

Sur le procédé

Couverture surpressée SPACIOTEMPO

Famille de produit/Procédé : Ouvrages d'enveloppe en coussins gonflables

Titulaire(s) : Société SPACIOTEMPO S.A.

AVANT-PROPOS

Les avis techniques et les documents techniques d'application, désignés ci-après indifféremment par Avis Techniques, sont destinés à mettre à disposition des acteurs de la construction **des éléments d'appréciation sur l'aptitude à l'emploi des produits ou procédés** dont la constitution ou l'emploi ne relève pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

Le présent document qui en résulte doit être pris comme tel et n'est donc **pas un document de conformité ou à la réglementation ou à un référentiel d'une « marque de qualité »**. Sa validité est décidée indépendamment de celle des pièces justificatives du dossier technique (en particulier les éventuelles attestations réglementaires).

L'Avis Technique est une démarche volontaire du demandeur, qui ne change en rien la répartition des responsabilités des acteurs de la construction. Indépendamment de l'existence ou non de cet Avis Technique, pour chaque ouvrage, les acteurs doivent fournir ou demander, en fonction de leurs rôles, les justificatifs requis.

L'Avis Technique s'adressant à des acteurs réputés connaître les règles de l'art, il n'a pas vocation à contenir d'autres informations que celles relevant du caractère non traditionnel de la technique. Ainsi, pour les aspects du procédé conformes à des règles de l'art reconnues de mise en œuvre ou de dimensionnement, un renvoi à ces règles suffit.

Groupe Spécialisé n° 2.1 - Produits et procédés de façade légère

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V2	<p>Il s'agit de la première révision. Cette révision intègre les modifications suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> Mise-à-jour du §1.3 Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé Mise-à-jour du §2.2.1 Principe 	BOULLON Tamara	VALEM Frédéric
V1	Il s'agit d'une nouvelle demande.	MOKRANI Youcef	VALEM Frédéric

Descripteur :

Couverture composée de coussins gonflables en membrane PVC surpressés, supportée par une charpente métallique aluminium. La structure support, indissociable du procédé, est constituée de profilés métalliques, dont des pannes et des arbalétriers en aluminium. La solidité et la stabilité de cette structure porteuse métallique ne font pas l'objet de cet Avis Technique.

Cet Avis Technique vise la mise en œuvre de coussins gonflables qui reposent sur des pannes et qui sont fixés aux arbalétriers de la structure porteuse métallique. Les coussins sont formés de 2 membranes PVC. Ces membranes sont assemblées de façon étanche entre elles par soudure haute fréquence.

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé	4
1.1.	Domaine d'emploi accepté	4
1.1.1.	Zone géographique	4
1.1.2.	Ouvrages visés	4
1.2.	Appréciation	4
1.2.1.	Aptitude à l'emploi du procédé	4
1.2.2.	Durabilité	5
1.2.3.	Impacts environnementaux	5
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé	5
2.	Dossier Technique.....	6
2.1.	Mode de commercialisation.....	6
2.1.1.	Coordonnées	6
2.2.	Description.....	6
2.2.1.	Principe.....	6
2.2.2.	Caractéristiques des composants	6
2.3.	Dispositions de conception.....	9
2.3.1.	Méthodologie de dimensionnement	9
2.3.2.	Dispositions en zone sismique	11
2.4.	Dispositions de mise en œuvre	11
2.4.1.	Cinématique de mise en œuvre	11
2.4.2.	Montage de la couverture en coussins	11
2.5.	Maintien en service du produit ou procédé	12
2.5.1.	Contrat de maintenance	12
2.5.2.	Entretien du surpresseur	13
2.5.3.	Entretien des coussins.....	13
2.5.4.	Réparation des coussins	13
2.5.5.	Méthodologie de remplacement d'un coussin.	13
2.6.	Traitement en fin de vie	13
2.7.	Assistance technique.....	13
2.8.	Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication.....	14
2.8.1.	Profilés aluminium	14
2.8.2.	Coussin	14
2.9.	Mention des justificatifs	15
2.9.1.	Résultats expérimentaux	15
2.9.2.	Références chantiers.....	16
2.10.	Annexe de dimensionnement	17
2.10.1.	Méthodologie de dimensionnement des coussins gonflables en membranes PVC	17
2.10.2.	Modèle de comportement du coussin	17
2.10.3.	Dimensionnement des coussins	18
2.10.4.	Valeur de la résistance de la membrane.....	18
2.11.	Annexe du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre.....	21

1. Avis du Groupe Spécialisé

Le procédé décrit au chapitre 2 « Dossier Technique » ci-après a été examiné par le Groupe Spécialisé qui a conclu favorablement à son aptitude à l'emploi dans les conditions définies ci-après :

1.1. Domaine d'emploi accepté

1.1.1. Zone géographique

Les couvertures en coussins gonflables sont utilisables dans toutes conditions d'exposition hors climat de montagne et régions cycloniques. Les dimensions et géométries des coussins sont adaptées en fonction de la pression de vent et de la neige du site, conformément au paragraphe et à l'annexe « Dimensionnement ».

La satisfaction aux exigences parasismiques du système de coussins gonflables, utilisant le procédé de couverture en coussins gonflables, doit être appréciée au cas par cas selon l'arrêté du 22 octobre 2010 et ses modificatifs. Cet Avis Technique ne vise pas la stabilité de la charpente métallique (ossature primaire) en zone sismique.

1.1.2. Ouvrages visés

Les typologies de bâtiments visées dans le cadre de cet avis technique sont :

- Bâtiment industriel tel qu'un bâtiment de stockage, une plateforme logistique.
- ERP :
 - Récréative permettant la pratique d'activités sportives en intérieur, gymnase multisports, tennis, boulo-drome.
 - Commerciale sous la forme de magasin relais.

Ces bâtiments non chauffés ne nécessitent pas d'étude thermique particulière de la toiture.

Le présent avis vise uniquement les locaux à faible et moyenne hygrométrie. Dans tous les cas, il y a lieu de vérifier les risques de condensation.

1.2. Appréciation

1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

1.2.1.1. Stabilité

Les couvertures en coussins PVC ne participent pas, par nature, à la stabilité des bâtiments, laquelle incombe à la structure de ces derniers. La structure constituée de pannes en aluminium est à dimensionner selon l'Eurocode 9 et la norme NF EN 1990-3. La stabilité de cette structure n'est pas visée dans cet Avis Technique.

La stabilité propre des couvertures sous les charges climatiques peut être convenablement assurée dans le domaine d'emploi accepté.

1.2.1.2. Sécurité en cas d'incendie

La convenance du point de vue de la sécurité en cas d'incendie doit être examinée, cas par cas, en fonction des divers règlements concernant les établissements recevant du public, les lieux de travail, les établissements industriels, etc.

1.2.1.3. Prévention des accidents lors de la mise en œuvre

La mise en œuvre en toiture fait appel à des dispositifs spécifiques qui doivent être approuvés par les organisations compétentes en prévention des accidents. Elle nécessite en outre le recours à des dispositifs antichute selon la réglementation en vigueur.

1.2.1.4. Sécurité aux chocs

Elle est normalement assurée vis-à-vis de la sécurité aux chutes des personnes.

