

MAITRE D'OUVRAGE



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Direction Départementale
des Territoires et de la Mer

MAITRE D'OEUVRE



Sécurisation du Pont Albert Louppe

| IND | DATE | NOM | Modifications | STATUT | APPROUVE |
|-----|----------|-----|---------------|--------|----------|
| A | 19/08/21 | JHE | | AVS | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

DOSSIER D'INTERVENTION ULTERIEURE SUR L'OUVRAGE

GROUPEMENT D'ENTREPRISES

| QUEST ACRO | JARNIAS |
|------------|---------|
| | |

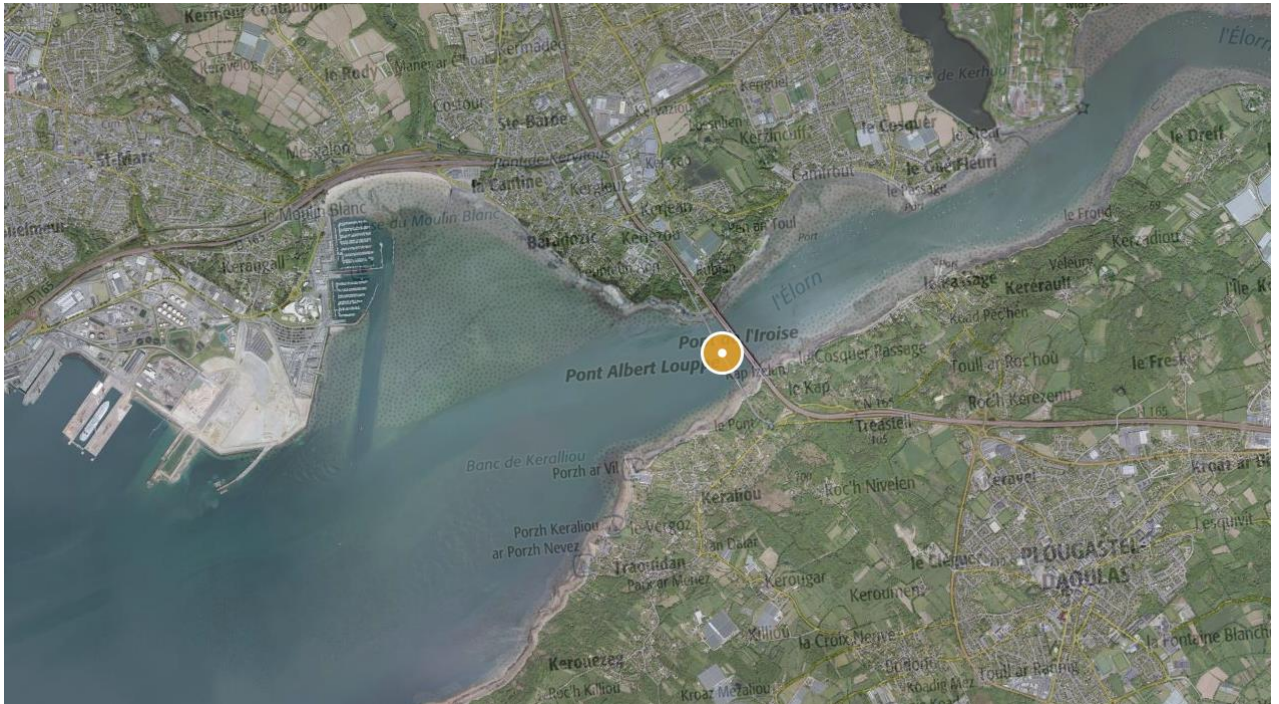
Sommaire

| | |
|--|-----------|
| Sommaire | 2 |
| 1- Localisation..... | 3 |
| 2- Identification des parties..... | 4 |
| 3- Objet | 5 |
| 4- Localisation des secteurs..... | 6 |
| 5- Planification de la maintenance visite annuelle et inspection détaillée quinquennale | 7 |
| Visites périodiques..... | 7 |
| Les inspections détaillées périodiques..... | 7 |
| Les visites particulières et les inspections détaillées exceptionnelles | 7 |
| Procédure de purge | 7 |
| 6- Consignes et procédures communes aux visites et aux inspections..... | 8 |
| Annexes..... | 10 |
| 1- Fiche d'inspection détaillée (périodique ou exceptionnelle) pour les dispositifs de sécurisation... | 10 |
| 2- Fiche de visites (périodique ou particulière) pour les dispositifs de sécurisation..... | 10 |
| 3- Procédure de purge | 10 |

1- Localisation.

Les travaux sont situés sur le Pont Albert Louppe entre les communes de Plougastel-Daoulas et Brest dans le Finistère (29)

Il est localisé ci-dessous :



2- Identification des parties.

| Rôles | Entité | Représentant | Téléphone/mail |
|--|--|---|--|
| Maître d'ouvrage  Liberté • Égalité • Fraternité RÉPUBLIQUE FRANÇAISE Direction Départementale des Territoires et de la Mer | DDTM du Finistère Service Aménagement AIT4P 11 Quai de Tréguier CS27836 29678 Morlaix Cedex | <u>Chargé de projet :</u> M. Franck DUBOSCQ | Mail: franck.duboscq@finistere.gouv.fr Tel : 06.42.66.94.31 |
| | | <u>Adjointe au chef de pôle :</u> Mme Gwenaëlle AUTRET | Mail : gwenaelle.autret@finistere.gouv.fr Tel : 06.61.64.47.91 |
| | | | |
| Maîtrise d'œuvre  | GINGER | M. François GALANTAI | Tél : 06.87.83.25.33 Mail: f.galantai@groupeginger.com |
| Coordonnateur SPS | QUALICONSLT | M. Sylvain HEMERY | Mail: sylvain.hemery@qualiconsult.fr |
| Mandataire des travaux  | OUEST ACRO Parc d'activité de l'Océane 53950 LOUVERNE | <u>Conducteur de travaux</u> Julie HEPNER | Tél : 06.35.28.09.84 Email: j.hepner@ouestacro.fr |
| | | <u>Chargé d'affaire</u> Benjamin JENNESSON | Tél : 06.19.10.23.26 Mail: etudes@ouestacro.fr |
| Co Traitant  | JARNIAS 15-16 Rue des Maronniers ZAC du Plateau 94240 L'HAY LES ROSES | <u>Conducteur de travaux</u> Baptiste RECAMIER | Tel : 06.79.47.47.10 Mail : brecamier@jarnias.fr |
| | | <u>Directeur des opérations :</u> Thierry POLLET | Tel : 06.10.61.28.79 Mail : tpollet@groupejarnias.fr |
| Sous Traitant – Bureau d'Etude  | B&M Engineering 372 Avenue de la Plage 74400 CHAMONIX | <u>Chargée d'affaire</u> Guillemette BENET Responsable : Marco BERGOMI | Tel : 04.50.55.90.25 Mail : bm.engineering@wanadoo.fr |
| Sous Traitant – Clôture  | ACIER DISTRIBUTION ZI Le Pont Nord 61450 LA FERRIERE AUX ETANGS | <u>Responsable :</u> Alain DASSE | Tel : 06.37.48.78.96 Mail : adservicecloture@acierdistribution.com |



JARNIAS
Les experts de la hauteur



Pont Albert Louppe - Brest (29)
Sécurisation du Pont Albert Louppe

Réf : AF2021-035052
Dossier d'Intervention Ulérieure sur l'Ouvrage

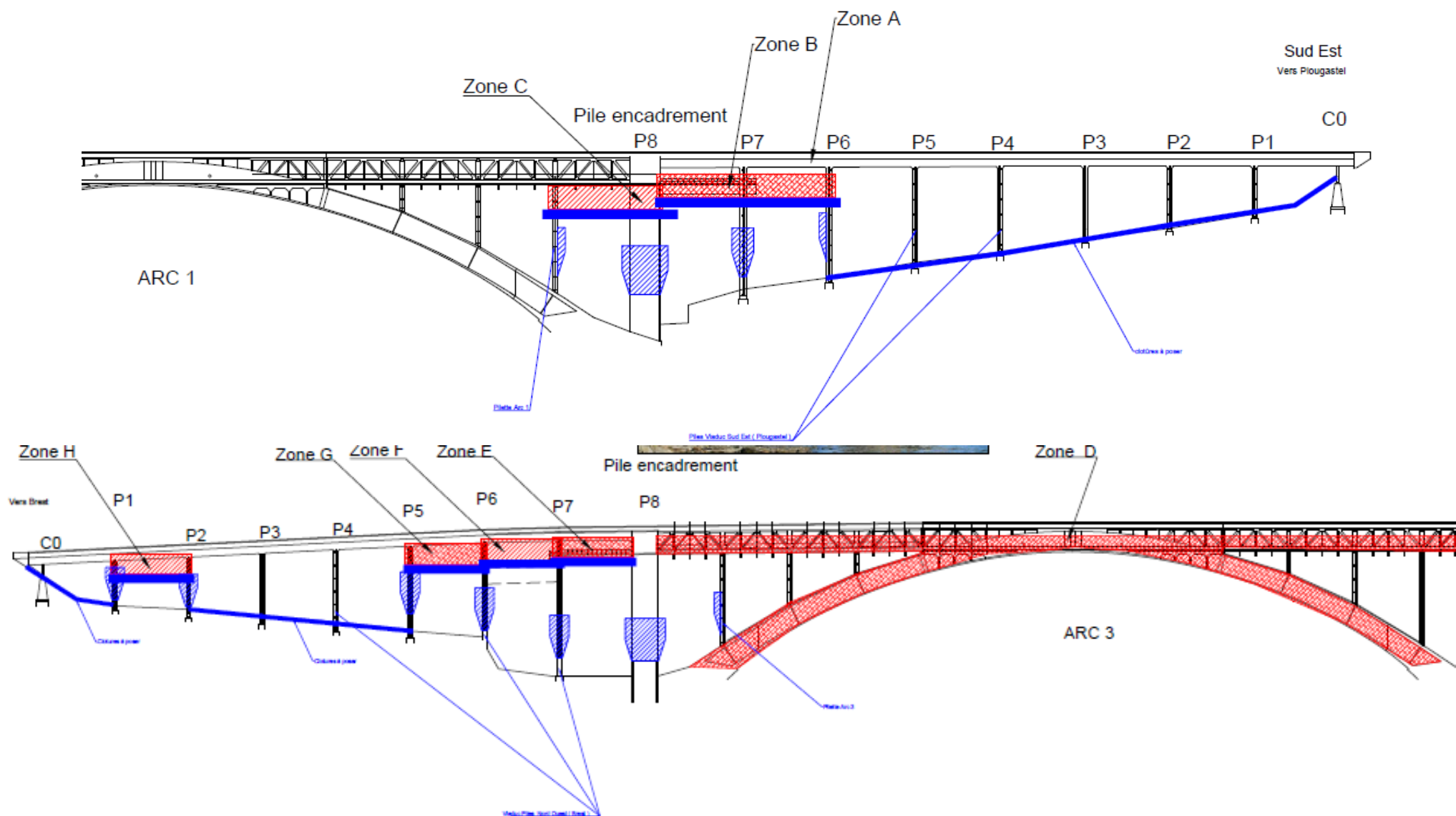
3- Objet

Le présent document concerne l'ensemble des méthodes pour la réalisation de contrôle et de maintenance ultérieure des ouvrages de sécurisation du Pont Albert Louppe réalisés par le groupement Ovest Acro & Jarnias d'avril à Août 2021 – Pont Albert Louppe – Plougastel Daoulas (29).

Les travaux de sécurisation par pose de filets et grillages sur l'ouvrage sont des méthodes de protection dites passives. Ces dispositifs de protection passive sont prévus pour résister à la chute ponctuelle d'un bloc de 125kg ou au maintien d'un volume de gravats équivalent (estimé à 0.05m³).

Afin de garantir les propriétés des dispositifs mis en place sur la durée attendue de 6 ans, et de manière à ne pas dépasser les volumes limites garantis, il est nécessaire d'effectuer un suivi et une maintenance qui permettront de préserver leur intégrité et leur efficacité dans le temps.

4- Localisation des secteurs



5- Planification de la maintenance visite annuelle et inspection détaillée quinquennale

L'organisation de la maintenance des ouvrages est décrite ci-dessous.

Cette organisation s'articule autour de trois procédures alternées et complémentaires :

- Visites périodiques,
- Inspections détaillées (éventuelles)
- Procédure de purge (éventuelles)

L'état de référence de l'ouvrage, qui permet d'initier ce type de suivi, est consigné dans le dossier d'ouvrage exécuté (DOE) constitué lors des travaux de sécurisation.

Visites périodiques

Les visites périodiques sont assurées par le maître d'ouvrage assisté si nécessaire par une entreprise spécialisée dans les travaux d'accès difficile en fonction de la configuration des lieux, elles ont lieu à période régulière. La fréquence est généralement annuelle, voire semestrielle pour certaines infrastructures particulières ou vulnérables. La visite consiste à s'assurer qu'aucun désordre majeur n'affecte les ouvrages et de vérifier la nécessité de purger ou de remplacer le dispositif en cas de chute de blocs ou de gravats.

Cette visite ne requiert pas de grande technicité elle a pour but de vérifier visuellement l'état de l'ouvrage.

Les inspections détaillées périodiques

Les inspections détaillées sont à l'initiative du maître d'ouvrage, assisté d'une entreprise compétente, afin de s'assurer en détail de l'état de l'ensemble des composants du dispositif et de s'assurer du maintien de la pérennité du dispositif.

Les visites particulières et les inspections détaillées exceptionnelles

Les visites particulières et les inspections détaillées exceptionnelles, calquées respectivement sur le modèle des visites périodiques et des inspections détaillées périodiques, peuvent être initiées à l'occasion de circonstances particulières telles que des conditions climatiques exceptionnelles, un incident, etc.

Il est nécessaire, lors de ces inspections, d'effectuer un examen détaillé de tout le matériel et des composants qui constituent l'ouvrage sur la zone impactée par les circonstances particulières.

Il nécessite une bonne connaissance des ouvrages et de leurs modes de fonctionnement. L'inspection comporte en outre un aspect d'analyse de l'adéquation risque/parade qui pourrait conduire à une amélioration du dispositif de protection global ou à l'adaptation d'un ouvrage spécifique, pour cela il sera nécessaire de faire appel à un spécialiste de ce type d'ouvrages.

Il faudra signaler tous les points qui n'auraient pas pu être vérifiés conformément à la fiche de suivi, quelle qu'en soit la raison (problèmes d'accès, de météorologie, manque de temps, masquage par la végétation, etc.).

L'état de référence de l'ouvrage, qui permet d'initier ce type de suivi, est consigné dans le dossier d'ouvrage exécuté (DOE) constitué lors des travaux de confortement.

Procédure de purge

Suite aux visites ou inspections il peut être nécessaire, suivant les cas de figures, d'intervenir sur le dispositif afin de purger ou remplacer celui-ci. L'ensemble des cas de figure ainsi que mode opératoire sont décrits dans l'annexe « Procédure de Purge »

Recommandations techniques

Afin d'assurer le suivi de chacun des ouvrages 2 types de fiches sont consignées dans notre document

- Une fiche de visite périodique (cf. annexe. fiche de visite périodique et particulière) qui définit la marche à suivre pour réaliser cette procédure de base
- Une fiche d'inspection détaillée (période exceptionnelle) (cf. annexe. fiche de visite inspection détaillées) qui définit la marche à suivre pour réaliser cette procédure plus élaborée.

6- Consignes et procédures communes aux visites et aux inspections

Dans ce paragraphe sont abordés certains points particuliers ou purement pratiques, destinés à faciliter le suivi des ouvrages de protection contre les risques rocheux ou la mise en place de vos procédures de suivi.

Le personnel d'intervention

Il faut rappeler que si les tournées de type « visite » ne requièrent pas un niveau de technicité très élevé de la part du contrôleur, il n'en est pas de même pour les inspections détaillées.

Il faut également mettre l'accent sur les problèmes particuliers liés à l'accès à des ouvrages situés en terrain difficile (sous face des arches, haut de pile...) qui nécessitera généralement l'intervention de personnel spécialisé et habilité faisant usage de matériels et de techniques adaptés. **(Entreprise de travaux d'accès difficile)**

Période d'intervention

Il faudra éviter autant que possible de réaliser les inspections et visites pendant certaines circonstances climatiques:

- Brouillard (visibilité, accès),
- Pluie (glissades, dispositifs mouillés masquant certains détails)
- Neige (glissade, dispositifs non visibles)
- Vent violent (sécurité des intervenants)...

Mesures générales à prendre suite à un relevé d'anomalie

Les mesures à prendre, suite à un relevé d'anomalie lors d'une visite périodique ou exceptionnelle pourront être de type :

- Intervention d'un spécialiste pour établir un diagnostic précis de l'ouvrage (inspection détaillée exceptionnelle générale ou ponctuelle, limitée à un ouvrage ou une partie d'ouvrage),
- Réalisation des travaux de purge ou de remplacement de filet par une équipe d'entretien ou par une entreprise spécialisée.

Vérifications spécifiques sur les ouvrages

Le détail des points particuliers à vérifier sur chaque type d'ouvrage est donné dans les fiches correspondantes en annexe, mais les grandes lignes des points importants, pour les ouvrages sont rappelées ci-après

- *Platines et câbles* : état de corrosion du matériel
- *Grillage* : état général de la nappe, des ligatures, présence d'éboulis ou de bloc, état de corrosion des câbles de maintien, des serre-câbles, des fils du grillage,
- *Filets* : vérification visuelle des dispositifs, maintien des caractéristiques géométriques, présence d'éboulis ou de bloc, vérification des ancrages: inclinaison, arrachement.

Matériel d'intervention

Chaque secteur peut nécessiter l'utilisation de matériel d'intervention qui lui est propre.

- Extraits d'éléments de référence technique contenus dans le dossier d'ouvrage exécuté,
- Nécessaire de prise de note (carnet, crayon, etc.).
- Fiche de contrôle par dispositif,
- Nécessaire de prise de vue : appareil photographique pour l'enregistrement des anomalies ou des observations, avec mire échelle (un outil ou un carnet peuvent faire l'affaire). Matérialiser, si possible, le point de prise de vue.
- Décamètre, mètre ruban, éventuellement perche de gabarit télescopique pour la mesure des hauteurs de filet...
- Clé, allonge et dégrippant pour le démontage et le remontage des plaques et écrous des ancrages.
- Clé dynamométrique, dégrippant
- Craie, crayons indélébiles, peinture permanente en bombe (la peinture de traçage fluorescente n'est pas pérenne)
- Le nécessaire de progression en accès difficile et de protection individuelle (le cas échéant)



JARNIAS
Les experts de la hauteur



Pont Albert Louppe - Brest (29)
Sécurisation du Pont Albert Louppe

Réf : AF2021-035052
Dossier d'Intervention Ulérieure sur l'Ouvrage

Annexes

- 1- Fiche d'inspection détaillée (périodique ou exceptionnelle) pour les dispositifs de sécurisation
- 2- Fiche de visites (périodique ou particulière) pour les dispositifs de sécurisation
- 3- Procédure de purge



DOSSIER D'INTERVENTION ULTERIEURE SUR L'OUVRAGE

**Sécurisation du Pont Albert Louppe
Brest (29)**

Annexe 1

Fiche d'inspection détaillée **(Périodique ou exceptionnelle)**

Réf : AF2021-035052

TRAVAUX DE SECURISATION DU PONT



DOSSIER D'INTERVENTION ULTERIEURE SUR L'OUVRAGE

GRILLAGE / FILET PLAQUE ANCRE

MAINTENANCE DE L'OUVRAGE: FICHE DE VISITE PERIODIQUE

Visite du : .../.../...

IDENTIFICATION DU DISPOSITIF DE PROTECTION

| | |
|---|--|
| Identification de l'ouvrage de protection | Grillages et filets de protection pour la retenue de blocs et gravats |
| Localisation de l'ouvrage | Pont Albert Louppe – Plougastel Daoulas |
| Référence du dossier d'ouvrage | AF-2021-035052 |
| Date de réalisation de l'ouvrage | Avril à septembre 2021 |
| Entreprise(s) ayant réalisé l'ouvrage | Ouest Acro et Jarnias |
| Responsable de la gestion de l'ouvrage | Nom : DDTM du Finistère Adresse : 11 Quai de Tréguier – CS27836 – 29678 Morlaix Cedex Responsable : M. Franck DUBOSCQ |

CONTENU DE LA VISITE

La visite périodique d'une nappe de grillage ou filet a pour objet de détecter et de relever toute évolution ou toute anomalie par rapport à la situation antérieure consignée dans la précédente fiche d'inspection détaillée.

La visite portera sur la vérification des points suivants :

- vérification visuelle de l'intégrité de la nappe de grillage ou filet
- vérification visuelle de la présence d'éboulis stockés dans la nappe de grillage ou filet, avec enregistrement de la blocométrie et des volumes totaux
- vérification visuelle de l'état général de l'amarrage de la nappe
- vérification visuelle de l'état général des des ancrages (corrosion, déformation...)

En fonction des désordres notés, il pourra être nécessaire de programmer la purge ou remplacement des nappes concernées, ou une inspection détaillée exceptionnelle qui permettra, par exemple, d'évaluer et de programmer les travaux de maintenance adaptés.

Le détail des points à vérifier est repris dans la fiche type de visite périodique, avec un bordereau d'anomalies et les mesures qui peuvent en découler.

DISPOSITIONS PARTICULIERES

| | |
|---|--|
| Qualifications requises pour le contrôleur | <ul style="list-style-type: none"> - Aptitude physique au déplacement à pied en milieu escarpé; connaissance technique du dispositif concerné (connaissance notamment de la nomenclature des différents constituants) |
| Difficultés particulières d'accès | <ul style="list-style-type: none"> - Accès sur corde ou sur nacelle positive ou négative suivant la zone à inspecter |
| Liste du matériel de visite | <ul style="list-style-type: none"> - Fiche d'inspection détaillée antérieure avec ses photographies (qui servira de référence pour la visite), extraite du dossier de maintenance : procédure non réalisée... - Fiche de visite préalablement renseignée nécessaire de prise de note (carnet pour notes complémentaires éventuelles) - Nécessaire de prise de vue (pour l'enregistrement des anomalies ou des observations) avec zoom - Décamètre - Nécessaire de progression et de protection individuelle en terrain difficile. |

VISITES ET INSPECTIONS DETAILLEES ANTERIEURES

| | |
|---|--|
| Date de la dernière inspection détaillée périodique | |
| Référence de la fiche d'inspection détaillée périodique | |
| Nom de l'inspecteur | |
| Rappel des conclusions de l'inspection détaillée périodique | |
| Date de la dernière inspection détaillée exceptionnelle | |
| Référence de la fiche d'inspection détaillée exceptionnelle | |
| Nom de l'inspecteur | |
| Rappel des conclusions de l'inspection détaillée exceptionnelle | |
| Date de la dernière visite | |
| Motif de la visite | |
| Référence de la fiche de visite | |
| Nom du contrôleur | |
| Rappel des conclusions de la visite | |

INTERVENTIONS DE MAINTENANCE ANTERIEURES

| | |
|--|--|
| Date de la dernière intervention de maintenance préventive | |
| Nature de l'intervention | |
| Date de la dernière intervention de maintenance corrective | |
| Nature de l'intervention | |
| Date de la dernière intervention de maintenance améliorative | |
| Nature de l'intervention | |

VISITE DU JOUR

| | |
|---|--|
| Type de visite (périodique ou particulière) | |
| Date de la visite | |
| Nom et qualité du contrôleur | |
| Météorologie du jour | |

OBSERVATIONS ET RELEVÉ D'ANOMALIES

Environnement général de l'ouvrage

| | |
|--|--|
| Praticabilité des accès à l'ouvrage <i>(À pied et pour les engins de maintenance éventuels) sur corde pour les parties non accessibles par nacelle</i> | |
| Indices de dégradation générale de l'ouvrage <i>(par rapport au niveau de référence issu du DOE)</i> | |
| Suite à donner <i>(visite de spécialiste, suivi à assurer, fréquence d'inspection à adapter, travaux urgents à envisager...)</i> | |

Nappe de grillage ou filet

| | |
|---|--|
| Intégrité de la nappe <i>(Localisation des dégâts, références photographiques)</i> | |
| Rétention d'éboulis <i>(Noter la présence d'éboulis, estimer leur volume et la blocométrie, références photographiques)</i> | |
| Suite à donner <i>(Inspection détaillée exceptionnelle, programmation du curage...)</i> | |

Câbles de pourtour et intermédiaires

| | |
|--|--|
| Etat général des câbles périphériques et intermédiaires de la nappe (Localisation des dégâts ou des anomalies, références photographiques) | |
| Suite à donner <i>(Inspection détaillée exceptionnelle, travaux urgents à envisager...)</i> | |

Platines d'ancrages

| | |
|--|--|
| Etat général des platines d'ancrages <i>(signaler les déformations, l'oxydation et toute anomalie, par rapport à la dernière inspection détaillée, références photographiques)</i> | |
| Suite à donner <i>(inspection détaillée exceptionnelle, programmation de travaux de maintenance)</i> | |

Zone de départ des éboulis éventuels

| | |
|--|--|
| Localisation de la zone de départ (Repérage sur plan et par illustration photographique) | |
| Suite à donner (Inspection détaillée exceptionnelle, programmation de travaux urgents à envisager) | |

BILAN DE LA VISITE

Récapitulatif des désordres constatés

Récapitulatif des suites à donner



DOSSIER D'INTERVENTION ULTERIEURE SUR L'OUVRAGE

**Sécurisation du Pont Albert Louppe
Brest (29)**

Annexe 2

Fiche de visites

(Périodique ou particulière)

Réf : AF2021-035052

TRAVAUX DE SECURISATION DU PONT



DOSSIER D'INTERVENTION ULTERIEURE SUR L'OUVRAGE

GRILLAGE / FILET PLAQUE ANCRE

**MAINTENANCE DE L'OUVRAGE:
FICHE D'INSPECTION DETAILLEE PERIODIQUE OU EXCEPTIONNELLE**

Visite du : .../.../...

IDENTIFICATION DU DISPOSITIF DE PROTECTION

| | |
|---|--|
| Identification de l'ouvrage de protection | Grillages et filets de protection pour la retenue de blocs et gravats |
| Localisation de l'ouvrage | Pont Albert Louppe – Plougastel Daoulas |
| Référence du dossier d'ouvrage | AF-2021-035052 |
| Date de réalisation de l'ouvrage | Avril à septembre 2021 |
| Entreprise(s) ayant réalisé l'ouvrage | Ouest Acro et Jarnias |
| Responsable de la gestion de l'ouvrage | Nom : DDTM du Finistère Adresse : 11 Quai de Tréguier – CS27836 – 29678 Morlaix Cedex Responsable : M. Franck DUBOSCQ |

Contenu de l'inspection :

L'inspection détaillée d'une nappe de grillage ou filet portera sur les points suivants :

- vérification de la présence d'éboulis stoppés et enregistrement de leur volume et de leur blocométrie
- vérification de l'état de la nappe
- vérification de l'état des ligatures du grillage et des filets
- vérification des ancrages d'amarrage des différents câbles et des ancrages de placage (aspect général et état des divers constituants)
- vérification de l'état des différents câbles et des accessoires d'assemblage
- vérification de la zone de départ des éboulements en cas d'événement significatif (intervention d'un spécialiste souhaitable)

Couverture photographique systématique de l'ouvrage et de son environnement direct, à l'identique de la couverture effectuée lors de l'inspection détaillée de référence (point zéro)

Le détail des points à vérifier est repris dans la fiche type d'inspection détaillée, avec un bordereau d'anomalies et les mesures qui peuvent en découler.

DISPOSITIONS PARTICULIERES

| | |
|---|---|
| Qualifications requises pour le contrôleur | <ul style="list-style-type: none"> - Aptitude physique au déplacement à pied en milieu escarpé; connaissance technique du dispositif concerné (connaissance notamment de la nomenclature des différents constituants) |
| Difficultés particulières d'accès | <ul style="list-style-type: none"> - Accès sur corde ou sur nacelle positive ou négative suivant la zone à inspecter |
| Liste du matériel pour l'inspection | <ul style="list-style-type: none"> - fiche d'inspection détaillée antérieure avec ses photographies (qui servira de référence pour la visite), extraite du dossier de maintenance : procédure non réalisée... - fiche de visite préalablement renseignée nécessaire de prise de note (carnet pour notes complémentaires éventuelles) - nécessaire de prise de vue (pour l'enregistrement des anomalies ou des observations) : si possible avec zoom(s) couvrant les focales de 35 à 100mm (équivalents format 35mm) - décamètre - nécessaire de progression et de protection individuelle en terrain difficile : sac à dos, casque, gants, chaussures de montagne. EPI corde baudrier CQP2 (formation de cordiste) - clé et dégrippant pour le démontage et le remontage éventuel des plaques et écrous des ancrages (vérification de l'état de corrosion sous la plaque). Il est probable que cette opération ne puisse pas être effectuée en raison du rôle de placage joué par les ancrages. - brosse métallique (vérification de la profondeur d'oxydation sur les éléments métalliques) - pied à coulisse (mesure de l'épaisseur résiduelle des éléments métalliques corrodés) - le nécessaire de progression et de protection individuelle en terrain difficile (le cas échéant) |

VISITES ET INSPECTIONS DETAILLEES ANTERIEURES

| | |
|---|--|
| Date de la dernière inspection détaillée périodique | |
| Référence de la fiche d'inspection détaillée périodique | |
| Nom de l'inspecteur | |
| Rappel des conclusions de l'inspection détaillée périodique | |
| Date de la dernière inspection détaillée exceptionnelle | |
| Référence de la fiche d'inspection détaillée exceptionnelle | |
| Nom de l'inspecteur | |
| Rappel des conclusions de l'inspection détaillée exceptionnelle | |
| Date de la dernière visite | |
| Motif de la visite | |
| Référence de la fiche de visite | |
| Nom du contrôleur | |
| Rappel des conclusions de la visite | |

INTERVENTIONS DE MAINTENANCE ANTERIEURES

| | |
|--|--|
| Date de la dernière intervention de maintenance préventive | |
| Nature de l'intervention | |
| Date de la dernière intervention de maintenance corrective | |
| Nature de l'intervention | |
| Date de la dernière intervention de maintenance améliorative | |
| Nature de l'intervention | |

VISITE DU JOUR

| | |
|---|--|
| Type d'inspection détaillée (périodique ou exceptionnelle) | |
| Date de l'inspection | |
| Fréquence de l'inspection détaillée (tous les 5 ans) | |
| Motif de l'inspection détaillée exceptionnelle (le cas échéant) (Événement particulier...) | |
| Matériel de prise de vue utilisé (Numérique, résolution numérique...) | |
| Nom et qualité du contrôleur | |
| Météorologie du jour | |

OBSERVATIONS ET RELEVÉ D'ANOMALIES

Environnement général de l'ouvrage

| | |
|---|--|
| <p>Praticabilité des accès à l'ouvrage</p> <p><i>(À pied et pour les engins de maintenance éventuels) sur corde pour les parties non accessibles par nacelle</i></p> | |
| <p>Indices de dégradation générale de l'ouvrage</p> <p><i>(par rapport au niveau de référence issu du DOE)</i></p> | |
| <p>Suite à donner</p> <p><i>(visite de spécialiste, suivi à assurer, fréquence d'inspection à adapter, travaux urgents à envisager...)</i></p> | |

Nappe de grillage ou de filet

| | |
|---|--|
| Ruptures / déchirement de nappe <i>(Localisation et quantification des dégâts, références photographiques)</i> | |
| Rétentions intermédiaires ou en pied de nappe <i>(Poches formées par accumulation de matériaux à tout niveau de la zone sécurisée, localisation des poches, estimation du volume global et de la blocométrie, références photographiques)</i> | |
| Etat de corrosion du grillage et des ligatures <i>(Localisation et quantification des dégâts ou anomalies à partir de l'échelle simplifiée des degrés d'enrouillement, références photographiques)</i> | |
| Etat des filets <i>(Localisation et quantification des dégâts ou anomalies, références photographiques)</i> | |
| Suite à donner <i>(Programmation des travaux d'entretien, de curage, de réparation, et des moyens à mettre en œuvre, si besoin en faisant appel à un spécialiste)</i> | |

Câbles de pourtour et intermédiaires

| | |
|--|--|
| <p>Etat des câbles périphériques de la nappe</p> <p><i>(localisation et quantification des dégâts ou des anomalies, références photographiques)</i></p> | |
| <p>Etat des câbles intermédiaires (verticaux ou horizontaux, le cas échéant)</p> <p><i>(localisation et quantification des dégâts ou des anomalies, références photographiques)</i></p> | |
| <p>Etat des serre-câbles</p> <p><i>(localisation et quantification des dégâts ou anomalies à partir de l'échelle simplifiée des degrés d'enrouillement, références photographiques)</i></p> | |
| <p>Suite à donner</p> <p><i>(programmation des travaux d'entretien, de réparation, et des moyens à mettre en œuvre)</i></p> | |

Platines d'ancrages

| | |
|---|--|
| Etat de corrosion des platine d'ancrage <i>(Localisation et quantification des dégâts ou anomalies à partir de l'échelle simplifiée des degrés d'enrouillement, références photographiques)</i> | |
| Etat de déformation des ancrages <i>(Localisation et quantification des dégâts ou des anomalies, références photographiques)</i> | |
| Suite à donner <i>(Programmation des travaux d'entretien, de réparation, et des moyens à mettre en œuvre)</i> | |

Zone de départ des éboulis éventuels

| | |
|---|--|
| Localisation de la zone de départ <i>(Repérage sur plan et par illustration photographique)</i> | |
| Ampleur du phénomène <i>(Dimension des zones cicatricielles, estimation des volumes éboulés, de la blocométrie...)</i> | |
| Suite à donner <i>(visite d'un spécialiste, programmation de purges en vue d'une intervention de maintenance en zone exposée, programmation des travaux de confortement complémentaires éventuels...)</i> | |

COUVERTURE PHOTOGRAPHIQUE SYSTEMATIQUE

Références et repérage des photographies systématiques de l'ouvrage réalisées lors de l'inspection détaillée en cours, identiques à la couverture réalisée lors de l'inspection détaillée de référence (point zéro), avec indication des points de vue matérialisés lors de l'inspection détaillée de référence et des éventuels points de vue complémentaires

BILAN DE LA VISITE

Récapitulatif des désordres constatés

Récapitulatif des suites à donner



DOSSIER D'INTERVENTION ULTERIEURE SUR L'OUVRAGE

**Sécurisation du Pont Albert Louppe
Brest (29)**

Annexe 3 Procédure du Purge

Réf : AF2021-035052

TRAVAUX DE SECURISATION DU PONT



MAITRE D'OEUVRE



Sécurisation du Pont Albert Louppe



| | | | | | | | |
|---|------------|--|---------|--|------------------------------------|--------|----------|
| C | 05/08/2021 | BRE | JHE | | | | |
| B | 03/08/21 | BRE | JHE | | Ajout photos suite aux tests | BPE | |
| A | 15/03/21 | JHE | BJE | | | AVS | |
| IND | DATE | NOM | VERIFIE | | Modifications | STATUT | APPROUVE |
| | | PROCEDURE DE PURGE PONT ALBERT LOUPPE | | | | | |
| Pages : 5 | | | | | | | |
| GROUPEMENT D'ENTREPRISES | | | | | | | |
| OUEST ACRO | | | | JARNIAS | | | |
|  | | | |  | | | |

Table des matières

| | |
|-----------------------------|---|
| Objet du document | 3 |
| Rappel des hypothèses | 3 |
| Modes opératoires | 3 |

Objet du document

Cette procédure servira d'appui à la DDTM pour mandater les entreprises chargées de réaliser la purge des filets et grillage de sécurisation mis en œuvre sur le pont Albert loupe, en cas de chute de bloc et de gravats à l'intérieur de ceux-ci.

Rappel des hypothèses

Pour rappel, les filets et grillage mis en œuvre sont prévus pour résister à la chute ponctuelle d'un bloc de 125kg.

Soit pour un béton de masse volumique 2.5t/m³, une dimension de bloc estimative de 0,05m³ 35x40cm de côté, ou un équivalent en gravats.

- Les filets sont un assemblage de deux filets textiles maille de 70/70 doublé d'une maille de 20/20.
- Les grillages sont un assemblage de grillage acier revêtu PVC double torsion 60x80 doublé d'un filet de maille 20x20

Modes opératoires

La procédure doit permettre de garantir la pérennité du système. Pour se faire, il est préconisé un contrôle visuel régulier par le Maître d'Ouvrage et la purge des filets et grillages si nécessaire suivant les cas de figure définis ci-dessous :

- Purge régulière pour éviter d'atteindre la capacité maximale de 125 kg, objet du marché.
- Inspection visuelle des filets et des grillages :
 - o Si bon état et purge < 125kg : remise en place du filet ou patch grillage en l'état avec conservation de la garantie de 6 ans du filet sous réserve du respect de la procédure de pose
 - o Si déformation visuelle (banane) ou déchirure : remplacement du filet ou patch grillage.
 - o Si purge >125kg : on dépasse l'objet du marché → hors garantie → remplacement des filets ou grillage **ET** test des ancrages suivant les recommandation de la NDC.

Le groupement garantie le système sous réserve du respect des éléments de pose détaillé dans la NDC et selon les règles de l'art de la pose, le groupement ne peut s'engager sur la résistance du système en cas de non-respect des conditions.

Le groupement garantie le système sous réserve du respect des éléments de pose, détaillée dans la note de calcul, le groupement ne peut s'engager sur la résistance du système en cas de non-respect de cette procédure. Le Maître d'Ouvrage doit s'assurer du respect de la mise en œuvre des bonnes procédures et mettre les moyens de contrôle nécessaires à la conformité du système.

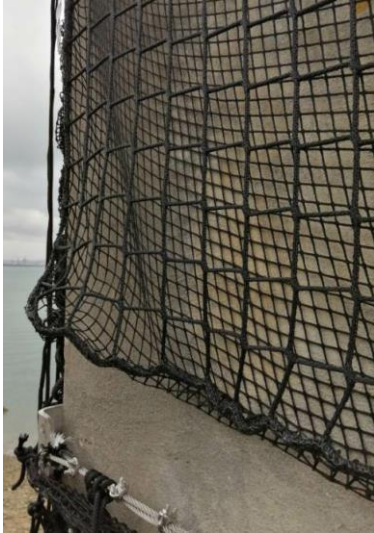
Les filets/grillages à remplacer doivent être remplacés par des filets/grillages de mêmes types ou équivalent.

• **Purge des filets**

La purge du filet consiste à délasser le filet depuis son système de maintien haut ainsi que de ses systèmes de maintien verticaux, jusqu'à arriver à hauteur du bloc. Celui-ci est mis en big bag et est évacué. Le filet est alors relassé sur les systèmes de maintien suivant les règles de l'art et la note de calcul de pose initiale.

Le remplacement du filet se fait de la même manière par le délaçage de ses pourtours et est remplacé par un filet de même type ou équivalent qui est relassé sur les systèmes de maintien suivant les procédures définies dans la note de calcul de pose initiale.

Principe d'ouverture des filets pour purge.



Délaçage du filet dans la zone la plus proche de celle à purgé.

Soit en partit basse soit en partit haute et ouverture jusqu'au blocs à récupéré.



Laçages du filet sur le câble existant.

Le démarrage du laçage s'effectue par un nœud auto serrant qui prend la maille porteuse la ralingue ainsi que le câbles, il est effectué avec une clef d'arrêt.



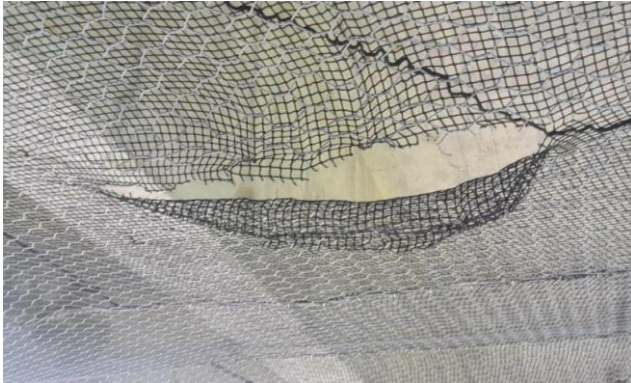
Laçage du filet au câbles avec le brin filant, par clef de demi cabestan toute les deux mailles.

Au bout du brin nœud auto serrant avec clef pour arrêter le brin.

- **Purge du grillage**

La purge du grillage consiste à ouvrir le grillage en dessous de la zone à purger. Récupérer l'ensemble des résidus de purge dans un big bag qui sera évacué. Un patch en grillage, dimensionné 50cm de plus de part et d'autre que l'ouverture à recouvrir, est alors mis et agrafé au grillage initial. Le grillage servant au patch doit être de même type ou équivalent que le grillage posé initialement.

Principe d'ouverture des grillages pour purge.



Ouverture du grillage à l'aplombs de la zone à purgé, à l'aide d'une pince coupante, récupération des blocs.



Mise en place d'un morceau de grillage neuf doublé d'un par micro maille.

Accroche du grillage à l'aide d'une agrafeuse pneumatique.

Le grillage neuf doit avoir un recouvrement de 50cm de part et d'autre de la zone ouverte



Patch de grillage une fois la purge effectuée

ANNEXES

Annexe 1 – Note de Calcul

Annexe 2 – Note d'hypothèse

Annexe 2 – Fiches Techniques

Client :

JARNIAS
Les experts de la hauteur



PROTECTION PROVISOIRE DU PONT ALBERT LOUPPE

PHASE EXE

Note d'hypothèses - NDC 01

Affaire N° 2021



| | | | | |
|-----|------------|----------|------------|------------|
| E | 28/05/2021 | G. Bénet | M. Simonin | M. Bergomi |
| REV | DATE | EMIS | VERIFIE | APPROUVE |

GESTION DES MODIFICATIONS

| Rev. | Date | Motif de la modification | Pages |
|------|------------|---|-------|
| A | 14/01/2021 | Première émission (version provisoire) | 15 |
| B | 12/03/2021 | Mise à jour pour diffusion officielle | 18 |
| C | 24/03/2021 | Mise à jour suite à la FO n°1 | 22 |
| D | 07/04/2021 | Mise à jour suite à la FO n°5 + précisions fournitures | 23 |
| E | 28/05/2021 | Mise à jour suite au passage de certains filets en grillages DT | 27 |

DOCUMENTS DE REFERENCE

- [1] Photographies de l'ouvrage - email de S. Krajnovic du 05/06/2020
- [2] Fonds de plan DWG « Plan_ID-PAL PLN » - email de S. Krajnovic du 18/11/2020
- [3] Annexe au cahier des charges du marché « Plan des zones et implantation de la signalisation »
- [4] Mémoire technique lot 1 - email de B. Recamier du 09/12/2020
- [5] Principe de pose des filets «synopsie filets ind C» - email de B. Recamier du 05/03/2021
- [6] Réponse aux questions posées - email de B. Recamier du 09/12/2020
- [7] Cahier des charges pour essais sur ancrages - B&M Engineering
- [8] Rapport d'essais sur ancrages - JARNIAS :
- « rapport test ancrages DDTM »
 - « rapport test ancrages DDTM V2 »
 - « rapport test ancrages DDTM V3 »
- [9] Cahier des charges pour essais sur filets - B&M Engineering
- [10] Rapports d'essais sur filets - ASSISTAS :
- 1062.02.03.202
 - 1071.19.03.2021
 - 1082.30.03.2021

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 2/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCTION | 4 |
| 2. HYPOTHESES GENERALES DE CALCUL | 5 |
| 2.1. Normes et Règlements | 5 |
| 2.2. Logiciels de calcul..... | 5 |
| 3. CARACTERISTIQUES DE LA STRUCTURE DE PROTECTION | 6 |
| 3.1. Géométrie générale..... | 6 |
| 3.2. Matériaux et sections | 10 |
| 3.3. Ancrages | 11 |
| 4. CHARGEMENTS EN SERVICE | 13 |
| 4.1. Charges permanentes..... | 13 |
| 4.2. Charges climatiques..... | 13 |
| 4.3. Charges accidentelles | 15 |
| 4.4. Phasage de montage..... | 16 |
| 5. COMBINAISONS DE CHARGES | 17 |
| 5.1. Combinaisons ELU..... | 17 |
| 5.2. Combinaison ELS caractéristiques | 17 |
| 5.3. Combinaisons ELA..... | 17 |
| 6. VERIFICATIONS A MENER | 18 |
| 7. ANNEXE 1 - FICHES TECHNIQUES MATERIEL | 19 |
| 8. ANNEXE 2 - ANALYSE DES ESSAIS DE TRACTION SUR FILET | 24 |
| 8.1. Méthode | 24 |
| 8.2. Résultats des essais..... | 24 |
| 9. ANNEXE 3 - RESISTANCE THEORIQUE DES ANCRAGES TESTS | 27 |

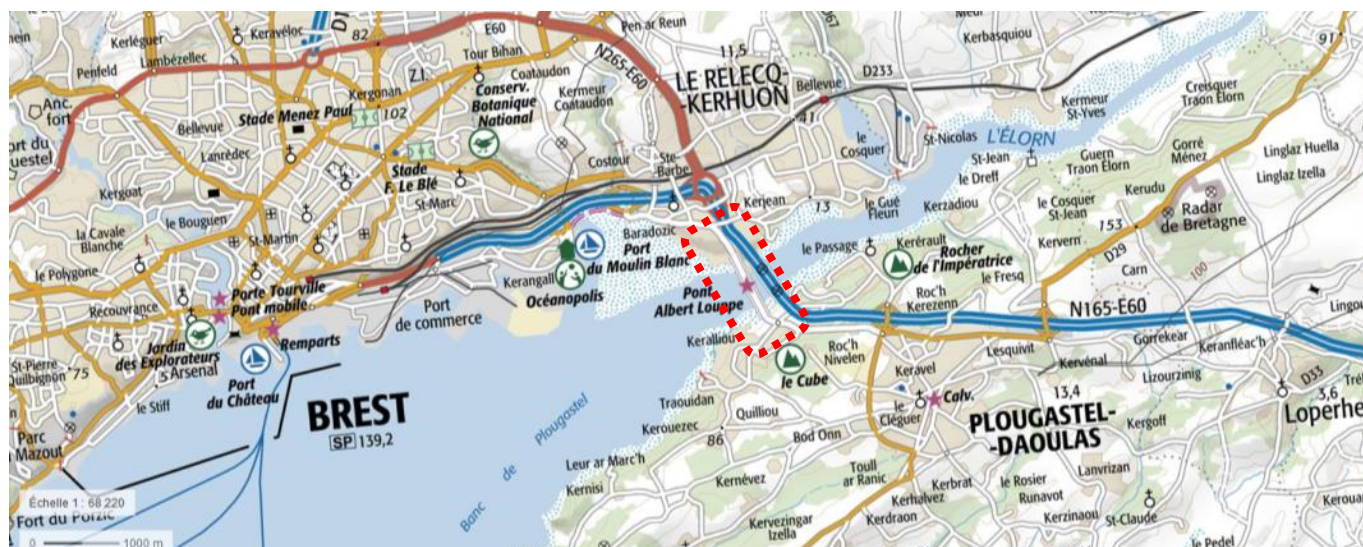
| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 3/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

1. INTRODUCTION

Cette note présente les hypothèses retenues pour le dimensionnement de la sécurisation du pont Albert Louppe. Le système consiste à mettre en place des filets provisoires afin de retenir les blocs et épaufrures de béton qui se décrochent de l'ouvrage.

L'ouvrage est un viaduc en béton armé de 888m de longueur, qui franchit l'Elorn à son embouchure entre Le Relecq-Kerhuon et Plougastel. Il a été reconstruit en 1949, puis élargi en 1960.

Il est constitué de 3 arcs de 184m de portée chacun, de 8 travées d'accès sur palées de chaque côté, et sa largeur totale est de 12.6m. Il comporte deux tabliers : un tablier routier (tablier principal), et un tablier inférieur destiné à la circulation ferroviaire qui n'a jamais été mis en service.



Localisation du projet (© Géoportail)

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 4/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

2. HYPOTHESES GENERALES DE CALCUL

2.1. Normes et Règlements

Les règlements de calculs à appliquer sont les Eurocodes ainsi que les annexes nationales :

- NF EN 1990 : Bases de calculs des structures, et ses Annexes Nationales
- NF EN 1991-1-1 : Actions sur les structures, Partie 1 : Actions générales – Poids volumique, poids propres, charges d'exploitation dans les bâtiments, et son Annexe Nationale
- NF EN 1991-1-3 : Actions sur les structures, Partie 1-4 : Actions générales – Charges de neige, et son Annexe Nationale
- NF EN 1991-1-4 : Actions sur les structures, Partie 1-4 : Actions générales – Actions du vent, et son Annexe Nationale
- NF EN 1991-1-5 : Actions sur les structures, Partie 1-4 : Actions générales – Actions thermiques, et son Annexe Nationale
- NF EN 1992 : Eurocode 2 - Calcul des structures en béton
- NF EN 1993 : Eurocode 3 - Calcul des structures en acier
- NF EN 1993-1-1 : Calcul des structures en acier, Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments, et son Annexe Nationale
- NF EN 1993-1-4 : Calcul des structures en acier, Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les aciers inoxydables, et son Annexe Nationale
- NF EN 1993-1-8 : Calcul des structures en acier, Partie 1-8 : Calcul des assemblages, et son Annexe Nationale
- NF EN 1993-1-11 : Calcul des structures en acier, Partie 1-11 : Calcul des structures à câbles ou éléments tendus, et son Annexe Nationale

2.2. Logiciels de calcul

Le modèle 3D utilisé au dimensionnement de la structure sera effectué à l'aide des logiciels Strand7 et ixCube 4-10, programmes permettant le calcul de structures au comportement géométrique non linéaire (câbles, toiles...).

La vérification des chevilles d'ancrage sera réalisée à l'aide de l'utilitaire du fournisseur.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 5/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

3. CARACTERISTIQUES DE LA STRUCTURE DE PROTECTION



3.1. Géométrie générale

Les filets sont disposés autour des tabliers et des arcs du pont afin de récupérer les morceaux de béton qui se détachent de l'ouvrage.

La localisation exacte des zones à protéger figure sur le document de référence [3].

Ils sont lacés sur des câbles périphériques qui permettent la mise en tension de l'ensemble. Ces derniers sont fixés à intervalles réguliers sur des platines métalliques, qui sont chevillées dans le béton de l'ouvrage. En cas de chutes de béton dans un filet, ce dernier est démonté pour être purgé et remis en place.

Les ancrages sont positionnés de préférence sur les faces en béton verticales (moins abîmées que les intrados de poutres) : flanc des poutres, des voiles, des arcs et acrotères.

Les différentes typologies de pose des filets sont les suivantes (voir schémas ci-après) :

- F1 : filet vertical filant sur acrotère
- F2a : filet vertical filant sur le tablier routier
- F2b : filet vertical en partie supérieure du tablier ferroviaire
- F3 : filet vertical entre palées des arcs
- F4a : grillage horizontal en sous-face du tablier routier
- F4b : grillage vertical en partie inférieure du tablier ferroviaire
- F5 : filet sur 3 faces des arcs
- F6a : filet vertical aux extrémités du tablier ferroviaire
- F6b : grillage horizontal en sous-face des extrémités du tablier ferroviaire
- F7a : filet vertical sur épaisseur des piles
- F7b : filet vertical sur largeur des piles

NB : Les grillages, plus résistants que les filets, sont utilisés dans les zones avec des risques de chute de hauteur des blocs.

Les différents composants du système de protection sont :

- Filets double couche :
 - ⇒ Filet porteur maille 70mm x 70mm
 - ⇒ Filet de remplissage maille 22mm x 22mm
- Ou grillages double couche :
 - ⇒ Grillages porteur, maille 60mm x 80mm
 - ⇒ Filet de remplissage maille 22mm x 22mm
- Câbles périphériques
- Platines d'ancrage

Les photos suivantes présentent les différents principes de pose des filets (une couleur par type de filet) ainsi que la disposition des câbles de pourtour (en blanc).

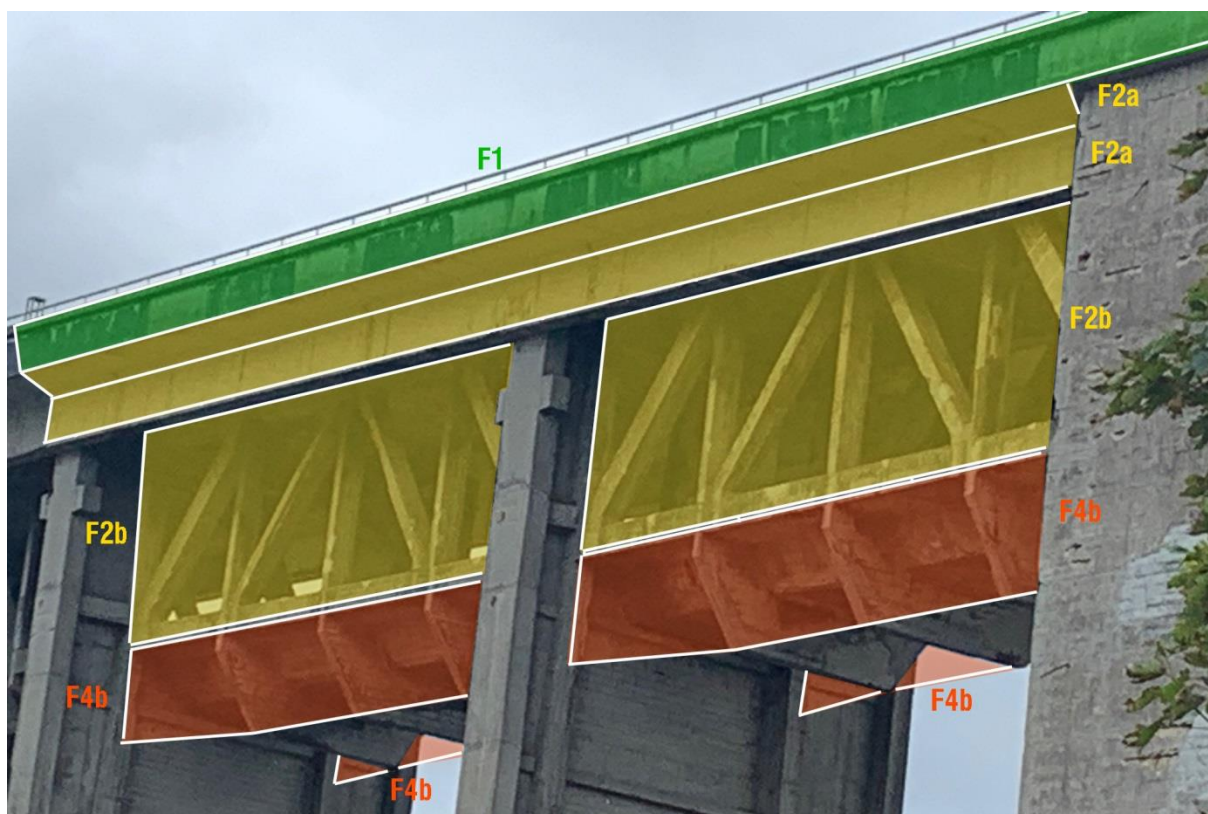
NB : Les filets seront posés sans recouvrement, c'est-à-dire qu'ils sont interrompus au droit des câbles périphériques. Il n'y a pas de subdivision intermédiaire des filets entre deux câbles car ils sont fabriqués sur demande aux dimensions souhaitées.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 6/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

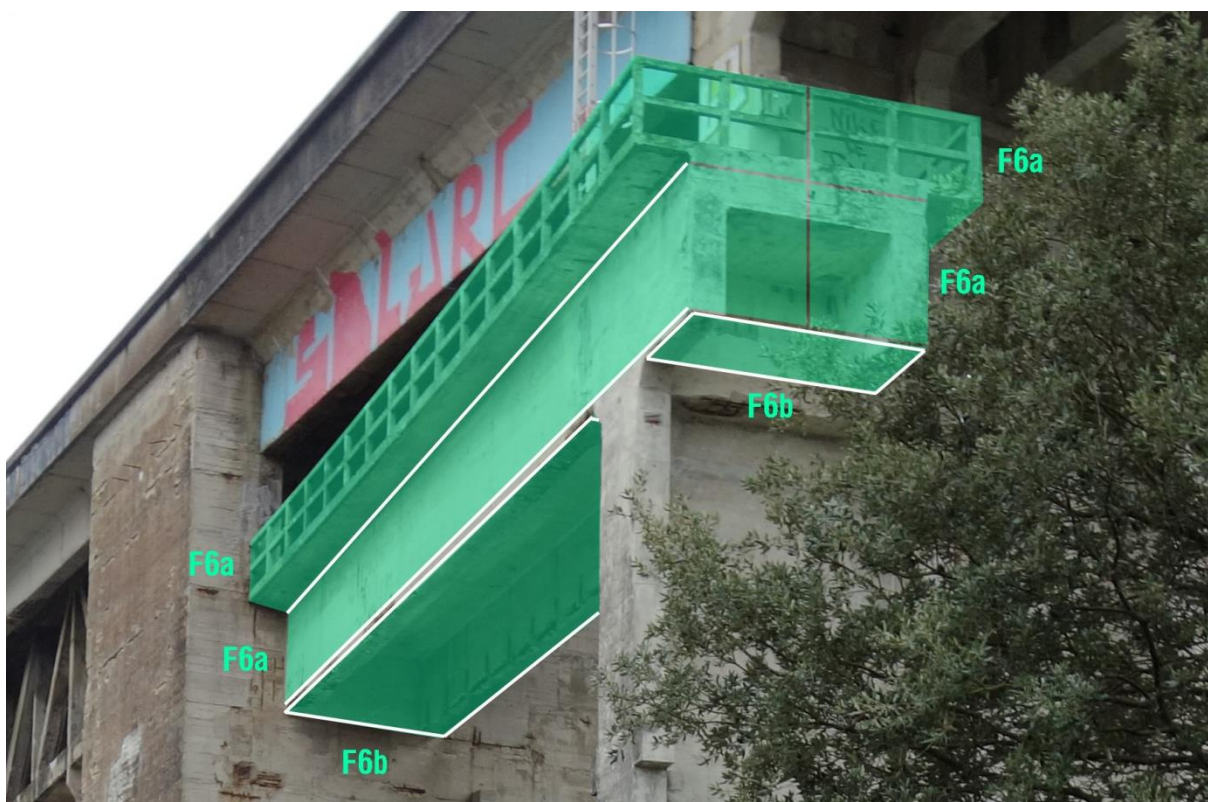


Principe de pose des filets sur le tablier routier des travées d'accès et sur piles

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 7/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

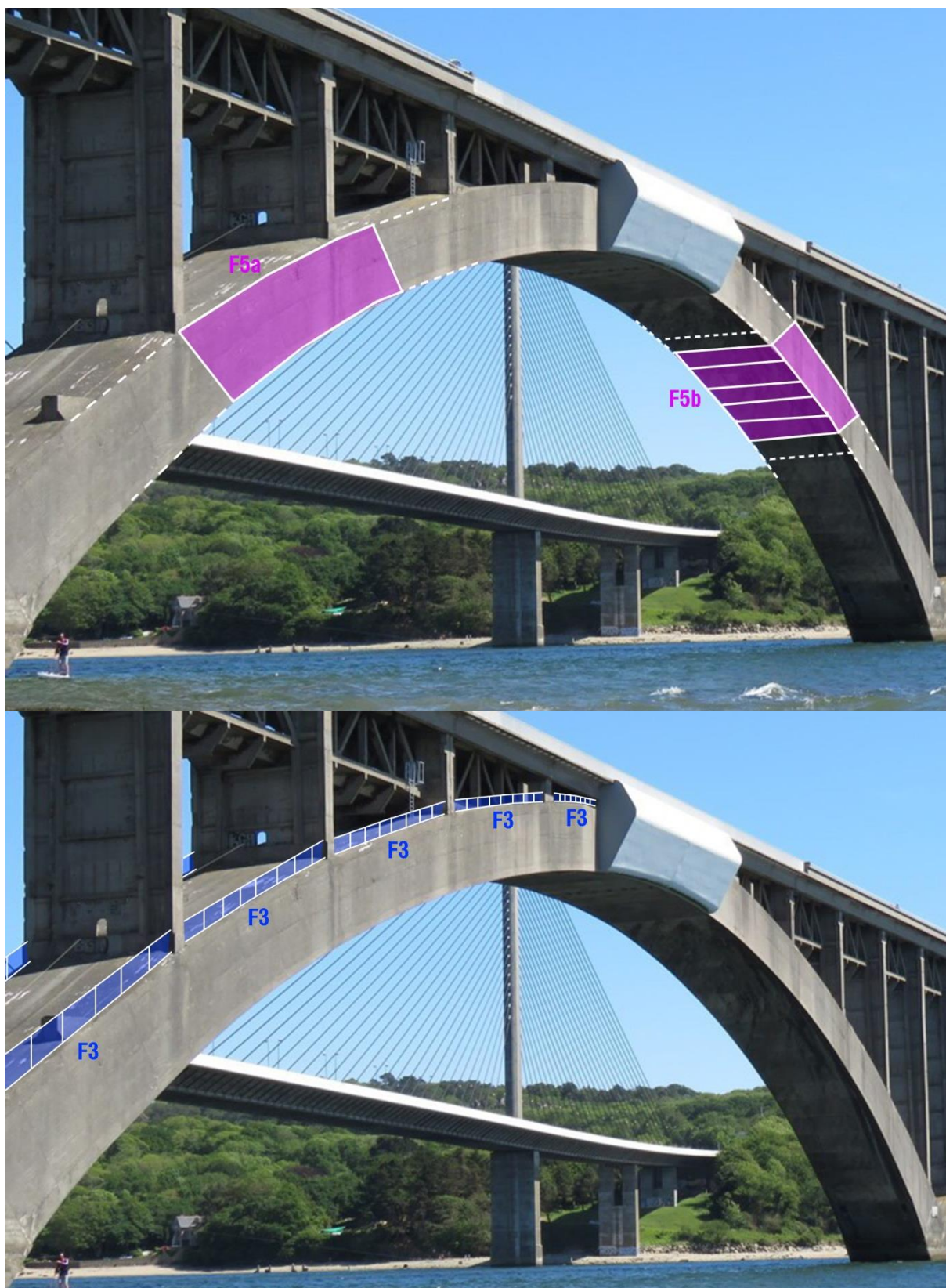


Principe de pose des filets sur le tablier ferroviaire



Principe de pose des filets aux extrémités du tablier ferroviaire

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 8/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



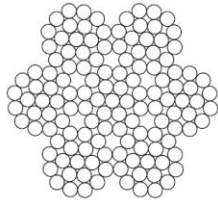
Principe de pose des filets sur l'arc

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 9/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

3.2. Matériaux et sections

3.2.1. Câbles

Les câbles sont en acier inoxydable. La fiche technique du fournisseur IDMAT est la suivante :



Câble inox AISI 316 **7 torons** de **19 fils** *Stainless steel wire rope 7x19*

| REF. | Ø (mm) | Conditionnement (m) | C.R.M (kg) | Poids (kg/m) |
|-----------|--------|---------------------|------------|---------------|
| REF. | Ø (mm) | Packaging (m) | B.K.L (kg) | Weight (kg/m) |
| CAI 71902 | 2 | - | - | - |
| CAI 71903 | 3 | 2 000 | 600 | 0,038 |
| CAI 71904 | 4 | 2 000 | 950 | 0,06 |
| CAI 71905 | 5 | 2 000 | 1 400 | 0,09 |
| CAI 71906 | 6 | 1 000 | 2 100 | 0,135 |
| CAI 71908 | 8 | 500 | 3 800 | 0,24 |
| CAI 71910 | 10 | 500 | 5 310 | 0,375 |
| CAI 71912 | 12 | 500 | 7 650 | 0,54 |

C.R.M : Charge de Rupture Minimale. / B.K.L : Breaking Load Limit.

Nous partons sur les caractéristiques suivantes :

- Module d'élasticité : $E = 115\,000\text{ MPa}$ (moyenne selon différents fabricants, car non précisé dans la fiche technique)
- Coefficient de dilatation thermique: $\alpha = 1.2 \times 10^{-5}\text{ 1/K}$

| Diamètre (mm) | Section (mm ²) | Masse linéique (kg/ml) | Effort à rupture (kN) |
|---------------|----------------------------|------------------------|-----------------------|
| 8 | 26.5 | 0.24 | 38 |

3.2.2. Filets

Les filets sont composés de fils polyamide.

Les fiches techniques du fournisseur donnent les indications suivantes (cf. fiches techniques en annexe) :

- Filet maille 70x70 :
 - ⇒ Diamètre du fil : $d = 6\text{ mm}$
 - ⇒ Masse surfacique : 0.485 kg/m^2
 - ⇒ Effort à rupture (pour 1 maille) : 5.1 kN
- Filet maille 20x20 :
 - ⇒ Diamètre du fil : $d = 2\text{ mm}$
 - ⇒ Masse surfacique : 0.140 kg/m^2
 - ⇒ Effort à rupture (pour 1 maille) : 0.7 kN
- Soit une masse surfacique totale de 0.625 kg/m^2 pour la double couche

Ces données n'étant pas suffisantes pour modéliser le comportement général du filet, des essais de traction ont été menés. D'après l'analyse des paramètres relevés (cf. document de référence [10]), nous avons pu définir approximativement les caractéristiques mécaniques suivantes du filet porteur (maille 70x70) :

- Module d'élasticité : $E = 500\text{ kN/ml}$
- Limite à rupture : $f_u = 20\text{ kN/m}$

Nous retiendrons également un coefficient de dilatation thermique correspondant au matériau nylon :

- $\alpha = 10 \times 10^{-5}\text{ 1/K}$

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 10/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Les filets sont lacés en continu sur les 4 câbles périphériques par des drisses polyamide dont la fiche technique figure en annexe. Le filet principal sera lacé toutes les 2 mailles à minima, soit tous les 14cm. La résistance à rupture de la drisse est de 12kN, on a donc une résistance linéique de $12/0.14 = 86\text{kN/ml}$. La drisse est plus résistante que le filet, aussi la validation de ce dernier par calcul entraînera automatiquement la validation de la drisse de laçage.

E

3.2.3. Grillages

Les grillages sont des grillages double torsion adaptés aux cas de chute de bloc et revêtus d'une gaine plastifiée (PVC ou PA6) pour la durabilité en zone côtière.

La fiche technique du fournisseur donne les indications suivantes (cf. fiche technique en annexe) :

- Grillage maille 60x80 :
 - ⇒ Diamètre du fil nu : $d = 2.7\text{ mm}$
 - ⇒ Effort à rupture : 55 kN/m
 - ⇒ La masse surfacique avec gaine plastifiée a été estimée à 2.0 kg/m^2
- Soit une masse surfacique totale de 2.6 kg/m^2 pour la double couche grillage + filet 22x22

Ces données n'étant pas suffisantes pour modéliser le comportement général du grillage, nous nous sommes rapprochés du fournisseur pour déterminer le module d'élasticité du grillage :

- Module d'élasticité : $E = 400\text{ kN/ml}$

Nous retiendrons également un coefficient de dilatation thermique correspondant au matériau acier :

- $\alpha = 1.2 \times 10^{-5}\text{ 1/K}$

3.2.4. Platines d'ancrage

Les platines sont en acier inoxydable de nuance 304L (1.4307). Les caractéristiques sont les suivantes :

- Module d'élasticité : $E = 200\,000\text{ MPa}$
- Coefficient de Poisson en phase élastique : $\nu = 0.3$
- Coefficient de dilatation thermique : $\alpha = 1.2 \times 10^{-5}\text{ 1/K}$
- Masse volumique : $\rho = 7850\text{ kg/m}^3$

| Epaisseur t (mm) | f_y (MPa) | f_u (MPa) |
|---------------------------------------|-------------|-------------|
| $t \leq 6\text{mm}$ | 220 | 520 |
| $6\text{mm} \leq t \leq 12\text{mm}$ | 200 | 520 |
| $12\text{mm} \leq t \leq 75\text{mm}$ | 200 | 500 |

3.2.5. Béton

N'ayant pas d'information sur le béton de l'ouvrage, nous retenons sécuritairement les caractéristiques suivantes :

- Classe de résistance : C20/25

E

3.3. Ancrages

Les câbles sont équipés d'extrémités avec chapes et ridoirs afin de régler leur tension lors de la mise en place.

Les ancrages seront réalisés par des chevilles mécaniques HILTI de types vis à béton en acier inoxydable HUS M10.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 11/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

L'état du béton du pont étant très variable selon les zones, des tests d'arrachement ont été menés afin de déterminer la résistance réelle des ancrages (cf. document de référence [8]).

Le tableau suivant récapitule les valeurs théoriques et les valeurs observées lors des essais.

NB : les valeurs théoriques ont été déterminées avec l'utilitaire HILTI en modélisant une disposition identique à celle de l'essai, sur un béton fissuré C20/25 (cf. justification en annexe).

| Diamètre / prof. ancrage | Distance au bord (mm) | Epaisseur béton (mm) | Valeur | Traction $F_{t,Rd}$ (kN) | Cisaillement $F_{v,Rd}$ (kN) |
|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------|--------------------------|------------------------------|
| HUS M10 $h_{ef} = 71\text{mm}$ | ≥ 125 | ≥ 200 | théorique | - | 11 |
| | | | essai | - | ≥ 17 |
| | ≥ 100 | ≥ 300 | théorique | 9 | - |
| | | | essai | ≥ 18 | - |
| | ≥ 80 | ≥ 300 | théorique | 6 | - |
| | | | essai | ≥ 25 | - |

De manière générale, les résultats des essais montrent qu'il est possible d'utiliser les valeurs théoriques de l'utilitaire HILTI pour le dimensionnement.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 12/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4. CHARGEMENTS EN SERVICE

4.1. Charges permanentes

4.1.1. Poids propre

Le poids propre des filets et des câbles est calculé automatiquement par le logiciel sur la base des masses indiquées au chapitre précédent. Il est majoré par un facteur de 1.1 pour prendre en compte le poids des assemblages et extrémités de câbles non modélisés.

4.1.2. Prétension

Une prétension est appliquée sur tous les câbles afin de limiter les déformées de la protection. Elle est définie lors du calcul de la protection afin de respecter les flèches et la géométrie fixées. La prétension maximale applicable dans un câble lors du montage est de 3 à 4 kN.

4.1.3. Equipements non modélisés

Sans objet.

4.2. Charges climatiques

4.2.1. Charge de neige (selon NF EN 1991-1-3)

Vu la disposition des filets (verticaux ou horizontaux en sous-face de l'ouvrage), aucune charge de neige ne sera considérée.

4.2.2. Pression de vent (selon NF EN 1991-1-4)

La vitesse de référence du vent dans la zone du projet (région 3) est de 26m/s selon l'Eurocode. Le calcul de la pression dynamique de pointe à appliquer sur les structures dépend de la catégorie de terrain, notée de 0 à 4 : la catégorie 0 étant la plus dégagée où la pression sera la plus forte (mer ou zone côtière) et la catégorie 4 la plus obstruée (zone urbaine dense).

Nous assimilons l'embouchure de l'Elorn dans la rade de Brest à la catégorie 0 (la plus défavorable).

Le détail du calcul de pression aux Eurocodes figure dans le tableau ci-après. La pression retenue est de 1.56 kN/m².

Cette pression de vent sera appliquée aux filets avec un coefficient de réduction correspondant au pourcentage de remplissage, et un coefficient de force égal à $c_f = 1.2$ (section cylindrique des fils).

| | Maille m (mm) | Diamètre fil d (mm) | Coef. de remplissage | |
|---------|--------------------|--------------------------|----------------------|-----------------|
| | | | φ | φ_{tot} |
| filet 1 | 22 | 2 | 17% | 31% |
| filet 2 | 70 | 6 | 16% | |

$$\varphi = \frac{d(2m - d)}{m^2} \quad \varphi_{tot} = 1 - (1 - \varphi_1)(1 - \varphi_2)$$

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 13/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Le pourcentage de remplissage est arrondi à 35% pour prendre en compte les câbles de pourtour et divers accessoires de mise en tension.

Ainsi la pression surfacique de vent appliquée à un filet est de : $q_v = q_p \times c_i \times \phi_{tot} = 0.66 \text{ kN/m}^2$.

| |
|--|
| EN 1991-1-4 / 4.2 valeurs de référence |
|--|

| | | | |
|----------------------|----------------|-------|----------|
| région | | 3 | |
| vitesse de référence | $v_{b,0} =$ | 26.00 | m/s |
| | $c_{dir} =$ | 1.0 | |
| | $c_{season} =$ | 1.0 | |
| vitesse de référence | $v_b =$ | 26.00 | m/s 93.6 |

| |
|------------------------------|
| EN 1991-1-4 / 4.3 vent moyen |
|------------------------------|

| | | | | |
|--------------------------|-------------|-------|-----|-----------------------------------|
| vent moyen (z) | $v_m(z) =$ | 37.79 | m/s | $c_0(z) \times c_r(z) \times v_b$ |
| hauteur au-dessus du sol | $z =$ | 40 | m | |
| coefficient orographique | $c_0(z) =$ | 1 | | |
| coefficient de rugosité | $c_r(z) =$ | 1.45 | | |
| catégorie de terrain | | 0 | | (embouchure de l'Elorn) |
| longueur de rugosité | $z_0 =$ | 0.005 | m | |
| hauteur minimale | $z_{min} =$ | 1 | m | |
| facteur de terrain | $k_r =$ | 0.162 | | |

| |
|--------------------------------------|
| EN 1991-1-4 / 4.4 turbulence de vent |
|--------------------------------------|

| | | |
|----------------------------|------------|------|
| intensité de la turbulence | $I_v(z) =$ | 0.11 |
| coefficient de turbulence | $k_l =$ | 1.00 |

| |
|--|
| EN 1991-1-4 / 4.5 pression dynamique de pointe |
|--|

| | | | | |
|---------------------------------|------------|-------|-------|---|
| pression dynamique de pointe | $q_p(z) =$ | 1 556 | Pa | $(1+7.I_v(z)) \times 1/2 \times \rho \times v_m(z)^2$ |
| pression dynamique de référence | $q_b =$ | 414 | Pa | $1/2 \times \rho \times v_b^2$ |
| masse volumique de l'air | $\rho =$ | 1.225 | kg/m3 | |
| coefficient d'exposition | $c_e(z) =$ | 3.76 | | $q_p(z) / q_b$ |

| | | | | | |
|---------------|--------------------|-----------|---------|------------|---------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénét | E | 28/05/2021 | 14/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.2.3. Effets thermiques (selon NF EN 1991-1-5)

Les efforts dans la structure dus aux variations uniformes de la température devront être calculés avec les températures extrêmes décrites ci-dessous (température de l'air sous abri pour le Finistère) :

- $T_{\max} = +35^{\circ}\text{C}$
- $T_{\min} = -15^{\circ}\text{C}$

A défaut d'information sur les températures moyennes lors de la période de chantier, on considérera la température initiale de la structure finie égale à $T_0 = 10^{\circ}\text{C}$.

Les variations de températures dans le système de protection seront donc :

- $\Delta T_{\max} = +25^{\circ}\text{C}$
- $\Delta T_{\min} = -25^{\circ}\text{C}$

Aucun gradient thermique ne sera considéré.

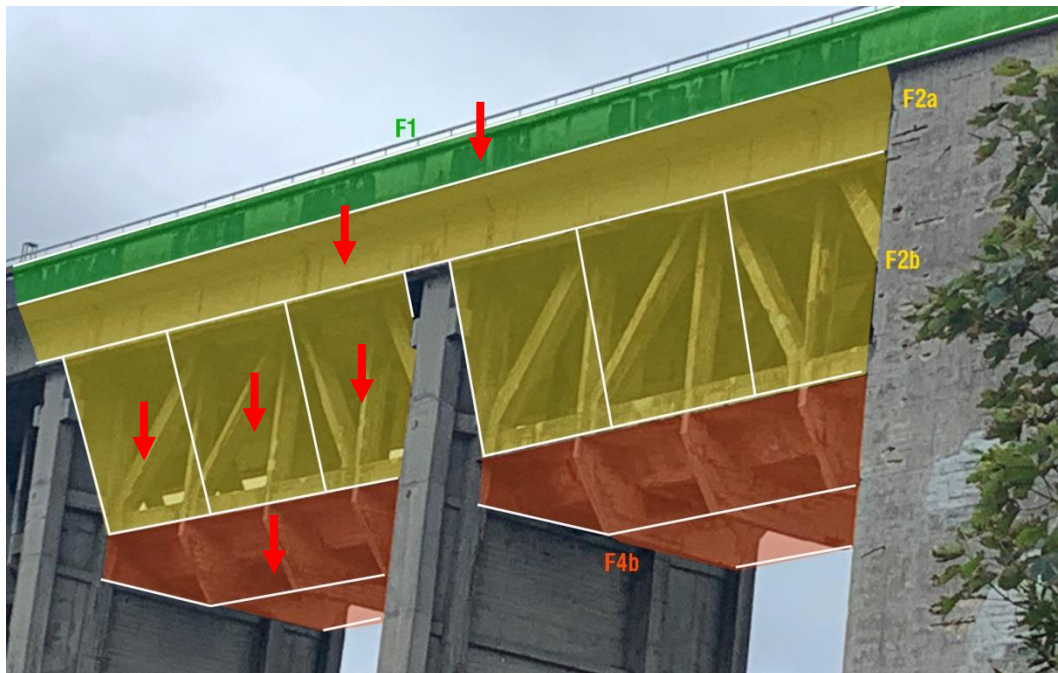
4.3. Charges accidentelles

Un seul cas de charge est à prendre en compte, conformément au document de référence [4] : charge ponctuelle statique de **1.3kN** (représentant un gros bloc).

Dans le cas où le bloc pourrait chuter de plusieurs mètres avant d'être arrêté par le filet, nous majorerons cet effort par un coefficient dynamique de 10, soit **13kN**.

Les filets seront purgés en cas de chute de bloc, aussi un seul bloc sera considéré par type de filet. Le terme « filet » désigne ici la surface entre 4 câbles périphériques.

Nous prenons en compte le cas de plusieurs filets adjacents chargés en même temps, exemple illustré ci-dessous (une flèche = un bloc) :



| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 15/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Attention : Aucune charge de personnel n'est prise en compte sur les câbles, filets ou platines d'ancrage, même pour des opérations d'entretien ou de montage.

Ce système de protection n'est pas homologué pour assurer la sécurité des personnes et ne doit en aucun cas servir de point d'ancrage ou de ligne de vie aux cordistes. La sécurité du personnel intervenant sur l'ouvrage devra être assurée par un système indépendant.

4.4. Phasage de montage

L'ordre de pose et de mise en tension des câbles devra nous être précisé pour chaque zone afin de définir les tensions de montage dans le système.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 16/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

5. COMBINAISONS DE CHARGES

Les combinaisons sont conformes aux Eurocodes.

Les combinaisons sont exprimées en considérant les notations suivantes :

- G = poids propre
- P = prétension
- V = action du vent en service
- T = action de la température en service
- Fa = action accidentelle (bloc béton dans la protection)

5.1. Combinaisons ELU

- $1.35 G + P$
- $1.35 G + P + 1.5 V (+1.5 \times 0.6 T)$
- $1.35 G + P + 1.5 T (+1.5 \times 0.6 V)$

5.2. Combinaison ELS caractéristiques

- $G + P$
- $G + P + V (+0.6 T)$
- $G + P + T (+0.6 V)$

5.3. Combinaisons ELA

- $G + P$
- $G + P + Fa (+0.2 V)$
- $G + P + Fa (+0.5 T)$

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 17/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

6. VERIFICATIONS A MENER

Les platines d'ancrage et chevilles de scellement seront vérifiés à l'ELU et ELA.

Les câbles périphériques seront justifiés à l'ELS et ELA avec un coefficient de sécurité de 2 par rapport à leur limite de rupture.

Les filets seront justifiés à l'ELS et ELA avec un coefficient de sécurité de 2 par rapport à leur limite de rupture.

