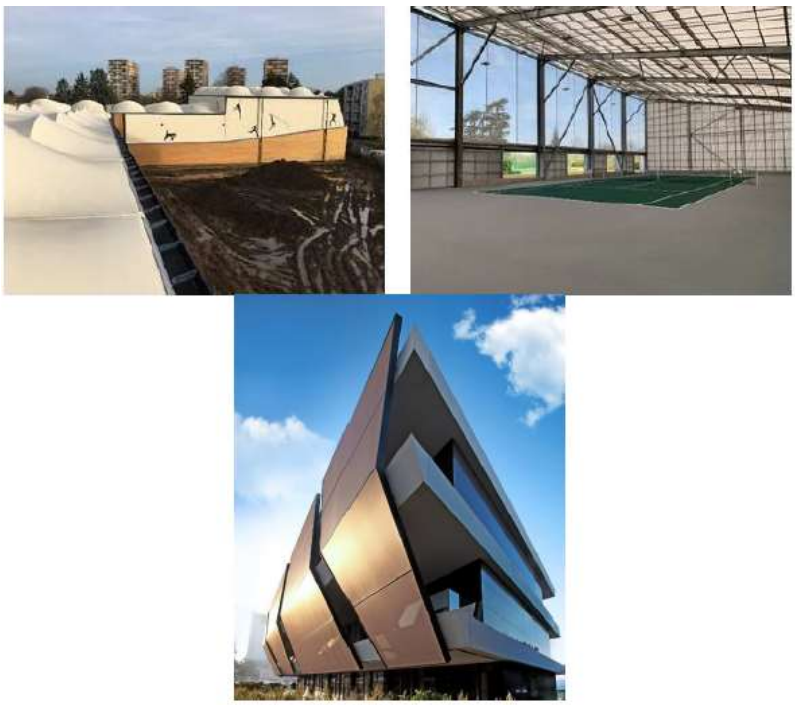
APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION

Numéro de référence CSTB : 2897_V1

ATEx de cas a

Validité du 21/07/2021 au 31/10/2024



Copyright : Société Serge FERRARI

L'Appréciation Technique d'expérimentation (ATEx) est une simple opinion technique à dire d'experts, formulée en l'état des connaissances, sur la base d'un dossier technique produit par le demandeur *(extrait de l'art. 24)*.

A LA DEMANDE DE :

Société ACS PRODUCTION
ZI de Cadréan – Le précadeau
44550 Montoir de Bretagne

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 2897_V1

Note Liminaire : Cette Appréciation porte essentiellement sur le procédé de façade en toiles tendues maintenues par des keders. Ce procédé peut être constitué de toiles pleines ou de toiles perforées.

Selon l'avis du Comité d'Experts en date du 27/04/2021, le demandeur ayant été entendu, et de la levée des réserves effectuée lors du 2ème Comité d'Experts le 21/07/2021, la demande d'ATEx ci-dessous définie :

- demandeur : Société ACS PRODUCTION
- technique objet de l'expérimentation : mise en œuvre en façade d'un procédé constitué de membranes textiles pleines ou perforées maintenues en périphérie par un système de keder.

  Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro ATEx 2897_V1 et résumé dans la fiche sommaire d'identification ci-annexée,

donne lieu à une :

APPRECIATION TECHNIQUE FAVORABLE A L'EXPERIMENTATION

*Remarque importante : Le caractère favorable de cette appréciation ne vaut que pour une durée limitée au **31/10/2024**, et est subordonné à la mise en application de l'ensemble des recommandations formulées au §4.*

Cette Appréciation, QUI N'A PAS VALEUR D'AVIS TECHNIQUE au sens de l'Arrêté du 21 mars 2012, découle des considérations suivantes :

1°) Sécurité

1.1 – Stabilité des ouvrages et/ou sécurité des équipements

Le procédé de façade en toiles tendues n'assure pas la stabilité de l'ouvrage, laquelle incombe à la structure porteuse de celui-ci.

La stabilité du procédé sous charges climatiques est vérifiée au cas par cas suivant la procédure de dimensionnement définie dans le dossier technique.

Aucune charge de neige ou de poche d'eau n'est prise en compte sur les toiles, du fait que celles-ci sont mises en œuvre uniquement en façade avec une inclinaison de - 15° par rapport à la verticale ou en surfaçade avec inclinaison de =/- 15° par rapport à la verticale.

1.2 – Sécurité des intervenants

- Sécurité des ouvriers : la mise en œuvre de ce procédé fait généralement appel à des dispositifs spécifiques pour la mise en œuvre des toiles en hauteur. La sécurité des intervenants est assurée moyennant l'emploi de dispositifs d'échafaudage et de travail en hauteur adaptés au poids et aux dimensions des éléments.
- Sécurité des usagers : le procédé n'assure pas la sécurité vis-à-vis des chutes de personnes.

1.3 – Sécurité en cas d'incendie

Elle est à examiner au cas par cas en fonction de la destination de l'ouvrage.

Les membranes textiles sont classées B,s2-d0 ou B,s1-d0 ou A2,s1-d0 (cf. dossier technique).

1.4 – Sécurité en cas de séisme

Le procédé ne présente pas, par nature, de risque particulier vis-à-vis des actions sismiques.

2°) Faisabilité

2.1 – Production

Les toiles textiles sont fabriquées par les sociétés du Groupe Serge FERRARI. Le plan d'assurance qualité ainsi que les contrôles réalisés en cours de fabrication permettent de compter sur une constance de qualité suffisante.

Des contrôles sont réalisés au cours de la confection des membranes textiles conformément aux « Recommandations pour la conception des ouvrages permanents de couverture textile ».

2.2 – Mise en œuvre

Depuis 2007, plusieurs projets ont été réalisés avec différentes toiles et le système de mise en tension.

3°) Risques de désordres

Ce procédé ne présente pas de risque de désordre particulier dans la mesure où les prescriptions techniques énoncées dans le dossier technique sont respectées.

Les risques de désordres liés à un endommagement des toiles en partie rez-de-chaussée des ouvrages sont limités, du fait de la non mise en œuvre de ce procédé à une hauteur inférieure à 2,50 m.

4°) Recommandations

Il est recommandé de :

- Fournir la descente de charge des procédés d'habillages de façade au bureau d'étude structure ;
- Fournir les notes de calculs de dimensionnement des systèmes pour chaque chantier ;
- Fournir les fiches d'autocontrôles de fabrication (soudure, assemblage, …) et de confection des membranes ;
- Fournir les fiches d'autocontrôles des profilés et accessoires ;
- Fournir les fiches d'autocontrôles de mise en œuvre des toiles et de leur support ;
- Fournir la notice d'entretien et de maintenance des ouvrages ;
- Proposer un contrat d'entretien et de maintenance.

5°) Rappel

Le demandeur devra communiquer au CSTB, au plus tard au début des travaux, une fiche d'identité de chaque chantier réalisé, précisant l'adresse du chantier, le nom des intervenants concernés, les contrôles spécifiques à réaliser et les caractéristiques principales à la réalisation.

En conclusion et sous réserve de la mise en application des recommandations ci-dessus, le Comité d'Experts considère que :

- La sécurité est assurée,
- La faisabilité est réelle,
- Les désordres sont limités.

Fait à Champs sur Marne.
La Présidente du Comité d'Experts,

Aurélie BAREILLE

ANNEXE 1

FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

Demandeur :

Société ACS PRODUCTION
ZI de Cadréan – Le précadeau
44550 Montoir de Bretagne

Définition de la technique objet de l'expérimentation :

Il s'agit d'un procédé de façade constitué de membranes textiles planes et tendues. Leur mise en tension est réalisée par un système de mise en tension par keder sur profilés aluminium. Les toiles mises en œuvre peuvent être perforées ou pleines. Les toiles sont constituées d'un tissu en polyester avec une enduction et un vernis sur les 2 faces. Les membranes PES/PVC utilisées sont :

- Frontside Print 731 (toile perforée) ;
- Frontside View 381 (toile perforée) ;
- Flexlight Perform 502 (toile pleine) ;
- Flexlight Perform 702 (toile pleine).

Les keders sont des joncs en PVC de diamètre 10 mm. Ces joncs sont insérés dans des poches en rive de membrane pour permettre la fixation de celles-ci dans les profilés aluminium.

Le système de mise en tension est composé de trois profilés :

- D'un profilé de mise en tension en aluminium type 6060/6063 qualité T5 ou T6 ;
- De profils de fixation en aluminium extrudé type 6060/6063 qualité T5 ou T6 ;
- De pièce de liaison avec l'ossature porteuse (ossature primaire) en acier S235 à S355 galvanisé à chaud.

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEx 2897_V1 et dans le cahier des charges de conception et de mise en œuvre technique (cf. annexe 2) que le fabricant est tenu de communiquer aux utilisateurs du procédé.

ANNEXE 2

CAHIER DES CHARGES DE CONCEPTION ET DE MISE EN OEUVRE

Ce document comporte 32 pages.

Procédé de Façade KEDER

« Dossier technique établi par le demandeur »

Version tenant compte des remarques formulées par le comité d'Experts

Datée du 21/07/2021

A été enregistré au CSTB sous le n° d'ATEx 2897_V1.

Appréciation Technique d'Expérimentation de cas a n° 2897_V1
Procédé de Façade KEDER

A – DESCRIPTION

1. DEFINITION

Fabrication et mise en œuvre d'une façade s'adaptant à tous types de bâtiments à partir de membrane composite assemblée et tendue sur des profilés en aluminium à gorges. Les profilés sont fixés directement sur l'ossature primaire ou sur une ossature secondaire, rapportée sur l'ossature primaire.

2. DOMAINE D'EMPLOI

La façade tendue est mise en œuvre pour des bâtiments industriels et des bâtiments à usage sportif et de loisirs. Les façades en toile sont permanentes et fixes :

- Les façades de bâtiments à usage sportifs, de loisirs et industriels. Dans ce cas, la fonction du clos, au sens d'étanchéité à l'eau, est assurée uniquement avec des membranes pleines (502, 702, voir Tableau 1). Dans ce cas, l'inclinaison de la façade peut être verticale ou négative.
- Les habillages de bâtiment principalement à usage sportif, de loisir et industriels. L'inclinaison est de +/- 15° par rapport à la verticale.

3. MATERIAUX

3.1. Membranes composites souples

Les membranes composites (toile) sont constituées :

- D'une armature en tissu polyester haute ténacité ou en verre, assurant la résistance mécanique
- D'une enduction en PVC ou en PTFE, sur les 2 faces, assurant la protection contre les effets de l'environnement extérieur (eau, UV, chaleur, micro-organismes…).

Les membranes sont pleines (étanches) ou ajourées (grilles perméables à l'eau et à l'air).

Nature	Référence produit	Composition
Toile pleine PES/PVC	502, 702	Tissu Polyester, enduction et vernis sur les 2 faces
Grille PES/PVC	371, 381	Tissu Polyester, enduction et vernis sur les 2 faces

Tableau 1 : Description membranes

Les membranes composites correspondent à des toiles de type I à II selon les « Recommandations pour la confection et la mise en œuvre des ouvrages permanents de couvertures textiles ». Les performances physiques et mécaniques sont indiquées dans le Tableau 3.

Nota concernant les membranes ajourées 371 et 381 :

Les membranes ajourées 371 et 381 sont fabriquées par tissage d'une grille de polyester qui est ensuite enduite. Lors du tissage, le nombre de fils par mètre et leur répartition sont calibrés. Ces paramètres étant fixes pour toutes les productions, la résistance des toiles, la géométrie et la densité de leurs mailles sont contrôlées. Ci-après les paramètres pour chacune des 2 membranes ajourées :

- 371 : 400 fils/m en chaine, 454 fils/m en trame, facteur d'ouverture final = 20% ;
- 381 : 320 films/m en chaine, 352 fils/m en trame, facteur d'ouverture final = 28%.

3.2.Keder

Le Keder est constitué d'un jonc en PVC et /ou EPDM entouré d'une bande de membrane pleine. Le complexe ainsi obtenu (Keder) est soudé en périphérie des panneaux de membrane afin d'assurer la liaison avec les profilés à gorges.

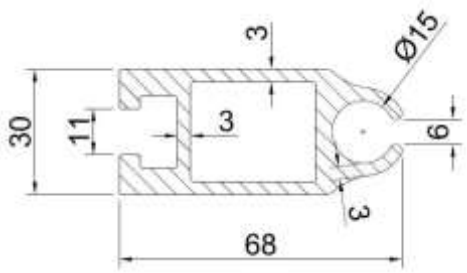
3.3.Profilées aluminium

Les profilés aluminium sont extrudés à partir d'aluminium 6060 T6 dans des usines certifiées ISO 9001 et 45001.
La finition esthétique est fixée contractuellement. Elle peut être brute, anodisée ou thermolaquée selon NF P 24-351 (§5.3.1).
Les traitements de surface sont réalisés dans des usines certifiées QUALICOAT, QUALIMARINE, QUALANOD et ISO 9001.
Pour les profilés anodisés, l'épaisseur minimale requise est de 20µm (AA 20) pour couvrir les atmosphères E11 à E29 selon la NF P 24-351.
Pour les profilés thermolaqués, l'épaisseur minimale requise est de 60µm (POL 60) pour couvrir les atmosphères E11 à E29 selon la NF P 24-351.

3.3.1. Profilé de mise en tension

Le profilé de mise en tension permet d'exercer la pré-tension dans la membrane à l'aide de vis de réglage :

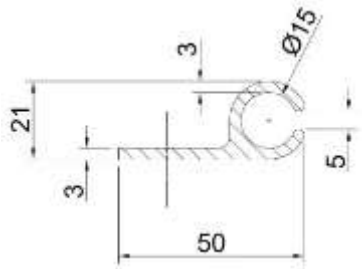
Figure 1: Profilé de tension ACS 40.866



3.3.2. Profilés simple gorges

Les profilés simple gorge assurent le maintien de la membrane sur le support :

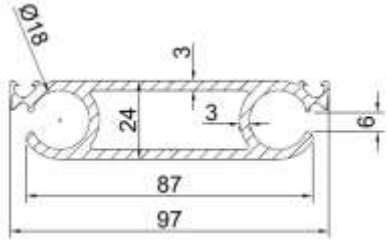
Figure 2 : Profilé de fixation ACS PA50



3.3.3. Profilés double gorges

Les profilés double gorge assurent le maintien et la jonction de deux panneaux de membranes juxtaposés.