1.2.1.5. Isolation thermique

Dans le cas où le procédé est utilisé en rénovation thermique de bâtiments existants telle que définie dans l'arrêté du 3 Mai 2007 et son modificatif du 22 mars 2017 (RT existant élément par élément) ou l'arrêté du 13 Juin 2008 (RT existant globale), le respect des caractéristiques thermiques minimales (facteur solaire et coefficient de transmission surfacique) imposées dans ces réglementations est à vérifier au cas par cas.

Dans le cas où le procédé est utilisé en construction neuve telle que définie dans l'arrêté du 4 Août 2021 (Règlementation environnementale RE2020) :

- Le facteur solaire des baies, à l'exception des locaux à occupation passagère, doit être inférieur ou égale à la valeur donnée dans le tableau à l'article 24.
- La RE2020 n'impose pas d'exigences minimales sur la transmission thermique surfacique des parois.
- Les caractéristiques thermique U, S et TL des parois interviennent comme données d'entrée dans le calcul du besoin bioclimatique (Bbio), de la consommation globale (Cep) et de l'indicateur de confort (DH) du bâtiment pour lesquels

les arrêtés de la RE2020 fixent une exigence réglementaire. U, S et TL sont déterminés selon les règles Th-bat 2020 (Annexe IV de l'arrêté de la RE2020)

Dans le cas où la RE2020 ne s'applique pas aux types de bâtiments dans lequel le procédé est employé, les exigences de la RT 2012 définies dans les arrêtés du 26 Octobre 2010 et du 28 Décembre 2012 s'appliquent.

1.2.1.6. Etanchéité

L'étanchéité à l'air n'a pas été évalué dans le cadre de cette Avis Technique.

1.2.1.7. Isolement acoustique

Les performances seront à vérifier au cas par cas en fonction des exigences et règlements.

1.2.2. Durabilité

L'expérience en œuvre a montré que les membranes PVC ne subissaient ni le jaunissement, ni la baisse de transmission lumineuse et ni l'affaiblissement des propriétés mécaniques pendant au moins dix ans. Le changement d'aspect de la couverture gonflable à moyen et à long termes ne peut être totalement exclu, sous l'action des conditions atmosphériques. Toutefois, les risques ne sont que des effets d'aspect (salissures).

Le risque de dégonflement des coussins lié à une coupure électrique doit être limité par le raccordement du système de gonflage à un circuit électrique sécurisé.

La technique des couvertures en coussins gonflables doit faire l'objet d'un contrat d'entretien et de maintenance.

La réparation confère à l'élément de couverture en coussins gonflables, réparé la même durabilité que celle attendue d'un élément d'origine.

1.2.3. Impacts environnementaux

1.2.3.1. Données environnementales

Le produit « Couverture en coussins gonflables en membrane PVC surpressés » ne fait pas l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE) et ne peut donc revendiquer aucune performance environnementale particulière.

Les données issues des DE ont notamment pour objet de servir au calcul des impacts environnementaux des ouvrages dans lesquels les produits (ou procédés) visés sont susceptibles d'être intégrés.

Il est rappelé que les DE n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du produit. Les données issues des DE ont notamment pour objet de servir au calcul des impacts environnementaux des ouvrages dans lesquels les produits (ou procédés) visés sont susceptibles d'être intégrés.

1.2.3.2. Aspects sanitaires

Le présent avis est formulé au regard de l'engagement écrit du titulaire de respecter la réglementation, et notamment l'ensemble des obligations réglementaires aux produits pouvant contenir des substances dangereuses, pour la fabrication, leur intégration dans les ouvrages du domaine d'emploi accepté et l'exploitation de ceux-ci. Le contrôle des informations et déclarations n'entre pas dans le champ du présent avis. Le titulaire du présent Avis conserve l'entière responsabilité de ces informations et déclarations.

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Comme pour tous les systèmes de couverture en coussins gonflables, une pente minimale, en fonction de la géométrie du coussin, doit être respectée pour prévenir la formation de poche d'eau dans le cas où le coussin est dégonflé et sous charge de neige ELU.

Cette technique est soumise à un contrat d'entretien et de maintenance.

La zone d'accessibilité aux membranes est limitée à 2,50 mètres pour éviter les dégradations volontaires.

2. Dossier Technique

Issu des éléments fournis par le titulaire et des prescriptions du Groupe Spécialisé acceptées par le titulaire

2.1. Mode de commercialisation

2.1.1. Coordonnées

SPACIOTEMPO

Parc d'Activités

BP 42

80420 FLIXECOURT

Téléphone : 03 22 51 51 51

Site Internet : <https://www.spaciotempo.fr>

2.2. Description

2.2.1. Principe

Il s'agit d'un procédé de couverture surpressée composé de coussins gonflables en membranes PVC et d'une ossature métallique (portique, panne, ...) en aluminium pour bâtiment métallique industrialisé. Les coussins gonflables sont en appui sur les pannes en aluminium qui sont supportées par les arbalétriers dans lesquels sont insérés les joncs des coussins gonflables.

SPACIOTEMPO dimensionne selon les Eurocodes et fabrique l'ensemble de l'ossature métallique servant de support aux coussins surpressés : portique, panne, contreventement.

La charpente métallique est formée de portiques autostables de portée 10 à 50 m et de travée de 4 à 6 m. Les travées ont une largeur de 5m, généralement. Les portiques sont liaisonnés en toiture par des pannes en aluminium.

Les portiques mis en place les plus courants forment une toiture bi-pente avec une pente minimale de 18°.

La couverture en polychlorure de vinyle (PVC) est formée de plusieurs coussins surpressés. Les coussins de formes rectangulaires sont liaisonnés à chaque ferme.

Les coussins surpressés sont formés de deux membranes appelées : membrane extérieure et membrane intérieure.

Ces membranes sont assemblées de façon étanche entre elles par soudure haute fréquence.

En rive longitudinale, un jonc est soudé. En rive transversale (sens de la portée), un fourreau est soudé pour le passage d'une barre de tension en acier.

La hauteur de poses des coussins formant la toiture est au minimum de 4m. Cela correspond à la hauteur des rives basses des couvertures de bâtiments. Cette hauteur préserve les coussins de dégradations volontaires.

L'absence de formation de poche d'eau doit être vérifiée par calculs pour chaque géométrie en considérant le coussin dégonflé et sous charges de neige sous combinaisons ELU.

2.2.2. Caractéristiques des composants

2.2.2.1. Membranes

La membrane textile est constituée d'une armature tissée en polyester haute ténacité avec enduction en PVC souple sur les 2 faces et vernis de finition sur les deux faces.

La membrane textile provient des sociétés Serge FERRARI SA ou VERSEIDAG.

Selon les contraintes climatiques, plusieurs types de coussins sont proposés par SPACIOTEMPO :

- Coussin type 1 (membranes FERRARI) : avec une membrane extérieure en toile 502 et une membrane intérieure en toile 402.
- Coussin type 2 (membranes VERSEIDAG) : avec une membrane extérieure en toile B1015 et une membrane intérieure en toile B1013.