Nous renseignerons également la déformée des filets et câbles à titre indicatif.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 18/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

E 7. ANNEXE 1 - FICHES TECHNIQUES MATERIEL

| | | | | |
|---|-------------------------------------|------------|-------------|-------------|
|  | TECHNICAL SPECIFICATIONS | REVISION 1 | ELEMENT 128 | Page 1 of 1 |
|---|-------------------------------------|------------|-------------|-------------|

NET 6MM GOLD LINE PAHT MESH 70MM

RAW MATERIAL: Polyamide high tenacity (PaHT)

COLOUR: Black

MEASUREMENTS: As per customer's demand

DENSITY: 1.14

DIÁMETER: 6 mm

MESH: 70 x 70 mm

MELTING POINT: 255° C

GUARANTEE: Double U.V. treatment

AVERAGE WEIGHT: 485 g/m2

BREAKING FORCE: 5.1 kN



TECNOLOGIA DEPORTIVA, S.A.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 19/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| | | | | |
|---|-------------------------------------|------------|-------------|-------------|
|  | TECHNICAL SPECIFICATIONS | REVISION 1 | ELEMENT 161 | Page 1 of 1 |
|---|-------------------------------------|------------|-------------|-------------|

FILET 2MM MAILLE 20MM

| | |
|------------------|-------------------------------------|
| MATIÈRE: | Polypropylène haute ténacité (PPHT) |
| COULEUR: | Noir |
| MESURES: | Sur demande |
| DENSITÉ: | 0.91 |
| DIAMÈTRE: | 2 mm |
| MAILLE: | 20 x 20 mm |
| POINT DE FUSION: | 174° C |
| GARANTIE: | Double traitement |
| POIDS: | 140 g/m2 |
| RESISTANCE: | 60 kg force |



TECNOLOGIA DEPORTIVA, S.A.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénét | E | 28/05/2021 | 20/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



FABRICATION : DRISSES, BOURRELETS, PASSEMENTERIES
114 Rue Victor Hugo – 59 132 TRELON
☎ : 03.27.59.76.00 – 📠 : 03.27.57.04.55
contact@corderiehouze.com

FICHE TECHNIQUE

TRESSE Ø 8 PA en longueur de 2.50m

COUVERTURE : Matière : FILS NOIR 100 % POLYAMIDE traité anti UV

AME : Matière : MECHE ECRUE 100 % POLYESTER

CARACTERISTIQUES :

Longueur de coupe : 2,50 M ± 10 cm
Fagot : par 100 avec un lien au centre
Sac plastique : par 100 pièces
Caisse palette 80x120 : 2500 pièces

SPECIFICATIONS :

| TEST | VALEUR |
|-----------------------|---------|
| R/Rupture (daN) | 1220 |
| R/Rupture (Kg) | 1244 |
| Diamètre (mm) | 8 - 0+1 |
| Masse mètre (g/m) ± 5 | 40 |

FICHE TECHNIQUE CORDERIE HOUZE

19/03/2021 11:34:42

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 21/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

GRILLAGE DOUBLE TORSION

GALMAC™ / GALMAC™ +PVC ou PA6

DESCRIPTION

Le grillage métallique à maille hexagonales double torsion est utilisé pour diverses applications, de la protection de falaise contre le risque de décrochement de blocs (Figure 1) à l'utilisation en renforcement de sol. Ils sont également utilisés comme couvercles pour des gabions grands formats ou des Matelas Reno® afin d'accélérer la mise en œuvre, ou en protection anti-fouisseurs.

Le grillage se présente sous forme de rouleaux (Figure 2) et plusieurs combinaisons mailles/fils sont proposées en fonction des applications et sollicitations (Figure 3, tableau 1).

Les systèmes de management et de production sont certifiés ISO 9001 et 14001.

Les fils sont revêtus de **Galmac™** (alliage Zn95/Al5) de classe A conforme à la norme NF EN 10244-2:2009.

La fabrication du grillage double torsion est conforme à la norme NF EN 10223-3:2014.

Pour renforcer la structure, les fils de bordure de la nappe de grillage présentent un diamètre plus important que les fils de maille.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Grillage métallique

1. Résistance mécanique : la résistance nominale à la traction du grillage est testée conformément à la norme NF EN 10223-3:2014 et présente les valeurs indiquées dans le tableau 2.

La résistance au poinçonnement du grillage, testée selon la norme UNI 11437 est également présentée dans le tableau 2.

2. Durabilité : lorsqu'il sont exposés à un essai en environnement de dioxyde de soufre conformément aux modes opératoires de l'EN ISO 6988, après 28 cycles de tests discontinus, les échantillons de grillage ne présentent pas plus de 5% de rouille brun foncée (DBR). Soumis à un essai en brouillard salin neutre conformément aux modes opératoires de la norme EN ISO 9227, après 1000h d'exposition, les échantillons de grillage ne présentent pas plus de 5% de DBR.

Fil revêtu de Galmac™

L'ensemble des caractéristiques listées ci-dessous doivent être testées avant la fabrication du grillage

1. Résistance à la traction : le fil utilisé dans la fabrication du grillage doit avoir une résistance à la traction comprise entre 350 et 550N/mm² conformément à la norme NF EN 10223-3:2014. Les tolérances du fil sont conformes à la norme NF EN 10218 (classe T1).

2. Allongement : l'allongement à la rupture est supérieur ou égal à 8%, conformément à la norme NF EN 10223-3:2014.

3. Revêtement Galmac™ : les quantités minimales de Galmac™ indiquées dans le tableau 3 sont conformes à la norme NF EN 10244-2.

4. Adhésion du Galmac™ : l'adhésion au fil du revêtement Galmac™ est conforme à la norme NF EN 10244.

Revêtement organique

Pour des applications en milieu agressif, afin d'obtenir une durée de vie supérieure, le fil revêtu de Galmac™ peut être revêtu d'une gaine polymère extrudée sur le fil dont les caractéristiques sont conformes à la norme NF EN 10245-1. Nous proposons un revêtement PVC ou PA6, dont les caractéristiques techniques sont indiquées ci-dessous :

1. Couleur : Gris RAL 7037

2. Résistance aux radiations UV : Les caractéristiques mécaniques du polymère (allongement et résistance à la traction) du composant de base après une exposition aux rayons UV de 4 000 h à l'arc xénon (EN ISO 4892-2) ne varient pas plus de 25 % par rapport aux résultats d'essai initiaux

3. Résistance aux agents chimiques : Le polymère doit résister aux agents chimiques dans des concentrations qui sont représentatives du sol et de l'eau habituellement rencontrés dans les ouvrages de génie civil.

4. Test de vieillissement accéléré au brouillard salin : exposés à un essai en brouillard salin neutre conformément aux modes opératoires de la norme EN ISO 9227, après 6000h d'exposition, les échantillons de grillage ne présentent pas de 5% de DBR.

Le grillage double torsion est certifié **CE** en conformité avec le Règlement des Produits de la Construction UE 305/2011. Avant la mise en œuvre, et pour chaque livraison, l'entreprise doit délivrer au client la **Déclaration de Performance**, dans laquelle sont spécifiées la nature et le nom commercial du produit, le nom de l'entreprise de fabrication, le nom de l'entreprise livrée, le lieu du chantier et les quantités livrées.



Figure 1: Exemple de grillage plaqué en protection de falaise

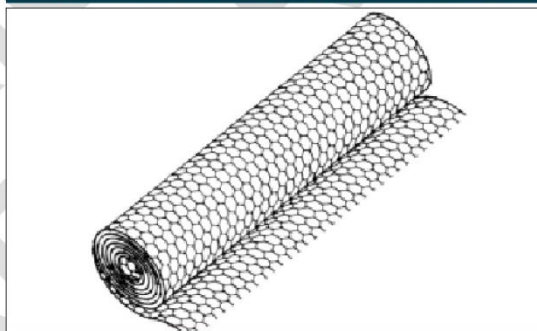


Figure 2: Schéma d'un grillage double torsion

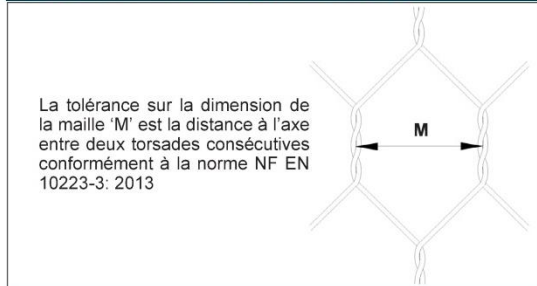


Figure 3 : Définition d'une maille hexagonale double torsion

| | | | | | |
|---------------|--------------------|-----------|---------|------------|---------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 22/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Tableau 1: Dimension standard des grillages

| Longueur (m) | Largeur (m) | Tolérance |
|--------------|-----------------|-----------|
| 25 | 1.00 | +/- 5% |
| 50 | 2.00 | |
| 100 | 3.00 | |
| | 4.00 (sauf 5x7) | |

OPÉRATIONS DE LIGATURE

Les opérations de ligature peuvent être réalisées à l'aide des outils présentés en figure 6. Des agrafes en acier revêtues de Galmac™ ou en acier inoxydable (si grillages revêtus de polymère) auront les caractéristiques suivantes: (Figs. 4, 5):

- diamètre: 3.00 mm
 - Résistance à la traction: >1700 MPa
 - Résistance à l'ouverture > 2.0 kN
- Les agrafes doivent être disposées toutes les 8 à 12cm (Fig.4).

DESCRIPTIF D'UNE DEMANDE

Chaque demande étant spécifique, nous vous remercions de bien vouloir nous envoyer le maximum d'éléments concernant votre étude, à savoir:

- la localisation du projet
- le dossier technique (CCCTP, rapport d'études...)
- les pièces graphiques (profil en travers, élévation, vue en plan)
- les pièces administratives

Tableau 2: Caractéristiques du grillage

| Désignation | 5x7 | 6x8 | 8 x 10 | 10 x 12 |
|--|--------|---------|----------|----------|
| M (mm) | 50 | 60 | 80 | 100 |
| Tolérance (mm) | -0/ +6 | -0 / +8 | -0 / +10 | -0 / +10 |
| Diamètre du fil nu (mm) | 2.0 | 2.2 | 2.7 | 3.0 |
| Diamètre du fil revêtu de PVC (mm) | 2.0 | 3.2 | - | 3.7 |
| Diamètre du fil revêtu de PA6 (mm) | - | 3.0 | - | 3.5 |
| Résistance à la traction (kN/m) | 37 | 37 | 55 | 60 |
| Résistance au poinçonnement (kN) | - | 42 | 82 | 67 |
| Déformation à l'effort maximal au poinçonnement (mm) | - | - | 510 | 520 |

Tableau 3: Diamètre standard des fils

| Diamètre du fil de maille (mm) | 2.0 | 2.2 | 2.7 | 3.0 |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Diamètre du fil de lisière (mm) | 2.4 | 2.7 | 3.4 | 3.9 |
| Tolérance (mm) | +/- 0.06 | +/- 0.06 | +/- 0.06 (2.7) +/- 0.07 (3.4) | +/- 0.06 (3.0) +/- 0.07 (3.4) |
| Quantité minimale de Galmac™ (g/m²) | 215 (2.0) 230 (2.4) | 230 (2.2) 245 (2.7) | 245 (2.7) 265 (3.4) | 255 (3.0) 275 (3.9) |
| Diamètre du fil revêtu de PVC (mm) | 3.0 (2.0) 3.4 (2.4) | 3.2 (2.2) 3.7 (2.7) | 3.7 (2.7) 4.4 (3.4) | - |
| Diamètre du fil revêtu de PA6 (mm) | - | 3.0 (2.2) 3.5 (2.7) | 3.5 (2.7) 4.2 (3.4) | - |

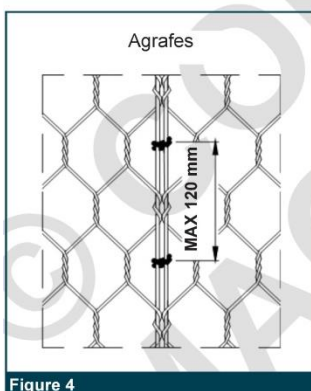


Figure 4



Figure 5

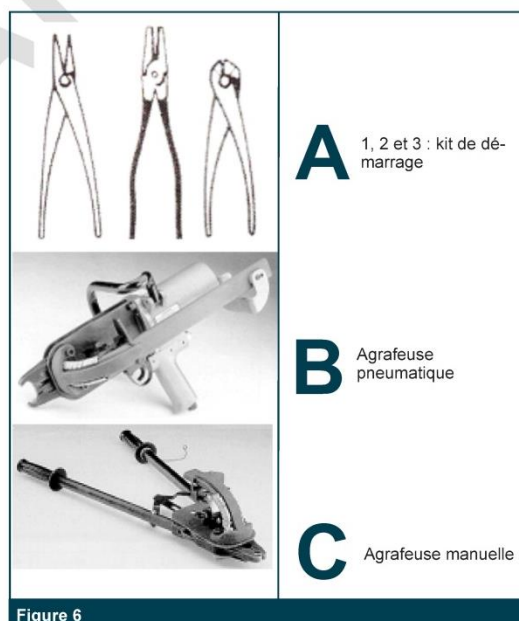


Figure 6

neering a Better Solution



MACCAFERRI S.A.S

re Méchain – CS80008
LENCE Cedex 9 - FRANCE
14 75 86 19 99
14 75 86 09 19
maccaferri.com - www.maccaferri.com/fr



| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénét | E | 28/05/2021 | 23/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

8. ANNEXE 2 - ANALYSE DES ESSAIS DE TRACTION SUR FILET

Cette annexe détaille la détermination du module d'élasticité à partir des essais de traction menés sur les filets.

La responsabilité de la bonne réalisation des essais conformément au cahier des charges fourni ainsi que l'interprétation des valeurs qui en découlent incombe à l'entreprise JARNIAS.

8.1. Méthode

Conformément au cahier des charges, trois essais de traction ont été menés sur le filet principal de maille 70mm x 70mm.

L'effort appliqué ainsi que l'allongement du filet ont été relevés régulièrement (15 à 20 mesures environ).

En traçant la courbe de traction σ ϵ , nous pouvons en déduire un module équivalent approximatif du filet (pente de la courbe).

8.2. Résultats des essais

8.2.1. Module d'élasticité

Les tableaux des pages suivantes présentent les résultats pour les essais n°2 et n°3 du premier rapport. Après échanges avec Assistas, nous ne prenons pas en compte l'essai n°1 car le filet a glissé à son extrémité pendant la mise en tension, faussant ainsi les résultats.

Nous constatons que la courbe de traction a l'allure d'une droite à pente quasi constante.

En faisant la moyenne des modules E déterminés à chaque mesure (cf. tableaux suivants), on obtient une valeur proche de 550 kN/ml pour chacun des deux essais.

La courbe de tendance à équation linéaire donne un coefficient directeur d'environ 450 kN/ml pour chacun des deux essais.

Nous retenons donc la valeur de **500 kN/ml** pour le module d'élasticité du filet principal.

Nota : Le premier rapport présente également deux essais de traction sur un filet double couche (n°4 et n°5) : mailles 22x22 et 70x70 superposées. Après analyse, nous avons choisi de ne pas nous appuyer sur ces deux essais car les résultats ne sont pas cohérents. Il semblerait plutôt que l'essai n°4 corresponde à une traction du filet de maille 22x22 et l'essai n°5 à une traction du filet en double couche.

Pour la suite des études, nous faisons le choix sécuritaire de ne modéliser que le comportement du filet porteur de maille 70x70.

8.2.2. Limite à rupture

Les 2° et 3° rapports présentent des essais de traction menés jusqu'à rupture.

L'essai du 2° rapport a été effectué sur un filet double couche : comme pressenti, le filet à maille 22x22 a rompu en premier (effort de 3t, soit 15kN/ml). Le filet à maille 70x70 a rompu sous un effort de 4t, soit 20kN/ml. L'essai du 3° rapport a été effectué sur un filet à maille 70x70 qui a rompu sous un effort de 4,9t, soit 25kN/ml.

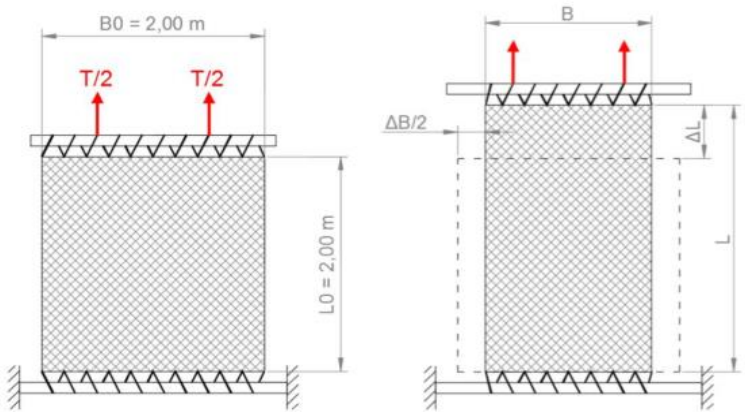
Nous retenons donc la valeur de **20kN/ml** comme rupture du filet principal.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 24/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

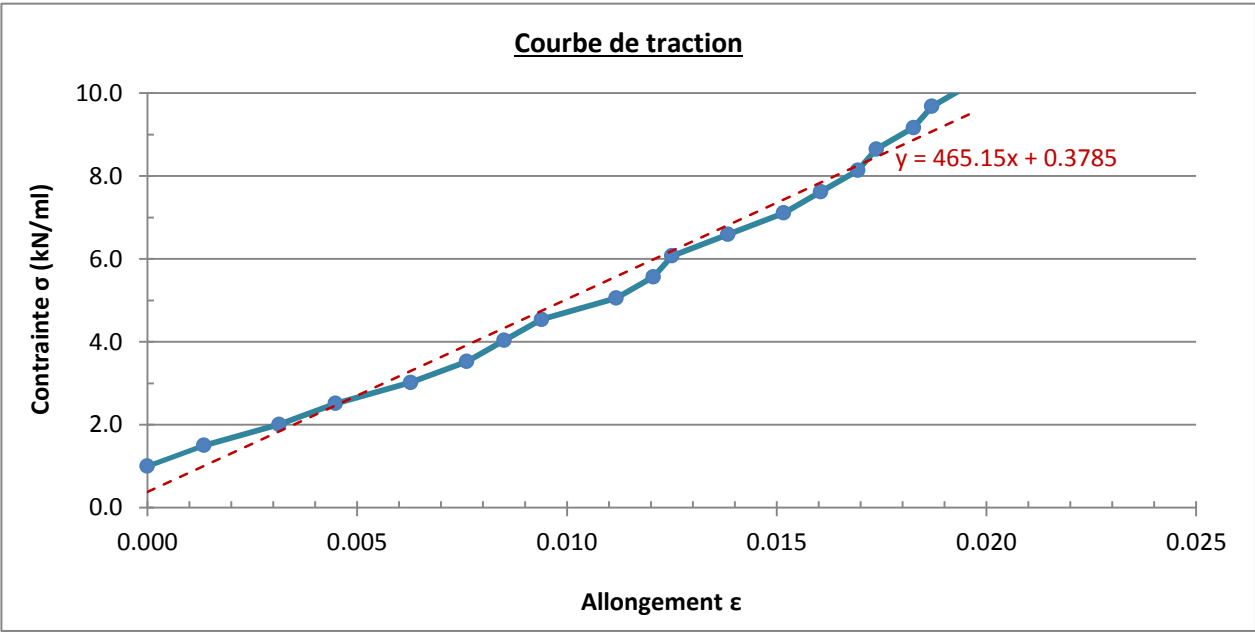
8.2.3. Filet maille 70x70 - test 2

| PARAMÈTRES RELEVÉS | N° mesure | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|--------------------|---|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Effort de traction appliqué au filet | T (t) | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2 |
| | Allongement du filet dans le sens de l'effort | ΔL (m) | 0.225 | 0.228 | 0.232 | 0.235 | 0.239 | 0.242 | 0.244 | 0.246 | 0.25 | 0.252 | 0.253 | 0.256 | 0.259 | 0.261 | 0.263 | 0.264 | 0.266 | 0.267 | 0.269 |
| | Effort de traction à rupture | T _{rupt} (t) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| PARAMÈTRES CALCULÉS | N° mesure | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|---------------------|--|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Allongement corrigé (prise en compte mise en tension initiale) | ΔL_c (m) | 0.000 | 0.003 | 0.007 | 0.010 | 0.014 | 0.017 | 0.019 | 0.021 | 0.025 | 0.027 | 0.028 | 0.031 | 0.034 | 0.036 | 0.038 | 0.039 | 0.041 | 0.042 | 0.044 |
| | Contrainte de traction $\frac{T}{B_0}$ | R (kN/ml) | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 | 7.5 | 8 | 8.5 | 9 | 9.5 | 10 |
| | Contrainte vraie $R \times (1 + e)$ | σ (kN/ml) | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.1 | 5.6 | 6.1 | 6.6 | 7.1 | 7.6 | 8.1 | 8.6 | 9.2 | 9.7 | 10.2 |
| | Allongement relatif $\frac{L - L_0}{L_0}$ | e | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.004 | 0.006 | 0.008 | 0.009 | 0.009 | 0.011 | 0.012 | 0.013 | 0.014 | 0.015 | 0.016 | 0.017 | 0.018 | 0.018 | 0.019 | 0.020 |
| | Allongement rationnel $\ln(1 + e)$ | ϵ | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.004 | 0.006 | 0.008 | 0.009 | 0.009 | 0.011 | 0.012 | 0.013 | 0.014 | 0.015 | 0.016 | 0.017 | 0.017 | 0.018 | 0.019 | 0.020 |
| | Module d'élasticité | E (kN/ml) | 373 | 281 | 376 | 284 | 379 | 569 | 571 | 289 | 575 | 1 146 | 387 | 389 | 581 | 583 | 1 160 | 585 | 1 164 | 588 | |



| | | |
|--|---------------|-------|
| Longueur initiale | L_0 (m) | 2 |
| Longueur corrigée (après mise en tension initiale) | $L_{0,c}$ (m) | 2.225 |
| Largeur initiale | B_0 (m) | 2 |

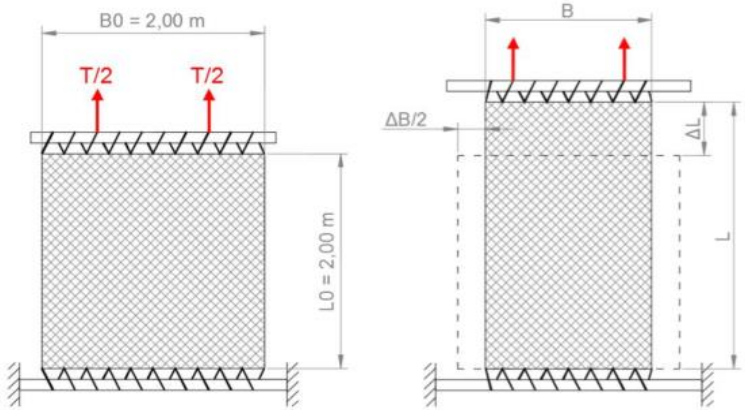


| | | | | | |
|---------------|--------------------|-----------|---------|------------|---------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 25/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

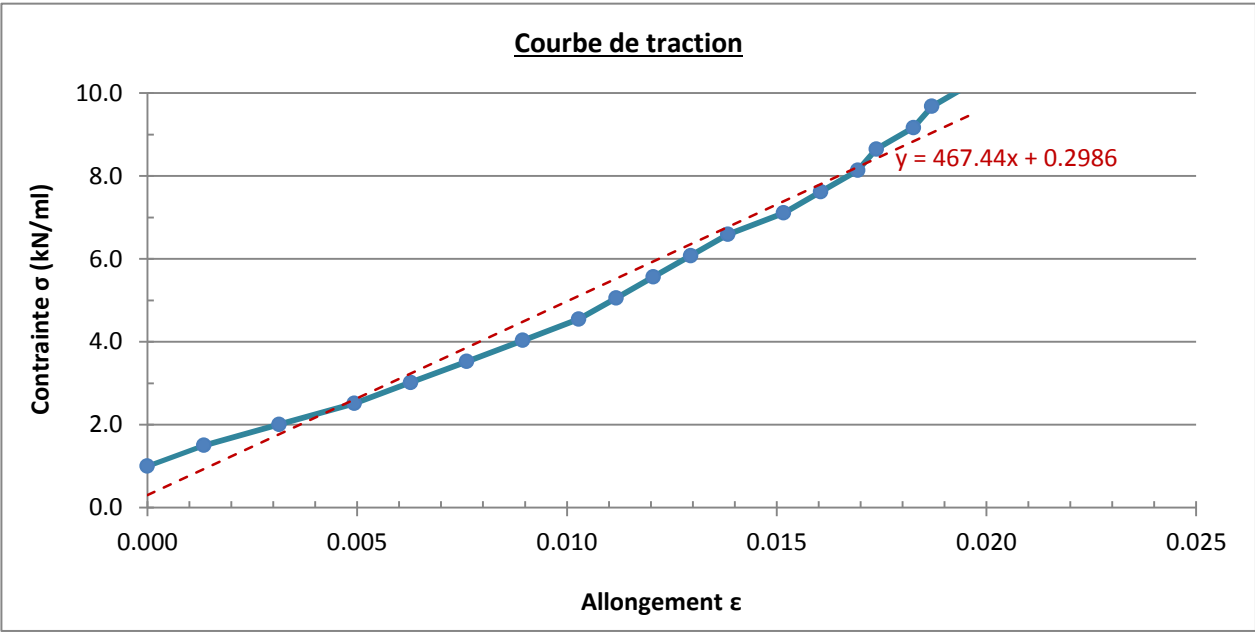
8.2.4. Filet maille 70x70 - test 3

| PARAMÈTRES RELEVÉS | N° mesure | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|--------------------|---|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Effort de traction appliqué au filet | T (t) | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 1 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2 |
| | Allongement du filet dans le sens de l'effort | ΔL (m) | 0.225 | 0.228 | 0.232 | 0.236 | 0.239 | 0.242 | 0.245 | 0.248 | 0.25 | 0.252 | 0.254 | 0.256 | 0.259 | 0.261 | 0.263 | 0.264 | 0.266 | 0.267 | 0.269 |
| | Effort de traction à rupture | T_{rupt} (t) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| PARAMÈTRES CALCULÉS | N° mesure | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|---------------------|--|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Allongement corrigé (prise en compte mise en tension initiale) | ΔL_c (m) | 0.000 | 0.003 | 0.007 | 0.011 | 0.014 | 0.017 | 0.020 | 0.023 | 0.025 | 0.027 | 0.029 | 0.031 | 0.034 | 0.036 | 0.038 | 0.039 | 0.041 | 0.042 | 0.044 |
| | Contrainte de traction $\frac{T}{B_0}$ | R (kN/ml) | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3.5 | 4 | 4.5 | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 | 7.5 | 8 | 8.5 | 9 | 9.5 | 10 |
| | Contrainte vraie $R \times (1 + e)$ | σ (kN/ml) | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.1 | 5.6 | 6.1 | 6.6 | 7.1 | 7.6 | 8.1 | 8.6 | 9.2 | 9.7 | 10.2 |
| | Allongement relatif $\frac{L - L_0}{L_0}$ | e | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.005 | 0.006 | 0.008 | 0.009 | 0.010 | 0.011 | 0.012 | 0.013 | 0.014 | 0.015 | 0.016 | 0.017 | 0.018 | 0.018 | 0.019 | 0.020 |
| | Allongement rationnel $\ln(1 + e)$ | ϵ | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 0.005 | 0.006 | 0.008 | 0.009 | 0.010 | 0.011 | 0.012 | 0.013 | 0.014 | 0.015 | 0.016 | 0.017 | 0.017 | 0.018 | 0.019 | 0.020 |
| | Module d'élasticité | E (kN/ml) | 373 | 281 | 283 | 378 | 379 | 381 | 382 | 573 | 575 | 576 | 578 | 389 | 581 | 583 | 1 160 | 585 | 1 164 | 588 | |



| | | |
|--|---------------|-------|
| Longueur initiale | L_0 (m) | 2 |
| Longueur corrigée (après mise en tension initiale) | $L_{0,c}$ (m) | 2.225 |
| Largeur initiale | B_0 (m) | 2 |



| | | | | | |
|---------------|--------------------|-----------|---------|------------|---------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 26/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



9. **ANNEXE 3 - RESISTANCE THEORIQUE DES ANCRAGES TESTS**

Les trois calculs suivants sont issus du l'utilitaire HILTI de dimensionnement de chevilles.

| | | | | | |
|---------------|--------------------|-----------|---------|------------|---------|
| 2021 - NDC 01 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 28/05/2021 | 27/27 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Commentaires du spécificateur:

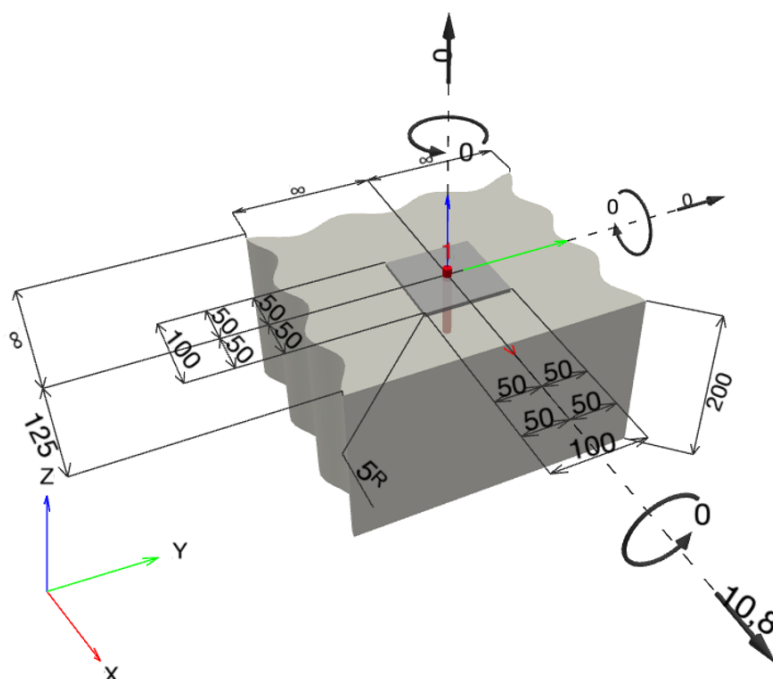
1 Données d'entrée

| | |
|---|---|
| Type et diamètre de la cheville: | HUS-HR 10 h_nom3 |
| Période de retour (durée de vie en années): | 50 |
| Code d'article: | 290068 HUS-HR 10x95 35/25/5 |
| Profondeur d'implantation effective: | $h_{ef} = 71,0 \text{ mm}$, $h_{nom} = 90,0 \text{ mm}$ |
| Matériau: | A4 |
| Homologation: | ETA 08/0307 |
| Délivré Validité: | 23/08/2018 - |
| Méthode de calcul: | Méthode de calcul EN 1992-4, Mécanique |
| Montage avec écartement: | $e_b = 0,0 \text{ mm}$ (sans écartement); $t = 5,0 \text{ mm}$ |
| Platine ^R : | $l_x \times l_y \times t = 100,0 \text{ mm} \times 100,0 \text{ mm} \times 5,0 \text{ mm}$; (Épaisseur de platine recommandée: non calculé) |
| Profil: | pas de profil |
| Matériau de base: | Béton fissuré béton, C20/25, $f_{c,cyl} = 20,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 200,0 \text{ mm}$, Coefficient de sécurité matériel partiel défini par l'utilisateur $\gamma_c = 1,500$ |
| Installation: | trou foré avec perforateur, condition d'installation: sec |
| Renforcement: | Pas de renforcement ou distance entre armatures $\geq 150 \text{ mm}$ (tous \emptyset) ou $\geq 100 \text{ mm}$ ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$) Pas de renforcement de bord longitudinal |



^R - Le calcul de la cheville est réalisé avec l'hypothèse d'une platine rigide.

Géométrie [mm] & Charges [kN, kNm]



www.hilti.fr

| | | | |
|------------------------|--------------|---------------|------------|
| Société: | | Page: | 2 |
| Adresse: | | Prescripteur: | |
| Tel Fax: | | E-mail: | |
| Design: | Test ancrage | Date: | 07/04/2021 |
| Sous projet Pos. N°: | | | |

1.1 Combinaison de charges

| Cas | Description | Forces [kN] / Moment [kNm] | Sismique | Feu | Util. max. Cheville [%] |
|-----|--------------------|--|----------|-----|-------------------------|
| 1 | Essai cisaillement | N = 0,000; $V_x = 10,800$; $V_y = 0,000$; $M_x = 0,000$; $M_y = 0,000$; $M_z = 0,000$; | non | non | 100 |

www.hilti.fr

| | | | |
|------------------------|--------------|---------------|------------|
| Société: | | Page: | 3 |
| Adresse: | | Prescripteur: | |
| Tel Fax: | | E-mail: | |
| Design: | Test ancrage | Date: | 07/04/2021 |
| Sous projet Pos. N°: | | | |

2 Preuve I Utilisation (Cas prépondérants)

| Charge | Méthode de calcul | Valeurs de calcul [kN] | | Utilisation | Statut |
|--------------|--|------------------------|----------|-------------------------|--------|
| | | Charge | Capacité | β_N / β_V [%] | |
| Traction | - | - | - | - / - | NA |
| Cisaillement | Rupture béton en bord de dalle en direction x+ | 10,800 | 10,897 | - / 100 | OK |

| Charge | β_N | β_V | α | Utilisation $\beta_{N,V}$ [%] | Statut |
|--|-----------|-----------|----------|-------------------------------|--------|
| Charges combinées traction et cisaillement | - | - | - | - | NA |

3 Avertissements

- Pour plus de détails, messages ou avertissements, se reporter à la note de calcul détaillée!

La fixation remplit les critères de conception !

www.hilti.fr

| | | | |
|------------------------|--------------|---------------|------------|
| Société: | | Page: | 4 |
| Adresse: | | Prescripteur: | |
| Tel Fax: | | E-mail: | |
| Design: | Test ancrage | Date: | 07/04/2021 |
| Sous projet Pos. N°: | | | |

4 Remarques, commentaires

- Toutes les informations et toutes les données contenues dans le Logiciel ne concernent que l'utilisation des produits Hilti et sont basées sur des principes, des formules et des réglementations de sécurité conformes aux consignes techniques d'Hilti et sur des instructions d'opération, de montage, d'assemblage, etc., que l'utilisateur doit suivre à la lettre. Tous les chiffres qui y figurent sont des moyennes ; en conséquence, des tests d'utilisation spécifiques doivent être conduits avant l'utilisation du produit Hilti applicable. Les résultats des calculs exécutés au moyen du Logiciel reposent essentiellement sur les données que vous y saisissez. En conséquence, vous êtes seul responsable de l'absence d'erreurs, de l'exhaustivité et de la pertinence des données saisies par vos soins. En outre, vous êtes seul responsable de la vérification des résultats du calcul et de leur validation par un expert, particulièrement en ce qui concerne le respect des normes et permis applicables avant leur utilisation pour votre site en particulier. Le Logiciel ne sert que d'aide à l'interprétation des normes et des permis sans aucune garantie concernant l'absence d'erreurs, l'exactitude et la pertinence des résultats ou leur adaptation à une application spécifique.
- Vous devrez prendre toutes les mesures nécessaires et raisonnables pour empêcher ou limiter les dommages causés par le Logiciel. Plus particulièrement, vous devez prendre vos dispositions pour effectuer régulièrement une sauvegarde des programmes et des données et, si applicable, exécuter les mises à jour régulièrement fournies par Hilti. Si vous n'utilisez pas la fonction AutoUpdate du Logiciel, vous devez vous assurer que vous utilisez dans chaque cas la version actuelle et à jour du Logiciel, en exécutant des mises à jour manuelles via le Site Web Hilti. Hilti ne sera tenu responsable d'aucune conséquence, telle que la nécessité de récupérer des besoins ou programmes perdus ou endommagés, découlant d'un manquement coupable de votre part à vos obligations.

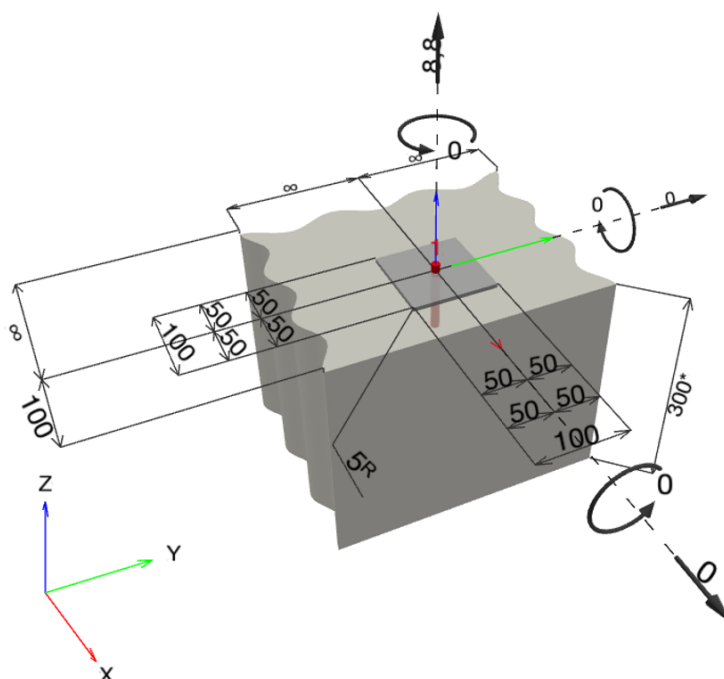
Commentaires du spécificateur:

1 Données d'entrée

| | |
|---|---|
| Type et diamètre de la cheville: | HUS-HR 10 h_nom3 |
| Période de retour (durée de vie en années): | 50 |
| Code d'article: | 290068 HUS-HR 10x95 35/25/5 |
| Profondeur d'implantation effective: | $h_{ef} = 71,0 \text{ mm}$, $h_{nom} = 90,0 \text{ mm}$ |
| Matériau: | A4 |
| Homologation: | ETA 08/0307 |
| Délivré l Validité: | 23/08/2018 - |
| Méthode de calcul: | Méthode de calcul EN 1992-4, Mécanique |
| Montage avec écartement: | $e_b = 0,0 \text{ mm}$ (sans écartement); $t = 5,0 \text{ mm}$ |
| Platine ^R : | $l_x \times l_y \times t = 100,0 \text{ mm} \times 100,0 \text{ mm} \times 5,0 \text{ mm}$; (Epaisseur de platine recommandée: non calculé) |
| Profil: | pas de profil |
| Matériau de base: | Béton fissuré béton, C20/25, $f_{c,cyl} = 20,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 300,0 \text{ mm}$, Coefficient de sécurité matériel partiel défini par l'utilisateur $\gamma_c = 1,500$ |
| Installation: | trou foré avec perforateur, condition d'installation: sec |
| Renforcement: | Pas de renforcement ou distance entre armatures $\geq 150 \text{ mm}$ (tous \emptyset) ou $\geq 100 \text{ mm}$ ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$) Pas de renforcement de bord longitudinal |

^R - Le calcul de la cheville est réalisé avec l'hypothèse d'une platine rigide.

Géométrie [mm] & Charges [kN, kNm]



www.hilti.fr

| | | | |
|------------------------|--------------|---------------|------------|
| Société: | | Page: | 2 |
| Adresse: | | Prescripteur: | |
| Tel Fax: | | E-mail: | |
| Design: | Test ancrage | Date: | 07/04/2021 |
| Sous projet Pos. N°: | | | |

1.1 Combinaison de charges

| Cas | Description | Forces [kN] / Moment [kNm] | Sismique | Feu | Util. max. Cheville [%] |
|-----|----------------|---|----------|-----|-------------------------|
| 1 | Essai traction | N = 8,800; $V_x = 0,000$; $V_y = 0,000$; $M_x = 0,000$; $M_y = 0,000$; $M_z = 0,000$; | non | non | 99 |

www.hilti.fr

| | | | |
|------------------------|--------------|---------------|------------|
| Société: | | Page: | 3 |
| Adresse: | | Prescripteur: | |
| Tel Fax: | | E-mail: | |
| Design: | Test ancrage | Date: | 07/04/2021 |
| Sous projet Pos. N°: | | | |

2 Preuve I Utilisation (Cas prépondérants)

| Charge | Méthode de calcul | Valeurs de calcul [kN] | | Utilisation | |
|--------------|----------------------------------|------------------------|----------|-------------------------|--------|
| | | Charge | Capacité | β_N / β_V [%] | Statut |
| Traction | Rupture par extraction/glisement | 8,800 | 8,889 | 99 / - | OK |
| Cisaillement | - | - | - | - / - | NA |

| Charge | β_N | β_V | α | Utilisation $\beta_{N,V}$ [%] | Statut |
|--|-----------|-----------|----------|-------------------------------|--------|
| Charges combinées traction et cisaillement | - | - | - | - | NA |

3 Avertissements

- Pour plus de détails, messages ou avertissements, se reporter à la note de calcul détaillée!

La fixation remplit les critères de conception !

www.hilti.fr

| | | | |
|------------------------|--------------|---------------|------------|
| Société: | | Page: | 4 |
| Adresse: | | Prescripteur: | |
| Tel Fax: | | E-mail: | |
| Design: | Test ancrage | Date: | 07/04/2021 |
| Sous projet Pos. N°: | | | |

4 Remarques, commentaires

- Toutes les informations et toutes les données contenues dans le Logiciel ne concernent que l'utilisation des produits Hilti et sont basées sur des principes, des formules et des réglementations de sécurité conformes aux consignes techniques d'Hilti et sur des instructions d'opération, de montage, d'assemblage, etc., que l'utilisateur doit suivre à la lettre. Tous les chiffres qui y figurent sont des moyennes ; en conséquence, des tests d'utilisation spécifiques doivent être conduits avant l'utilisation du produit Hilti applicable. Les résultats des calculs exécutés au moyen du Logiciel reposent essentiellement sur les données que vous y saisissez. En conséquence, vous êtes seul responsable de l'absence d'erreurs, de l'exhaustivité et de la pertinence des données saisies par vos soins. En outre, vous êtes seul responsable de la vérification des résultats du calcul et de leur validation par un expert, particulièrement en ce qui concerne le respect des normes et permis applicables avant leur utilisation pour votre site en particulier. Le Logiciel ne sert que d'aide à l'interprétation des normes et des permis sans aucune garantie concernant l'absence d'erreurs, l'exactitude et la pertinence des résultats ou leur adaptation à une application spécifique.
- Vous devrez prendre toutes les mesures nécessaires et raisonnables pour empêcher ou limiter les dommages causés par le Logiciel. Plus particulièrement, vous devez prendre vos dispositions pour effectuer régulièrement une sauvegarde des programmes et des données et, si applicable, exécuter les mises à jour régulièrement fournies par Hilti. Si vous n'utilisez pas la fonction AutoUpdate du Logiciel, vous devez vous assurer que vous utilisez dans chaque cas la version actuelle et à jour du Logiciel, en exécutant des mises à jour manuelles via le Site Web Hilti. Hilti ne sera tenu responsable d'aucune conséquence, telle que la nécessité de récupérer des besoins ou programmes perdus ou endommagés, découlant d'un manquement coupable de votre part à vos obligations.

Commentaires du spécificateur:

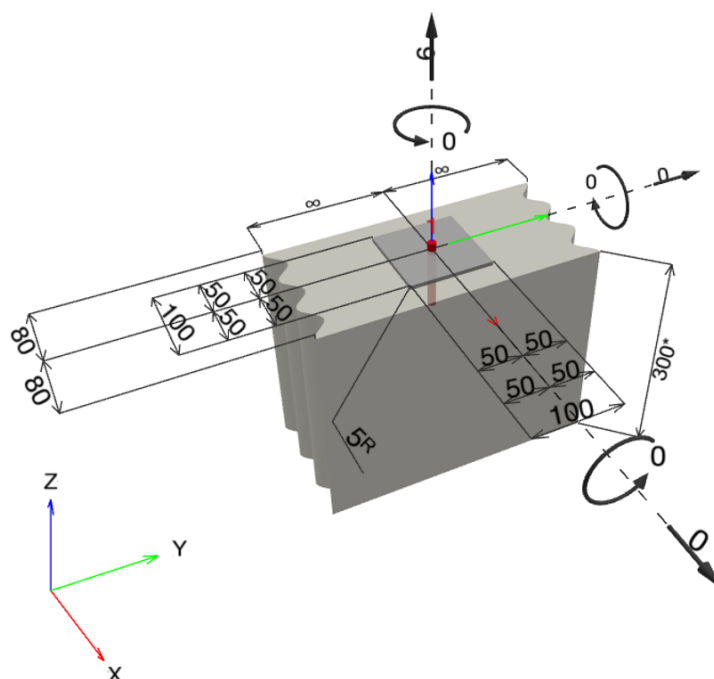
1 Données d'entrée

| | |
|---|---|
| Type et diamètre de la cheville: | HUS-HR 10 h_nom3 |
| Période de retour (durée de vie en années): | 50 |
| Code d'article: | 290068 HUS-HR 10x95 35/25/5 |
| Profondeur d'implantation effective: | $h_{ef} = 71,0 \text{ mm}$, $h_{nom} = 90,0 \text{ mm}$ |
| Matériau: | A4 |
| Homologation: | ETA 08/0307 |
| Délivré Validité: | 23/08/2018 - |
| Méthode de calcul: | Méthode de calcul EN 1992-4, Mécanique |
| Montage avec écartement: | $e_b = 0,0 \text{ mm}$ (sans écartement); $t = 5,0 \text{ mm}$ |
| Platine ^R : | $l_x \times l_y \times t = 100,0 \text{ mm} \times 100,0 \text{ mm} \times 5,0 \text{ mm}$; (Épaisseur de platine recommandée: non calculé) |
| Profil: | pas de profil |
| Matériau de base: | Béton fissuré béton, C20/25, $f_{c,cyl} = 20,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 300,0 \text{ mm}$, Coefficient de sécurité matériel partiel défini par l'utilisateur $\gamma_c = 1,500$ |
| Installation: | trou foré avec perforateur, condition d'installation: sec |
| Renforcement: | Pas de renforcement ou distance entre armatures $\geq 150 \text{ mm}$ (tous \emptyset) ou $\geq 100 \text{ mm}$ ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$) Pas de renforcement de bord longitudinal |



^R - Le calcul de la cheville est réalisé avec l'hypothèse d'une platine rigide.

Géométrie [mm] & Charges [kN, kNm]



www.hilti.fr

| | | | |
|------------------------|--------------|---------------|------------|
| Société: | | Page: | 2 |
| Adresse: | | Prescripteur: | |
| Tel Fax: | | E-mail: | |
| Design: | Test ancrage | Date: | 31/05/2021 |
| Sous projet Pos. N°: | | | |

1.1 Combinaison de charges

| Cas | Description | Forces [kN] / Moment [kNm] | Sismique | Feu | Util. max. Cheville [%] |
|-----|----------------|---|----------|-----|-------------------------|
| 1 | Essai traction | N = 6,000; $V_x = 0,000$; $V_y = 0,000$; $M_x = 0,000$; $M_y = 0,000$; $M_z = 0,000$; | non | non | 99 |

www.hilti.fr

| | | | |
|------------------------|--------------|---------------|------------|
| Société: | | Page: | 3 |
| Adresse: | | Prescripteur: | |
| Tel Fax: | | E-mail: | |
| Design: | Test ancrage | Date: | 31/05/2021 |
| Sous projet Pos. N°: | | | |

2 Preuve I Utilisation (Cas prépondérants)

| Charge | Méthode de calcul | Valeurs de calcul [kN] | | Utilisation | |
|--------------|---------------------|------------------------|----------|-------------------------|--------|
| | | Charge | Capacité | β_N / β_V [%] | Statut |
| Traction | Rupture par fendage | 6,000 | 6,065 | 99 / - | OK |
| Cisaillement | - | - | - | - / - | NA |

| Charge | β_N | β_V | α | Utilisation $\beta_{N,V}$ [%] | Statut |
|--|-----------|-----------|----------|-------------------------------|--------|
| Charges combinées traction et cisaillement | - | - | - | - | NA |

3 Avertissements

- Pour plus de détails, messages ou avertissements, se reporter à la note de calcul détaillée!

La fixation remplit les critères de conception !

www.hilti.fr

| | | | |
|------------------------|--------------|---------------|------------|
| Société: | | Page: | 4 |
| Adresse: | | Prescripteur: | |
| Tel Fax: | | E-mail: | |
| Design: | Test ancrage | Date: | 31/05/2021 |
| Sous projet Pos. N°: | | | |

4 Remarques, commentaires

- Toutes les informations et toutes les données contenues dans le Logiciel ne concernent que l'utilisation des produits Hilti et sont basées sur des principes, des formules et des réglementations de sécurité conformes aux consignes techniques d'Hilti et sur des instructions d'opération, de montage, d'assemblage, etc., que l'utilisateur doit suivre à la lettre. Tous les chiffres qui y figurent sont des moyennes ; en conséquence, des tests d'utilisation spécifiques doivent être conduits avant l'utilisation du produit Hilti applicable. Les résultats des calculs exécutés au moyen du Logiciel reposent essentiellement sur les données que vous y saisissez. En conséquence, vous êtes seul responsable de l'absence d'erreurs, de l'exhaustivité et de la pertinence des données saisies par vos soins. En outre, vous êtes seul responsable de la vérification des résultats du calcul et de leur validation par un expert, particulièrement en ce qui concerne le respect des normes et permis applicables avant leur utilisation pour votre site en particulier. Le Logiciel ne sert que d'aide à l'interprétation des normes et des permis sans aucune garantie concernant l'absence d'erreurs, l'exactitude et la pertinence des résultats ou leur adaptation à une application spécifique.
- Vous devrez prendre toutes les mesures nécessaires et raisonnables pour empêcher ou limiter les dommages causés par le Logiciel. Plus particulièrement, vous devez prendre vos dispositions pour effectuer régulièrement une sauvegarde des programmes et des données et, si applicable, exécuter les mises à jour régulièrement fournies par Hilti. Si vous n'utilisez pas la fonction AutoUpdate du Logiciel, vous devez vous assurer que vous utilisez dans chaque cas la version actuelle et à jour du Logiciel, en exécutant des mises à jour manuelles via le Site Web Hilti. Hilti ne sera tenu responsable d'aucune conséquence, telle que la nécessité de récupérer des besoins ou programmes perdus ou endommagés, découlant d'un manquement coupable de votre part à vos obligations.

Client :

JARNIAS
Les experts de la hauteur



PROTECTION PROVISOIRE DU PONT ALBERT LOUPPE

PHASE EXE

Note de justification - NDC 02

Affaire N° 2021



| | | | | |
|-----|------------|----------|------------|------------|
| E | 14/06/2021 | G. Bénet | M. Simonin | M. Bergomi |
| REV | DATE | EMIS | VERIFIE | APPROUVE |

GESTION DES MODIFICATIONS

| Rev. | Date | Motif de la modification | Pages |
|------|------------|---|-------|
| A | 30/03/2021 | Première émission (version provisoire) | 36 |
| B | 07/04/2021 | Passage en version définitive + ajout filets F5 | 48 |
| C | 20/04/2021 | Mise à jour suite à la FO n°7 + modifications client sur ancrages | 52 |
| D | 28/05/2021 | Modification client sur ancrage A1 | 52 |
| E | 14/06/2021 | Modification client sur ancrage A8 | 52 |

DOCUMENTS DE REFERENCE

- [1] Note d'hypothèse NDC 01 ind.E
- [2] Plans de principe de la protection ind.G
- [3] Schémas des platines d'ancrage ind.A

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 2/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCTION | 4 |
| 2. HYPOTHESES GENERALES DE CALCUL | 5 |
| 2.1. Normes et Règlements | 5 |
| 2.2. Logiciels de calcul..... | 5 |
| 3. CARACTERISTIQUES DE LA STRUCTURE DE PROTECTION | 6 |
| 3.1. Dimensions du système | 6 |
| 3.2. Matériaux et sections | 8 |
| 4. MODELISATION | 9 |
| 4.1. Modèle n°1 - Filets F1 / F2a | 9 |
| 4.2. Modèle n°2 - Filets F7a / F7b | 16 |
| 4.3. Modèle n°3 - Filets F5a / F5b | 21 |
| 5. RESULTATS | 25 |
| 5.1. Vérification des filets | 25 |
| 5.2. Vérification des câbles | 32 |
| 5.3. Vérification des platines d'ancrage..... | 32 |
| 6. CONCLUSION | 50 |
| 7. ANNEXE 1 | 51 |
| 8. ANNEXE 2 | 52 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 3/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

1. INTRODUCTION

Cette note présente la justification du système de protection temporaire du pont Albert Louppe. Le système consiste à mettre en place des filets provisoires afin de retenir les blocs et épaufrures de béton qui se décrochent de l'ouvrage.

L'ouvrage est un viaduc en béton armé de 888m de longueur, qui franchit l'Elorn à son embouchure entre Le Relecq-Kerhuon et Plougastel. Il a été reconstruit en 1949, puis élargi en 1960.

Il est constitué de 3 arcs de 184m de portée chacun, de 8 travées d'accès sur palées de chaque côté, et sa largeur totale est de 12.6m. Il comporte deux tabliers : un tablier routier (tablier principal), et un tablier inférieur destiné à la circulation ferroviaire qui n'a jamais été mis en service.



Localisation du projet (© Géoportail)

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 4/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

2. HYPOTHESES GENERALES DE CALCUL

2.1. Normes et Règlements

Les règlements de calculs à appliquer sont les Eurocodes ainsi que les annexes nationales :

- NF EN 1990 : Bases de calculs des structures, et ses Annexes Nationales
- NF EN 1991-1-1 : Actions sur les structures, Partie 1 : Actions générales – Poids volumique, poids propres, charges d'exploitation dans les bâtiments, et son Annexe Nationale
- NF EN 1991-1-4 : Actions sur les structures, Partie 1-4 : Actions générales – Actions du vent, et son Annexe Nationale
- NF EN 1991-1-5 : Actions sur les structures, Partie 1-4 : Actions générales – Actions thermiques, et son Annexe Nationale
- NF EN 1992 : Eurocode 2 - Calcul des structures en béton
- NF EN 1993 : Eurocode 3 - Calcul des structures en acier
- NF EN 1993-1-1 : Calcul des structures en acier, Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments, et son Annexe Nationale
- NF EN 1993-1-4 : Calcul des structures en acier, Partie 1-1 : Règles générales - règles supplémentaires pour les aciers inoxydables
- NF EN 1993-1-8 : Calcul des structures en acier, Partie 1-8 : Calcul des assemblages, et son Annexe Nationale
- NF EN 1993-1-11 : Calcul des structures en acier, Partie 1-11 : Calcul des structures à câbles ou éléments tendus, et son Annexe Nationale

2.2. Logiciels de calcul

Le modèle 3D utilisé pour le dimensionnement de la structure est réalisé à l'aide du logiciel Strand7, version 2.4.6. Ce dernier permet de modéliser des structures au comportement géométrique non linéaire, comme les câbles et membranes.

La vérification des chevilles d'ancrage est réalisée à l'aide de l'utilitaire PROFIS Engineering 3.0.68 de HILTI.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 5/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

3. CARACTERISTIQUES DE LA STRUCTURE DE PROTECTION

3.1. Dimensions du système

Cette note justifie les typologies de filet suivantes :

- F1 : filet filant sur acrotère
- F2a : filet filant sur le tablier routier
- F5a : filet filant sur faces verticales des arcs
- F5b : filet filant en sous-face des arcs
- F7a : filet vertical sur épaisseur des piles
- F7b : filet vertical sur largeur des piles

Les autres typologies de filet seront justifiées dans une note ultérieure.

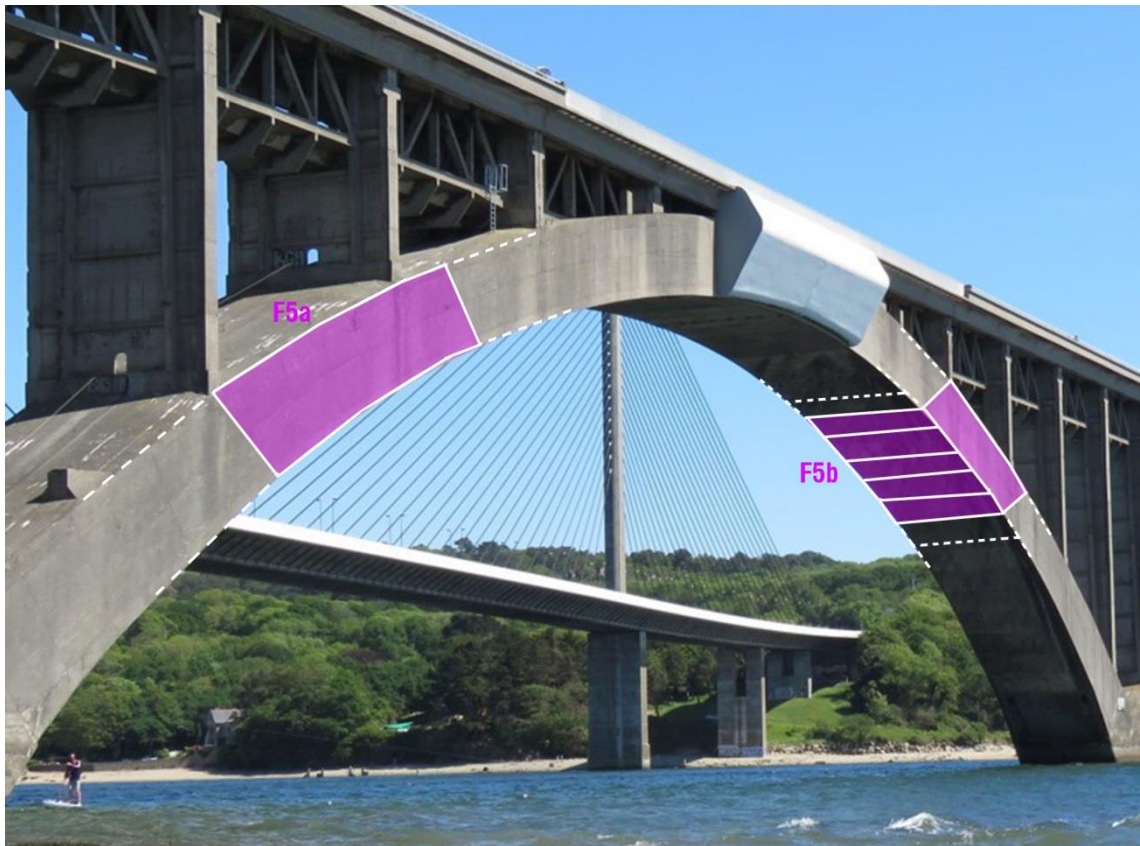
Les photos suivantes présentent les principes de pose des filets (une couleur par type de filet) et la position des câbles de pourtour qui délimitent les différents filets (en blanc).

Se reporter également aux plans de principe [2].



Principe de pose des filets sur le tablier routier et sur piles

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 6/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Principe de pose des filets sur les arcs

Les dimensions des filets de ces typologies peuvent varier (surtout au niveau des piles), aussi les longueurs et entraxes indiqués dans les plans sont des valeurs maximales, justifiées dans la présente note. Tout filet plus petit est automatiquement validé.

La protection est sensible aux effets de la température et en particulier aux variations de température négative. Aussi il est impératif d'installer des « joints de dilatation » dans la protection.

L'entraxe maximal entre JD correspond à la longueur maximale indiquée dans les plans :

- F1 et F2 : 24m
- F5 : 22,5m
- F7 : 30m

Au-delà de ces valeurs, les filets doivent être interrompus. Au droit d'un JD, il y a donc 2 filets indépendants non ralingués ensemble, chacun avec ses câbles de pourtour et ses platines d'ancrage propres.

Afin de garantir une continuité physique de la protection antichute, il est donc prévu de faire chevaucher les protections sur environ 50cm au niveau d'un JD (ne pas positionner de platines d'ancrages trop proches les unes des autres).

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 7/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

3.2. Matériaux et sections

3.2.1. Câbles

Les câbles sont en acier inoxydable (cf. note d'hypothèses).
Les sections utilisées et leur résistance sont les suivantes :

| Diamètre (mm) | Section (mm ²) | Effort à rupture (kN) |
|---------------|----------------------------|-----------------------|
| 8 | 26.5 | 38 |

3.2.2. Filets

Les filets sont des nappes polyamide (cf. note d'hypothèses).
La limite à rupture est de 20kN/m.

3.2.3. Platines d'ancrage

Les platines d'ancrage sont acier inoxydable 304L d'épaisseur 10mm. Nous rappelons les résistances de cette nuance :

- $f_y = 200$ MPa
- $f_u = 520$ MPa

Deux types de platines sont utilisés :

- Type 1 : platine en L avec oreille soudée, fixée dans le béton par 2 chevilles HILTI HUS-M10
- Type 2 : platine avec oreille soudée, fixée dans le béton par 2 chevilles HILTI HUS-M10

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 8/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4. MODELISATION

4.1. Modèle n°1 - Filets F1 / F2a

4.1.1. Géométrie

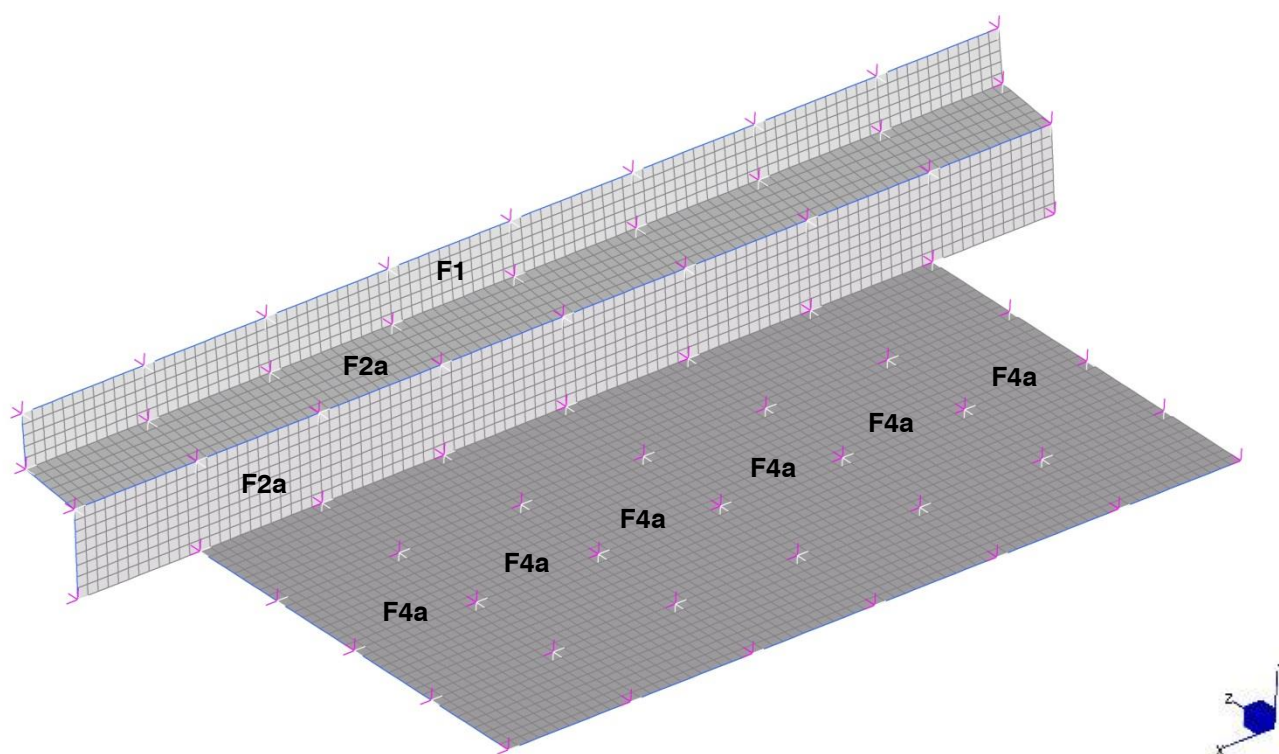
Les filets sont calculés à l'aide d'un modèle éléments finis en trois dimensions, dont le repère est le suivant :

- FX : axe longitudinal du pont
- FY : axe vertical
- FZ : axe transversal au tablier du pont

Les filets F1 et F2a sont modélisés sur un seul côté du tablier (l'autre côté étant symétrique), et les filets F4a sont modélisés également - même si non vérifiés dans cette note - car ils ont un câble commun avec F2a.

Le nombre de filets dans le modèle est :

- 1 filet F1
- 2 filets F2a
- 6 filets F4a



Modèle n°1 - filets

Les dimensions des filets modélisés sont les dimensions maximales présentées dans les plans de principe en référence [2] :

| Filets | Longueurs (m) | Largeurs (m) | Surface totale (m²) |
|--------|---------------|--------------|---------------------|
| F1 | 24 | 1.1 | 26.4 |
| F2a | 24 | 1.4 + 1.8 | 76.8 |
| F4a | 9 | 6 x 3 | 162 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 9/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Les câbles de pourtour des filets sont continus d'un ancrage à l'autre. Ils sont maintenus régulièrement par des appuis intermédiaires qui ne les empêchent pas de glisser selon leur axe.

Les entraxes des points d'appui modélisés sont les valeurs maximales présentées dans les plans [2] :

- F1 et F2a selon X : 3m
- F4a selon Z : 2m à 2.5m

Les câbles de pourtour pour chaque filet sont :

- F1 : câbles C1, C2, C5
- F2a : câbles C2, C8, C6 pour le filet horizontal / câbles C3, C8, C6 pour le filet vertical
- F4a : câbles C3, C4 en partie courante / câbles C3, C4, C7 aux extrémités

Le nombre de câbles dans le modèle est :

- 1 câble C1
- 1 câble C2
- 2 câbles C3
- 5 câbles C4
- 2 câbles C5
- 2 câbles C6
- 2 câbles C7
- 1 câble C8

Les câbles de pourtour des filets sont modélisés par des éléments filaire (1D) de type « câble », ne travaillant qu'en traction. Un attribut de type « string group » permet de modéliser le passage du câble dans la drisse qui lace le filet et dans les appuis intermédiaires sans reprendre les efforts de tension.

Les filets sont modélisés par des éléments surfaciques (2D) de type « membrane », ne travaillant qu'en traction également.

Les filets F4a sont plaqués sous l'intrados des poutres du tablier routier du pont. Aussi des éléments non linéaires de type « butée » sont disposés sur le filet au droit de ces poutres pour bloquer les déplacements ascendants du filet.

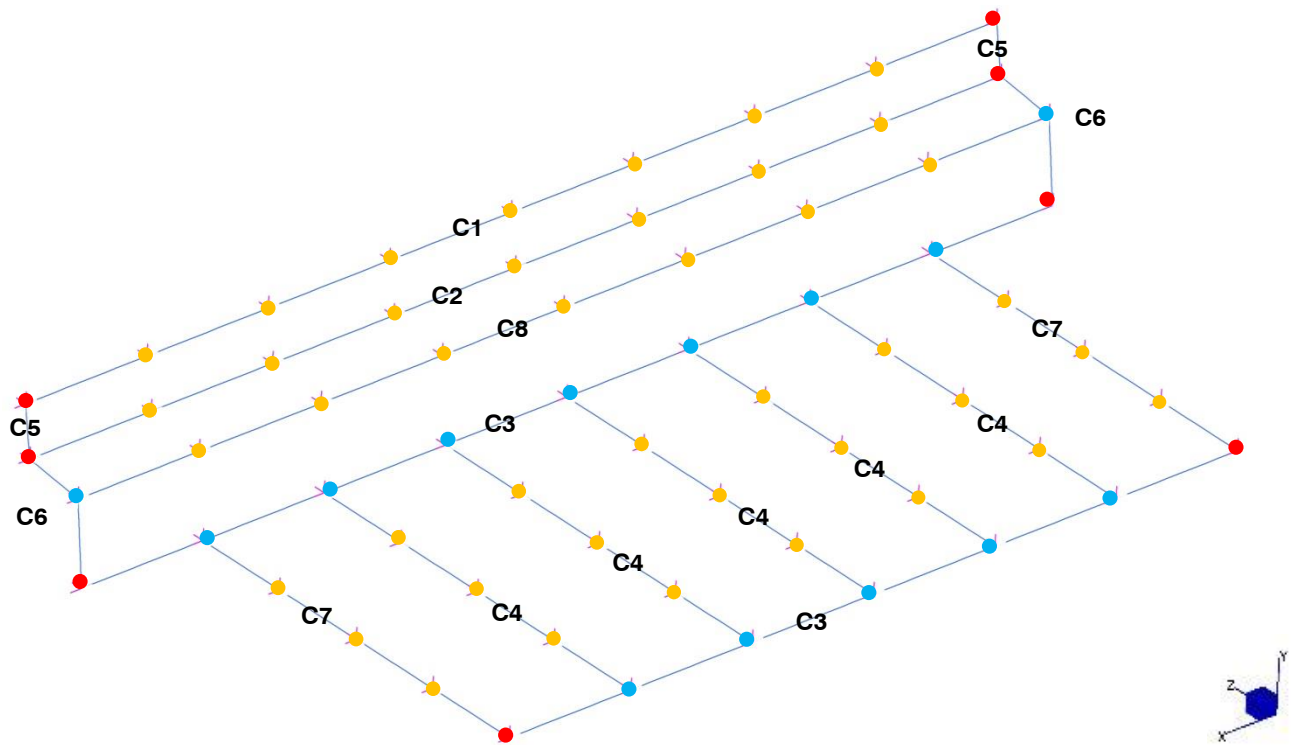
3 types d'appuis sont utilisés dans ce modèle :

- Appui fixe : blocage des 3 DDL en translation
- Appui intermédiaire : blocage de 2 DDL en translation
- Butée : blocage d'1 DDL en translation selon un seul sens

L'image suivante présente les câbles et leurs différentes conditions d'appui.

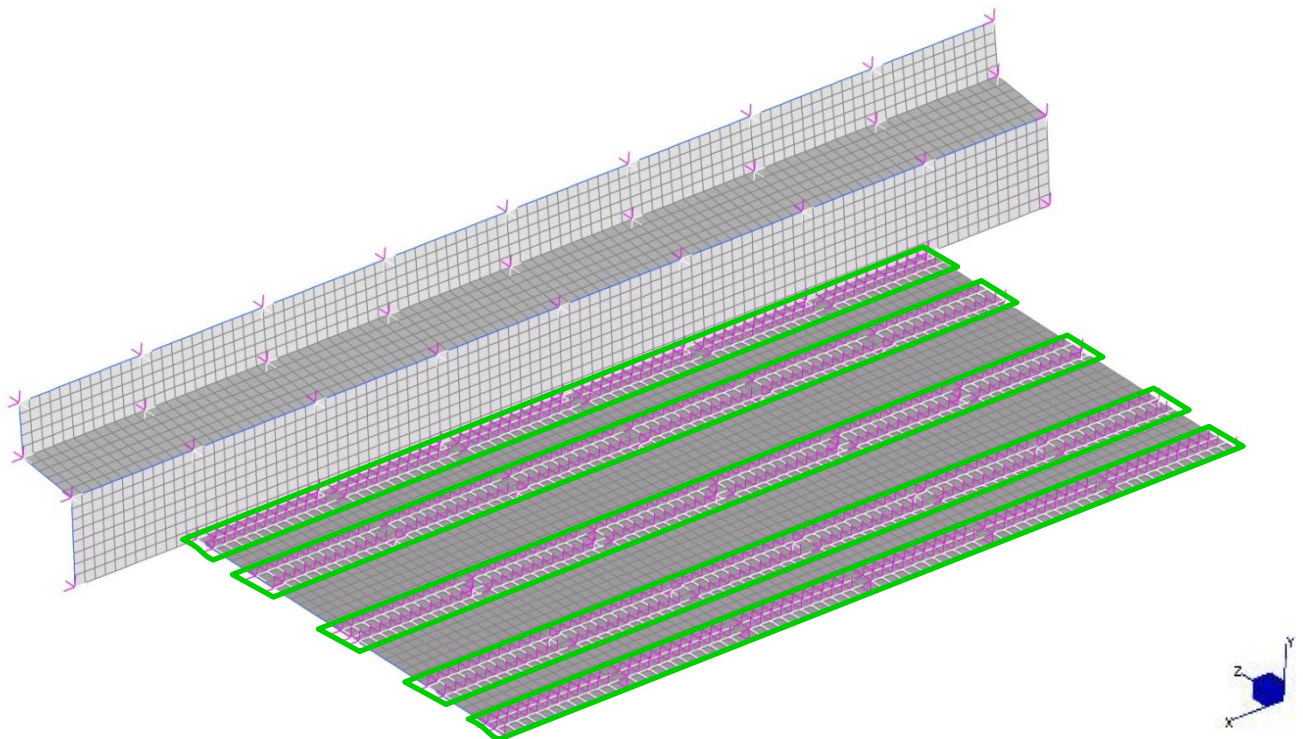
La seconde image présente les filets avec les lignes de butée encadrées en vert.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 10/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



- Ancrage d'extrémité
- Appui intermédiaire
- Ancrage d'extrémité pour un câble et appui intermédiaire pour un autre

Modèle n°1 - câbles de pourtour et symbolisation et appuis



Modèle n°1 - Filets et butées verticales

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 11/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.1.2. Application des charges

Le poids propre des filets et câbles est généré automatiquement par le logiciel en fonction des masses volumiques et surfaciques indiquées dans les caractéristiques des matériaux. Conformément à la note d'hypothèses, il est majoré par un facteur de 1.1 pour prendre en compte le poids des assemblages et extrémités de câbles non modélisés.

Une prétension de 1.5kN est appliquée initialement à tous les câbles.

Les variations de température sont appliquées à chaque nœud du modèle : +/- 25°C.

Le pont n'étant pas modélisé, nous calculons les allongements relatifs du système de protection par rapport au pont en retranchant le module de dilatation α du béton à ceux des câbles et des filets.

La pression de vent de 0.66kN/m² est appliquée uniquement aux filets non plaqués contre les parois du pont, soit F4a uniquement, selon la normale de l'élément surfacique dans la direction ascendante (voir image ci-après).

Les cas accidentels de blocs sont modélisés par des charges ponctuelles. Les filets F1 et F2a étant plaqués contre le pont, aucun cas de chute n'est pris en compte. Le poids du bloc est donc modélisé sans coefficient majorant.

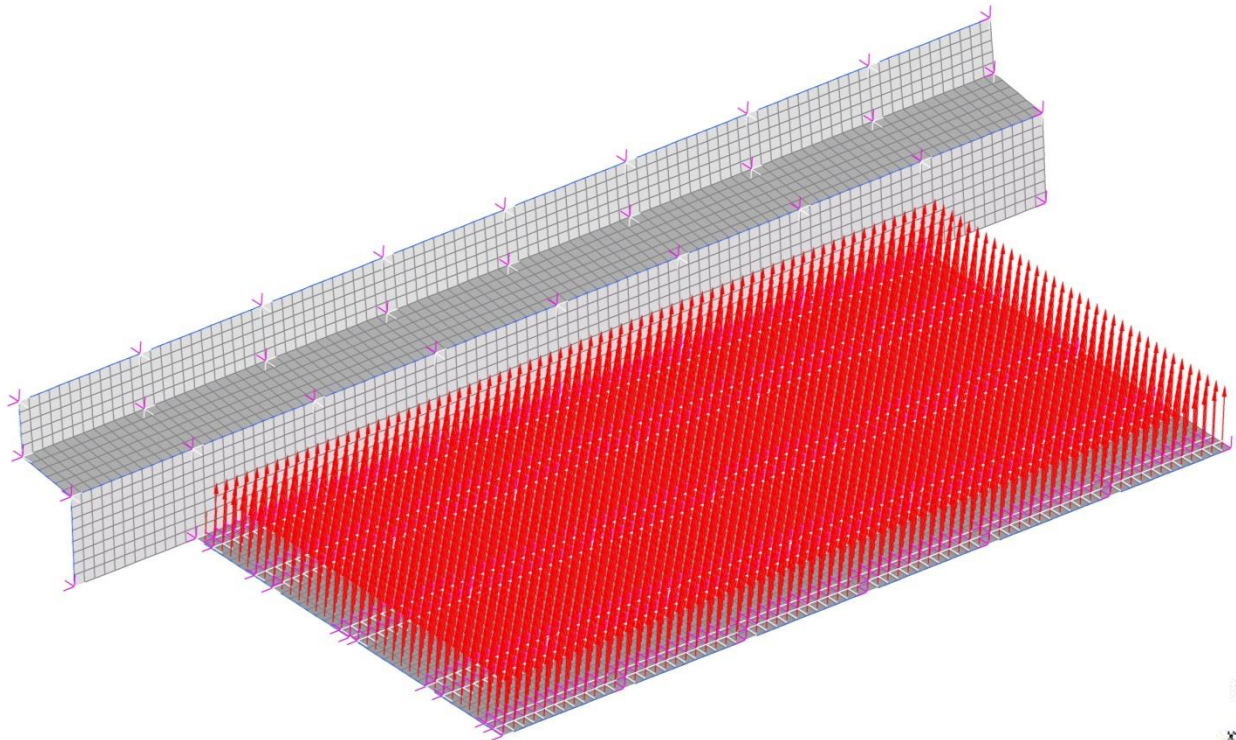
Pour rappel, un filet ne peut être chargé que d'un seul bloc. Des filets voisins peuvent être chargés en même temps.

Un poids de 130kg représente approximativement un bloc béton de 40cm de côté. La taille d'un élément surfacique de filet est de 25cm x 25cm. Aussi nous appliquons le poids du bloc sur un carré de filet, comme 4 charges ponctuelles de 0.325kN.