Figure 3 : Profilé de fixation ACS 6208



3.4. Visserie

Le type de vis est adapté au support dans lequel est fixé le système (vis à bois pour des charpentes bois, boulons pour des structures métalliques, etc.).
Un calepinage est réalisé pour chaque projet afin de déterminer l'espacement entre les éléments de visseries en fonction des efforts à transmettre.
Les vis sont soit en acier inoxydable A2 ou A4 (en bord de mer) ou galvanisées à chaud.

3.5. Pièces de liaison avec l'ossature

La pièce de liaison du profilé de tension avec l'ossature est réalisée à partir de profilés laminés courants en acier S235 à S355 selon NF EN 1090-2.

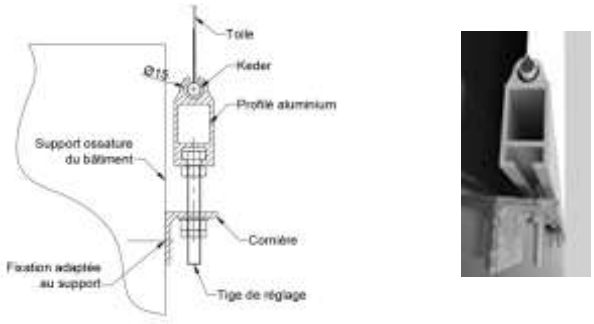
Ils sont galvanisés à chaud selon la NF EN ISO 1461 dans des usines certifiées ISO 9001.

Pour couvrir les atmosphères E11 à E29 selon la NF P 24-351, la masse locale minimale de revêtement est de 395g/m² (55µm) pour les cas courants (3.0 mm < épaisseur < 6.0 mm).

3.5.1. Cas des façades de bâtiments

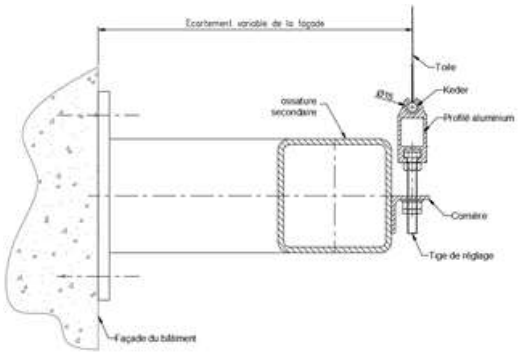
La liaison se fait par l'intermédiaire de cornières directement sur l'ossature primaire.

Figure 4 : Système de tension complet



3.5.2. Cas des Habillages de façade de bâtiment

Figure 5 : Système de tension pour habillage de façade



3.6. Matériaux complémentaires

3.6.1. Profilés de finition et d'habillage

En fonction des exigences du projet, des éléments de finitions peuvent être intégrés :

- Profilé aluminium type 6060 T6, fixés par vissage, rivetage sur le profilé principal ;
- Profilé en acier galvanisé pour le maintien des accessoires de finition. Tôleries de finitions en acier galvanisées ou acier laquées.

Pour les éléments anodisés, l'épaisseur minimale requise est de 20µm (AA 20) afin de couvrir les atmosphères E11 à E29 selon la NF P 24-351.

Pour les éléments thermolaqués, l'épaisseur minimale requise est de 60µm (POL 60) afin de couvrir les atmosphères E11 à E29 selon la NF P 24-351.

Pour les éléments galvanisés à chaud, la masse locale minimale de revêtement est de 395g/m² (55µm) pour les cas courants (3.0 mm < épaisseur < 6.0 mm) afin de couvrir les atmosphères E11 à E29 selon la NF P 24-351.

3.6.2. Bavettes en toile pleine

Dans le cas des façades de bâtiments et afin d'assurer l'étanchéité à l'eau au niveau des jonctions façades/bardage (Figure 13) ou façades/couvert (Figure 18), des bavettes sont soudées sur les membranes de façade et plaquetés sur les supports rigides.

4. ELEMENTS

Les profilés à gorges permettant de fixer et tendre les panneaux de membrane, sont fixés :

- Soit directement sur l'ossature primaire (notamment dans le cas des façades de bâtiments)
- Soit sur une structure secondaire rapportée sur l'ossature primaire.

Ces éléments d'ossature primaire et secondaire font l'objet de notes de calcul conformément à l'Eurocode 2 pour les supports en béton, à l'Eurocodes 3 pour les structures acier et à l'Eurocode 5 pour les charpentes bois.

4.1. Ossature primaire

En neuf, la structure est dimensionnée par le bureau d'étude chargé de la structure porteuse en relation avec les corps d'état compétents (charpentier, façadier...). Elle doit prendre en compte les descentes de charge de la façade tendue.

En rénovation, un diagnostic de structure permet de vérifier qu'elle est apte à reprendre les descentes de charge de la toile tendue.

4.2.Ossature secondaire

En habillage de façade de bâtiment, la mise en œuvre d'une toile tendue peut nécessiter une ossature secondaire rapportée sur la structure primaire. Dans ce cas l'ossature secondaire et ses points d'ancrage sur l'ossature primaire sont dimensionnés en fonction des descentes de charges des toiles indiquées dans la note de calcul spécifique au projet.

L'ossature métallique sera conforme aux prescriptions du document « Règles générales de conception et de mise en œuvre de l'ossature métallique et de l'isolation thermique des bardages rapportés faisant l'objet d'un Avis Technique » (Cahier du CSTB 3194-V2).

5. FABRICATION

5.1. Panneaux de Membrane

Les étapes de la fabrication sont les suivantes :

- Établissement d'un plan de coupe prenant en compte les dimensions des panneaux (incluant les distances entre profilés, Keder, recouvrement au droit des soudures, compensation de l'allongement des membranes)
- Découpe des lés de membranes sur une table de découpe automatique avec une précision de +/- 1 mm.
- Soudure des lés de membrane pour constituer un panneau de membrane. Les recouvrements des soudures horizontales sont réalisés par tuilage dans le sens d'écoulement de l'eau. La largeur de soudure est généralement de 30 à 40 mm pour les membranes de type I et II, respectivement. Dans tous les cas, elles sont justifiées et dimensionnées par les calculs établis sur la base de tests initiaux.
- Mise en place des keders. La bande jonc est soudée en périphérie des panneaux de membranes.
- Pliage des toiles selon un plan lié à la procédure d'installation définie en accord avec l'équipe de pose.

5.2. Les techniques de Soudures

L'assemblage est réalisé en atelier par la technique de soudure HF (Haute Fréquence).
Le tableau ci-dessous indique les largeurs de soudure HF à appliquer conformément aux critères du paragraphe 6.3.1.

Référence	502	702	371	381
Structure	Pleine	Pleine	Ajourée	Ajourée
Largeur minimale de soudure HF	30 mm	30 mm	40 mm	40 mm

Tableau 2 : Largeurs des soudures HF

D'autres technologies d'assemblage comme l'air chaud peuvent être utilisées pour des finitions sur chantier (bavettes d'étanchéité) ou pour des réparations durant de la vie de l'ouvrage.

5.3. Fabrication du système de tension

Les profilés à gorges et les cornières sont découpés, percés et ébavurés en atelier.

6. CONTROLES

6.1. Contrôles en production des membranes PES/PVC

Les 3 étapes de fabrication (filature, tissage, enduction) sont réalisées sur les différents sites du Groupe FERRARI en Suisse (filature), France (tissage et enduction PES/PVC), et Allemagne (tissage et enduction Verre/PTFE). Les organisations qualité de ces 3 sites de production du groupe Serge Ferrari bénéficient d'une certification ISO 9001 & ISO 14001.

Pour les membranes :

Des contrôles sont effectués sur chaque lot durant l'étape de production avec une tolérance de +/-5% :

- Poids (ISO 2286-2)
- Adhérence (1) (ISO 2411)
- Résistance déchirure (DIN 53363)
- Résistance en traction (EN ISO 1421)
- Couleur (spectrophotomètre)

(1) Le test d'adhérence nécessite une soudure entre les bandes de membranes. Il permet une évaluation indirecte de la soudabilité de la membrane.

Les résultats sont traités, analysés et archivés sur le serveur interne durant au moins 10 ans. Toute non-conformité fait l'objet d'un signalement et d'une prise en charge conformément aux exigences du système IS0 9001. Les membranes composites non conformes ne sont pas expédiées aux fabricants de façade tendues.

6.2. Contrôle des systèmes de fixation et accessoires

La conformité des matériaux réceptionnés (Profilés, Visserie ...) est contrôlée à l'aide des bons de livraison, des certificats d'analyse matière des fournisseurs et des nomenclatures d'achat.

Pour les matériaux faisant l'objet d'usinage post-réception (découpe, perçage, ébavurage, des profilés alu notamment), un contrôle interne est réalisé afin de valider la conformité des usinages par rapports aux plans d'exécution, les repérages des pièces ainsi que leur quantité.

Une fois la préparation réalisée, une fiche de suivi est remplie et le matériel est colisé pour être expédié sur site.

6.3. Contrôle lors de la fabrication des panneaux de membrane (confection)

Des autocontrôles sont effectués tout au long du processus de confection des panneaux de membranes conformément aux « recommandations pour la conception et la mise en œuvre des ouvrages permanents de couverture textile » avec notamment :

- Contrôle des découpes avec une précision de +/-1 mm en toute direction
- Contrôles visuels (défauts enduction, de tissage, de transparence, de planéité.
- Contrôle de la qualité des soudures lors de la fabrication
- Contrôles dimensionnels des panneaux à +/- 5 mm.

6.3.1. Qualité et contrôle des soudures

Le contrôle de soudure est réalisé selon l'article 5.5 des Recommandations pour la confection et la mise en œuvre des ouvrages permanents de couverture textile (Partie II).
La soudure est réalisée par haute fréquence avec une précision dimensionnelle de +/-2 mm.
La largeur des soudures est spécifiquement adaptée à chaque membrane (voir Tableau 2).
Dans tous les cas, la conformité de la soudure doit être justifiée par des tests de traction initiaux réalisés en laboratoire selon EN ISO 1421. Une soudure est considérée comme conforme dès lors que sa résistance en traction est au moins supérieure à 80% de la résistance rupture de la membrane.
Des tests de soudure à des températures de 70°C peuvent être requis si le projet est situé en climat chaud. Dans ce cas, la résistance de la soudure doit être > 55 % de la résistance de la membrane. Le test est réalisé selon la norme EN ISO 1421 sur des éprouvettes exposées 15 minutes à la température requise préalablement à la sollicitation en traction.

6.3.2. Identification & Traçabilité

Les panneaux sont identifiés à l'aide d'un numéro permettant d'assurer une traçabilité (plans, contrôles, n° lot de la toile, ...)

7. DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement consiste à vérifier que les panneaux de toile et leur zone d'attache peuvent supporter les charges liées au projet.
La Tension de calcul Tc (effort dans la toile sous combinaison ELU) doit être inférieure à la Tension de dimensionnement Td (effort maximum autorisé dans la toile).

Tc < Td

Tc = tension de calcul de la membrane
Td = tension de dimensionnement

- Admise en partie courante
- Admise dans zones attaches

7.1. Calcul des efforts

Pour chaque projet, le bureau d'études interne d'ACS réalise une note de calculs spécifique à l'aide d'un logiciel aux éléments finis. Ce calcul prend en compte la dimension des panneaux, leur orientation, les modules d'élasticité des membranes en chaine et en trame, les charges climatiques et les hypothèses de calculs évoquées ci-après.

La note de calcul permet également de déterminer les descentes de charges des panneaux de toile vers la structure, permettant de dimensionner la toile, les attaches et les ossatures.

Un exemple de calcul de dimensionnement par la « méthode des bandes indépendantes » (également dite « funiculaire- circulaire ») est présenté en annexe 1 du Dossier Technique. Ce calcul simplifié prend en compte la non-linéarité de la toile. Il peut être utilisé notamment à titre de contrôle et vérification de la note de calcul aux éléments finis.

7.1.1. Hypothèse de calcul

Les charges prises en compte pour le calcul sont les suivantes :

- Le poids-propre des membranes ;
- La pré-tension des membranes ;
- Les charges de vent selon les Eurocodes 0 et 1.

Les effets de la neige sur la structure sont considérés comme nuls en raison de la verticalité.
Dans le cas des façades de bâtiments, les effets sismiques sont considérés comme négligeables. Dans le cas des habillages de façades, les effets du sismiques doivent être pris en compte au cas par cas pour tenir compte du poids propre des châssis en déport de la façade.

7.1.2. Pré-tension des toiles

Une pré-tension de 100 daN/m est appliquée dans la membrane composite, respectivement en chaîne et en trame selon les systèmes d'assemblage et les dimensions des panneaux.
Le niveau de pré-tension requis est obtenu par un allongement maitrisé de la membrane en lien avec des tests de traction effectués sur les tissus.

7.1.3. Charges de vent

Les charges de vent sont calculées conformément à l'Eurocode 1 partie 1-4 et ses annexes nationales.
Les valeurs de Cp sont fixées par ces Eurocodes dans le cas des façades tendues sur l'ossature du bâtiment.
A défaut d'étude particulière, pour la surfaçade sera prise en compte une valeur de Cp=2,8 et pour la façade une valeur de Cp=1,4.

7.1.4. Flèche

Le non-contact des membranes avec la charpente sera vérifié sous chargement ELU.

7.2. Tension Dimensionnement en partie courante

On distingue la tension de dimensionnement en partie courante (panneau de toile) et dans les zones d'attaches
En partie courante, la tension de dimensionnement est donnée par la formule :
Td = Tm * kq * ke* kf / ϒt

- Trm = Résistance Traction de la membrane en chaîne ou en trame
- ϒt = coefficient de sécurité. Il est de 4 pour les applications verticales en façade.
- kq = facteur de qualité de la membrane intégrant la membrane et la qualité des soudures

  kq = min (Kt, Ks) avec :

  - Kt = facteur de qualité de la toile. Il est pris égal à 1 si la toile est produite dans une usine certifié ISO 9001. Il est pris égale à 0.8 dans les autres cas.
  - Ks = facteur de la qualité des soudures. Il est pris égal à 1 si les soudures font l'objet d'un autocontrôle de fabrication et de tests validés par un laboratoire extérieur, ou si l'atelier est certifié ISO 9001. Il est pris égale à 0.8 dans les autres cas.
- ke = facteur d'échelle de la membrane fonction de la surface du panneau

Le facteur d'échelle Ke est donnée en fonction de la surface S en m² de l'élément de panneau fixé sur les 4 côtés, d'après le tableau ci-dessous.