	502	402	B1015	B1013
Poids (g/m^2)	590	490	630	650
Epaisseur (mm)	0,46	0,41	0,50	0,40

Tableau 1 – Caractéristiques techniques des membranes

- **Caractéristiques techniques**
 - Armure : Fil polyester : 1100 Dtex.
 - Traitement : antifongique, anti-capillarité.
 - Température d'utilisation : -30°C / +70°C.

	502	402
Contrainte de traction à rupture (chaîne/trame) (daN/5cm) *	250/250	230/220
Résistance à la déchirure (chaîne/trame) (daN) *	25/20	20/20
Contrainte de traction à rupture de la soudure (chaîne/trame) (daN/5cm) **	265/272	216/197
Contrainte de traction à la rupture au niveau des rives (chaîne/trame) (daN/5cm) **	431/402	
* Données du fabricant. ** Données issues des tests réalisés par DEKRA Automobil GmbH Labor für technische Textilien und Folien (cf paragraphe 2.10).		

Tableau 2 – Caractéristiques mécaniques à température ambiante (chaîne/trame) pour les membranes FERRARI

	B1015	B1013
Contrainte de traction à rupture (chaîne/trame) (daN/5cm) *	280/250	240/230
Résistance à la déchirure (chaîne/trame) (daN) *	30/25	23/21
Contrainte de traction à rupture de la soudure (chaîne/trame) (daN/5cm) **	285/285	215/244
Contrainte de traction à la rupture au niveau des rives (chaîne/trame) (daN/5cm) **	336/200	
* Données du fabricant. ** Données issues des tests réalisés par DEKRA Automobil GmbH Labor für technische Textilien und Folien (cf paragraphe 2.10).		

Tableau 3 – Caractéristiques mécaniques à température ambiante (chaîne/trame) pour les membranes VERSEIDAG

2.2.2.2. Ourlet de rive

Les rives des coussins sont fermées dans le sens longitudinal par une ralingue PVC dans laquelle est emprisonné un jonc PVC de diamètre 12 mm. Ce jonc PVC est soudé à la ralingue. Les bords de la ralingue sont soudés en rive longitudinale du coussin. Dans le sens transversal du coussin, la membrane supérieure est rabattue et soudée par HF pour former un fourreau de largeur 350 mm.

Dans le fourreau une barre en acier cintrée est glissée pour permettre le maintien et la tension du coussin avant mise en pression et en cas de défaillance du système de surpression.

- **Caractéristiques techniques du jonc**
 - Matière : PVC.
 - Diamètre : 12 mm.
 - Dureté shore A : 72+/- 2.
 - Charge à la rupture : 15 MPa.
- **Caractéristiques techniques de la ralingue**

La ralingue fournie par Serge FERRARI SA, référence 719. Enduction PVC.
Fabriquant : Serge FERRARI

 - Poids : 750 g/m².
 - Épaisseur : 0,61 mm.
 - Résistance à la rupture (chaîne/trame) : 400/400 daN/5cm.
 - Résistance à la déchirure (chaîne/trame) : 50/50 daN.
 - Adhérence (adhérence de l'enduit sur la membrane) : 10 daN/5 cm.
- La ralingue fournie par VERSEIDAG, référence Duraskin® B11753. Enduction PVC.
Fabriquant : VERSEIDAG
 - Poids : 680 g/m².
 - Résistance à la rupture (chaîne/trame) : 440/380 daN/5cm.
 - Résistance à la déchirure (chaîne/trame) : 65/75 daN.
 - Adhérence (adhérence de l'enduit sur la membrane) : 10 daN/5 cm.

2.2.2.3. Valve de gonflage

Chaque coussin contient 4 valves appelées aussi embases de raccordement pour permettre le gonflage.

Les embases diamètre ¾ de pouce (1,9 cm) en PVC sont soudées par Haute Fréquence sur la membrane intérieure.

- **Caractéristiques techniques de l'embase :**
 - Matière : PVC.
 - Diamètre raccord : ¾ de pouces.

- Diamètre extérieur embase : 67,7 mm.
- Soudure Haute Fréquence sur support PVC.

2.2.2.4. Barre de tirage

La tension aux extrémités du coussin s'effectue par un système mécanique composé d'une barre en acier cintrée et d'une pièce de tension appelée « griffe de tension » actionnée par un système de vis et écrou cage.

- **Caractéristiques techniques de la barre de tension :**
 - Matière : Acier S235.
 - Traitement : galvanisation à chaud conforme à la norme NF P 24-351.
 - Dimensions : 150x100x6 mm.
- **Caractéristiques techniques de la griffe de tension :**
 - Pièce mécano-soudée.
 - Matière : Acier S235.
 - Traitement : galvanisation à chaud conforme à la norme NF P 24-351.
 - Amplitude de tension : 50 mm.

2.2.2.5. Equipement de gonflage

L'ensemble du système de gonflage est à l'intérieur du bâtiment.

Le rejet de l'humidité condensée contenue dans l'air extérieur (ou intérieur) s'effectue à l'extérieur du bâtiment.

2.2.2.5.1. Réseau d'air

La distribution de l'air est réalisée en série. Les coussins sont reliés entre eux via la valve de gonflage par des tubes PVC de diamètre 25mm.

- **Caractéristiques techniques du tube de raccord :**
 - Matière : PVC.
 - Renforcement : polyester.
 - Diamètre extérieur : 34 mm.
 - Diamètre intérieur : 25 mm.
 - Pression d'utilisation : 16 bars.
 - Pression Maxi : 48 bars.
 - Température maximale d'utilisation : -15 à +60°C.

2.2.2.5.2. Unité de gonflage

Le système peut être composé de plusieurs unités de gonflage indépendantes. La puissance et le nombre d'unités de gonflage dépend du volume de coussin à alimenter et donc de la surface de la couverture. Chaque unité de gonflage comprend au minimum les éléments suivants :

- 2 ventilateurs identiques qui fonctionnent par alternance en conditions normales ou simultanément en cas de problèmes de basse pression.
- Un asservissement.
- Une alarme lumineuse positionnée juste à côté de la soufflerie qui se déclenche en cas d'arrêt des ventilateurs, de basse pression ou surpression dans les coussins.
- Une ou deux sondes par soufflerie pour contrôler la pression dans les coussins.
- Un déshumidificateur d'air pour n'envoyer que de l'air sec dans les conduites.

SPACIOTEMPO met en œuvre un surpresseur pour 1500m² de toiture, avec un maximum de 10 coussins par unité de gonflage.

Un exemple de surpresseur compatible est le surpresseur de Marque Nolting DG500T dont les caractéristiques sont disponibles en Annexe.

Le surpresseur combine les fonctions de soufflage, contrôle de pression et déshumidification.

2.2.2.5.3. Technique de mesure d'air et régulation

Le contrôle et la régulation s'effectuent par un pressostat installé dans le surpresseur. La mesure est effectuée via un tube monocouche PVC de diamètre 7/4, raccordé au surpresseur d'un côté et au coussin pour l'autre extrémité. Le raccordement dans le coussin s'effectue via la valve de gonflage.

Une valve de sécurité est toujours installée aux extrémités des coussins en tant que système de sécurité pour éviter une éventuelle surpression. Le système de sécurité se déclenche à 230 Pa.