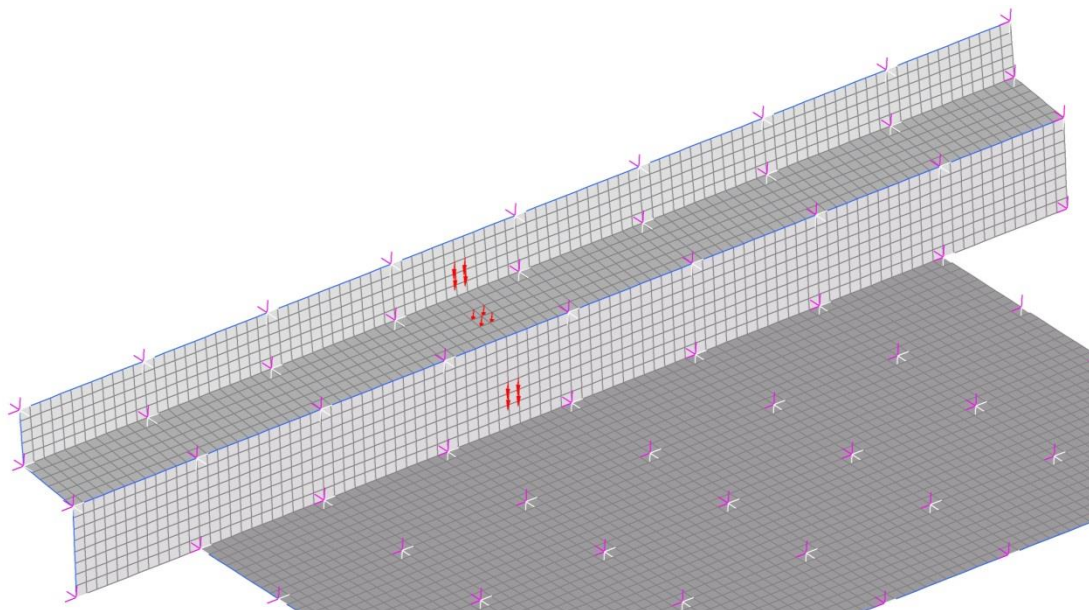
Différentes positions des blocs ont été testées afin de trouver les configurations les plus défavorables pour les filets F1 / F2a et leurs points d'ancrage. Ces dernières sont conservées et utilisées dans les combinaisons de charges. Les images ci-après montrent trois exemples de chargement accidentel :

- à mi-portée des filets
- au droit des appuis intermédiaires
- au droit des ancrages d'extrémité

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 12/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

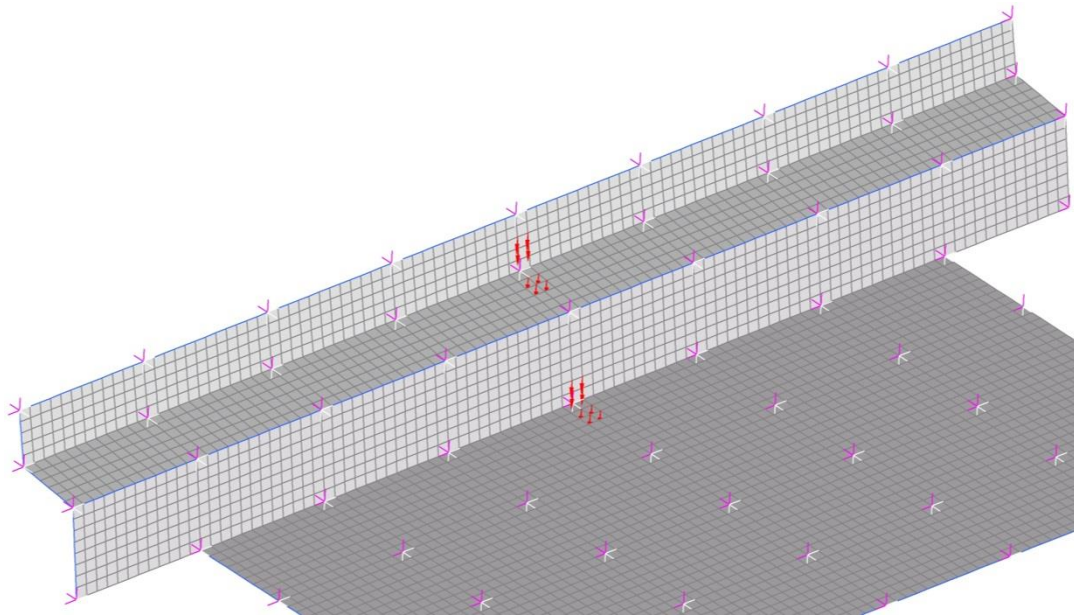


Modèle n°1 - Pression de vent sur F4a

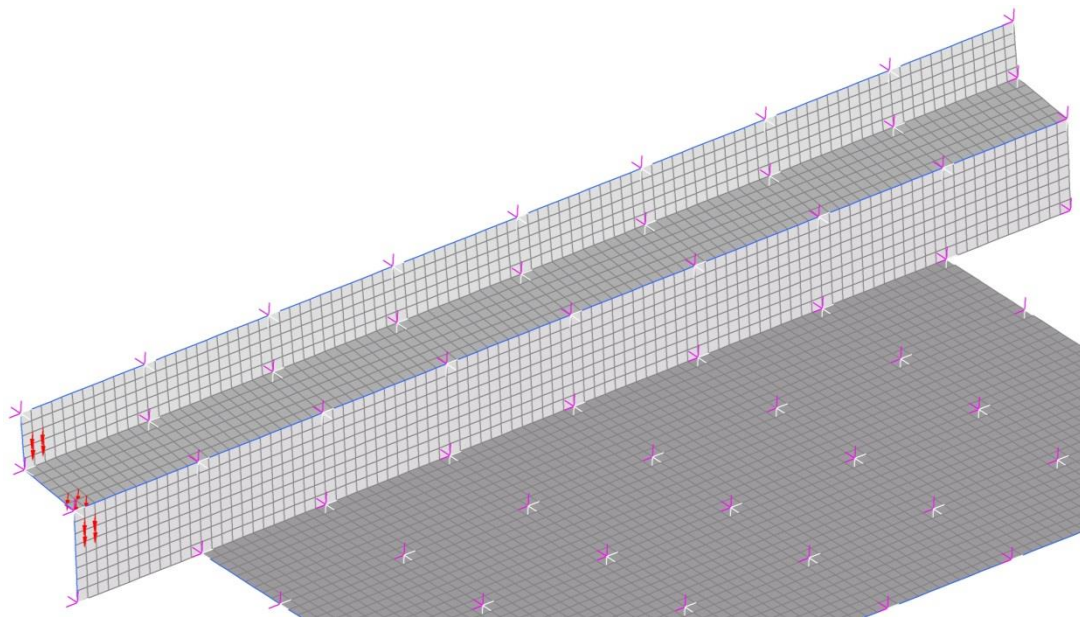


Modèle n°1 - Charges accidentelles de bloc à mi-portée des filets F1 et F2a

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 13/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle n°1 - Charges accidentelles de bloc sur une ligne d'appuis intermédiaires



Modèle n°1 - Charges accidentelles de bloc au droit des ancrages d'extrémité

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 14/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.1.3. Charges résultantes

Le tableau suivant récapitule les charges totales appliquées dans le modèle :

| | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
|---------------------------|------------|--------------|------------|
| Poids propre (G) : | | | |
| F1 | 0.0 | -0.3 | 0.0 |
| F2a | 0.0 | -0.7 | 0.0 |
| F4a | 0.0 | -1.3 | 0.0 |
| Total G : | 0.0 | -2.3 | 0.0 |
| Vent (V) : | | | |
| F1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| F2a | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| F4a | 0.0 | 106.9 | 0.0 |
| Total V : | 0.0 | 106.9 | 0.0 |
| Blocs (Fa) * : | | | |
| F1 | 0.0 | -1.3 | 0.0 |
| F2a | 0.0 | -2.6 | 0.0 |
| F4a | 0.0 | -1.3 | 0.0 |
| Total Fa : | 0.0 | -5.2 | 0.0 |

(*) Les cas accidentels pris en compte dans ce modèle sont prévus pour dimensionner uniquement F1 et F2a, et non F4a.

4.1.4. Phasage de montage

Le phasage de montage est le suivant :

- Etape 1 : pose du filet F1 et des câbles C1, C2, C5
- Etape 2 : pose des filets F2a et des câbles C3, C8, C6
- Etape 3 : pose des filets F4a et des câbles C4, C7

Le logiciel permet de modéliser ce phasage en activant les éléments les uns après les autres.

Le temps d'installation de ces filets pouvant être long vu leurs dimensions, nous appliquons tous les cas de charge à chaque étape : température, vent et bloc. Aussi la protection est dimensionnée pour reprendre le poids d'un bloc même si tous les filets ne sont pas installés.

Après étude, nous avons constaté que la prise en compte du phasage avait un léger impact sur certains ancrages, mais pas sur les filets ni les câbles vérifiés dans cette note.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 15/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.2. Modèle n°2 - Filets F7a / F7b

4.2.1. Géométrie

Les filets sont calculés à l'aide d'un modèle éléments finis en trois dimensions, dont le repère est le suivant :

- FX : axe transversal au tablier du pont
- FY : axe vertical
- FZ : axe longitudinal du pont

Les filets F7b sont modélisés sur un seul côté de la pile (l'autre côté étant symétrique). Le nombre de filets dans le modèle est :

- 2 filets F7a
- 3 filets F7b

Les dimensions des filets modélisés sont les dimensions maximales présentées dans les plans de principe en référence [2] :

| Filets | Longueurs (m) | Largeurs (m) | Surface totale (m²) |
|--------|---------------|--------------|---------------------|
| F7a | 3 x 10 | 2 x 1.25 | 75.0 |
| F7b | 3 x 10 | 9 | 270.0 |

Les câbles de pourtour des filets sont continus d'un ancrage à l'autre. Ils sont maintenus régulièrement par des appuis intermédiaires qui ne les empêchent pas de glisser selon leur axe.

Les entraxes des points d'appui modélisés sont les valeurs maximales présentées dans les plans [2] :

- F7a et F7b selon Y : 5m
- F7b selon X : 1.5m et 6m

Les câbles de pourtour pour chaque filet sont :

- F7a : câbles C3
- F7b : câbles C1, C2, C3 pour les filets d'extrémité / câbles C2, C3 pour les filets centraux

NB : La largeur des filets F7a est petite par rapport à leur longueur, et après étude nous avons constaté que la tension dans ces filets était suffisamment faible pour pouvoir se passer de câbles inox sur les petits côtés. Aussi nous modélisons un élément filaire ayant des propriétés similaires à la ralingue des filets.

Le nombre de câbles dans le modèle est :

- 2 câbles C1
- 2 câbles C2
- 4 câbles C3

Les câbles de pourtour des filets sont modélisés par des éléments filaire (1D) de type « cable », ne travaillant qu'en traction. Un attribut de type « string group » permet de modéliser le passage du câble dans la drisse qui lace le filet et dans les appuis intermédiaires sans reprendre les efforts de tension.

Les filets sont modélisés par des éléments surfaciques (2D) de type « membrane », ne travaillant qu'en traction également.

Les filets F7a et F7b sont en contact avec les raidisseurs des voiles des piles. Aussi des éléments non linéaires de type « butée » sont disposés sur le filet au droit de ces raidisseurs.

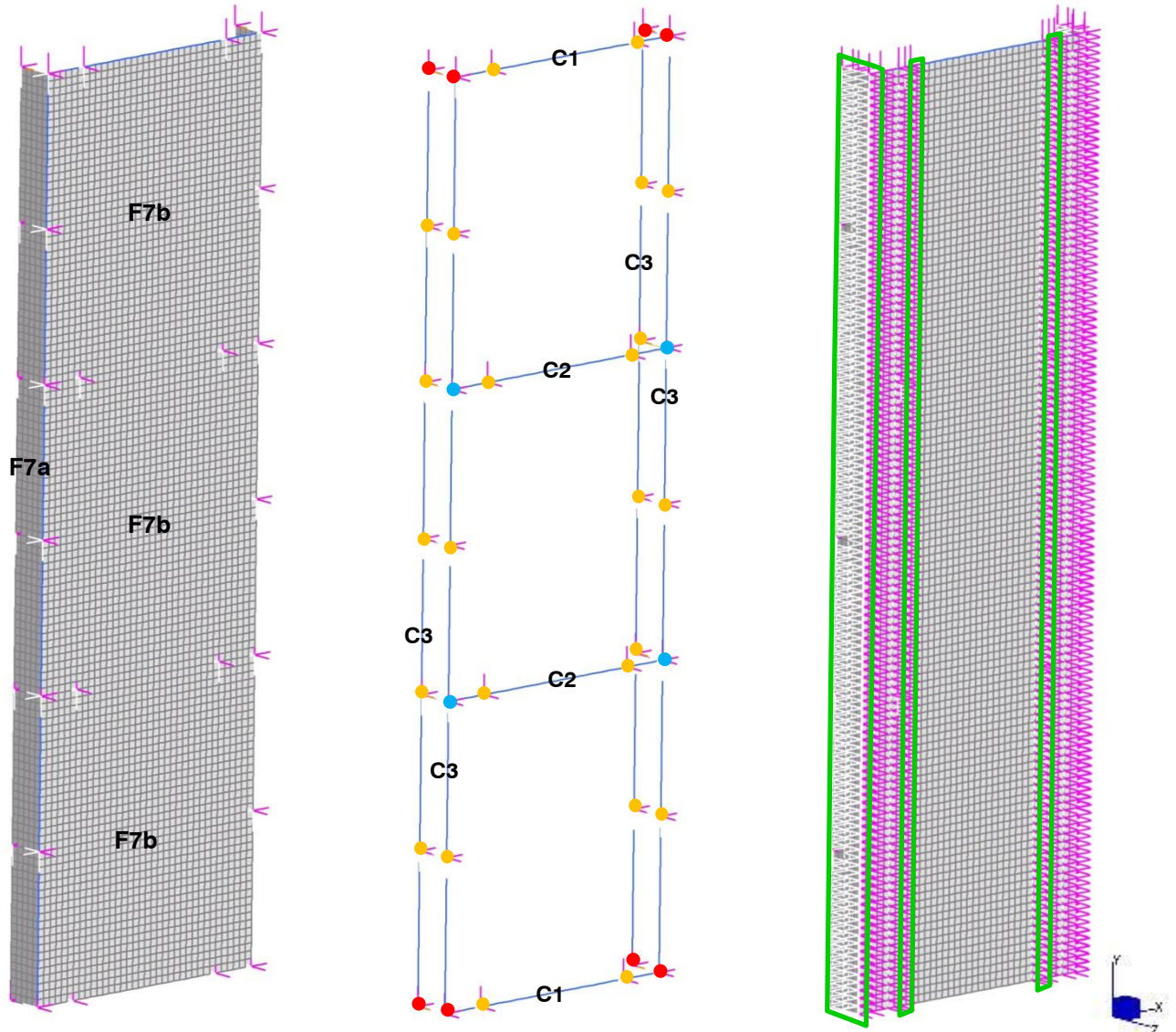
3 types d'appuis sont utilisés dans ce modèle :

- Appui fixe : blocage des 3 DDL en translation

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 16/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

- Appui intermédiaire : blocage de 2 DDL en translation
- Butée : blocage d'1 DDL en translation selon un seul sens

Les images suivantes présentent les filets, les câbles, et leurs différentes conditions d'appui :



- Ancrage d'extrémité
- Appui intermédiaire
- Ancrage d'extrémité pour un câble et appui intermédiaire pour un autre
- Zone de butées

Modèle n°2 - filets, câbles de pourtour et conditions aux limites

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 17/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.2.2. Application des charges

Le poids propre des filets et câbles est généré automatiquement par le logiciel en fonction des masses volumiques et surfaciques indiquées dans les caractéristiques des matériaux. Conformément à la note d'hypothèses, il est majoré par un facteur de 1.1 pour prendre en compte le poids des assemblages et extrémités de câbles non modélisés.

Une prétension de 1.5kN est appliquée initialement à tous les câbles.

Les variations de température sont appliquées à chaque nœud du modèle : +/- 25°C.

Le pont n'étant pas modélisé, nous calculons les allongements relatifs du système de protection par rapport au pont en retranchant le module de dilatation α du béton à ceux des câbles et des filets.

Aucune pression de vent n'est considérée dans ce modèle étant donné que les filets sont plaqués contre la pile.

Les cas accidentels de blocs sont modélisés par des charges ponctuelles. Les filets étant plaqués contre la pile, aucun cas de chute n'est pris en compte. Le poids du bloc est donc modélisé sans coefficient majorant. Pour rappel, un filet ne peut être chargé que d'un seul bloc. Des filets voisins peuvent être chargés en même temps.

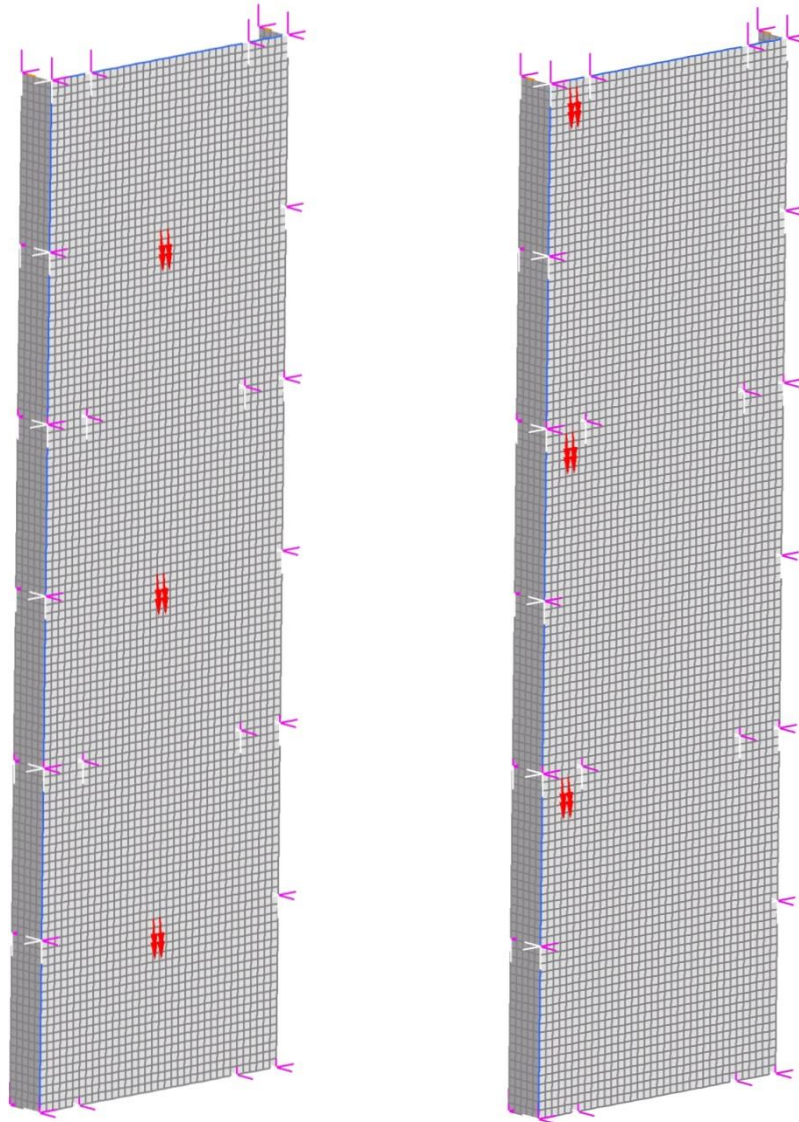
On considère que seuls les filets F7b peuvent être soumis à un cas de charge de bloc qui se décrocherait entre les raidisseurs et se coincerait entre le filet et le voile de la pile.

Comme dans le modèle précédent, le poids du bloc béton de 130kg est appliqué comme 4 charges ponctuelles de 0.325kN.

Différentes positions des blocs ont été testées afin de trouver les configurations les plus défavorables pour les filets et leurs points d'ancrage. Ces dernières sont conservées et utilisées dans les combinaisons de charges. Les images ci-après montrent deux exemples de chargement accidentel :

- à mi-portée des filets
- au droit des ancrages d'extrémité

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 18/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle n°2 - à gauche : charges accidentelles de bloc à mi-portée des filets F7b / à droite : charges accidentelles de bloc au droit des ancrages d'extrémité

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 19/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.2.3. Charges résultantes

Le tableau suivant récapitule les charges totales appliquées dans le modèle :

| | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
|---------------------------|------------|-------------|------------|
| Poids propre (G) : | | | |
| F7a | 0.0 | -0.7 | 0.0 |
| F7b | 0.0 | -2.1 | 0.0 |
| Total G : | 0.0 | -2.7 | 0.0 |
| Blocs (Fa) : | | | |
| F7a | 0.0 | 0 | 0.0 |
| F7b | 0.0 | -3.9 | 0.0 |
| Total Fa : | 0.0 | -3.9 | 0.0 |

4.2.4. Phasage de montage

Le phasage de montage est le suivant :

- Etape 1 : pose des filets F7b et des câbles C1, C2, C3
- Etape 2 : pose des filets F7a

Le logiciel permet de modéliser ce phasage en activant les éléments les uns après les autres.

Le temps d'installation de ces filets pouvant être long vu leurs dimensions, nous appliquons tous les cas de charge à chaque étape : température, vent et bloc. Aussi la protection est dimensionnée pour reprendre le poids d'un bloc même si tous les filets ne sont pas installés.

Après étude, nous avons constaté que la prise en compte du phasage avait un léger impact sur certains ancrages, mais pas sur les filets ni les câbles vérifiés dans cette note.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 20/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.3. Modèle n°3 - Filets F5a / F5b

4.3.1. Géométrie

Les filets sont calculés à l'aide d'un modèle éléments finis en trois dimensions, dont le repère est le suivant :

- FX : axe longitudinal du pont
- FY : axe vertical
- FZ : axe transversal de l'arc

Le nombre de filets dans le modèle est :

- 2 filets F5a
- 5 filets F5b

Les dimensions des filets modélisés sont les dimensions maximales présentées dans les plans de principe en référence [2] :

| Filets | Longueurs (m) | Largeurs (m) | Surface totale (m²) |
|--------|---------------|--------------|---------------------|
| F5a | 23 | 2 x 6.7 | 299.0 |
| F5b | 9 | 5 x 4.5 | 213.8 |

Les câbles de pourtour des filets sont continus d'un ancrage à l'autre. Ils sont maintenus régulièrement par des appuis intermédiaires qui ne les empêchent pas de glisser selon leur axe.

Les entraxes des points d'appui modélisés sont les valeurs maximales présentées dans les plans [2] :

- F5a selon X : 4.5m et 4.7m

Les câbles de pourtour pour chaque filet sont :

- F5a : câbles C1, C2, C3
- F5b : câbles C3, C4, C5 pour les filets d'extrémité / câbles C3, C4 pour les filets centraux

Le nombre de câbles dans le modèle est :

- 2 câbles C1
- 2 câbles C2
- 4 câbles C3
- 4 câbles C4
- 2 câbles C5

Les câbles de pourtour des filets sont modélisés par des éléments filaire (1D) de type « câble », ne travaillant qu'en traction. Un attribut de type « string group » permet de modéliser le passage du câble dans la drisse qui lace le filet et dans les appuis intermédiaires sans reprendre les efforts de tension.

Les filets sont modélisés par des éléments surfaciques (2D) de type « membrane », ne travaillant qu'en traction également.

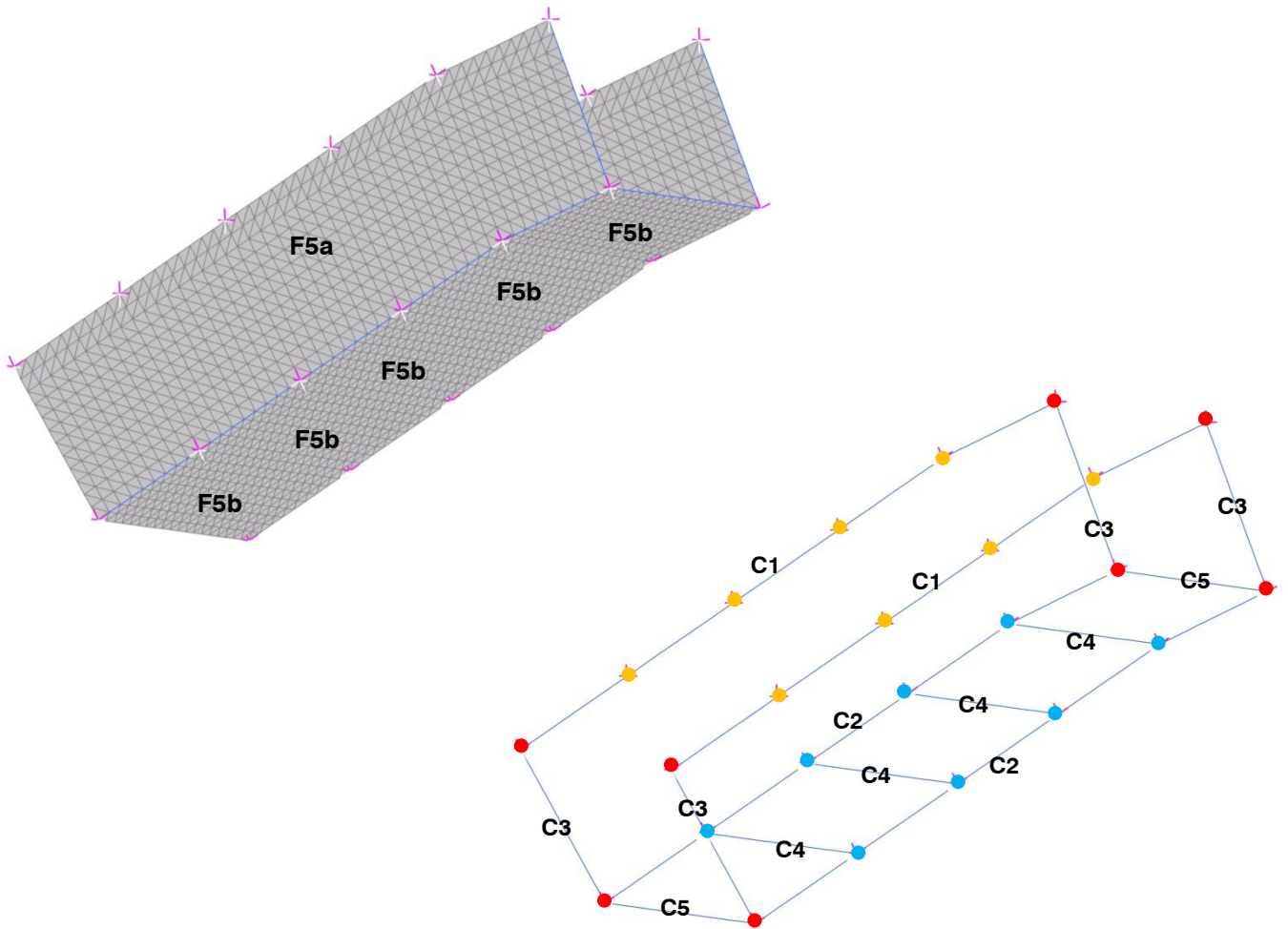
2 types d'appuis sont utilisés dans ce modèle :

- Appui fixe : blocage des 3 DDL en translation
- Appui intermédiaire : blocage de 2 DDL en translation

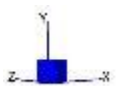
NB : les filets sont plaqués contre les parois de l'arc, mais aucun appui de type butée n'est nécessaire étant donné que les sollicitations extérieures ne génèrent aucun déplacements vers les parois.

Les images suivantes présentent les filets, les câbles, et leurs différentes conditions d'appui :

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 21/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



- Ancrage d'extrémité
- Appui intermédiaire
- Ancrage d'extrémité pour un câble et appui intermédiaire pour un autre



Modèle n°3 - filets / câbles de pourtour et ancrages d'extrémité (rouge)

4.3.2. Application des charges

Le poids propre des filets et câbles est généré automatiquement par le logiciel en fonction des masses volumiques et surfaciques indiquées dans les caractéristiques des matériaux. Conformément à la note d'hypothèses, il est majoré par un facteur de 1.1 pour prendre en compte le poids des assemblages et extrémités de câbles non modélisés.

Une prétension de 1.0kN à 2.0kN est appliquée initialement aux câbles.

Les variations de température sont appliquées à chaque nœud du modèle : +/- 25°C.

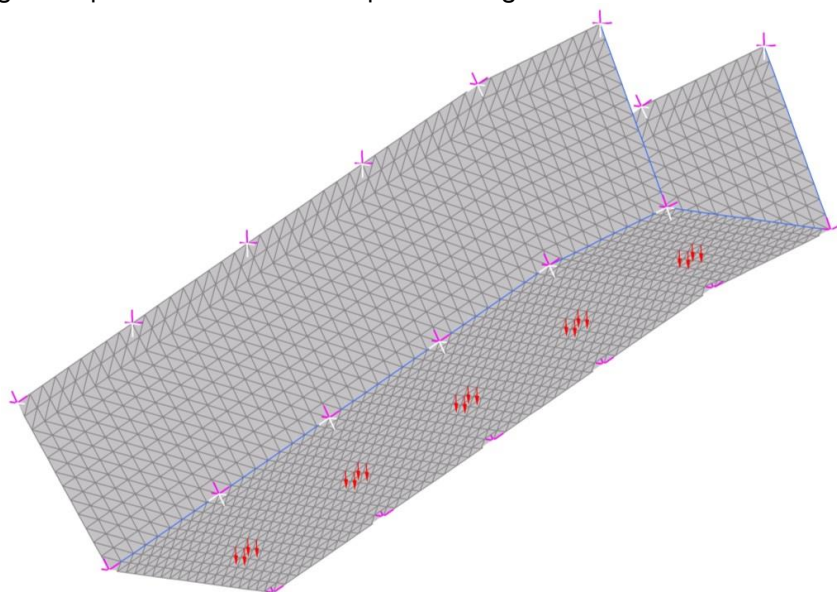
Le pont n'étant pas modélisé, nous calculons les allongements relatifs du système de protection par rapport au pont en retranchant le module de dilatation α du béton à ceux des câbles et des filets.

Aucune pression de vent n'est considérée dans ce modèle étant donné que les filets sont plaqués contre les faces de l'arc.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 22/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Les cas accidentels de blocs sont modélisés par des charges ponctuelles. Les filets étant plaqués contre le béton, aucun cas de chute n'est pris en compte. Le poids du bloc est donc modélisé sans coefficient majorant. Pour rappel, un filet ne peut être chargé que d'un seul bloc. Des filets voisins peuvent être chargés en même temps. Comme dans les modèles précédents, nous appliquons le poids du bloc béton de 130kg comme 4 charges ponctuelles de 0.325kN.

Différentes positions des blocs ont été testées afin de trouver les configurations les plus défavorables pour les filets et leurs points d'ancrage. Ces dernières sont conservées et utilisées dans les combinaisons de charges. Les images ci-après montrent un exemple de chargement accidentel :



Modèle n°3 - charges accidentelles de bloc à mi-portée des filets F5b

4.3.3. Charges résultantes

Le tableau suivant récapitule les charges totales appliquées dans le modèle :

| | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
|---------------------------|------------|-------------|------------|
| Poids propre (G) : | | | |
| F5a | 0.0 | -2.2 | 0.0 |
| F5b | 0.0 | -1.7 | 0.0 |
| Total G : | 0.0 | -3.9 | 0.0 |
| Blocs (Fa) : | | | |
| F5a | 0.0 | -2.6 | 0.0 |
| F5b | 0.0 | -6.5 | 0.0 |
| Total Fa : | 0.0 | -9.1 | 0.0 |

4.3.4. Phasage de montage

Le phasage de montage est le suivant :

- Etape 1 : pose des filets F5a et des câbles C1, C2, C3
- Etape 2 : pose des filets F5b et des câbles C4, C5

Le logiciel permet de modéliser ce phasage en activant les éléments les uns après les autres.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 23/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Le temps d'installation de ces filets pouvant être long vu leurs dimensions, nous appliquons tous les cas de charge à chaque étape : température et bloc. Aussi la protection est dimensionnée pour reprendre le poids d'un bloc même si tous les filets ne sont pas installés.

Après étude, nous avons constaté que la prise en compte du phasage avait un léger impact sur certains ancrages, mais pas sur les filets ni les câbles vérifiés dans cette note.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 24/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

5. RESULTATS

Nota : Après étude, nous avons constaté que pour la moitié des filets, les cas de charge dimensionnants ne sont pas les cas accidentels de bloc, mais les variations négatives de température.

5.1. Vérification des filets

5.1.1. Contrainte de traction

Les filets sont vérifiés sous combinaisons ELA et ELS en appliquant un coefficient de sécurité de 2 par rapport à la limite de rupture.

La charge limite admissible est donc de 10 kN/ml.

Le tableau suivant récapitule les contraintes dans les filets des deux modèles et la marge de sécurité :

| Contraintes filets | | G kN/ml | ELS kN/ml | ELA kN/ml | coef sécu |
|--------------------|-----|------------|--------------|--------------|-----------|
| Modèle 1 | F1 | 0.3 | 1.8 | 4.6 | 4.3 |
| | F2a | 0.5 | 2.0 | 5.4 | 3.7 |
| Modèle 2 | F7a | 1.0 | 8.6 | 5.4 | 2.3 |
| | F7b | 1.1 | 6.1 | 4.2 | 3.3 |
| Modèle 3 | F5a | 0.8 | 6.1 | 3.9 | 3.3 |
| | F5b | 2.0 | 6.9 | 9.6 | 2.1 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 25/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Plate Stress:VM Mid plane

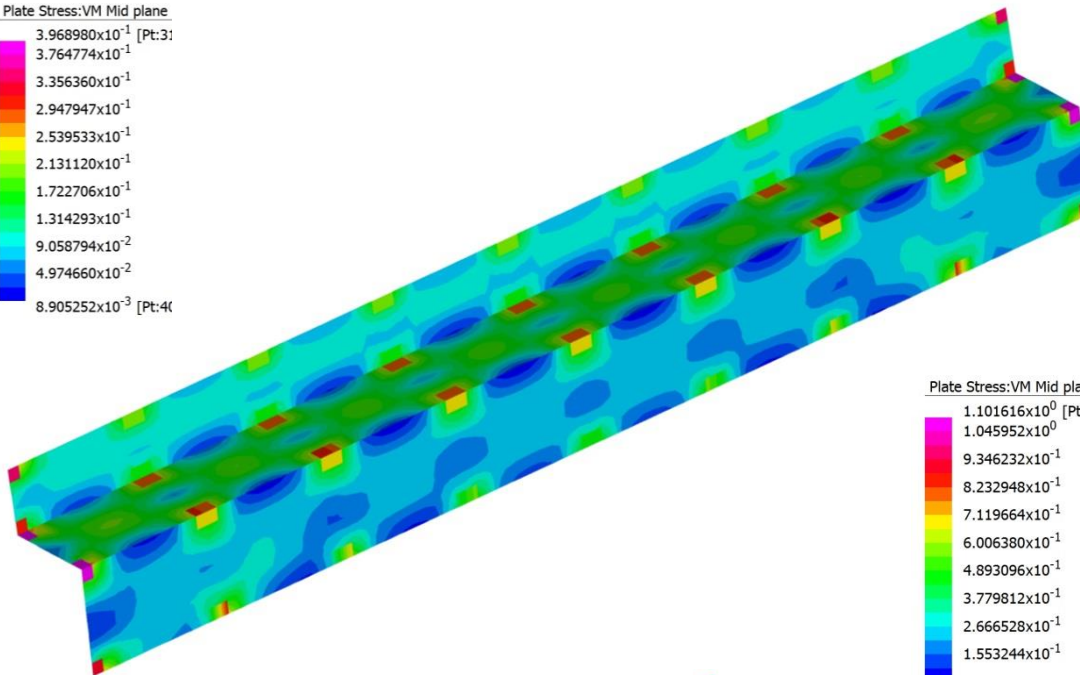
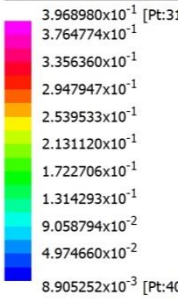


Plate Stress:VM Mid plane

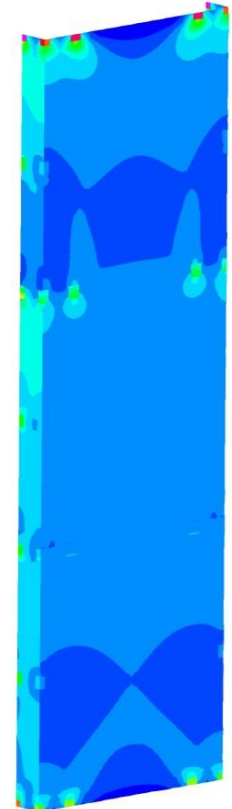
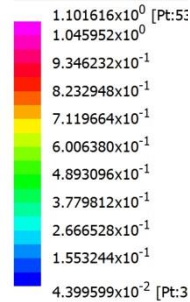
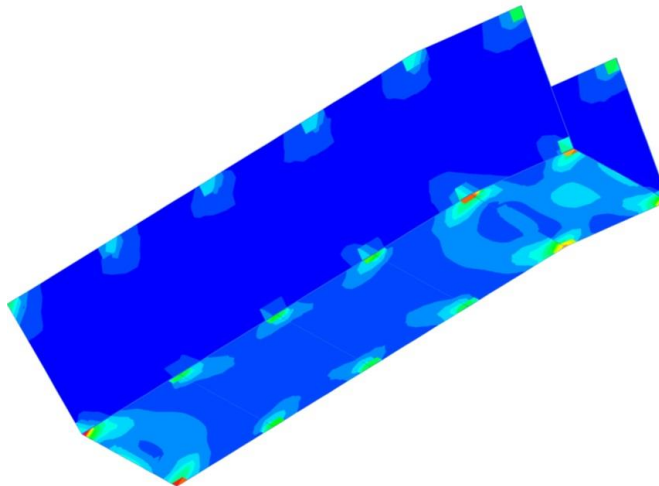
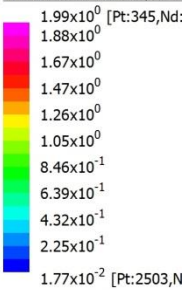


Plate Stress:VM Mid plane



Contrainte de traction dans les filets sous charges permanentes (dont prétension) :
modèle n°1 en haut / modèle n°2 à droite / modèle n°3 en bas

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 26/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Plate Stress:VM Mid plane

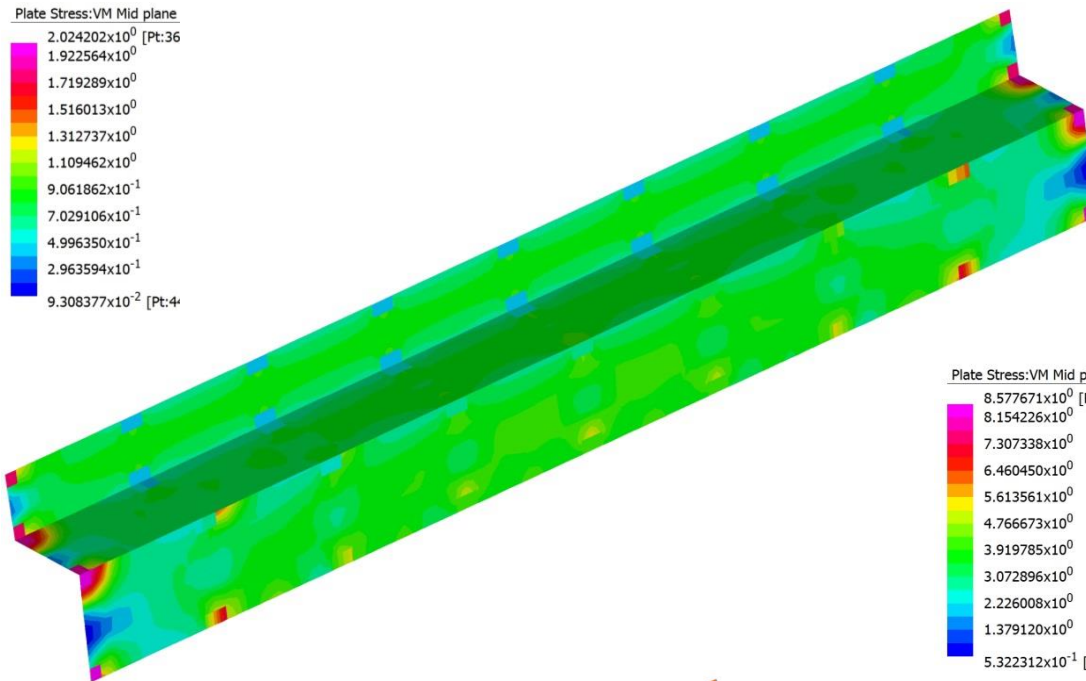
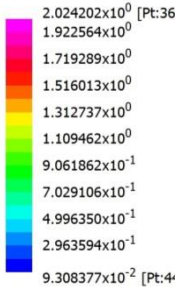


Plate Stress:VM Mid plane

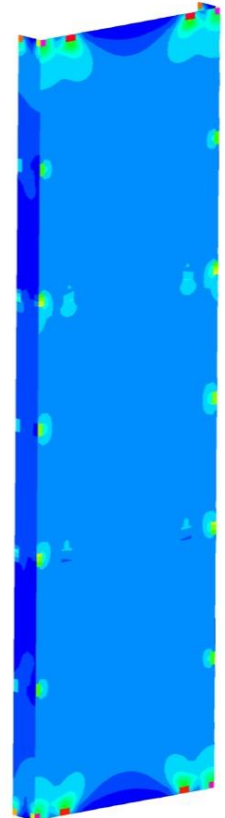
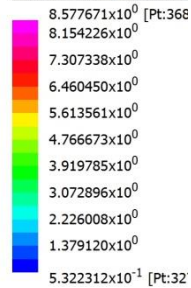
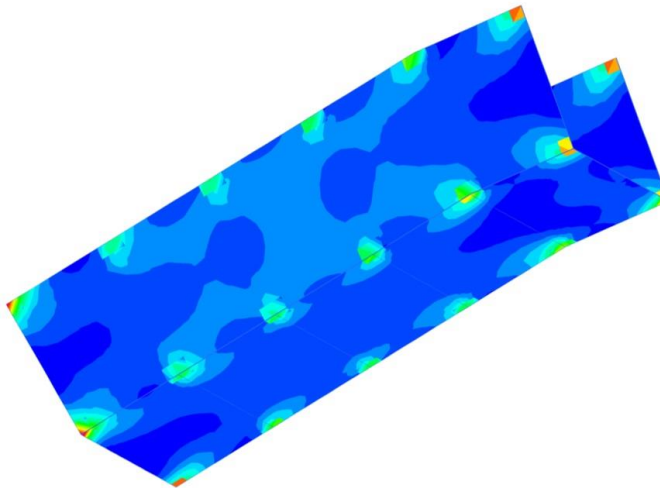
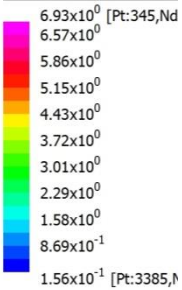


Plate Stress:VM Mid plane



Contrainte de traction dans les filets sous ELS :
modèle n°1 en haut / modèle n°2 à droite / modèle n°3 en bas

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 27/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Plate Stress:VM Mid plane

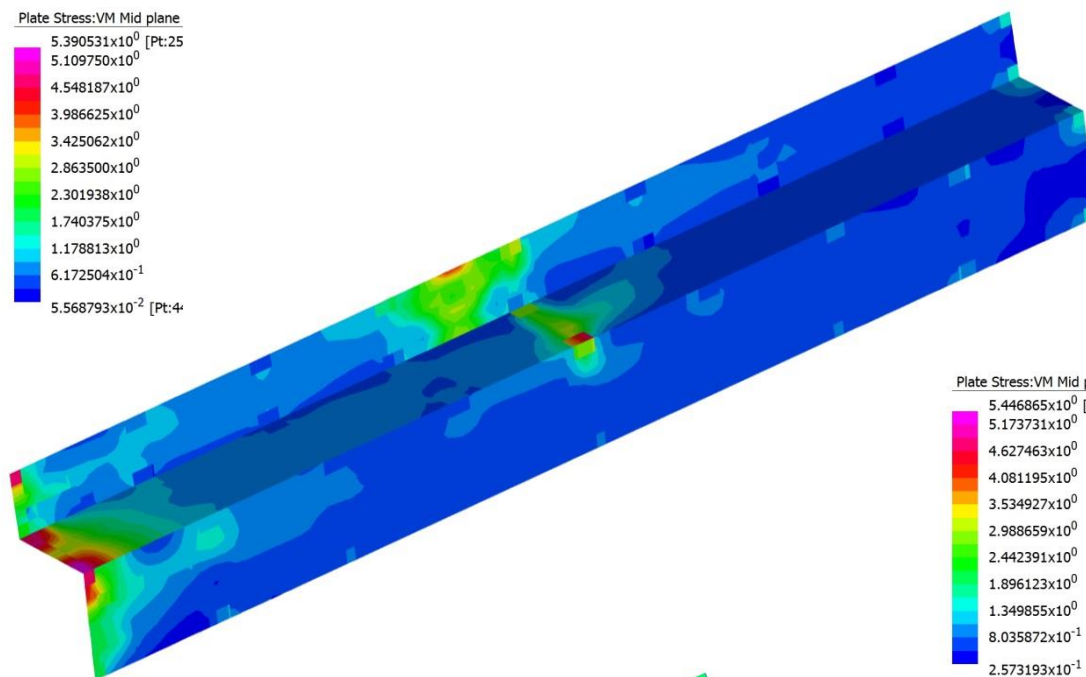
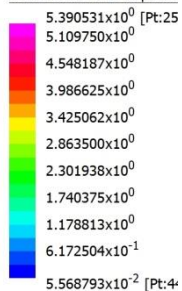


Plate Stress:VM Mid plane

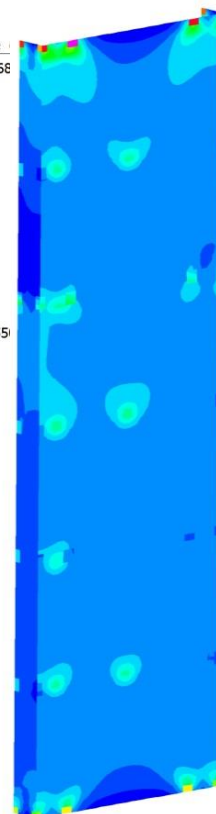
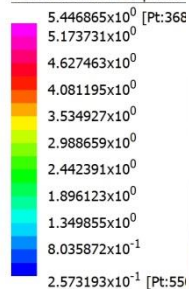
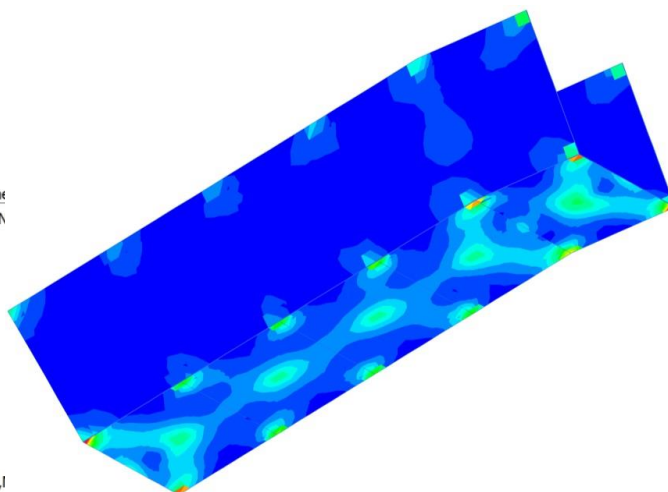
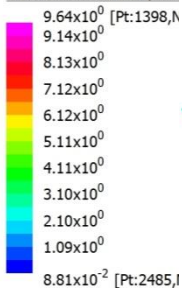


Plate Stress:VM Mid plane

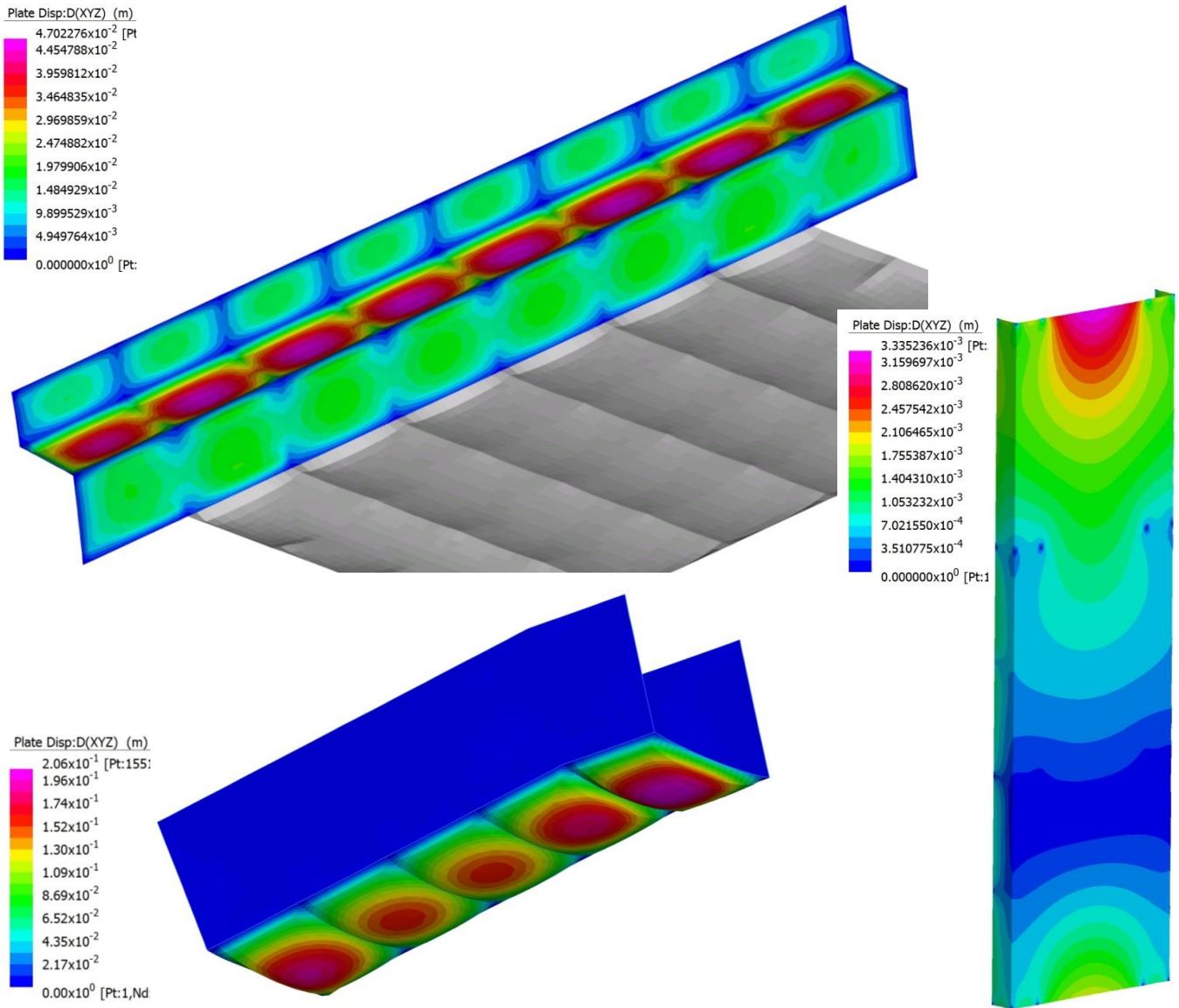


Contrainte de traction dans les filets sous ELA :
modèle n°1 en haut / modèle n°2 à droite / modèle n°3 en bas

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 28/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

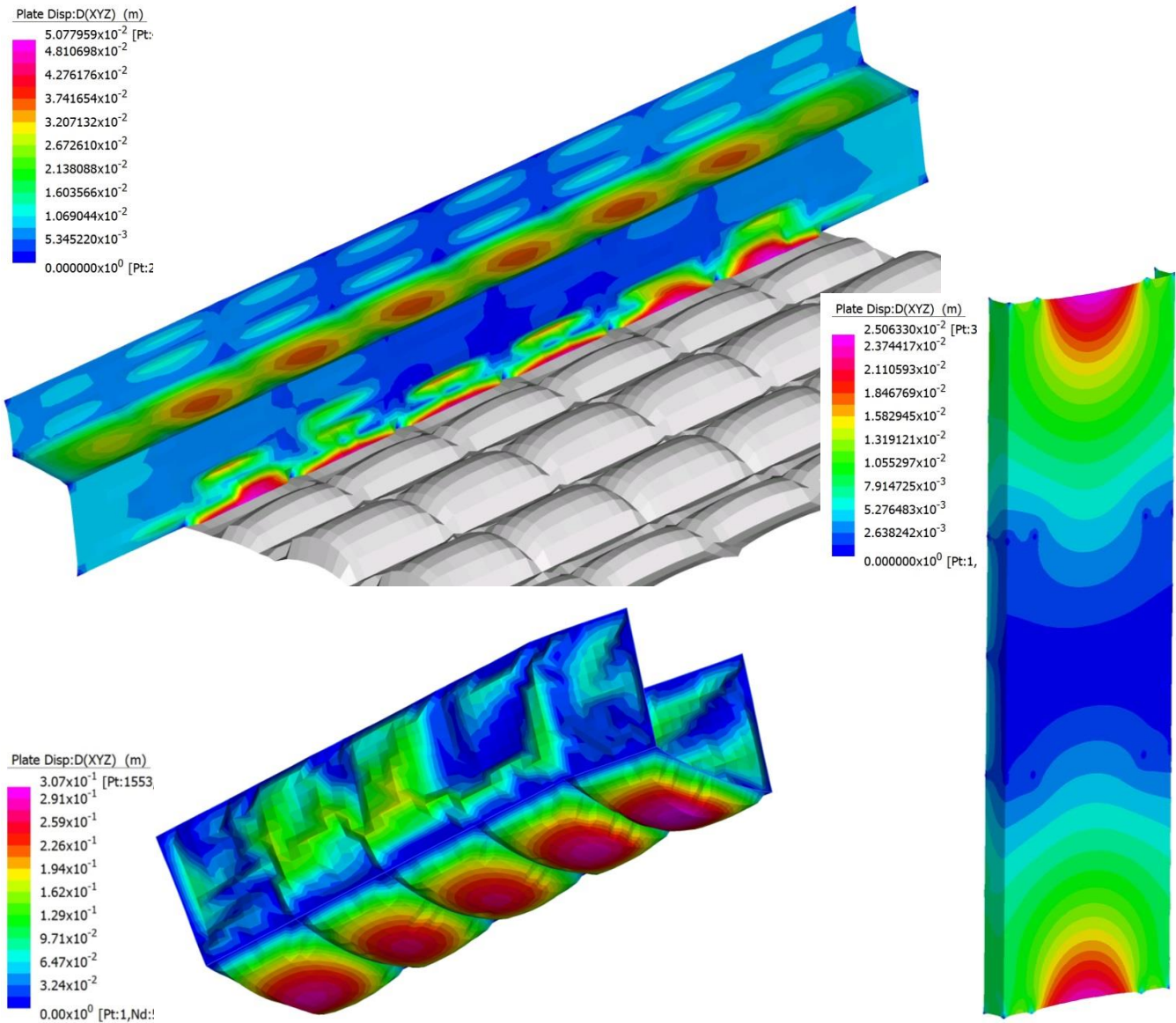
5.1.2. Déformée

Nous renseignons à titre indicatif les déformées des filets :



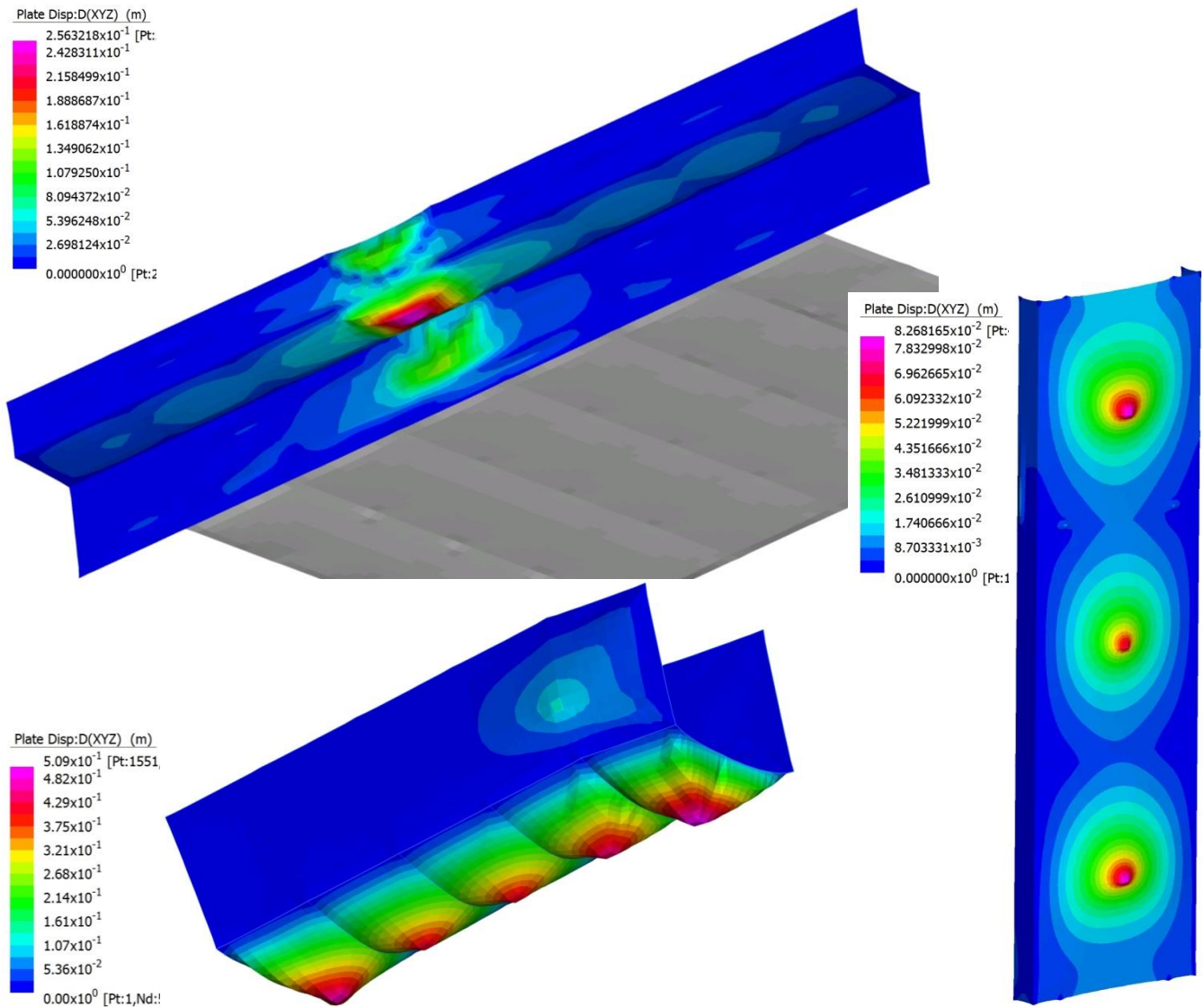
Déformée amplifiée dans les filets sous charges permanentes (dont prétension) :
modèle n°1 en haut / modèle n°2 à droite / modèle n°3 en bas

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 29/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Déformée amplifiée dans les filets sous divers cas de charges :
Vent sur modèle n°1 (en haut) / ΔT négatif sur modèle n°2 (à droite) / ΔT positif sur modèle n°3 (en bas)

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 30/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Déformée amplifiée dans les filets sous combinaison ELA :
modèle n°1 en haut / modèle n°2 à droite / modèle n°3 en bas

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 31/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

5.2. Vérification des câbles

Les câbles sont vérifiés sous combinaisons ELA et ELS en appliquant un coefficient de sécurité de 2 par rapport à la limite de rupture.

La charge limite admissible est donc de 19 kN.

Le tableau suivant récapitule les efforts dans les câbles des deux modèles et la marge de sécurité :

| Effort câbles | | G kN | ELS kN | ELA kN | coef sécu |
|------------------|----|---------|-----------|-----------|-----------|
| Filets F1 / F2a | C1 | 1.5 | 1.7 | 2.1 | 18.1 |
| | C2 | 1.5 | 1.7 | 2.3 | 16.5 |
| | C3 | 1.5 | 5.5 | 1.9 | 6.9 |
| | C5 | 1.5 | 3.2 | 2.5 | 11.9 |
| | C6 | 1.5 | 2.8 | 4.6 | 8.3 |
| | C8 | 1.5 | 1.7 | 2.2 | 17.3 |
| Filets F7a / F7b | C1 | 1.5 | 2.3 | 1.9 | 16.5 |
| | C2 | 1.5 | 1.7 | 1.7 | 22.4 |
| | C3 | 1.5 | 1.8 | 1.6 | 21.1 |
| Filets F5a / F5b | C1 | 1.0 | 1.2 | 1.1 | 31.7 |
| | C2 | 1.0 | 1.3 | 1.4 | 27.1 |
| | C3 | 1.0 | 1.3 | 1.2 | 29.2 |
| | C4 | 2.0 | 2.3 | 5.6 | 6.8 |
| | C5 | 1.2 | 1.4 | 2.3 | 16.5 |

5.3. Vérification des platines d'ancrage

5.3.1. Listing ancrages

Le tableau suivant présente les différents cas d'appuis à justifier :

| Câbles | | Ancrage extrémité | Appui intermédiaire |
|------------------|----|-------------------|---------------------|
| Filets F1 / F2a | C1 | A1-a | A1-b |
| | C2 | A2-a | A2-b |
| | C3 | A4-a | A4-b |
| | C5 | A1-a / A2-a | - |
| | C6 | A2-a / A4-a | A3-a |
| | C8 | A3-a | A3-b |
| Filets F7a / F7b | C1 | A12-a | A13-a |
| | C2 | A12-b | A13-b |
| | C3 | A12-a | A12-b |
| Filets F5a / F5b | C1 | A8-a | A8-b |
| | C2 | A9-a | A9-b |
| | C3 | A8-a / A9-a | - |

| | | | | | |
|---------------|--------------------|-----------|---------|------------|---------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 32/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| Câbles | | Ancrage extrémité | Appui intermédiaire |
|--------|----|-------------------|---------------------|
| | C4 | A9-b | - |
| | C5 | A9-a | - |

Le tableau suivant classe chaque cas d'appui selon le type de platine utilisé :

| | Ancrage | Platine |
|------------------|---------|-----------------|
| Filets F1 / F2a | A1-a | Type 2 |
| | A1-b | Type 2 |
| | A2-a | Type 1 |
| | A2-b | Type 1 |
| | A3-a | Type 2 |
| | A3-b | Type 2 |
| | A4-a | Type 1 + Type 2 |
| | A4-b | Type 1 |
| Filets F7a / F7b | A12-a | Type 1 |
| | A12-b | Type 1 |
| | A13-a | Type 2 |
| | A13-b | Type 2 |
| Filets F5a / F5b | A8-a | Type 1 |
| | A8-b | Type 1 |
| | A9-a | Type 1 |
| | A9-b | Type 1 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 33/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

5.3.2. Descente de charges sur ancrages

Les tableaux ci-dessous présentent les enveloppes d'efforts concomitants ELS, ELU et ELA pour chaque ancrage, exprimées dans le repère du modèle de calcul.

| ELS | | | | | | | |
|--------|-------------|-------------|-------------|--------|------------|-------------|-------------|
| A1-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A1-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 2.2 | -3.3 | -0.6 | FX max | 0.0 | -0.1 | 0.0 |
| FX min | -2.2 | -3.3 | -0.6 | FX min | 0.0 | -0.1 | 0.0 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | -2.2 | -3.3 | -0.6 | FY min | 0.0 | -0.2 | 0.0 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | -2.2 | -3.3 | -0.6 | FZ min | 0.0 | -0.2 | 0.0 |
| ELU | | | | | | | |
| A1-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A1-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 2.5 | -4.6 | -0.8 | FX max | 0.0 | -0.1 | 0.0 |
| FX min | -2.5 | -4.6 | -0.8 | FX min | 0.0 | -0.1 | 0.0 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 2.5 | -4.6 | -0.8 | FY min | 0.0 | -0.2 | 0.0 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 2.5 | -4.6 | -0.8 | FZ min | 0.0 | -0.2 | 0.0 |
| ELA | | | | | | | |
| A1-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A1-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 2.4 | -2.4 | -0.4 | FX max | 0.0 | -1.0 | -0.1 |
| FX min | -2.4 | -2.6 | -0.4 | FX min | 0.0 | -0.1 | 0.0 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | -2.2 | -3.2 | -0.4 | FY min | 0.0 | -1.4 | -0.1 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | -2.4 | -2.6 | -0.4 | FZ min | 0.0 | -1.4 | -0.1 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 34/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | | | | | |
|--------|-------------|------------|-------------|--------|------------|-------------|-------------|
| A2-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A2-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 2.7 | 2.9 | -2.5 | FX max | 0.0 | 0.0 | -0.1 |
| FX min | -2.7 | 2.9 | -2.5 | FX min | 0.0 | 0.0 | -0.1 |
| FY max | 2.1 | 3.0 | 0.5 | FY max | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 2.1 | 3.0 | 0.5 | FZ max | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| FZ min | -2.7 | 2.9 | -2.5 | FZ min | 0.0 | 0.1 | -0.2 |
| ELU | | | | | | | |
| A2-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A2-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 3.3 | 3.9 | -3.4 | FX max | 0.0 | 0.0 | -0.1 |
| FX min | -3.3 | 3.9 | -3.4 | FX min | 0.0 | 0.0 | -0.1 |
| FY max | 2.4 | 4.1 | 0.7 | FY max | 0.0 | 0.2 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 2.4 | 4.1 | 0.7 | FZ max | 0.0 | 0.2 | 0.0 |
| FZ min | 3.3 | 3.9 | -3.4 | FZ min | 0.0 | 0.1 | -0.3 |
| ELA | | | | | | | |
| A2-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A2-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 2.9 | 2.1 | -1.8 | FX max | 0.0 | -0.1 | -0.5 |
| FX min | -3.0 | 2.3 | -1.9 | FX min | 0.0 | -0.3 | -0.8 |
| FY max | -3.0 | 2.3 | -1.9 | FY max | 0.0 | 0.1 | -0.1 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | -0.9 | -1.5 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | -2.2 | 1.1 | -4.6 | FZ min | 0.0 | -0.9 | -1.5 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 35/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | | | | | |
|--------|-------------|-------------|------------|--------|------------|-------------|------------|
| A3-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A3-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 2.8 | -2.7 | 2.6 | FX max | 0.0 | -0.1 | 0.1 |
| FX min | -2.8 | -2.7 | 2.6 | FX min | 0.0 | -0.1 | 0.1 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | -2.8 | -2.7 | 2.6 | FY min | 0.0 | -0.3 | 0.2 |
| FZ max | -2.8 | -2.7 | 2.6 | FZ max | 0.0 | -0.2 | 0.2 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ELU | | | | | | | |
| A3-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A3-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 3.5 | -3.7 | 3.6 | FX max | 0.0 | -0.2 | 0.1 |
| FX min | -3.5 | -3.7 | 3.6 | FX min | 0.0 | -0.1 | 0.1 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 3.5 | -3.7 | 3.6 | FY min | 0.0 | -0.4 | 0.2 |
| FZ max | 3.5 | -3.7 | 3.6 | FZ max | 0.0 | -0.3 | 0.3 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ELA | | | | | | | |
| A3-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A3-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 2.8 | -1.9 | 1.9 | FX max | 0.0 | -0.5 | 0.2 |
| FX min | -3.7 | -5.6 | 4.7 | FX min | 0.0 | -0.9 | 0.7 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | -3.7 | -5.6 | 4.7 | FY min | 0.0 | -1.9 | 1.9 |
| FZ max | -3.7 | -5.6 | 4.7 | FZ max | 0.0 | -1.9 | 1.9 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 36/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | | | | | |
|--------|-------------|------------|------------|--------|-------------|-------------|--------------|
| A4-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A4-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 5.8 | 2.3 | 0.3 | FX max | 0.6 | 0.5 | -7.3 |
| FX min | -5.8 | 2.3 | 0.3 | FX min | -0.6 | 0.5 | -7.3 |
| FY max | -4.9 | 3.1 | 0.4 | FY max | 0.5 | 0.7 | -9.6 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | -4.9 | 3.1 | 0.4 | FZ max | 0.2 | 0.2 | 0.0 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.6 | -9.7 |
| ELU | | | | | | | |
| A4-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A4-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 7.7 | 2.9 | 0.3 | FX max | 0.9 | 0.8 | -9.5 |
| FX min | -7.7 | 2.9 | 0.3 | FX min | -0.9 | 0.8 | -9.5 |
| FY max | 6.5 | 4.2 | 0.5 | FY max | 0.7 | 1.0 | -12.5 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 6.5 | 4.2 | 0.5 | FZ max | 0.3 | 0.3 | 0.0 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.9 | -12.6 |
| ELA | | | | | | | |
| A4-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A4-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 2.2 | 2.2 | 0.3 | FX max | 0.4 | 0.1 | -2.1 |
| FX min | -2.2 | 2.2 | 0.3 | FX min | -0.4 | 0.1 | -2.1 |
| FY max | -2.0 | 4.3 | 0.5 | FY max | 0.4 | 0.1 | -2.1 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | -0.2 | -0.8 | -5.6 |
| FZ max | -2.1 | 4.1 | 0.6 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | -0.2 | -0.8 | -5.6 |

L'ancrage A4-a est en réalité composé de 2 platines différentes :

- La platine type 1 reprend les efforts FY et FZ
- La platine type 2 reprend l'effort FX

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 37/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | | | | | |
|--------|-------------|-------------|-------------|--------|-------------|-------------|-------------|
| A12-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A12-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 3.5 | -3.4 | 0.0 | FX max | 3.6 | -0.5 | 0.0 |
| FX min | -3.5 | -3.4 | 0.0 | FX min | -3.6 | -0.5 | 0.0 |
| FY max | 2.9 | 3.9 | -2.0 | FY max | 2.0 | 0.7 | -1.7 |
| FY min | -3.0 | -4.0 | -2.0 | FY min | 2.0 | -0.9 | -1.7 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | -3.0 | -4.0 | -2.0 | FZ min | 2.0 | 0.7 | -1.7 |
| ELU | | | | | | | |
| A12-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A12-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 4.7 | -4.3 | 0.0 | FX max | 4.6 | -0.7 | 0.0 |
| FX min | -4.7 | -4.3 | 0.0 | FX min | -4.6 | -0.7 | 0.0 |
| FY max | 3.8 | 4.9 | -2.2 | FY max | 2.2 | 1.0 | -1.8 |
| FY min | -4.0 | -5.1 | -2.3 | FY min | 2.3 | -1.3 | -1.8 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | -4.0 | -5.1 | -2.3 | FZ min | 2.2 | 1.0 | -1.8 |
| ELA | | | | | | | |
| A12-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A12-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 2.6 | -3.3 | -1.8 | FX max | 1.9 | -1.1 | -1.6 |
| FX min | -2.4 | -3.0 | -1.8 | FX min | -1.9 | -0.7 | -1.6 |
| FY max | -2.1 | 2.8 | -1.8 | FY max | -1.8 | 0.3 | -1.6 |
| FY min | 2.6 | -3.3 | -1.8 | FY min | 1.9 | -1.1 | -1.6 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 2.3 | -3.1 | -1.9 | FZ min | 1.8 | -0.1 | -1.6 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 38/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | | | | | |
|--------|------------|-------------|------------|--------|------------|-------------|------------|
| A13-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A13-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 0.0 | -0.3 | 0.0 | FX max | 0.0 | -1.1 | 0.0 |
| FX min | 0.0 | -0.3 | 0.0 | FX min | 0.0 | -1.1 | 0.0 |
| FY max | 0.0 | 2.9 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.9 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | -3.1 | 0.0 | FY min | 0.0 | -1.2 | 0.0 |
| FZ max | 0.0 | -3.1 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.9 | 0.0 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ELU | | | | | | | |
| A13-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A13-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 0.0 | 3.3 | 0.0 | FX max | 0.0 | -1.6 | 0.0 |
| FX min | 0.0 | 3.3 | 0.0 | FX min | 0.0 | -1.6 | 0.0 |
| FY max | 0.0 | 4.3 | 0.0 | FY max | 0.0 | 1.2 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | -4.6 | 0.0 | FY min | 0.0 | -1.7 | 0.0 |
| FZ max | 0.0 | -4.6 | 0.0 | FZ max | 0.0 | -0.3 | 0.0 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ELA | | | | | | | |
| A13-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A13-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FX max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FX min | 0.0 | -2.0 | 0.0 | FX min | 0.0 | -1.1 | 0.0 |
| FY max | 0.0 | 1.5 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.3 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | -2.3 | 0.1 | FY min | 0.0 | -1.2 | 0.1 |
| FZ max | 0.0 | -2.3 | 0.1 | FZ max | 0.0 | -0.1 | 0.1 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 39/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | | | | | |
|--------|-------------|-------------|------------|--------|-------------|-------------|------------|
| A8-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A8-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 3.0 | -2.7 | 0.0 | FX max | 1.1 | -1.9 | 0.0 |
| FX min | -2.9 | -2.6 | 0.0 | FX min | -1.3 | -1.8 | 0.0 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 3.0 | -2.7 | 0.0 | FY min | -1.0 | -2.0 | 0.0 |
| FZ max | 3.0 | -2.7 | 0.0 | FZ max | -1.3 | -1.8 | 0.0 |
| FZ min | -2.9 | -2.6 | 0.0 | FZ min | 1.1 | -1.9 | 0.0 |
| ELU | | | | | | | |
| A8-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A8-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 4.0 | -3.6 | 0.0 | FX max | 1.6 | -2.7 | 0.0 |
| FX min | -3.8 | -3.5 | 0.0 | FX min | -1.9 | -2.5 | 0.0 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 4.0 | -3.6 | 0.0 | FY min | -1.5 | -2.8 | 0.0 |
| FZ max | 4.0 | -3.6 | 0.0 | FZ max | -1.9 | -2.5 | 0.0 |
| FZ min | -3.8 | -3.5 | 0.0 | FZ min | 1.6 | -2.7 | 0.0 |
| ELA | | | | | | | |
| A8-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A8-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 2.1 | -1.9 | 0.0 | FX max | 0.6 | -1.1 | 0.0 |
| FX min | -2.3 | -2.1 | 0.0 | FX min | -0.8 | -1.6 | 0.0 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | -2.3 | -2.1 | 0.0 | FY min | -0.6 | -1.7 | 0.0 |
| FZ max | -2.3 | -2.1 | 0.0 | FZ max | -0.8 | -1.6 | 0.0 |
| FZ min | -2.1 | -1.9 | 0.0 | FZ min | 0.5 | -1.1 | 0.0 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 40/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | | | | | |
|--------|-------------|-------------|-------------|--------|-------------|-------------|-------------|
| A9-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A9-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 4.9 | 2.7 | -3.2 | FX max | 2.5 | 1.5 | -3.7 |
| FX min | -4.5 | 2.3 | -2.7 | FX min | -2.4 | 0.4 | -5.0 |
| FY max | 2.8 | 2.7 | 0.0 | FY max | 1.1 | 1.6 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | -0.3 | -0.3 | -2.7 |
| FZ max | 1.1 | 1.1 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 4.9 | 2.7 | -3.2 | FZ min | -2.3 | 0.7 | -5.0 |
| ELU | | | | | | | |
| A9-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A9-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 6.8 | 3.2 | -4.4 | FX max | 3.5 | 1.8 | 4.8 |
| FX min | -6.3 | 3.0 | -3.6 | FX min | -3.6 | 0.6 | -6.8 |
| FY max | 3.5 | 3.3 | 0.0 | FY max | 1.7 | 1.9 | 0.0 |
| FY min | 4.5 | -0.1 | -4.4 | FY min | -0.4 | -0.4 | -3.2 |
| FZ max | 6.4 | 3.2 | 4.0 | FZ max | 3.5 | 1.8 | 4.8 |
| FZ min | 4.5 | -0.1 | -4.4 | FZ min | -3.6 | 0.6 | -6.8 |
| ELA | | | | | | | |
| A9-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A9-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 4.4 | 1.5 | -5.2 | FX max | 1.6 | 0.2 | -8.6 |
| FX min | -4.2 | 1.2 | -4.7 | FX min | -1.8 | -0.7 | -9.9 |
| FY max | 1.9 | 1.9 | 0.0 | FY max | 0.6 | 0.9 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | -1.7 | -0.9 | -9.9 |
| FZ max | -2.1 | 1.7 | 0.0 | FZ max | -0.8 | 0.4 | 0.0 |
| FZ min | 4.4 | 1.5 | -5.2 | FZ min | -1.7 | -0.6 | -9.9 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 41/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

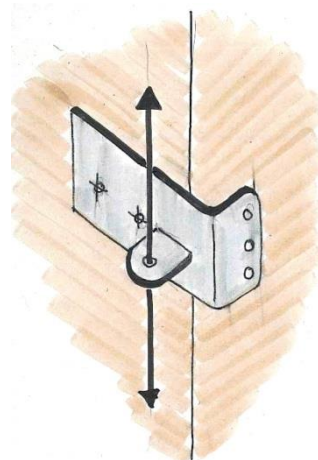
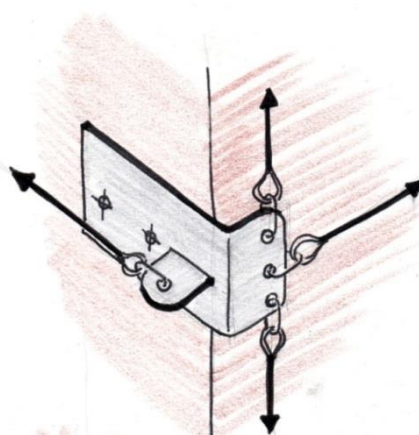
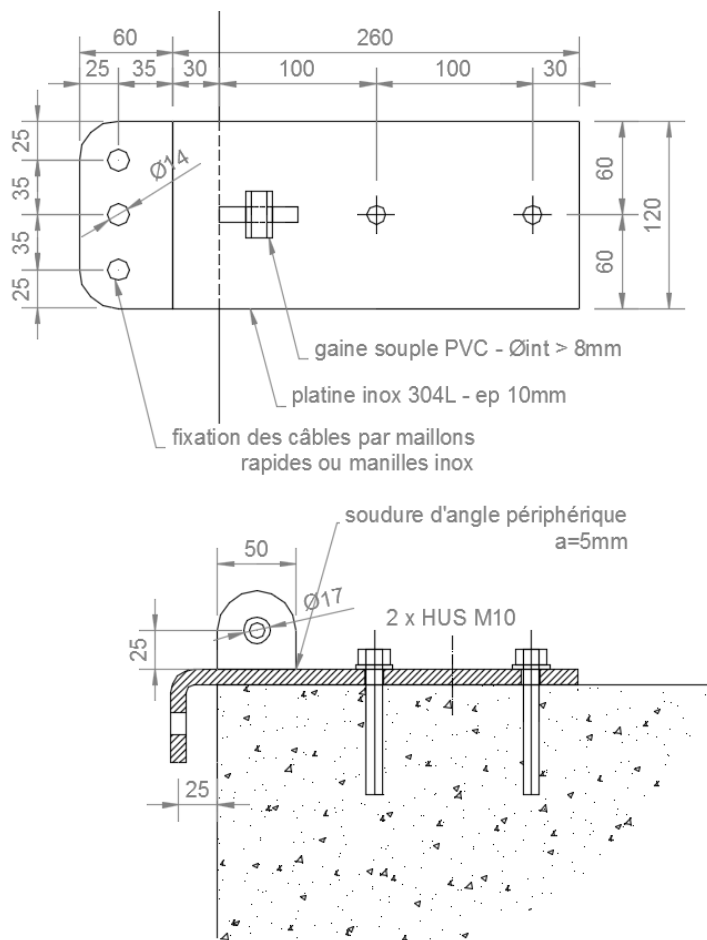
5.3.3. Vérification platine type 1

Cette platine peut recevoir 4 câbles d'orientations différentes et permet aux filets de franchir les arêtes de béton. Les câbles sont accrochés à la platine en L par l'intermédiaire de maillons rapides ou manilles. Ces derniers seront choisis afin d'être compatibles avec les dimensions de la cosse-cœur des câbles Ø8mm.

Les maillons / manilles utilisés sur les platines d'angle auront une résistance ultime ≥ 10 kN.

Les maillons / manilles utilisés sur les platines intermédiaires auront une résistance ultime ≥ 5 kN.

Les câbles filants sont passés directement dans le trou de l'oreille. Le trou est suffisamment surdimensionné pour pouvoir enfiler une gaine souple PVC d'un diamètre intérieur supérieur à celui du câble. Cette dernière permet d'éviter tout contact entre le câble et les bords du trou afin de ne pas l'abîmer par frottements.



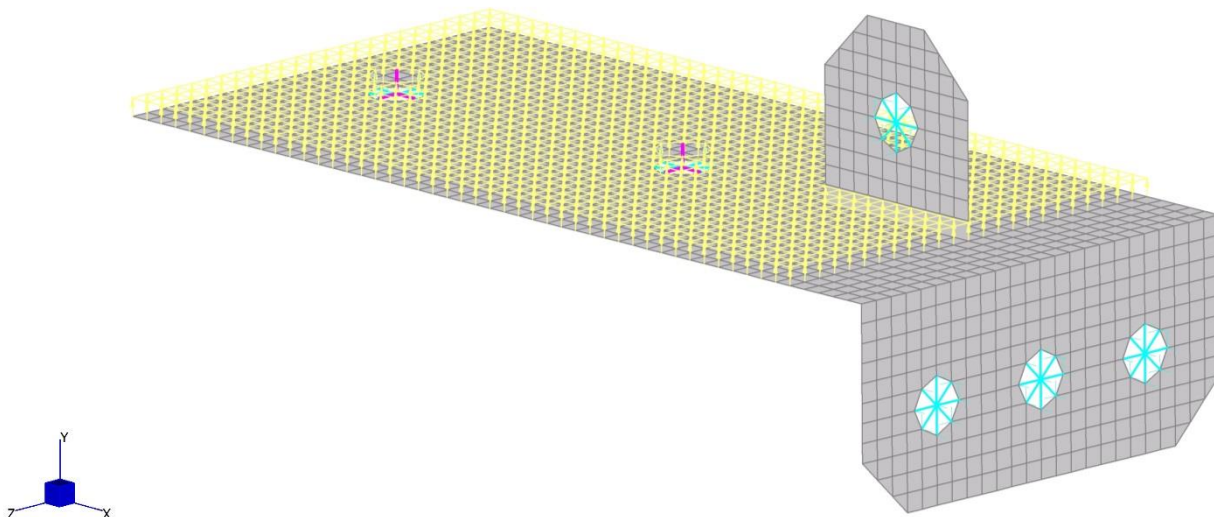
Les chevilles d'ancrage HUS-M10 sont justifiées avec l'utilitaire HILTI sous combinaisons ELU et ELA. Les efforts sont projetés dans le repère local de la platine et des moments sont ajoutés pour prendre en compte l'excentrement de la DDC par rapport au centre de l'ancrage. Le détail de la justification des chevilles figure en annexe.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 42/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Les taux de travail des fixations sont synthétisés dans le tableau suivant :

| | Ancrage | Taux travail chevilles |
|-------------------------|---------|------------------------|
| Filets F1 / F2a | A2-a | 61% |
| | A2-b | 12% |
| | A4-a | 11% |
| | A4-b | 51% |
| Filets F7a / F7b | A12-a | 86% |
| | A12-b | 23% |
| Filets F5a / F5b | A8-a | 56% |
| | A8-b | 25% |
| | A9-a | 96% |
| | A9-b | 49% |

La platine est vérifiée par le biais d'un modèle éléments finis avec Strand7.