Surface	0 à 50 m²	50 à 200 m²	200 à 500 m²
Ke	1	0,9	0,85

- kf = facteur de fatigue de la toile. Il est pris égale à 0,9. Pour le 702 qui a fait l'objet de tests de fatigue au CSTB indiquant une perte, il est fixé à 0,95.

Exemple de calcul de dimensionnement de la toile :

Dans le cas d'une membrane de référence 381

- Trm = 6600 daN/m en chaine et en trame
- Une toile fabriquée sous certification ISO 9001 (Kt = 1)
- Des soudures réalisées dans un atelier réalisant des auto-contrôles et des tests externes (Ks=1)

  soit Kq = Min (kt, Ks) = 1
- Un panneau de dimension ≤ 50m² soit Ke = 1
- Facteur de fatigue kf = 0,9
- Facteur de sécurité ϒt = 4

Td = (6600 * 1 * 1*0,9) / 4 = 1485 daN/m

Les valeurs de tension de dimensionnement de membranes 502, 702, 371 et 381 en fonction de la surface des panneaux et des facteurs retenus sont présentées respectivement dans les tableaux (Tableau 5, Tableau 7, Tableau 9,Tableau 11).

7.3. Dimensionnement des zones d'attache

Les résistances admissibles dans les zones d'attache « Membrane – keder - Profilé à gorge » et dans la connexion « Profilé à gorges – vis de tension » sont données aux Tableau 6, Tableau 8, Tableau 10 et Tableau 12.

Ces assemblages et connexions ont été testés en laboratoire (voir rapport d'essai).

Un coefficient de sécurité de 2.5 est appliqué sur les valeurs mesurées (conformément aux ''recommandations pour la conception des ouvrages permanents de couverture textile).

Le dimensionnement des zones d'attache et connexion doit dans tous les cas être justifié sur la base des tests initiaux.

8. MODE OPERATOIRE DE LA MISE EN ŒUVRE

8.1. Réception du support

Avant finalisation de la confection des membranes, la réception du support est réalisée.

Cela permet de détecter les éventuelles non-conformités nécessitant une reprise du support (pièce protubérante pouvant blesser la membrane, etc.), ainsi d'adapter la membrane en cas de dimensions réelles hors tolérances (>3mm).

8.2. Mise en place de la lisière haute

La lisière haute de la membrane est un point fixe, au sens qu'il ne dispose pas de réglage.

Pour ces zones, les profilés à gorges ACS PA50 (cas courant) et ACS 6208 (jonction entre 2 membranes) sont utilisés.

8.3. Mise en place des cornières basses

Les cornières basses sont implantées selon le calepinage issu de la note de calculs spécifique au projet.

La cote entre le point fixe haut et les cornières est indiquée dans les plans d'exécution, car elle permettra de mettre en œuvre la pré-tension verticale (voir Annexe 2).

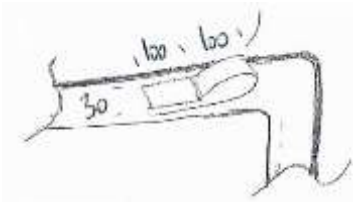
8.4. Installation de la membrane

La membrane est insérée dans le profilé en partie haute et glissée sur toute sa longueur depuis l'une des extrémités.

Figure 6 : Installation d'une façade

Dans les angles supérieurs de la membrane, des poignées de tirage sont soudées en atelier, sur la face arrière, afin de faciliter la mise en œuvre de la membrane.

Figure 7 : Poignée de tirage



8.5. Mise en place de la lisière latérale fixe

Un des côtés verticaux du panneau de membrane est un point fixe, au sens qu'il ne dispose pas de réglage.
Le profilé (ACS PA50 ou ACS 6208 selon le cas) est glissé le long du keder puis fixé sur le support.
Les caractéristiques des vis et leur espacement sont déterminés dans la note de calculs.

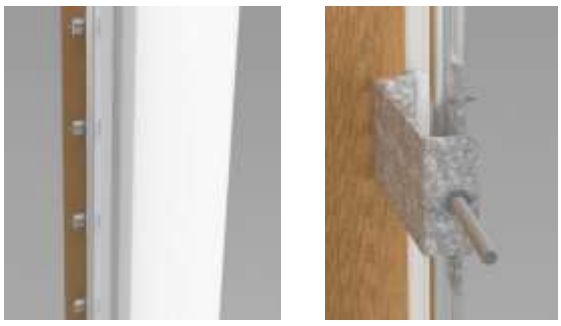
8.6. Mise en place de la lisière latérale de réglage

Le second côté vertical de la membrane est un point de réglage pour la pré-tension horizontale.
Pour ce faire, une bande de traction est soudée en atelier en partie arrière de la membrane (Figure 8).
Cette bande est munie d'un système Keder afin d'assurer la pré-tension à l'aide d'outils de tension.

Figure 8 : Bande de traction soudée en face arrière

Les outils de tension sont installés sur le support tous les 60 cm (Figure 9).

Figure 9 : Outils de tension installés

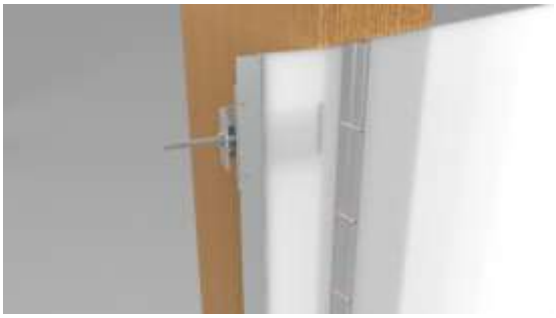


La membrane est ensuite allongée jusqu'à sa position finale à l'aide d'écrous de réglage (Figure 10) afin de garantir la pré-tension déterminée par la note de calculs.
Une fois la position atteinte, le profilé fixe est glissé le long du keder et fixé sur le support.

Figure 10 : Mise en place du profilé PA50 après tension horizontale

Le profilé aluminium est ensuite fixé sur l'ossature support (Figure 11).

Figure 11 : Fixation du profilé fixe (PA50)



La bande de traction est ensuite soigneusement arasée au niveau du talon du profilé fixe.

La cinématique de ces différentes étapes de mise en tension est présentée en Annexe 4.

8.7. Mise en place de la lisière basse de réglage

Le profilé ACS 40.866 est glissé le long du Keder bas de la membrane.

Une vis est disposée au niveau de chaque cornière basse, et équipée d'une rondelle et d'un écrou de réglage.

Une fois le système installé, la cote entre l'aile supérieure de la cornière et le dessus du profilé ACS 40.866 est notée.

Les écrous de réglage sont serrés afin d'allonger la membrane jusqu'à sa position théorique, garantissant la pré-tension verticale déterminée par la note de calculs.

Une fois le réglage effectué, un relevé est réalisé afin de confirmer la bonne pré-tension. Un écrou de blocage est installé sur chaque vis (Figure 12 et Figure 13).

9. TRAITEMENT DES POINTS SINGULIERS

9.1. Partie haute et basse

En partie basse, le système d'ancrage peut être laissé apparent avec éventuellement une petite bavette pour protéger le keder (Figure 12). Il peut également être masqué avec une tôle d'habillage fixée sur les éléments d'ossature.

Dans le cas des façades, la jonction étanche avec un bardage en partie basse est réalisée à l'aide de bavette de toile soudée en partie basse du panneau de toile et plaquetée à l'aide d'un profilé plat en partie haute du bardage (Figure 13). La jonction étanche avec la toiture est réalisée avec des bavettes et profils comme indiqué dans la Figure 18.

9.2. Angles rentrants et angles sortants

Les angles rentrants et les angles sortants sont traités à l'aide de tôles comme indiqué dans les Figure 14 et Figure 15. Les rives ou toutes autres extrémités sont également traitées avec des tôles d'habillages.

9.3. Pose de profilés de finition et d'habillage

Des profils et tôles de finition peuvent être installés par vissage ou rivetage pour masquer les zones d'attache, dans les angles, ou en périphérie (Figure 14, Figure 15, Figure 16).

Des bavettes peuvent également être mises en place en partie haute (Figure 18) et en partie basse (Figure 13) notamment pour les façades en toile pleine assurant le clos.

10.MAINTENANCE

Un contrat de maintenance est proposé au maitre d'ouvrage afin de vérifier périodiquement l'état de la façade et notamment l'absence de dommages physiques (coupure, déchirure, assemblage, étanchéité, zones d'attaches, tension, …) et l'aspect esthétique de la façade (salissure, …).

Dans le cas où des dommages sont observés nécessitant une intervention, deux logiques sont suivies selon l'importance du dommage :

- Réparer : notamment pour les dommages de toile de petite dimension, par assemblage d'une bande rapportée soudée à l'air chaud ou à l'aide de ruban adhésif spécifique renforcé
- Remplacer : notamment lorsque le dommage est plus important ou compliqué à réparer.

11.REFERENCES CHANTIER

A ce jour, la quantité totale de façades permanentes en toile tendue avec le système Keder dépassent les 500 000 m² à travers le monde. Des projets de façades de bâtiments ou d'habillage de façades de bâtiments réalisés avec le système Façade KEDER sont présentés en annexe.

B – RESULTATS EXPERIMENTAUX

Caractérisation mécanique :

- Essais de caractérisation des toiles
- Essais de caractérisation des soudures
- Essais de caractérisation des zones d'accroches

Vieillissement – cycle sur membrane plate :

- Compte rendu d'étude Serge FERRARI sur Vieillissement par fatigue après 23 500 cycles de vent au CSTB sur la toile 702 (perte résistance inférieure à 5%)
- Essai de traction sur échantillons neuf et vieillis – Ifth n° 18-02768
- Rapports de Tenue des couleurs des toiles pleines et perforées en Milieu naturels et en vieillissement artificiel

Résistance au vent :

- Essai de résistance au vent sous l'effet d'une pression dynamique – CSTB n°06-26003650 – toile 371-système TEXO – pression 2250 Pa

Sécurité incendie :

- Rapport de classement au feu – Efectis n° EFR-19-003576 - toile 371 : classement B,s2-d0 ;
- PV de classement de réaction au feu – ifth n°16-04538 L – toile 371 : classement : M1 ;
- Rapport de classement au feu – Efectis n° EFR-19-SBI-003578 - toile 381 : classement B,s2-d0 ;
- PV de classement de réaction au feu – FCBA n°CM-19-P-111 – toile 381 : classement : M1
- Rapport de classement au feu – CSTB n° RA15-0217 - toile 502 : classement B,s2-d0 ;
- Rapport de classement au feu – CSTB n° RA16-0007 - toile 702 : classement B,s2-d0 ;

	502	702	371	381
Structure	Toile pleine	Toile pleine	Grille	Grille
Ouverture	-	-	20%	28%
Composition	Armature polyester	Armature polyester	Armature polyester	Armature polyester
	Enduction PVC	Enduction PVC	Enduction PVC	Enduction PVC
Masse g/m²	590	750	440	550
Résistance traction EN ISO 1421 (daN/m)	5600/5600	5600/5600	6000/6000	6600/6600
Résistance déchirure DIN53363 (daN/5cm)	28/28	30/28	60/60	80/90
Réaction au feu NFP 92507 EN 13501-1	M2	M2	M1	M1
	B-s2,d0	B-s2,d0	B-s2,d0	B-s2,d0
Tenue couleur à 2000h UV/eau/T° NF T30-036	> 3	> 3	> 3	> 3
Modules d'élasticité EN 17117-1 (MSAJ method) kN/m	516 / 524	528 / 532528	492 / 49469	548 / 594548

Tableau 3 : Caractéristiques physiques et mécaniques des membranes

Résistance Traction après Vieillissement en Fatigue

Un panneau de membrane 702 (Polyester/PVC représentative de l'application) a été éprouvé en fatigue.

Ce panneau a été conçu avec une soudure en sens trame et des bandes Keder en périphérie.

Un total de 23400 cycles à 5000 Pa en dépression avec une Pré-tension de 0,5 / 0,5 kN/ml. Les résultats détaillés sont communiqués dans les rapports joints au dossier.

Résistance en traction résiduelle	Norme	Chaine	Trame
Membrane 702	EN ISO 1421	96%	97%
Membrane 702 / Keder / Profil Alu à gorge	EN ISO 1421	98%	93%
Membrane 702 – Zone de soudure 25 mm	EN ISO 1421	-	98%

Tableau 4 : Résistance résiduelle après 23400 cycles à 5000 Pa

Ce vieillissement en fatigue montre une forte résilience des fils polyester haute ténacité qui gardent un niveau de résistance proche de leur résistance initiale malgré une sollicitation mécanique extrême en mode dynamique.

Ces résultats obtenus sur le 702 peuvent être étendus à toutes les autres membranes Polyester/PVC utilisant les mêmes fils polyester haute ténacité à savoir le 381, 371, 502.

Le 502 est une membrane pleine fabriquée à partir du même support polyester donc de même résistance traction que le 702.

Les supports des toiles 381 et 371 sont constitués de fils de même nature et de résistance supérieure au 702. Sachant, par ailleurs, que ces membranes étant ajourées, elles supportent des efforts réduits par rapport aux toiles pleines.

Les tests ci-dessus permettent de fixer un coefficient de fatigue jusqu'à 0,95. Cependant, il est fixé à 0,90 pour l'ensemble des toiles 502, 702, 371, 381.