Les éléments de charpente et les coussins sont étudiés pour accepter une pression au minimum de 230 Pa.

2.2.2.6. Profilés aluminium

SPACIOTEMPO fabrique les portiques aluminium constituant la charpente avec plusieurs types de profilés aluminium.

Le choix des profilés aluminium est fonction de la portée de la charpente, des contraintes climatiques et des contraintes d'exploitations.

Les profilés sont réalisés en Europe par extrusion conformément à la norme EN 755-2.

Les certificats matière sont conformes à la norme EN 10204.

Profilé arbalétrier	Poids (kg/ml)	Surface (cm ²)	Inertie axe principale (cm ⁴)	Inertie axe transverse (cm ⁴)
216x137	8,40	31,20	2 102	819
246x137	13,00	48,20	4 131	1 105
316x137	14,30	54,40	7 797	1 404
396x137	16,70	61,58	13 693	1 797
494,5x140	39,30	145,54	48 405	4 396
340 x 182	25,63	87,82	9 210	3 809

Tableau 4 – Caractéristiques techniques des profilés aluminium

SPACIOTEMPO dimensionne et fabrique les pannes. SPACIOTEMPO utilise plusieurs profilés aluminium pour réaliser les pannes.

Profilé panne	Poids (kg/ml)	Surface (cm ²)	Inertie axe principale (cm ⁴)	Inertie axe transverse (cm ⁴)
160x109	5,20	19,30	695	386
160x87	3,80	14,12	483	190
140x75	3,20	12,00	305	118
132x132	5,40	20,48	560	560

Tableau 5 – Caractéristiques techniques des profilés de panne

Plusieurs qualités d'Aluminium peuvent être utilisées en fonction des spécificités dans chaque projet. Les caractéristiques des matériaux utilisés pour les profilés aluminium sont regroupés dans le tableau ci-après.

Matériau	Epaisseur (mm)	Limite élastique f ₀ (MPa)	Limite à rupture f _u (MPa)
Aluminium : EN AW 6005 A T6	0 à 5	215	255
Aluminium : EN AW 6061 A T6	0 à 25	240	260
Aluminium : EN AW 6082 A T6	0 à 5	250	290

Tableau 6 – Caractéristiques des matériaux

2.2.2.7. Couvre-arbalétrier

Dispositif pour assurer une étanchéité parfaite de l'ensemble de la toiture PVC.

Lors de la confection des coussins, une bande de toile de largeur 160 mm est soudée par HF à 50 mm du bord sur chacun des cotés longitudinaux. Après la mise en place de tous les coussins sur le bâtiment, les bandes de toiles sont assemblées au-dessus des arbalétriers par soudure au lester.

2.2.2.8. Visserie

SPACIOTEMPO utilise des boulons SB non précontraint selon la norme NF EN 15048-1. Le matériau des boulons peut-être :

- Acier de classe 8.8 galvanisé à chaud.
- Acier inoxydable A2-70 ou A4-70 selon les exigences et contraintes géographiques.
- La visserie devra être en acier inoxydable A4 en bord de mer (<3 km).

2.3. Dispositions de conception

2.3.1. Méthodologie de dimensionnement

Les éléments d'ossature et leurs fixations seront calculés et vérifiés en utilisant les Eurocodes (NF EN 1990-3).

Le dimensionnement des couvertures (ossature et coussins) est réalisé par la société SPACIOTEMPO.

Le dimensionnement de l'ossature primaire doit tenir compte de la descente de charge spécifique à ce système, définie par SPACIOTEMPO. Les descentes de charges de la toiture sont reportées sur l'ossature par des charges linéiques sur les arbalétriers et les pannes. De plus, la déformation à l'ELU sera limitée au non-contact des membranes avec l'ossature primaire. Le contact de la membrane inférieure avec les éléments de stabilité de l'ossature primaire (câbles de contreventement ou autres les autres dispositifs de stabilité (palets) est strictement proscrit.

2.3.1.1. Méthodologie de calcul des coussins

La méthodologie de calcul des coussins est composée des éléments suivants :

- Calcul des hypothèses des charges climatiques.
- Calcul de la résistance des coussins par rapport à ces hypothèses.
- Fourniture d'une descente de charges pour la justification de la charpente métallique.

2.3.1.2. Pré-tension

La pré-tension dans les membranes du coussin gonflable est assurée grâce à la pression nominale fournie dans le coussin. La pression nominale mise en œuvre dans le coussin gonflable est de 200 Pa (± 20 Pa).

2.3.1.3. Actions climatiques

Les hypothèses de charges climatiques sont définies conformément aux Eurocode NF EN 1991.

Les actions de neige sont considérées selon :

- NF EN 1991-1-3 et ses annexes.

Les actions de vent sont considérées selon :

- NF EN 1991-1-4 et ses annexes.

Les actions thermiques sont considérées selon :

- NF EN 1991-1-5 et ses annexes.

2.3.1.4. Méthode de dimensionnement

Définition des hypothèses de charges

Le standard est de tenir compte des hypothèses de charges suivantes :

- Poids propre.
- Pré-tension en raison de la pression intérieure du coussin ainsi qu'en cas de défaillance de l'alimentation en air (cas accidentelle).
- Charges de vent.
- Charges de neige.
- Accumulations de neige et d'eau.

Les calculs sont faits avec les hypothèses sous combinaisons de charges ELS et ELU conformément à la NF EN 1990.

La vérification des déformations est faite à partir des combinaisons de charges à l'ELS et à l'ELU. La vérification de la résistance est réalisée à partir des combinaisons de charges à l'ELU.

Les différentes combinaisons de charges sont :

- Le poids propre et la pression nominale.
- Le poids propre, la pression nominale et le vent.
- Le poids propre, la pression nominale et la neige.
- Le poids propre et la stagnation d'eau.
- Le poids propre, la pression de gonflage, la neige et le vent.

Analyse de la détermination de la forme

L'analyse de la détermination de la forme et de la précontrainte des coussins gonflables est fait par SPACIOTEMPO (bureau technique) ou sous la responsabilité de celle-ci. Cette analyse est menée au moyen d'un logiciel de calculs aux éléments finis utilisant une méthode de calculs non-linéaires aux grands déplacements.

Justifications des calculs de capacité

Les justifications des calculs des coussins sont effectuées suivant le concept de dimensionnement présenté en annexe.

Les justifications de la « stagnation d'eau » (cf. combinaisons de charges ci-dessus), lorsque le coussin est dégonflé, sont effectuées à partir des charges de neige de référence à l'état limite ultime. La déformée résultante des membranes doit permettre une pente minimale pour l'évacuation des eaux.

Les états limites de la capacité de charge des coussins sont définis pour les cas de charges concernés et comparés aux valeurs de tension admissible. Les contraintes admissibles dans les membranes sont déterminées indépendamment pour chaque cas de charge selon le référentiel « European Design Guide for Tensile Surface Structure ».

Les descentes de charges des coussins font l'objet d'un document afin de prendre en compte les efforts sur le modèle de structure métallique dans le but de sa justification.