Modèle de calcul de la platine type 1

Les tôles sont modélisées par des éléments surfaciques de type « plate » travaillant à la flexion.

Les conditions aux limites sont les suivantes :

- Blocage des 3 directions de translation DX / DY / DZ au droit des deux chevilles de fixation (croix roses sur l'image)
- Réalisation du contact avec la surface béton par un support surfacique ne travaillant qu'en compression (en jaune sur l'image)

Les efforts des combinaisons ELU et ELA sont appliqués au centre des trous où doivent se fixer les câbles, et transmis aux bords des trous par des éléments rigides :

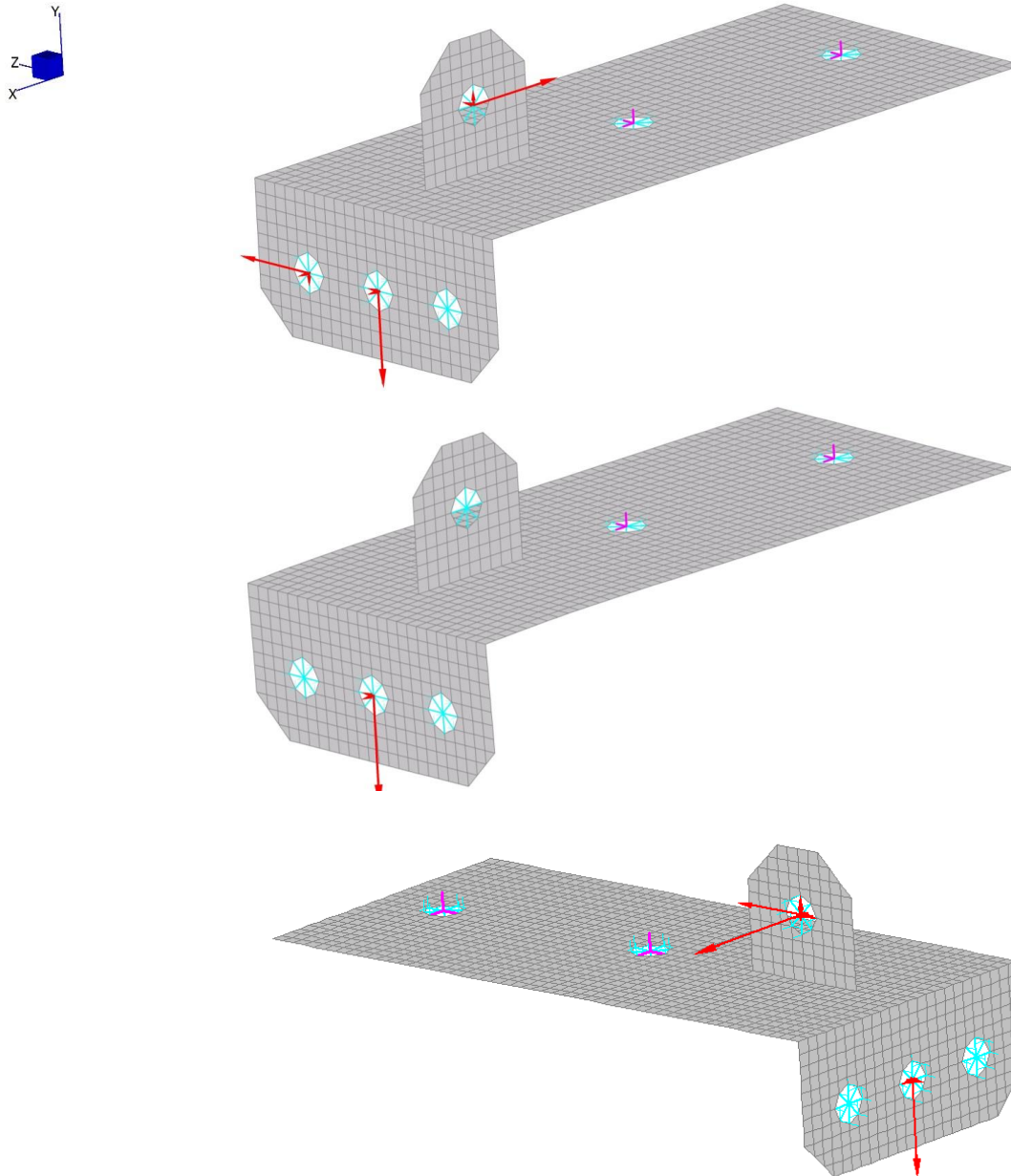
- L'oreille supérieure reprend les efforts selon X et Z selon les cas
- Le trou central du L ne reprend qu'un effort selon Y
- Les trous latéraux du L ne reprennent que des efforts selon Z

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 43/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

La direction des câbles pouvant ne pas être toujours parfaitement alignée avec ces 3 axes (comportement non-linéaire en grands déplacements), nous ajoutons sécuritairement une petite portion d'effort selon les axes secondaires égale à 10% de la direction principale.

Par exemple : en cas d'effort $F_X = 1\text{kN}$ sur l'oreille supérieure et $F_Y = 1\text{kN}$ sur le trou central du L, nous rentrons en fait les efforts suivants :

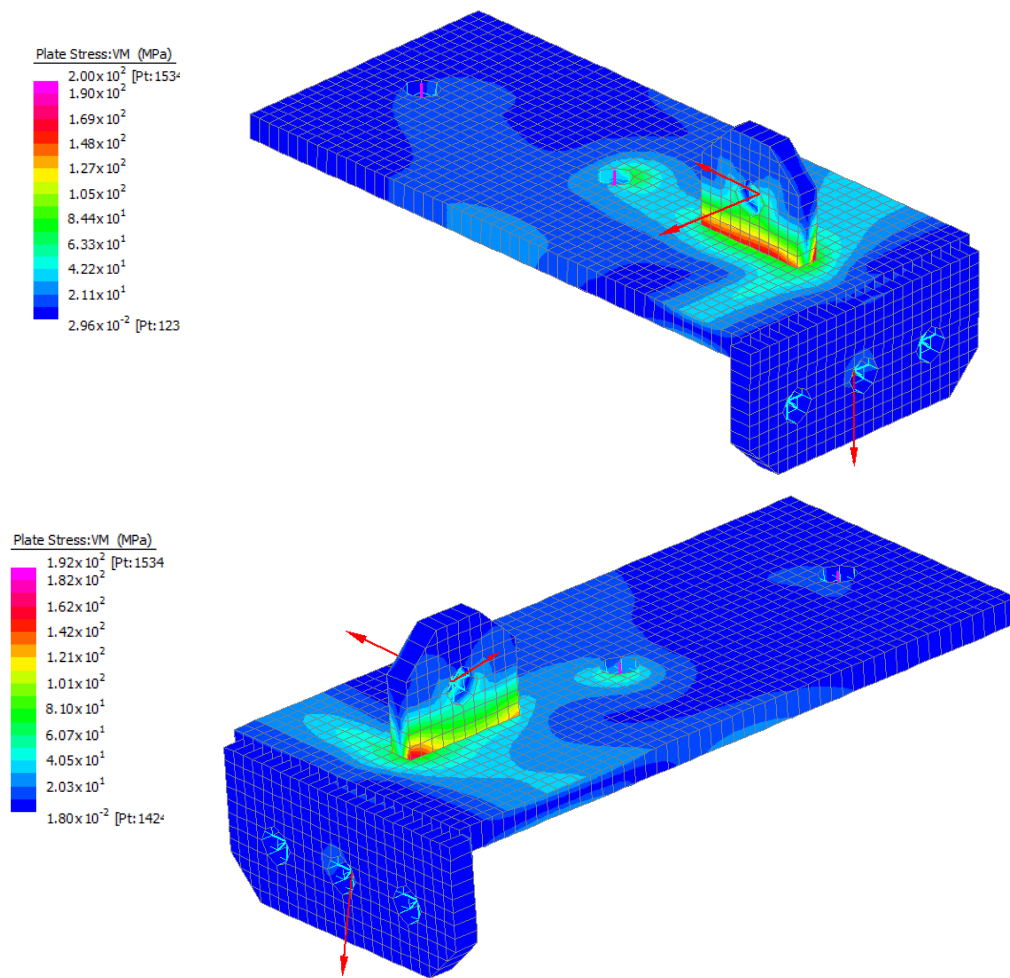
- sur l'oreille : $F_X = 1\text{kN}$, $F_Y = F_Z = 0.1\text{kN}$
- sur le trou du L : $F_Y = 1\text{kN}$, $F_X = F_Z = 0.1\text{kN}$



Modèle de calcul de la platine type 1 - exemple de cas de charges

Les contraintes de VonMises sont calculées dans la platine pour les cas enveloppes de chaque ancrage. Les images ci-après présentent simplement deux cas, dont celui donnant la plus forte contrainte dans les tôles :

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 44/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle de calcul de la platine type 1 - Contraintes de VonMises pour ancrage A9a (en haut) et A12a (en bas)

La contrainte maximale relevée sous la combinaison la plus défavorable (ancrage A9a) est de 200MPa. Le taux de travail des tôles est donc de **100%**.

La soudure de l'oreille sur la platine est vérifiée sous efforts enveloppes :

| | | | |
|-------------------------|-------------------------------|------|-------|
| Soudures de l'oreille : | $f_{uw} =$ | 520 | MPa |
| | $\beta_w =$ | 1.00 | |
| | $0.9 f_u / \gamma_{M2} =$ | 374 | MPa |
| | $\beta_w f_u / \gamma_{M2} =$ | 416 | MPa |
| Type de soudure : | cordon d'angle | | |
| | $n =$ | 2 | |
| | $a_w =$ | 5 | mm |
| | $L_w =$ | 50 | mm |
| Efforts enveloppes : | $N_t =$ | 0.4 | kN |
| | $T_y =$ | 4.3 | kN |
| | $T_z =$ | 6.8 | kN |
| | $M_y =$ | 170 | kN.mm |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 45/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| | | | |
|----------------|-----------------------------------|-----|-------|
| | $M_z =$ | 108 | kN.mm |
| Vérification : | $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$ | 64 | MPa |
| | $\tau_{//} =$ | 9 | MPa |
| | $\sigma_{VM} =$ | 129 | MPa |
| | taux travail = | 31% | |



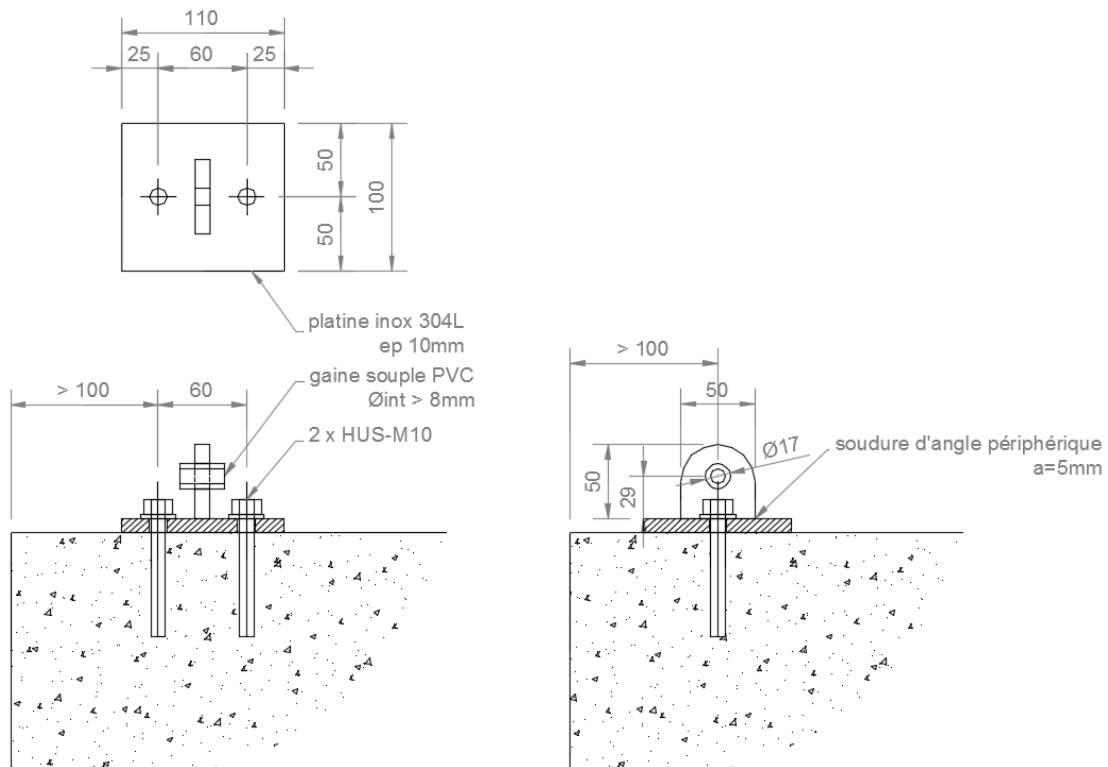
5.3.4. Vérification platine type 2

Ce 2^e type est destiné à servir d'ancrage d'extrémité pour un à trois câbles ou d'appui intermédiaire pour un câble continu. Les câbles sont accrochés à l'oreille par l'intermédiaire d'un maillon rapide ou d'une manille. Ces derniers seront choisis afin d'être compatibles avec les dimensions de la cosse-cœur des câbles Ø8mm et le nombre de câbles à reprendre.

Les maillons / manilles utilisés sur les platines d'angle auront une résistance ultime ≥ 10 kN.

Les maillons / manilles utilisés sur les platines intermédiaires auront une résistance ultime ≥ 5 kN.

Les câbles filants sont passés directement dans le trou de l'oreille. Le trou est suffisamment surdimensionné pour pouvoir enfiler une gaine souple PVC d'un diamètre intérieur supérieur à celui du câble. Cette dernière permet d'éviter tout contact entre le câble et les bords du trou afin de ne pas l'abîmer par frottements.



Les chevilles d'ancrage HUS-M10 sont justifiées avec l'utilitaire HILTI sous combinaisons ELU et ELA. Les efforts sont projetés dans le repère local de la platine et des moments sont ajoutés pour prendre en compte l'excentrement de la DDC par rapport au centre de l'ancrage. Le détail de la justification des chevilles figure en annexe.

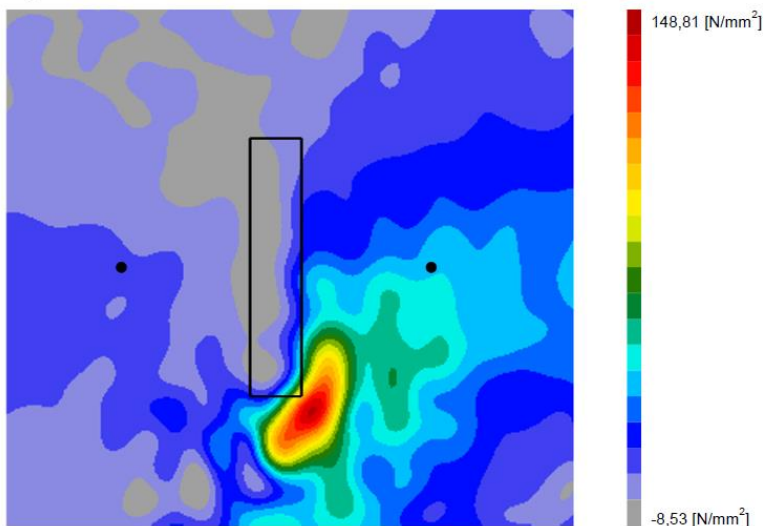
| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 46/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Les taux de travail des fixations sont synthétisés dans le tableau suivant :

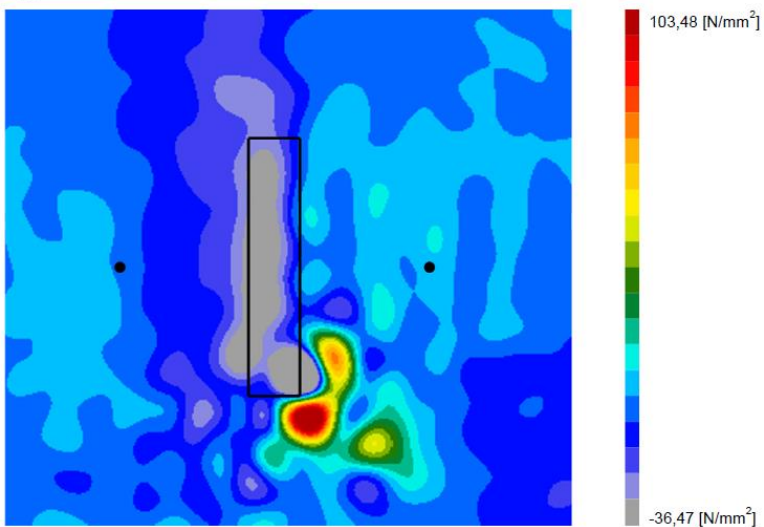
| | Ancrage | Taux travail chevilles |
|------------------|---------|------------------------|
| Filets F21 / F2a | A1-a | 77% |
| | A1-b | 19% |
| | A3-a | 59% |
| | A3-b | 19% |
| | A4-a | 37% |
| Filets F7a / F7b | A13-a | 20% |
| | A13-b | 7% |

La platine est vérifiée par l'utilitaire Profis Engineering de HILTI, et l'oreille soudée est vérifiée manuellement. Les contraintes principales maximales dans la platine sont relevées pour l'ancrage A1-a :

Distribution des contraintes σ_{11}



Distribution des contraintes σ_{22}

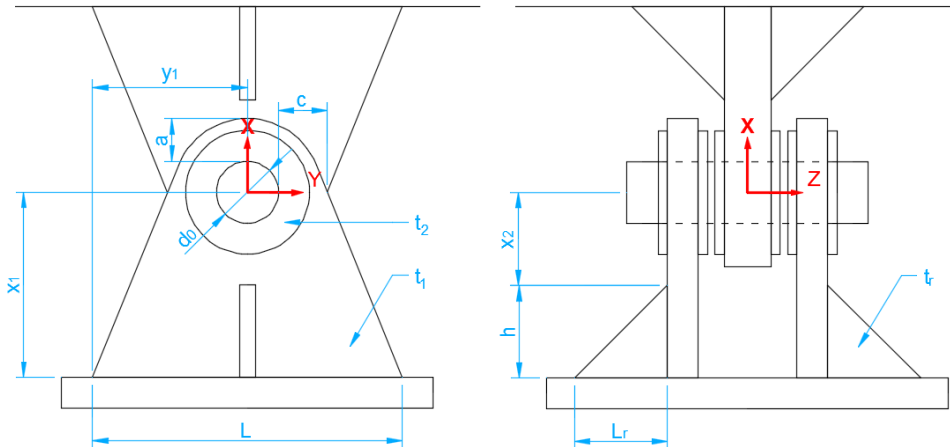


| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 47/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Nous déduisons la contrainte de Von Mises à partir des contraintes principales : $\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 - \sigma_{11}\sigma_{22}}$
La contrainte maximale est donc 132MPa et le taux de travail des tôles est donc de **66%**.

L'oreille est justifiée ci-dessous pour le cas le plus défavorable (ancrage A3-a) :

Pont Albert Louppe - oreille platine type 2



1. Efforts

1.1. Efforts ELU

| | A3-a | |
|-----------|------|----|
| $F_{x,t}$ | 7.3 | kN |
| $F_{x,c}$ | 0.0 | kN |
| F_y | 0.6 | kN |
| F_z | 3.7 | kN |

$\rightarrow F_{Ed} = 8.2 \text{ kN}$

2. Caractéristiques géométriques

2.1. Axe

Diamètre : $d = 8.0 \text{ mm}$

2.2. Chape simple

Diamètre du trou : $d_0 = 17.0 \text{ mm}$

Pinces : $a = 16.5 \text{ mm}$

$c = 16.5 \text{ mm}$

Longueur en pied : $L = 50.0 \text{ mm}$

Epaisseur chape : $t_1 = 10.0 \text{ mm}$

Surépaisseur rondelles : $t_2 = 0.0 \text{ mm}$

Bras de levier axe/pied : $x_1 = 30.0 \text{ mm}$

Bras de levier axe/raidisseur : $x_2 = 0.0 \text{ mm}$

Position du trou : $y_1 = 25.0 \text{ mm}$

Matériau : Acier = 304L

$f_y = 200 \text{ MPa}$

$f_u = 520 \text{ MPa}$

3. Vérification de l'assemblage

3.1. Vérification géométrique (NF EN 1993-1-8 §3.13 Tableau 3.9)

Chape simple : $a > 13.2 \text{ mm}$ **Ok**
 $c > 11.5 \text{ mm}$ **Ok**

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénét | E | 14/06/2021 | 48/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| 3.3. Vérification de la chape simple et de ses raidisseurs | | | | 76% |
|---|------------------|---------|--------|-------------------|
| Pression diamétrale : | $F_{b,Rd} =$ | 24.0 kN | \geq | $F_{Ed} =$ 8.2 kN |
| | $F_{b,Rd,ser} =$ | - | \geq | $F_{Ed,ser} =$ - |
| | $f_{h,Rd} =$ | - | \geq | - |
| Résistance de la chape au droit du trou : | $\sigma_N =$ | 22 MPa | | |
| | $\tau_{Ty} =$ | 2 MPa | | |
| | $\tau_{Tz} =$ | 11 MPa | | |
| | $\sigma_{VM} =$ | 30 MPa | $<$ | $f_y =$ 200 MPa |
| Résistance de la chape en pied ou en tête des raidisseurs : | $\sigma_N =$ | 15 MPa | | |
| | $\sigma_{My} =$ | 133 MPa | | |
| | $\sigma_{Mz} =$ | 4 MPa | | |
| | $\tau_{Ty} =$ | 1 MPa | | |
| | $\tau_{Tz} =$ | 7 MPa | | |
| | $\sigma_{VM} =$ | 153 MPa | $<$ | $f_y =$ 200 MPa |

La soudure de l'oreille sur la platine est vérifiée sous efforts enveloppes :

| | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|------|-------|
| Soudures de l'oreille : | $f_{uw} =$ | 520 | MPa |
| | $\beta_w =$ | 1.00 | |
| | $0.9 f_u / \gamma_{M2} =$ | 374 | MPa |
| | $\beta_w f_u / \gamma_{M2} =$ | 416 | MPa |
| Type de soudure : | cordon d'angle | | |
| | $n =$ | 2 | |
| | $a_w =$ | 5 | mm |
| | $L_w =$ | 50 | mm |
| Efforts : | $N_t =$ | 7.3 | kN |
| | $T_y =$ | 7.7 | kN |
| | $T_z =$ | 3.7 | kN |
| | $M_y =$ | 111 | kN.mm |
| | $M_z =$ | 231 | kN.mm |
| Vérification : | $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$ | 78 | MPa |
| | $\tau_{//} =$ | 15 | MPa |
| | $\sigma_{VM} =$ | 158 | MPa |
| | taux travail = | 38% | |

| | | | | | |
|---------------|--------------------|-----------|---------|------------|---------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 49/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



6. CONCLUSION

L'objet de la présente note est le dimensionnement des filets de type F1 / F2a / F5a / F5b / F7a / F7b.

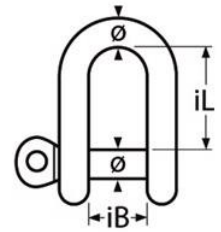
- Le coefficient de sécurité minimum des filets est de 2.1, ce qui est supérieur à 2
⇒ les filets sont donc correctement dimensionnés
- Le coefficient de sécurité minimum des câbles de pourtour est de 6.8, ce qui est supérieur à 2
⇒ Les câbles sont donc correctement dimensionnés
- Le taux de travail maximal des ancrages est de 100% (96% pour les chevilles, 100% pour la platine de type 1, 76% pour la platine de type 2)
⇒ Les ancrages sont donc correctement dimensionnés

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 50/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

7. ANNEXE 1

Cette annexe présente les fiches techniques des produits suivants :

- Manille inox Ø12mm pour extrémité de câbles (CMU \approx 1t)
- Manille inox Ø10mm (CMU \approx 0.5t) et maillon rapide inox Ø12mm pour câbles filants (CMU \approx 0.8t)



TYPE DE MATERIEAU : ACIER INOX A4 – AISI 316

LARGEUR INTERIEUR : 24MM

LONGUEUR INTERIEUR : 44MM

DIAMETRE DU MATERIEAU : 12MM

CHARGE DE RUPTURE : 6600 Kg

Type de matériau :

Largeur intérieure (iB) :

Longueur intérieure (iL) :

Diamètre du matériau (ø) :

Charge de rupture en KG :

MTProduktMaterial :

Acier Inox A4

20

36

10

4300

Acier Inox A4 - AISI 316



Caractéristiques techniques

Type de matériau :

Largeur intérieure (iB) :

Longueur intérieure (iL) :

Diamètre du matériau (ø) :

Largeur de l'ouverture (C) :

Charge de rupture en KG :

MTProduktMaterial :

Acier inox A4

21

72

10

12

3100

Acier inox A4 - AISI 316

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 51/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



8. ANNEXE 2

Les pages suivantes présentent les notes de calcul détaillées des différents ancrages.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 02 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | E | 14/06/2021 | 52/52 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Client :

JARNIAS
Les experts de la hauteur



PROTECTION PROVISOIRE DU PONT ALBERT LOUPPE

PHASE EXE

Note de justification - NDC 03

Affaire N° 2021



| | | | | |
|-----|------------|----------|------------|------------|
| B | 14/06/2021 | G. Bénet | M. Simonin | M. Bergomi |
| REV | DATE | EMIS | VERIFIE | APPROUVE |

GESTION DES MODIFICATIONS

| Rev. | Date | Motif de la modification | Pages |
|------|------------|--|-------|
| A | 28/05/2021 | Première émission | 91 |
| B | 14/06/2021 | Mise à jour suite à la FO n°10 + ajout type F4c sur demande client | 104 |

DOCUMENTS DE REFERENCE

- [1] Note d'hypothèse NDC 01 ind.E
- [2] Plans de principe de la protection ind.G
- [3] Schémas des platines d'ancrage ind.A
- [4] Note de calcul NDC 02 E

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 2/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

SOMMAIRE

| | |
|--|------------|
| 1. INTRODUCTION | 4 |
| 2. HYPOTHESES GENERALES DE CALCUL | 5 |
| 2.1. Normes et Règlements | 5 |
| 2.2. Logiciels de calcul..... | 5 |
| 3. CARACTERISTIQUES DE LA STRUCTURE DE PROTECTION | 6 |
| 3.1. Dimensions du système | 6 |
| 3.2. Matériaux et sections | 9 |
| 4. MODELISATION | 10 |
| 4.1. Modèle n°4 - Filets F3 | 10 |
| 4.2. Modèle n°5 - Grillages F4a..... | 13 |
| 4.3. Modèle n°6 - Grillages F4b..... | 20 |
| 4.4. Modèle n°7 - Filets F2b | 25 |
| 4.5. Modèle n°8 - Grillages F6b..... | 31 |
| 4.6. Modèle n°9 - Filets F6a | 35 |
| 4.7. Modèle n°10 - Grillages F4c | 40 |
| 5. RESULTATS | 46 |
| 5.1. Vérification des filets / grillages..... | 46 |
| 5.2. Vérification des câbles | 61 |
| 5.3. Vérification des platines d'ancrage..... | 61 |
| 6. CONCLUSION | 102 |
| 7. ANNEXE 1 | 103 |
| 8. ANNEXE 2 | 104 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 3/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

1. INTRODUCTION

Cette note présente la justification du système de protection temporaire du pont Albert Louppe. Le système consiste à mettre en place des filets provisoires afin de retenir les blocs et épaufrures de béton qui se décrochent de l'ouvrage.

L'ouvrage est un viaduc en béton armé de 888m de longueur, qui franchit l'Elorn à son embouchure entre Le Relecq-Kerhuon et Plougastel. Il a été reconstruit en 1949, puis élargi en 1960.

Il est constitué de 3 arcs de 184m de portée chacun, de 8 travées d'accès sur palées de chaque côté, et sa largeur totale est de 12.6m. Il comporte deux tabliers : un tablier routier (tablier principal), et un tablier inférieur destiné à la circulation ferroviaire qui n'a jamais été mis en service.



Localisation du projet (© Géoportail)

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 4/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

2. HYPOTHESES GENERALES DE CALCUL

2.1. Normes et Règlements

Les règlements de calculs à appliquer sont les Eurocodes ainsi que les annexes nationales :

- NF EN 1990 : Bases de calculs des structures, et ses Annexes Nationales
- NF EN 1991-1-1 : Actions sur les structures, Partie 1 : Actions générales – Poids volumique, poids propres, charges d'exploitation dans les bâtiments, et son Annexe Nationale
- NF EN 1991-1-4 : Actions sur les structures, Partie 1-4 : Actions générales – Actions du vent, et son Annexe Nationale
- NF EN 1991-1-5 : Actions sur les structures, Partie 1-4 : Actions générales – Actions thermiques, et son Annexe Nationale
- NF EN 1992 : Eurocode 2 - Calcul des structures en béton
- NF EN 1993 : Eurocode 3 - Calcul des structures en acier
- NF EN 1993-1-1 : Calcul des structures en acier, Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments, et son Annexe Nationale
- NF EN 1993-1-4 : Calcul des structures en acier, Partie 1-1 : Règles générales - règles supplémentaires pour les aciers inoxydables
- NF EN 1993-1-8 : Calcul des structures en acier, Partie 1-8 : Calcul des assemblages, et son Annexe Nationale
- NF EN 1993-1-11 : Calcul des structures en acier, Partie 1-11 : Calcul des structures à câbles ou éléments tendus, et son Annexe Nationale

2.2. Logiciels de calcul

Le modèle 3D utilisé pour le dimensionnement de la structure est réalisé à l'aide du logiciel Strand7, version 2.4.6. Ce dernier permet de modéliser des structures au comportement géométrique non linéaire, comme les câbles et membranes.

La vérification des chevilles d'ancrage est réalisée à l'aide de l'utilitaire PROFIS Engineering 3.0.68 de HILTI.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 5/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

3. CARACTERISTIQUES DE LA STRUCTURE DE PROTECTION

B

3.1. Dimensions du système

Cette note justifie les typologies de filet suivantes :

- F3 : filet vertical entre palées des arcs
- F4a : grillage horizontal en sous-face du tablier routier
- F2b : filet vertical en partie supérieure du tablier ferroviaire
- F4b : grillage vertical en partie inférieure du tablier ferroviaire
- F4c : grillage vertical et sous-face du tablier ferroviaire entre P8 et palée d'arc
- F6a : filet vertical aux extrémités du tablier ferroviaire
- F6b : grillage horizontal en sous-face des extrémités du tablier ferroviaire

NB : les autres filets sont justifiés dans la note NDC 02 [4].

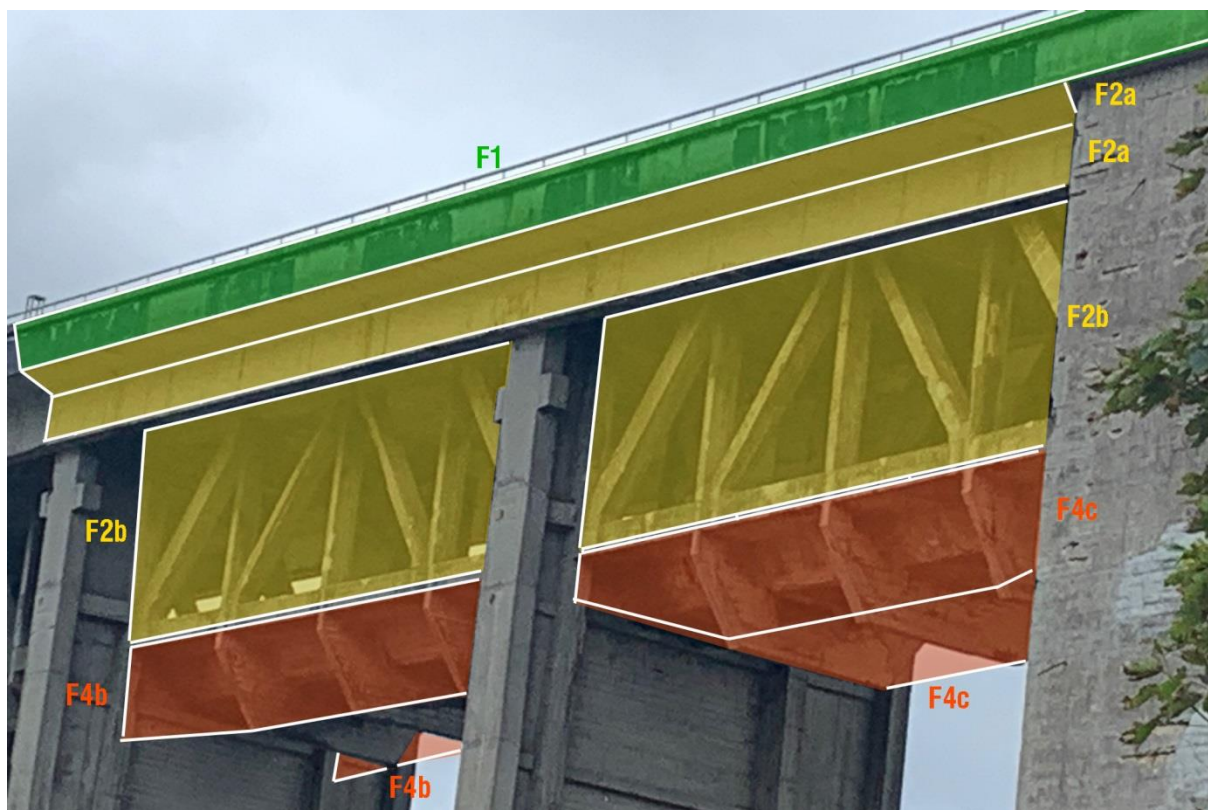
Les photos suivantes présentent les principes de pose des filets (une couleur par type de filet) et la position des câbles de pourtour qui délimitent les différents filets (en blanc).

Se reporter également aux plans de principe [2].



Principe de pose des filets F4a sur le tablier routier et sur piles

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 6/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

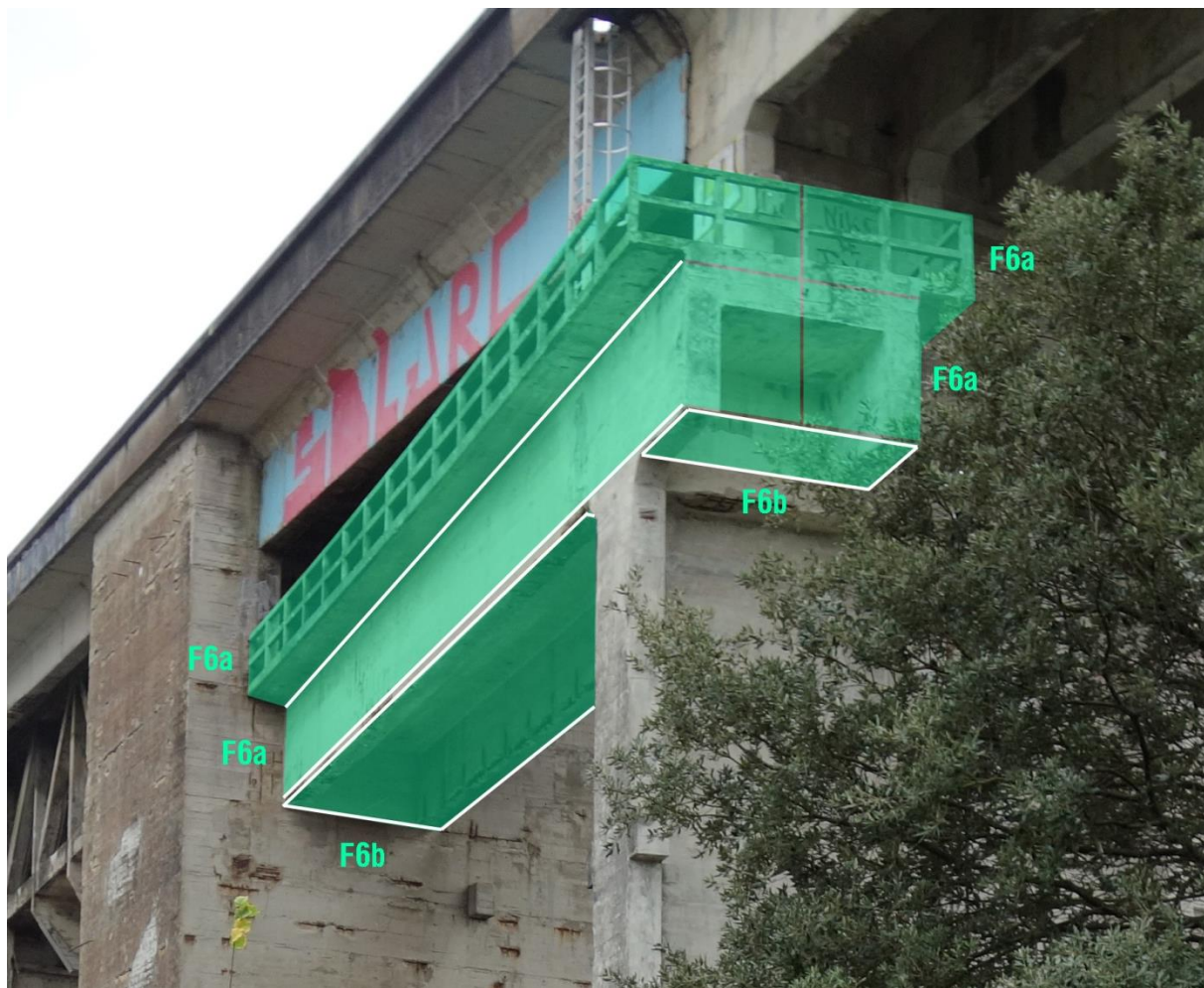


Principe de pose des filets F2b et F4b sur le tablier ferroviaire en partie courante (à gauche) et des filets F2b et F4c entre P8 et la grande palée d'arc (à droite)



Principe de pose des filets F3 sur les arcs entre palées

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 7/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Principe de pose des filets F6 sur l'extrémité du tablier ferroviaire

Les dimensions des filets de ces typologies peuvent varier, aussi les longueurs et entraxes indiqués dans les plans sont des valeurs maximales, justifiées dans la présente note. Tout filet plus petit est automatiquement validé.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 8/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

3.2. Matériaux et sections

3.2.1. Câbles

Les câbles sont en acier inoxydable (cf. note d'hypothèses).
Les sections utilisées et leur résistance sont les suivantes :

| Diamètre (mm) | Section (mm ²) | Effort à rupture (kN) |
|---------------|----------------------------|-----------------------|
| 8 | 26.5 | 38 |

3.2.2. Filets

Les filets F2b, F3 et F6a sont des nappes polyamide (cf. note d'hypothèses).
La limite à rupture est de 20kN/m.

3.2.3. Grillages

Les filets F4a, F4b, F4c et F6b sont des grillages double torsion en acier galvanisé doublé d'une gaine plastique (cf. note d'hypothèses).
La limite à rupture est 55 kN/ml.

3.2.4. Platines d'ancrage

Les platines d'ancrage sont acier inoxydable 304L d'épaisseur 10 ou 12mm. Nous rappelons les résistances de cette nuance :

- $f_y = 200$ MPa
- $f_u = 520$ MPa

Cinq types de platines sont utilisés (cf. schémas [3]):

- Type 1 : platine en L avec oreille soudée, fixée dans le béton par 2 chevilles HILTI HUS-M10
- Type 2 : platine carrée avec oreille soudée, fixée dans le béton par 2 chevilles HILTI HUS-M10
- Type 3 : platine avec montant en U soudé, fixée dans le béton par 4 chevilles HILTI HUS-M10
- Type 4 : platine rectangulaire avec oreille soudée, fixée dans le béton par 4 chevilles HILTI HUS-M10
- Type 5 : platine carrée avec oreille soudée, fixée dans le béton par 4 chevilles HILTI HUS-M10
- Type 6 : platine rectangulaire avec oreille soudée, fixée dans le béton par 2 chevilles HILTI HUS-M10

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 9/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4. MODELISATION

4.1. Modèle n°4 - Filets F3

4.1.1. Géométrie

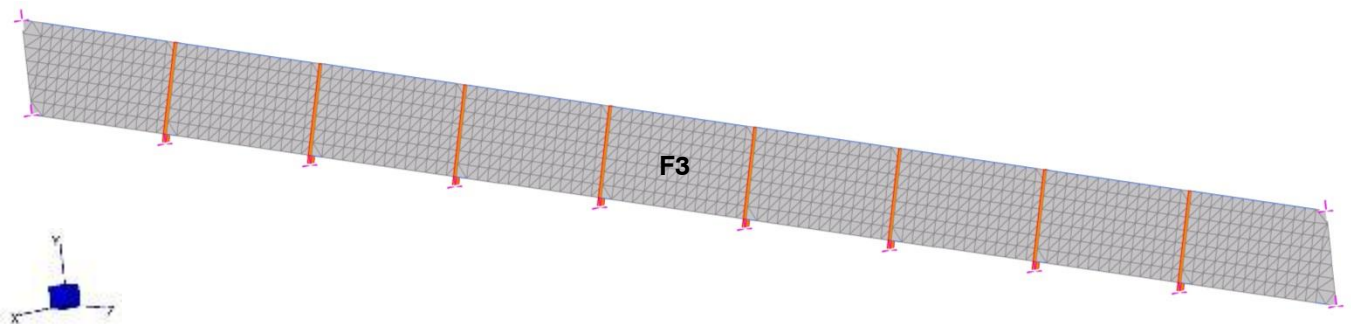
Les filets sont calculés à l'aide d'un modèle éléments finis en trois dimensions, dont le repère est le suivant :

- FX : axe longitudinal du pont
- FY : axe vertical
- FZ : axe transversal au tablier du pont

Les filets sont modélisés sur un seul côté de l'arc (l'autre côté étant symétrique).

Le nombre de filets dans le modèle est :

- 1 filet F3



Modèle n°4 - filets

Les dimensions des filets modélisés sont les dimensions maximales présentées dans les plans de principe en référence [2] :

| Filets | Longueurs (m) | Largeurs (m) | Surface totale (m ²) |
|--------|---------------|--------------|----------------------------------|
| F3 | 16 | 1.1 | 17.6 |

Les câbles de pourtour des filets sont continus d'un ancrage à l'autre. Ils sont maintenus régulièrement par les montants intermédiaires qui ne les empêchent pas de glisser selon leur axe.

Les entraxes des points d'appui modélisés sont les valeurs maximales présentées dans les plans [2] :

- selon X : 2m

Les câbles de pourtour pour chaque filet sont :

- câbles C1

NB : La largeur des filets est petite par rapport à leur longueur, et après étude nous avons constaté que la tension dans ces filets était suffisamment faible pour pouvoir se passer de câbles inox sur les petits côtés. Aussi nous modélisons un élément filaire ayant des propriétés similaires à la ralingue des filets.

Le nombre de câbles dans le modèle est :

- 2 câbles C1

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 10/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Les câbles de pourtour des filets sont modélisés par des éléments filaire (1D) de type « câble », ne travaillant qu'en traction. Un attribut de type « string group » permet de modéliser le passage du câble dans la drisse qui lace le filet et dans les appuis intermédiaires sans reprendre les efforts de tension.

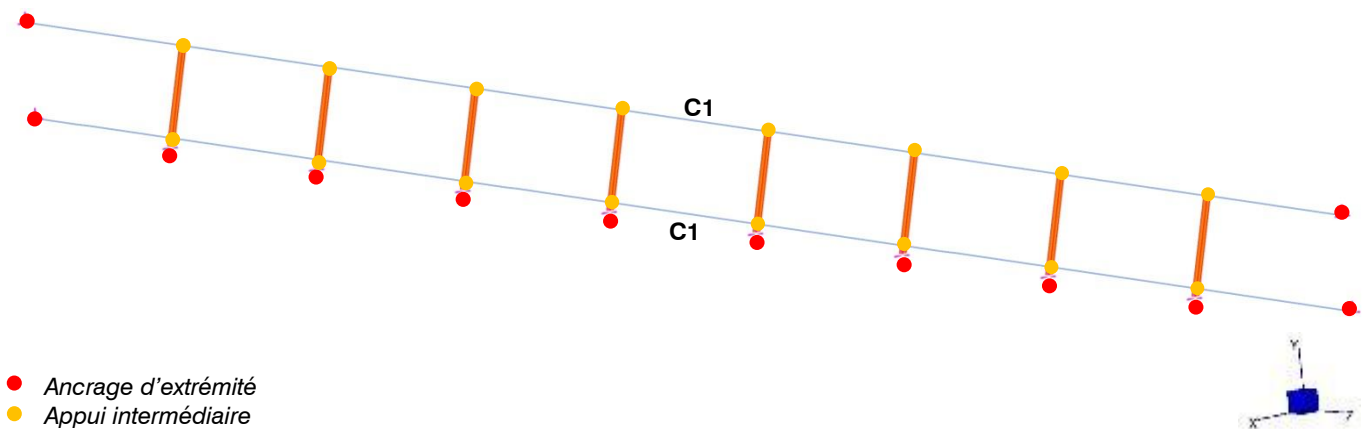
Les filets sont modélisés par des éléments surfaciques (2D) de type « membrane », ne travaillant qu'en traction également.

Les montants intermédiaires sont modélisés par des éléments filaires (1D) de type « beam » travaillant en flexion.

2 types d'appuis sont utilisés dans ce modèle :

- Appui fixe : blocage des 3 DDL en translation (+ 3 DDL en rotation pour les montants)
- Appui intermédiaire : blocage de 2 DDL en translation

L'image suivante présente les câbles et leurs différentes conditions d'appui.



Modèle n°4 - câbles de pourtour et symbolisation et appuis

4.1.2. Application des charges

Le poids propre des filets et câbles est généré automatiquement par le logiciel en fonction des masses volumiques et surfaciques indiquées dans les caractéristiques des matériaux. Conformément à la note d'hypothèses, il est majoré par un facteur de 1.1 pour prendre en compte le poids des assemblages et extrémités de câbles non modélisés.

Une prétension de 1.0kN est appliquée initialement à tous les câbles.

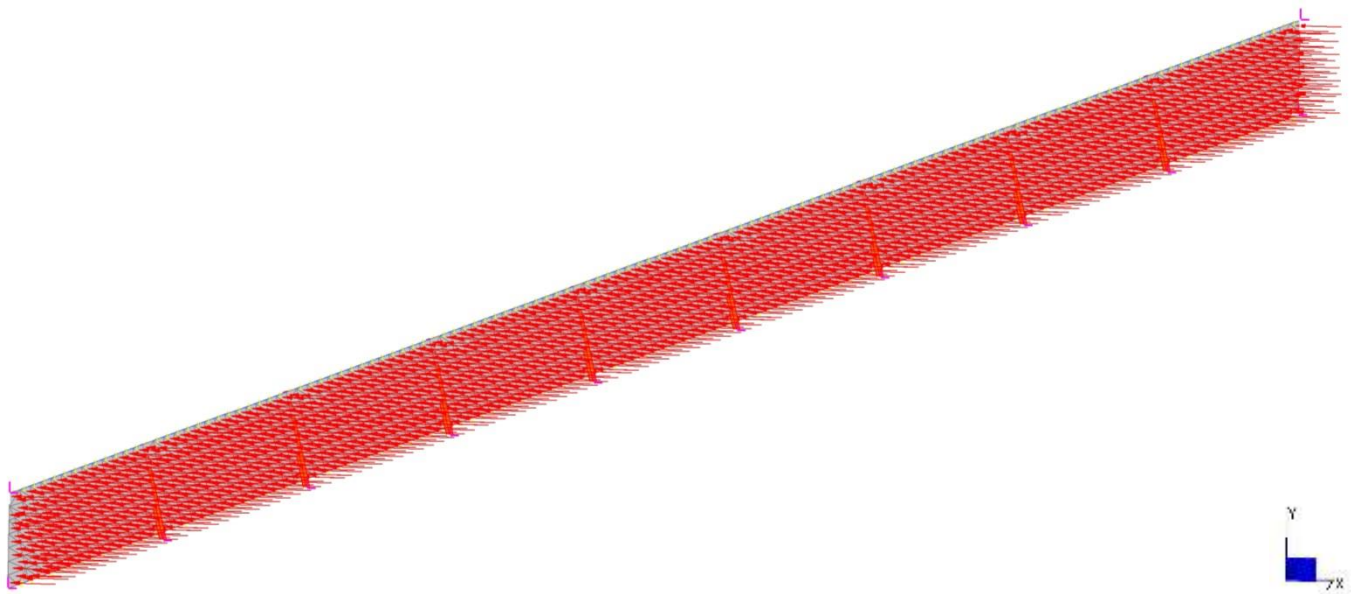
Les variations de température sont appliquées à chaque nœud du modèle : +/- 25°C.

Le pont n'étant pas modélisé, nous calculons les allongements relatifs du système de protection par rapport au pont en retranchant le module de dilatation α du béton à ceux des câbles et des filets.

La pression de vent de 0.66kN/m² est appliquée selon la normale de l'élément surfacique dans la direction transversale (voir image ci-après).

Ces filets servent à parer les petits morceaux de béton qui se détacheraient d'un bloc après une chute sur l'extrados de l'arc. Ces cas accidentels génèrent des efforts dans le filet bien inférieurs à ceux du vent, aussi nous les négligeons.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 11/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle n°4 - Pression de vent

4.1.3. Charges résultantes

Le tableau suivant récapitule les charges totales appliquées dans le modèle :

| | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
|---------------------------|------------|-------------|------------|
| Poids propre (G) : | | | |
| F3 | 0.0 | -0.7 | 0.0 |
| Total G : | 0.0 | -0.7 | 0.0 |
| Vent (V) : | | | |
| F3 | 0.0 | 11.6 | 0.0 |
| Total V : | 0.0 | 11.6 | 0.0 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 12/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.2. Modèle n°5 - Grillages F4a

4.2.1. Géométrie

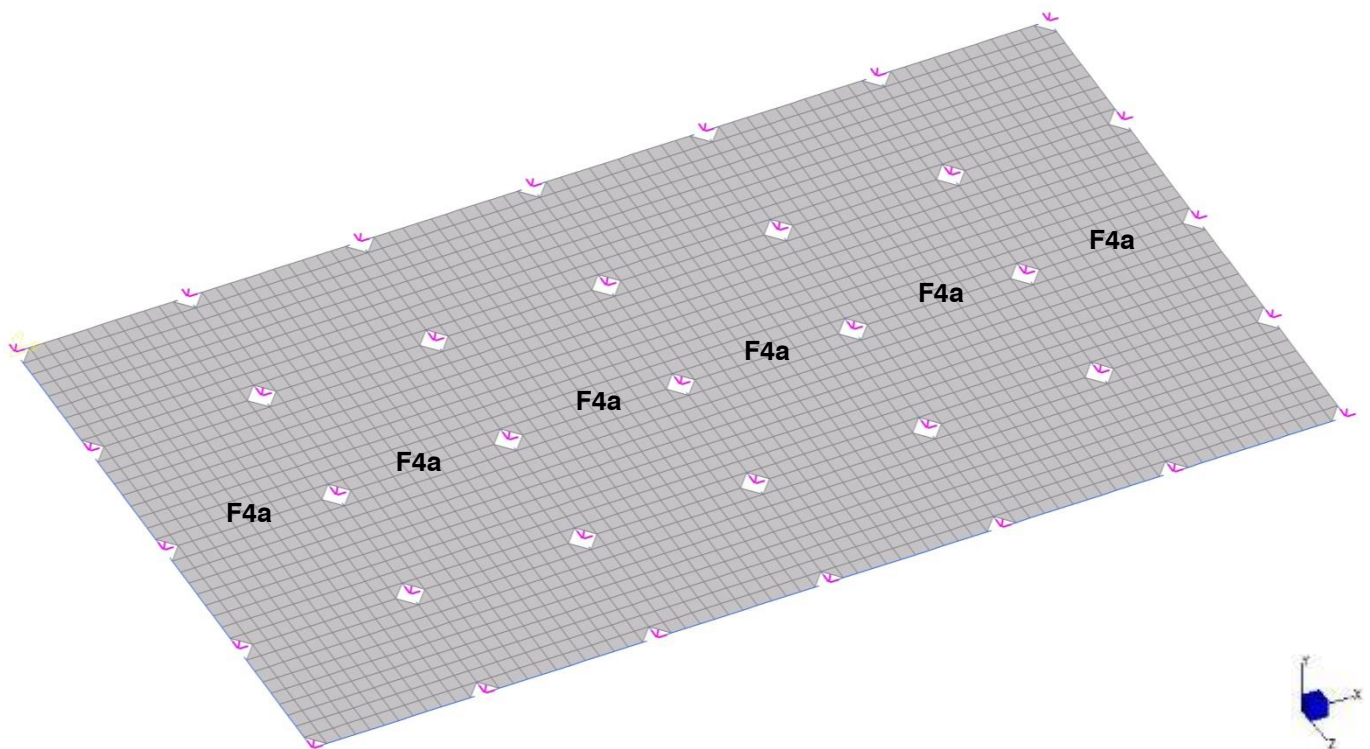
Les grillages sont calculés à l'aide d'un modèle éléments finis en trois dimensions, dont le repère est le suivant :

- FX : axe longitudinal du pont
- FY : axe vertical
- FZ : axe transversal au tablier du pont

Seuls les grillages F4a sont modélisés étant donné qu'ils sont indépendants des filets F1 et F2a (câbles et ancrages propres).

Le nombre de grillages dans le modèle est :

- 6 grillages F4a



Modèle n°5 - grillages

Les dimensions des grillages modélisés sont les dimensions maximales présentées dans les plans de principe en référence [2] :

| Grillages | Longueurs (m) | Largeurs (m) | Surface totale (m ²) |
|-----------|---------------|--------------|----------------------------------|
| F4a | 9 | 6 x 3 | 162 |

Les câbles de pourtour des grillages sont continus d'un ancrage à l'autre. Ils sont maintenus régulièrement par des appuis intermédiaires qui ne les empêchent pas de glisser selon leur axe.

Les entraxes des points d'appui modélisés sont les valeurs maximales présentées dans les plans [2] :

- selon X : 3m
- selon Z : 2.1m à 2.5m

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 13/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Les câbles de pourtour pour chaque grillage sont :

- câbles C2, C3 en partie courante / câbles C1, C2, C3 aux extrémités

Le nombre de câbles dans le modèle est :

- 2 câbles C1
- 5 câbles C2
- 2 câbles C3

Les câbles de pourtour des grillages sont modélisés par des éléments filaire (1D) de type « câble », ne travaillant qu'en traction. Un attribut de type « string group » permet de modéliser le passage du câble dans les mailles du grillage et dans les appuis intermédiaires sans reprendre les efforts de tension.

Les grillages sont modélisés par des éléments surfaciques (2D) de type « membrane », ne travaillant qu'en traction également.

Afin de limiter les concentrations de contraintes dans les angles, les coins des grillages ne sont pas lacés sur les câbles trop près des points d'ancrage. Dans le modèle ceci est pris en compte en supprimant la maille au droit de l'ancrage.

Les grillages F4a sont plaqués sous l'intrados des poutres du tablier routier du pont. Aussi des éléments non linéaires de type « butée » sont disposés sur les nœuds du grillage au droit de ces poutres pour bloquer les déplacements ascendants.

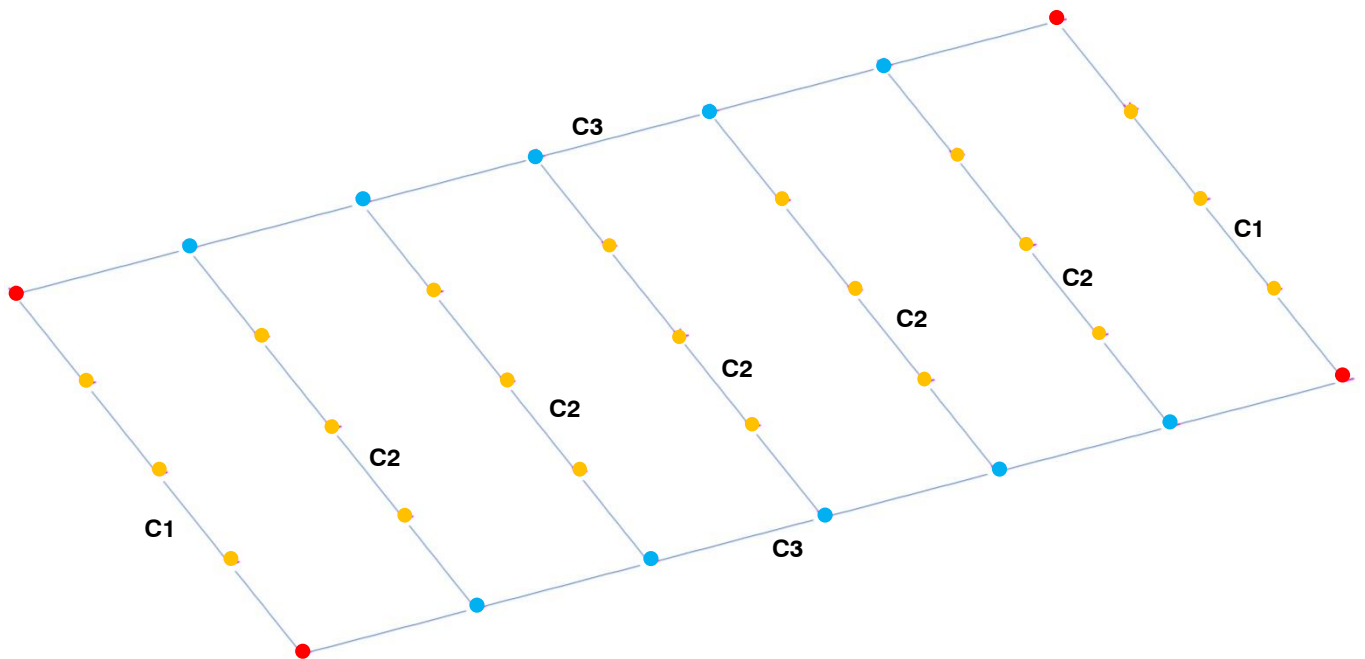
3 types d'appuis sont utilisés dans ce modèle :

- Appui fixe : blocage des 3 DDL en translation
- Appui intermédiaire : blocage de 2 DDL en translation
- Butée : blocage d'1 DDL en translation selon un seul sens

L'image suivante présente les câbles et leurs différentes conditions d'appui.

La seconde image présente les grillages avec les lignes de butée encadrées en vert.

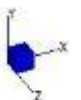
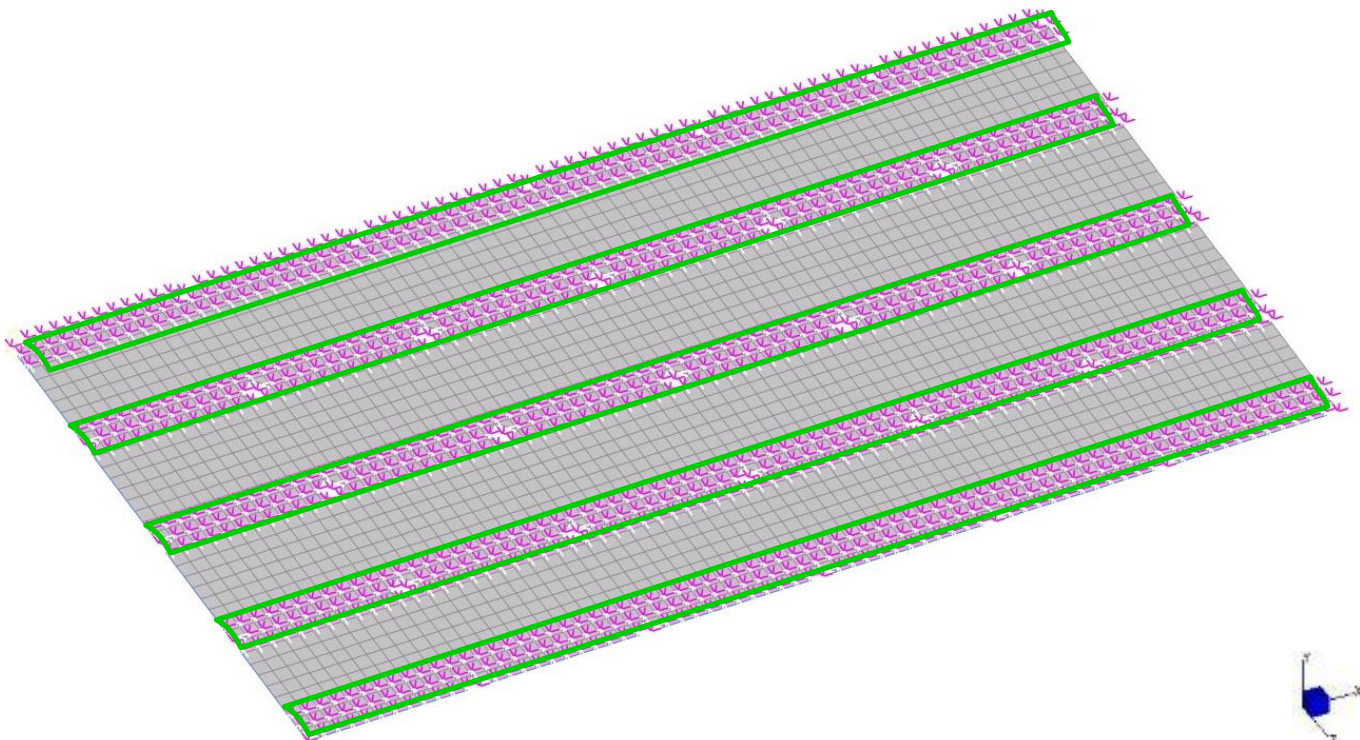
| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 14/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



- Ancrage d'extrémité
- Appui intermédiaire
- Ancrage d'extrémité pour un câble et appui intermédiaire pour un autre



Modèle n°5 - câbles de pourtour et symbolisation et appuis



Modèle n°5 - Grillages et butées verticales

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 15/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.2.2. Application des charges

Le poids propre des filets et câbles est généré automatiquement par le logiciel en fonction des masses volumiques et surfaciques indiquées dans les caractéristiques des matériaux. Conformément à la note d'hypothèses, il est majoré par un facteur de 1.1 pour prendre en compte le poids des assemblages et extrémités de câbles non modélisés.

Une prétension de 0.5 à 2.6kN est appliquée initialement aux câbles.

Les variations de température sont appliquées à chaque nœud du modèle : +/- 25°C.

Le pont n'étant pas modélisé, nous calculons les allongements relatifs du système de protection par rapport au pont en retranchant le module de dilatation α du béton à ceux des câbles et des filets.

La pression de vent de 0.66kN/m² est appliquée la normale de l'élément surfacique dans la direction ascendante (voir image ci-après).

Les cas accidentels de chute blocs sont modélisés par des charges ponctuelles. Le poids du bloc est modélisé avec un coefficient majorant de 10 pour prendre en compte les effets dynamiques de la chute.

Pour rappel, un grillage ne peut être chargé que d'un seul bloc. Des grillages voisins peuvent être chargés en même temps, mais nous considérons qu'un seul cas de chute peut advenir à la fois sur l'ensemble des grillages. Ainsi, il est possible qu'un cas de chute se produise dans un grillage alors que ses voisins supportent déjà le poids d'un bloc.

NB : Après étude, il s'avère que le poids des blocs déjà dans les grillages au moment d'une chute n'augmente pas sensiblement les efforts dans la protection et que nous pouvons donc négliger leur effet.

Plusieurs configurations ont été testées : avec et sans blocs dans les autres filets pendant une chute de bloc. Quelle que soit la position des blocs, on constate une faible augmentation des efforts dans les filets, les câbles et les ancrages de l'ordre de 0 à 1%.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 16/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Plate Stress: von Mises
Max = 2.26×10^1 [Pt:14]

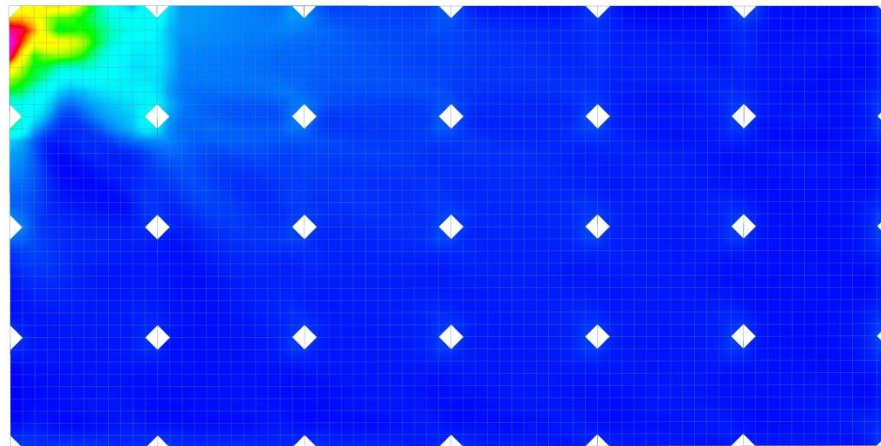
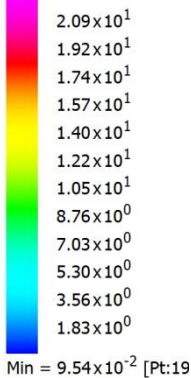
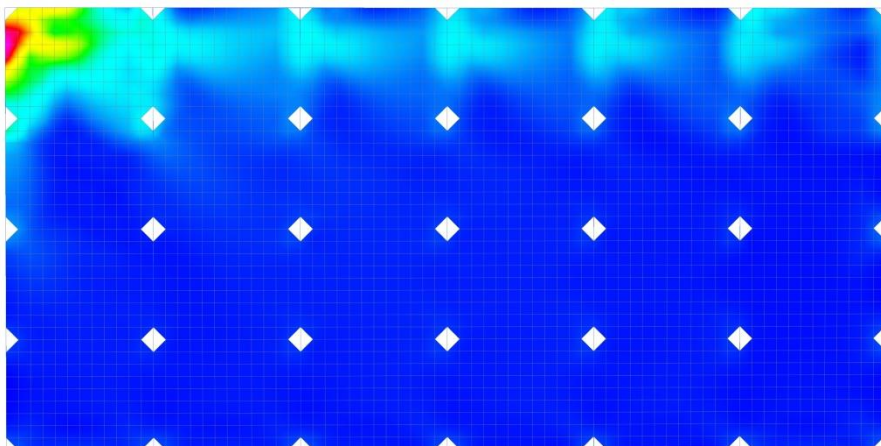
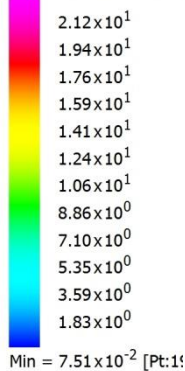


Plate Stress: von Mises
Max = 2.29×10^1 [Pt:14]



Comparaison des contraintes de traction dans les grillages F4a :

- En haut : chute de bloc dans l'angle supérieur gauche, pas de blocs dans les autres filets
- En bas : chute de bloc au même endroit + blocs présents en partie supérieure des autres filets

La surface d'application de la charge de chute a une forte influence sur les contraintes générées dans le grillage, mais pas sur les efforts dans les câbles ou aux ancrages.

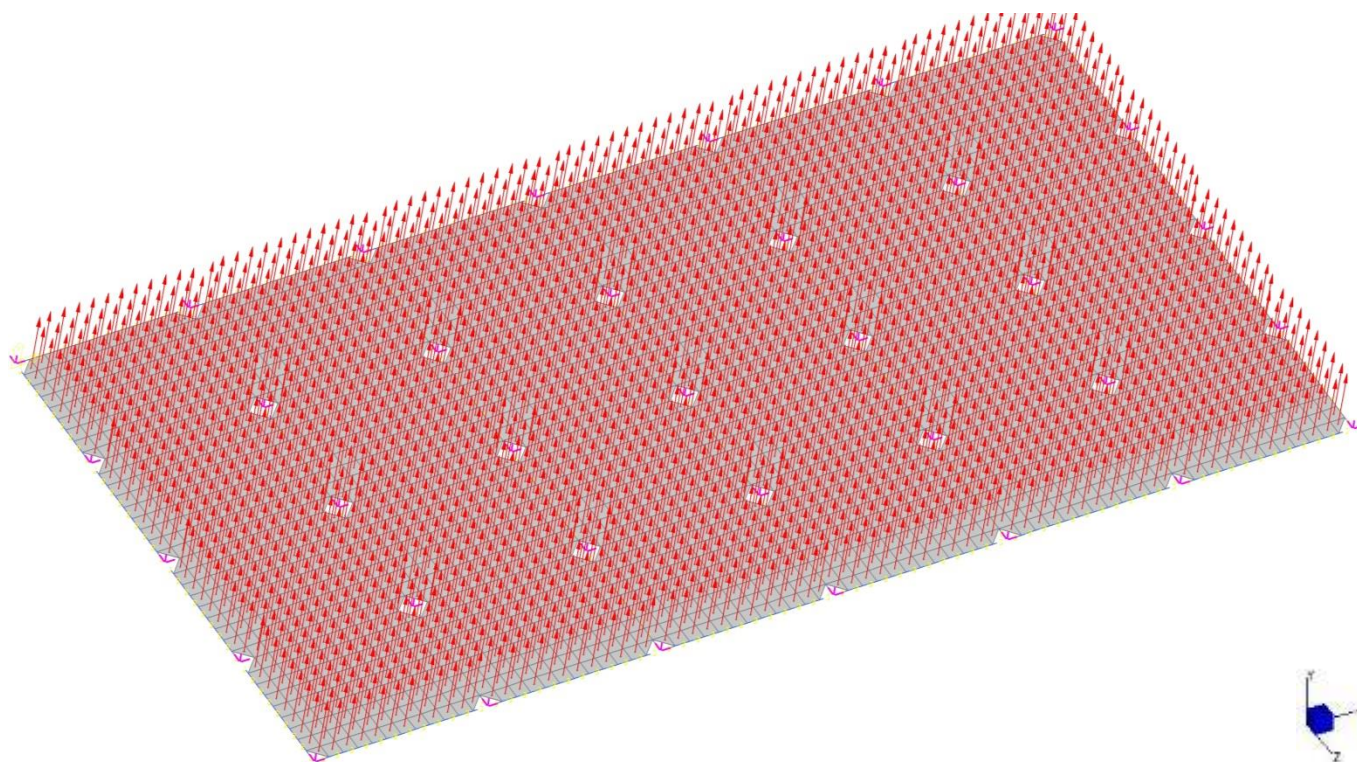
Après échanges avec la société JARNIAS, nous considérons que les plus gros morceaux susceptibles de tomber du pont sont des plaques en sous-face de poutres ou au niveau des arêtes, soit des volumes assez plats, ou très longs : par exemple 1m x 0.5m ou 2m x 0.25m par 10cm d'épaisseur.

La charge de chute de 13kN est donc appliquée sur une surface de 0.5m², soit une pression de 0.026MPa.

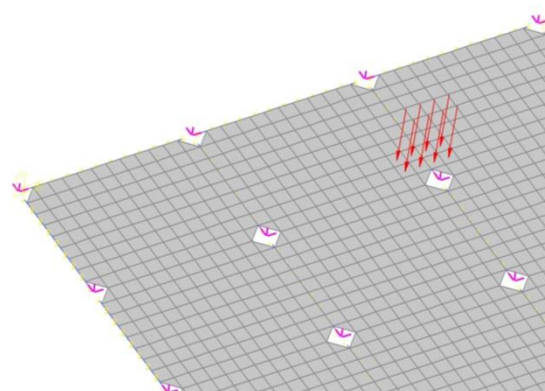
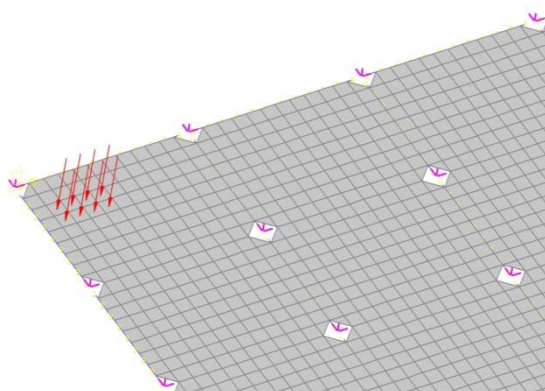
NB : La prise en compte d'un bloc cubique de 40cm de côté comme évoqué dans la note précédente n'est en fait pas réaliste. Toutefois, les filets F1, F2, F5 et F7 étant validés avec cette surface d'application défavorable, nous ne reprendrons pas les calculs déjà menés.

Différentes positions du point de chute ont été testées afin de trouver les configurations les plus défavorables pour les grillages et leurs points de fixation (en général : près des bords et des ancrages). Ces dernières sont conservées et utilisées dans les combinaisons de charges. Les images ci-après montrent quelques exemples de chargement accidentel.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 17/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle n°5 - Pression de vent



Modèle n°5 - Exemple de charges accidentelles de chute proche des ancrages

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 18/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.2.3. Charges résultantes

Le tableau suivant récapitule les charges totales appliquées dans le modèle :

| | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
|---------------------------|------------|--------------|------------|
| Poids propre (G) : | | | |
| F4a | 0.0 | -4.6 | 0.0 |
| Total G : | 0.0 | -4.6 | 0.0 |
| Vent (V) : | | | |
| F4a | 0.0 | 106.9 | 0.0 |
| Total V : | 0.0 | 106.9 | 0.0 |
| Blocs (Fa) * : | | | |
| F4a | 0.0 | -19.5 | 0.0 |
| Total Fa : | 0.0 | -19.5 | 0.0 |

(*) Au maximum : 1 cas de chute de 13kN + 5 blocs de 1.3kN dans les filets voisins

4.2.4. Phasage de montage

Le phasage de montage est le suivant :

- Etape 1 : pose des câbles C1, C2, C3
- Etape 2 : pose d'un grillage F4a en partant d'un bord
- Etapes 3 à 7 : pose des autres grillages F4a

Le logiciel permet de modéliser ce phasage en activant les éléments les uns après les autres.

Le temps d'installation de ces grillages pouvant être long vu leurs dimensions, nous appliquons tous les cas de charge à chaque étape : température, vent et bloc. Aussi la protection est dimensionnée pour reprendre la chute d'un bloc même si tous les grillages ne sont pas installés.

Après étude, nous avons constaté que la prise en compte du phasage n'était pas dimensionnante pour la protection.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 19/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.3. Modèle n°6 - Grillages F4b

4.3.1. Géométrie

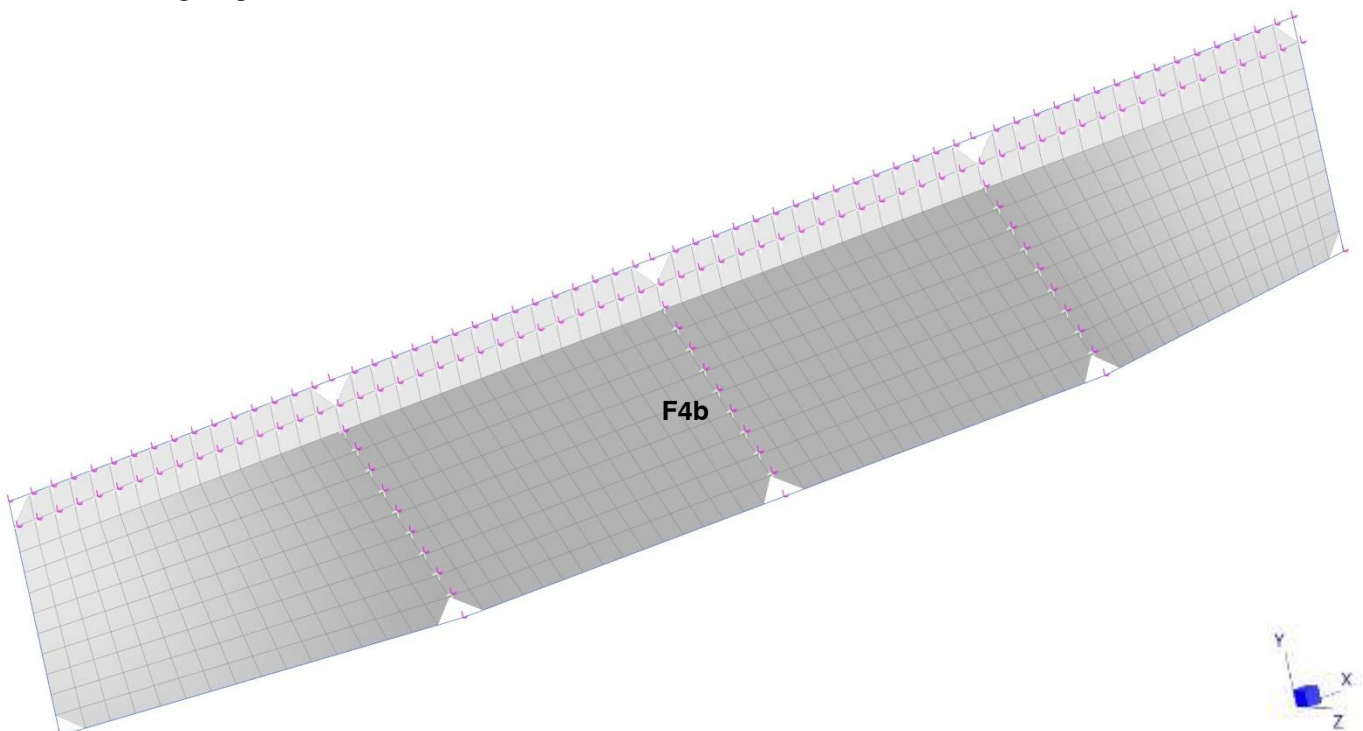
Les grillages sont calculés à l'aide d'un modèle éléments finis en trois dimensions, dont le repère est le suivant :

- FX : axe longitudinal du pont
- FY : axe vertical
- FZ : axe transversal au tablier du pont

Seuls les grillages F4b sont modélisés étant donné qu'ils sont indépendants des filets F2b (câbles et ancrages propres).

Le nombre de grillages dans le modèle est :

- 1 grillage F4b



Modèle n°6 - grillages

Les dimensions des grillages modélisés sont les dimensions maximales présentées dans les plans de principe en référence [2] :

| Grillages | Longueurs (m) | Largeurs (m) | Surface totale (m²) |
|-----------|---------------|--------------|---------------------|
| F4b | 16 | 2.3 | 36.8 |

Les câbles de pourtour des grillages sont continus d'un ancrage à l'autre. Ils sont maintenus régulièrement par des appuis intermédiaires qui ne les empêchent pas de glisser selon leur axe.