Tension Admissible Membrane et Zone d'attache – Référence 502

Membrane 502		Pollution moyenne (coef. sécurité Yt = 4)		Pollution forte (coef. sécurité Yt = 4,5)	
Référence de la membrane		Chaine	Trame	Chaine	Trame
Résistance en traction de la toile (daN/m)		5600	5600	5600	5600
Tension admissible dans la toile (daN/m)	Ke = 1 (Surface < 50 m2)	**1260**	**1260**	**1120**	**1120**
	ke = 0,9 (surface 50 à 200 m2)	**1134**	**1134**	**1008**	**1008**
	ke = 0,85 (surface 200 à 500 m2)	**1071**	**1071**	**952**	**952**

Tableau 5 : Tension admissible dans la Membrane en partie courante (Voir § 8.2) - En considérant kq = 1 ; kf = 0.9

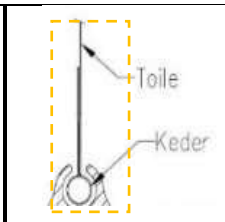
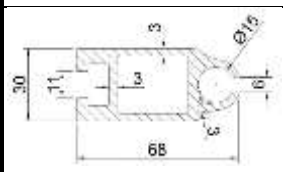
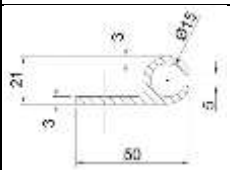
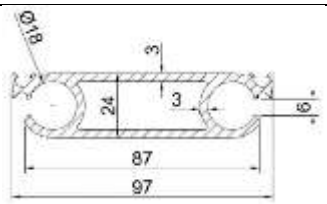
Type de profil		Profil de tension		Profil simple gorge		Profil Double gorge	
Référence		ACS 40866		ACS PA50		ACS 6208	
Schéma de principe de la zone testée : Connexion « Toile – Keder – Profilé alu »							
Zone d'attache 502/Keder/Profil		Chaine	Trame	Chaine	Trame	Chaine	Trame
Résistance de la zone d'attache (daN/m) Keder avec Jonc diam. 10 mm soudé 40 mm sur la toile **502** et inséré dans le profilé à gorge		4856	5275	4528	4518	5124	5085
Tension admissible dans la zone d'attache (daN/m) – Coefficient de sécurité de 2,5		**1942**	**2110**	**1811**	**1807**	**2050**	**2034**

Tableau 6 : Tension admissible dans la zone d'attache « Membrane / Keder / Profil à Gorge » (Voir§ 8.3)

Les efforts à reprendre ne doivent pas dépasser la tension admissible dans la toile et dans les zones d'attaches.

Dans le cas de la toile 502 :

Tension admissible dans la toile < Tension admissible dans les 3 dispositifs d'attache Toile / Keder / Profilé.
La tension admissible dans la toile est donc, dans tous les cas, limitante par rapport au système d'attache.

Tension Admissible Membrane et Zone d'attache – Référence 702

Membrane 702		Pollution moyenne (coef. sécurité Yt = 4)		Pollution forte (coef. sécurité Yt = 4,5)	
Référence de la membrane		Chaine	Trame	Chaine	Trame
Résistance en traction de la toile (daN/m)		5600	5600	5600	5600
Tension admissible dans la toile (daN/m)	Ke = 1 (Surface < 50 m2)	**1260**	**1260**	**1120**	**1120**
	ke = 0,9 (surface 50 à 200 m2)	**1134**	**1134**	**1008**	**1008**
	ke = 0,85 (surface 200 à 500 m2)	**1071**	**1071**	**952**	**952**

Tableau 7 : Tension admissible dans la Membrane en partie courante (Voir § 8.2) - En considérant kq = 1 ; kf = 0.9

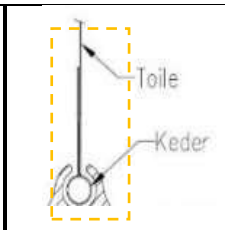
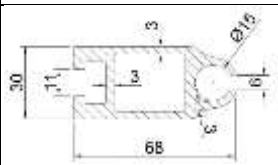
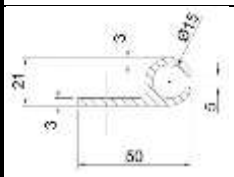
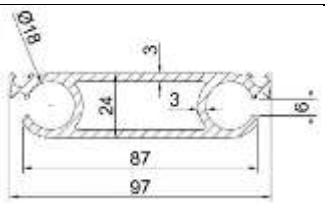
Type de profil		Profil de tension		Profil simple gorge		Profil Double gorge	
Référence		ACS 40866		ACS PA50		ACS 6208	
Schéma de principe de la zone testée : Connexion « Toile – Keder – Profilé alu »							
Zone d'attache 702 / Keder / Profil		Chaine	Trame	Chaine	Trame	Chaine	Trame
Résistance de la zone d'attache (daN/m) Keder avec jonc diam. 10 mm soudé 40 mm sur la toile **702** et inséré dans le profilé à gorge		5280	5095	5074	4751	4880	4742
Tension admissible dans la zone d'attache (daN/m) – Coefficient de sécurité de 2,5		**2112**	**2038**	**2030**	**1901**	**1952**	**1897**

Tableau 8 : Tension admissible dans la zone d'attache « Membrane / Keder / Profil à Gorge » (Voir§ 8.3)

Les efforts à reprendre ne doivent pas dépasser la tension admissible dans la toile et dans les zones d'attaches.

Dans le cas de la toile 702 :
Tension admissible dans la toile < Tension admissible dans les 3 dispositifs d'attache Toile / Keder / Profilé.
La tension admissible dans la toile est donc, dans tous les cas, limitante par rapport au système d'attache

Tension Admissible Membrane et Zone d'attache – Référence 371

Membrane ajourée 371		Pollution moyenne (coef. sécurité Yt = 4)		Pollution forte (coef. sécurité Yt = 4,5)	
Référence de la membrane		Chaine	Trame	Chaine	Trame
Résistance en traction de la toile (daN/m)		6000	6000	6000	6000
Tension admissible dans la toile (daN/m)	Ke = 1 (Surface < 50 m2)	**1350**	**1350**	**1200**	**1200**
	ke = 0,9 (surface 50 à 200 m2)	**1215**	**1215**	**1080**	**1080**
	ke = 0,85 (surface 200 à 500 m2)	**1148**	**1148**	**1020**	**1020**

Tableau 9 : Tension admissible dans la Membrane en partie courante (Voir § 8.2) - En considérant kq = 1 ; kf = 0.9

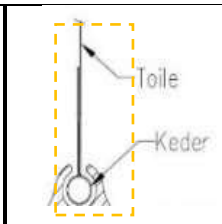
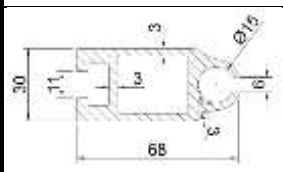
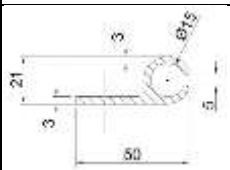
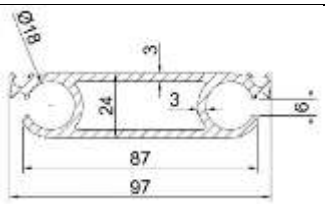
Type de profil		Profil de tension		Profil simple gorge		Profil Double gorge	
Référence		ACS 40866		ACS PA50		ACS 6208	
Schéma de principe de la zone testée : Connexion « Toile – Keder – Profilé alu »							
Zone d'attache 371 / Keder / Profil		Chaine	Trame	Chaine	Trame	Chaine	Trame
Résistance de de la zone d'attache (daN/m) Keder avec Jonc diam. 10 mm soudé 40 mm sur la toile **371** et inséré dans le profilé à gorge		4611	4320	4758	4192	4678	4246
Tension admissible dans la zone d'attache (daN/m) – Coefficient de sécurité de 2,5		**1845**	**1728**	**1903**	**1677**	**1871**	**1698**

Tableau 10 : Tension admissible dans la zone d'attache « Membrane / Keder / Profil à Gorge » (Voir§ 8.3)

Les efforts à reprendre ne doivent pas dépasser la tension admissible dans la toile et dans les zones d'attaches.

Dans le cas de la toile 371 :
Tension admissible dans la toile < Tension admissible dans les 3 dispositifs d'attache Toile / Keder / Profilé.
La tension admissible dans la toile est donc, dans tous les cas, limitante par rapport au système d'attache

Tension Admissible Membrane et Zone d'attache – Référence 381

Membrane ajourée 381		Pollution moyenne (coef. sécurité Yt = 4)		Pollution forte (coef. sécurité Yt = 4,5)	
Référence de la membrane		Chaine	Trame	Chaine	Trame
Résistance en traction de la toile (daN/m)		6600	6600	6600	6600
Tension admissible dans la toile (daN/m)	Ke = 1 (Surface < 50 m2)	**1485**	**1485**	**1320**	**1320**
	ke = 0,9 (surface 50 à 200 m2)	**1337**	**1337**	**1188**	**1188**
	ke = 0,85 (surface 200 à 500 m2)	**1262**	**1262**	**1122**	**1122**

Tableau 11 : Tension admissible dans la Membrane en partie courante (Voir § 8.2) - En considérant kq = 1 ; kf = 0.9

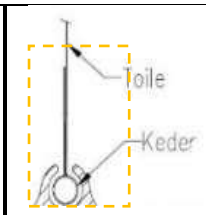
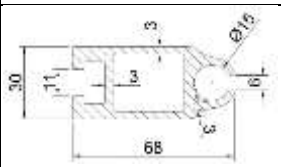
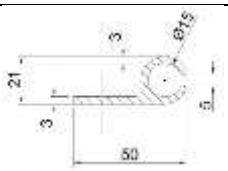
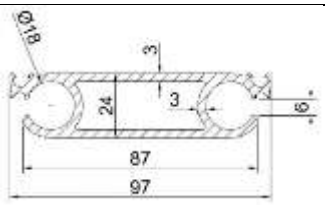
Type de profil		Profil de tension		Profil simple gorge		Profil Double gorge	
Référence		ACS 40866		ACS PA50		ACS 6208	
Schéma de principe de la zone testée : Connexion « Toile – Keder – Profilé alu »							
Zone d'attache 381/Keder/Profil		Chaine	Trame	Chaine	Trame	Chaine	Trame
Résistance de la zone d'attache (daN/m) Keder avec Jonc diam. 10 mm soudé 40 mm sur la toile 381 et inséré dans le profilé à gorge		4770	5461	4748	4966	4822	4979
Tension admissible dans la zone d'attache (daN/m) – Coefficient de sécurité de 2,5		**1908**	**2184**	**1899**	**1986**	**1929**	**1992**

Tableau 12 : Tension admissible dans la zone d'attache « Membrane / Keder / Profil à Gorge » (Voir§ 8.3)

Les efforts à reprendre ne doivent pas dépasser la tension admissible dans la toile et dans les zones d'attaches.

Dans le cas de la toile 381 :
Tension admissible dans la toile < Tension admissible dans les 3 dispositifs d'attache Toile / Keder / Profilé.
La tension admissible dans la toile est donc, dans tous les cas, limitante par rapport au système d'attache.

Tension Admissible dans la connexion Vis de réglage / Profilé de tension

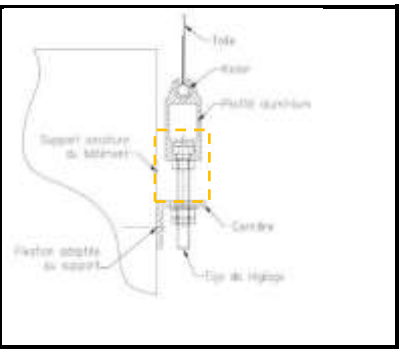
Type de profilé	Profil de tension	
Référence du profilé	ACS 40866	
Résistance de l'assemblage (daN/vis)	**1300**	
Tension admissible dans la connexion Profilé/Vis de tension (daN/vis) (avec coefficient de sécurité de 2,5)	**520**	

Tableau 13 : Tension admissible dans la zone de connexion «Vis de tension/ Profilé à Gorges ».

Le nombre de vis de tension par mètre linéaire et donc l'espacement des vis devra être adapté en fonction des efforts à reprendre donnés par les tensions de calcul (voir annexe 3).

