique + béton. Pour la livraison de la charpente (après assemblage en usine), le pont a été découpé tenant compte de l'ensemble des contraintes énoncées ci-après :

- Encombrement des éléments à livrer par rapport au volume des conteneurs de transport
- Les espaces offerts dans le chantier pour le stockage, le soudage et la manipulation de la charpente
- Poids des éléments à manipuler
- Disponibilité des grues de grande capacité de levage

Tenant compte des contraintes sus-évoquées, le pont a été découpé en 7 tronçons d'une longueur variable entre 24 et 44 m, avec un poids entre 130 et 215 T, chaque tronçon en trois caissons avoisinant les 10 m de longueur, et chaque caisson en trois sous caissons : central, rive droite et rive gauche

L'assemblage du caisson du pont fait intervenir un ensemble de manipulations géométriques, en terme de contreflèches entre les joints de caissons pour compenser le poids de la charpente après pose sur les appuis du pont, et vérinage en hauteur avant soudage pour assurer le parallélisme des abouts des tronçons à assembler