Les entraxes des points d'appui modélisés sont les valeurs maximales présentées dans les plans [2] :

- selon X : 4m

Les câbles de pourtour pour chaque grillage sont :

- câbles C1, C2, C3

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 20/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Le nombre de câbles dans le modèle est :

- 1 câble C1
- 1 câble C2
- 2 câbles C3

Les câbles de pourtour des grillages sont modélisés par des éléments filaire (1D) de type « câble », ne travaillant qu'en traction. Un attribut de type « string group » permet de modéliser le passage du câble dans les mailles du grillage et dans les appuis intermédiaires sans reprendre les efforts de tension.

Les grillages sont modélisés par des éléments surfaciques (2D) de type « membrane », ne travaillant qu'en traction également.

Afin de limiter les concentrations de contraintes dans les angles, les coins des grillages ne sont pas lacés sur les câbles trop près des points d'ancrage. Dans le modèle ceci est pris en compte en supprimant la maille au droit de l'ancrage.

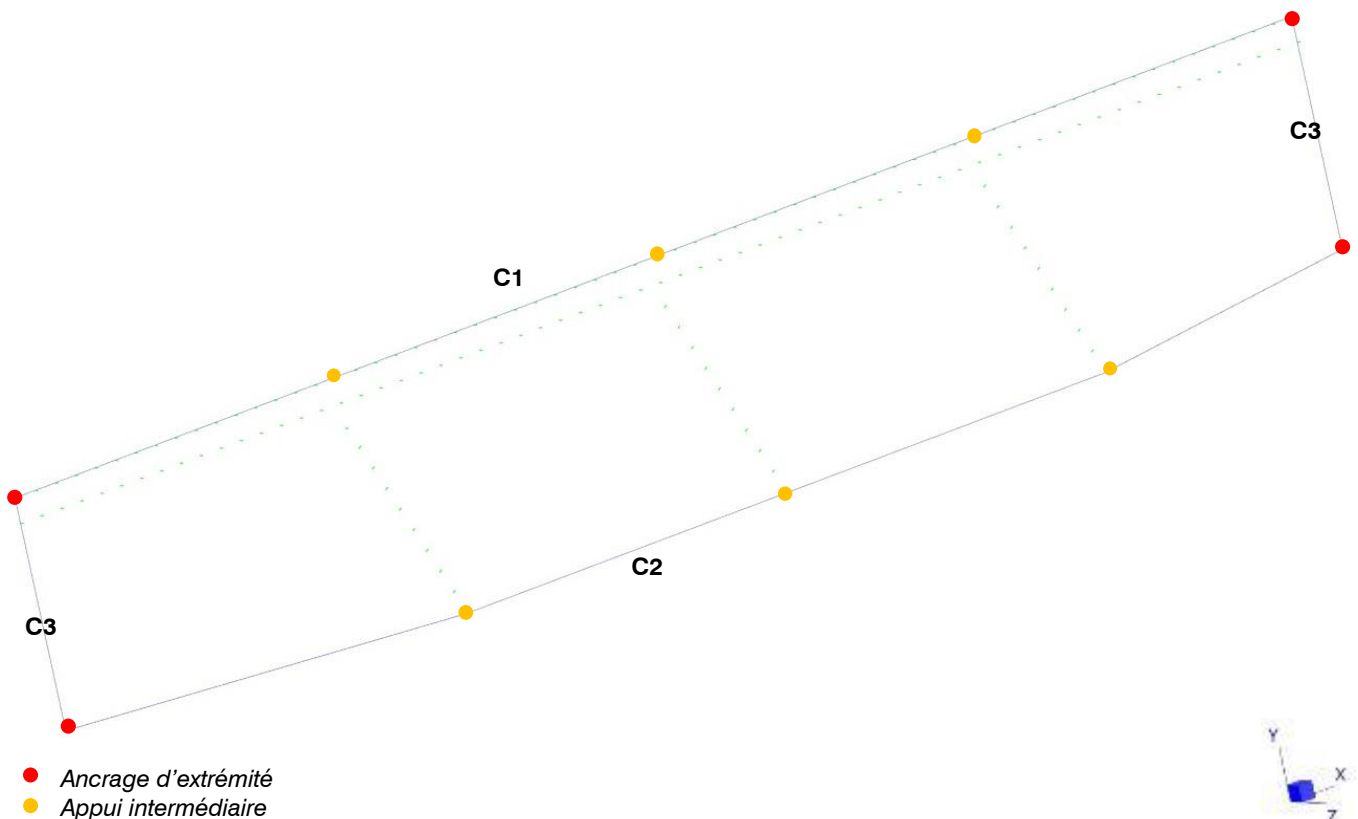
Les grillages F4b sont plaqués contre les tranches biaises des nervures de renfort du tablier ferroviaire. Aussi des éléments non linéaires de type « butée » sont disposés sur les nœuds du grillage au droit de ces nervures pour bloquer les déplacements plaquant le grillage sur le béton.

3 types d'appuis sont utilisés dans ce modèle :

- Appui fixe : blocage des 3 DDL en translation
- Appui intermédiaire : blocage de 2 DDL en translation
- Butée : blocage d'1 DDL en translation selon un seul sens

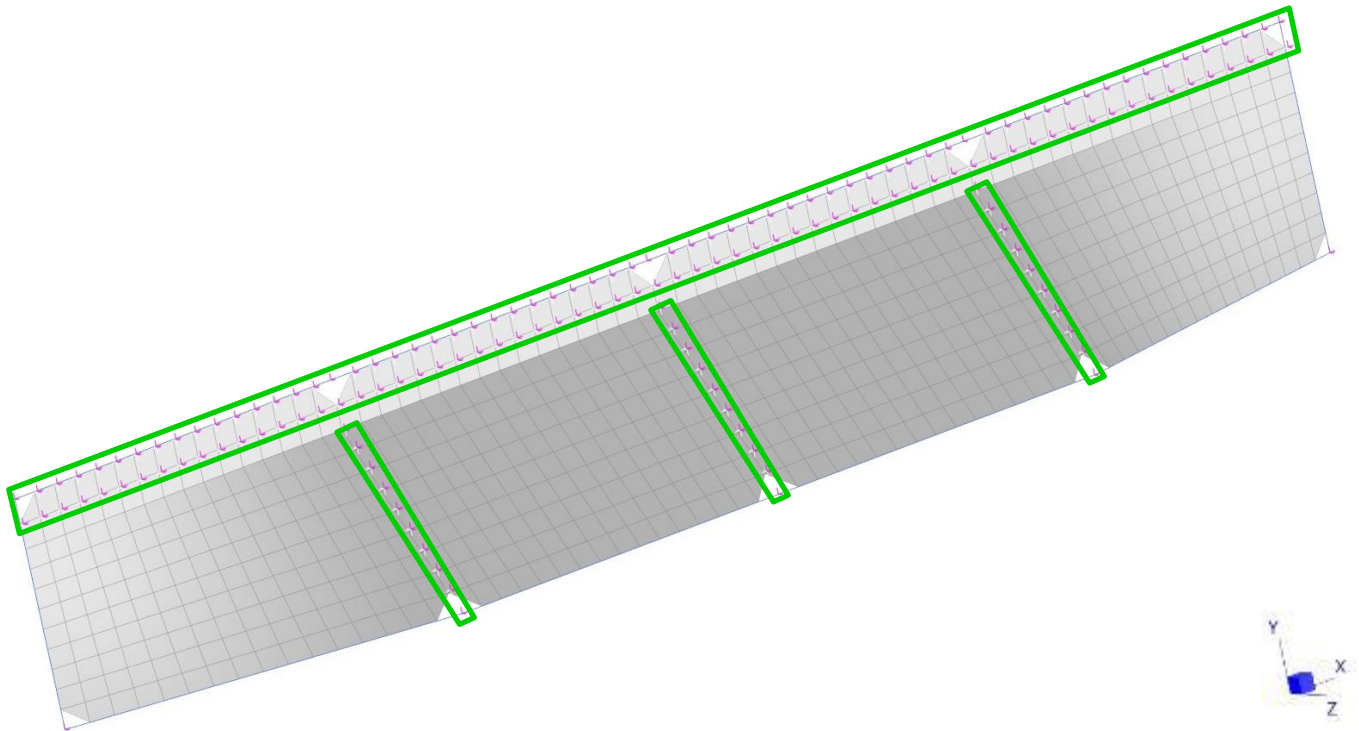
L'image suivante présente les câbles et leurs différentes conditions d'appui.

La seconde image présente les grillages avec les lignes de butée encadrées en vert.



Modèle n°6 - câbles de pourtour et symbolisation et appuis

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 21/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle n°6 - Grillages et butées

4.3.2. Application des charges

Le poids propre des filets et câbles est généré automatiquement par le logiciel en fonction des masses volumiques et surfaciques indiquées dans les caractéristiques des matériaux. Conformément à la note d'hypothèses, il est majoré par un facteur de 1.1 pour prendre en compte le poids des assemblages et extrémités de câbles non modélisés.

Une prétension de 0.3 à 1.1kN est appliquée initialement aux câbles.

Les variations de température sont appliquées à chaque nœud du modèle : +/- 25°C.

Le pont n'étant pas modélisé, nous calculons les allongements relatifs du système de protection par rapport au pont en retranchant le module de dilatation α du béton à ceux des câbles et des filets.

La pression de vent de 0.66kN/m² est appliquée la normale de l'élément surfacique dans les directions +/-Z (voir image ci-après).

Les cas accidentels de chute blocs sont modélisés par des charges ponctuelles. Le poids du bloc est modélisé avec un coefficient majorant de 10 pour prendre en compte les effets dynamiques de la chute.

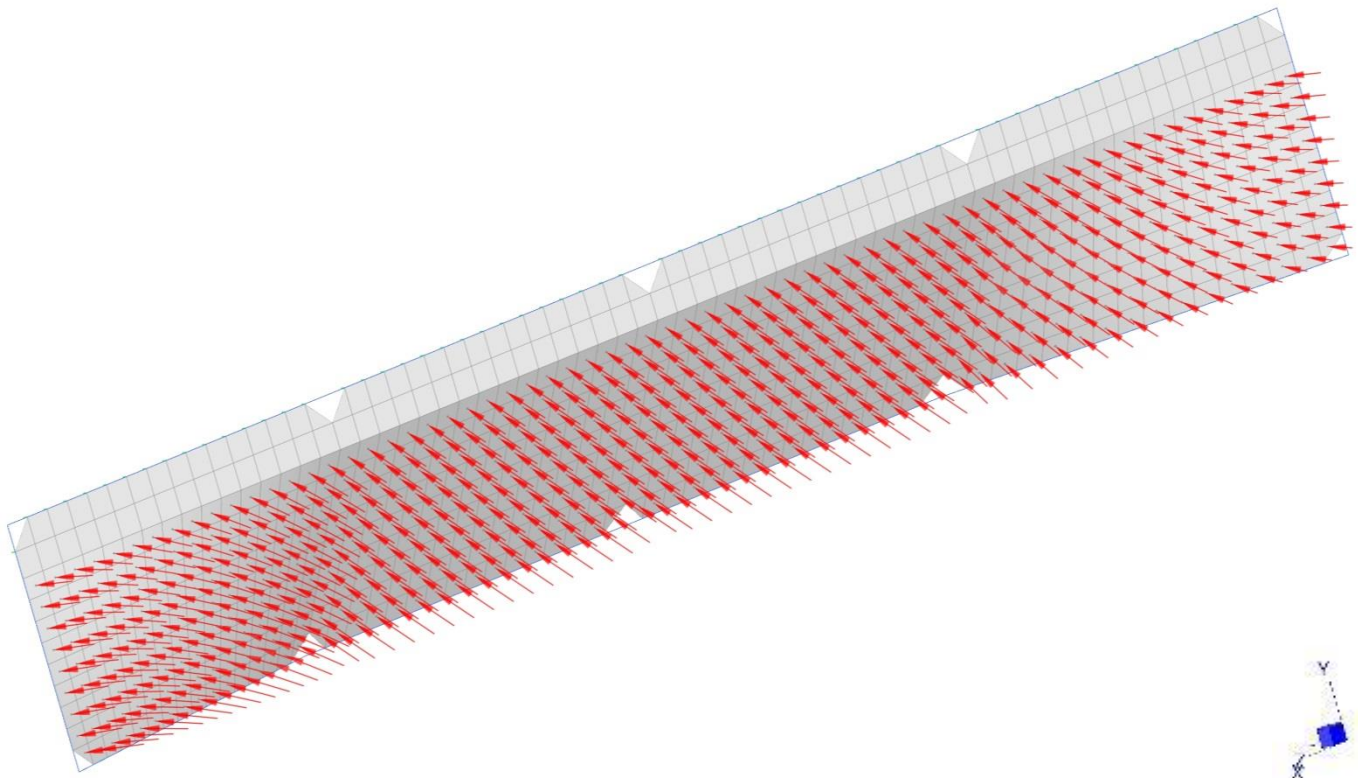
Pour rappel, un grillage ne peut être chargé que d'un seul bloc.

La surface d'application de la charge est identique au modèle précédent : la charge de chute de 13kN est donc appliquée sur une surface de 0.5m², soit une pression de 0.026MPa.

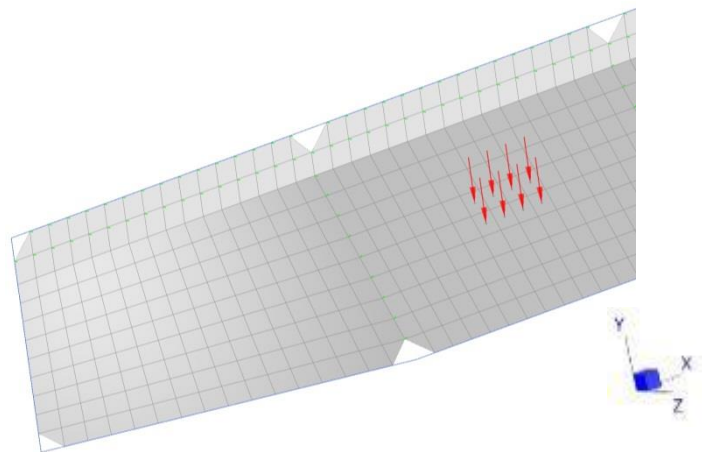
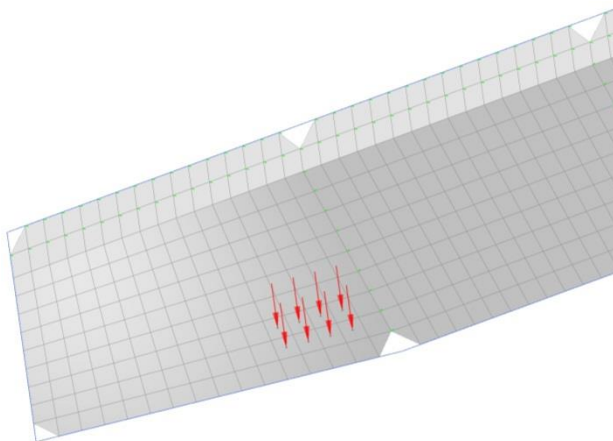
Différentes positions du point de chute ont été testées afin de trouver les configurations les plus défavorables pour les grillages et leurs points de fixation (en général : près des bords et des ancrages). Ces dernières sont

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 22/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

conservées et utilisées dans les combinaisons de charges. Les images ci-après montrent quelques exemples de chargement accidentel.



Modèle n°6 - Pression de vent selon Z+



Modèle n°6 - Exemple de charges accidentelles de chute

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 23/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.3.3. Charges résultantes

Le tableau suivant récapitule les charges totales appliquées dans le modèle :

| | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
|---------------------------|------------|-------------|--------------|
| Poids propre (G) : | | | |
| F4b | 0.0 | -1.1 | 0.0 |
| Total G : | 0.0 | -1.1 | 0.0 |
| Vent (V) : | | | |
| F4b | 0.0 | ±9.9 | ±19.0 |
| Total V : | 0.0 | ±9.9 | ±19.0 |
| Blocs (Fa) : | | | |
| F4b | 0.0 | -13 | 0.0 |
| Total Fa : | 0.0 | -13 | 0.0 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 24/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.4. Modèle n°7 - Filets F2b

4.4.1. Géométrie

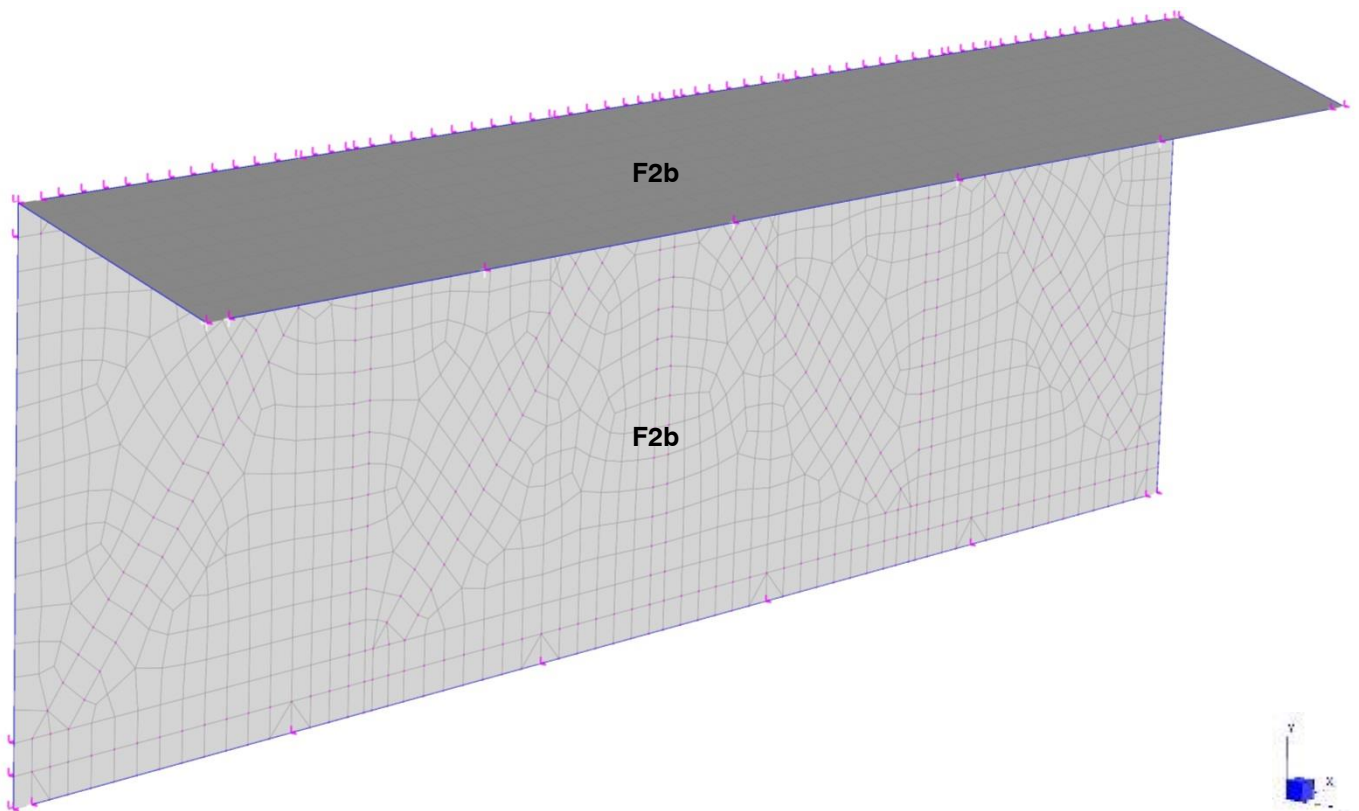
Les filets sont calculés à l'aide d'un modèle éléments finis en trois dimensions, dont le repère est le suivant :

- FX : axe longitudinal du pont
- FY : axe vertical
- FZ : axe transversal au tablier du pont

Les filets F2b sont modélisés sur un seul côté du tablier (l'autre côté étant symétrique).

Le nombre de filets dans le modèle est :

- 2 filets F2b



Modèle n°7 - filets

Les dimensions des filets modélisés sont les dimensions maximales présentées dans les plans de principe en référence [2] :

| Filets | Longueurs (m) | Largeurs (m) | Surface totale (m ²) |
|--------|---------------|--------------|----------------------------------|
| F2b | 15 | 1.8+4 | 87.0 |

Les câbles de pourtour des filets sont continus d'un ancrage à l'autre. Ils sont maintenus régulièrement par des appuis intermédiaires qui ne les empêchent pas de glisser selon leur axe.

Les entraxes des points d'appui modélisés sont les valeurs maximales présentées dans les plans [2] :

- selon X : 3m

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 25/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Les câbles de pourtour pour chaque filet sont :

- F2b vertical : câbles C2, C3, C5
- F2b horizontal : câbles C1, C2, C4

Le nombre de câbles dans le modèle est :

- 1 câble C1
- 1 câble C2
- 1 câble C3
- 2 câbles C4
- 2 câbles C5

Les câbles de pourtour des filets sont modélisés par des éléments filaire (1D) de type « câble », ne travaillant qu'en traction. Un attribut de type « string group » permet de modéliser le passage du câble dans la drisse qui lace le filet et dans les appuis intermédiaires sans reprendre les efforts de tension.

Les filets sont modélisés par des éléments surfaciques (2D) de type « membrane », ne travaillant qu'en traction également.

Afin de limiter les concentrations de contraintes dans les angles sous pression de vent, les coins des filets ne sont pas lacés sur les câbles trop près des points d'ancrage. Dans le modèle ceci est pris en compte en supprimant la maille au droit de l'ancrage.

Le filet F2b vertical est plaqué contre le treillis du tablier ferroviaire. Aussi des éléments non linéaires de type « butée » sont disposés sur le filet au droit des membrures et diagonales pour bloquer les déplacements du filet vers le treillis.

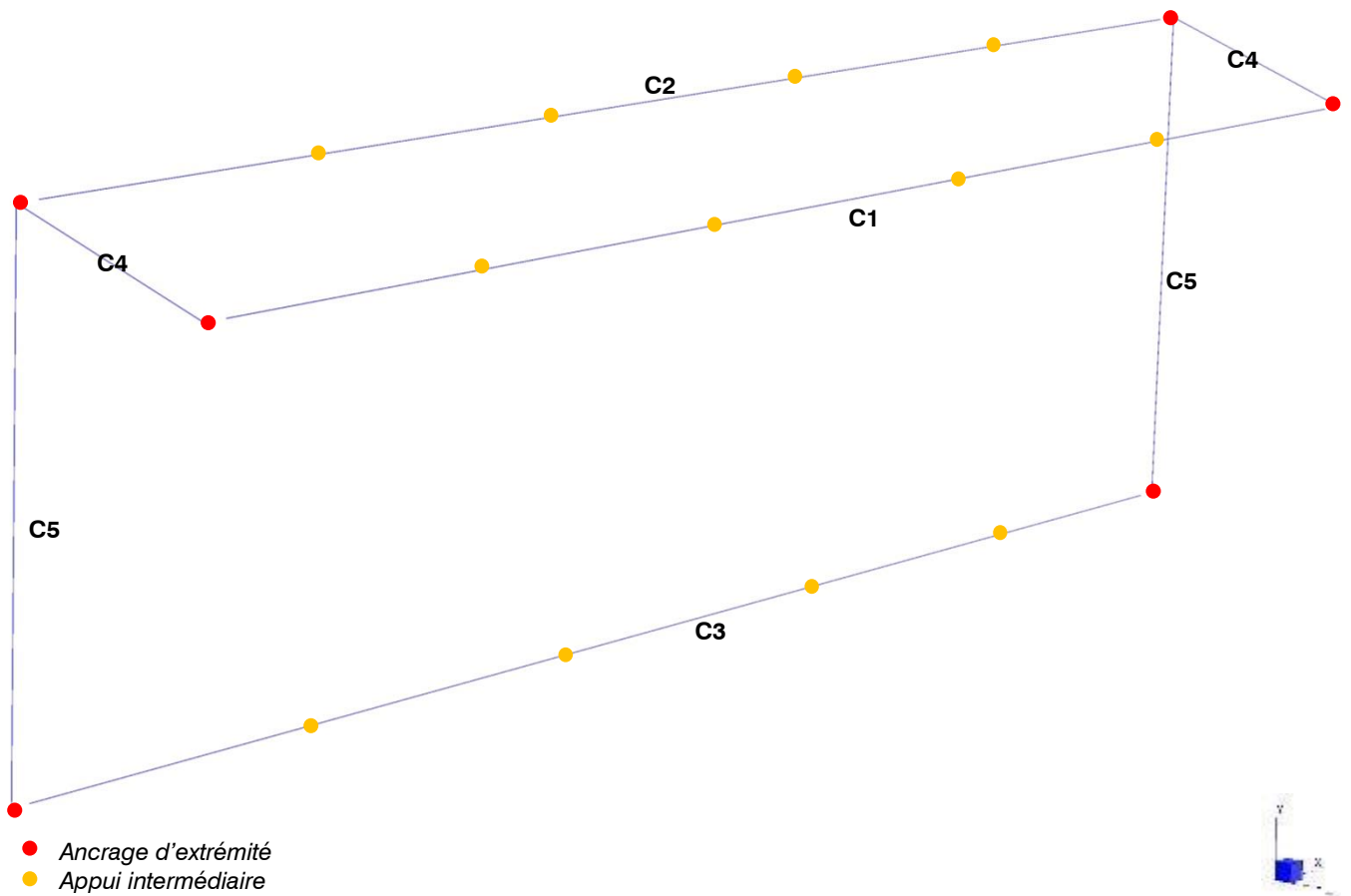
3 types d'appuis sont utilisés dans ce modèle :

- Appui fixe : blocage des 3 DDL en translation
- Appui intermédiaire : blocage de 2 DDL en translation
- Butée : blocage d'1 DDL en translation selon un seul sens

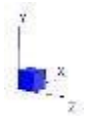
L'image suivante présente les câbles et leurs différentes conditions d'appui.

La seconde image présente les filets avec les lignes de butée encadrées en vert.

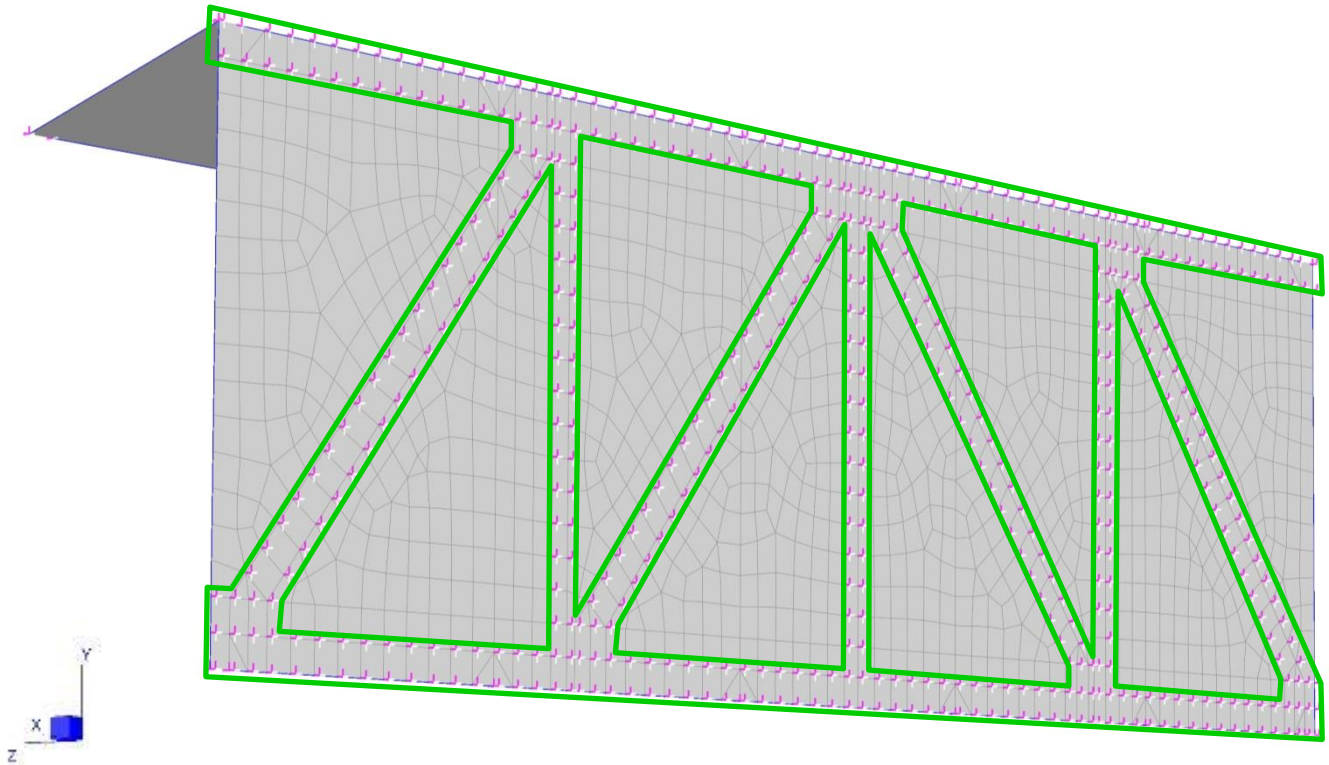
| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 26/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle n°7 - câbles de pourtour et symbolisation et appuis



| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 27/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle n°7 - Filets et butées verticales

4.4.2. Application des charges

Le poids propre des filets et câbles est généré automatiquement par le logiciel en fonction des masses volumiques et surfaciques indiquées dans les caractéristiques des matériaux. Conformément à la note d'hypothèses, il est majoré par un facteur de 1.1 pour prendre en compte le poids des assemblages et extrémités de câbles non modélisés.

Une prétension de 1.0kN est appliquée initialement à tous les câbles.

Les variations de température sont appliquées à chaque nœud du modèle : $\pm 25^{\circ}\text{C}$.

Le pont n'étant pas modélisé, nous calculons les allongements relatifs du système de protection par rapport au pont en retranchant le module de dilatation α du béton à ceux des câbles et des filets.

La pression de vent est appliquée à tous les filets, selon la normale de l'élément surfacique : dans la direction ascendante pour le filet horizontal, dans la direction $\pm Z$ pour le filet vertical (voir image ci-après).

Pour un vent orienté selon $-Z$ (le filet est plaqué contre le treillis), une pression de 0.66kN/m^2 est appliquée, comme dans les modèles précédents.

Pour un vent orienté selon $+Z$ (le filet est décollé du treillis), un effet de masque est pris en compte puisque le vent traverse le tablier ferroviaire et le filet tendu sur l'autre face avant de frapper ces filets. Le pourcentage de remplissage que représente le treillis et les filets sur la face opposé est de 55%, aussi nous réduisons la pression de vent de moitié : 0.33kN/m^2 .

Les cas accidentels de blocs sont modélisés par des charges ponctuelles.

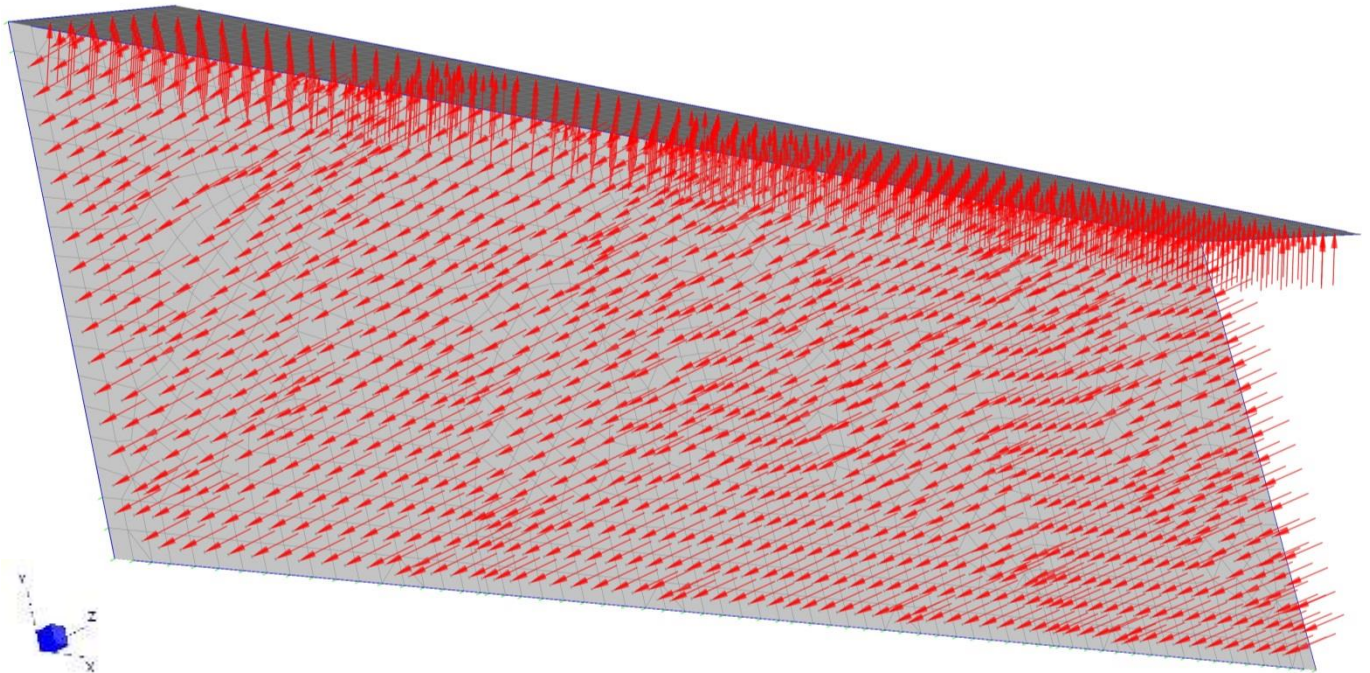
Le filet vertical étant plaqué contre le treillis, aucun cas de chute n'est pris en compte. Le filet horizontal n'est pas totalement plaqué en sous-face du tablier, mais il est à moins de 70cm de l'intrados, aussi nous négligerons les cas de chute également. Le poids du bloc est donc modélisé sans coefficient majorant. Pour

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 28/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

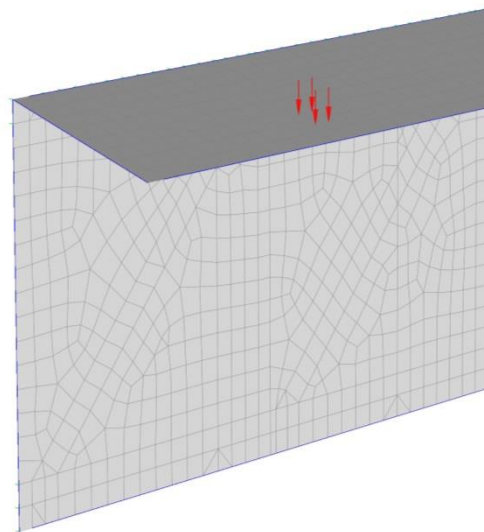
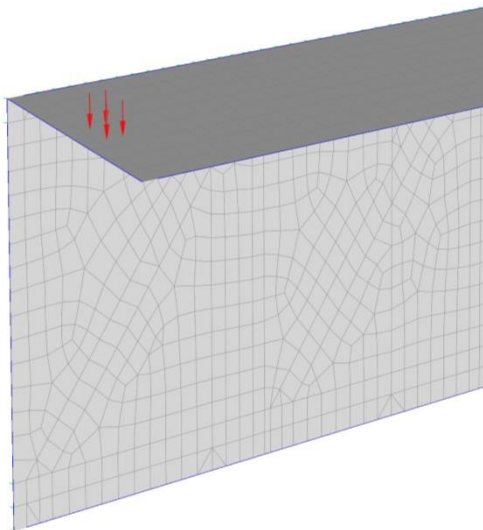
rappel, un filet ne peut être chargé que d'un seul bloc. Des filets voisins peuvent être chargés en même temps.

Comme dans les modèles de la note NDC 02 [4], le poids du bloc béton de 130kg est appliqué comme 4 charges ponctuelles de 0.325kN.

Différentes positions des blocs ont été testées afin de trouver les configurations les plus défavorables pour les filets et leurs points d'ancrage. Ces dernières sont conservées et utilisées dans les combinaisons de charges.

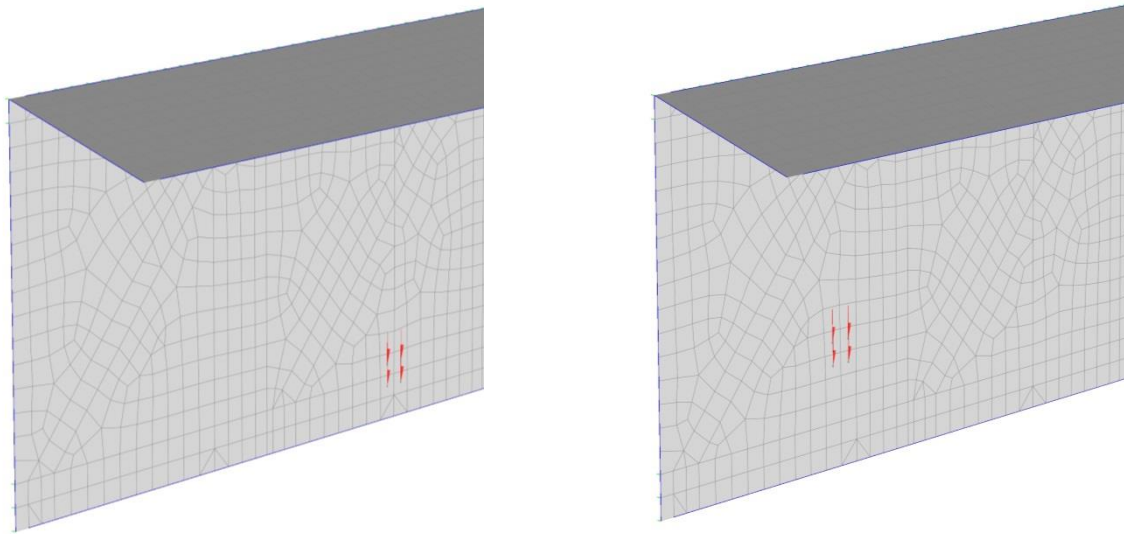


Modèle n°7 - Pression de vent selon Z-



Modèle n°7 - Exemple de charges accidentelles de bloc sur le filet supérieur

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 29/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle n°7 - Exemple de charges accidentelles de bloc sur le filet vertical

4.4.3. Charges résultantes

Le tableau suivant récapitule les charges totales appliquées dans le modèle :

| | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
|-------------------------------------|------------|-------------|--------------|
| Poids propre (G) : | | | |
| F2b | 0.0 | -0.7 | 0.0 |
| Total G : | 0.0 | -0.7 | 0.0 |
| Vent (V_{z+}) : | | | |
| F2b | 0.0 | 8.4 | 22.8 |
| Total V_{z+} : | 0.0 | 8.4 | 22.8 |
| Vent (V_z) : | | | |
| F2b | 0.0 | 16.7 | -33.5 |
| Total V_z : | 0.0 | 16.7 | -33.5 |
| Blocs (F_a) : | | | |
| F2b | 0.0 | -2.6 | 0.0 |
| Total F_a : | 0.0 | -2.6 | 0.0 |

4.4.4. Phasage de montage

Le phasage de montage est le suivant :

- Etape 1 : pose du filet F2b supérieur et des câbles C1, C2, C4
- Etape 2 : pose du filet F2b vertical et des câbles C3, C5

Le logiciel permet de modéliser ce phasage en activant les éléments les uns après les autres.

Le temps d'installation de ces filets pouvant être long vu leurs dimensions, nous appliquons tous les cas de charge à chaque étape : température, vent et bloc. Aussi la protection est dimensionnée pour reprendre le poids d'un bloc même si tous les filets ne sont pas installés.

Après étude, nous avons constaté que la prise en compte du phasage n'avait pas d'impact sur la protection.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 30/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.5. Modèle n°8 - Grillages F6b

4.5.1. Géométrie

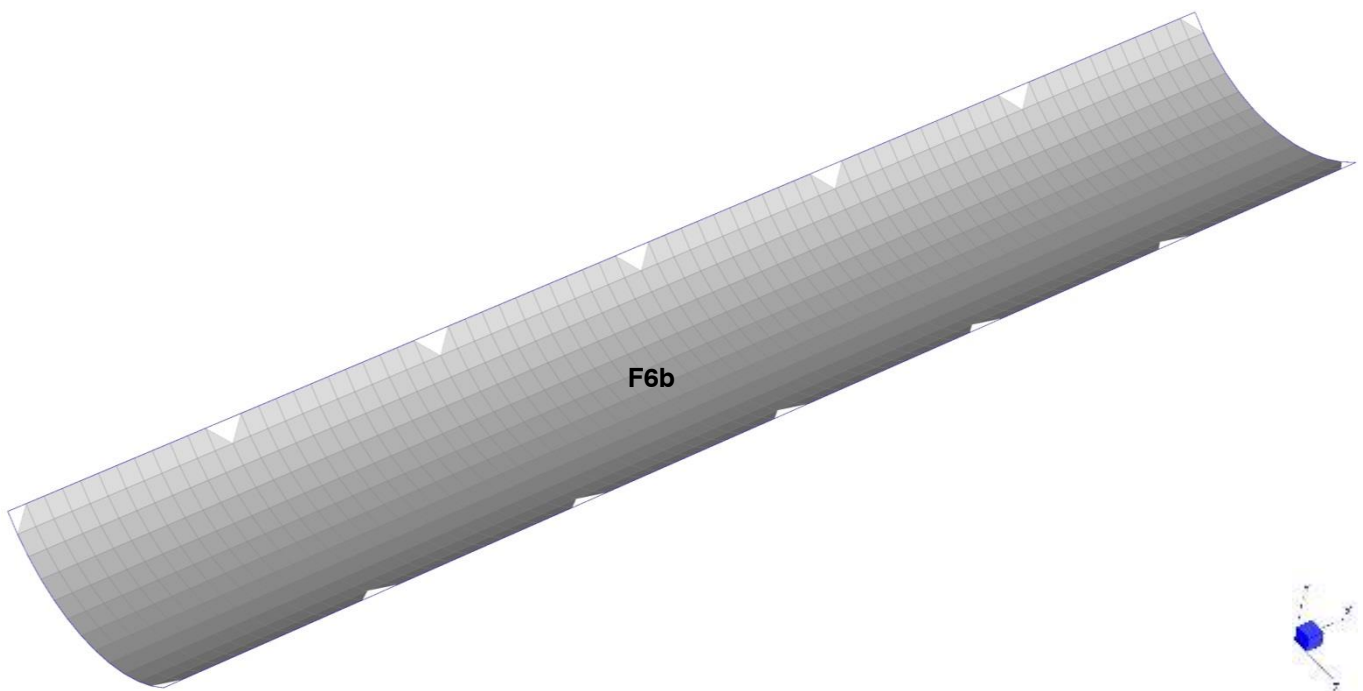
Les grillages sont calculés à l'aide d'un modèle éléments finis en trois dimensions, dont le repère est le suivant :

- FX : axe longitudinal du pont
- FY : axe vertical
- FZ : axe transversal au tablier du pont

Seuls les grillages F6b sont modélisés étant donné qu'ils sont indépendants des filets F6a (câbles et ancrages propres).

Le nombre de grillages dans le modèle est :

- 1 grillage F6b



Modèle n°7 - grillages

Les dimensions des grillages modélisés sont les dimensions maximales présentées dans les plans de principe en référence [2] :

| Grillages | Longueurs (m) | Largeurs (m) | Surface totale (m²) |
|-----------|---------------|--------------|---------------------|
| F6b | 17 | 3.5 | 59.5 |

Les câbles de pourtour des grillages sont continus d'un ancrage à l'autre. Ils sont maintenus régulièrement par des appuis intermédiaires qui ne les empêchent pas de glisser selon leur axe.

Les entraxes des points d'appui modélisés sont les valeurs maximales présentées dans les plans [2] :

- selon X : 3m

Les câbles de pourtour pour chaque grillage sont :

- câbles C1, C2

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 31/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Le nombre de câbles dans le modèle est :

- 2 câbles C1
- 2 câbles C2

Les câbles de pourtour des grillages sont modélisés par des éléments filaire (1D) de type « câble », ne travaillant qu'en traction. Un attribut de type « string group » permet de modéliser le passage du câble dans les mailles du grillage et dans les appuis intermédiaires sans reprendre les efforts de tension.

Les grillages sont modélisés par des éléments surfaciques (2D) de type « membrane », ne travaillant qu'en traction également.

Afin de limiter les concentrations de contraintes dans les angles, les coins des grillages ne sont pas lacés sur les câbles trop près des points d'ancrage. Dans le modèle ceci est pris en compte en supprimant la maille au droit de l'ancrage.

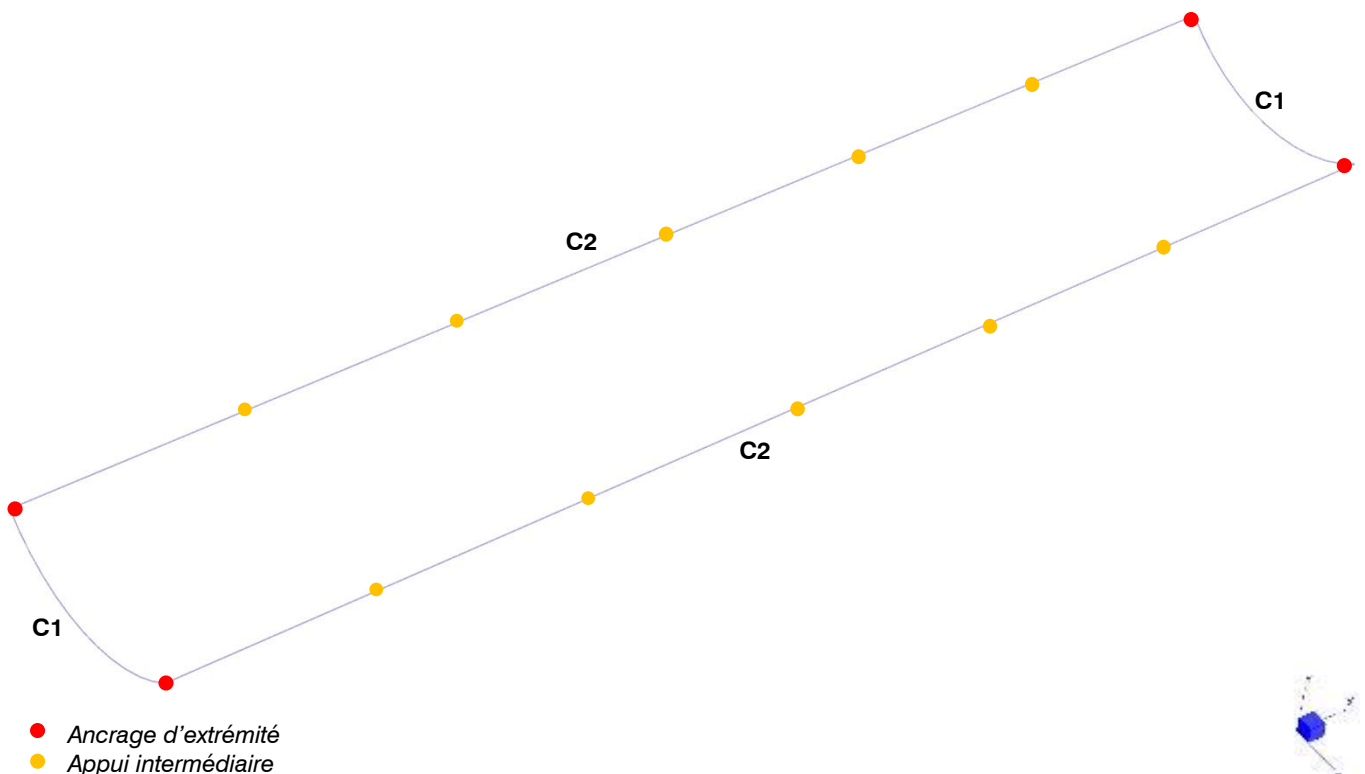
Les grillages F6b sont placés sous l'intrados des poutres du tablier. Aussi des éléments non linéaires de type « butée » sont disposés sur les nœuds du grillage au droit de ces poutres pour bloquer les déplacements ascendants du grillage.

3 types d'appuis sont utilisés dans ce modèle :

- Appui fixe : blocage des 3 DDL en translation
- Appui intermédiaire : blocage de 2 DDL en translation
- Butée : blocage d'1 DDL en translation selon un seul sens

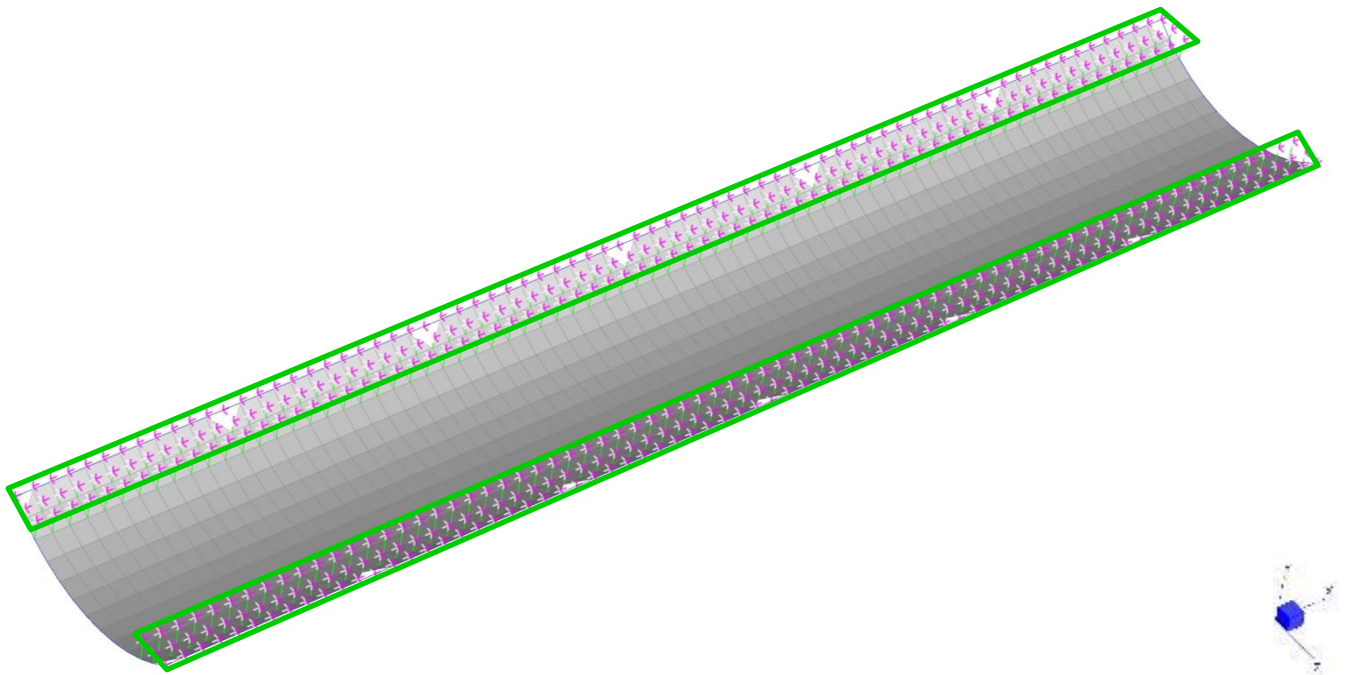
L'image suivante présente les câbles et leurs différentes conditions d'appui.

La seconde image présente les grillages avec les lignes de butée encadrées en vert.



Modèle n°8 - câbles de pourtour et symbolisation et appuis

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 32/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle n°8 - Grillages et butées

4.5.2. Application des charges

Le poids propre des filets et câbles est généré automatiquement par le logiciel en fonction des masses volumiques et surfaciques indiquées dans les caractéristiques des matériaux. Conformément à la note d'hypothèses, il est majoré par un facteur de 1.1 pour prendre en compte le poids des assemblages et extrémités de câbles non modélisés.

Une prétension de 0.1 à 0.8kN est appliquée initialement aux câbles.

Les variations de température sont appliquées à chaque nœud du modèle : +/- 25°C.

Le pont n'étant pas modélisé, nous calculons les allongements relatifs du système de protection par rapport au pont en retranchant le module de dilatation α du béton à ceux des câbles et des filets.

La pression de vent de 0.66kN/m² est appliquée la normale de l'élément surfacique dans la direction ascendante (voir image ci-après).

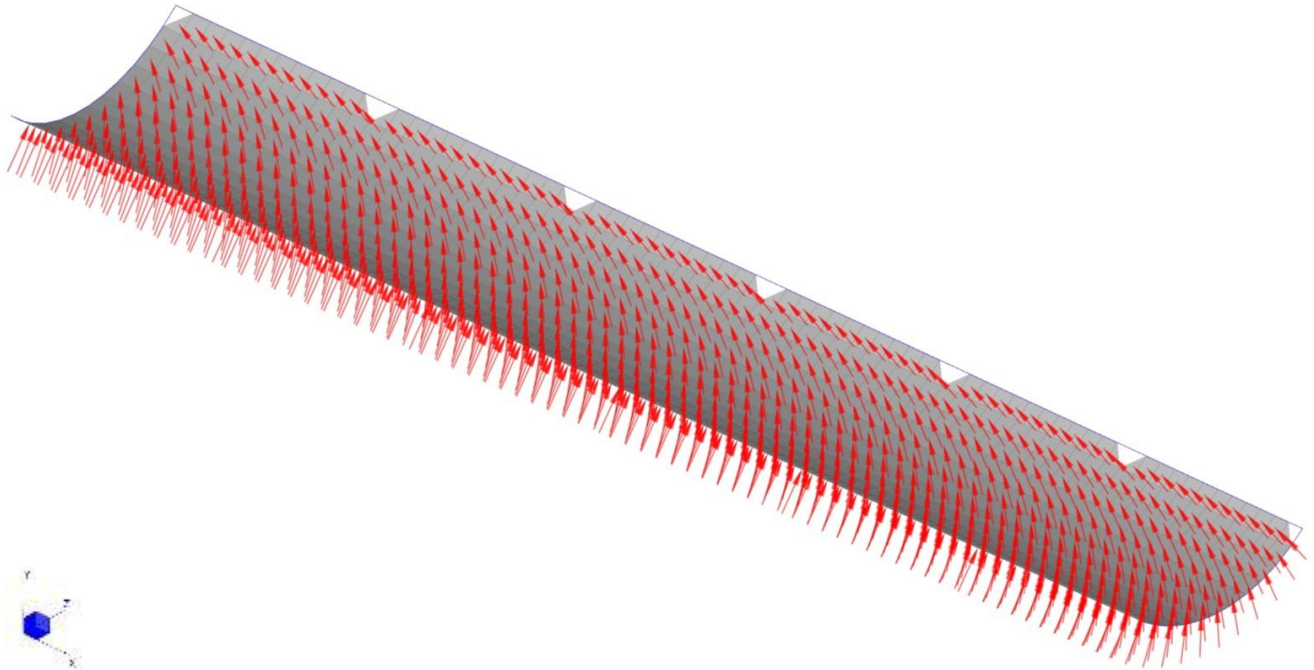
Les cas accidentels de chute blocs sont modélisés par des charges ponctuelles. Le poids du bloc est modélisé avec un coefficient majorant de 10 pour prendre en compte les effets dynamiques de la chute.

Pour rappel, un grillage ne peut être chargé que d'un seul bloc.

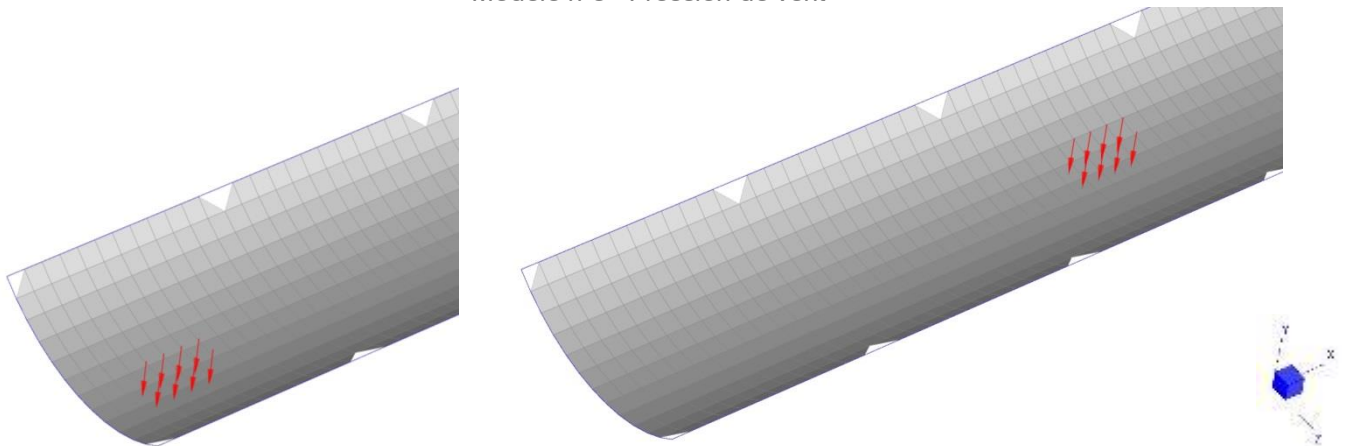
La surface d'application de la charge est identique au modèle précédent : la charge de chute de 13kN est donc appliquée sur une surface de 0.5m², soit une pression de 0.026MPa.

Différentes positions du point de chute ont été testées afin de trouver les configurations les plus défavorables pour les grillages et leurs points de fixation (en général : près des bords et des ancrages). Ces dernières sont conservées et utilisées dans les combinaisons de charges. Les images ci-après montrent quelques exemples de chargement accidentel.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 33/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle n°8 - Pression de vent



Modèle n°8 - Exemple de charges accidentelles de chute

4.5.3. Charges résultantes

Le tableau suivant récapitule les charges totales appliquées dans le modèle :

| | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
|---------------------------|------------|--------------|------------|
| Poids propre (G) : | | | |
| F6b | 0.0 | -1.7 | 0.0 |
| Total G : | 0.0 | -1.7 | 0.0 |
| Vent (V) : | | | |
| F6b | 0.0 | 39.3 | 0.0 |
| Total V : | 0.0 | 39.3 | 0.0 |
| Blocs (Fa) : | | | |
| F6b | 0.0 | -13.0 | 0.0 |
| Total Fa : | 0.0 | -13.0 | 0.0 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 34/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.6. Modèle n°9 - Filets F6a

4.6.1. Géométrie

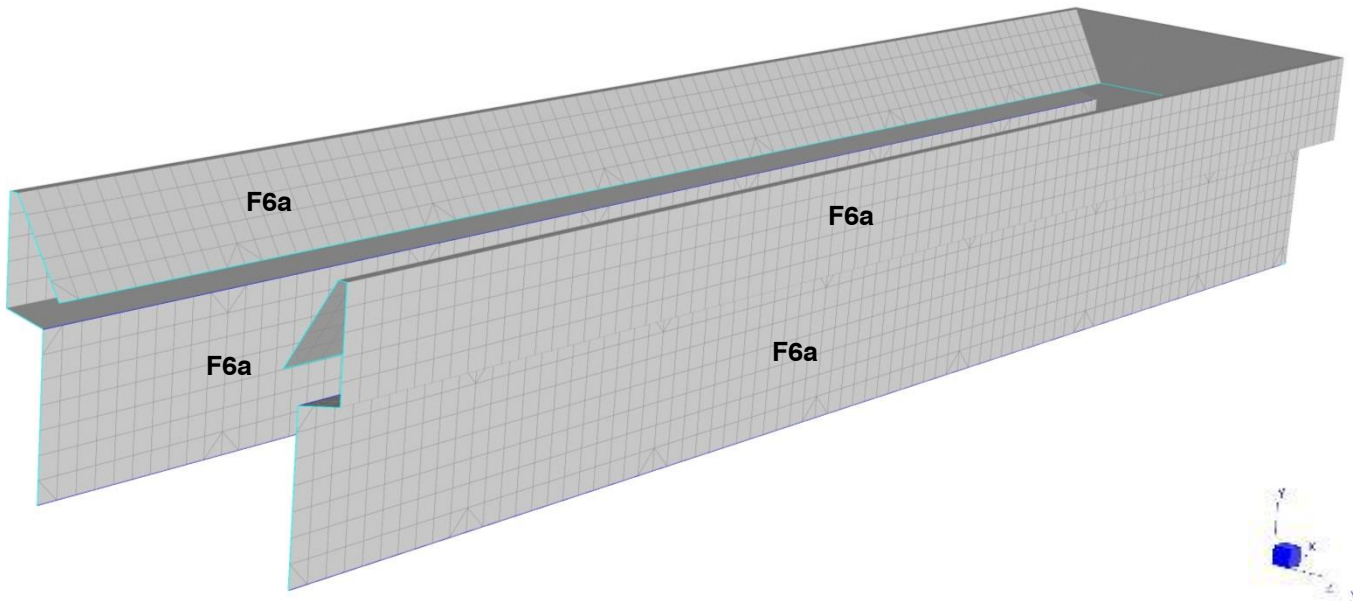
Les filets sont calculés à l'aide d'un modèle éléments finis en trois dimensions, dont le repère est le suivant :

- FX : axe longitudinal du pont
- FY : axe vertical
- FZ : axe transversal au tablier du pont

Les filets F6a sont modélisés sur les 2 côtés du tablier et sont ralingués ensemble à l'extrémité.

Le nombre de filets dans le modèle est :

- 4 filets F6a (2 filets en partie supérieure qui englobent le garde-corps, 2 filets en partie inférieure)



Modèle n°9 - filets

Les dimensions des filets modélisés sont les dimensions maximales présentées dans les plans de principe en référence [2] :

| Filets | Longueurs (m) | Largeurs (m) | Surface totale (m ²) |
|----------------|---------------|-----------------|----------------------------------|
| F6a - sup. | 2 x (20+2.1) | 0.5+1.2+0.1+1.1 | 128.3 |
| F6a - inf. | 2 x (20+1.6) | 1.7 | 73.4 |
| Total : | | | 201.8 |

Les câbles de pourtour des filets sont continus d'un ancrage à l'autre. Ils sont maintenus régulièrement par des appuis intermédiaires qui ne les empêchent pas de glisser selon leur axe.

Les entraxes des points d'appui modélisés sont les valeurs maximales présentées dans les plans [2] :

- selon X : 3m

Les câbles de pourtour pour chaque filet sont :

- F6a supérieur : câbles C1,
- F6a inférieur : câbles C1, C2

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 35/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

NB : Après étude nous avons constaté que la tension dans ces filets était suffisamment faible pour pouvoir se passer de câbles inox sur certains côtés. Aussi nous modélisons un élément filaire ayant des propriétés similaires à la ralingue des filets.

Le nombre de câbles dans le modèle est :

- 2 câbles C1
- 2 câbles C2

Les câbles de pourtour des filets sont modélisés par des éléments filaire (1D) de type « câble », ne travaillant qu'en traction. Un attribut de type « string group » permet de modéliser le passage du câble dans la drisse qui lace le filet et dans les appuis intermédiaires sans reprendre les efforts de tension.

Les filets sont modélisés par des éléments surfaciques (2D) de type « membrane », ne travaillant qu'en traction également.

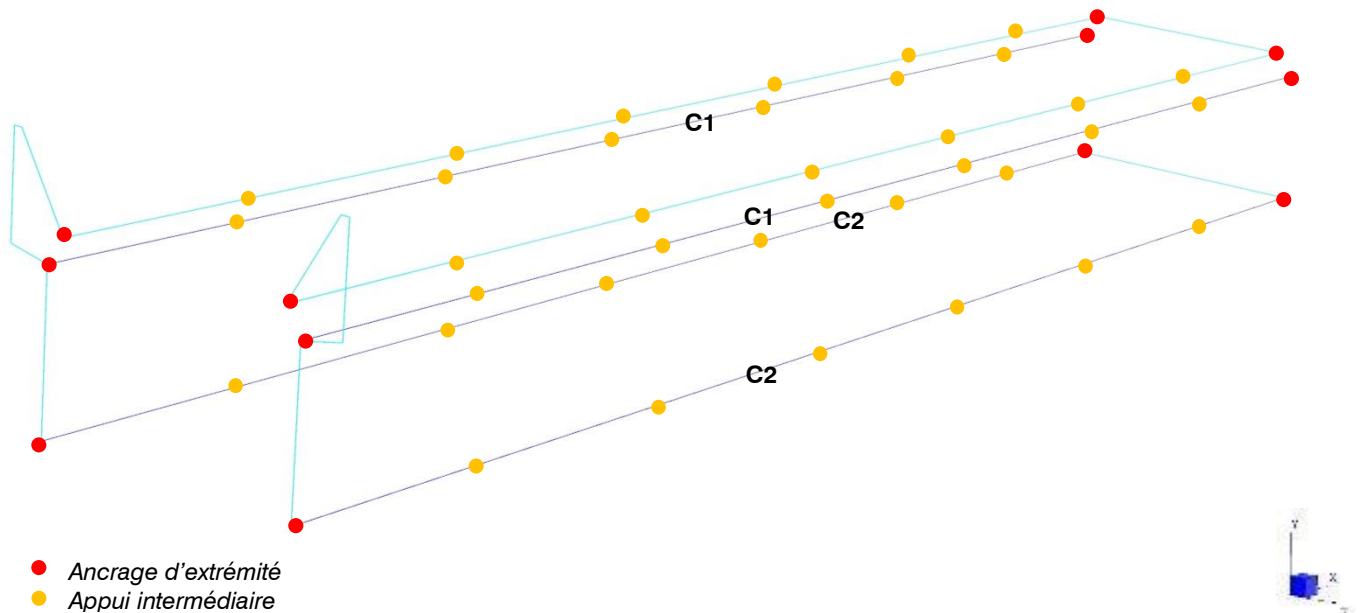
Les filets sont plaqués contre les poutres et le garde-corps du tablier. Aussi des éléments non linéaires de type « butée » sont disposés sur le filet au droit des arêtes où il prend appui.

3 types d'appuis sont utilisés dans ce modèle :

- Appui fixe : blocage des 3 DDL en translation
- Appui intermédiaire : blocage de 2 DDL en translation
- Butée : blocage d'1 DDL en translation selon un seul sens

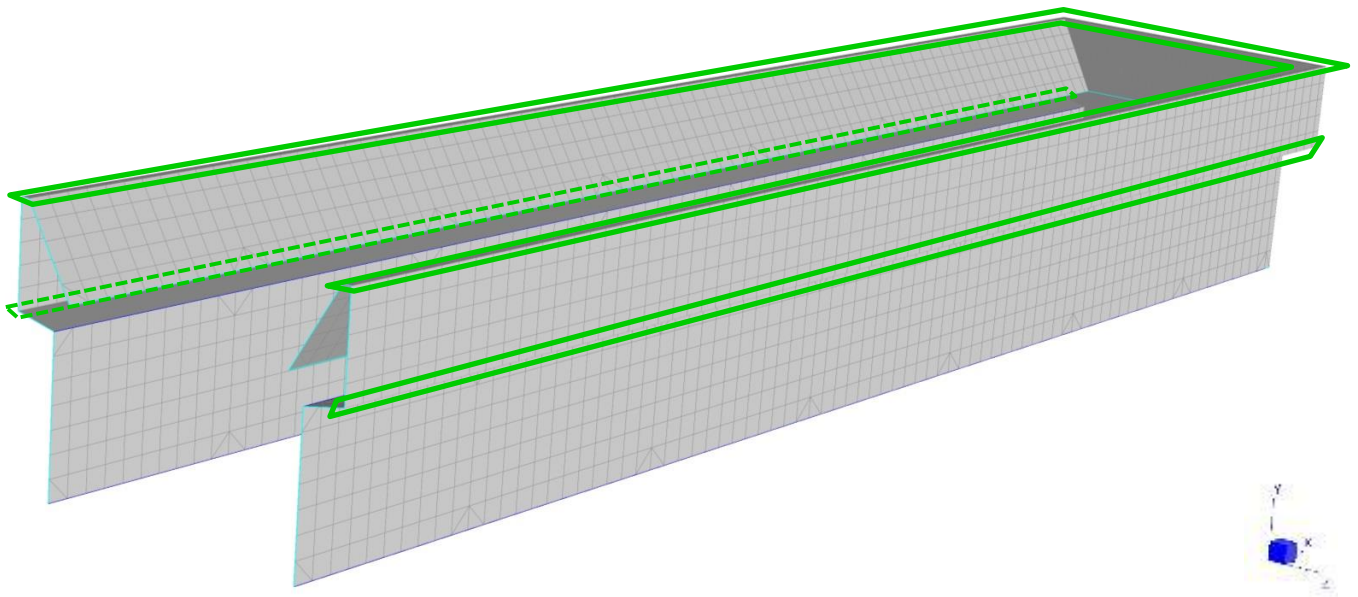
L'image suivante présente les câbles et leurs différentes conditions d'appui : en bleu foncé les câbles inox, en bleu clair les câbles de ralingue des filets.

La seconde image présente les filets avec les lignes de butée encadrées en vert.



Modèle n°9 - câbles de pourtour et symbolisation et appuis

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 36/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle n°7 - Filets et butées verticales

4.6.2. Application des charges

Le poids propre des filets et câbles est généré automatiquement par le logiciel en fonction des masses volumiques et surfaciques indiquées dans les caractéristiques des matériaux. Conformément à la note d'hypothèses, il est majoré par un facteur de 1.1 pour prendre en compte le poids des assemblages et extrémités de câbles non modélisés.

Une prétension de 1.0kN est appliquée initialement à tous les câbles.

Les variations de température sont appliquées à chaque nœud du modèle : $\pm 25^{\circ}\text{C}$.

Le pont n'étant pas modélisé, nous calculons les allongements relatifs du système de protection par rapport au pont en retranchant le module de dilatation α du béton à ceux des câbles et des filets.

Aucune pression de vent n'est considérée dans ce modèle étant donné que les filets sont totalement plaqués contre les poutres et garde-corps.

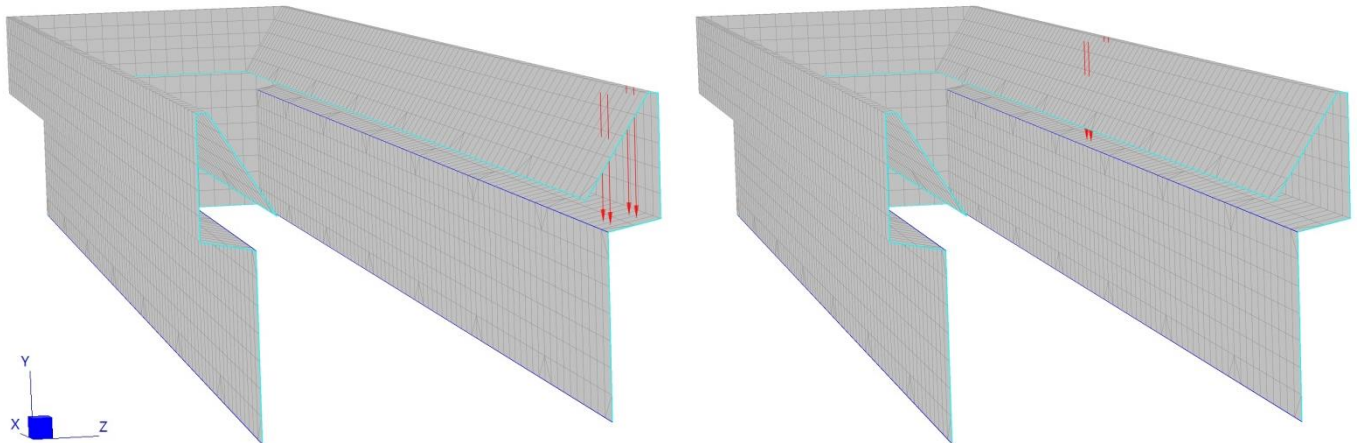
Les cas accidentels de blocs sont modélisés par des charges ponctuelles.

Les filets étant plaqués contre le béton, aucun cas de chute n'est pris en compte. Le poids du bloc est donc modélisé sans coefficient majorant. Pour rappel, un filet ne peut être chargé que d'un seul bloc. Des filets voisins peuvent être chargés en même temps.

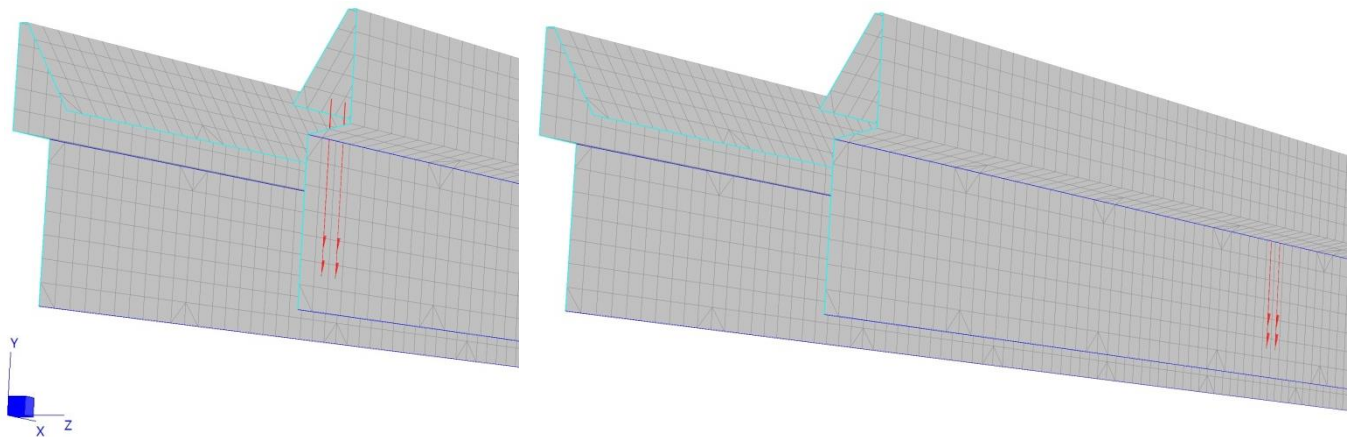
Comme dans les modèles de la note NDC 02 [4], le poids du bloc béton de 130kg est appliqué comme 4 charges ponctuelles de 0.325kN.

Différentes positions des blocs ont été testées afin de trouver les configurations les plus défavorables pour les filets et leurs points d'ancrage. Ces dernières sont conservées et utilisées dans les combinaisons de charges.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 37/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle n°9 - Exemple de charges accidentelles de bloc sur le filet supérieur



Modèle n°9 - Exemple de charges accidentelles de bloc sur le filet inférieur

4.6.3. Charges résultantes

Le tableau suivant récapitule les charges totales appliquées dans le modèle :

| | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
|---------------------------|------------|-------------|------------|
| Poids propre (G) : | | | |
| F6a | 0.0 | -1.6 | 0.0 |
| Total G : | 0.0 | -1.6 | 0.0 |
| Blocs (Fa) : | | | |
| F6a | 0.0 | -5.2 | 0.0 |
| Total Fa : | 0.0 | -5.2 | 0.0 |

4.6.4. Phasage de montage

Le phasage de montage est le suivant :

- Etape 1 : pose des filets F6a inférieurs et des câbles C1, C2
- Etape 2 : pose des filets F6a supérieurs

Le logiciel permet de modéliser ce phasage en activant les éléments les uns après les autres.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 38/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Le temps d'installation de ces filets pouvant être long vu leurs dimensions, nous appliquons tous les cas de charge à chaque étape : température, vent et bloc. Aussi la protection est dimensionnée pour reprendre le poids d'un bloc même si tous les filets ne sont pas installés.

Après étude, nous avons constaté que la prise en compte du phasage n'avait pas d'impact sur la protection.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 39/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.7. Modèle n°10 - Grillages F4c

4.7.1. Géométrie

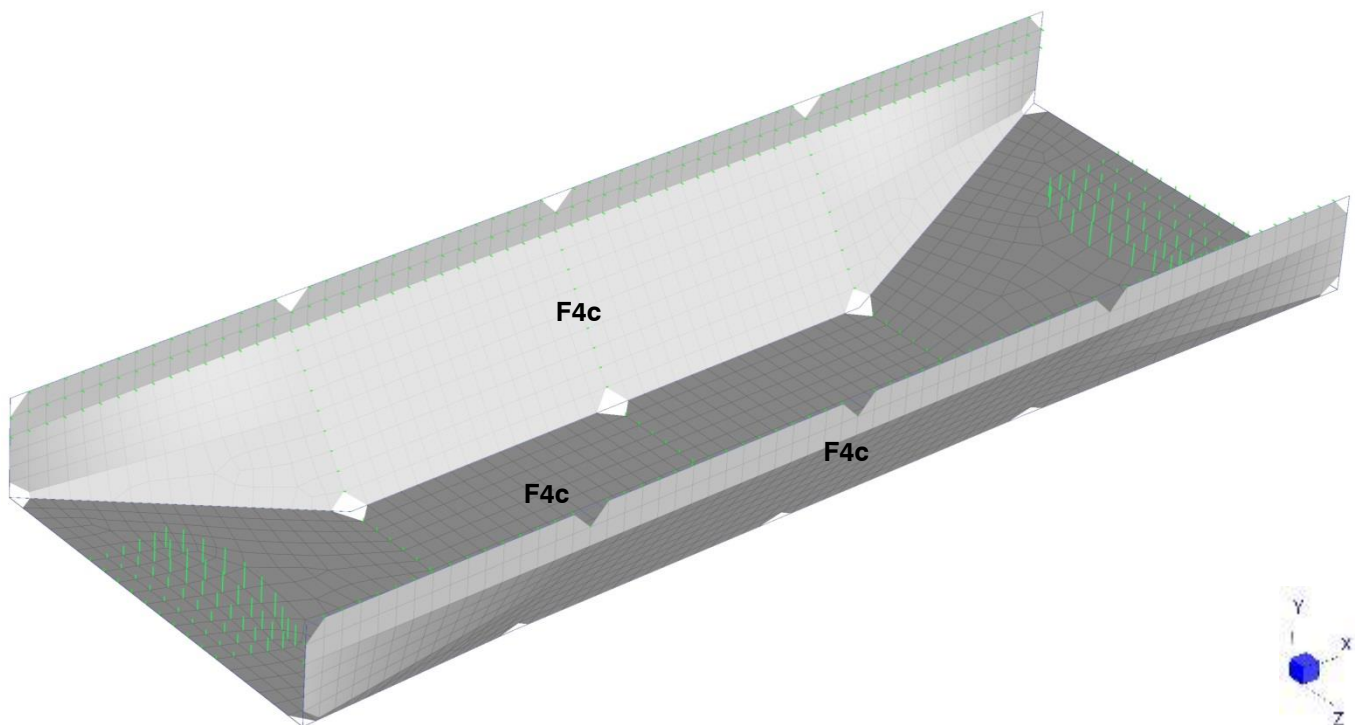
Les grillages sont calculés à l'aide d'un modèle éléments finis en trois dimensions, dont le repère est le suivant :

- FX : axe longitudinal du pont
- FY : axe vertical
- FZ : axe transversal au tablier du pont

Seuls les grillages F4c sont modélisés étant donné qu'ils sont indépendants des filets F2b (câbles et ancrages propres).

Le nombre de grillages dans le modèle est :

- 3 grillages F4c



Modèle n°10 - grillages

Les dimensions des grillages modélisés sont les dimensions maximales présentées dans les plans de principe en référence [2] :

| Grillages | Longueurs (m) | Largeurs (m) | Surface totale (m²) |
|----------------|---------------|--------------|---------------------|
| F4c - lat. | 2 x 16 | 0.2+1.85 | 65.6 |
| F4c - inf. | 16 | 3.5 à 5 | 62.0 |
| Total : | | | 127.6 |

Les câbles de pourtour des grillages sont continus d'un ancrage à l'autre. Ils sont maintenus régulièrement par des appuis intermédiaires qui ne les empêchent pas de glisser selon leur axe.

Les entraxes des points d'appui modélisés sont les valeurs maximales présentées dans les plans [2] :

- selon X : 4m

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 40/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

- selon Z : 3.5 à 5m

Les câbles de pourtour pour chaque grillage sont :

- F4c latéraux : câbles C1, C2, C3
- F4c inférieur : câbles C2, C4

Le nombre de câbles dans le modèle est :

- 2 câbles C1
- 2 câbles C2
- 4 câbles C3
- 2 câbles C4

Les câbles de pourtour des grillages sont modélisés par des éléments filaire (1D) de type « cable », ne travaillant qu'en traction. Un attribut de type « string group » permet de modéliser le passage du câble dans les mailles du grillage et dans les appuis intermédiaires sans reprendre les efforts de tension.