C – DETAILS TECHNIQUES

Figure 12 : Traitement du Bas de Façade

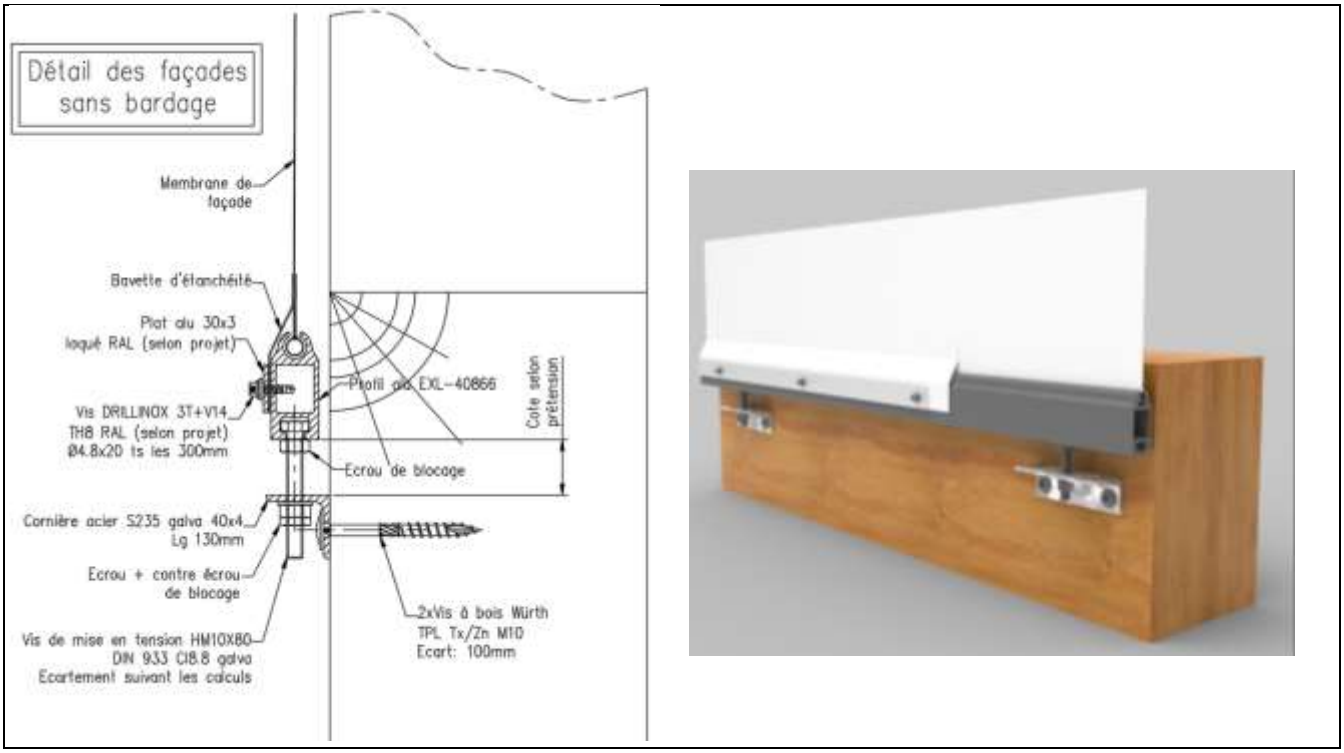


Figure 13 : Raccordement avec un bardage en partie basse

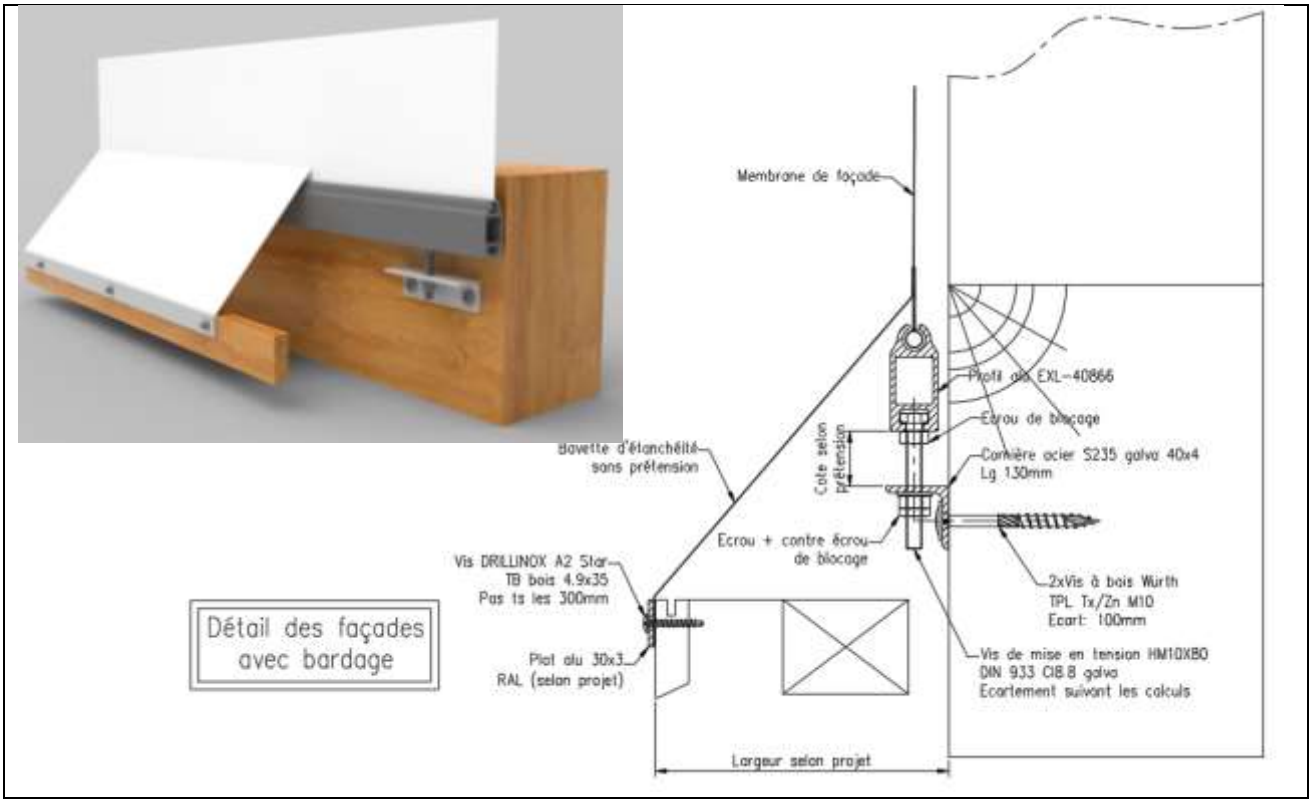


Figure 14 : Angle sortant

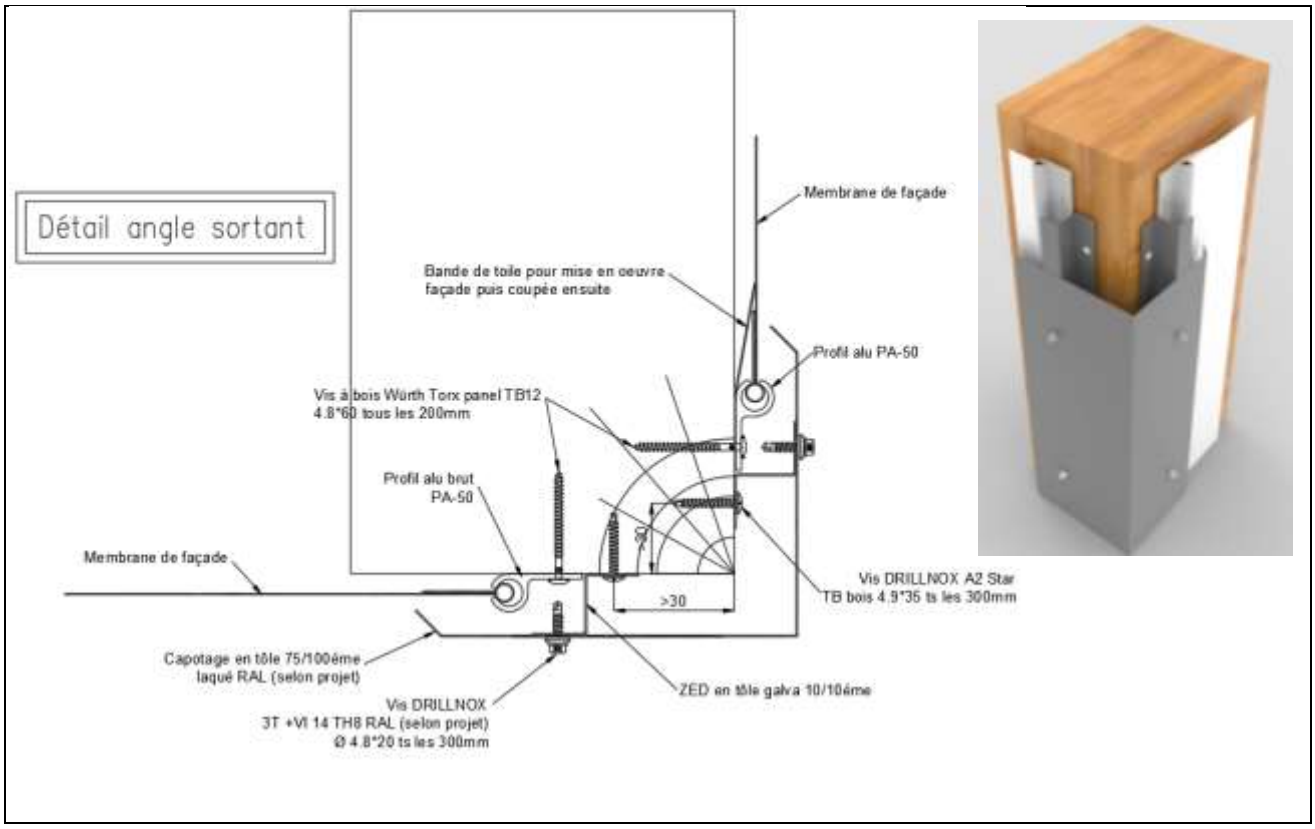


Figure 15 : Angle Rentrant (avec JD et JF)

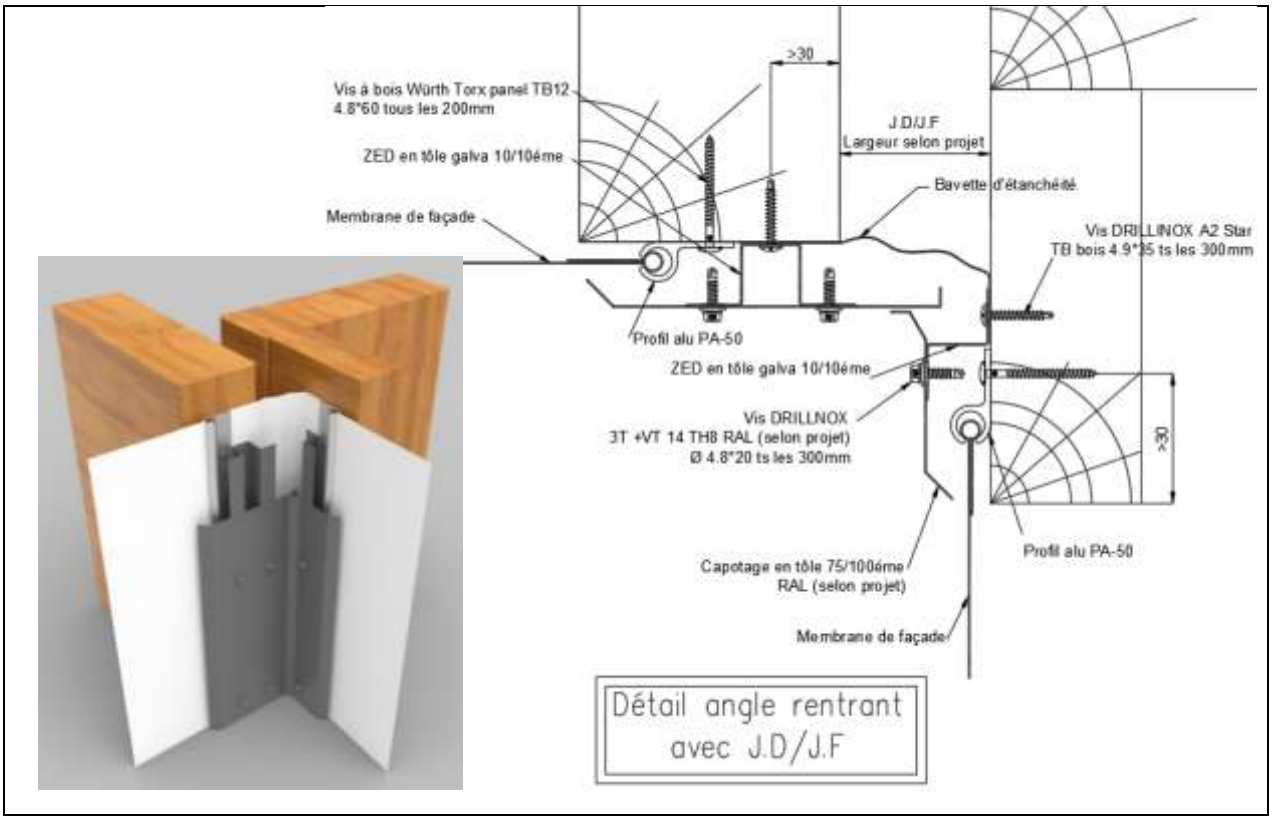


Figure 16 : Angle Rentrant (sans JD et JF)