2.3.1.5. Logiciel de calculs

Le calcul de la charpente est réalisé par SPACIOTEMPO avec les logiciels :

- SCIA : Nemtschek company.
- ROBOT : Autodesk.
- EIFFEL : Graitec.
- RFEM : Dlubal.

Les calculs des coussins sont réalisés par SPACIOTEMPO ou par un bureau d'étude spécialisé sous la responsabilité de SPACIOTEMPO, à l'aide des logiciels :

- EASY de TECHNET GmbH.
- STRAUS Finite Element Analysis System de Strand7 Pty Ltd.
- RFEM de Dlubal et son module RF-FormFinding.

D'autres logiciels équivalents du marché peuvent être utilisés par le bureau d'étude en charge du dimensionnement.

2.3.1.6. Tensions admissibles

Tension normative de dimensionnement de la membrane.

Compte tenu de l'éventuelle possibilité de dégonflement des coussins, nous appliquerons un coefficient de fatigue γ_f de 0,90 sur la tension admissible pour le dimensionnement de la membrane.

La tension de dimensionnement est donnée par la formule suivante :

$$T_d = \frac{k_q \times k_e \times T_{rm} \times \gamma_f}{\gamma_t}$$

Avec : $k_q = \min [(k_t, k_s)]$

Où :

T_d : tension de dimensionnement de la membrane en chaîne et en trame,

T_{rm} : résistance moyenne à la rupture à traction uniaxiale, en chaîne ou en trame,

k_q : facteur de qualité de la membrane,

k_t : facteur de qualité de la toile,

k_s : facteur de qualité des soudures,

k_e : facteur d'échelle dépendant de la surface de l'élément de couverture,

γ_t : coefficient de sécurité (=4 – zone de pollution moyenne),

Les valeurs de l'ensemble des coefficients sont définies dans le paragraphe 2.10.4.1 de l'Annexe de dimensionnement et dans les « Recommandations professionnelles pour la conception des ouvrages permanents en couverture textile » au paragraphe 5.5.1.3.

γ_f : coefficient de fatigue (=0,9).

À titre d'exemple, pour un ouvrage implanté en zone de pollution moyenne ($\gamma_t = 4$), dont la surface unitaire de chaque coussin de couverture est prise égale à 180 m² ($k_e = 0,92$) et dont la production des membranes et des coussins est réalisée dans des ateliers certifiés ISO 9001 ($k_q = 1$), les tensions de dimensionnement des membranes T_d utilisées dans la fabrication des coussins sont les suivantes :

Membrane	Td			
	Chaîne		Trame	
[Désignation]	[kN/m]	[daN/5cm]	[kN/m]	[daN/5cm]
Précontraint 402	9,50	48	9,09	45
Précontraint 502	10,33	52	10,33	52
Précontraint B1015	11,59	58	10,35	52
Précontraint B1013	9,94	50	9,52	48

Tableau 7 – Tension de dimensionnement des membranes

Les tensions dans la toile calculées sous combinaisons ELU devront être inférieures à la tension T_d de dimensionnement.

2.3.2. Dispositions en zone sismique

Les activités sismiques ne représentent pas de risque majeur pour les coussins gonflables en membrane PVC compte tenu de leur faible masse (environ 2 kg/m²), de leur souplesse et du type de sollicitations de la membrane (traction uniquement).

Un calcul sismique de la structure primaire soutenant les coussins en membrane PVC doit être réalisé indépendamment du système de coussins gonflables en membrane PVC.

2.4. Dispositions de mise en œuvre

2.4.1. Cinématique de mise en œuvre

La mise en œuvre des coussins s'effectue après le montage de la charpente et des murs périphériques.

2.4.2. Montage de la couverture en coussins

2.4.2.1. Equipe de montage

La pose est effectuée sous la responsabilité de la société SPACIOTEMPO. Le montage est réalisé exclusivement par du personnel qualifié, formé par SPACIOTEMPO, pour ces travaux.

Pour chaque projet, un conducteur de travaux de SPACIOTEMPO dirige les travaux. C'est lui qui gère le personnel pour le montage et qui assure la coordination des personnes.

2.4.2.2. Sécurité durant le montage

L'exécution du montage se fait suivant le planning de montage spécifique au projet.

Chaque monteur est équipé des équipements de protections nécessaires.

2.4.2.3. Passage des toitures

- Déplier la toiture dans la nacelle ou au sol (deux personnes dans la nacelle, une à chaque extrémité).
- Faire traverser les cordes d'un long pan à l'autre muni de mousquetons et d'une 3eme corde de rappel.
- Lever la nacelle au plus près des gorges supérieures de l'arbalétrier.
- Fixer les mousquetons aux anneaux de tirage de la toiture à chaque extrémité.
- Tirer les cordes pour amener les joncs au plus près des gorges de l'arbalétrier.
- Les opérateurs de chaque côté enfilent à la main les joncs dans les gorges des arbalétriers en même temps, les opérateurs tirent les cordes de l'autre côté.
- Pour les portées inférieures ou égale à 20 m, il faut tirer les cordes à la main.
- Pour les portées supérieures à 20 m, on utilisera un treuil ou à l'aide du chariot.
- Une fois les premiers centimètres engagés, tirer les cordes en même temps afin que le coussin glisse dans les gorges. (Toujours une personne qui vérifie le bon déroulement du passage et répète les consignes des uns et des autres en cas de besoin)
- Être vigilant au moment du passage du faitage car changement de la pente. (Tirer plus doucement).
- Tirer jusqu'à ce qu'il reste environ un mètre à passer.
- Enfiler la barre de tension dans le fourreau.
- Tirer jusqu'au bout.
- Décrocher les cordes.
- Enfiler la barre de tension de l'autre côté.
- Pour la première toiture, côté pignon, mettre la jonction d'extrémité dans la barre de tension.
- De l'autre côté, enfiler la jonction intermédiaire dans la barre de tension.
- Enfiler la griffe de tension dans les gorges de l'arbalétrier et en appui sur les jonctions de barre de tension.

Répéter l'opération pour chaque toiture.

Pour la dernière toiture, côté pignon, mettre la jonction d'extrémité dans la barre de tension.

Tendre les toitures à l'aide d'une clé en tournant les tiges filetées des griffes.

2.4.2.4. Pose du surpresseur et ses accessoires

Le surpresseur est fixé sur une lisse.

- Visser avec des auto-foreuses au niveau des équerres sur la lisse haute.
- Placer la cale alu à l'arrière du surpresseur en partie basse et visser celle-ci avec des vis auto-foreuses pour éviter le basculement.
- Emboîter le Té PVC sur le haut du surpresseur, relier les extrémités des tuyaux aux coussins.
- Percer le Té PVC au diamètre 10 mm.
- Enfiler le tuyau transparent dans le tuyau de gonflage et raccorder l'autre extrémité du tuyau sur l'embout placé au-dessus du surpresseur.
- Relier les coussins entre eux avec les tuyaux de gonflage.
- Aux extrémités du bâtiment, visser la soupape d'échappement.

2.4.2.5. Raccordement électrique (hors Avis Technique)

Le raccordement électrique se fait sous 220V mono en câble rigide 1,5mm². Le surpresseur est équipé d'un câble électrique avec une prise male standard.