Les grillages sont modélisés par des éléments surfaciques (2D) de type « membrane », ne travaillant qu'en traction également.

Afin de limiter les concentrations de contraintes dans les angles, les coins des grillages ne sont pas lacés sur les câbles trop près des points d'ancrage. Dans le modèle ceci est pris en compte en supprimant la maille au droit de l'ancrage.

Les grillages F4c sont plaqués contre les tranches biaises des nervures de renfort du tablier ferroviaire. Aussi des éléments non linéaires de type « butée » sont disposés sur les nœuds du grillage au droit de ces nervures pour bloquer les déplacements plaquant le grillage sur le béton.

Par ailleurs, la partie inférieure du grillage est proche de l'intrados du tablier sur ses premiers mètres au niveau des extrémités. En cas de vent de soulèvement, le grillage vient donc se plaquer contre le béton. Des butées spécifiques sont ajoutées dans ces zones : ce sont des barres verticales dont la longueur représente la distance entre le grillage et l'intrados en béton. Elles génèrent une résistance en compression à partir du moment où leur deux nœuds rentrent en contact.

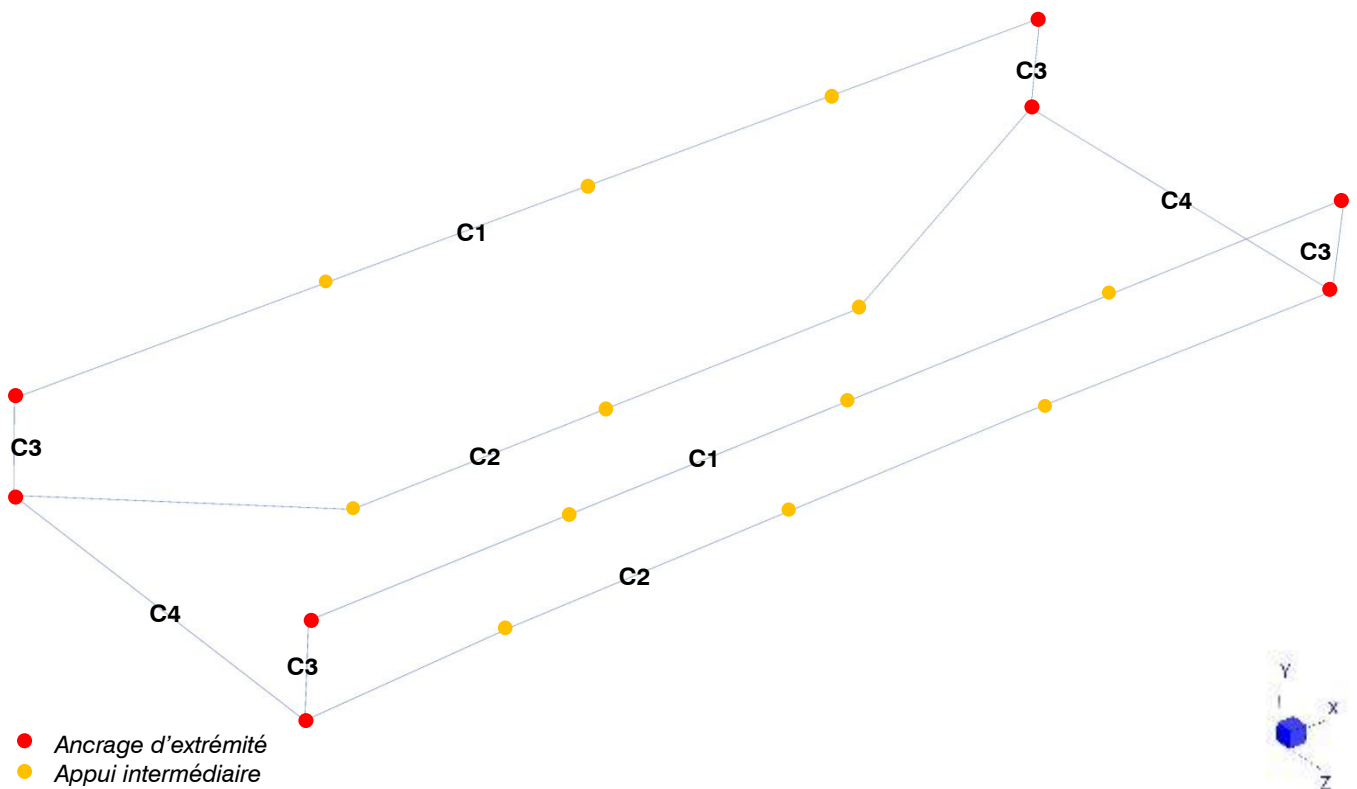
3 types d'appuis sont utilisés dans ce modèle :

- Appui fixe : blocage des 3 DDL en translation
- Appui intermédiaire : blocage de 2 DDL en translation
- Butée 1 : blocage d'1 DDL en translation selon un seul sens
- Butée 2 : blocage d'1 DDL en translation selon un seul sens et à partir du moment où les deux nœuds de la barre rentrent en contact

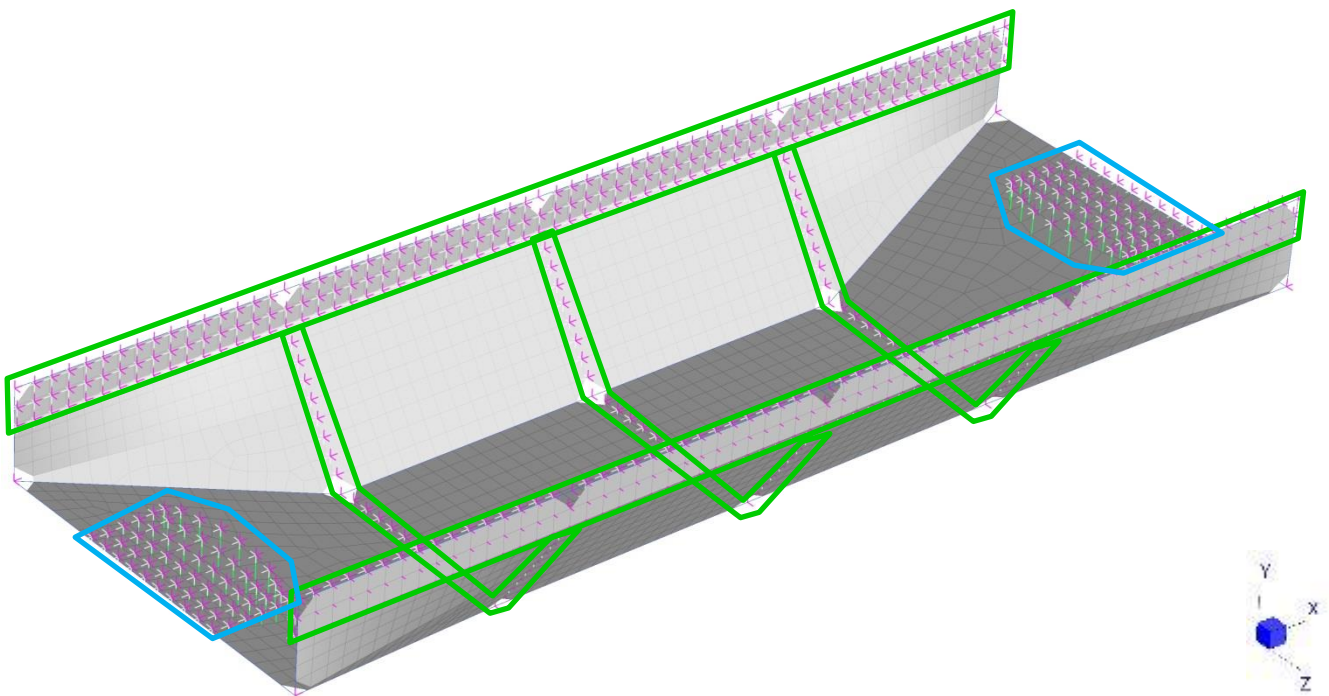
L'image suivante présente les câbles et leurs différentes conditions d'appui.

La seconde image présente les grillages avec les lignes de butées 1 encadrées en vert et les butées 2 encadrées en bleu.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 41/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle n°10 - câbles de pourtour et symbolisation et appuis



Modèle n°10 - Grillages et butées

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 42/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.7.2. Application des charges

Le poids propre des filets et câbles est généré automatiquement par le logiciel en fonction des masses volumiques et surfaciques indiquées dans les caractéristiques des matériaux. Conformément à la note d'hypothèses, il est majoré par un facteur de 1.1 pour prendre en compte le poids des assemblages et extrémités de câbles non modélisés.

Une prétension de 0.6 à 1.3kN est appliquée initialement aux câbles.

Les variations de température sont appliquées à chaque nœud du modèle : +/- 25°C.

Le pont n'étant pas modélisé, nous calculons les allongements relatifs du système de protection par rapport au pont en retranchant le module de dilatation α du béton à ceux des câbles et des filets.

La pression de vent est appliquée à tous les filets, selon la normale de l'élément surfacique : dans la direction ascendante pour le grillage horizontal, dans la direction +/-Z pour les grillages latéraux (voir image ci-après). Une pression de 0.66kN/m² est appliquée sur le grillage horizontal et sur le grillage latéral face au vent (plaqué contre les nervures de béton). Pour le grillage latéral opposé, nous considérons un effet de masque généré par les nervures, le tablier et le premier grillage, comme dans le modèle 7. Aussi nous appliquons une succion de 0.33kN/m²

Les cas accidentels de chute blocs sont modélisés par des charges ponctuelles. Le poids du bloc est modélisé avec un coefficient majorant de 10 pour prendre en compte les effets dynamiques de la chute.

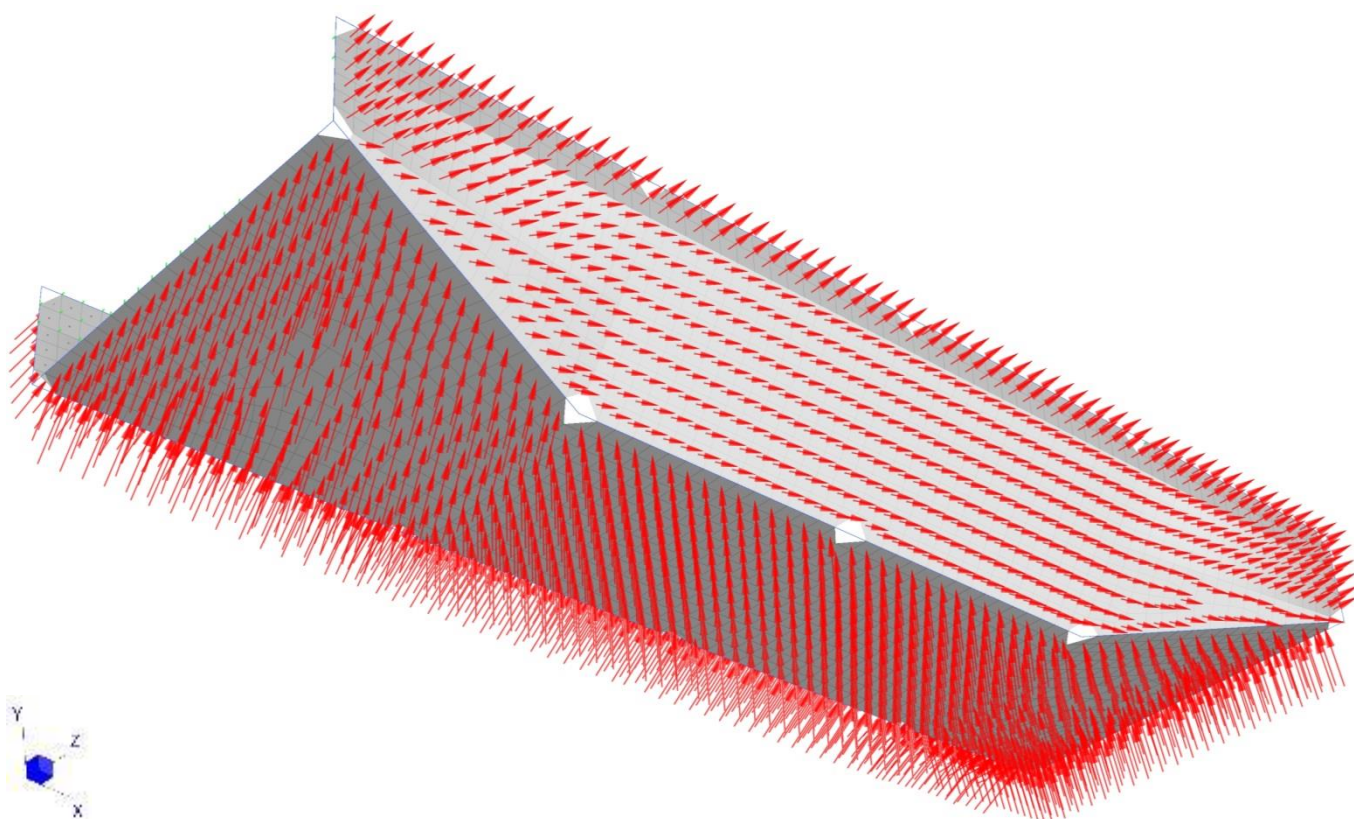
Pour rappel, un grillage ne peut être chargé que d'un seul bloc.

La surface d'application de la charge est identique au modèle précédent : la charge de chute de 13kN est donc appliquée sur une surface de 0.5m², soit une pression de 0.026MPa.

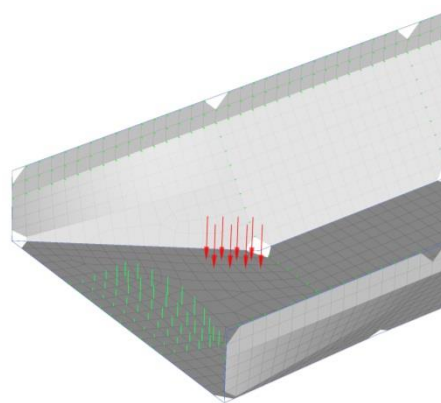
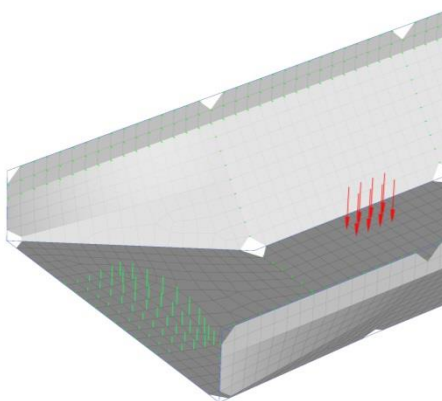
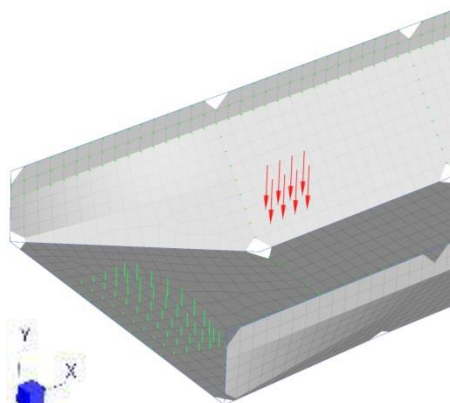
Différentes positions du point de chute ont été testées afin de trouver les configurations les plus défavorables pour les grillages et leurs points de fixation (en général : près des bords et des ancrages). Ces dernières sont conservées et utilisées dans les combinaisons de charges. Les images ci-après montrent quelques exemples de chargement accidentel.

NB : De la même façon que pour le modèle 5, le poids des blocs déjà présents dans les grillages voisins au moment d'une chute n'augmente pas sensiblement les efforts dans la protection, aussi nous les négligeons.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 43/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle n°10 - Vent selon Z+



Modèle n°10 - Exemples de charges accidentelles de chute

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 44/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

4.7.3. Charges résultantes

Le tableau suivant récapitule les charges totales appliquées dans le modèle :

| | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
|---------------------------|------------|--------------|--------------|
| Poids propre (G) : | | | |
| F4c | 0.0 | -3.6 | 0.0 |
| Total G : | 0.0 | -3.6 | 0.0 |
| Vent (V) : | | | |
| F4c | 0.0 | 41.5 | ±30.9 |
| Total V : | 0.0 | 41.5 | ±30.9 |
| Blocs (Fa) : | | | |
| F4c | 0.0 | -15.6 | 0.0 |
| Total Fa : | 0.0 | -15.6 | 0.0 |

4.7.4. Phasage de montage

Le phasage de montage est le suivant :

- Etape 1 : pose des grillages F4c latéraux et des câbles C1, C2, C3
- Etape 2 : pose du grillage F4c inférieur et des câbles C4

Le logiciel permet de modéliser ce phasage en activant les éléments les uns après les autres.

Le temps d'installation de ces filets pouvant être long vu leurs dimensions, nous appliquons tous les cas de charge à chaque étape : température, vent et bloc. Aussi la protection est dimensionnée pour reprendre le poids d'un bloc même si tous les filets ne sont pas installés.

Après étude, nous avons constaté que la prise en compte du phasage n'avait pas d'impact sur la protection.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 45/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

5. RESULTATS



5.1. Vérification des filets / grillages

5.1.1. Contrainte de traction

Les filets et grillages sont vérifiés sous combinaisons ELA et ELS en appliquant un coefficient de sécurité de 2 par rapport à la limite de rupture.

La charge limite admissible est donc de 10 kN/ml pour les filets polyamide et 27.5kN/ml pour les grillages DT.

Le tableau suivant récapitule les contraintes dans les filets et grillages des différents modèles et la marge de sécurité :

| Contraintes filets | | G kN/ml | ELS kN/ml | ELA kN/ml | coef sécu |
|--------------------|-----|------------|--------------|--------------|-----------|
| Modèle 4 | F3 | 0.0 | 9.3 | - | 2.2 |
| Modèle 7 | F2b | 0.4 | 10.3 | 6.4 | 1.9 |
| Modèle 9 | F6a | 0.5 | 6.1 | 6.7 | 3.0 |

| Contraintes grillages | | G kN/ml | ELS kN/ml | ELA kN/ml | coef sécu |
|-----------------------|-----|------------|--------------|--------------|-----------|
| Modèle 5 | F4a | 0.9 | 3.7 | 30.2 | 1.8 |
| Modèle 6 | F4b | 1.2 | 11.8 | 25.1 | 2.2 |
| Modèle 8 | F6b | 0.6 | 3.4 | 29.9 | 1.8 |
| Modèle 10 | F4c | 2.1 | 14.3 | 14.1 | 3.8 |

Pour les grillages, nous constatons un léger dépassement de la limite admissible sur les cas accidentels pour F4a et F6b. Les dépassements de contrainte restent très localisés (quelques mailles sur les bords) et apparaissent uniquement sous un ou deux cas de chute.

Nous rappelons toutefois que certaines hypothèses de calcul retenues sont sécuritaires :

- ⇒ Sur les chargements : un coefficient majorant de 10 a été appliqué sur le poids des blocs pour tous les cas de chute.
- ⇒ Sur la contrainte de traction dans les grillages : un coefficient de sécurité divisant par 2 la limite à rupture a été proposé dans la note d'hypothèses.

Or à ce jour, aucune norme de dimensionnement n'encadre précisément les calculs sur des grillages DT.

A titre de comparaison, l'Eurocode 1993-1-11 « calcul des structures à câbles ou éléments tendus » divise par 1.5 seulement la résistance à rupture pour déterminer la limite admissible sous sollicitations ELU/ELA.

Dans le cas le plus défavorable (F4a), la contrainte de traction dans le grillage atteint très localement 110% de la limite admissible que l'on s'est fixée, mais cela ne représente en fait que 55% de la limite à rupture. Nous estimons donc que cette contrainte reste acceptable et que les grillages sont validés.

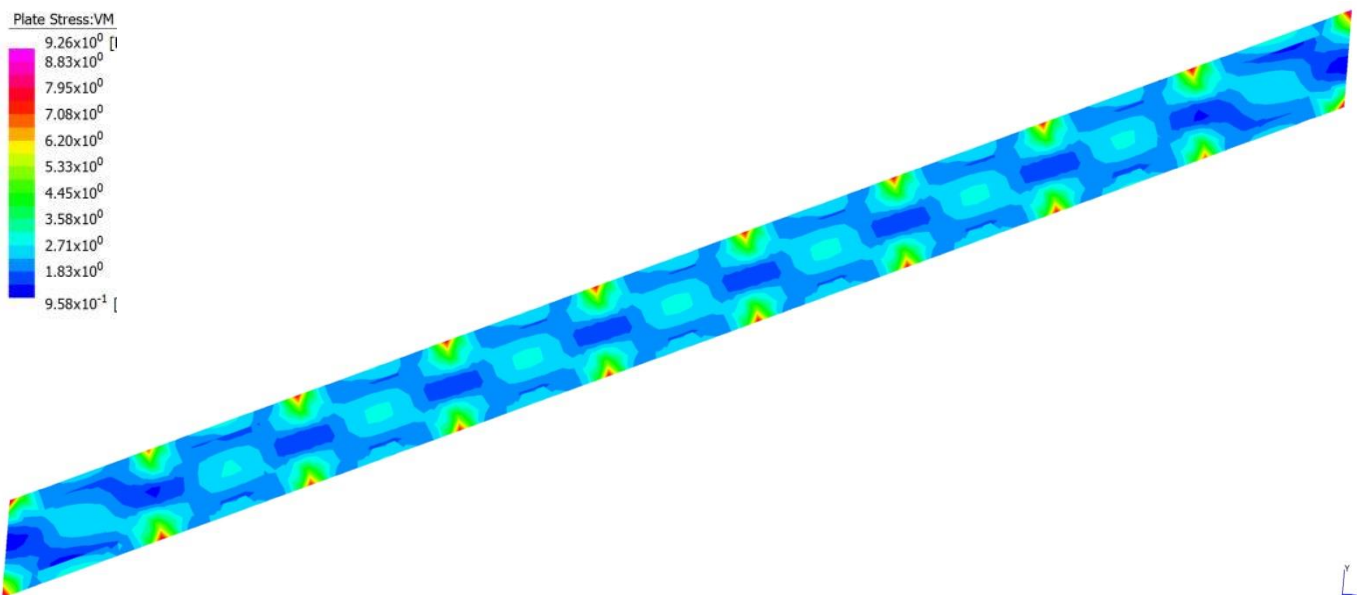
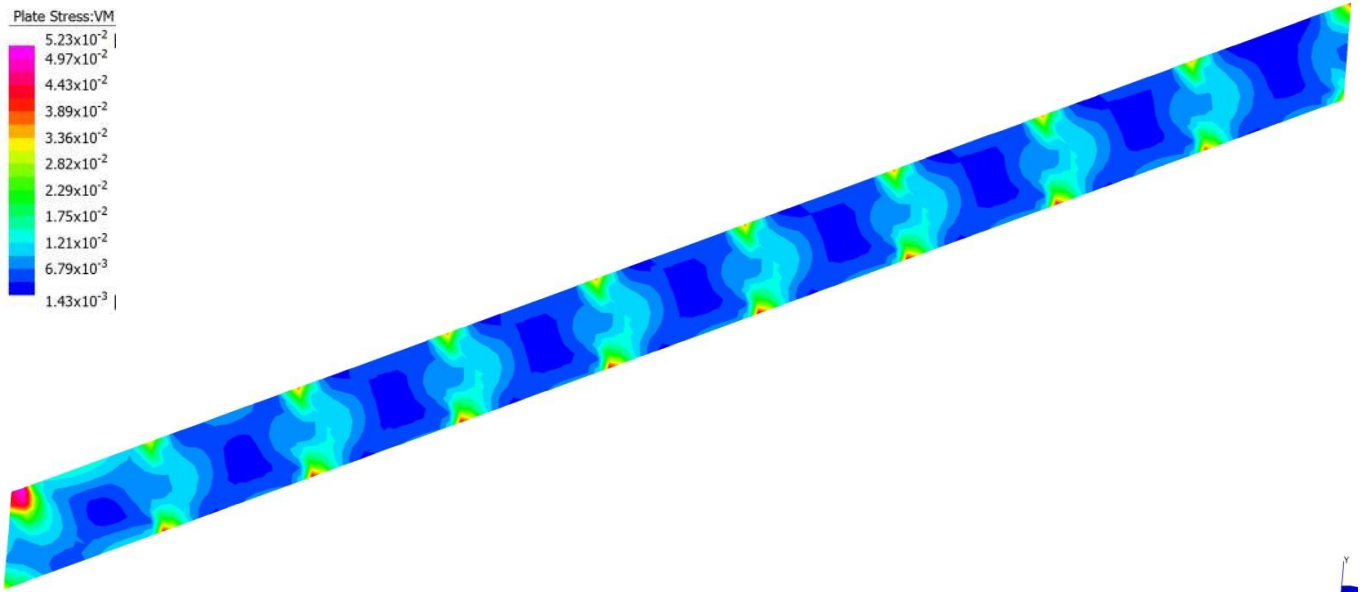
Pour les filets, nous constatons un léger dépassement de la limite admissible sous cas de vent aux ELS pour F2b uniquement. Les dépassements de contrainte restent très localisés (quelques mailles sur les bords) et apparaissent uniquement sous une combinaison.

| | | | | | |
|---------------|--------------------|-----------|---------|------------|---------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 46/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

La contrainte de traction dans le filet atteint donc localement 103% de la limite admissible que l'on s'est fixée, mais cela ne représente en fait que 52% de la limite à rupture.

Pour cette raison et pour les arguments évoqués ci-avant sur les coefficients de sécurité, nous considérons que cette contrainte reste acceptable et que les filets sont validés.

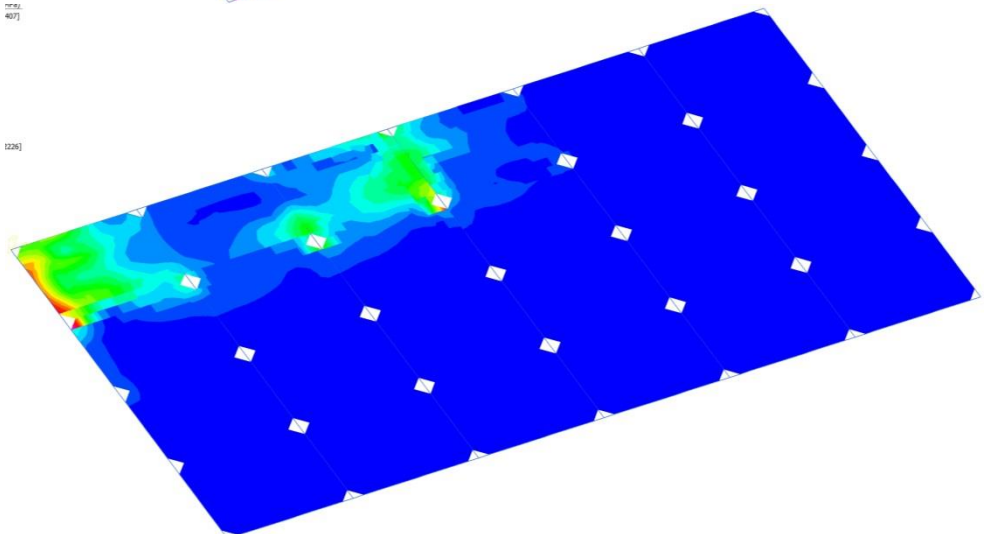
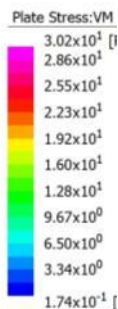
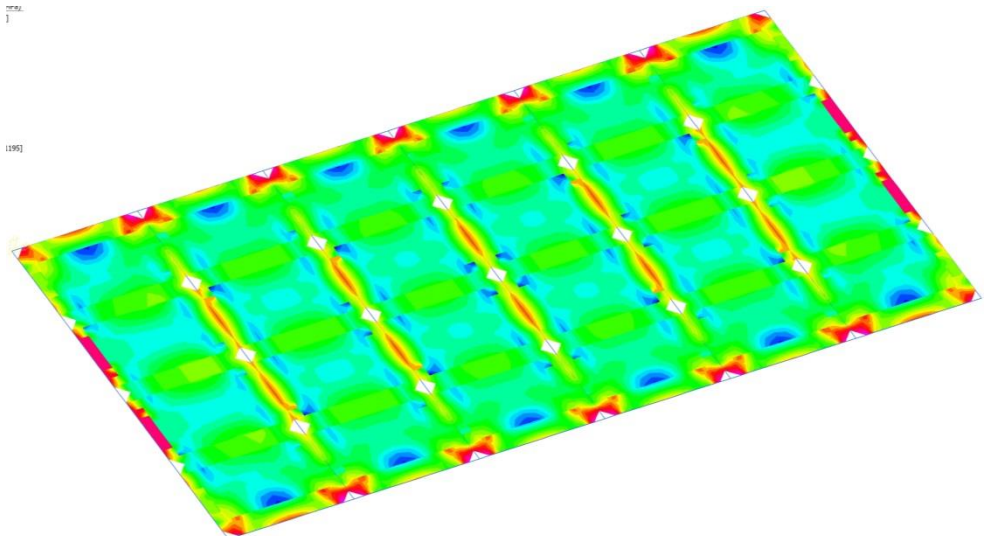
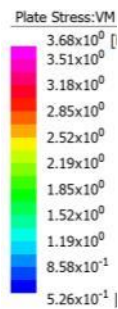
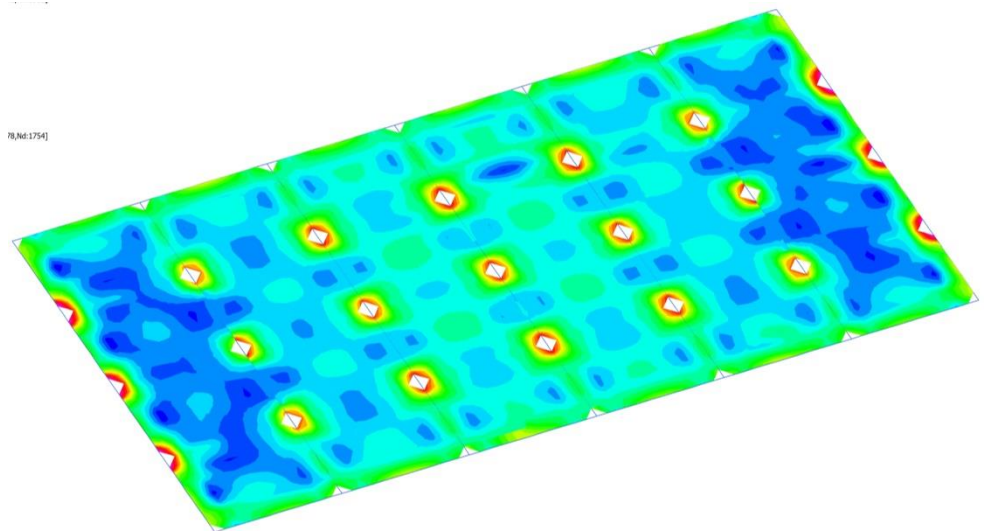
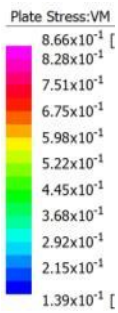
Par ailleurs, même si quelques mailles venaient à rompre, la tenue d'ensemble de la protection resterait assurée.



Contrainte de traction dans les filets F3

En haut : sous charges permanentes (dont prétension) / En bas : sous enveloppe ELS

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 47/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Contrainte de traction dans les grillages F4a

En haut : sous charges permanentes (dont prétension) / Au milieu : sous enveloppe ELS / En bas : sous enveloppe ELA

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 48/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Plate Stress: von Mises
Max = 1.24 [Pt:611;Nd:580]
1.09
0.939
0.788
0.638
0.487
0.336
0.186
Min = 0.035 [Pt:484;Nd:580]

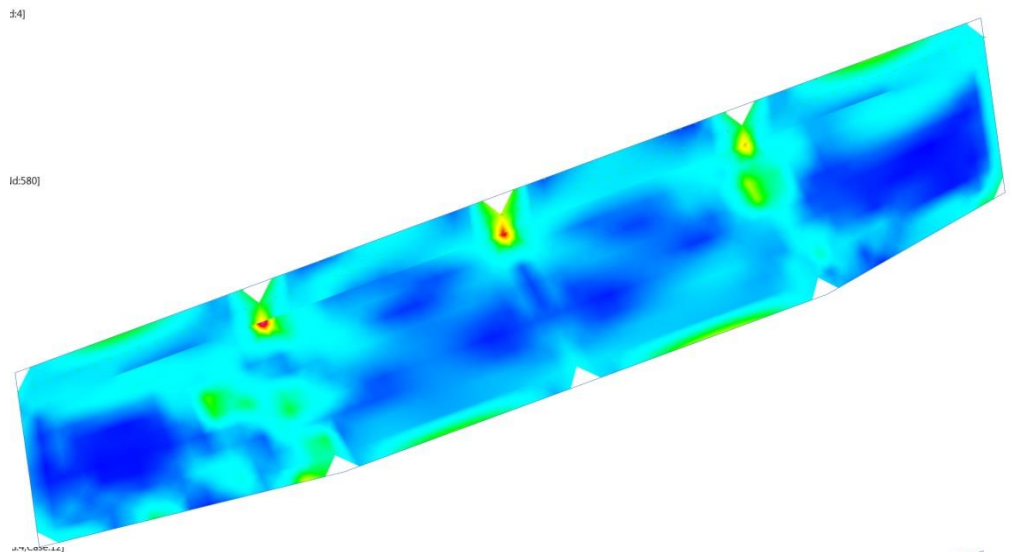


Plate Stress: von Mises
Max = 11.8 [Pt:611;Nd:580]
10.5
9.12
7.79
6.46
5.13
3.8
2.47
Min = 1.14 [Pt:658;Nd:580]

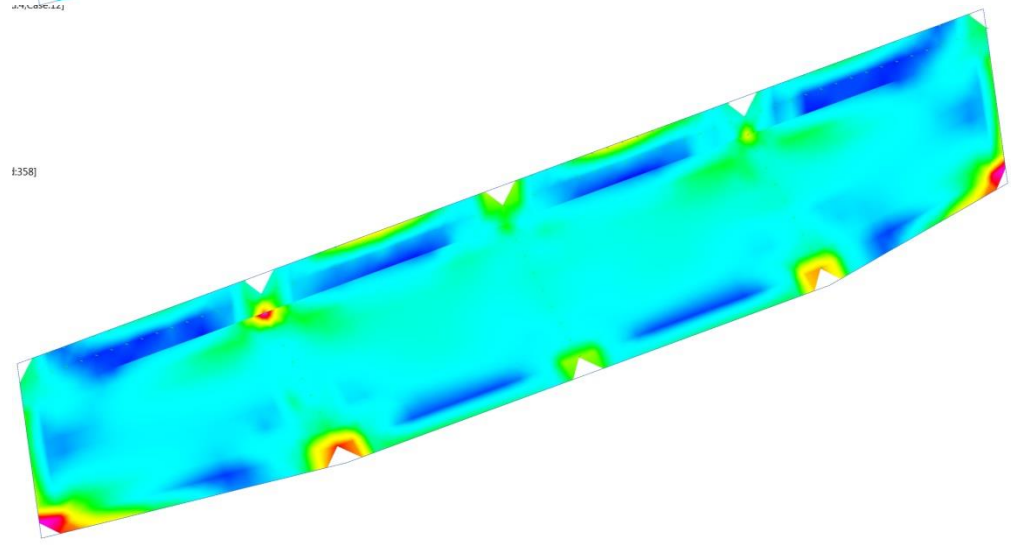
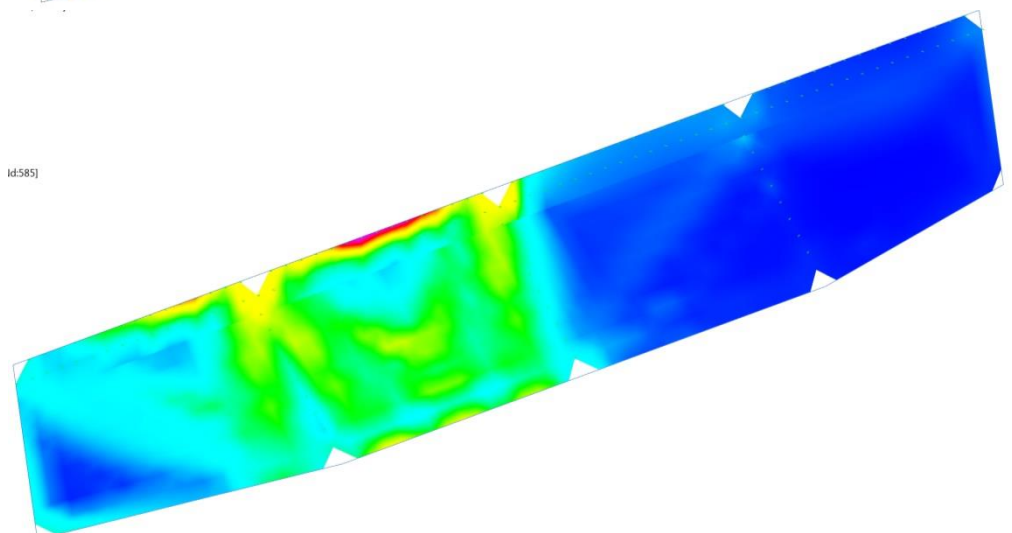


Plate Stress: von Mises
Max = 25.1 [Pt:600;Nd:585]
22.0
18.9
15.7
12.6
9.47
6.34
3.21
Min = 0.085 [Pt:489;Nd:585]



Contrainte de traction dans les grillages F4b

En haut : sous charges permanentes (dont prétension) / Au milieu : sous enveloppe ELS / En bas : sous enveloppe ELA

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 49/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Plate Stress: von Mises
Max = 0.368 [Pt:1613;N:
0.338
0.307
0.277
0.246
0.216
0.185
0.155
0.124
0.094
0.063
0.033
Min = 2.17×10^{-3} [Pt:13

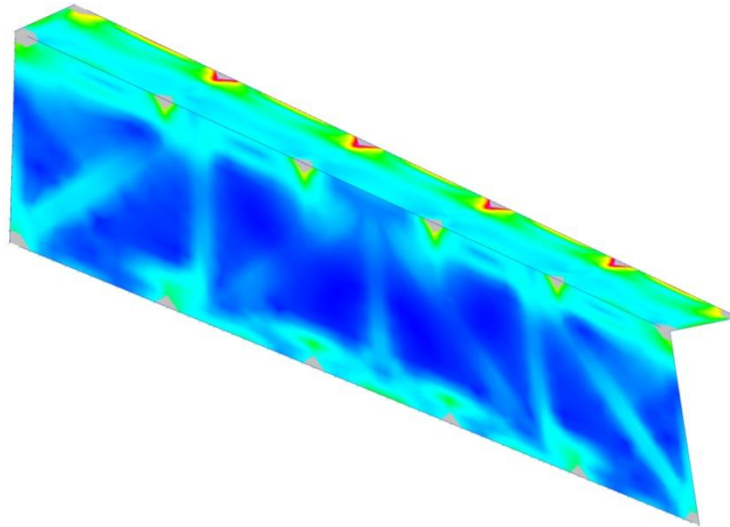


Plate Stress: von Mises
Max = 10.3 [Pt:72;Nd:2:
9.48
8.72
7.95
7.18
6.42
5.65
4.88
4.11
3.35
2.58
1.81
Min = 1.05 [Pt:1645;Nd:

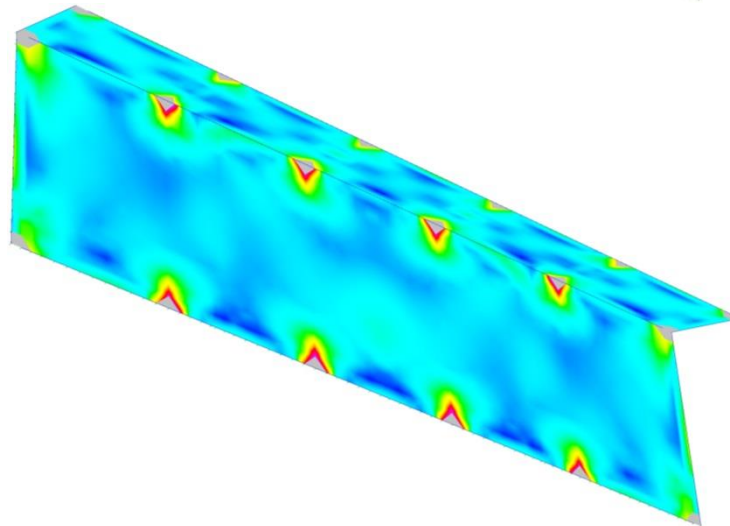
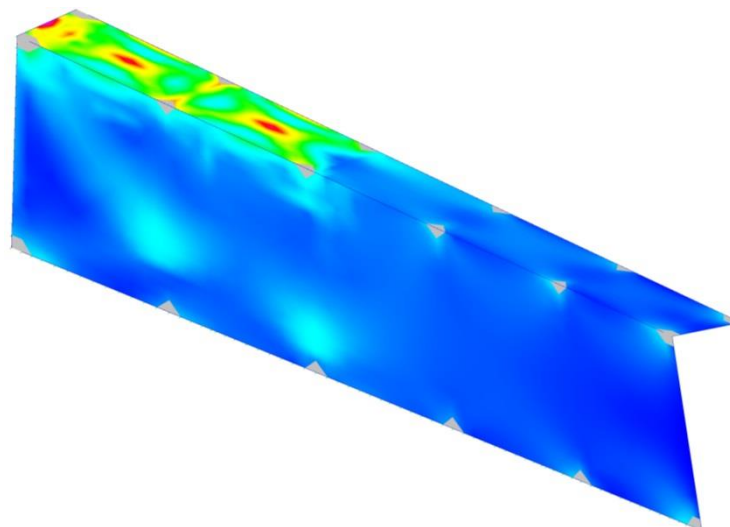


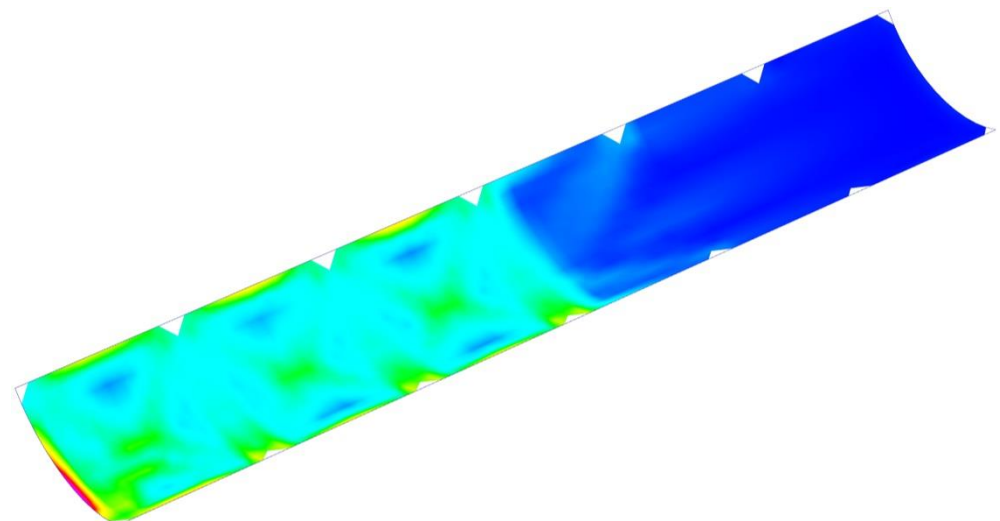
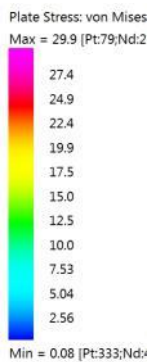
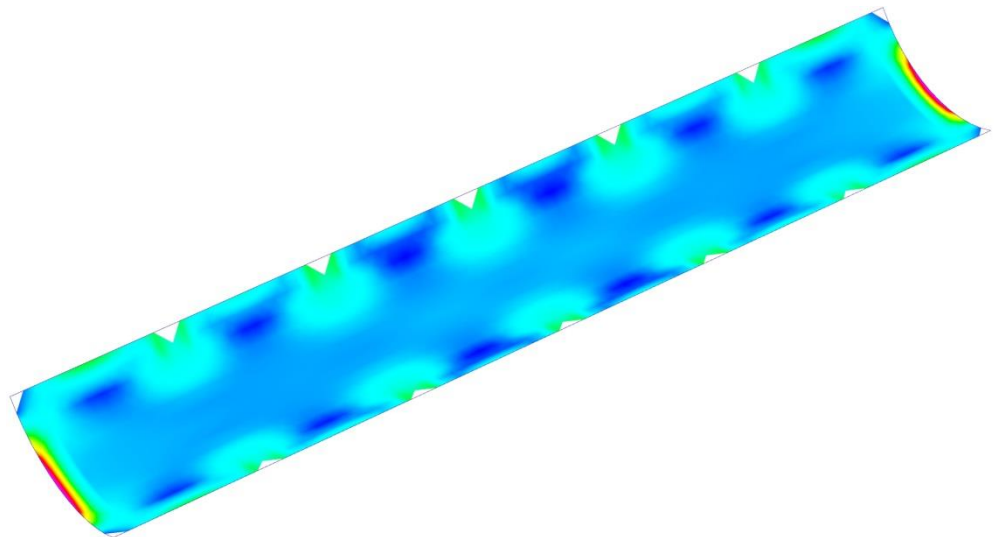
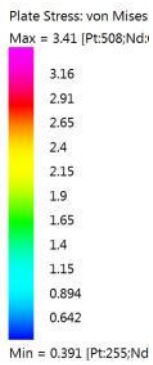
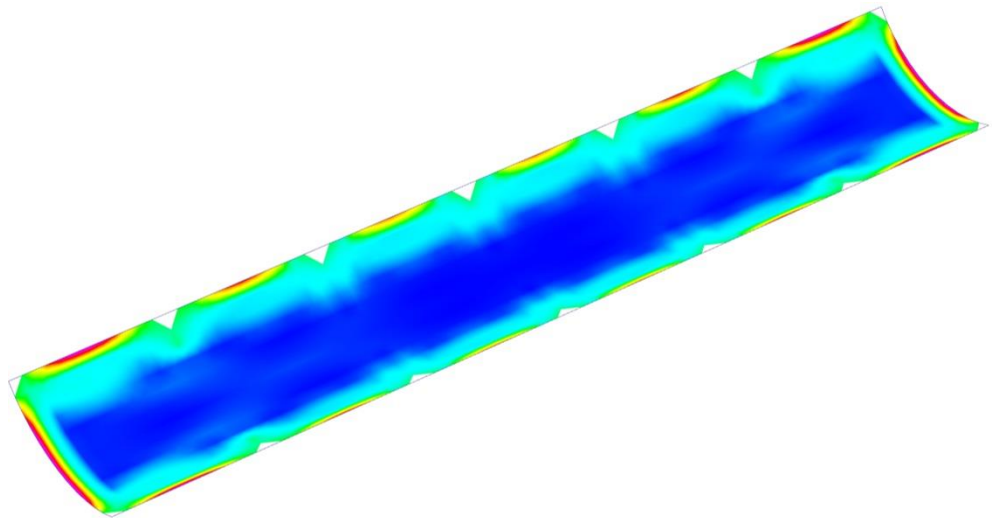
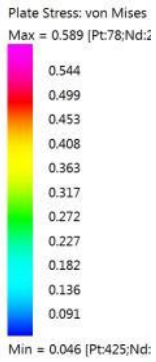
Plate Stress: von Mises
Max = 6.44 [Pt:741;Nd:1
5.91
5.37
4.84
4.3
3.77
3.23
2.69
2.16
1.62
1.09
0.553
Min = 0.017 [Pt:1054;N:



Contrainte de traction dans les filets F2b

En haut : sous charges permanentes (dont prétension) / Au milieu : sous enveloppe ELS / En bas : sous enveloppe ELA

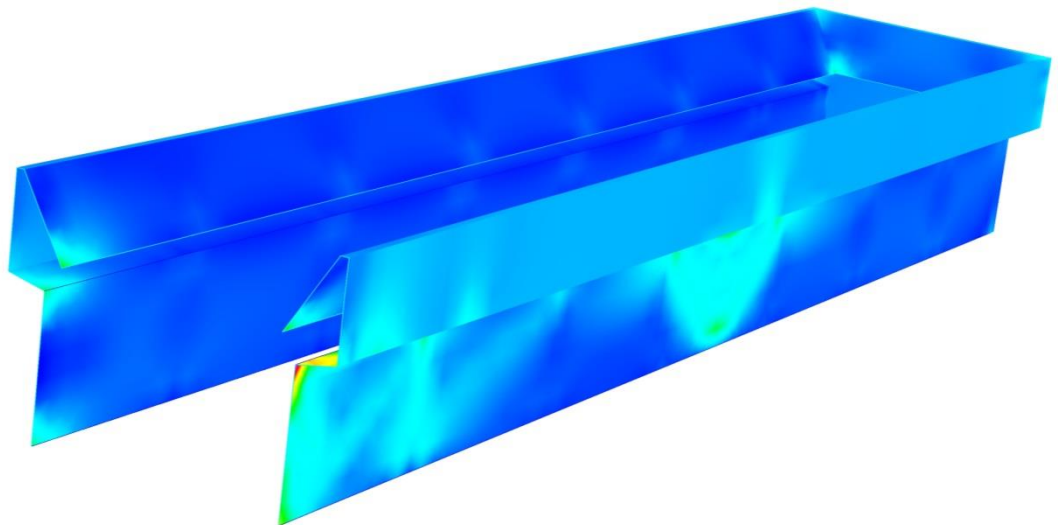
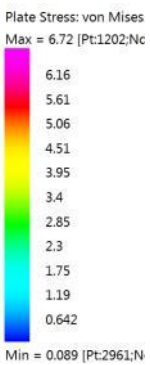
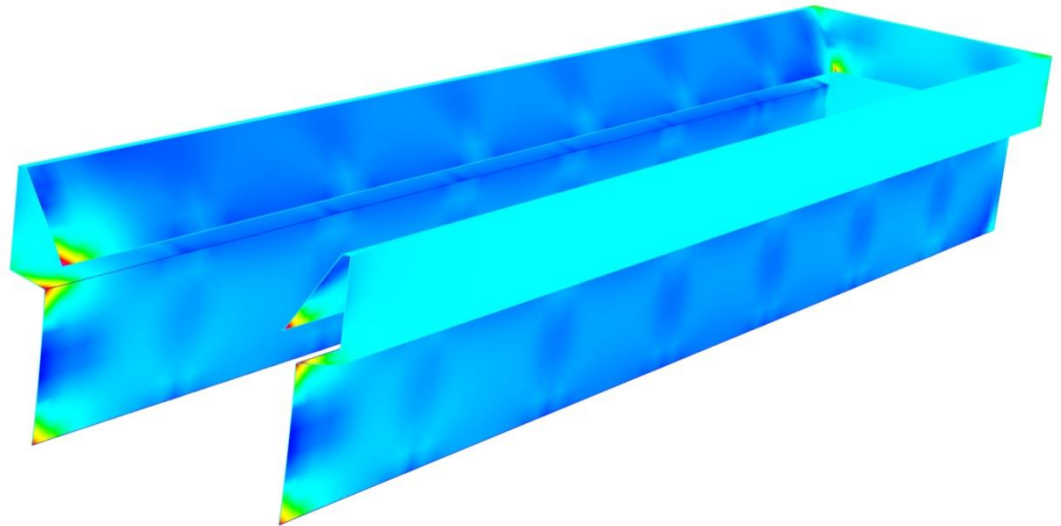
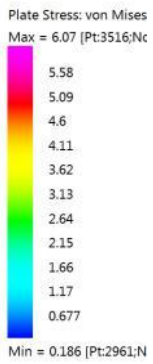
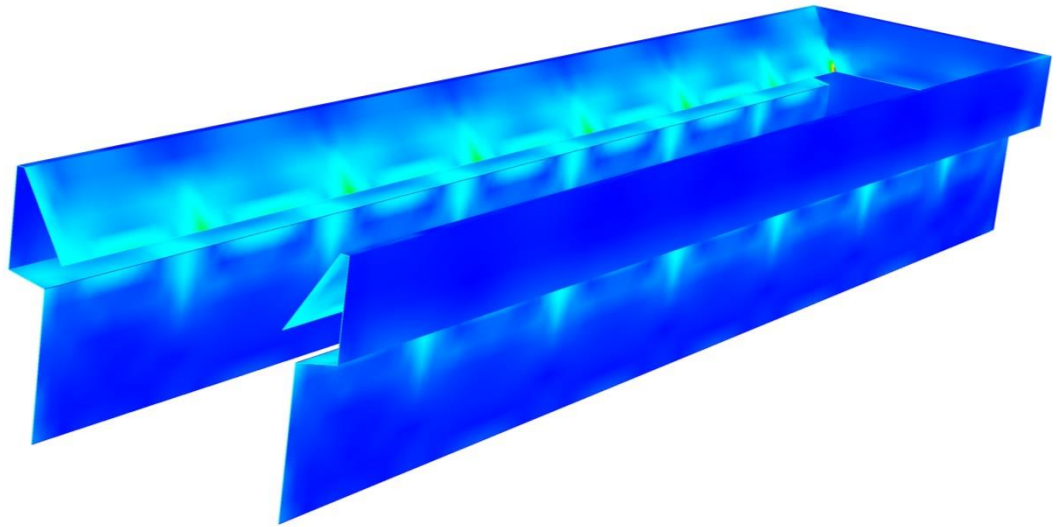
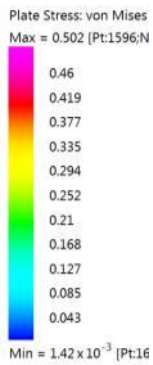
| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 50/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Contrainte de traction dans les grillages F6b

En haut : sous charges permanentes (dont prétension) / Au milieu : sous enveloppe ELS / En bas : sous enveloppe ELA

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 51/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

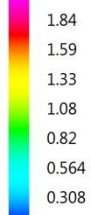


Contrainte de traction dans les filets F6a

En haut : sous charges permanentes (dont prétension) / Au milieu : sous enveloppe ELS / En bas : sous enveloppe ELA

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 52/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Plate Stress: von Mises
Max = 2.1 [Pt:1958;Nd:



Min = 0.053 [Pt:1892;N

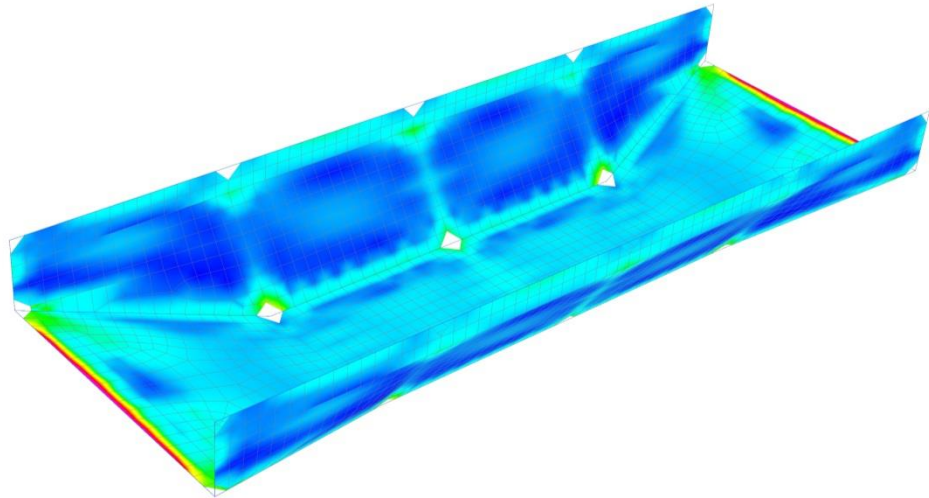
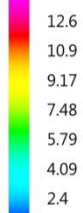


Plate Stress: von Mises
Max = 14.3 [Pt:1124;Nc



Min = 0.704 [Pt:2097;N

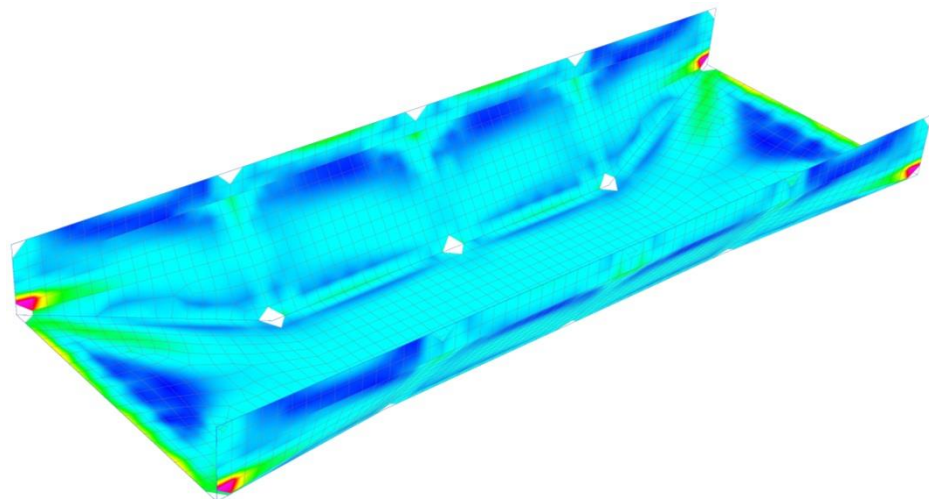
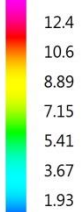
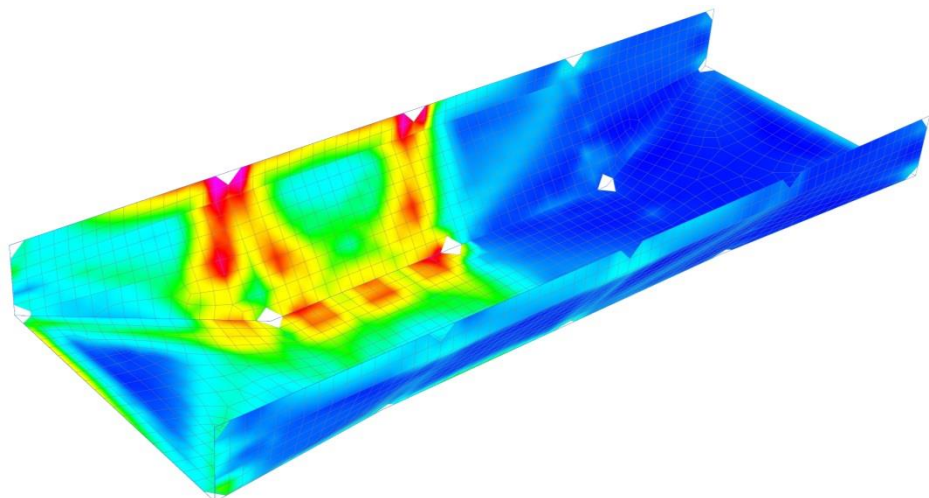


Plate Stress: von Mises
Max = 14.1 [Pt:871;Nd:



Min = 0.189 [Pt:2053;N



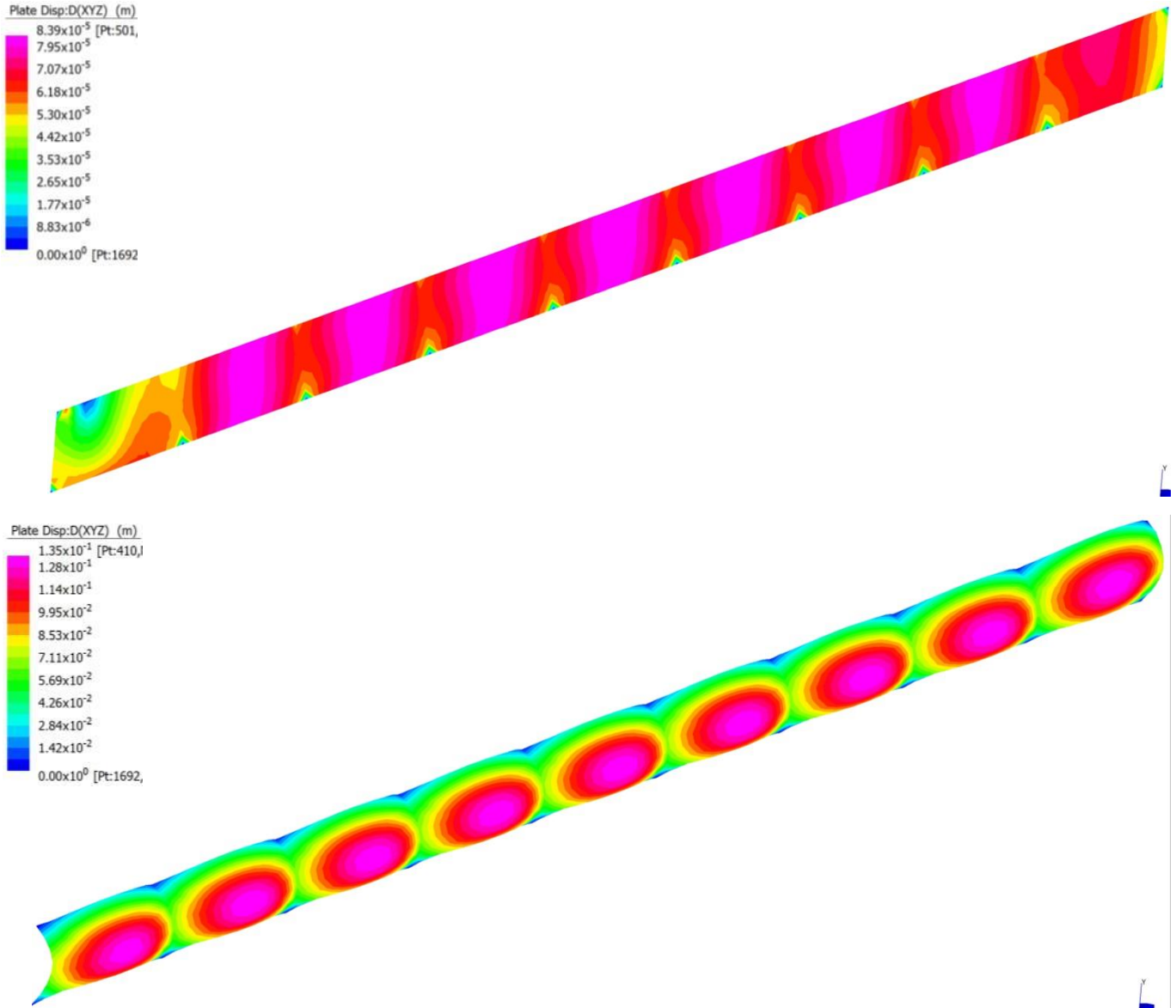
Contrainte de traction dans les grillages F4c

En haut : sous charges permanentes (dont prétension) / Au milieu : sous enveloppe ELS / En bas : sous enveloppe ELA

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 53/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

5.1.2. Déformée

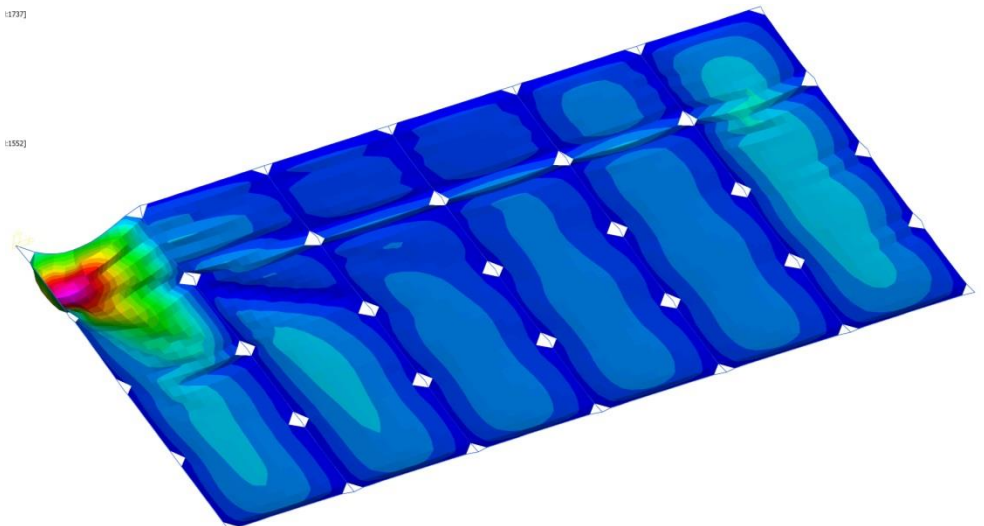
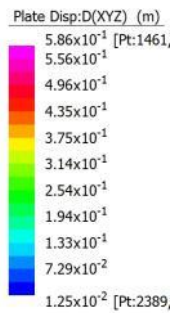
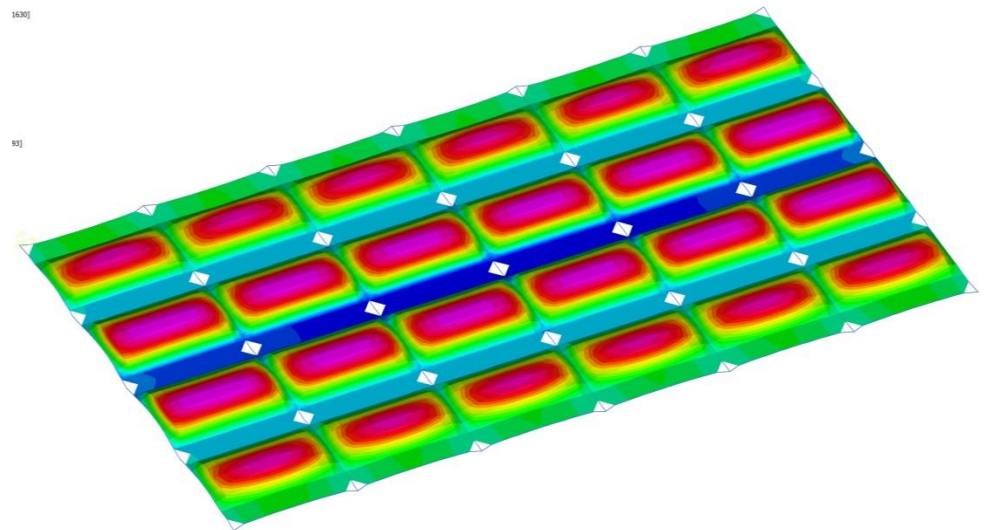
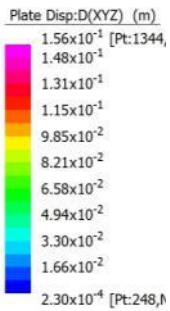
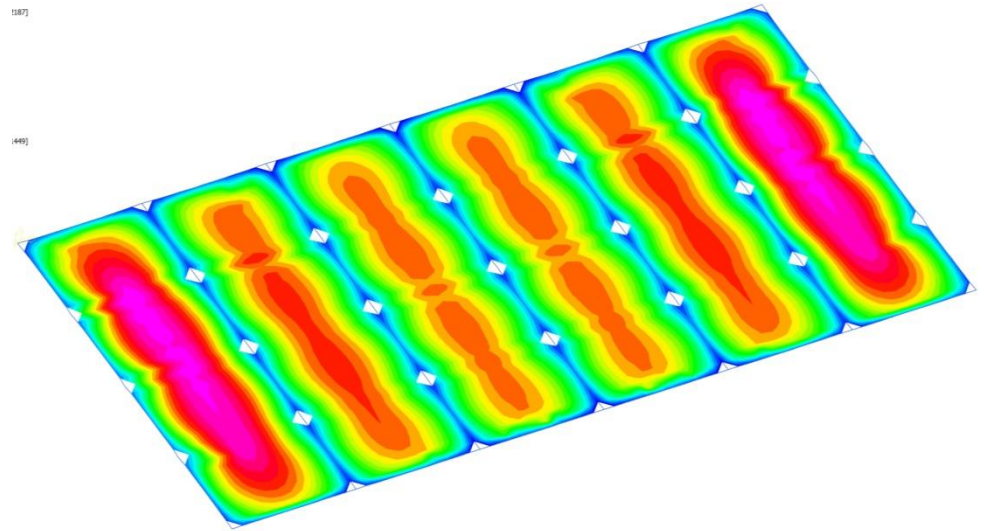
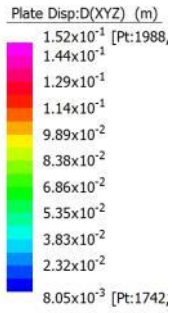
Nous renseignons à titre indicatif les déformées des filets :



Déformée amplifiée dans les filets F3

En haut : sous charges permanentes (dont prétension) / Au milieu : sous combinaison ELS

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 54/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Déformée amplifiée dans les grillages F4a

En haut : sous charges permanentes (dont prétension) / Au milieu : sous combinaison ELS / En bas : sous combinaison ELA

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 55/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Plate Disp: D(XYZ) (m)
Max = 0.197 [Pt:64;Nd:4]
0.173
0.15
0.126
0.103
0.079
0.056
0.032
Min = 8.5×10^{-3} [Pt:176]

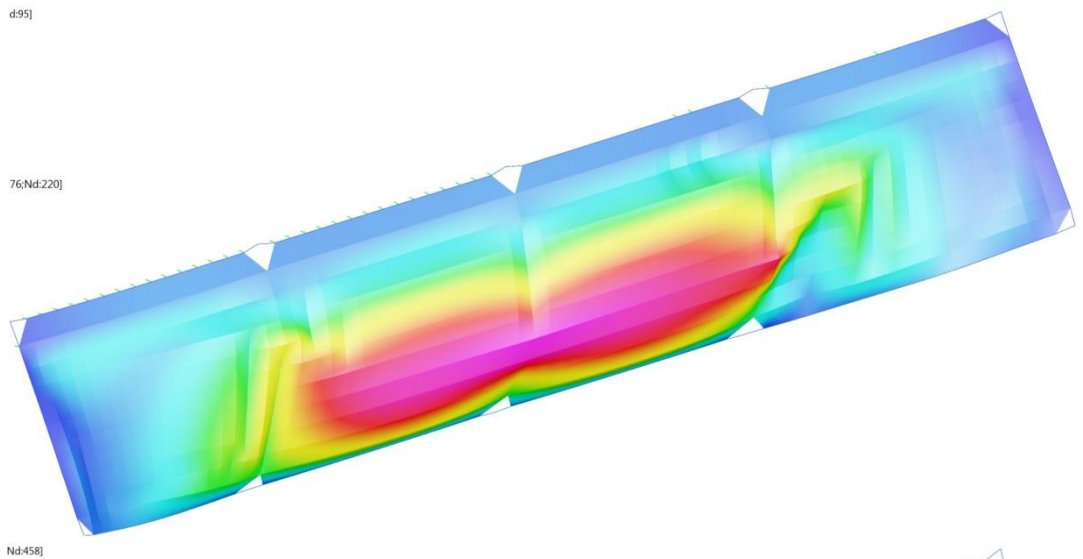


Plate Disp: D(XYZ) (m)
Max = 0.403 [Pt:344;Nd:1]
0.355
0.307
0.259
0.211
0.163
0.115
0.067
Min = 0.019 [Pt:544;Nd:1]

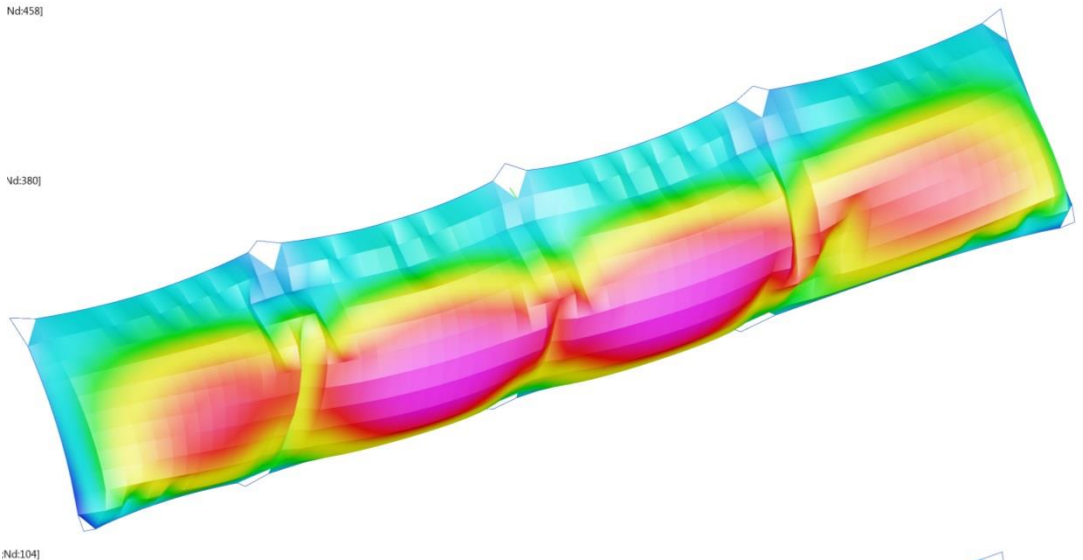
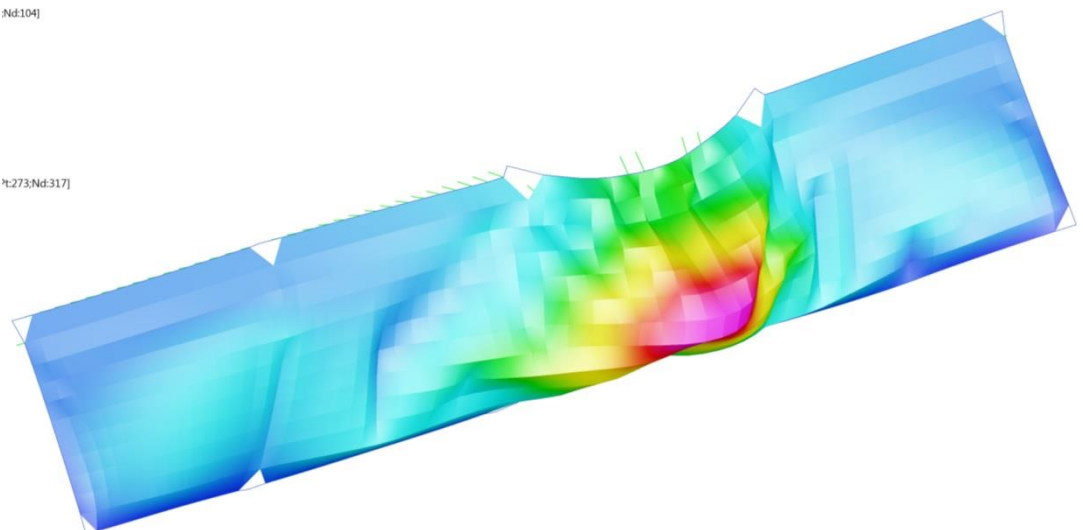


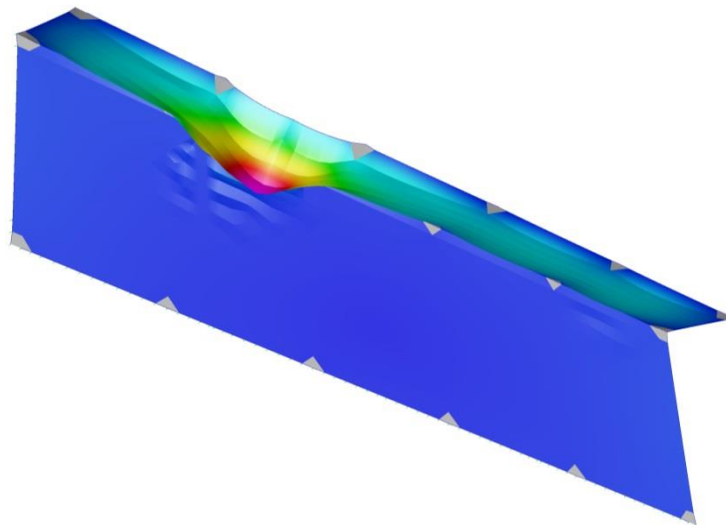
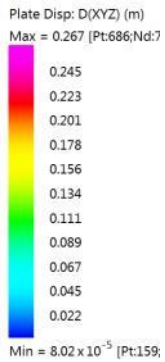
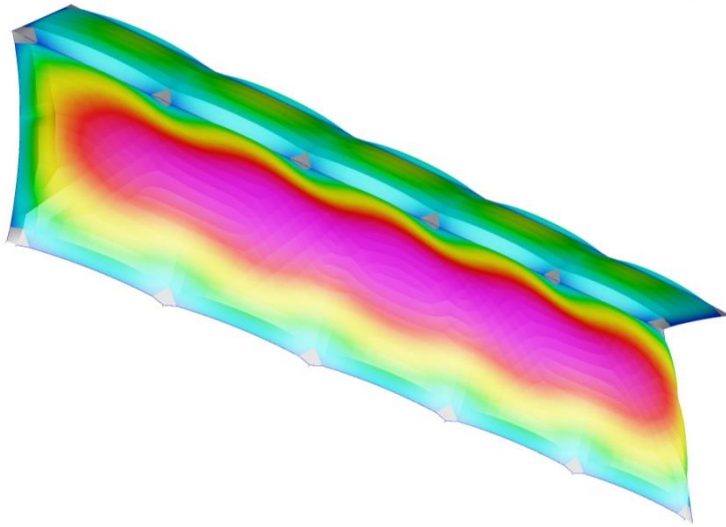
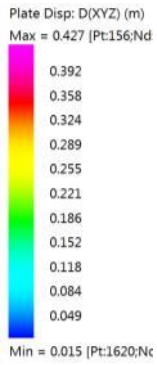
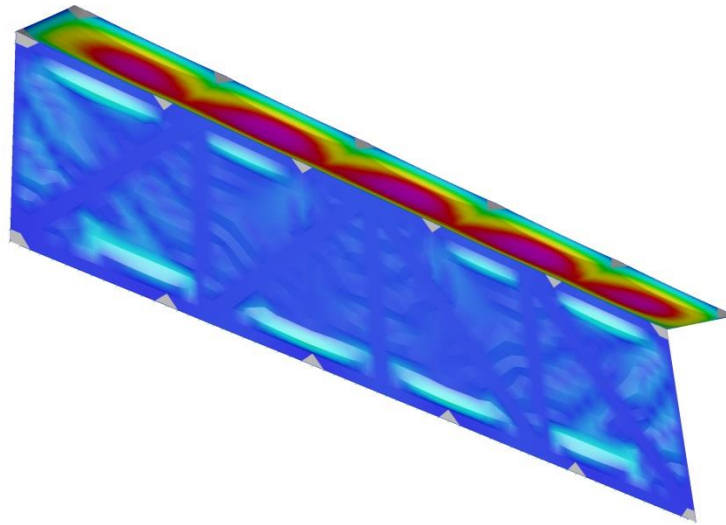
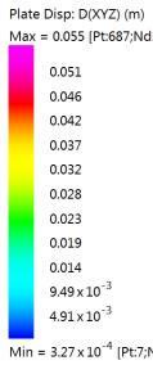
Plate Disp: D(XYZ) (m)
Max = 0.627 [Pt:72;Nd:1]
0.549
0.471
0.393
0.314
0.236
0.158
0.08
Min = 1.23×10^{-3} [Pt:27]



Déformée amplifiée dans les grillages F4b

En haut : sous charges permanentes (dont prétension) / Au milieu : sous combinaison ELS / En bas : sous combinaison ELA