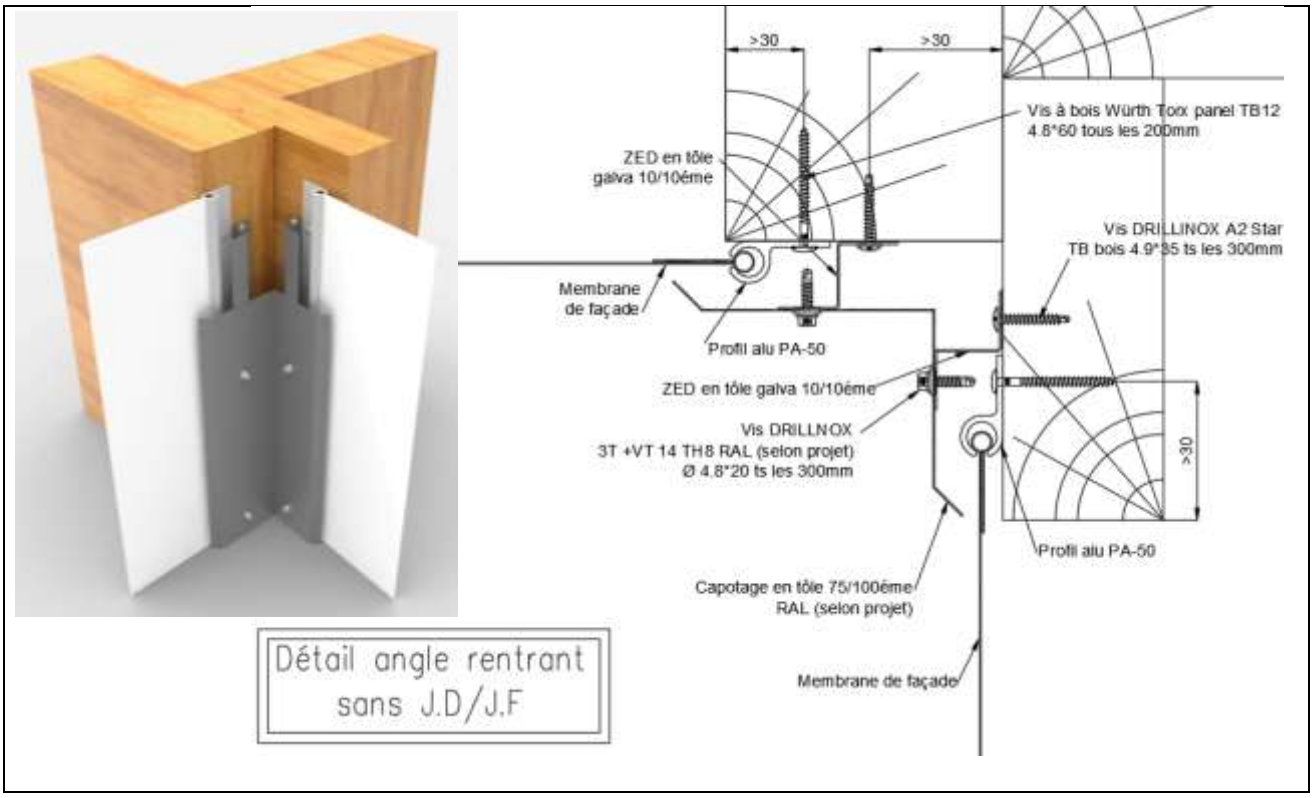


Figure 17 : Fixation haute sous chéneau Long-pan / Pignon

Cas structures membranaires assurant le clos

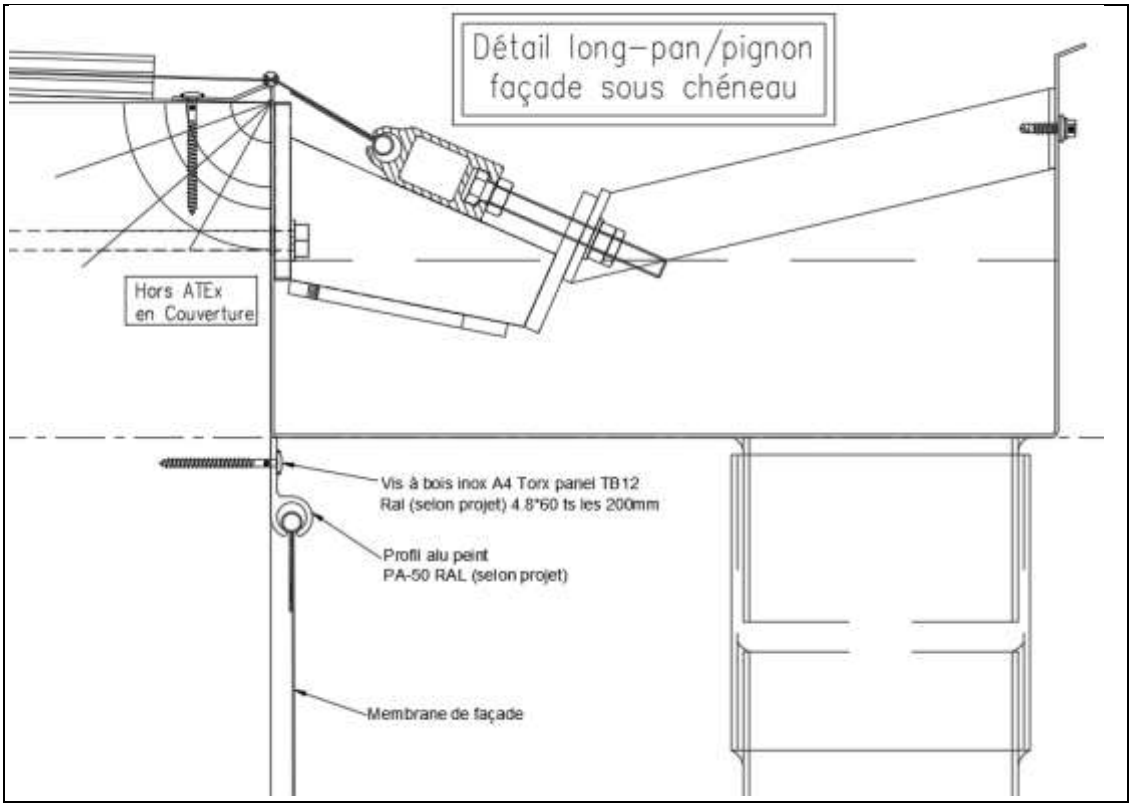
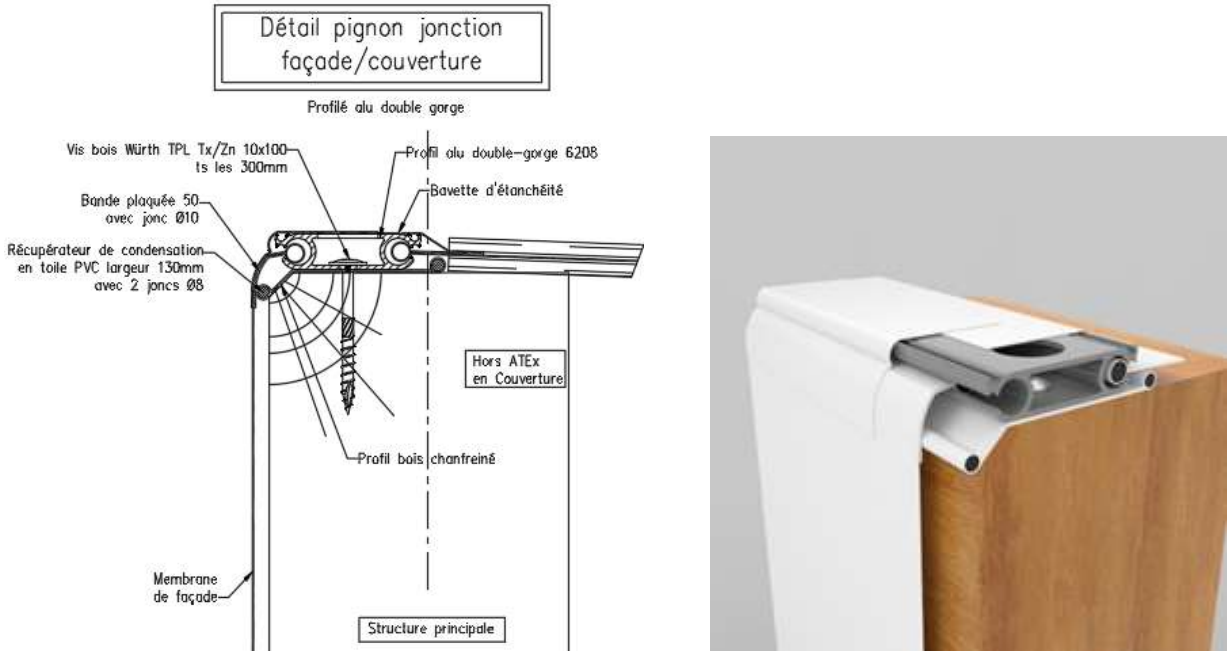