- Ouvrir le capot du surpresseur, à l'aide d'un tournevis, déconnecter le câble présent au niveau du domino
- Raccorder le câble d'alimentation en lieu et place de celui d'origine. (Câble 1,5mm²).

2.4.2.6. Réglage du surpresseur

Le réglage se fait à 200 mbar.

Ouvrir le capot du surpresseur.

Tourner le curseur pour obtenir la valeur voulue.

2.5. Maintenance en service du produit ou procédé

2.5.1. Contrat de maintenance

SPACIOTEMPO propose à ses clients des contrats de maintenance. Il comprend des visites périodiques (annuelles) au cours desquelles un contrôle visuel est effectué sur les éléments suivants : coussins, éléments de gonflage, de l'ossature et des contreventements. L'entretien du surpresseur est réalisé lors de la visite de contrôle.

L'entretien ou la réparation des coussins est une prestation proposée par SPACIOTEMPO sur devis. Cette prestation est proposée sur la base des diagnostics réalisés lors de la visite périodique de maintenance.

2.5.2. Entretien du surpresseur

Après la mise sous tension du surpresseur, l'entretien de la soufflerie s'effectue uniquement avec des chiffons secs.

Selon l'environnement, la fréquence pour nettoyer ou remplacer les filtres peut varier. Nous préconisons un nettoyage annuel des filtres du surpresseur.

2.5.3. Entretien des coussins

Il est recommandé de ne pas laisser les toiles s'encrasser exagérément.

Un nettoyage périodique de la toile peut être nécessaire en fonction de l'environnement d'implantation de l'ouvrage.

Pour un accès en toiture du bâtiment avec une nacelle à bras déporté (à évaluer en fonction des dimensions du portique), 2 techniciens sont nécessaires. Pour un accès par le bas de la toiture à traiter pour les bâtiments de 20 mètres de portée et au-delà, mise en place d'une ligne de vie spécifique pour accès direct de la nacelle vers la toiture. La circulation sur la toiture se fait sur les profilés aluminium uniquement.

2.5.3.1. Matériel utilisé

- Pulvérisateur 5 L.
- Balai brosse.
- Savon de lavage de marque TIXO réf. DT 476.
- Jet d'eau 40m raccordement.

2.5.3.2. Mode opératoire nettoyage toiture

- 1) Accès en toiture du bâtiment avec une nacelle à bras déporté (à évaluer en fonction des dimensions du portique). Il est interdit de circuler sur les coussins.
- 2) Pulvériser le produit sur la toiture.
- 3) Frotter la toiture avec le balai brosse.
- 4) Rincer la toiture avec le jet d'eau.

2.5.4. Réparation des coussins

Analyse du dommage sur le coussin. Dimension et position de la déchirure. Une déchirure supérieure à 50 cm nécessite un remplacement de la toiture.

Mode opératoire réparation d'un coussin

- Accès en toiture du bâtiment avec une nacelle à bras déporté (à évaluer en fonction des dimensions du portique), 2 techniciens sont nécessaires. Accès par le bas de la demi-toiture à traiter pour les bâtiments de 20 mètres de portée. Au-delà, mise en place d'une ligne de vie spécifique pour accès direct de la nacelle vers la toiture.
- Nettoyage de la zone à réparer.
- Deux solutions sont possibles :
 - Collage avec colle adaptée de la rustine en toile PVC suivant la dimension de la déchirure. Un rapprochement et maintien des bords de la déchirure avant collage est nécessaire.
 - Soudage avec Lester nécessite une roulette pour maroufler en continu la rustine en toile PVC.

Remarques :

- La rustine PVC doit être découpée dans le même type de toile que la membrane à réparer.
- SPACIOTEMPO utilise un pistolet à air chaud Triac 1G6 de la marque Leister.
- SPACIOTEMPO utilise une colle recommandée par FERRARI : GLUE 1000.

2.5.5. Méthodologie de remplacement d'un coussin.

Les étapes de remplacement des coussins s'effectuent strictement dans le sens inverse du montage.

Il est nécessaire de dégonfler au préalable le coussin à remplacer. Un pont pour shunter le coussin à remplacer est nécessaire pour garder les autres coussins gonflés. Ensuite, il faut relâcher la tension dans les coussins afin de pouvoir le démonter.

L'accès en toiture s'effectue avec des nacelles à bras déporté.

2.6. Traitement en fin de vie

Aucune information n'a été apportée.

2.7. Assistance technique

La société SPACIOTEMPO a un service dédié à la gestion des demandes clients après installation.

A ce jour, le service Assistance Technique est composé de 6 personnes : 2 personnes administratives, 2 techniciens sédentaires et 2 techniciens pour les interventions sur site.

2.8. Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication

2.8.1. Profilés aluminium

2.8.1.1. Extrusion

SPACIOTEMPO commande des profilés aluminium sur la base :

- De la géométrie des profilés conçue par SPACIOTEMPO.
- De l'alliage choisi par SPACIOTEMPO.
- De la longueur brute des barres nécessaire à l'utilisation.

Les profilés sont extrudés en Europe selon la norme à EN 755-2.

La fabrication des profilés se décompose en 5 ou 6 étapes :

- Extrusion.
- Refroidissement.
- Etirage.
- Mise en longueur.
- Traitement thermique.
- Anodisation selon les profilés.

Les profilés des pannes sont toujours anodisés.

Les profilés de la structure porteuse sont anodisés.

2.8.1.2. Fabrication de charpente

L'ensemble du parachèvement est réalisé dans l'usine de SPACIOTEMPO Flixecourt.

Les pièces sont fabriquées sur la base d'un plan d'usinage et d'un plan d'assemblage réalisés par le Bureau d'étude.

Les commandes et gestion de la production sont réalisées via un outil de gestion informatisé : GPAO.

Toutes les pièces reçoivent en fin de fabrication une étiquette avec un code barre : contenant les informations relatives à la production (code article, date de fabrication, nom de l'opérateur, lot matière utilisé).

Les étapes d'usinage : mise à la longueur de la barre, perçage, et découpe, sont réalisées sur un banc d'usinage.

Les dernières étapes d'assemblage des ferrures et d'ébavurages sont réalisées manuellement.

L'ensemble des pièces fait l'objet d'un autocontrôle des opérateurs en charge de sa production ; gamme de contrôle de toutes les phases d'usinage. Le mode opératoire établi via les ordres de fabrication sur toutes les étapes du processus de fabrication.

2.8.2. Coussin

2.8.2.1. Fabrication et contrôle de la toile

La toile est confectionnée en déposant sur une armature tissée en polyester des couches successives de PVC.

Il y a un contrôle de la qualité de la toile en cours de fabrication. Les imperfections de la toile sont repérées par des marques sur les rouleaux de toile.

Les sociétés de fabrication de membrane mentionnées dans cet Avis Technique (Serge FERRARI et VERSEIDAG) sont certifiées ISO 9001.

2.8.2.2. Confection et contrôle des éléments de coussins

La confection de la toile est réalisée en Europe.

Sur la base de plan de fabrication, SPACIOTEMPO commande la confection de coussins.