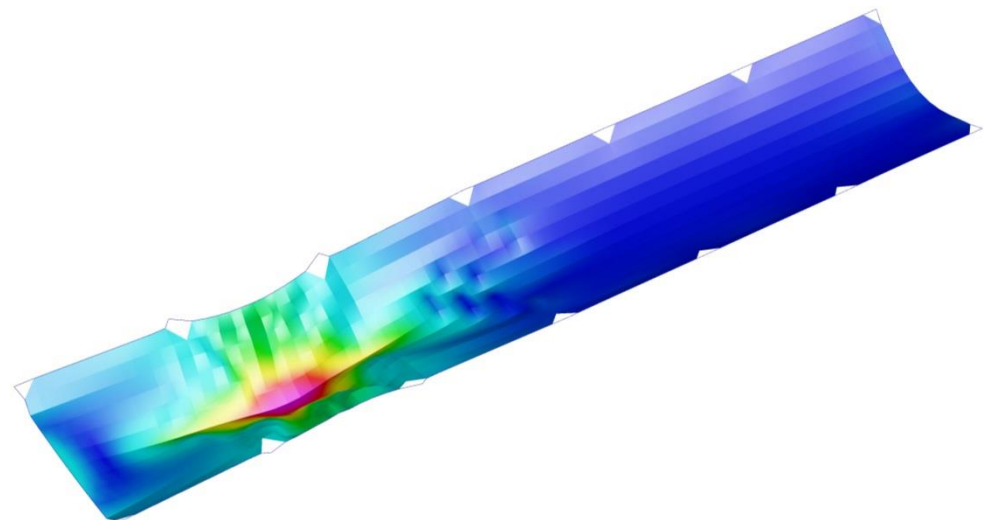
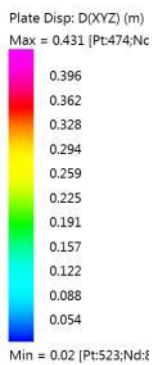
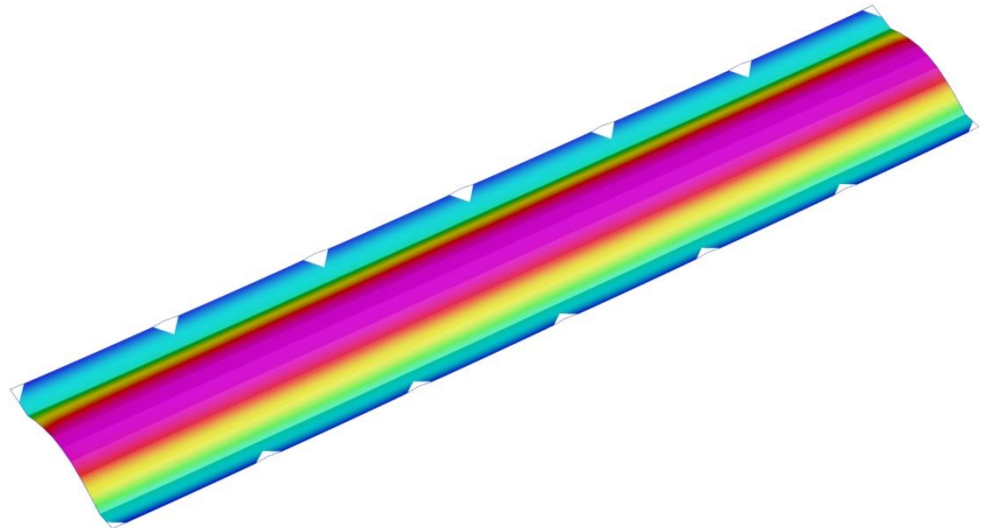
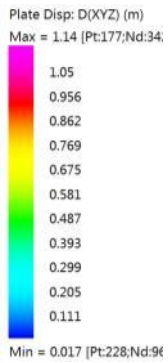
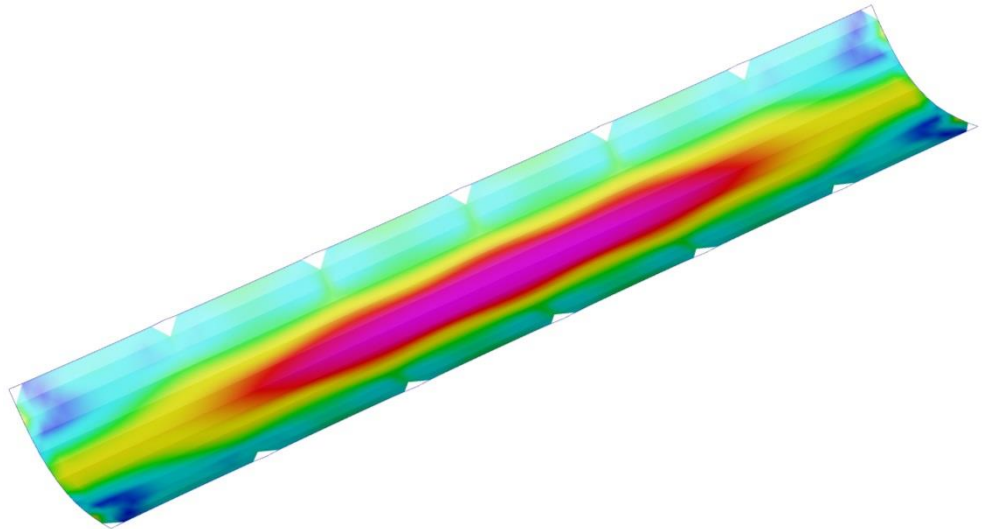
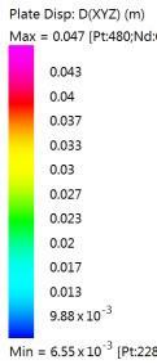
| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 56/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Déformée amplifiée dans les filets F2b

En haut : sous charges permanentes (dont prétension) / Au milieu : sous combinaison ELS / En bas : sous combinaison ELA

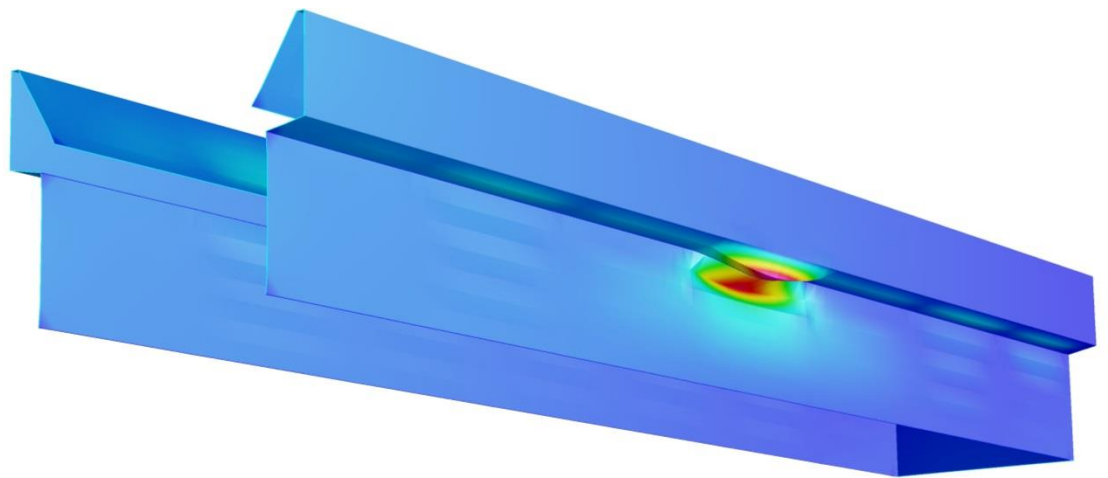
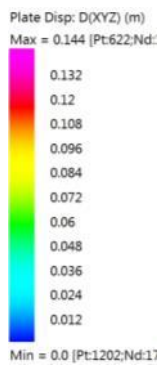
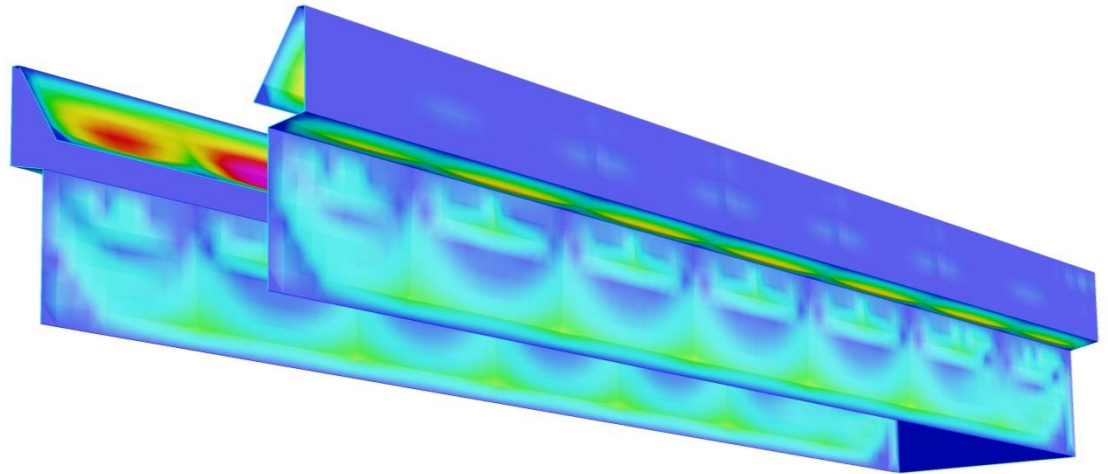
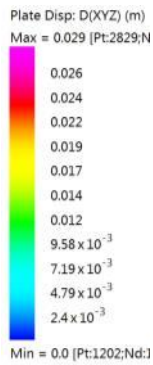
| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 57/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Déformée amplifiée dans les grillages F6b

En haut : sous charges permanentes (dont prétension) / Au milieu : sous combinaison ELS / En bas : sous combinaison ELA

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 58/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Déformée amplifiée dans les filets F6a

En haut : sous charges permanentes (dont prétension) / En bas : sous combinaison ELA

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 59/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Plate Disp: D(XYZ) (m)
Max = 0.236 [Pt:2099;N:
0.206
0.177
0.147
0.118
0.088
0.059
0.03
Min = 1.99×10^{-5} [Pt:17;

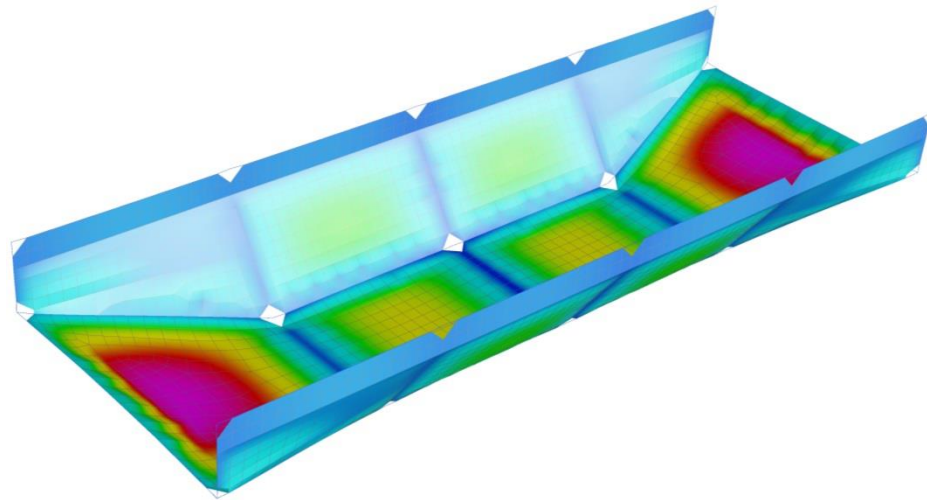


Plate Disp: D(XYZ) (m)
Max = 0.461 [Pt:1787;N:
0.404
0.346
0.289
0.231
0.174
0.116
0.059
Min = 1.06×10^{-3} [Pt:80

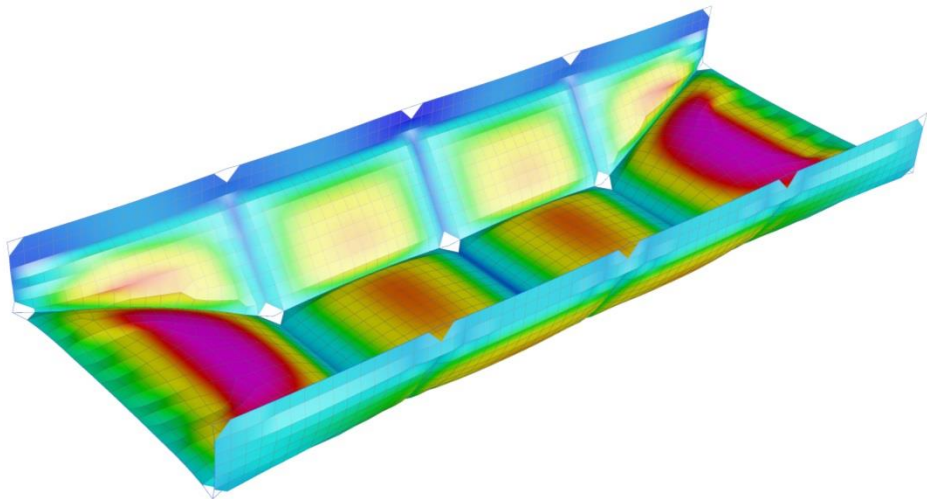
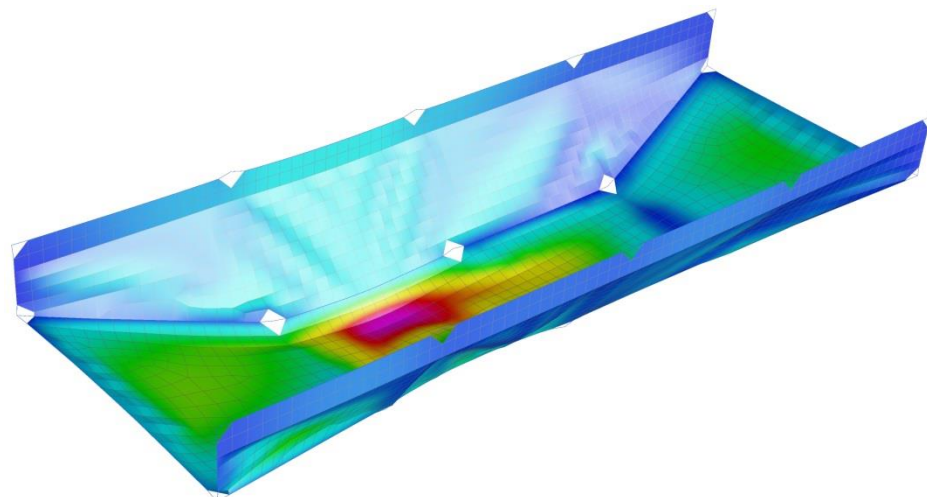


Plate Disp: D(XYZ) (m)
Max = 0.501 [Pt:41;Nd:
0.44
0.379
0.319
0.258
0.198
0.137
0.077
Min = 0.016 [Pt:183;Nd



Déformée amplifiée dans les grillages F4c

En haut : sous charges permanentes (dont prétension) / Au milieu : sous combinaison ELS / En bas : sous combinaison ELA

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 60/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



5.2. Vérification des câbles

Les câbles sont vérifiés sous combinaisons ELA et ELS en appliquant un coefficient de sécurité de 2 par rapport à la limite de rupture.
La charge limite admissible est donc de 19 kN.

Le tableau suivant récapitule les efforts dans les câbles des différents modèles et la marge de sécurité :

| Effort câbles | | G kN | ELS kN | ELA kN | coef sécu |
|---------------|----|---------|-----------|-----------|-----------|
| Filets F3 | C1 | 1.0 | 3.1 | - | 12.3 |
| Grillages F4a | C1 | 2.6 | 3.3 | 18.3 | 2.1 |
| | C2 | 1.5 | 5.1 | 18.4 | 2.1 |
| | C3 | 0.5 | 7.1 | 8.5 | 4.5 |
| Grillages F4b | C1 | 1.1 | 9.0 | 11.6 | 3.3 |
| | C2 | 0.5 | 10.0 | 8.8 | 3.8 |
| | C3 | 0.3 | 13.5 | 6.6 | 2.8 |
| Filets F2b | C1 | 1.0 | 6.1 | 1.6 | 6.2 |
| | C2 | 1.0 | 7.5 | 1.6 | 5.1 |
| | C3 | 1.0 | 7.4 | 1.1 | 5.1 |
| | C4 | 1.0 | 5.5 | 5.1 | 6.9 |
| | C5 | 1.0 | 6.1 | 1.3 | 6.2 |
| Grillages F6b | C1 | 0.1 | 0.5 | 4.7 | 8.1 |
| | C2 | 0.8 | 3.7 | 10.3 | 3.7 |
| Filets F6a | C1 | 1.0 | 1.2 | 2.4 | 15.8 |
| | C2 | 1.0 | 1.2 | 1.1 | 31.7 |
| Grillages F4c | C1 | 0.8 | 6.3 | 10.9 | 6.2 |
| | C2 | 0.6 | 9.1 | 5.9 | 5.1 |
| | C3 | 0.7 | 13.7 | 6.7 | 5.1 |
| | C4 | 1.3 | 10.2 | 6.3 | 6.9 |

5.3. Vérification des platines d'ancrage



5.3.1. Listing ancrages

Le tableau suivant présente les différents cas d'appuis à justifier :

| Câbles | | Ancrage extrémité | Appui intermédiaire |
|---------------|----|-------------------|---------------------|
| Filets F3 | C1 | A7-a | A7-b |
| Grillages F4a | C1 | A5-a | A18 |
| | C2 | A5-b | A18 |
| | C3 | A5-a | A5-b |
| Grillages F4b | C1 | A16-a | A16-b |

| | | | | | |
|---------------|--------------------|-----------|---------|------------|---------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 61/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| Câbles | | Ancrage extrémité | Appui intermédiaire |
|---------------|----------|-------------------|---------------------|
| | C2 | A17-a | A17-b |
| | C3 | A16-a / A17-a | - |
| Filets F2b | C1 | A6-a | A6-b |
| | C2 | A14-a | A14-b |
| | C3 | A15-a | A15-b |
| | C4 | A6-a / A14-a | - |
| | C5 | A14-a / A15-a | - |
| Grillages F6b | C1 | A19-a | - |
| | C2 | A19-a | A19-b |
| Filets F6a | C1 | A13-a / A10-a | A10-b |
| | C2 | A13-a / A11-a | A11-b |
| | Ralingue | A20-a | A20-b |
| Grillages F4c | C1 | A16-a | A16-b |
| | C2 | A17-a | A17-b |
| | C3 | A16-a / A17-a | - |
| | C4 | A17-a | - |

Le tableau suivant classe chaque cas d'appui selon le type de platine utilisé :

| | Ancrage | Platine |
|---------------|---------------|---------|
| Filets F3 | A7-a | Type 2 |
| | A7-b | Type 3 |
| Grillages F4a | A5-a | Type 4 |
| | A5-b | Type 4 |
| | A18-a | Type 4 |
| | A18-b | Type 4 |
| Grillages F4b | A16-a | Type 5 |
| | A16-b | Type 6 |
| | A17-a | Type 5 |
| | A17-b | Type 6 |
| Filets F2b | A6a - biais | Type 6 |
| | A6a - horiz. | Type 6 |
| | A6b | Type 2 |
| | A14a - vert. | Type 6 |
| | A14a - horiz. | Type 6 |
| | A14b | Type 2 |
| | A15a - vert. | Type 2 |
| | A15a - horiz. | Type 2 |
| | A15b | Type 2 |
| Grillages F6b | A19-a | Type 4 |
| | A19-b | Type 4 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 62/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| | Ancrage | Platine |
|----------------------|----------------|---------|
| Filets F6a | A10-a | Type 2 |
| | A10-b | Type 2 |
| | A11-a | Type 2 |
| | A11-b | Type 2 |
| | A20-a | Type 2 |
| | A20-b | Type 2 |
| | A13-a | Type 2 |
| Grillages F4c | A16-a | Type 5 |
| | A16-b | Type 6 |
| | A17-a - horiz. | Type 5 |
| | A17-a - vert. | Type 5 |
| | A17-b | Type 6 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 63/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

5.3.2. Descente de charges sur ancrages

Les tableaux ci-dessous présentent les enveloppes d'efforts concomitants ELS, ELU et ELA pour chaque ancrage, exprimées dans le repère du modèle de calcul.

| ELS | | | | ELU | | | |
|--------|-------------|-------------|-------------|--------|-------------|-------------|-------------|
| A7-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A7-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 3.9 | 0.2 | -0.4 | FX max | 5.4 | 0.4 | -0.6 |
| FX min | -3.8 | -0.2 | -0.4 | FX min | -5.4 | -0.5 | -0.5 |
| FY max | 3.3 | 1.8 | -0.3 | FY max | 4.7 | 2.3 | -0.5 |
| FY min | -3.3 | -1.8 | -0.3 | FY min | -4.7 | -2.3 | -0.5 |
| FZ max | 1.0 | 0.3 | 0.0 | FZ max | 1.0 | 0.3 | 0.0 |
| FZ min | 3.9 | 0.2 | -0.4 | FZ min | 5.4 | 0.4 | -0.6 |

| ELS | | | | | | |
|--------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| A7-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | MX (kN.m) | MY (kN.m) | MZ (kN.m) |
| FX max | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.1 |
| FX min | -0.3 | -0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 |
| FY max | 0.1 | 0.1 | -1.3 | -0.8 | 0.0 | -0.1 |
| FY min | -0.2 | -0.3 | -1.3 | -0.8 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 0.0 | -0.1 | -1.3 | -0.8 | 0.0 | 0.0 |
| MX max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| MX min | -0.1 | -0.3 | -1.3 | -0.8 | 0.0 | 0.0 |
| MY max | 0.1 | 0.1 | -1.3 | -0.8 | 0.0 | -0.1 |
| MY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| MZ max | -0.3 | -0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 |
| MZ min | 0.2 | 0.1 | -0.8 | -0.5 | 0.0 | -0.2 |
| ELU | | | | | | |
| A7-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | MX (kN.m) | MY (kN.m) | MZ (kN.m) |
| FX max | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.1 |
| FX min | -0.5 | -0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 |
| FY max | 0.3 | 0.1 | -1.3 | -0.8 | 0.0 | -0.1 |
| FY min | -0.4 | -0.3 | -1.3 | -0.8 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 0.0 | -0.1 | -1.3 | -0.8 | 0.0 | 0.0 |
| MX max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| MX min | -0.2 | -0.3 | -1.3 | -0.8 | 0.0 | 0.0 |
| MY max | 0.3 | 0.1 | -1.3 | -0.8 | 0.0 | -0.1 |
| MY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| MZ max | -0.5 | -0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 |
| MZ min | 0.4 | 0.1 | -0.8 | -0.5 | 0.0 | -0.2 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 64/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | | | | | |
|--------|-------------|-------------|--------------|--------|-------------|-------------|--------------|
| A5-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A5-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 7.2 | 0.0 | -4.4 | FX max | 0.2 | 0.0 | -7.5 |
| FX min | -7.2 | 0.0 | -4.4 | FX min | -0.2 | 0.0 | -7.5 |
| FY max | 7.2 | 0.0 | 4.4 | FY max | 0.2 | 0.0 | 7.5 |
| FY min | 0.7 | 0.0 | -2.6 | FY min | 0.0 | -0.1 | 1.4 |
| FZ max | 7.2 | 0.0 | 4.4 | FZ max | 0.2 | 0.0 | 7.5 |
| FZ min | 7.2 | 0.0 | -4.4 | FZ min | 0.2 | 0.0 | -7.5 |
| ELU | | | | | | | |
| A5-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A5-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 9.5 | 0.0 | -5.9 | FX max | 0.3 | 0.0 | -9.9 |
| FX min | -9.5 | 0.0 | -5.9 | FX min | -0.3 | 0.0 | -9.9 |
| FY max | 9.5 | 0.0 | 5.9 | FY max | 0.3 | 0.0 | 9.9 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 9.5 | 0.0 | 5.9 | FZ max | 0.3 | 0.0 | 9.9 |
| FZ min | 9.5 | 0.0 | -5.9 | FZ min | 0.3 | 0.0 | -9.9 |
| ELA | | | | | | | |
| A5-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A5-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 11.3 | -6.9 | 16.9 | FX max | 1.2 | -1.0 | 7.3 |
| FX min | -8.7 | 0.0 | 2.9 | FX min | -1.2 | -3.9 | 17.0 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 11.3 | -6.9 | 16.9 | FY min | 0.0 | -8.1 | 20.1 |
| FZ max | 5.4 | -4.0 | 18.7 | FZ max | 0.0 | -8.1 | 20.1 |
| FZ min | 2.0 | 0.0 | -18.5 | FZ min | 0.0 | -0.1 | -18.6 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 65/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | |
|--------|-------------|-------------|------------|
| A18 | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 0.5 | -0.1 | 0.0 |
| FX min | -0.5 | -0.1 | 0.0 |
| FY max | 0.4 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 0.5 | -0.1 | 0.0 |
| FZ max | 0.4 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 0.4 | 0.0 | 0.0 |
| ELU | | | |
| A18 | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 0.7 | 0.0 | 0.0 |
| FX min | -0.7 | 0.0 | 0.0 |
| FY max | 0.6 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 0.6 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 0.6 | 0.0 | 0.0 |
| ELA | | | |
| A18 | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 8.4 | -7.6 | 1.0 |
| FX min | -0.7 | -0.1 | 0.0 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 8.4 | -7.6 | 1.0 |
| FZ max | 6.9 | -7.4 | 1.2 |
| FZ min | 0.8 | -0.1 | 0.0 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 66/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

F4b :

| ELS | | | | | | | |
|--------|--------------|--------------|-------------|--------|-------------|--------------|-------------|
| A16-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A16-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 10.6 | -10.1 | -0.6 | FX max | 0.3 | -3.7 | -0.3 |
| FX min | -10.7 | -10.2 | -0.6 | FX min | -0.3 | -3.6 | -0.3 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | -3.2 | -13.2 | 0.0 | FY min | 0.0 | -5.2 | -0.2 |
| FZ max | 3.2 | -13.2 | 0.0 | FZ max | -0.1 | -0.7 | 0.0 |
| FZ min | -10.7 | -10.2 | -0.6 | FZ min | 0.3 | -3.7 | -0.3 |
| ELU | | | | | | | |
| A16-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A16-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 14.0 | -12.7 | -1.0 | FX max | 0.4 | -5.4 | -0.6 |
| FX min | -14.1 | -12.8 | -1.0 | FX min | -0.4 | -5.4 | -0.6 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | -4.2 | -16.6 | 0.0 | FY min | 0.0 | -7.4 | -0.3 |
| FZ max | 4.1 | -16.5 | 0.0 | FZ max | -0.1 | -0.9 | 0.0 |
| FZ min | 14.0 | -12.7 | -1.0 | FZ min | 0.4 | -5.4 | -0.6 |
| ELA | | | | | | | |
| A16-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A16-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 12.8 | -8.4 | -0.3 | FX max | 0.8 | -7.1 | -0.6 |
| FX min | -12.1 | -4.1 | 0.0 | FX min | -0.9 | -7.2 | -0.6 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 11.5 | -9.2 | -0.1 | FY min | -0.6 | -10.9 | -0.3 |
| FZ max | 10.6 | -3.5 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 12.8 | -8.4 | -0.3 | FZ min | 0.8 | -7.1 | -0.6 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 67/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

F4b :

| ELS | | | | | | | |
|--------|--------------|-------------|------------|--------|-------------|-------------|-------------|
| A17-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A17-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 9.2 | 14.5 | 3.6 | FX max | 0.6 | -6.1 | 5.3 |
| FX min | -9.2 | 14.4 | 3.7 | FX min | -0.6 | -6.0 | 5.2 |
| FY max | 9.2 | 14.5 | 3.6 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.6 | -6.1 | 5.3 |
| FZ max | -9.2 | 14.4 | 3.7 | FZ max | 0.6 | -6.1 | 5.3 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | -0.4 | -1.1 |
| ELU | | | | | | | |
| A17-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A17-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 12.2 | 10.3 | 2.1 | FX max | 0.8 | -8.2 | 7.4 |
| FX min | -12.2 | 10.4 | 2.1 | FX min | -0.8 | -8.2 | 7.3 |
| FY max | 12.0 | 18.2 | 5.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.8 | -8.2 | 7.4 |
| FZ max | -12.0 | 18.1 | 5.0 | FZ max | 0.8 | -8.2 | 7.4 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | -0.6 | -1.6 |
| ELA | | | | | | | |
| A17-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A17-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 8.5 | 4.2 | 2.6 | FX max | 0.6 | -2.1 | 3.9 |
| FX min | -8.5 | 3.0 | 2.6 | FX min | -0.5 | -1.6 | 2.2 |
| FY max | 2.6 | 5.9 | 0.7 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.5 | -2.6 | 5.1 |
| FZ max | 8.5 | 4.2 | 2.6 | FZ max | 0.5 | -2.6 | 5.1 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 68/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | | | | | |
|-----------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| A6-a horizontal | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A6-a biais | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 7.1 | 1.2 | -1.1 | FX max | 0.5 | 1.9 | -4.4 |
| FX min | -7.1 | 1.2 | -1.1 | FX min | -0.5 | 1.9 | -4.4 |
| FY max | 7.1 | 1.2 | -1.1 | FY max | 0.5 | 1.9 | -4.4 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 7.1 | 1.2 | -1.1 | FZ min | 0.5 | 1.9 | -4.4 |
| ELU | | | | | | | |
| A6-a horizontal | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A6-a biais | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 9.4 | 1.7 | -1.5 | FX max | 0.8 | 2.6 | -5.8 |
| FX min | -9.4 | 1.7 | -1.5 | FX min | -0.8 | 2.6 | -5.8 |
| FY max | 9.4 | 1.7 | -1.5 | FY max | 0.8 | 2.6 | -5.8 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 9.4 | 1.7 | -1.5 | FZ min | 0.8 | 2.6 | -5.8 |
| ELA | | | | | | | |
| A6-a horizontal | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A6-a biais | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 2.3 | 0.0 | -0.7 | FX max | 0.4 | 1.4 | -4.6 |
| FX min | -1.8 | 0.0 | -0.1 | FX min | -0.1 | 0.4 | -1.2 |
| FY max | 1.8 | 0.1 | -0.9 | FY max | 0.4 | 1.4 | -4.6 |
| FY min | 2.3 | 0.0 | -0.7 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 1.8 | 0.1 | -0.9 | FZ min | 0.4 | 1.4 | -4.6 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 69/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | |
|--------|-------------|-------------|-------------|
| A6-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 0.5 | 3.0 | -2.8 |
| FX min | -0.5 | 3.0 | -2.8 |
| FY max | 0.5 | 3.0 | -2.8 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 0.5 | 3.0 | -2.8 |
| ELU | | | |
| A6-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 0.7 | 4.2 | -3.6 |
| FX min | -0.7 | 4.2 | -3.6 |
| FY max | 0.7 | 4.2 | -3.6 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 0.7 | 4.2 | -3.6 |
| ELA | | | |
| A6-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 0.7 | 0.1 | -1.0 |
| FX min | -0.5 | 0.1 | -1.1 |
| FY max | 0.1 | 0.3 | -1.4 |
| FY min | 0.1 | -0.2 | -2.1 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 0.1 | -0.2 | -2.1 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 70/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | | | | | |
|------------------|--------------|-------------|------------|----------------|-------------|--------------|------------|
| A14-a horizontal | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A14-a vertical | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 9.5 | -2.3 | 1.5 | FX max | 1.4 | -8.1 | 5.1 |
| FX min | -9.5 | -2.3 | 1.5 | FX min | -1.4 | -8.1 | 5.1 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 7.6 | -2.5 | 1.0 | FY min | 1.4 | -8.1 | 5.1 |
| FZ max | 9.5 | -2.3 | 1.5 | FZ max | 1.4 | -8.1 | 5.1 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ELU | | | | | | | |
| A14-a horizontal | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A14-a vertical | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 12.6 | -3.0 | 2.1 | FX max | 2.0 | -10.5 | 6.7 |
| FX min | -12.6 | -3.0 | 2.1 | FX min | -2.0 | -10.5 | 6.7 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 9.9 | -3.3 | 1.3 | FY min | 2.0 | -10.5 | 6.7 |
| FZ max | 12.6 | -3.0 | 2.1 | FZ max | 2.0 | -10.5 | 6.7 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ELA | | | | | | | |
| A14-a horizontal | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A14-a vertical | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 2.5 | -0.7 | 0.6 | FX max | 0.5 | -3.3 | 4.8 |
| FX min | -2.1 | -0.3 | 0.1 | FX min | -0.2 | -1.7 | 1.2 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 1.7 | -0.9 | 0.3 | FY min | 0.5 | -3.3 | 4.8 |
| FZ max | 2.0 | -0.8 | 0.7 | FZ max | 0.5 | -3.3 | 4.8 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 71/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | | | | | |
|------------------|--------------|------------|------------|----------------|-------------|------------|------------|
| A15-a horizontal | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A15-a vertical | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 8.7 | 2.1 | 0.8 | FX max | 0.7 | 5.7 | 0.5 |
| FX min | -8.7 | 2.1 | 0.8 | FX min | -0.7 | 5.7 | 0.5 |
| FY max | 8.7 | 2.1 | 0.8 | FY max | 0.5 | 6.0 | 0.0 |
| FY min | 1.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 8.7 | 2.1 | 0.8 | FZ max | 0.7 | 5.7 | 0.5 |
| FZ min | 3.8 | 0.9 | 0.0 | FZ min | 0.5 | 6.0 | 0.0 |
| ELU | | | | | | | |
| A15-a horizontal | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A15-a vertical | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 11.5 | 2.9 | 1.2 | FX max | 1.0 | 7.6 | 0.7 |
| FX min | -11.5 | 2.9 | 1.2 | FX min | -1.0 | 7.6 | 0.7 |
| FY max | 11.5 | 2.9 | 1.2 | FY max | 0.8 | 7.9 | 0.0 |
| FY min | 1.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 11.5 | 2.9 | 1.2 | FZ max | 1.0 | 7.6 | 0.7 |
| FZ min | 1.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.8 | 7.9 | 0.0 |
| ELA | | | | | | | |
| A15-a horizontal | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A15-a vertical | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 1.3 | 0.0 | 0.0 | FX max | 0.1 | 1.2 | 0.0 |
| FX min | -1.4 | 0.2 | 0.0 | FX min | -0.1 | 1.2 | 0.0 |
| FY max | -1.3 | 0.2 | 0.0 | FY max | 0.1 | 1.2 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 72/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | | | | | |
|--------|-------------|-------------|------------|--------|-------------|-------------|------------|
| A14-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A15-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 1.5 | -0.4 | 3.5 | FX max | 0.5 | 5.8 | 2.2 |
| FX min | -1.5 | -0.4 | 3.5 | FX min | -0.5 | 5.8 | 2.2 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.1 | 6.2 | 2.3 |
| FY min | 0.1 | -6.0 | 4.7 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 0.1 | -6.0 | 4.7 | FZ max | 0.0 | 6.0 | 2.4 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.2 | 2.6 | 0.0 |
| ELU | | | | | | | |
| A14-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A15-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 1.9 | -0.4 | 4.6 | FX max | 0.8 | 7.8 | 3.2 |
| FX min | -1.9 | -0.4 | 4.6 | FX min | -0.8 | 7.8 | 3.2 |
| FY max | 1.6 | 0.0 | 4.5 | FY max | 0.1 | 8.4 | 3.5 |
| FY min | 0.2 | -8.0 | 6.6 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 0.2 | -8.0 | 6.6 | FZ max | 0.0 | 8.1 | 3.5 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.3 | 3.6 | 0.0 |
| ELA | | | | | | | |
| A14-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A15-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 0.9 | -0.8 | 0.9 | FX max | 0.3 | 0.1 | 0.0 |
| FX min | -0.4 | -1.0 | 1.0 | FX min | -0.2 | 0.2 | 0.0 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.2 | 0.0 |
| FY min | 0.3 | -1.7 | 1.7 | FY min | 0.1 | -0.1 | 0.0 |
| FZ max | 0.3 | -1.7 | 1.7 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 73/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | | | | | |
|--------|-------------|-------------|-------------|--------|-------------|-------------|-------------|
| A19-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A19-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 3.8 | 0.0 | 0.7 | FX max | 0.0 | 0.0 | 1.2 |
| FX min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FX min | 0.0 | 0.0 | 1.2 |
| FY max | 3.8 | 0.0 | 0.7 | FY max | 0.0 | 0.0 | 1.2 |
| FY min | 0.8 | 0.0 | 0.1 | FY min | 0.0 | -0.1 | 0.2 |
| FZ max | 3.8 | 0.0 | 0.7 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 1.2 |
| FZ min | 3.8 | 0.0 | -0.7 | FZ min | 0.0 | 0.0 | -1.2 |
| ELU | | | | | | | |
| A19-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A19-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 5.0 | 0.0 | 1.0 | FX max | 0.0 | 0.0 | 1.7 |
| FX min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FX min | 0.0 | 0.0 | 1.7 |
| FY max | 5.0 | 0.0 | 1.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 1.7 |
| FY min | 1.2 | -0.1 | 0.2 | FY min | 0.0 | -0.2 | 0.2 |
| FZ max | 5.0 | 0.0 | 1.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 1.8 |
| FZ min | 5.0 | 0.0 | -1.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | -1.8 |
| ELA | | | | | | | |
| A19-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A19-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 10.6 | -0.9 | -0.9 | FX max | 0.7 | -3.4 | -4.7 |
| FX min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FX min | -0.5 | -3.4 | -4.7 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 9.7 | -6.3 | -6.1 | FY min | 0.2 | -7.8 | -7.3 |
| FZ max | 5.7 | -2.8 | 6.1 | FZ max | 0.2 | -2.8 | 6.1 |
| FZ min | 9.7 | -6.3 | -6.1 | FZ min | 0.2 | -7.8 | -7.3 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 74/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | | | | | |
|--------|-------------|-------------|-------------|--------|------------|-------------|-------------|
| A10-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A10-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 3.0 | -1.2 | 1.5 | FX max | 0.0 | -0.1 | 0.1 |
| FX min | -1.2 | 0.1 | 0.1 | FX min | 0.0 | -0.2 | 0.1 |
| FY max | -1.2 | 0.1 | 0.1 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 3.0 | -1.2 | 1.5 | FY min | 0.0 | -0.2 | 0.1 |
| FZ max | 3.0 | -1.2 | 1.5 | FZ max | 0.0 | -0.2 | 0.1 |
| FZ min | 3.0 | -1.2 | -1.5 | FZ min | 0.0 | -0.2 | -0.1 |
| ELU | | | | | | | |
| A10-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A10-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 4.0 | -1.4 | 1.8 | FX max | 0.0 | -0.3 | 0.2 |
| FX min | -1.4 | 0.2 | 0.1 | FX min | 0.0 | -0.3 | -0.2 |
| FY max | -1.4 | 0.2 | 0.1 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 4.0 | -1.4 | 1.8 | FY min | 0.0 | -0.3 | 0.2 |
| FZ max | 4.0 | -1.4 | 1.8 | FZ max | 0.0 | -0.3 | 0.2 |
| FZ min | 4.0 | -1.4 | -1.8 | FZ min | 0.0 | -0.3 | -0.2 |
| ELA | | | | | | | |
| A10-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A10-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 3.3 | -1.0 | 1.2 | FX max | 0.0 | -0.8 | 0.6 |
| FX min | -2.4 | 0.1 | 0.0 | FX min | 0.0 | -0.5 | 1.2 |
| FY max | -1.4 | 0.1 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 2.7 | -1.9 | 1.6 | FY min | 0.0 | -1.2 | 1.4 |
| FZ max | 2.7 | -1.9 | 1.6 | FZ max | 0.0 | -1.2 | 1.4 |
| FZ min | 2.0 | -1.0 | -1.2 | FZ min | 0.0 | -0.1 | -0.1 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 75/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | | | | | |
|--------|-------------|------------|------------|--------|------------|------------|------------|
| A11-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A11-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 2.0 | 1.6 | 0.0 | FX max | 0.0 | 0.2 | 0.0 |
| FX min | -0.1 | 0.5 | 0.0 | FX min | 0.0 | 0.2 | 0.0 |
| FY max | 2.0 | 1.6 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.2 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ELU | | | | | | | |
| A11-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A11-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 2.6 | 1.9 | 0.0 | FX max | 0.0 | 0.2 | 0.0 |
| FX min | -0.1 | 0.7 | 0.0 | FX min | 0.0 | 0.2 | 0.0 |
| FY max | 2.6 | 1.9 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.4 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 1.0 | 1.0 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 1.0 | 1.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ELA | | | | | | | |
| A11-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A11-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 1.5 | 1.3 | 0.0 | FX max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FX min | -0.1 | 0.2 | 0.0 | FX min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY max | 1.5 | 1.3 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 1.5 | 0.9 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| FZ min | 1.5 | 1.3 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.1 | 0.0 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 76/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| ELS | | | | | | | |
|--------|-------------|------------|-------------|--------|------------|------------|-------------|
| A20-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A20-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 2.0 | 1.3 | 0.9 | FX max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FX min | -1.4 | 1.0 | -1.2 | FX min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY max | 2.0 | 1.3 | 0.9 | FY max | 0.0 | 0.2 | 0.1 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | -1.4 | 1.0 | 1.2 | FZ max | 0.0 | 0.2 | 0.1 |
| FZ min | -1.4 | 1.0 | -1.2 | FZ min | 0.0 | 0.2 | -0.1 |
| ELU | | | | | | | |
| A20-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A20-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 2.5 | 1.6 | 1.0 | FX max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FX min | -1.6 | 1.4 | -1.3 | FX min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY max | 2.5 | 1.6 | 1.0 | FY max | 0.0 | 0.3 | 0.2 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | -1.6 | 1.4 | 1.3 | FZ max | 0.0 | 0.3 | 0.2 |
| FZ min | -1.6 | 1.4 | -1.3 | FZ min | 0.0 | 0.3 | -0.2 |
| ELA | | | | | | | |
| A20-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A20-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 1.5 | 1.1 | 0.7 | FX max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FX min | -1.2 | 0.5 | -1.1 | FX min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY max | 1.5 | 1.1 | 0.7 | FY max | 0.0 | 0.1 | 0.1 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | -1.2 | 0.5 | 1.1 | FZ max | 0.0 | 0.1 | 0.1 |
| FZ min | -1.2 | 0.5 | -1.1 | FZ min | 0.0 | 0.1 | -0.1 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 77/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

F4c :

| ELS | | | | | | | |
|--------|--------------|--------------|------------|--------|------------|--------------|------------|
| A16-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A16-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 6.9 | -10.6 | 0.1 | FX max | 0.0 | -2.1 | 0.1 |
| FX min | -6.9 | -10.6 | 0.1 | FX min | 0.0 | -2.1 | 0.1 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 1.7 | -13.8 | 0.0 | FY min | 0.0 | -2.5 | 0.2 |
| FZ max | -6.9 | -10.6 | 0.1 | FZ max | 0.0 | -2.5 | 0.2 |
| FZ min | 1.7 | -13.8 | 0.0 | FZ min | 0.0 | -0.2 | 0.0 |
| ELU | | | | | | | |
| A16-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A16-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 10.3 | -13.2 | 0.4 | FX max | 0.0 | -3.3 | 0.7 |
| FX min | -10.3 | -13.2 | 0.4 | FX min | 0.0 | -3.3 | 0.7 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 2.4 | -16.8 | 0.0 | FY min | 0.0 | -3.8 | 0.8 |
| FZ max | -10.3 | -13.2 | 0.4 | FZ max | 0.0 | -3.8 | 0.8 |
| FZ min | 2.4 | -16.8 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| ELA | | | | | | | |
| A16-a | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A16-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 11.2 | -5.7 | 0.0 | FX max | 0.0 | -2.7 | 0.0 |
| FX min | -11.0 | -1.9 | 0.0 | FX min | 0.0 | -2.7 | 0.0 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 6.8 | -6.6 | 0.0 | FY min | 0.0 | -10.2 | 0.0 |
| FZ max | -8.0 | -4.7 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | -8.0 | -4.7 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 78/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

F4c :

| ELS | | | | | | | |
|------------------|------------|------------|--------------|----------------|--------------|-------------|------------|
| A17-a horizontal | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A17-a vertical | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 0.0 | 0.0 | -14.7 | FX max | 14.3 | 12.5 | 0.0 |
| FX min | 0.0 | 0.0 | -14.7 | FX min | -14.2 | 12.4 | 0.0 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | -14.7 | FY max | 14.3 | 12.5 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | -14.7 | FZ min | -14.2 | 12.4 | 0.0 |
| ELU | | | | | | | |
| A17-a horizontal | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A17-a vertical | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 0.0 | 0.0 | -19.0 | FX max | 18.9 | 15.2 | 0.0 |
| FX min | 0.0 | 0.0 | -19.0 | FX min | -18.9 | 15.2 | 0.0 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | -19.0 | FY max | -18.9 | 15.2 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | -19.0 | FZ min | -18.9 | 15.2 | 0.0 |
| ELA | | | | | | | |
| A17-a horizontal | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) | A17-a vertical | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 0.0 | 0.0 | 8.0 | FX max | 6.3 | 2.4 | 0.0 |
| FX min | 0.0 | 0.0 | 3.8 | FX min | -5.5 | 3.5 | 0.0 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 3.7 | FY max | -5.1 | 3.9 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FY min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 8.0 | FZ max | 6.3 | 2.4 | 0.0 |
| FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 | FZ min | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 79/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

F4c :

| ELS | | | |
|--------|------------|-------------|-------------|
| A17-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 0.0 | -1.2 | -3.9 |
| FX min | 0.0 | -1.2 | -3.9 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| FY min | 0.0 | -4.0 | -0.7 |
| FZ max | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| FZ min | 0.0 | -1.2 | -3.9 |
| ELU | | | |
| A17-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 0.0 | -2.0 | -5.6 |
| FX min | 0.0 | -2.0 | -5.6 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | -5.8 | -1.0 |
| FZ max | 0.0 | -0.2 | 0.3 |
| FZ min | 0.0 | -2.0 | -5.6 |
| ELA | | | |
| A17-b | FX (kN) | FY (kN) | FZ (kN) |
| FX max | 0.0 | -2.0 | 2.7 |
| FX min | 0.0 | -2.6 | 1.0 |
| FY max | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| FY min | 0.0 | -2.9 | 3.6 |
| FZ max | 0.0 | -2.9 | 3.6 |
| FZ min | 0.0 | -0.3 | -1.8 |

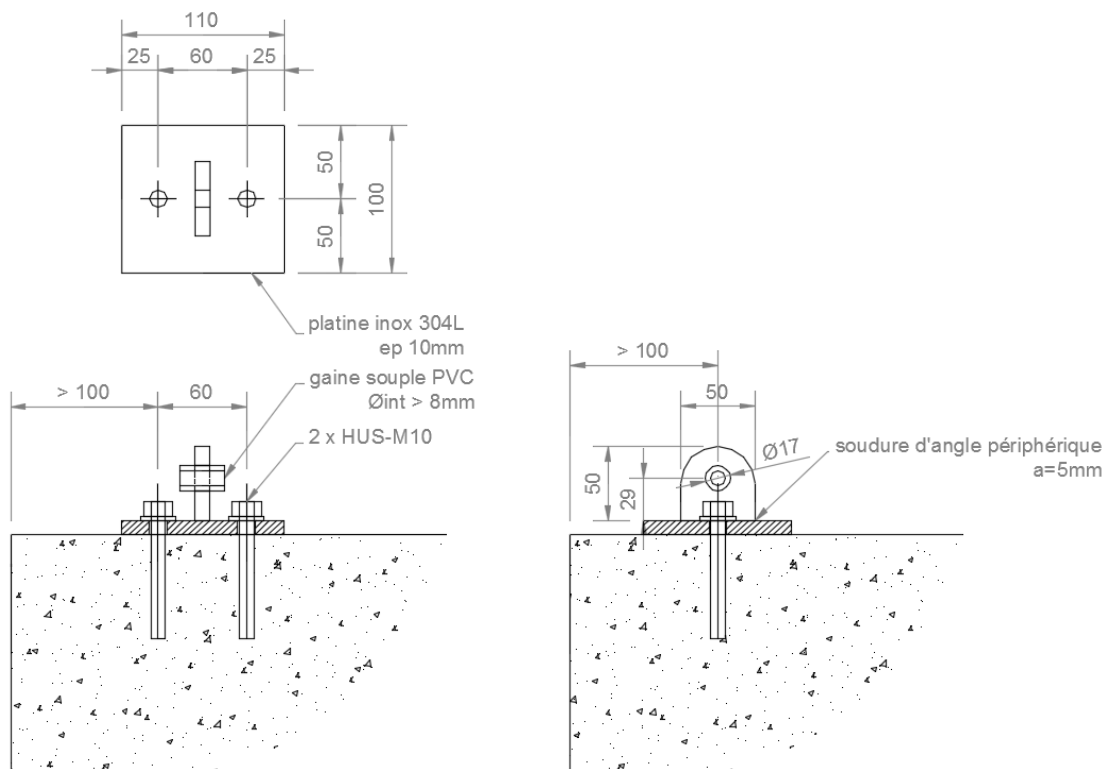
| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 80/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

5.3.3. Vérification platine type 2

Ce 2^e type est destiné à servir d'ancrage d'extrémité pour un à trois câbles ou d'appui intermédiaire pour un câble continu. Les câbles sont accrochés à l'oreille par l'intermédiaire d'un maillon rapide ou d'une manille. Ces derniers seront choisis afin d'être compatibles avec les dimensions de la cosse-cœur des câbles Ø8mm et le nombre de câbles à reprendre.

Les maillons / manilles utilisés sur les platines auront une résistance ultime ≥ 12 kN.

Les câbles filants sont passés directement dans le trou de l'oreille. Le trou est suffisamment surdimensionné pour pouvoir enfiler une gaine souple PVC d'un diamètre intérieur supérieur à celui du câble. Cette dernière permet d'éviter tout contact entre le câble et les bords du trou afin de ne pas l'abîmer par frottements.



Les chevilles d'ancrage HUS-M10 sont justifiées avec l'utilitaire HILTI sous combinaisons ELU et ELA. Les efforts sont projetés dans le repère local de la platine et des moments sont ajoutés pour prendre en compte l'excentrement de la DDC par rapport au centre de l'ancrage. Le détail de la justification des chevilles figure en annexe.

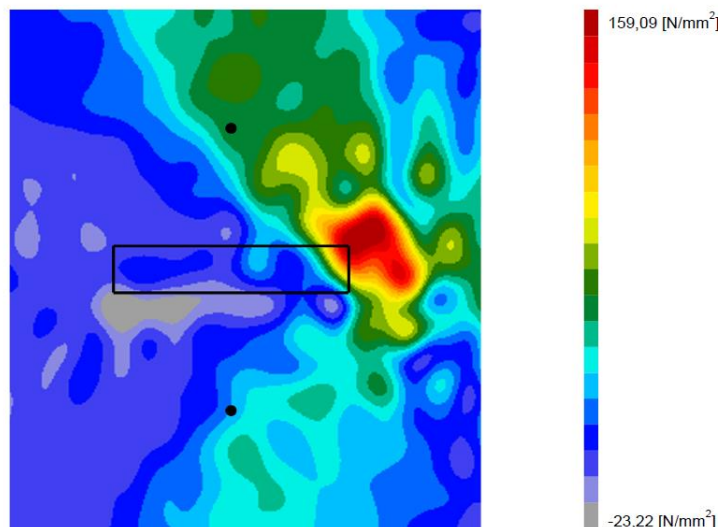
| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 81/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Les taux de travail des fixations sont synthétisés dans le tableau suivant :

| | Ancrage | Taux travail chevilles |
|-------------------|------------------|------------------------|
| Filets F3 | A7-a | 60% |
| Filets F2b | A6-b | 49% |
| | A14-b | 76% |
| | A15-a vertical | 30% |
| | A15-a horizontal | 90% |
| | A15-b | 82% |
| Filets F6a | A10-a | 34% |
| | A10-b | 12% |
| | A11-a | 22% |
| | A11-b | 22% |
| | A20-a | 2% |
| | A20-b | 3% |
| | A13-a | 60% |

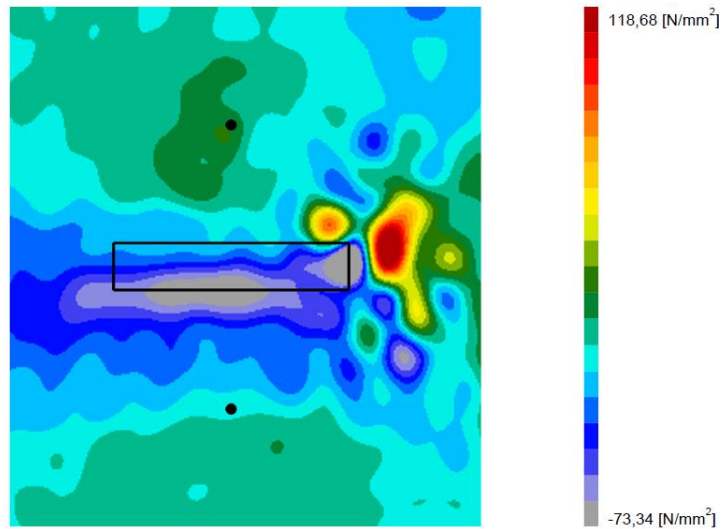
La platine est vérifiée par l'utilitaire Profis Engineering de HILTI, et l'oreille soudée est vérifiée manuellement. Les contraintes principales maximales dans la platine sont relevées pour l'ancrage A15-a horizontal :

Distribution des contraintes σ_{11}



| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 82/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Distribution des contraintes σ_{22}



Nous déduisons la contrainte de Von Mises à partir des contraintes principales : $\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 - \sigma_{11}\sigma_{22}}$
La contrainte maximale est donc 143MPa et le taux de travail des tôles est donc de **72%**.

L'oreille est justifiée ci-dessous pour le cas le plus défavorable (ancrage A15-a horizontal) :

Pont Albert Louppe - oreille platine type 2

1. Efforts

1.1. Efforts ELU

| | A15-a hor | |
|-----------|-----------|----|
| $F_{x,t}$ | 1.2 | kN |
| $F_{x,c}$ | 0.0 | kN |
| F_y | 11.5 | kN |
| F_z | 2.9 | kN |

--> $F_{Ed} = 11.9$ kN

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 83/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

2. Caractéristiques géométriques

2.1. Axe

Diamètre : $d = 8.0$ mm

2.2. Chape simple

Diamètre du trou : $d_0 = 17.0$ mm

Pinces : $a = 16.5$ mm

$c = 16.5$ mm

Longueur en pied : $L = 50.0$ mm

Epaisseur chape : $t_1 = 10.0$ mm

Surépaisseur rondelles : $t_2 = 0.0$ mm

Bras de levier axe/pied : $x_1 = 30.0$ mm

Bras de levier axe/raidisseur : $x_2 = 0.0$ mm

Position du trou : $y_1 = 25.0$ mm

Matériau : Acier = 304L

$f_y = 200$ MPa

$f_u = 520$ MPa

3. Vérification de l'assemblage

3.1. Vérification géométrique (NF EN 1993-1-8 §3.13 Tableau 3.9)

Chape simple : $a > 11.6$ mm **Ok**

$c > 14.2$ mm **Ok**

3.3. Vérification de la chape simple et de ses raidisseurs

97%

Pression diamétrale : $F_{b,Rd} = 24.0$ kN $\geq F_{Ed} = 11.9$ kN
 $F_{b,Rd,ser} = - \geq F_{Ed,ser} = -$
 $f_{h,Rd} = - \geq -$

Résistance de la chape au droit du trou : $\sigma_N = 4$ MPa
 $\tau_{Ty} = 35$ MPa
 $\tau_{Tz} = 9$ MPa
 $\sigma_{VM} = 62$ MPa $< f_y = 200$ MPa

Résistance de la chape en pied ou en tête des raidisseurs : $\sigma_N = 2$ MPa
 $\sigma_{My} = 104$ MPa
 $\sigma_{Mz} = 83$ MPa
 $\tau_{Ty} = 23$ MPa
 $\tau_{Tz} = 6$ MPa
 $\sigma_{VM} = 194$ MPa $< f_y = 200$ MPa

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 84/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

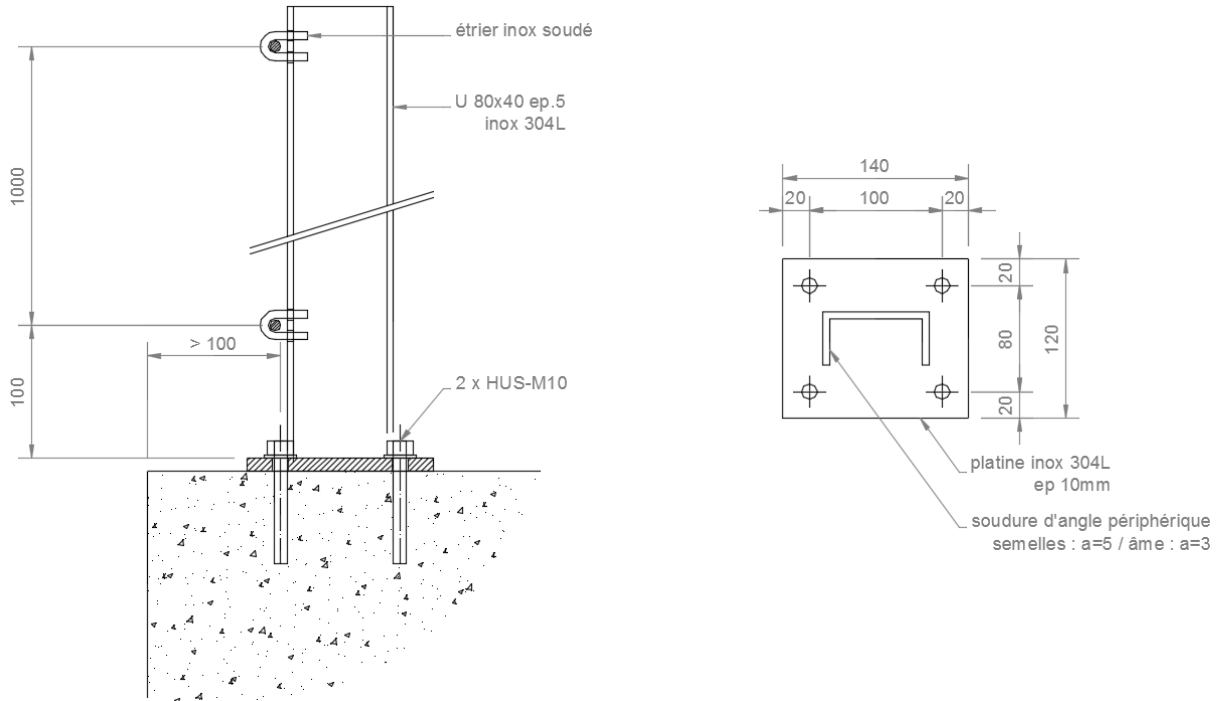
La soudure de l'oreille sur la platine est vérifiée sous efforts enveloppes :

| | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|------|-------|
| Soudures de l'oreille : | $f_{uw} =$ | 520 | MPa |
| | $\beta_w =$ | 1.00 | |
| | $0.9 f_u / \gamma_{M2} =$ | 374 | MPa |
| | $\beta_w f_u / \gamma_{M2} =$ | 416 | MPa |
| Type de soudure : | cordon d'angle | | |
| | $n =$ | 2 | |
| | $a_w =$ | 5 | mm |
| | $L_w =$ | 50 | mm |
| Efforts : | $N_t =$ | 6.6 | kN |
| | $T_y =$ | 11.5 | kN |
| | $T_z =$ | 2.9 | kN |
| | $M_y =$ | 87 | kN.mm |
| | $M_z =$ | 345 | kN.mm |
| Vérification : | $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$ | 90 | MPa |
| | $\tau_{//} =$ | 23 | MPa |
| | $\sigma_{VM} =$ | 185 | MPa |
| | taux travail = | 44% | |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 85/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

5.3.4. Vérification platine type 3

Ce 3^e type est équipé d'un montant en U servant d'appui intermédiaire pour les câbles des filets F3. Les câbles filants sont passés dans des étriers soudés sur la semelle du montant.



Les chevilles d'ancrage HUS-M10 sont justifiées avec l'utilitaire HILTI sous combinaisons ELU et ELA. Les efforts sont projetés dans le repère local de la platine et des moments sont ajoutés pour prendre en compte l'excentrement de la DDC par rapport au centre de l'ancrage. Le détail de la justification des chevilles figure en annexe.

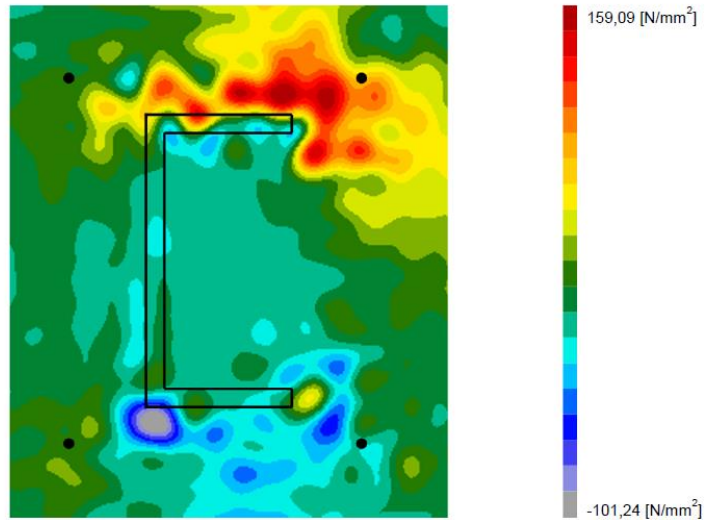
Les taux de travail des fixations sont synthétisés dans le tableau suivant :

| | Ancrage | Taux travail chevilles |
|------------------|---------|------------------------|
| Filets F3 | A7-b | 74% |

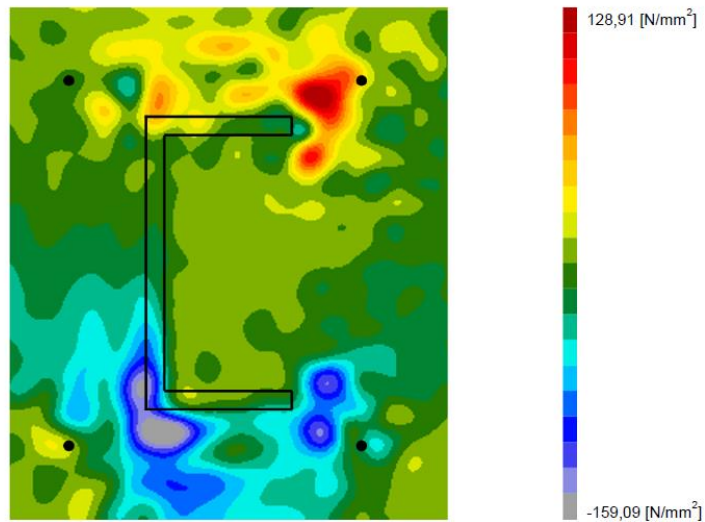
La platine est vérifiée par l'utilitaire Profis Engineering de HILTI, et le montant est vérifiée manuellement. Les contraintes principales maximales dans la platine sont les suivantes :

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 86/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Distribution des contraintes σ_{11}



Distribution des contraintes σ_{22}



Nous déduisons la contrainte de Von Mises à partir des contraintes principales : $\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 - \sigma_{11}\sigma_{22}}$
La contrainte maximale est donc 159MPa et le taux de travail des tôles est donc de **80%**

Le montant est justifiée ci-dessous sous efforts enveloppe. Le taux de travail maximal est de **69%** :

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 87/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Vérification des profils vis-à-vis de l'Eurocode 3

Le profil est correctement dimensionné

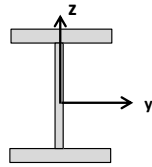
PONT LOUPPE - montant A7-b

| | | |
|----------|------------|-----------------|
| Profil = | U80x40x5x5 | Section en U |
| Acier = | 304L | Section laminée |
| Classe = | 1 | |

$f_y = 200 \text{ MPa}$

$f_u = 520 \text{ MPa}$

Les vérifications sont valables uniquement pour des sections de Classe 1, 2 ou 3.



| | |
|---------|----------|
| $F_x =$ | 2.1 kN |
| $F_y =$ | 0.5 kN |
| $F_z =$ | 2.0 kN |
| $M_x =$ | 0.0 kN.m |
| $M_y =$ | 1.2 kN.m |
| $M_z =$ | 0.3 kN.m |

Efforts

| | | |
|--------------|--------|--|
| $L_{cr,y} =$ | 2.20 m | Longueur de flambement par rapport à l'axe z-z |
| $L_{cr,z} =$ | 2.20 m | Longueur de flambement par rapport à l'axe y-y |
| $L_{LT} =$ | 2.20 m | Longueur de déversement |
| $L =$ | 1.10 m | Longueur réelle |

| Eléments de dimensionnement | Taux de travail | Critère |
|---|-----------------|--|
| Efforts non combinés | 0.28 | $\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \frac{T_{Ed}}{T_{Rd}} \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}}$ |
| Efforts combinés (uniquement Classe 1 et 2) | 0.27 | $\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta$ |
| Instabilités - Critère 1 (Flambement et Déversement) | 0.69 | $\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{M1} \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}$ |
| Instabilités - Critère 2 (Flambement et Déversement) | 0.51 | $\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{M1} \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}$ |

1) Efforts Combinés : Effort normal + Effort tranchant + Moment de flexion

1.1) Influence de l'effort tranchant

$$N_{pl,Rd} = 150.0 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd,y} = 46.2 \text{ kN} \Rightarrow F_y < 0.50 V_{pl,Rd,y}, \text{ l'effort tranchant n'influe pas sur le moment résistant et l'effort normal résistant.}$$

$$V_{pl,Rd,z} = 46.2 \text{ kN} \Rightarrow F_z < 0.50 V_{pl,Rd,z}, \text{ l'effort tranchant n'influe pas sur le moment résistant et l'effort normal résistant.}$$

1.2) Influence de l'effort normal

$$N_{v,Rd} = 150.0 \text{ kN} \Rightarrow F_x < 0.25 N_{v,Rd}$$

$$< 0.50 N_w$$

L'effort normal n'a pas d'influence sur le moment résistant

1.3) Moments résistants

$$M_{N,Rd,y} = 4.2 \text{ kN.m} \quad M_{N,Rd,z} = 1.6 \text{ kN.m}$$

$$\alpha = 2.0 \quad \beta = 5n = 1.0$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = 0.27$$

2) Résistance vis-à-vis du flambement

| | | | | |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------------|
| Flexion | $N_{cr,y} = 288.0 \text{ kN}$ | $\lambda_y = 0.72$ | $\chi_y = 0.71$ | |
| | $N_{cr,z} = 45.4 \text{ kN}$ | $\lambda_z = 1.82$ | $\chi_z = 0.23$ | |
| Torsion | $N_{cr,T} = 328 \text{ kN}$ | $\lambda_T = 0.68$ | $\chi_T = 0.74$ | |
| Flexion-torsion | $N_{cr,TF} = 189.4 \text{ kN}$ | $\lambda_{TF} = 0.89$ | $\chi_{TF} = 0.61$ | $N_{b,Rd} = 34.6 \text{ kN}$ |

3) Résistance vis-à-vis du déversement

$$M_{cr} = 5.1 \text{ kN.m} \quad \lambda_{LT} = 0.91 \quad \chi_{LT} = 0.52$$

4) Résistance vis-à-vis des instabilités

$$k_{yy} = 0.989 \quad \chi_y = 0.71$$

$$k_{yz} = 0.656 \quad \chi_z = 0.23$$

$$k_{zy} = 0.527 \quad \chi_{LT} = 0.52$$

$$k_{zz} = 0.834$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{M1} \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.69$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\chi_{M1} \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0.51$$

| | | | | | |
|---------------|--------------------|-----------|---------|------------|---------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 88/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

La soudure du montant sur la platine est vérifiée sous efforts enveloppes :

| | | |
|-------------------|---|---|
| Soudures : | $f_{uw} = 520$ MPa | |
| | $\beta_w = 1.00$ | |
| | $0.9 f_u / \gamma_{M2} = 374$ MPa | |
| | $\beta_w f_u / \gamma_{M2} = 416$ MPa | |
| Efforts : | $N_t = 2.1$ kN | |
| | $T_y = 0.5$ kN | |
| | $T_z = 2.0$ kN | |
| | $M_x = 0.0$ kN.m | |
| | $M_y = 1.2$ kN.m | |
| | $M_z = 0.3$ kN.m | |
| Type de soudure : | Semelles : cordon d'angle | Ame : cordon d'angle |
| | $n = 2$ | $n = 2$ |
| | $a_w = 5$ mm | $a_w = 3$ mm |
| | $L_w = 40$ mm | $L_w = 70$ mm |
| Vérification : | $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 107$ MPa | $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 2$ MPa |
| | $\tau_{//} = 3$ MPa | $\tau_{//} = 1$ MPa |
| | $\sigma_{VM} = 214$ MPa | $\sigma_{VM} = 4$ MPa |
| | taux travail = 51% | taux travail = 1% |

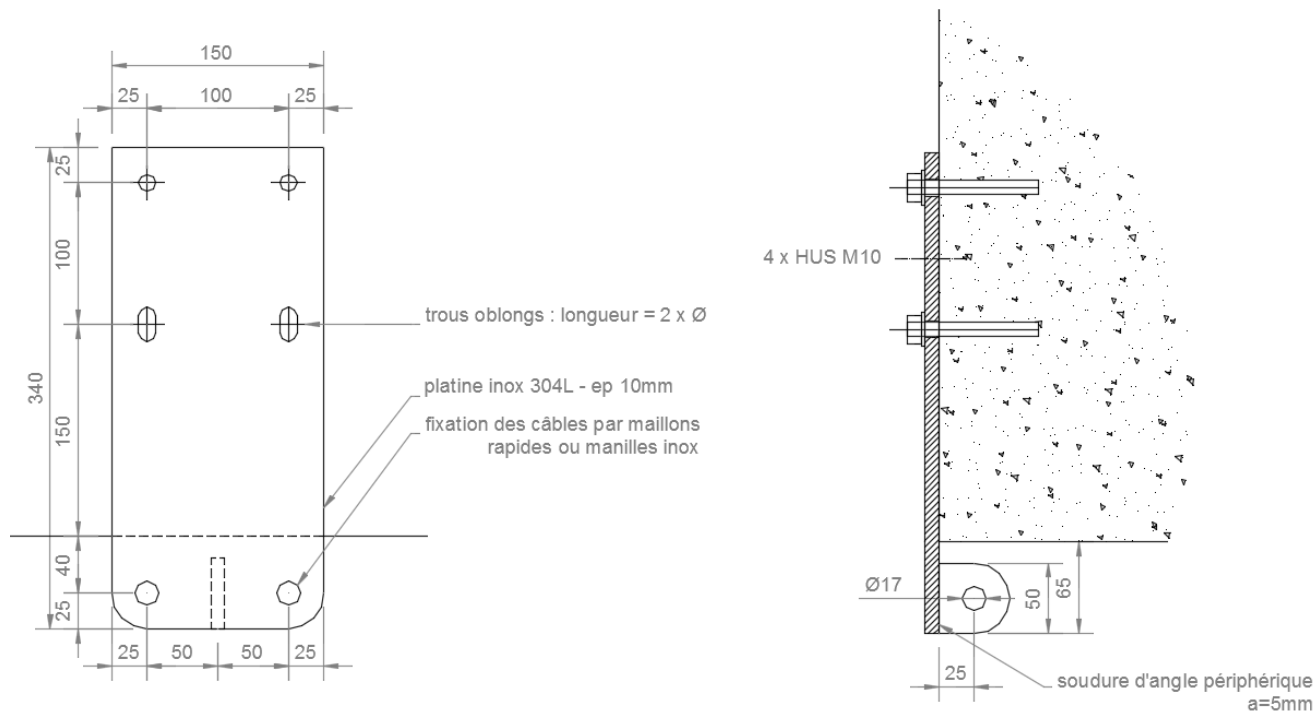
| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 89/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

5.3.5. Vérification platine type 4

Cette platine peut recevoir 2 câbles d'orientations différentes et permet aux filets de franchir les arêtes de béton. Les câbles sont accrochés à la platine par l'intermédiaire de maillons rapides ou manilles. Ces derniers seront choisis afin d'être compatibles avec les dimensions de la cosse-cœur des câbles Ø8mm.

Les maillons / manilles utilisés sur les platines auront une résistance ultime ≥ 22 kN.

Les oreilles sont toujours sollicitées dans leur plan.



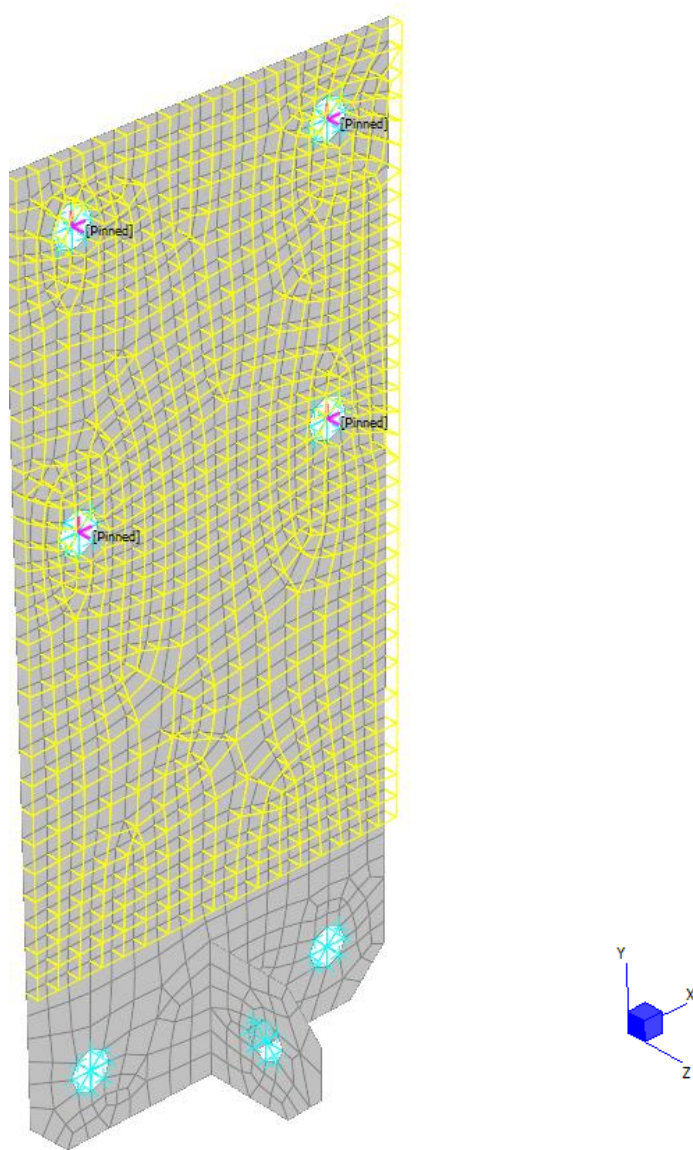
Les chevilles d'ancrage HUS-M10 sont justifiées avec l'utilitaire HILTI sous combinaisons ELU et ELA. Les efforts sont projetés dans le repère local de la platine et des moments sont ajoutés pour prendre en compte l'excentrement de la DDC par rapport au centre de l'ancrage. Le détail de la justification des chevilles figure en annexe.

Les taux de travail des fixations sont synthétisés dans le tableau suivant :

| | Ancrage | Taux travail chevilles |
|----------------------|---------|------------------------|
| Grillages F4a | A5-a | 65% |
| | A5-b | 36% |
| | A18 | 47% |
| Grillages F6b | A19-a | 92% |
| | A19-b | 37% |

La platine est vérifiée par le biais d'un modèle éléments finis avec Strand7.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 90/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle de calcul de la platine type 4

Les tôles sont modélisées par des éléments surfaciques de type « plate » travaillant à la flexion.

Les conditions aux limites sont les suivantes :

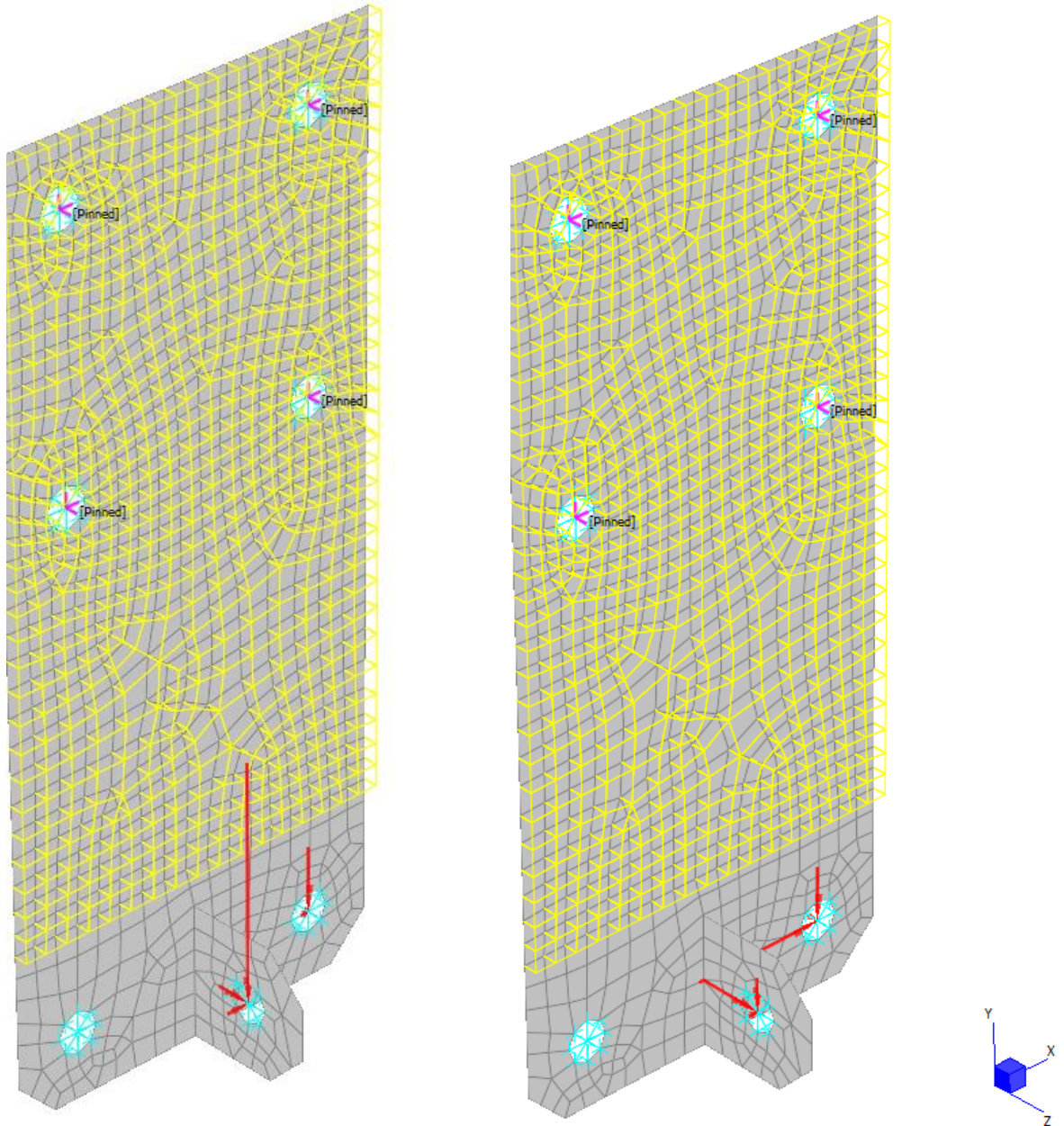
- Blocage des 3 directions de translation DX / DY / DZ au droit des chevilles de fixation (croix roses sur l'image)
- Réalisation du contact avec la surface béton par un support surfacique ne travaillant qu'en compression (en jaune sur l'image)

Les efforts des combinaisons ELU et ELA sont appliqués au centre des trous où doivent se fixer les câbles, et transmis aux bords des trous par des éléments rigides :

- L'oreille centrale reprend les efforts selon Y et Z
- Les trous latéraux reprennent les efforts selon X et Y

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 91/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

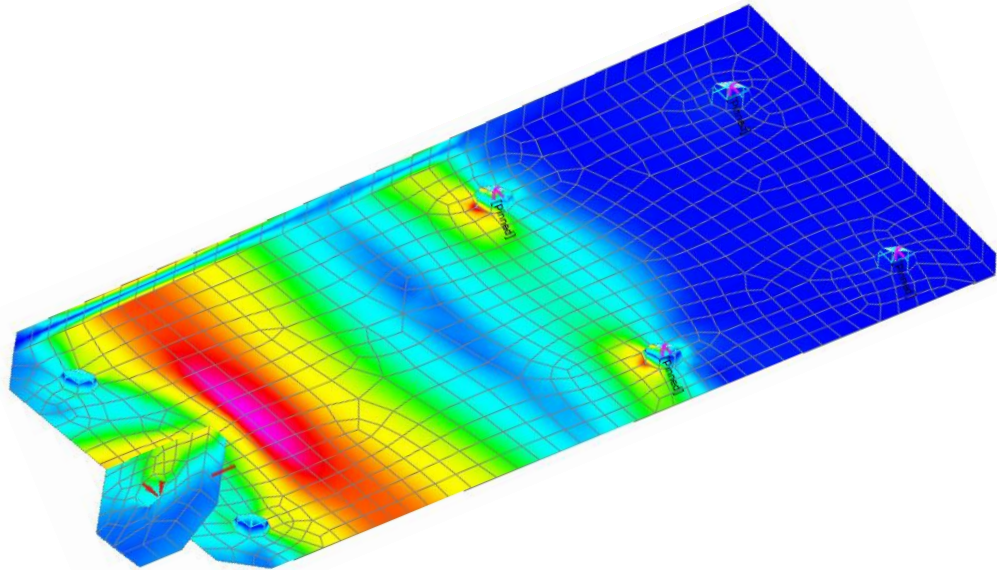
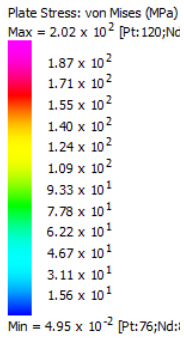
La direction des câbles pouvant ne pas être toujours parfaitement alignée avec ces 3 axes (comportement non-linéaire en grands déplacements), nous ajoutons sécuritairement une petite portion d'effort selon l'axe hors plan de l'oreille égale à 10% de la résultante dans le plan de l'oreille.