Figure 18 : Traitement jonction façade - toiture au niveau des pignons

Cas structures membranaires assurant le clos



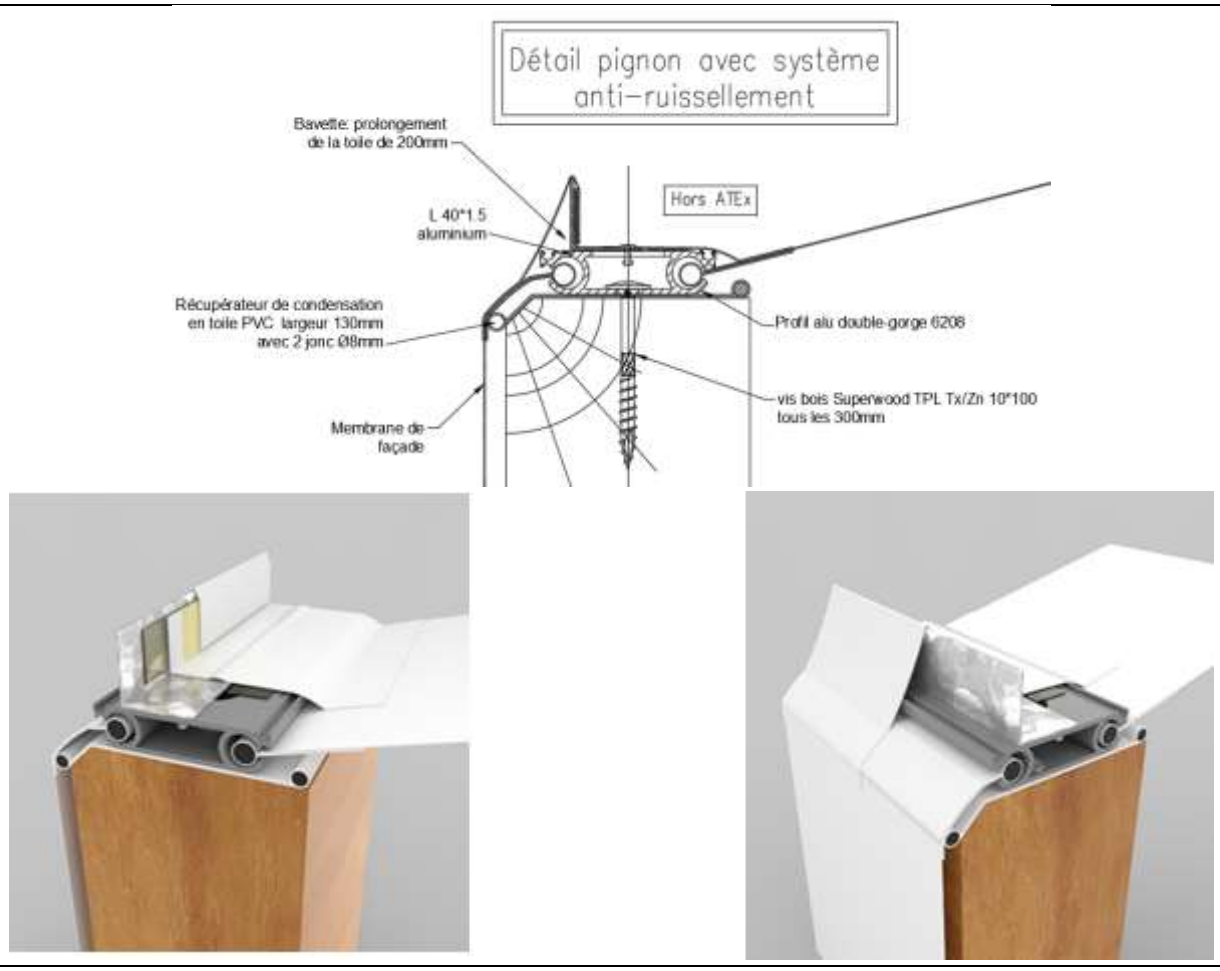


Figure 19 : Bavette anti-battement sur poteau Acier ou Bois

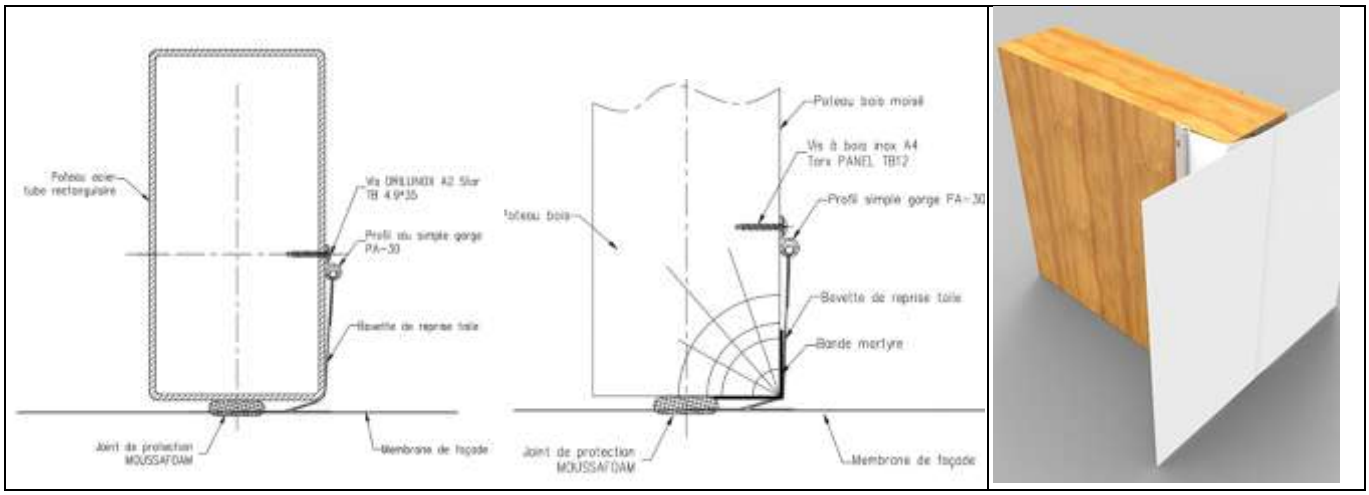


Figure 20 : Détails de traitement des Ouvertures

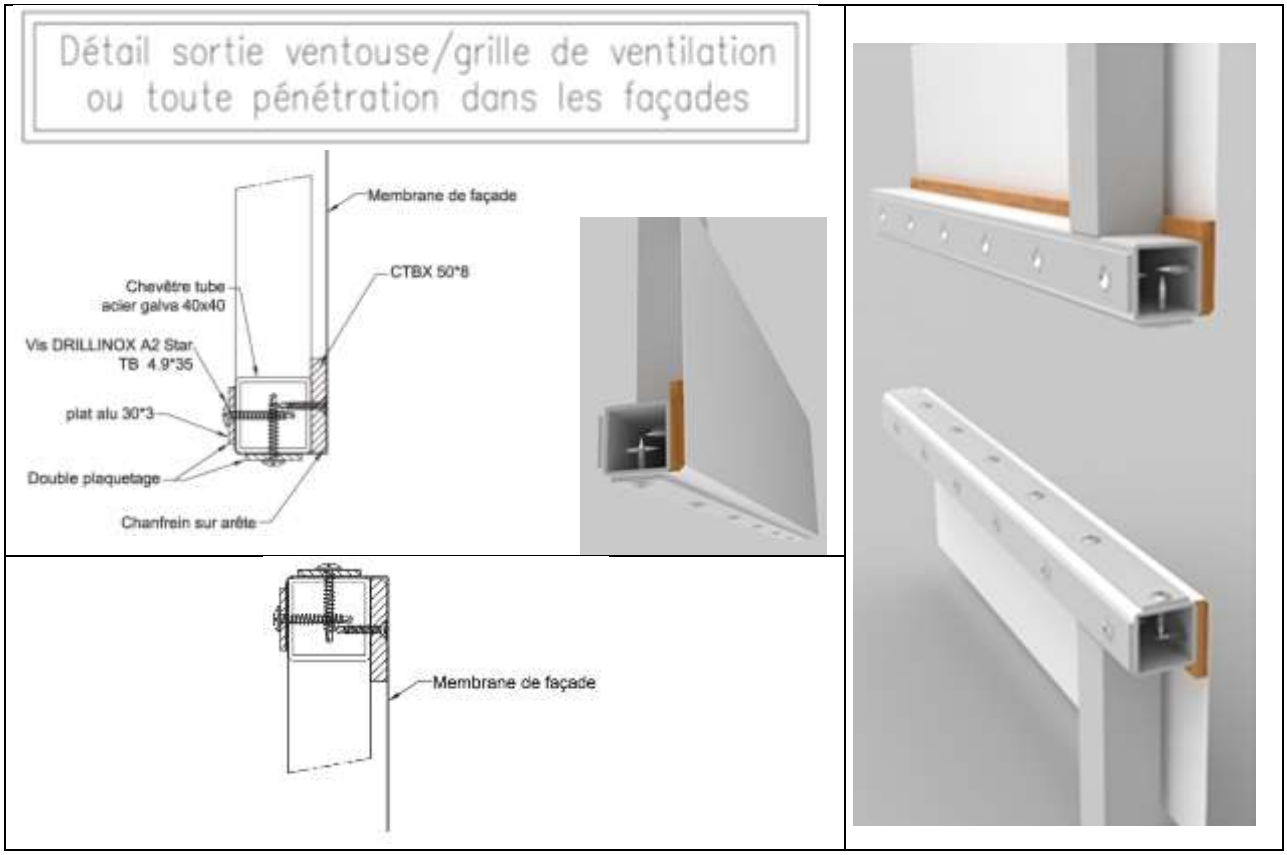
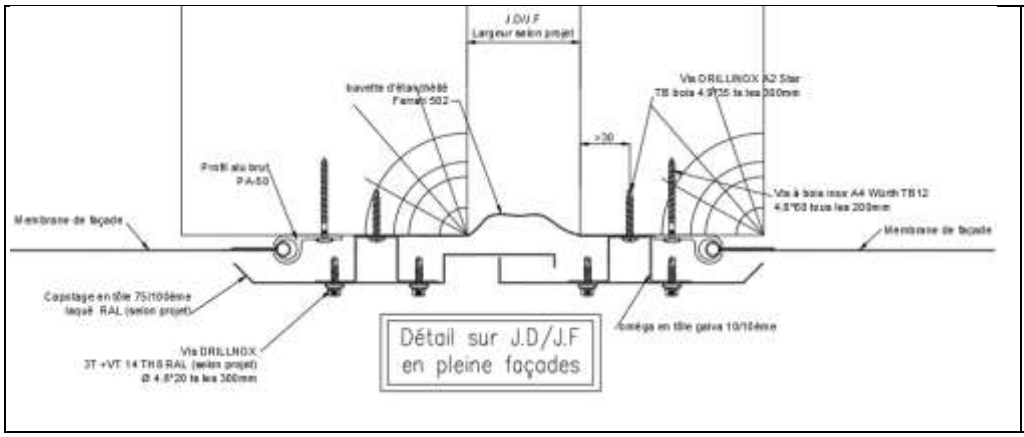
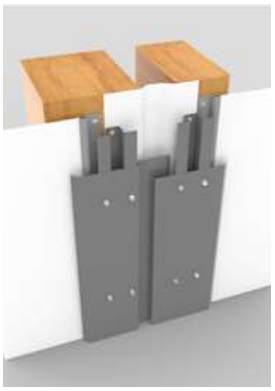


Figure 21 : Détails de traitement des JD et JF





D – REFERENCES PROJETS

Projet	Localisation du projet	Architecte / Prescripteur	Fabricant / installateur	Système de mise en œuvre	Type membrane Serge FERRARI	Surface totale posée (m²)	Neuf, Relookage, Réhabilitation	Date de réalisation	Photo
Boulodrome	Aixe sur Vienne	Veronique Scelles	ACS PRODUCTION	Système Keder	**702 S2**	**450**	**Neuf**	2020	
Futsal	Strasbourg	SWA	ACS PRODUCTION	Système keder	**381**	**800**	**Neuf**	2020	
Terrain de tennis	Pornichet	Gallet Architecte-Urbaniste	ACS PRODUCTION	Système keder	**702 S2**	**900**	**Neuf**	2020	
Terrain de Tennis	Pierre Buffière	David Authenac	ACS PRODUCTION	Système Keder	**702 S2**	**700**	**Neuf**	2020	
Terrain de Tennis	Cazaux , La Teste de Buch	DELINEAVIT Architecture	ACS PRODUCTION	Système Keder	**702 S2**	**720**	**Neuf**	2020	
Gymnase	Chatou	Ligne 7 Architecture	ACS PRODUCTION	Système keder	**702 S2**	**650**	**Neuf**	2020	
Gymnase	Saint-Cannat	Christophe CAIRE Architecture	ACS PRODUCTION	Système keder	**702 S2**	**850**	**Neuf**	2020	
Double padel	Choisy-au-Bac	Mairie de Choisy-au-Bac	ACS PRODUCTION	Système keder	**702 S2**	**350**	**Neuf**	2020	
Gymnase	Annonay	André LILLAZ	ACS PRODUCTION	Système keder	**702 S2**	**350**	**Neuf**	2020	
Boulodrome	Saint-Yrieix	Epure Architecte-Urbaniste	ACS PRODUCTION	Système keder	**702 S2**	**750**	**Neuf**	2019	
Gymnase	Colmar	Mairie de Colmar	ACS PRODUCTION	Système keder	**902 S2**	**975**	**Neuf**	2019	
Boulodrome	Angers	Xavier GUERAUD	ACS PRODUCTION	Système keder	**702 S2**	**450**	**Neuf**	2019	
Tennis Club BELIN BELIET	Belin-Beliet	Bruno AMBLARD	ACS PRODUCTION	Système Keder	**702 S2**	**500**	**Neuf**	2018	

Annexe 1

Note de calcul par la méthode des bandes indépendantes

Pour vérification de la tension dans un panneau de façade

La méthode dite des « Bandes indépendantes » est une méthode simplifiée qui peut être utilisé uniquement pour vérifier, en première approche, les calculs réalisés aux éléments finis par un bureau d'études spécialisé.

L'objectif est de déterminer la tension en fonction de la pression du vent exercée sur le panneau, en tenant compte de l'allongement du tissu et du comportement non linéaire.

Les conditions suivantes doivent être satisfaites :

(1) $Tc = Pv \times Rt$

(2) $\Delta Lt = Tc \times L / Et$

(3) $L + \Delta Lt = \pi \times Rt \times \text{Arc sin} (L/2xRt) / 90$

(4) $Rt = L^2/8ft + ft/2$

Tc = tension de calcul sous charge de vent

L = Longueur libre de la toile entre deux lignes d'appui

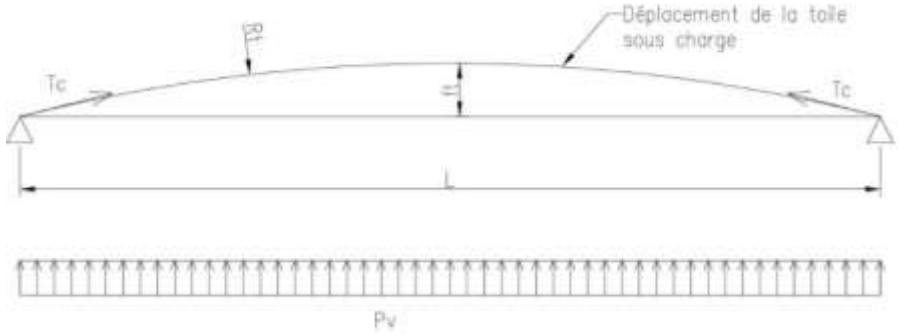
Et = Module d'élasticité du tissu suivant les caractéristiques fournies par Ferrari

Rt = Rayon de courbure de la toile après déformation

ft = Flèche au milieu du panneau de toile

Pv = Pression du vent exercée sur le panneau de toile considéré

Schéma de principe :



La pré-tension n'est pas intégrée dans cette démonstration. Elle interfère peu au regard des valeurs de tensions obtenues. La pré-tension est nécessaire pour garantir la tenue dans le temps du panneau et assurer sa stabilité.

Commentaire sur la prise en compte de la Pré-tension :

La pré-tension est toujours considérée dans la note de calculs aux éléments finis.

Cependant, la pré-tension n'est pas intégrée dans cette méthode simplifiée. Elle est considérée comme négligeable par cette méthode.

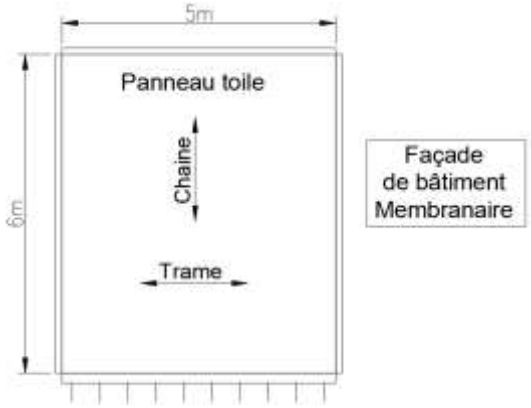
Exemple : Influence de la pré-tension sur une toile 702 avec une longueur libre entre appuis de 5m					
	Pression (Pv) exercée sur la toile				
	80 daN/m²	90 daN/m²	100 daN/m²	110 daN/m²	120 daN/m²
Tc sans pré-tension	715	774	831	886	940
Tc + Pré-tension 100 daN/m	748	807	865	920	973
Influence pré-tension	4,4%	4%	3,9%	3,7%	3,4%

La pré-tension représente moins de 5% de la tension de calcul (Tc) sur un panneau de dimension moyenne (larg. 5m).

La pré-tension est d'autant plus négligeable que la tension de calcul augmente.

Exemple de calcul :

Panneau de 5 m de large x 6 m de haut avec direction trame à l'horizontale



Les données :

- Membrane composite **702** dont le Module d'élasticité est de 52.8 daN/mm (528 KN/m).
- Portée de la toile 5m.
- Pression du vent de 80 daN/m² (combinaison extrême).

Nous procédons par calculs successifs pour obtenir les résultats souhaités.

1er calcul avec un rayon Rt = 15m

(1) Tc = Pv x Rt = 80 x 15 = 1200 daN/m
(2) Δ Lt = Tc x L / Et = 1200 x 5 / 82.5 = 113.6 mm
(3) Δ Lt = (π x Rt x Arc sin (L/2xRt) / 90) – L = (π x 15000 x Arc sin (5000/2x15000) / 90 – 5000 = 23.4mm

Le résultat n'est pas satisfaisant (écart important de Δ Lt). Il faut réduire le rayon pour diminuer la tension Tc

2ème calcul avec un rayon Rt = 7m

(1) Tc = Pv x Rt = 80 x 7 = 560 daN/m
(2) Δ Lt = Tc x L / Et = 560 x 5 / 82.5 = 33.9 mm
(3) Δ Lt = (π x Rt x Arc sin (L/2xRt) / 90) – L = (π x 7000 x Arc sin (5000/2x7000) / 90 – 5000 = 112.9 mm

Le résultat n'est pas satisfaisant (écart important de Δ Lt). Il faut augmenter le rayon pour diminuer la tension Tc

3ème calcul avec un rayon Rt = 8.9m

(1) Tc = Pv x Rt = 80 x 8.9 = 712 daN/m
(2) Δ Lt = Tc x L / Et = 712 x 5 / 82.5 = 67.4 mm
(3) Δ Lt = (π x Rt x Arc sin (L/2xRt) / 90) – L = (π x 8900 x Arc sin (5000/2x8900) / 90 – 5000 = 68.2 mm

Le résultat est proche (écart faible de Δ Lt). La tension dans la toile est proche de 715 daN/m

Nous complétons le calcul par :

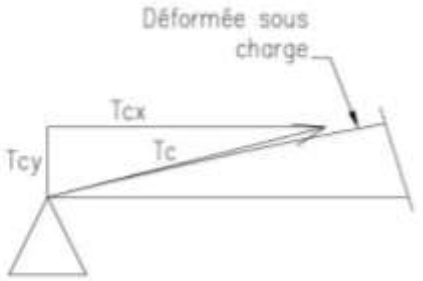
Rt = $L^2/8ft + ft/2$ ou $ft = L^2 / (8Rt - ½) = 5000^2 / (8x8900-1/2) = 351$ mm

Conclusion :

Pour une pression Pv = 80 daN/m², sur une travée de 5m en 702 en sens chaine, la tension de calcul Tc = 715 daN

La flèche au milieu du panneau est de 351 mm.

Il faut tenir compte de la déformation de la toile pour répartie les descentes de charges suivant Tcx et Tcy.



Annexe 2

Calcul des allongements pour appliquer la pré-tension

La pré-tension est établie dans le sens chaine et trame du tissu pour assurer la stabilité de forme.

Dans notre exemple ci-dessous, nous considérons le sens chaine dans la hauteur et la sens trame dans la longueur.

L'allongement dans chaque direction est calculé à partir du module d'élasticité et de la pré-tension considérée.

Dans la direction verticale :

La condition suivante doit être satisfaite :

(1) $\Delta h = (Ptv / Etc) \times h$

Ptv = Pré-tension verticale

Etc = Module d'élasticité de la toile en chaine (daN/mm)

h = hauteur entre les appuis de la toile

Exemple : Dans le cas d'un tissu 702

La pré-tension est de 100 daN/m et le module d'élasticité de 52800 daN/m

- $\Delta h = (Ptv / Etc) \times h = 100 / 52800 \times h = 1.89\ 10^{-3} \times h$
-

L'allongement de la toile est par conséquent de 1.89 mm/ml sur la hauteur de la façade. Par exemple, dans le cas d'une façade de 4m de hauteur, l'allongement sera de 7.5 mm.

La mise en pré-tension est assurée par le dispositif de réglage décrit dans le dossier d'ATEx.

Dans la direction horizontale :

La condition suivante doit être satisfaite :

(1) $\Delta l = (Pth / Ett) \times l$

Pth = Pré-tension horizontale

Ett = Module d'élasticité de la toile en trame suivant les caractéristiques fournies par Ferrari (daN/mm)

l = longueur entre les appuis de la toile (longueur du panneau)

Exemple : Dans le cas d'un tissu 702

La pré-tension est de 100 daN/m et le module d'élasticité de 52800 daN/m

- $\Delta l = (Pth / Ett) \times l = 100 / 52800 \times l = 1.89\ 10^{-3} \times l$

L'allongement de la toile est par conséquent de 1.89 mm/ml sur la longueur de la façade. Dans le cas d'une façade de 35 m de longueur par exemple, l'allongement sera de 66 mm.