Une démarche qualité est mise en place entre le confectionneur et SPACIOTEMPO : réalisation d'échantillons, gardés 10 ans, selon un protocole défini entre SPACIOTEMPO et le confectionneur. Ces échantillons permettent de valider la conformité de la soudure pendant la durée de garantie des coussins et des paramètres de réglages des machines de soudure HF.

La confection des coussins est réalisée sur la base d'un plan de confection. Les étapes de confection sont :

Confection de la membrane intérieure.

1- Assemblage thermique à la buse de largeur 40mm des 2 laizes pour former la membrane intérieure. La mise à la cote de largeur est réalisée dans la même opération.

2- Mise à la cote de longueur suivant la programmation.

3- Traçage des embases de gonflage et soudure par haute fréquence.

Confection de la membrane extérieure.

Deux processus sont possibles suivant la membrane en toile PVC à vernis soudable ou non.

- Vernis soudable :

4- Assemblage thermique à la buse de largeur 40mm des 2 laizes pour former la membrane extérieure. La mise à la cote de largeur est réalisée dans la même opération.

5- Mise à la cote de longueur suivant la programmation.

- Vernis non soudable :

- 4- Coupe sur la table automatique des laizes.
- 5- Délardage du vernis en bord de laize suivant la largeur de la soudure. Soudure de 40mm.
- 6- Assemblage des laizes en soudure haute fréquence.

Assemblage du coussin :

- 7- Assemblages des deux membranes en soudure haute fréquence.
- 8- Assemblage des glisses en soudure haute fréquence.

Finition :

- 9- Pose des anneaux de tirage.
- 10- Fermeture des fourreaux d'extrémités en soudure haute fréquence.
- 11- Couture et pose des rivets de renfort en bouts de fourreaux.

Durant la confection du coussin, les contrôles qualité suivants sont effectués :

- Vérification des longueurs/largeurs des membranes PVC après la découpe
- Vérification des longueurs/largeurs des coussins après l'assemblage
- Contrôle des longueurs des keders
- Contrôle des diamètres des keders
- Contrôle des largeurs de soudure (sur chaque membrane et en rive)

2.8.2.3. Emballage

Le transport à partir du confectionneur ou sur site d'installation ou à partir de SPACIOTEMPO vers le site d'installation est réalisé sur palette. Les coussins sont pliés pour faciliter la mise en œuvre et le contrôle. Les lots de coussins conditionnés sont protégés par une toile extérieure et un film plastique.

2.9. Mention des justificatifs

2.9.1. Résultats expérimentaux

2.9.1.1. Feu :

- Procès-Verbal de classement de réaction au feu 402 N° EFR-21-003406 (Effectis) : membrane 402 d'origine Serge FERRARI – classement : B-s2,d0
- Rapport de classement Européen de réaction au feu 502 N° CM-21-P-087 (FCBA) : membrane 502 d'origine Serge FERRARI – classement : M2
- Procès-Verbal de classement de réaction au feu 1013 N°18-00204 L (ifth) : membrane 1013 d'origine Verseidag Indutex Gmhb – classement : M2
- Procès-Verbal de classement de réaction au feu 1015 N°21-01583 L (ifth) : : membrane 1015 d'origine Verseidag Indutex Gmhb – classement : M2

2.9.1.2. Résistance mécanique

- Essais de résistance des membranes : Rapport d'essai DEKRA 997-01.
 - Essai de détermination de la force de rupture et d'allongement à la rupture des membranes 502 et 402 (membranes Serge FERRARI) (essais réalisés en chaîne et en trame / à 23°C et à 70°C) Les essais de résistance des membranes ont été réalisés par DEKRA Automobil GmbH Labor für technische Textilien und Folien pour chaque type de membranes utilisés pour la confection des coussins décrit dans ce document. Les essais ont été réalisés à une température de 23°C et de 70°C, selon le sens chaîne et trame.
- Essais internes réalisés par la société Serge FERRARI : essai de traction et de traction/déchirure/adhérence sur les membranes 402 et 502
- Essais internes réalisés par la société VERSAIDAG : essai de traction et de traction/déchirure/adhérence sur les membranes B1015 et B1013
- Essais de résistance des soudures : Rapport d'essai DEKRA 997-01.
 - Essai de détermination de la force de rupture et d'allongement à la rupture sur les soudures des membranes 502 et 402 (membranes Serge FERRARI) (essais réalisés en chaîne et en trame / à 23°C et à 70°C) Les essais de résistance des soudures ont été réalisés par DEKRA Automobil GmbH Labor für technische Textilien und Folien pour chaque type de soudures utilisés pour la confection des coussins décrit dans ce document. Les essais ont été réalisés à une température de 23°C et de 70°C, selon le sens chaîne et trame.
- Essais de résistance des rives :
 - Rapport d'essai DEKRA 997-01 détermination de la force de rupture et d'allongement à la rupture sur les assemblages des membranes 502 et 402 (membranes Serge FERRARI) (essais réalisés en chaîne et en trame / à 23°C et à 70°C) Les essais de résistance des rives ont été réalisés par DEKRA Automobil GmbH Labor für technische Textilien und Folien pour chaque type de rives utilisés pour la confection des coussins décrit dans ce document. Les essais ont été réalisés à une température de 23°C et de 70°C, selon le sens chaîne et trame.
 - Rapport d'essai n° m2001783 – 2022 de DEKRA : détermination de la force de rupture et d'allongement à la rupture sur ourlet de rive avec membrane B1013 et B1015 (chaîne et trame / à 23°C et à 70°C)

2.9.2. Références chantiers

SPACIOTEMPO met en œuvre des coussins gonflables depuis 2005.

Depuis 2023 SPACIOTEMPO a installé 6 334 m² de coussins surpressés en France.

2.10. Annexe de dimensionnement

2.10.1. Méthodologie de dimensionnement des coussins gonflables en membranes PVC

La méthodologie de calcul des coussins est :

- Calcul des hypothèses de charges climatiques.
- Calcul de la résistance des coussins par rapport à ces hypothèses.
- Fourniture de la descente de charge.

2.10.1.1. Hypothèses de charges

Les hypothèses sont basées sur les Eurocodes.

Les hypothèses de charge sont définies spécifiquement pour chaque projet en fonction de la géométrie de la structure du bâtiment, de l'environnement et de la position géographique.

Les actions climatiques exercées sur les coussins PVC sont les suivantes :

- Poids propre des membranes.
- Précontrainte due à la pression nominale interne de 200 Pa.
- Charge de neige, normale et accumulée et déplacement par balayage (3 cas de charge).
- Charge de vent.

Nom	Intitulé du cas	
LC1	Poids propre	PP
LC2	Pression interne (précontrainte)	P _{nom}
LC3	Neige normale	N _N
LC4	Neige accidentelle	N _{Ad}
LC5	Vent en pression	V _p
LC6	Vent en dépression	V _{dp°}

Tableau 8 – Cas de chargement

Les calculs sont faits avec les hypothèses sous combinaisons de charges ELS et ELU conformément à la NF EN 1990. La vérification des déformées des coussins est faite à partir des combinaisons de charges à l'ELS et à l'ELU. La vérification de la résistance des coussins est faite à partir des combinaisons de charges à l'ELU.