Modèle de calcul de la platine type 4 - exemple de cas de charges

Les contraintes de VonMises sont calculées dans la platine pour les combinaisons de chaque ancrage. L'image ci-après présentent le cas donnant la plus forte contrainte dans les tôles :

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 92/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



Modèle de calcul de la platine type 4 - Contraintes de VonMises pour ancrage A5-b

La contrainte maximale relevée sous la combinaison la plus défavorable (ancrage A5b) est de 202MPa. Le taux de travail des tôles est donc de **101%**. Nous jugeons cette valeur acceptable.

La soudure de l'oreille sur la platine est vérifiée sous efforts enveloppes :

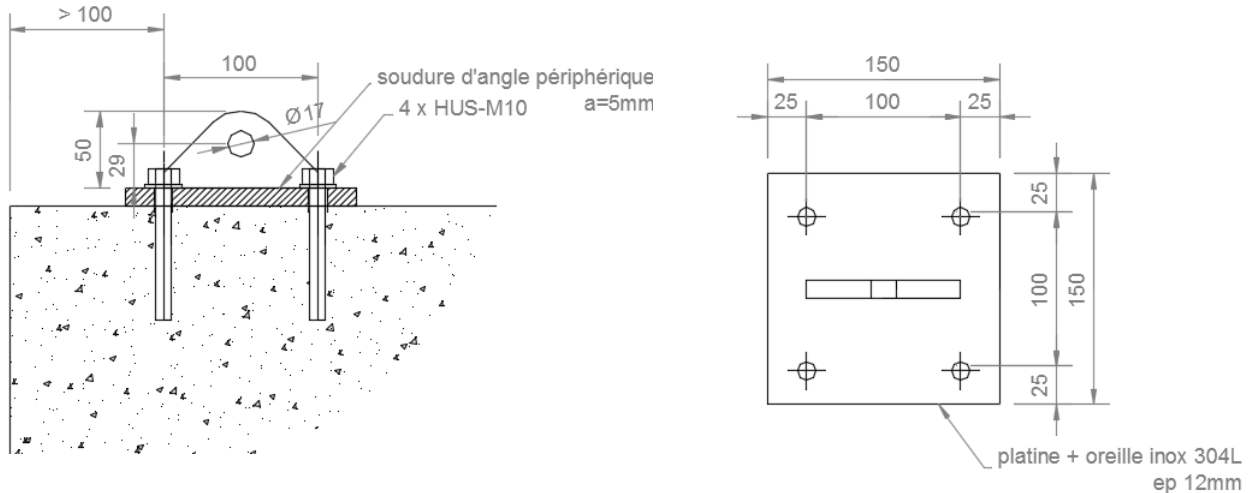
| | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|------------|-------|
| Soudures de l'oreille : | $f_{uw} =$ | 520 | MPa |
| | $\beta_w =$ | 1.00 | |
| | $0.9 f_u / \gamma_{M2} =$ | 374 | MPa |
| | $\beta_w f_u / \gamma_{M2} =$ | 416 | MPa |
| Type de soudure : | cordon d'angle | | |
| | $n =$ | 2 | |
| | $a_w =$ | 5 | mm |
| | $L_w =$ | 50 | mm |
| Efforts enveloppes : | $N_t =$ | 20.1 | kN |
| | $T_y =$ | 10.9 | kN |
| | $T_z =$ | 2.2 | kN |
| | $M_y =$ | 55 | kN.mm |
| | $M_z =$ | 273 | kN.mm |
| Vérification : | $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$ | 89 | MPa |
| | $\tau_{//} =$ | 22 | MPa |
| | $\sigma_{VM} =$ | 182 | MPa |
| | taux travail = | 44% | |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 93/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



5.3.6. Vérification platine type 5

Ce 5^e type est destiné à servir d'ancrage d'extrémité pour deux câbles sur les grillages F4b et F4c. Les câbles sont accrochés à l'oreille directement par leur cosse cœur.



Les chevilles d'ancrage HUS-M10 sont justifiées avec l'utilitaire HILTI sous combinaisons ELU et ELA. Les efforts sont projetés dans le repère local de la platine et des moments sont ajoutés pour prendre en compte l'excentrement de la DDC par rapport au centre de l'ancrage. Le détail de la justification des chevilles figure en annexe.

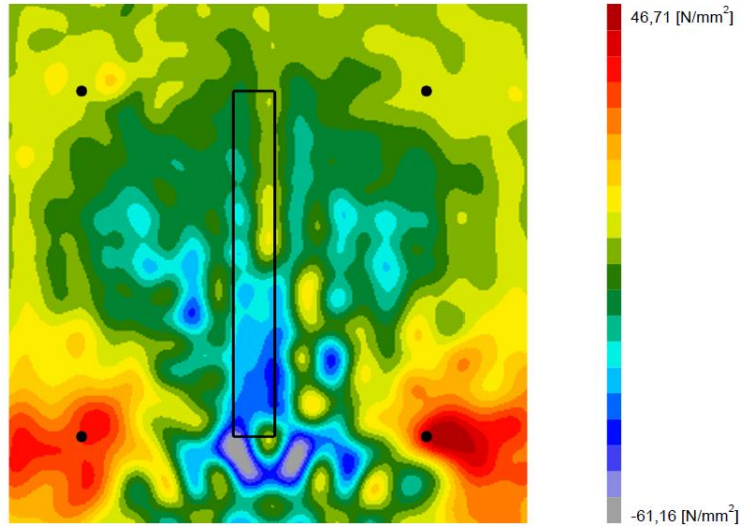
Les taux de travail des fixations sont synthétisés dans le tableau suivant :

| | Ancrage | Taux travail chevilles |
|---------------|--------------------|------------------------|
| Grillages F4b | A16-a | 82% |
| | A17-a | 86% |
| Grillages F4c | A16-a | 65% |
| | A17-a - horizontal | 90% |
| | A17-a - vertical | 90% |

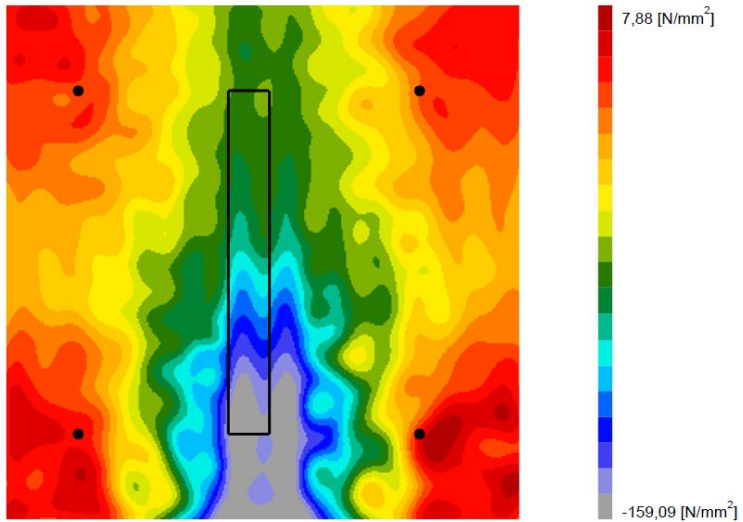
La platine est vérifiée par l'utilitaire Profis Engineering de HILTI, et l'oreille soudée est vérifiée manuellement. Les contraintes principales maximales dans la platine sont relevées pour l'ancrage A17-a vertical de F4c :

| | | | | | |
|---------------|--------------------|-----------|---------|------------|---------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 94/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Distribution des contraintes σ_{11}



Distribution des contraintes σ_{22}

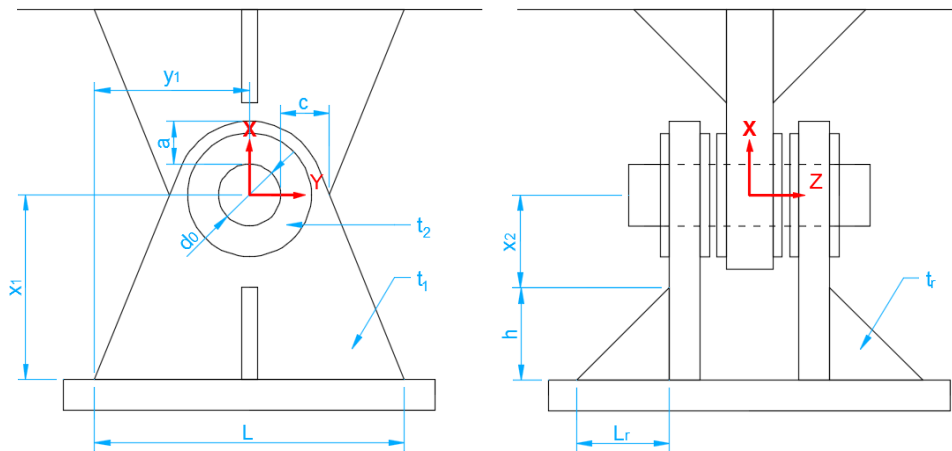


Nous déduisons la contrainte de Von Mises à partir des contraintes principales : $\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 - \sigma_{11}\sigma_{22}}$
La contrainte maximale est donc 139MPa et le taux de travail des tôles est donc de **70%**.

L'oreille est justifiée ci-dessous pour le cas le plus défavorable (ancrage A17-a vertical) :

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 95/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Pont Albert Louppe - oreille platine type 5



1. Efforts

1.1. Efforts ELU

F4c/17a ver.

| | | |
|-----------|------|----|
| $F_{x,t}$ | 18.9 | kN |
| $F_{x,c}$ | 0.0 | kN |
| F_y | 15.2 | kN |
| F_z | 2.4 | kN |

--> $F_{Ed} = 24.4$ kN

2. Caractéristiques géométriques

2.1. Axe

Diamètre : $d = 8.0$ mm

2.2. Chape simple

Diamètre du trou : $d_0 = 17.0$ mm

Pincés : $a = 16.5$ mm

$c = 41.5$ mm

Longueur en pied : $L = 100.0$ mm

Epaisseur chape : $t_1 = 12.0$ mm

Surépaisseur rondelles : $t_2 = 0.0$ mm

Bras de levier axe/pied : $x_1 = 30.0$ mm

Bras de levier axe/raidisseur : $x_2 = 0.0$ mm

Position du trou : $y_1 = 50.0$ mm

Matériau : Acier = 304L

$f_y = 200$ MPa

$f_u = 520$ MPa

3. Vérification de l'assemblage

3.1. Vérification géométrique (NF EN 1993-1-8 §3.13 Tableau 3.9)

| | | |
|----------------|---------------|----|
| Chape simple : | $a > 15.3$ mm | Ok |
| | $c > 14.5$ mm | Ok |

| | | | | | |
|---------------|--------------------|-----------|---------|------------|---------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 96/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| 3.3. Vérification de la chape simple et de ses raidisseurs | | | | 85% |
|---|------------------|---------|--------|--------------------|
| Pression diamétrale : | $F_{b,Rd} =$ | 28.8 kN | \geq | $F_{Ed} =$ 24.4 kN |
| | $F_{b,Rd,ser} =$ | - | \geq | $F_{Ed,ser} =$ - |
| | $f_{h,Rd} =$ | - | \geq | - |
| Résistance de la chape au droit du trou : | $\sigma_N =$ | 19 MPa | | |
| | $\tau_{Ty} =$ | 15 MPa | | |
| | $\tau_{Tz} =$ | 2 MPa | | |
| | $\sigma_{VM} =$ | 33 MPa | $<$ | $f_y =$ 200 MPa |
| Résistance de la chape en pied ou en tête des raidisseurs : | $\sigma_N =$ | 16 MPa | | |
| | $\sigma_{My} =$ | 30 MPa | | |
| | $\sigma_{Mz} =$ | 23 MPa | | |
| | $\tau_{Ty} =$ | 13 MPa | | |
| | $\tau_{Tz} =$ | 2 MPa | | |
| | $\sigma_{VM} =$ | 72 MPa | $<$ | $f_y =$ 200 MPa |

La soudure de l'oreille sur la platine est vérifiée sous efforts enveloppes :

| | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|------|-------|
| Soudures de l'oreille : | $f_{uw} =$ | 520 | MPa |
| | $\beta_w =$ | 1.00 | |
| | $0.9 f_u / \gamma_{M2} =$ | 374 | MPa |
| | $\beta_w f_u / \gamma_{M2} =$ | 416 | MPa |
| Type de soudure : | cordon d'angle | | |
| | $n =$ | 2 | |
| | $a_w =$ | 5 | mm |
| | $L_w =$ | 100 | mm |
| Efforts : | $N_t =$ | 18.9 | kN |
| | $T_y =$ | 19.0 | kN |
| | $T_z =$ | 10.2 | kN |
| | $M_y =$ | 306 | kN.mm |
| | $M_z =$ | 570 | kN.mm |
| Vérification : | $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$ | 73 | MPa |
| | $\tau_{//} =$ | 19 | MPa |
| | $\sigma_{VM} =$ | 149 | MPa |
| | taux travail = | 36% | |

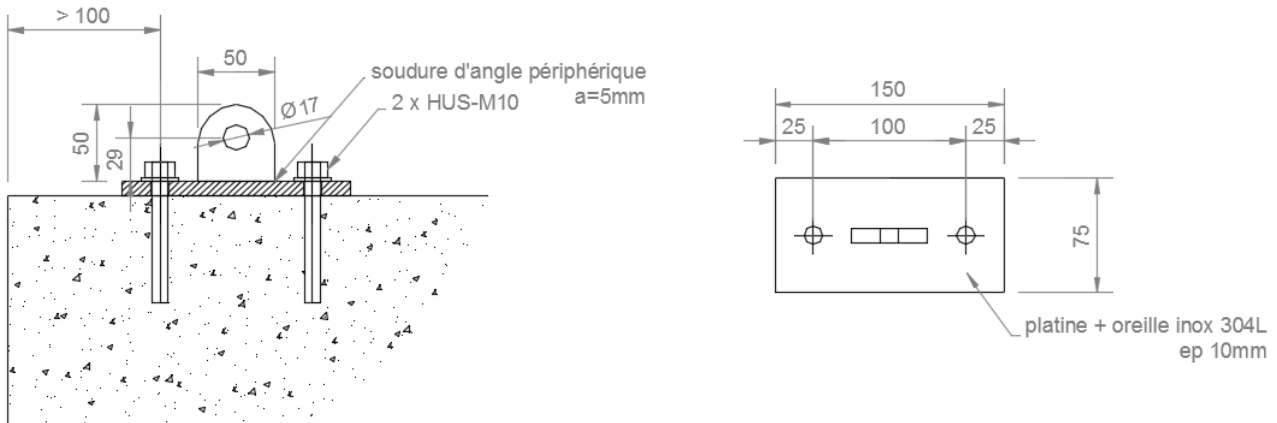
| | | | | | |
|---------------|--------------------|-----------|---------|------------|---------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 97/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

5.3.7. Vérification platine type 6

Ce 6^e type est destiné à servir d'ancrage d'extrémité pour un câble sur les filets F2b ou d'ancrage intermédiaire pour les câbles des grillages F4b et F4c.

En extrémité, les câbles sont accrochés à l'oreille directement par leur cosse cœur.

Les câbles filants sont passés directement dans le trou de l'oreille. Le trou est suffisamment surdimensionné pour pouvoir enfiler une gaine souple PVC d'un diamètre intérieur supérieur à celui du câble. Cette dernière permet d'éviter tout contact entre le câble et les bords du trou afin de ne pas l'abîmer par frottements.



Les chevilles d'ancrage HUS-M10 sont justifiées avec l'utilitaire HILTI sous combinaisons ELU et ELA. Les efforts sont projetés dans le repère local de la platine et des moments sont ajoutés pour prendre en compte l'excentrement de la DDC par rapport au centre de l'ancrage. Le détail de la justification des chevilles figure en annexe.

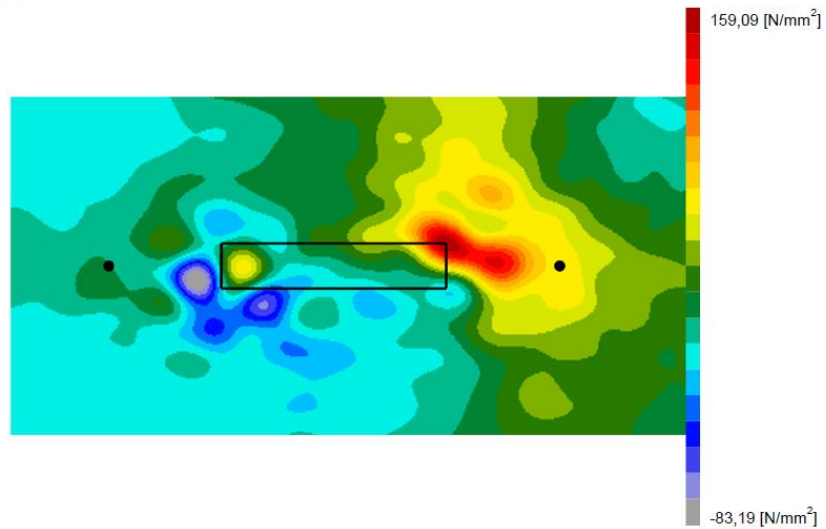
Les taux de travail des fixations sont synthétisés dans le tableau suivant :

| | Ancrage | Taux travail chevilles |
|----------------------|-------------------|------------------------|
| Filets F2b | A6a - biais | 46% |
| | A6a - horizontal | 57% |
| | A14a - vertical | 93% |
| | A14a - horizontal | 59% |
| Grillages F4b | A16-b | 87% |
| | A17-b | 87% |
| Grillages F4c | A16-b | 79% |
| | A17-b | 35% |

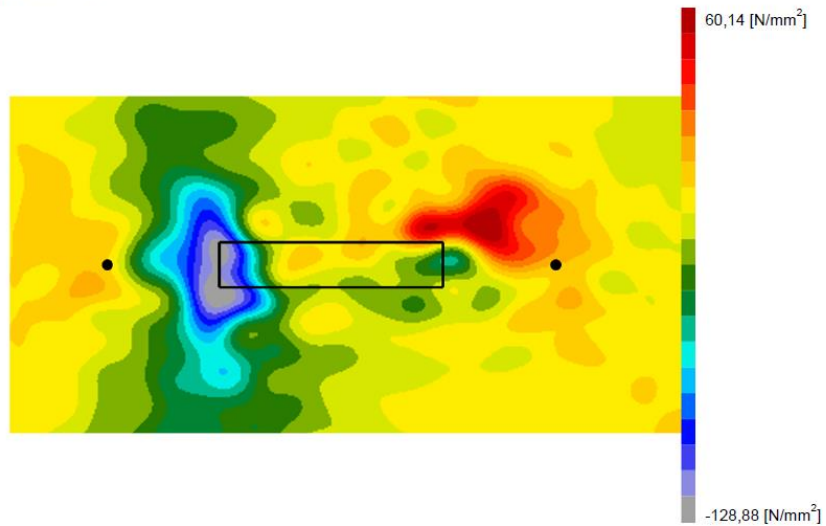
La platine est vérifiée par l'utilitaire Profis Engineering de HILTI, et l'oreille soudée est vérifiée manuellement. Les contraintes principales maximales dans la platine sont relevées pour l'ancrage A14-a horizontal :

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 98/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Distribution des contraintes σ_{11}



Distribution des contraintes σ_{22}

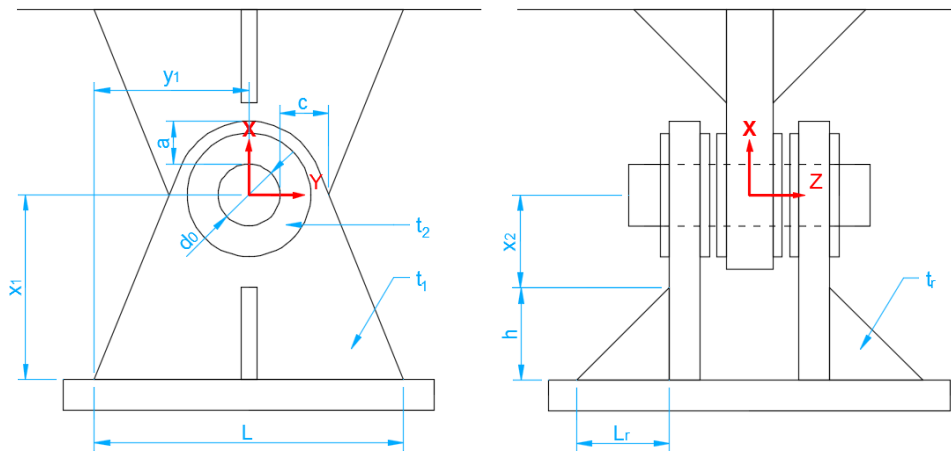


Nous déduisons la contrainte de Von Mises à partir des contraintes principales : $\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 - \sigma_{11}\sigma_{22}}$
La contrainte maximale est donc 146MPa et le taux de travail des tôles est donc de **73%**.

L'oreille est justifiée ci-dessous pour le cas le plus défavorable (ancrage A14-a horizontal) :

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 99/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

Pont Albert Louppe - oreille platine type 6



1. Efforts

1.1. Efforts ELU

| | A14-a hor. | |
|-----------|------------|----|
| $F_{x,t}$ | 2.1 | kN |
| $F_{x,c}$ | 0.0 | kN |
| F_y | 12.6 | kN |
| F_z | 3.0 | kN |

--> $F_{Ed} = 13.1$ kN

2. Caractéristiques géométriques

2.1. Axe

Diamètre : $d = 8.0$ mm

2.2. Chape simple

Diamètre du trou : $d_0 = 17.0$ mm

Pincés : $a = 16.5$ mm

$c = 16.5$ mm

Longueur en pied : $L = 50.0$ mm

Epaisseur chape : $t_1 = 10.0$ mm

Surépaisseur rondelles : $t_2 = 0.0$ mm

Bras de levier axe/pied : $x_1 = 30.0$ mm

Bras de levier axe/raidisseur : $x_2 = 0.0$ mm

Position du trou : $y_1 = 25.0$ mm

Matériau : Acier = 304L

$f_y = 200$ MPa

$f_u = 520$ MPa

3. Vérification de l'assemblage

3.1. Vérification géométrique (NF EN 1993-1-8 §3.13 Tableau 3.9)

Chape simple : $a > 11.9$ mm **Ok**

$c > 14.5$ mm **Ok**

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 100/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

| 3.3. Vérification de la chape simple et de ses raidisseurs | | | | 104% |
|---|------------------|---------|--------|--------------------|
| Pression diamétrale : | $F_{b,Rd} =$ | 24.0 kN | \geq | $F_{Ed} =$ 13.1 kN |
| | $F_{b,Rd,ser} =$ | - | \geq | $F_{Ed,ser} =$ - |
| | $f_{h,Rd} =$ | - | \geq | - |
| Résistance de la chape au droit du trou : | $\sigma_N =$ | 6 MPa | | |
| | $\tau_{Ty} =$ | 38 MPa | | |
| | $\tau_{Tz} =$ | 9 MPa | | |
| | $\sigma_{VM} =$ | 68 MPa | $<$ | $f_y =$ 200 MPa |
| Résistance de la chape en pied ou en tête des raidisseurs : | $\sigma_N =$ | 4 MPa | | |
| | $\sigma_{My} =$ | 108 MPa | | |
| | $\sigma_{Mz} =$ | 91 MPa | | |
| | $\tau_{Ty} =$ | 25 MPa | | |
| | $\tau_{Tz} =$ | 6 MPa | | |
| | $\sigma_{VM} =$ | 208 MPa | \geq | $f_y =$ 200 MPa |

La limite d'élasticité est légèrement dépassée en pied de chape, mais nous jugeons ces résultats acceptables.

La soudure de l'oreille sur la platine est vérifiée sous efforts enveloppes :

| | | | |
|-------------------------|-----------------------------------|------|-------|
| Soudures de l'oreille : | $f_{uw} =$ | 520 | MPa |
| | $\beta_w =$ | 1.00 | |
| | $0.9 f_u / \gamma_{M2} =$ | 374 | MPa |
| | $\beta_w f_u / \gamma_{M2} =$ | 416 | MPa |
| Type de soudure : | cordon d'angle | | |
| | $n =$ | 2 | |
| | $a_w =$ | 5 | mm |
| | $L_w =$ | 50 | mm |
| Efforts : | $N_t =$ | 12.2 | kN |
| | $T_y =$ | 12.6 | kN |
| | $T_z =$ | 3.0 | kN |
| | $M_y =$ | 90 | kN.mm |
| | $M_z =$ | 378 | kN.mm |
| Vérification : | $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} =$ | 104 | MPa |
| | $\tau_{//} =$ | 25 | MPa |
| | $\sigma_{VM} =$ | 213 | MPa |
| | taux travail = | 51% | |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 101/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

6. CONCLUSION

L'objet de la présente note est le dimensionnement des filets et grillages de type F3 / F2b / F4a / F4b / F4c / F6a / F6b.

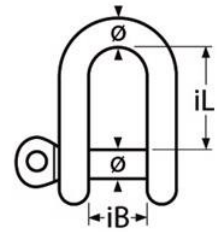
- Le coefficient de sécurité minimum des filets est de 1.9, ce qui reste très proche de 2
⇒ les filets sont donc correctement dimensionnés
- Le coefficient de sécurité minimum des grillages est de 1.8, ce qui reste très proche de 2
⇒ les grillages sont donc correctement dimensionnés
- Le coefficient de sécurité minimum des câbles de pourtour est de 2.1, ce qui est supérieur à 2
⇒ Les câbles sont donc correctement dimensionnés
- Le taux de travail maximal des ancrages est de 104% (93% pour les chevilles, 97% pour la platine de type 2, 80% pour la platine de type 3, 101% pour la platine de type 4, 85% pour la platine de type 5, 104% pour la platine de type 6)
⇒ Les ancrages sont donc correctement dimensionnés

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 102/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |

7. ANNEXE 1

Cette annexe présente les fiches techniques des produits suivants :

- Manille inox Ø12mm pour extrémité de câbles (CMU \approx 1t)
- Manille inox Ø10mm (CMU \approx 0.5t) et maillon rapide inox Ø12mm pour câbles filants (CMU \approx 0.8t)



TYPE DE MATERIEAU : ACIER INOX A4 – AISI 316

LARGEUR INTERIEUR : 24MM

LONGUEUR INTERIEUR : 44MM

DIAMETRE DU MATERIEAU : 12MM

CHARGE DE RUPTURE : 6600 Kg

Type de matériau :

Largeur intérieure (iB) :

Longueur intérieure (iL) :

Diamètre du matériau (ø) :

Charge de rupture en KG :

MTProduktMaterial :

Acier Inox A4

20

36

10

4300

Acier Inox A4 - AISI 316



Caractéristiques techniques

Type de matériau :

Largeur intérieure (iB) :

Longueur intérieure (iL) :

Diamètre du matériau (ø) :

Largeur de l'ouverture (C) :

Charge de rupture en KG :

MTProduktMaterial :

Acier inox A4

21

72

10

12

3100

Acier inox A4 - AISI 316

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 103/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



8. ANNEXE 2

Les pages suivantes présentent les notes de calcul détaillées des différents ancrages.

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|------------------|----------------|-------------|----------------|
| 2021 - NDC 03 | Pont Albert Louppe | G. Bénet | B | 14/06/2021 | 104/104 |
| Document | Objet | Rédacteur | Version | Date | N° page |



TECHNICAL SPECIFICATIONS

REVISION 1

ELEMENT 128

Page 1 of 1

NET 6MM GOLD LINE PAHT MESH 70MM

RAW MATERIAL: Polyamide high tenacity (PaHT)

COLOUR: Black

MEASUREMENTS: As per customer's demand

DENSITY: 1.14

DIÁMETER: 6 mm

MESH: 70 x 70 mm

MELTING POINT: 255° C

GUARANTEE: Double U.V. treatment

AVERAGE WEIGHT: 485 g/m²

BREAKING FORCE: 5.1 kN



TECNOLOGIA DEPORTIVA, S.A.



TECHNICAL SPECIFICATIONS

REVISION 1

ELEMENT 318

Page 1 of 1

NET 2MM GOLD LINE PAHT MESH 22MM

RAW MATERIAL: Polyamide high tenacity (PaHT)

COLOUR: Black

MEASUREMENTS: As per customer's demand

DENSITY: 1.14

DIÁMETER: 2 mm

MESH: 22 x 22 mm

MELTING POINT: 225° C

AVERAGE WEIGHT: 140 g/m²

BREAKING FORCE: 70 kgf

FLAME RETARDANT: NFPA 701:2015





TECHNICAL SPECIFICATIONS

REVISION 1

ELEMENT 161

Page 1 of 1

FILET 2MM MAILLE 20MM

| | |
|------------------|-------------------------------------|
| MATIÈRE: | Polypropylène haute ténacité (PPHT) |
| COULEUR: | Noir |
| MESURES: | Sur demande |
| DENSITÉ: | 0.91 |
| DIAMÈTRE: | 2 mm |
| MAILLE: | 20 x 20 mm |
| POINT DE FUSION: | 174° C |
| GARANTIE: | Double traitement |
| POIDS: | 140 g/m2 |
| RESISTANCE: | 60 kg force |



TECNOLOGIA DEPORTIVA, S.A.

GRILLAGE DOUBLE TORSION GALMAC™ / GALMAC™ +PVC ou PA6

DESCRIPTION

Le grillage métallique à maille hexagonales double torsion est utilisé pour diverses applications, de la protection de falaise contre le risque de décrochement de blocs (Figure 1) à l'utilisation en renforcement de sol. Ils sont également utilisés comme couvercles pour des gabions grands formats ou des Matelas Reno® afin d'accélérer la mise en œuvre, ou en protection anti-fouisseurs.

Le grillage se présente sous forme de rouleaux (Figure 2) et plusieurs combinaisons mailles/fils sont proposées en fonction des applications et sollicitations (Figure 3, tableau 1).

Les systèmes de management et de production sont certifiés ISO 9001 et 14001.

Les fils sont revêtus de **Galmac™** (alliage Zn95/Al5) de classe A conforme à la norme NF EN 10244-2:2009.

La fabrication du grillage double torsion est conforme à la norme NF EN 10223-3:2014.

Pour renforcer la structure, les fils de bordure de la nappe de grillage présentent un diamètre plus important que les fils de maille.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Grillage métallique

1. Résistance mécanique : la résistance nominale à la traction du grillage est testée conformément à la norme NF EN 10223-3:2014 et présente les valeurs indiquées dans le tableau 2.

La résistance au poinçonnement du grillage, testée selon la norme UNI 11437 est également présentée dans le tableau 2.

2. Durabilité : lorsqu'il sont exposés à un essai en environnement de dioxyde de soufre conformément aux modes opératoires de l'EN ISO 6988, après 28 cycles de tests discontinus, les échantillons de grillage ne présentent pas plus de 5% de rouille brun foncée (DBR). Soumis à un essai en brouillard salin neutre conformément aux modes opératoires de la norme EN ISO 9227, après 1000h d'exposition, les échantillons de grillage ne présentent pas plus de 5% de DBR.

Fil revêtu de Galmac™

L'ensemble des caractéristiques listées ci-dessous doivent être testées avant la fabrication du grillage

1. Résistance à la traction : le fil utilisé dans la fabrication du grillage doit avoir une résistance à la traction comprise entre 350 et 550N/mm² conformément à la norme NF EN 10223-3:2014. Les tolérances du fil sont conformes à la norme NF EN 10218 (classe T1).

2. Allongement : l'allongement à la rupture est supérieur ou égal à 8%, conformément à la norme NF EN 10223-3:2014.

3. Revêtement Galmac™ : les quantités minimales de Galmac™ indiquées dans le tableau 3 sont conformes à la norme NF EN 10244-2.

4. Adhésion du Galmac™ : l'adhésion au fil du revêtement Galmac™ est conforme à la norme NF EN 10244.

Revêtement organique

Pour des applications en milieu agressif, afin d'obtenir une durée de vie supérieure, le fil revêtu de Galmac™ peut être revêtu d'une gaine polymère extrudée sur le fil dont les caractéristiques sont conformes à la norme NF EN 10245-1. Nous proposons un revêtement PVC ou PA6, dont les caractéristiques techniques sont indiquées ci-dessous:

1. Couleur : Gris RAL 7037

2. Résistance aux radiations UV : Les caractéristiques mécaniques du polymère (allongement et résistance à la traction) du composant de base après une exposition aux rayons UV de 4 000 h à l'arc xénon (EN ISO 4892-2) ne varient pas plus de 25 % par rapport aux résultats d'essai initiaux

3. Résistance aux agents chimiques : Le polymère doit résister aux agents chimiques dans des concentrations qui sont représentatives du sol et de l'eau habituellement rencontrés dans les ouvrages de génie civil.

4. Test de vieillissement accéléré au brouillard salin : exposés à un essai en brouillard salin neutre conformément aux modes opératoires de la norme EN ISO 9227, après 6000h d'exposition, les échantillons de grillage ne présentent pas de 5% de DBR.

Le grillage double torsion est certifié **CE** en conformité avec le Règlement des Produits de la Construction UE 305/2011. Avant la mise en œuvre, et pour chaque livraison, l'entreprise doit délivrer au client la **Déclaration de Performance**, dans laquelle sont spécifiées la nature et le nom commercial du produit, le nom de l'entreprise de fabrication, le nom de l'entreprise livrée, le lieu du chantier et les quantités livrées.



Figure 1: Exemple de grillage plaqué en protection de falaise

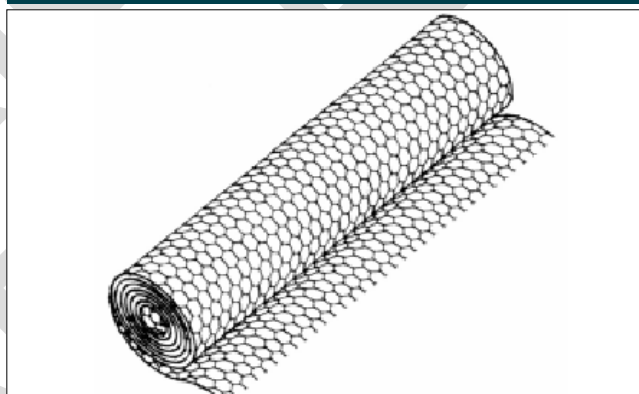


Figure 2: Schéma d'un grillage double torsion

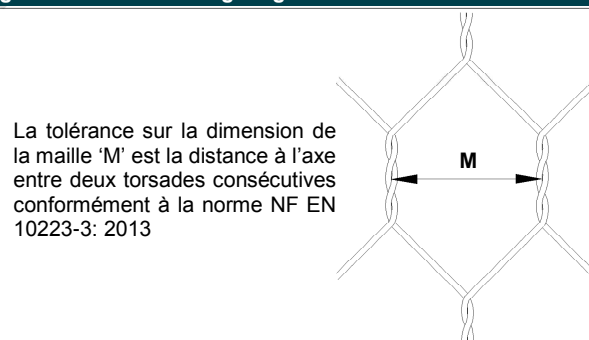


Figure 3 : Définition d'une maille hexagonale double torsion

Tableau 1: Dimension standard des grillages

| Longueur (m) | Largeur (m) | Tolérance |
|--------------|-----------------|-----------|
| 25 | 1.00 | +/- 5% |
| 50 | 2.00 | |
| 100 | 3.00 | |
| | 4.00 (sauf 5x7) | |

OPÉRATIONS DE LIGATURE

Les opérations de ligature peuvent être réalisées à l'aide des outils présentés en figure 6. Des agrafes en acier revêtues de Galmac™ ou en acier inoxydable (si grillages revêtus de polymère) auront les caractéristiques suivantes: (Figs. 4, 5):

- diamètre: 3.00 mm
- Résistance à la traction: >1700 MPa
- Résistance à l'ouverture > 2.0 kN

Les agrafes doivent être disposées toutes les 8 à 12cm (Fig.4).

DESCRIPTIF D'UNE DEMANDE

Chaque demande étant spécifique, nous vous remercions de bien vouloir nous envoyer le maximum d'éléments concernant votre étude, à savoir:

- la localisation du projet
- le dossier technique (CCTP, rapport d'études...)
- les pièces graphiques (profil en travers, élévation, vue en plan)
- les pièces administratives

Tableau 2: Caractéristiques du grillage

| Désignation | 5x7 | 6x8 | 8 x 10 | 10 x 12 |
|--|--------|---------|----------|----------|
| M (mm) | 50 | 60 | 80 | 100 |
| Tolérance (mm) | -0/ +6 | -0 / +8 | -0 / +10 | -0 / +10 |
| Diamètre du fil nu (mm) | 2.0 | 2.2 2.7 | 2.7 3.0 | 2.7 3.0 |
| Diamètre du fil revêtu de PVC (mm) | - | 3.2 - | 3.7 - | 3.7 - |
| Diamètre du fil revêtu de PA6 (mm) | - | 3.0 - | 3.5 - | 3.5 - |
| Résistance à la traction (kN/m) | 37 | 37 55 | 50 60 | 43 55 |
| Résistance au poinçonnement (kN) | - | 42 82 | 67 82 | - 65 |
| Déformation à l'effort maximal au poinçonnement (mm) | - | - 510 | 510 520 | - 510 |

Tableau 3: Diamètre standard des fils

| Diamètre du fil de maille (mm) | 2.0 | 2.2 | 2.7 | 3.0 |
|-------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Diamètre du fil de lisière (mm) | 2.4 | 2.7 | 3.4 | 3.9 |
| Tolérance (mm) | +/- 0.06 | +/- 0.06 | +/- 0.06 (2.7) +/- 0.07 (3.4) | +/- 0.06 (3.0) +/- 0.07 (3.4) |
| Quantité minimale de Galmac™ (g/m²) | 215 (2.0) 230 (2.4) | 230 (2.2) 245 (2.7) | 245 (2.7) 265 (3.4) | 255 (3.0) 275 (3.9) |
| Diamètre du fil revêtu de PVC (mm) | - | 3.2 (2.2) 3.7 (2.7) | 3.7 (2.7) 4.4 (3.4) | - |
| Diamètre du fil revêtu de PA6 (mm) | - | 3.0 (2.2) 3.5 (2.7) | 3.5 (2.7) 4.2 (3.4) | - |

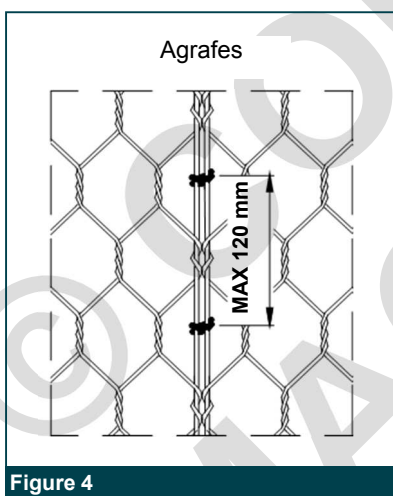


Figure 4

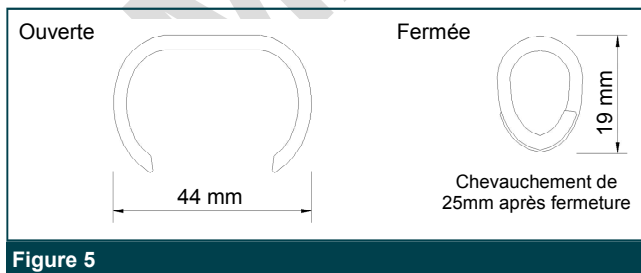


Figure 5

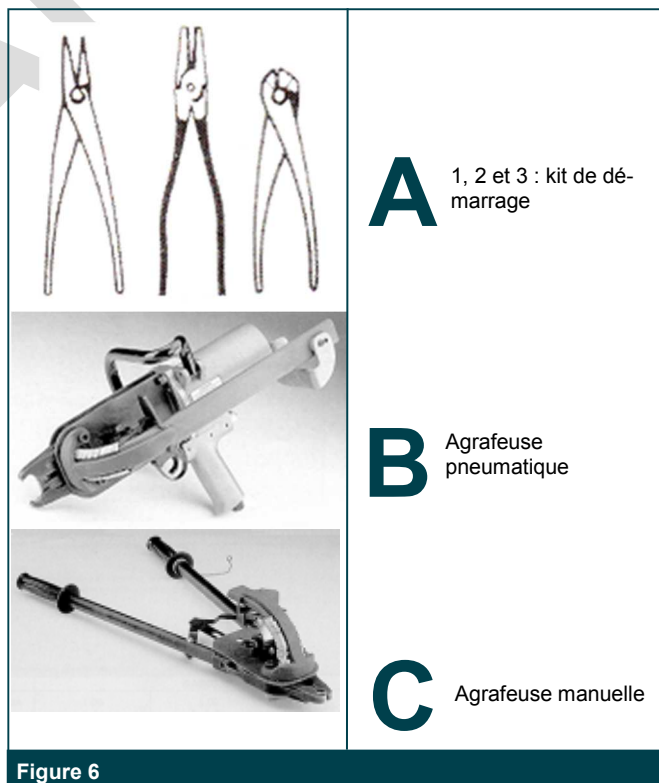


Figure 6



CHEVILLE MÉCANIQUE HUS-HR

**Vis à béton HUS-HR pour
ancrage dans le béton
non fissuré et le béton
fissuré**



HUS-HR

VIS À BÉTON HUS-HR POUR ANCRAGE DANS LE BÉTON NON FISSURÉ ET LE BÉTON FISSURÉ

Versions

- HUS-HR taille 6 à 14 version acier inoxydable

Homologations

ETE ETE 08/0307

Résistance au feu ETE 08/0307 et PB III / 08-354

Les homologations et procès-verbaux d'essais ne peuvent s'appliquer qu'aux produits sélectionnés uniquement ; reportez-vous aux documents pour plus de détails.



Béton non fissuré



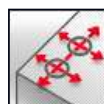
Béton fissuré



Sismique C1¹⁾



Résistant au feu



Distance au bord et entraxe faible



Corrosion

1) Uniquement pour profondeur d'implantation maximum

| Caractéristiques | | 6 | 8 | 10 | 14 |
|--------------------------------|---|------|-----|------|-------|
| $f_{u,k}$ (N/mm ²) | Résistance nominale à la traction du filetage | 1050 | 870 | 950 | 690 |
| $f_{y,k}$ (N/mm ²) | Limite d'élasticité du filetage | 900 | 745 | 815 | 590 |
| A_s (mm ²) | Section résistante | 22,9 | 39 | 55,4 | 143,1 |
| W (mm ³) | Moment de résistance | 15 | 34 | 58 | 255 |
| $M^0_{Rd,s}$ (N.m) | Moment de flexion admissible (ELU) | 19 | 36 | 66 | 193 |

CODES ARTICLES ET DIMENSIONS

| Désignation | HUS-HR |
|-----------------|--------|
| 6x35 5/-/- | 290005 |
| 6x45 15/- | 290011 |
| 6x60 30/5/- | 290014 |
| 6x70 40/15 | 290015 |
| 8x55 5/-/- | 290029 |
| 8x65 15/5/- | 290030 |
| 8x75 25/15/- | 290031 |
| 8x85 35/25/5 | 290032 |
| 8x95 45/35/15 | 290033 |
| 8x105 55/45/25 | 290034 |
| 10x65 5/-/- | 290062 |
| 10x75 15/5/- | 290063 |
| 10x85 25/15/- | 290067 |
| 10x95 35/25/5 | 290068 |
| 10x105 45/35/15 | 290072 |
| 10x115 55/45/25 | 290131 |
| 10x130 70/60/40 | 290161 |
| 14x80 10/- | 290181 |
| 14x120 50/10 | 290182 |
| 14x135 65/25 | 290183 |

NOMENCLATURE

$\emptyset_{cheville} \times L_{cheville} t_{fix,1} / t_{fix,2} / t_{fix,3}$

Avec :

- $t_{fix,1}$: ép. pièce à fixer maxi, implantation mini
- $t_{fix,2}$: ép. pièce à fixer standard, implantation standard
- $t_{fix,3}$: ép. pièce à fixer mini, implantation maxi

MATIÈRE

| HUS-HR | Type acier |
|-------------|---------------------|
| Vis à béton | Acier Inoxydable A4 |

HUS-HR

DONNÉES DE POSE

| | Diamètre de perçage | Profondeur mini de perçage | Profondeur implantation | Profondeur d'ancrage | Epaisseur mini du support | Ouverture sur plats | Couple de serrage (béton) | Diamètre trou de passage | Outil de pose | |
|----|---------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|--------------------------|---------------|--------------|
| | d ₀ (mm) | h _i (mm) | h _{nom} (mm) | h _{ef} (mm) | h _{min} (mm) | S _w (mm) | T _{inst} (Nm) | d _f (mm) | Désignation | Code article |
| 6 | 6 | 65 ³⁾ | 55 | 45 | 100 | 13 | 2 ²⁾ | 9 | SIW 14-A | 2006066 |
| | | | | | | | | | SIW 22-A | 2006081 |
| 8 | 8 | 60 ¹⁾ | 50 ¹⁾ | 38 ¹⁾ | 100 ¹⁾ | 13 | 35 | 12 | SIW 22-A | 2006081 |
| | | 70 | 60 | 47 | 100 | | 2 ²⁾ | | | |
| | | 90 | 80 | 64 | 120 | | 2 ²⁾ | | | |
| 10 | 10 | 70 ¹⁾ | 60 ¹⁾ | 46 ¹⁾ | 120 ¹⁾ | 15 | 45 | 14 | SIW 22-A | 2006081 |
| | | 80 | 70 | 54 | 120 | | 45 | | | |
| | | 100 | 90 | 71 | 140 | | 45 | | | |
| 14 | 14 | 80 | 70 | 52 | 140 | 21 | 65 | 18 | SIW 22-A | 2006081 |
| | | 120 | 110 | 86 | 160 | | 35 | | | |

1) Valeurs issues des données techniques Hilti, non couvertes par l'ETE 08/0307.

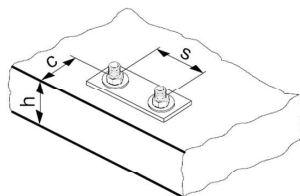
2) La pose manuelle dans le béton n'est pas autorisée. L'utilisation d'une boulonneuse est obligatoire.

3) Dans le cas d'une mise en oeuvre au plafond pour une taille 6, la profondeur de perçage h_i = 53 mm.

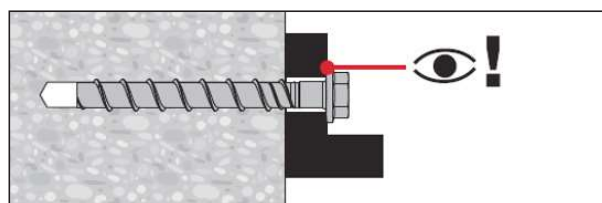
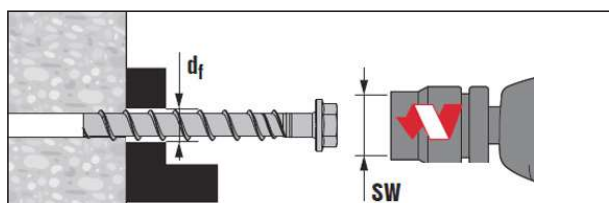
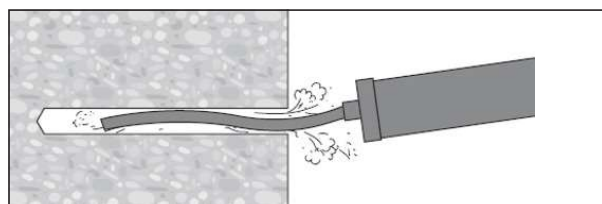
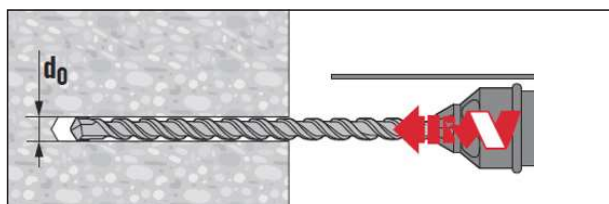
CONDITIONS D'IMPLANTATION

| Taille de la cheville | | 6 | 8 | | 10 | | | 14 | | |
|--|-----------------------|-----|-------------------|-----|-----|-------------------|-----|-----|-------------------|-----|
| Profondeur d'implantation | h _{nom} (mm) | 55 | 50 ¹⁾ | 60 | 80 | 60 ¹⁾ | 70 | 90 | 70 ¹⁾ | 110 |
| Epaisseur minimum du support | h _{min} (mm) | 100 | 100 ¹⁾ | 100 | 120 | 120 ¹⁾ | 120 | 140 | 140 ¹⁾ | 160 |
| Entraxe minimum | s _{min} (mm) | 35 | 45 | 45 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 60 |
| Distance au bord minimum | c _{min} (mm) | 35 | 45 | 45 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 60 |
| Entraxe critique pour rupture par fendage et cône béton | s _{cr,sp} | 135 | 114 | 114 | 192 | 166 | 194 | 256 | 187 | 310 |
| | s _{cr,N} | 135 | 114 | 114 | 192 | 166 | 194 | 256 | 187 | 310 |
| Distance au bord critique pour rupture par fendage et cône béton | c _{cr,sp} | 68 | 57 | 71 | 96 | 83 | 97 | 128 | 94 | 155 |
| | c _{cr,N} | 68 | 57 | 71 | 96 | 83 | 97 | 128 | 94 | 155 |

1) Valeurs issues des données techniques Hilti, non couvertes par l'ETE 08/0307.



PRINCIPE DE POSE

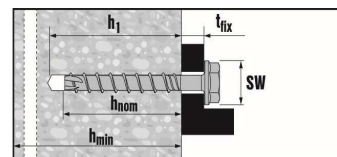


HUS-HR

VALEURS PRÉ CALCULÉES I CHARGES STATIQUES

Pleine masse - Béton non fissuré - Version inox 6, 8, 10 et 14 (en kN)

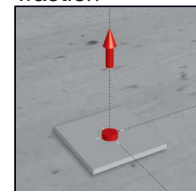
Une cheville isolée, pleine masse, béton C20/25 non ferrailé, non fissuré (sans influence de bord et d'entraxe)



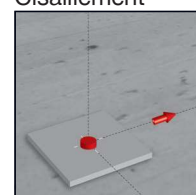
| HUS-HR | h_{nom} (mm) | h_{min} (mm) | Traction (kN) | Cisaillement (kN) |
|--------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| | | | Résistance de calcul | Résistance de calcul |
| | | | Ultime N_{rd} | Ultime V_{rd} |
| 6 | 55 | 100 | 4,28 | 11,33 |
| | 50 ¹⁾ | 100 ¹⁾ | 5,00 | 15,77 |
| 8 | 60 | 100 | 6,66 | 17,33 |
| | 80 | 120 | 8,88 | 17,33 |
| | 60 ¹⁾ | 120 ¹⁾ | 6,66 | 21,00 |
| 10 | 70 | 120 | 8,88 | 22,00 |
| | 90 | 140 | 13,88 | 22,00 |
| 14 | 70 | 140 | 10,52 | 25,24 |
| | 110 | 160 | 22,37 | 51,33 |

1) Valeurs issues des données techniques Hilti, non couvertes par l'ETE 08/0307.

Traction



Cisaillement



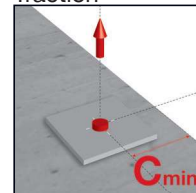
Distance au bord mini - Béton non fissuré - Version inox 6, 8, 10 et 14 (en kN)

Une cheville isolée, béton C20/25 non ferrailé, non fissuré, au bord mini c_{min} (sans influence d'entraxe)

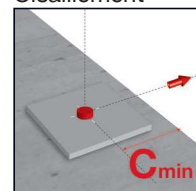
| HUS-HR | h_{nom} (mm) | h_{min} (mm) | c_{min} (mm) | Traction (kN) | Cisaillement (kN) |
|--------|------------------|-------------------|----------------|----------------------|----------------------|
| | | | | Résistance de calcul | Résistance de calcul |
| | | | | Ultime N_{rd} | Ultime V_{rd} |
| 6 | 55 | 100 | 35 | 4,28 | 2,65 |
| | 50 ¹⁾ | 100 ¹⁾ | 45 | 5,00 | 3,78 |
| 8 | 60 | 100 | 45 | 6,60 | 3,92 |
| | 80 | 120 | 50 | 8,88 | 4,77 |
| | 60 ¹⁾ | 120 ¹⁾ | 50 | 6,17 | 4,65 |
| 10 | 70 | 120 | 50 | 7,20 | 4,79 |
| | 90 | 140 | 50 | 9,53 | 5,06 |
| 14 | 70 | 140 | 50 | 6,93 | 5,02 |
| | 110 | 160 | 60 | 12,66 | 7,11 |

1) Valeurs issues des données techniques Hilti, non couvertes par l'ETE 08/0307.

Traction



Cisaillement



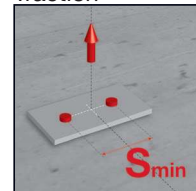
Entraxe mini - Béton non fissuré - Version inox 6, 8, 10 et 14 (en kN)

Une cheville isolée, béton C20/25 non ferrailé, non fissuré, à l'entraxe mini s_{min} (sans influence de bord)

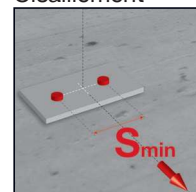
| HUS-HR | h_{nom} (mm) | h_{min} (mm) | s_{min} (mm) | Traction (kN) | Cisaillement (kN) |
|--------|------------------|-------------------|----------------|----------------------|----------------------|
| | | | | Résistance de calcul | Résistance de calcul |
| | | | | Ultime N_{rd} | Ultime V_{rd} |
| 6 | 55 | 100 | 35 | 4,28 | 9,59 |
| | 50 ¹⁾ | 100 ¹⁾ | 45 | 4,58 | 10,99 |
| 8 | 60 | 100 | 45 | 5,96 | 14,31 |
| | 80 | 120 | 50 | 8,88 | 17,33 |
| | 60 ¹⁾ | 120 ¹⁾ | 50 | 5,69 | 13,66 |
| 10 | 70 | 120 | 50 | 7,28 | 17,48 |
| | 90 | 140 | 50 | 10,03 | 22,00 |
| 14 | 70 | 140 | 50 | 6,94 | 16,67 |
| | 110 | 160 | 60 | 13,35 | 33,09 |

1) Valeurs issues des données techniques Hilti, non couvertes par l'ETE 08/0307.

Traction



Cisaillement



Les valeurs pré calculées sont basées sur les tableaux correspondants de l'Agrément Technique Européen de la vis à béton HUS (ETE 08/0307 du 27/08/2015). Celui-ci est disponible en téléchargement gratuit sur www.hilti.fr.

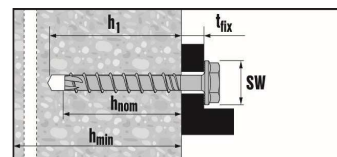
Pour un dimensionnement adapté à votre application, l'utilisation du logiciel PROFIS Cheville ou PROFIS Engineering est recommandée.

HUS-HR

VALEURS PRÉ CALCULÉES I CHARGES STATIQUES

Pleine masse - Béton fissuré - Version inox 6, 8, 10 et 14 (en kN)

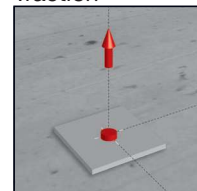
Une cheville isolée, pleine masse, béton C20/25 non ferrailé, fissuré (sans influence de bord et d'entraxe)



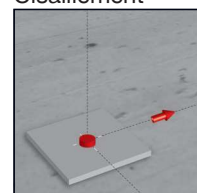
| HUS-HR | h_{nom} (mm) | h_{min} (mm) | Traction (kN) | Cisaillement (kN) |
|--------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| | | | Résistance de calcul | Résistance de calcul |
| | | | Ultime N_{rd} | Ultime V_{rd} |
| 6 | 55 | 100 | 2,38 | 10,86 |
| | 50 ¹⁾ | 100 ¹⁾ | 2,77 | 11,24 |
| 8 | 60 | 100 | 3,33 | 15,46 |
| | 80 | 120 | 6,66 | 17,33 |
| 10 | 60 ¹⁾ | 120 ¹⁾ | 4,16 | 14,97 |
| | 70 | 120 | 5,00 | 19,04 |
| 14 | 90 | 140 | 8,88 | 22,00 |
| | 70 | 140 | 6,66 | 17,99 |
| | 110 | 160 | 13,88 | 38,28 |

1) Valeurs issues des données techniques Hilti, non couvertes par l'ETE 08/0307.

Traction



Cisaillement



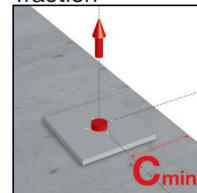
Distance au bord mini - Béton fissuré - Version inox 6, 8, 10 et 14 (en kN)

Une cheville isolée, béton C20/25 non ferrailé, fissuré, au bord mini c_{min} (sans influence d'entraxe)

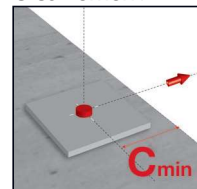
| HUS-HR | h_{nom} (mm) | h_{min} (mm) | c_{min} (mm) | Traction (kN) | Cisaillement (kN) |
|--------|------------------|-------------------|----------------|----------------------|----------------------|
| | | | | Résistance de calcul | Résistance de calcul |
| | | | | Ultime N_{rd} | Ultime V_{rd} |
| 6 | 55 | 100 | 35 | 2,38 | 1,87 |
| | 50 ¹⁾ | 100 ¹⁾ | 45 | 2,77 | 2,67 |
| 8 | 60 | 100 | 45 | 3,33 | 2,77 |
| | 80 | 120 | 50 | 6,66 | 3,38 |
| 10 | 60 ¹⁾ | 120 ¹⁾ | 50 | 4,16 | 3,29 |
| | 70 | 120 | 50 | 5,00 | 3,39 |
| 14 | 90 | 140 | 50 | 6,79 | 3,59 |
| | 70 | 140 | 50 | 4,94 | 3,56 |
| | 110 | 160 | 60 | 9,02 | 5,03 |

1) Valeurs issues des données techniques Hilti, non couvertes par l'ETE 08/0307.

Traction



Cisaillement



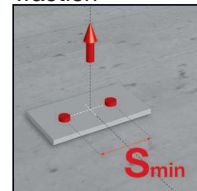
Entraxe mini - Béton fissuré - Version inox 6, 8, 10 et 14 (en kN)

Une cheville isolée, béton C20/25 non ferrailé, fissuré, à l'entraxe mini s_{min} (sans influence de bord)

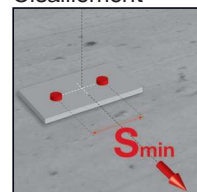
| HUS-HR | h_{nom} (mm) | h_{min} (mm) | s_{min} (mm) | Traction (kN) | Cisaillement (kN) |
|--------|------------------|-------------------|----------------|----------------------|----------------------|
| | | | | Résistance de calcul | Résistance de calcul |
| | | | | Ultime N_{rd} | Ultime V_{rd} |
| 6 | 55 | 100 | 35 | 2,38 | 6,84 |
| | 50 ¹⁾ | 100 ¹⁾ | 45 | 2,77 | 7,84 |
| 8 | 60 | 100 | 45 | 3,33 | 10,20 |
| | 80 | 120 | 50 | 6,45 | 15,48 |
| 10 | 60 ¹⁾ | 120 ¹⁾ | 50 | 4,05 | 9,74 |
| | 70 | 120 | 50 | 5,00 | 12,46 |
| 14 | 90 | 140 | 50 | 7,15 | 17,72 |
| | 70 | 140 | 50 | 4,95 | 11,88 |
| | 110 | 160 | 60 | 9,51 | 23,59 |

1) Valeurs issues des données techniques Hilti, non couvertes par l'ETE 08/0307.

Traction



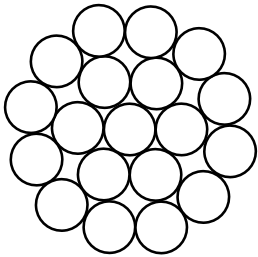
Cisaillement



Les valeurs pré calculées sont basées sur les tableaux correspondants de l'Agrément Technique Européen de la vis à béton HUS (ETE 08/0307 du 27/08/2015). Celui-ci est disponible en téléchargement gratuit sur www.hilti.fr.

Pour un dimensionnement adapté à votre application, l'utilisation du logiciel PROFIS Cheville ou PROFIS Engineering est recommandée.

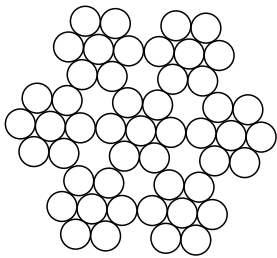
LES CÂBLES INOX - STAINLESS STEEL WIRE ROPE



Toron AISI 316 **1 toron** de **19 fils**
Stainless steel strand 1x19

| REF. | Ø (mm) | Conditionnement (m) | C.R.M (kg) | Poids (kg/m) |
|-----------|--------|---------------------|------------|---------------|
| REF. | Ø (mm) | Packaging (m) | B.K.L (kg) | Weight (kg/m) |
| CAI 11902 | 2 | 2 000 | 340 | 0,02 |
| CAI 11903 | 3 | 2 000 | 750 | 0,045 |
| CAI 11904 | 4 | 2 000 | 1 400 | 0,08 |
| CAI 11905 | 5 | 2 000 | 2 100 | 0,124 |
| CAI 11906 | 6 | 1 000 | 3 000 | 0,178 |
| CAI 11907 | 7 | 1 000 | 4 100 | 0,243 |
| CAI 11908 | 8 | 1 000 | 5 400 | 0,317 |
| CAI 11910 | 10 | 1 000 | 8 500 | 0,494 |
| CAI 11912 | 12 | 1 000 | 12 250 | 0,712 |

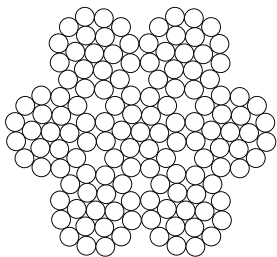
C.R.M : Charge de Rupture Minimale. / B.K.L : Breaking Load Limit.



Câble inox AISI 316 **7 torons** de **7 fils**
Stainless steel wire rope 7x7

| REF. | Ø (mm) | Conditionnement (m) | C.R.M (kg) | Poids (kg/m) |
|------------|--------|---------------------|------------|---------------|
| REF. | Ø (mm) | Packaging (m) | B.K.L (kg) | Weight (kg/m) |
| CAI 770015 | 1,5 | 1 000 | 130 | 0,091 |
| CAI 77002 | 2 | 1 000 | 230 | 0,014 |
| CAI 770025 | 2,5 | 1 000 | 380 | 0,023 |
| CAI 77003 | 3 | 1 000 | 500 | 0,031 |
| CAI 77004 | 4 | 1 000 | 1 000 | 0,061 |
| CAI 77005 | 5 | 1 000 | 1 600 | 0,094 |
| CAI 77006 | 6 | 1 000 | 2 200 | 0,091 |

C.R.M : Charge de Rupture Minimale. / B.K.L : Breaking Load Limit.



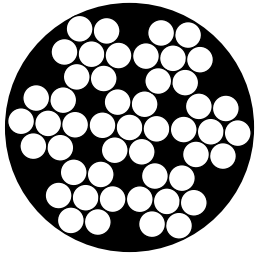
Câble inox AISI 316 **7 torons** de **19 fils**
Stainless steel wire rope 7x19

| REF. | Ø (mm) | Conditionnement (m) | C.R.M (kg) | Poids (kg/m) |
|-----------|--------|---------------------|------------|---------------|
| REF. | Ø (mm) | Packaging (m) | B.K.L (kg) | Weight (kg/m) |
| CAI 71902 | 2 | - | - | - |
| CAI 71903 | 3 | 2 000 | 600 | 0,038 |
| CAI 71904 | 4 | 2 000 | 950 | 0,06 |
| CAI 71905 | 5 | 2 000 | 1 400 | 0,09 |
| CAI 71906 | 6 | 1 000 | 2 100 | 0,135 |
| CAI 71908 | 8 | 500 | 3 800 | 0,24 |
| CAI 71910 | 10 | 500 | 5 310 | 0,375 |
| CAI 71912 | 12 | 500 | 7 650 | 0,54 |

C.R.M : Charge de Rupture Minimale. / B.K.L : Breaking Load Limit.



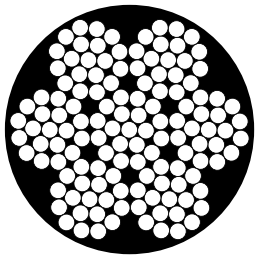
LES CÂBLES PVC - PVC COATED



Câble acier galvanisé **7 torons** de **7 fils**
enrobé de PVC cristal
Galv. PVC coated wire rope 7x7

| REF. | Ø (mm) | Conditionnement (m) | C.R.M (kg) | Poids (kg/m) |
|------------|--------|---------------------|------------|---------------|
| REF. | Ø (mm) | Packaging (m) | B.K.L (kg) | Weight (kg/m) |
| CAP 770203 | 2 - 3 | 2 000 | 330 | 0,022 |
| CAP 770304 | 3 - 4 | 2 000 | 720 | 0,044 |
| CAP 770305 | 3 - 5 | 2 000 | 720 | 0,056 |
| CAP 770405 | 4 - 5 | 2 000 | 1 260 | 0,075 |

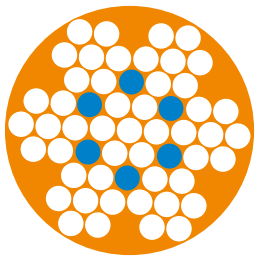
Coloris disponibles : rouge, vert, noir ou blanc. C.R.M : Charge de Rupture Minimale.
Colors available : red, green, black or white. B.K.L : Breaking Load Limit.



Câble acier galvanisé **7 torons** de **19 fils**
enrobé de PVC cristal
Galv. PVC coated wire rope 7x19

| REF. | Ø (mm) | Conditionnement (m) | C.R.M (kg) | Poids (kg/m) |
|-------------|---------|---------------------|------------|---------------|
| REF. | Ø (mm) | Packaging (m) | B.K.L (kg) | Weight (kg/m) |
| CAP 719046 | 4 - 6 | 1 000 | 1 260 | 0,08 |
| CAP 7190608 | 6 - 8 | 500 | 2 730 | 0,161 |
| CAP 7190810 | 8 - 10 | 500 | 4 240 | 0,289 |
| CAP 7191012 | 10 - 12 | 500 | 6 630 | 0,438 |
| CAP 7191214 | 12 - 14 | 500 | 10 500 | 0,671 |

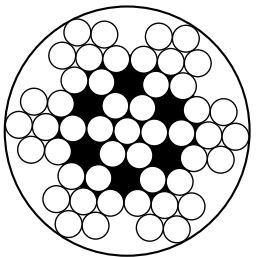
Coloris disponibles : rouge, vert, noir ou blanc. Autres diamètres sur demande.
C.R.M : Charge de Rupture Minimale.
Colors available : red, green, black or white. Other diameters on demand.
B.K.L : Breaking Load Limit.



Câble de râcleur enrobé à chaud **7 torons** de **7 fils**
enrobé PE haute densité
PE coated wire rope 7x7

| REF. | Ø (mm) | Conditionnement (m) | C.R.M (kg) | Poids (kg/m) |
|----------------|--------|---------------------|------------|---------------|
| REF. | Ø (mm) | Packaging (m) | B.K.L (kg) | Weight (kg/m) |
| CAP 770305 PEO | 3 - 5 | 2 000 | 580 | 0,05 |
| CAP 770406 PEO | 4 - 6 | 2 000 | 1 030 | 0,081 |
| CAP 770608 PEO | 6 - 8 | 2 000 | 2 320 | 0,16 |

Existe aussi en bleu sous la référence CAP77...PEB. C.R.M : Charge de Rupture Minimale.
Available in blue Ref. CAP77...PEB. B.K.L : Breaking Load Limit.



Câble acier inox **AISI 316 enrobé de PVC blanc**
White PVC coated AISI 316 stainless steel wire rope

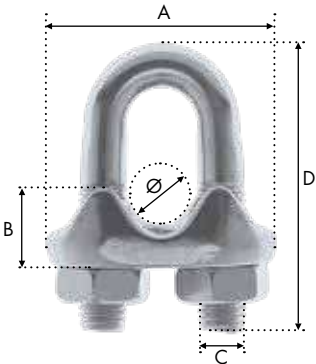
| REF. | Ø (mm) | Composition | Conditionnement (m) | C.R.M (kg) | Poids (kg/m) |
|-------------|--------|-------------|---------------------|------------|---------------|
| REF. | Ø (mm) | Composition | Packaging (m) | B.K.L (kg) | Weight (kg/m) |
| CIP 770023 | 2 - 3 | 7 x 7 | 2 000 | 230 | 0,014 |
| CIP 770035 | 3 - 5 | 7 x 7 | 1 000 | 500 | 0,023 |
| CIP 770046 | 4 - 6 | 7 x 7 | 500 / 1 000 | 1 000 | 0,061 |
| CIP 1190046 | 4 - 6 | 1 x 19 | 250 / 1 000 | 1 400 | 0,08 |

C.R.M : Charge de Rupture Minimale. / B.K.L : Breaking Load Limit.

LES ACCESSOIRES DE FIXATION - FITTINGS

Serre-câble à étrier inox AISI 316

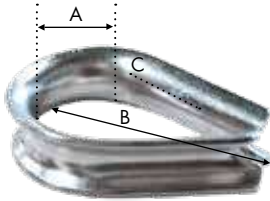
Stainless steel wire rope clips



| REF. | Ø (mm) | A (mm) | B (mm) | C (mm) | D (mm) | Poids / 100p (kg) |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| REF. | Ø (mm) | A (mm) | B (mm) | C (mm) | D (mm) | Weight / 100p (kg) |
| SCI 003 | 3-4 | 22 | 8 | M 4 | 22 | 1 |
| SCI 005 | 4-5 | 24 | 9 | M 5 | 24 | 2 |
| SCI 006 | 6 | 30 | 11 | M 6 | 33 | 3 |
| SCI 008 | 8 | 33 | 12 | M 6 | 35 | 4 |
| SCI 010 | 10 | 37 | 14 | M 8 | 43 | 7 |
| SCI 012 | 12 | 45 | 16 | M 10 | 54 | 12 |
| SCI 014 | 14 | 46 | 18 | M 10 | 54 | 15 |
| SCI 016 | 16 | 53 | 20 | M 10 | 65 | 20 |
| SCI 018 | 18 | 55 | 21 | M 12 | 80 | 24 |
| SCI 020 | 20 | 58 | 22 | M 12 | 80 | 27 |

Cosse-cœur inox AISI 316

Stainless steel thimbles

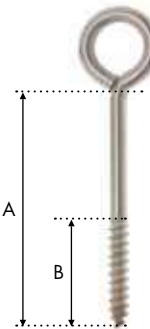


| REF. | Ø Câble (mm) | A (mm) | B (mm) | C (mm) | Poids / 100p (kg) |
|---------|--------------|--------|--------|--------|--------------------|
| REF. | Ø Rope (mm) | A (mm) | B (mm) | C (mm) | Weight / 100p (kg) |
| CRI 003 | 3 | 9 | 15 | 1 | 0,6 |
| CRI 004 | 4 | 11 | 18 | 1 | 0,8 |
| CRI 005 | 5 | 14 | 20 | 1,2 | 1 |
| CRI 006 | 6 | 15 | 23 | 1,2 | 1 |
| CRI 008 | 8 | 18 | 29 | 1,5 | 2 |
| CRI 010 | 10 | 24 | 37 | 1,5 | 3 |
| CRI 012 | 12 | 29 | 50 | 1,5 | 4 |
| CRI 014 | 14 | 33 | 54 | 2 | 8 |
| CRI 016 | 16 | 37 | 64 | 2 | 12 |
| CRI 018 | 18 | 40 | 70 | 2,5 | 15 |
| CRI 020 | 20 | 45 | 75 | 2,5 | 18 |

C : épaisseur cosse-cœur. / C : Thickness

Piton à œil en inox AISI 304, vis bois

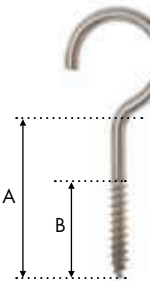
Stainless steel A2, screw eye w/ wood thread



| REF. | Ø (mm) | B | A-Long. (mm) | Conditionnement (pc) | Poids / 100p(kg) |
|-----------|--------|----|-----------------|----------------------|--------------------|
| REF. | Ø (mm) | B | A - Lenght (mm) | Packaging | Weight / 100p (kg) |
| PVBI 540 | 5 | 24 | 40 | 100 | 1,5 |
| PVBI 660 | 6 | 35 | 60 | 100 | 2,5 |
| PVBI 680 | 6 | 35 | 80 | 100 | 3 |
| PVBI 7100 | 7 | 35 | 100 | 100 | 4,1 |
| PVBI 7120 | 7 | 35 | 120 | 100 | 4,6 |
| PVBI 7140 | 7 | 35 | 140 | 100 | 5,1 |
| PVBI 7160 | 7 | 35 | 140 | 100 | 5,5 |

Crochet en inox AISI 304, vis bois

Stainless steel A2, screw hook w/ wood thread



| REF. | Ø (mm) | B | A-Long. (mm) | Conditionnement (pc) | Poids / 100p(kg) |
|-----------|--------|----|-----------------|----------------------|-------------------|
| REF. | Ø (mm) | B | A - Lenght (mm) | Packaging | Weight / 100p(kg) |
| CVBI 540 | 5 | 24 | 40 | 100 | 1,5 |
| CVBI 660 | 6 | 35 | 60 | 100 | 2,7 |
| CVBI 685 | 6 | 35 | 80 | 100 | 3,2 |
| CVBI 7100 | 7 | 35 | 100 | 100 | 4,4 |

LES ACCESSOIRES DE FIXATION - FITTINGS

Étrier inox avec 2 écrous montés

Stainless steel U bolt with 2 nuts



| REF. | Ø tube (mm) | Ø fil (mm) | Poids / 100p (kg) | REF. | Ø tube (mm) | Ø fil (mm) | Poids / 100p (kg) |
|-----------|-------------|------------|--------------------|-----------|-------------|------------|--------------------|
| REF. | Ø tube (mm) | Ø fil (mm) | Weight / 100p (kg) | REF. | Ø tube (mm) | Ø fil (mm) | Weight / 100p (kg) |
| ETI 06013 | 13 | 6 | 1,3 | ETI 08060 | 60 | 8 | 7 |
| ETI 06017 | 17 | 6 | 1,5 | ETI 10076 | 76 | 10 | 14 |
| ETI 06021 | 21 | 6 | 1,8 | ETI 10090 | 90 | 10 | 15 |
| ETI 08027 | 27 | 8 | 4 | ETI 12102 | 102 | 12 | 26 |
| ETI 08034 | 34 | 8 | 5 | ETI 12108 | 108 | 12 | 27 |
| ETI 08042 | 42 | 8 | 6 | ETI 12114 | 114 | 12 | 28 |
| ETI 08049 | 49 | 8 | 6 | | | | |

Poulie à piton en inox avec réa polyamide

Stainless steel pulley with screw hook



| REF. | Ø réa (mm) | Ø corde (mm) | Charge (kg) | Hauteur hors tout (mm) | Conditionnement | Poids/100 p (kg) |
|---------|------------|--------------|---------------|------------------------|-----------------|-------------------|
| REF. | Ø Réa (mm) | Ø Rope (mm) | Capacity (kg) | Height (mm) | Packaging | Weight/100 p (kg) |
| PPI 016 | 16 | 3 | 15 | 60 | 10 | 1,4 |

Charge maximale utile donnée à titre indicatif : ne pas utiliser pour une application de levage.
Do not use for lifting.

Poulie à crochet en inox et réa polyamide

Stainless steel swivel hook pulley with PA sheave



| REF. | Ø réa (mm) | Ø corde (mm) | Charge (kg) | Hauteur hors tout (mm) | Conditionnement | Poids/100 p (kg) |
|--------|------------|--------------|---------------|------------------------|-----------------|-------------------|
| REF. | Ø Réa (mm) | Ø Rope (mm) | Capacity (kg) | Height (mm) | Packaging | Weight/100 p (kg) |
| PCI 25 | 25 | 2 | 20 | 71 | 100 | 2 |
| PCI 35 | 35 | 8 | 75 | 92 | 50 | 9,2 |

Charge maximale utile donnée à titre indicatif : ne pas utiliser pour une application de levage.
Do not use for lifting.

Poulie à crochet en inox et réa polyamide

Stainless steel swivel hook pulley with PA sheave



| REF. | Ø réa (mm) | Ø corde (mm) | Charge (kg) | Hauteur hors tout (mm) | Conditionnement | Poids/100 p (kg) |
|--------|------------|--------------|---------------|------------------------|-----------------|-------------------|
| REF. | Ø Réa (mm) | Ø Rope (mm) | Capacity (kg) | Height (mm) | Packaging | Weight/100 p (kg) |
| PCI 80 | 80 | 10 | 120 | 163 | 5 | 21,3 |

Réa seule disponible P.76. Charge maximale utile donnée à titre indicatif : ne pas utiliser pour une application de levage.
Do not use for lifting. Sheave only available P.76.

Poulie de renvoi à chape inox ø89 mm

Stainless steel jaw strap pulley



| REF. | Ø réa (mm) | Ø corde (mm) | Charge (kg) | Hauteur hors tout (mm) | Conditionnement | Poids/100 p (kg) |
|----------|------------|--------------|---------------|------------------------|-----------------|-------------------|
| REF. | Ø Réa (mm) | Ø Rope (mm) | Capacity (kg) | Height (mm) | Packaging | Weight/100 p (kg) |
| PCAI 089 | 89 | 6 | 350 | 128 | 50 | 28 |

Charge maximale utile donnée à titre indicatif : ne pas utiliser pour une application de levage.
Do not use for lifting.