La mise en pré-tension est assurée par le dispositif de réglage décrit dans le dossier d'ATEx.

Annexe 3

Calcul de la résistance du profilé de tension suivant la disposition des appuis

L'objectif est de déterminer l'écartement des vis de réglage en fonction de la tension dans la toile sous charges extrême.

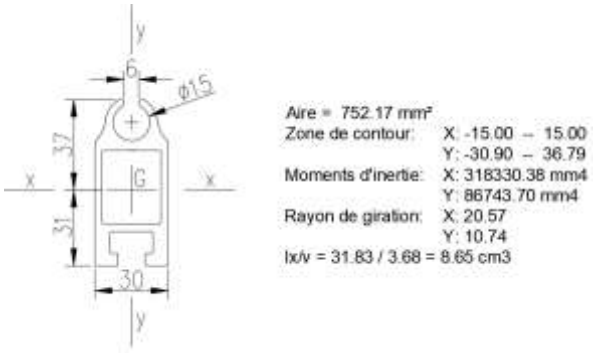
Caractéristique des éléments

Les caractéristiques de la vis sont les suivantes :

- Vis standard HM10 de classe 8.8 de résistance admissible en traction = 2500 daN

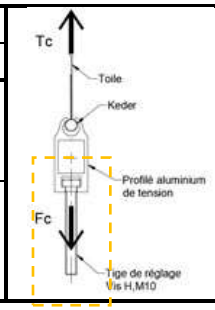
Les caractéristiques mécaniques du profilé de tension sont les suivantes :

- Profilé ACS 40.866 : Aluminium 6060 T6 avec une limite élastique = 24 daN/mm² = σe



Résultats des tests de résistance

La résistance rupture en traction de l'assemblage vis / profilé a été mesuré (ci-dessous).

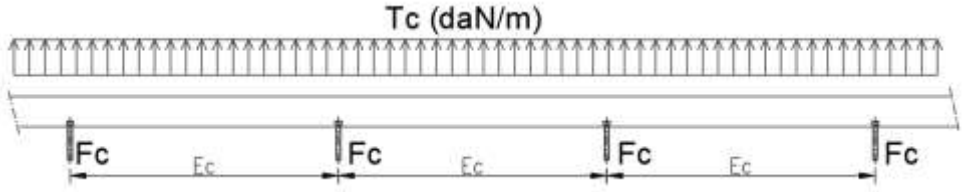
Type de profilé	Profil de tension	
Référence du profilé	ACS 40866	
Résistance rupture en traction de l'assemblage (daN/vis)	1300	
Tension admissible dans la connexion Profilé/Vis de tension (daN/vis) (avec coefficient de sécurité de 2,5)	520	

En appliquant un coefficient de sécurité de 2.5 sur les composants de rive, nous obtenons une capacité Fc = 520 daN.

Calcul de la résistance du profilé de tension

Le profilé ACS 40.866 est considéré comme une poutre sur multi-appuis avec une charge répartie sur la longueur.

Nous prenons le cas d'une poutre à section constante et travées (Ec) égales sur 4 appuis.



Les conditions suivantes doivent être satisfaites (tableau A-1) :

(1) Tc = Fc / (1.1 x Ec)
(2) σf = (0.1 x Tc x Ec2) / Ix/v < σe
(3) δmaxi = (Tc x Ec4) / (148 x E x I) ; δadm = 1/300ème (flèche admissible suivant le cahier du CSTB 3194 – Chap. 1.2.1)

Tc = Tension de calcul sous charge de vent (daN/m)
Fc = Capacité de résistance de la vis dans le profilé = 520 daN/m
Ec = Ecartement des vis de réglage le long du profilé (m)
σe = Contrainte admissible de l'aluminium 6060 T6 (daN/mm²)
Ix/v = 8.65 cm3 pour le profilé ACS 40.866 dans le sens vertical d'utilisation
Tmax = Tension maxi (daN/m)
δmaxi = Flèche maxi du profilé sous tension Tc
E = Module d'Young de l'aluminium = 7000 daN/mm²
I = 31.83 cm4 pour le profilé ACS 40.866 dans le sens vertical d'utilisation

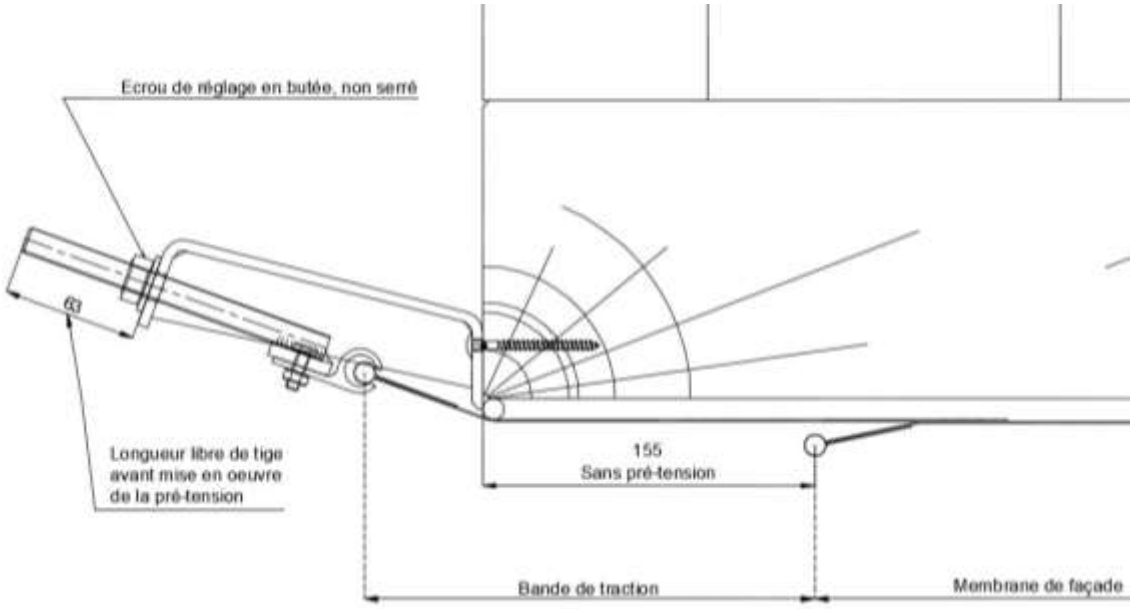
	Pour Fc = 520 daN				
Ec (m)	Tc (daN/m)	σf (daN/mm²)	δmaxi (cm)	δadm (cm) 1/300ème	δmaxi < δadm
0,3	1576	1,64	0,0039	0,10	Ok
0,35	1351	1,91	0,0061	0,12	Ok
0,4	1182	2,19	0,0092	0,13	Ok
0,45	1051	2,46	0,0131	0,15	Ok
0,5	945	2,73	0,0179	0,17	Ok
0,55	860	3,01	0,0239	0,18	Ok
0,6	788	3,28	0,0310	0,20	Ok
0,65	727	3,55	0,0394	0,22	Ok
0,7	675	3,83	0,0492	0,23	Ok
0,8	591	4,37	0,0734	0,27	Ok
0,9	525	4,92	0,1045	0,30	Ok
1	473	5,47	0,1434	0,33	Ok

Tableau A-1

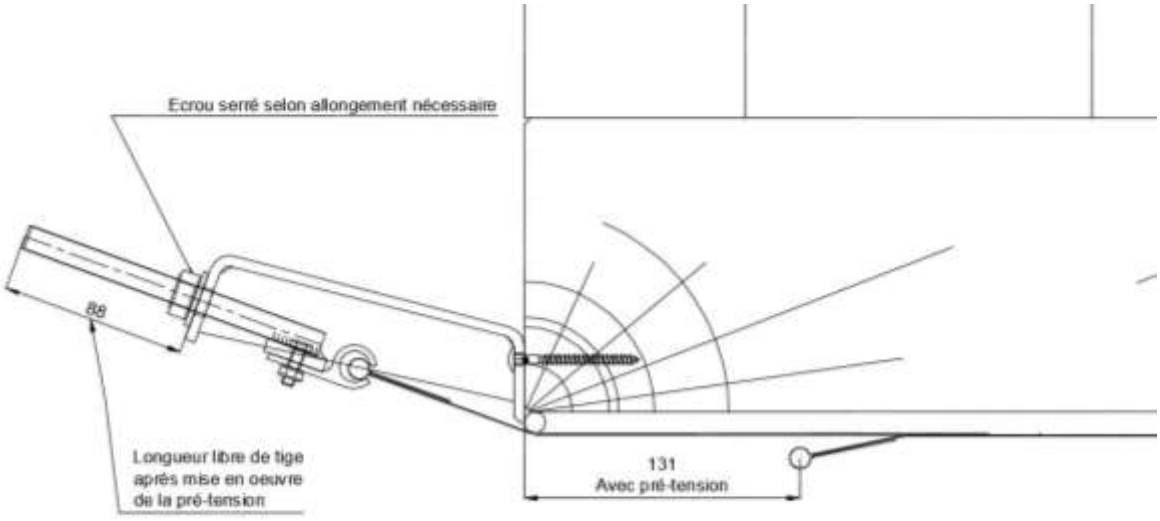
Exemple : Dans le cas d'une tension Tc = 715 daN, l'écartement des vis ne peut excéder 0.65 m. La flèche du profilé de 0.04 cm pour une flèche admissible de 0.22 cm.
La contrainte de flexion (σf) dans le profilé ACS 40.866 est faible par rapport à la limite élastique de l'aluminium (σe =24 daN/mm²)
La flèche maxi est inférieure à la flèche admissible dans tous les cas.

Annexe 4

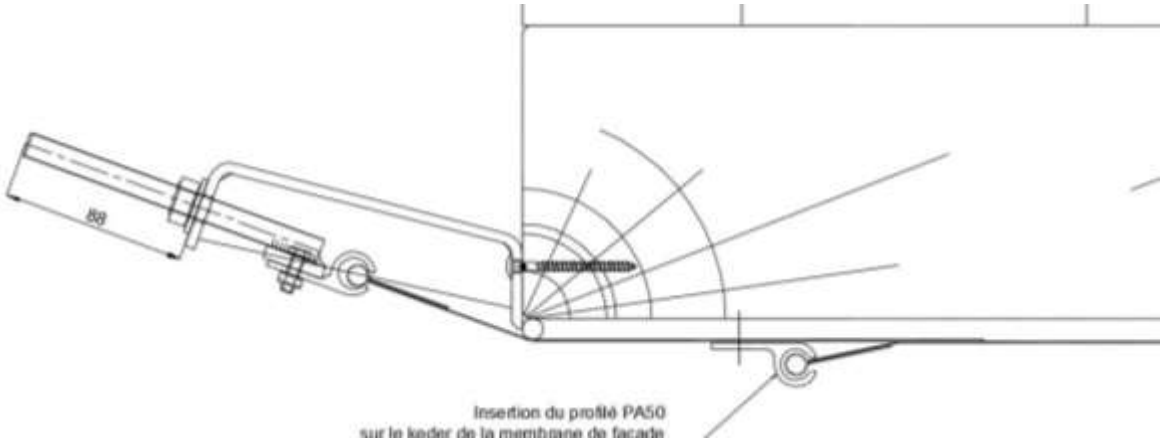
Les étapes de la mise en tension – vue en coupe



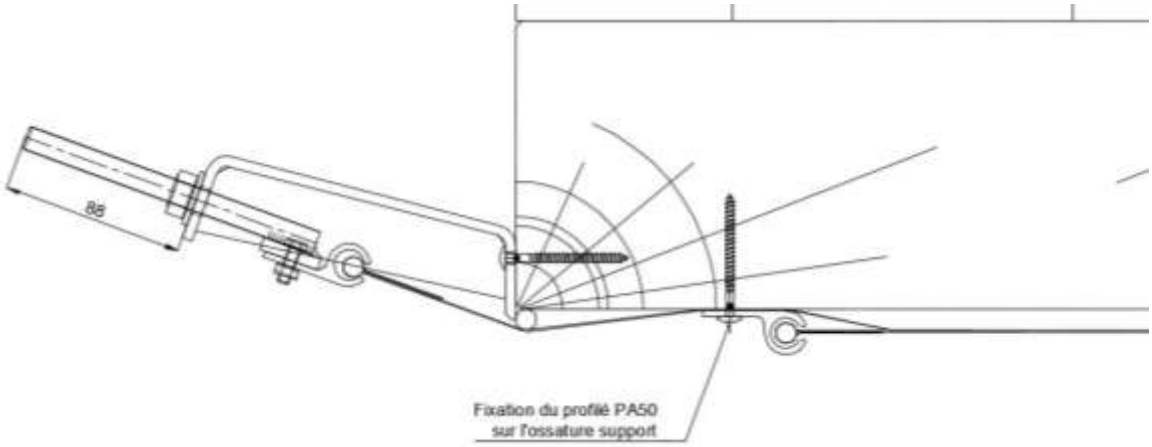
Etape 1 - Outil de tension installé (avant prétension)



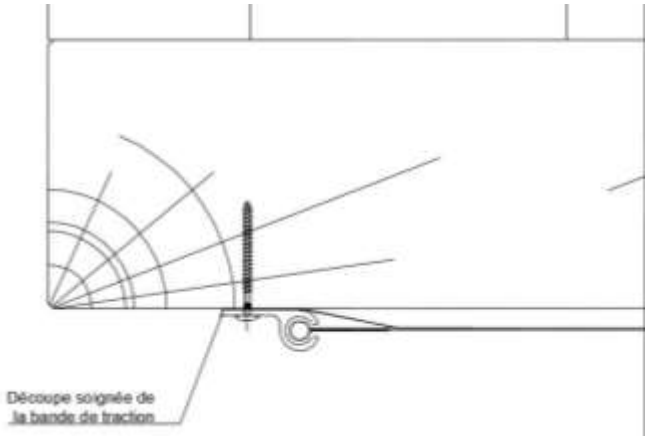
Etape 2 - Mise en pré-tension de la membrane de façade



Etape 3 – Insertion/Mise en place du profilé fixe PA50 après mise en pré-tension



Etape 4 – Fixation du profilé PA50



Etape 5 : Découpe de la Bande de traction et dépose des outils de traction

Fin du rapport