Les différentes combinaisons de charges sont :

- Le poids propre, la précontrainte et la pression de gonflage.
- Le poids propre, la précontrainte, la pression de gonflage et le vent.
- Le poids propre, la précontrainte, la pression de gonflage et la neige.
- Le poids propre, la précontrainte, la pression de gonflage, le vent et la neige.

La combinaison des efforts permanents et transitoires est celle-ci :

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot E_{Gk,j} + \gamma_{Q,1} \cdot E_{Qk,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot E_{Qk,i}$$

LCC	LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6
	PP	P _{nom}	N _N	N _{Ad}	V _p	V _{dp}
LCC1.2	1.35	1.1	-	-	-	-
LCC2.2	1.35	1.1	1.50	-	-	-
LCC3.2	1.35	-	-	-	1.50	-
LCC4.2	1.35	-	-	-	-	1.50
LCC5.2	1.35	-	1.50	-	0.90	-
LCC6.2	1.35	-	0.75	-	1.50	-
ACC –	1.0	1.0	-	1.0	-	-

Tableau 9 – Valeur de γ (conformément à l'Eurocode)

2.10.2. Modèle de comportement du coussin

Les modèles simplifiés du comportement du coussin sous charges climatiques décrites ci-dessous suivent les recommandations de la commission européenne dans le document technique : « Perspectives des orientations européennes sur la conception des structures à membrane de traction », chapitre 5.5.2.2.

2.10.2.1. Charge de neige et de vent

Le tableau suivant synthétise la méthode de calcul des coussins sous cas de charge climatique :

Type de charge	Vent en dépression	Vent en pression	Neige
Membranes à considérer dans le calcul	Membrane supérieure	Membrane inférieure	Membrane inférieure et supérieure

Tableau 10 – Calcul des charges climatiques

En cas de charge de neige, la charge extérieure dépasse la force appliquée par la pression de l'air sur la membrane supérieure. L'équilibre n'est plus respecté et le coussin se retrouve en configuration dégonflée. Les deux membranes travaillent donc simultanément.

2.10.2.2. Vérification de l'absence de poche d'eau

La vérification se fait dans la configuration du coussin dégonflé sous cas de neige aux ELU (1,5 x N). Sous ce chargement, la géométrie calculée doit permettre de garantir un écoulement des eaux de pluie hors du coussin, grâce à la présence d'une pente minimale et l'absence de cuvette dans la membrane.

Lors d'une défaillance du système de ventilation du coussin ou neige accidentelle, vérifier l'absence de poche d'eau sous chargement ELU.

2.10.3. Dimensionnement des coussins

2.10.3.1. Analyse de la détermination de la forme et de la précontrainte

La recherche de forme du coussin en membrane PVC se fait numériquement à l'aide d'un logiciel spécialisé (EASY, RFEM, SOFISTIK, etc.) par emploi de la méthode des densités de force ou des éléments finis comparables suivant l'état de l'art défini dans le « European Design Guide for Tensile Surface Structures ».

2.10.3.2. Justification de la capacité de charge et des calculs de durabilité

Les justifications de calcul des coussins en membrane PVC sont basées sur le concept de conception publié par la commission européenne dans le document technique suivant en 2016 : « Perspectives des orientations européennes sur la conception des structures à membrane de traction », chapitre 7 (ELS) et 6 (ELU).

La capacité de charge des membranes utilisées par SPACIOTEMPO a été déterminée par des tests en laboratoires dont les résultats sont inclus dans le document technique de l'Avis Technique, et les rapports présentés en annexe.

La justification des calculs des profilés en aluminium et de leurs connexions sont basées sur l'Eurocode 5 pour l'aluminium et les assemblages boulonnés.

2.10.4. Valeur de la résistance de la membrane

2.10.4.1. En partie courante, chaîne et trame

La tension admissible dans la membrane est déterminée aux ELU pour les parties courantes et pour les zones d'attache. Pour chaque combinaison d'action prédominante définie, la relation de conception suivante doit être vérifiée :

$$T_c \leq T_D = \frac{k_q \times k_e \times T_{rm} \times \gamma_f}{\gamma_t}$$

$$k_q = \min(k_t ; k_s)$$

Avec :

T_c : contrainte de membrane pour chaque combinaison de charges,

T_D : résistance nominale de la membrane, dans le sens chaîne ou trame,

T_{rm} : résistance moyenne à la traction uniaxiale, en chaîne ou en trame,

k_q : facteur de qualité de la membrane,

k_t : facteur de qualité du tissu,

$k_t = 1$ si ses propriétés mécaniques sont soumises à l'autocontrôle de fabrication validée par un laboratoire extérieur, ou si la fabrication est certifiée ISO 9001. Il est égal à 0,8 sinon. Les membranes utilisées par SPACIOTEMPO sont toutes fabriquées par un laboratoire certifié ISO 9001.

k_s : facteur de qualité des soudures,

$k_s = 1$ si ses propriétés mécaniques sont soumises à l'autocontrôle de fabrication validée par un laboratoire extérieur, ou si fabrication certifiée ISO 9001. Les membranes utilisées par SPACIOTEMPO sont toutes fabriquées par un laboratoire certifié ISO 9001.

k_e : facteur d'échelle dépendant de la surface de l'élément de couverture,

La valeur de k_e dépend de la surface S [m²] de l'élément de revêtement textile et est donné par :

$$k_e = 1 \quad \text{pour } S \leq 50 \text{ m}^2$$

$$k_e = \left(\frac{50}{S}\right)^{\frac{1}{15}} \quad \text{pour } S > 50 \text{ m}^2$$

De manière simplifiée, il est également possible de lire la valeur de k_e dans le tableau ci-dessous :

S [m ²]	0 à 50	50 à 200	250 à 500
k_e	1	0,90	0,86

Le facteur d'échelle tient compte de l'augmentation du risque de présence d'un défaut critique lorsque la surface augmente.

Tableau 11 – Valeur de k_e

γ_t : facteur de sécurité, prenant en compte la dégradation de l'environnement,

Le facteur de sécurité γ_t est donné dans le tableau suivant, en fonction des conditions d'exposition de la structure à pollution et la nature de l'armature.

Condition d'exposition	Polution moyenne	Polution importante
Fibre de polyester en tissu	4	4,5
Tissu en fibre de verre	4	4,5

Tableau 12 – Facteur de sécurité γ_t

γ_f : facteur de fatigue

Un coefficient de fatigue est appliqué $\gamma_f = 0,9$ sur la tension de dimensionnement de la membrane en chaîne et en trame définie par les « recommandations pour la conception des ouvrages permanents de couverture textile ».

2.10.4.2. En zone d'attache

La contrainte de conception des zones d'attache (bordures, champ de points, etc.) est calculée avec :

$$T_D = \frac{k_q \times n_{eff} \times T_{rm}}{\gamma_{tloc}}$$

Avec :

k_q : facteur de qualité de la membrane (définie précédemment),

n_{eff} : nombre effectif de couches en cas de renforts, pris égal à 1 en l'absence de renfort,

T_{rm} : résistance moyenne à la traction uniaxiale, en chaîne ou en trame,

γ_{tloc} : facteur de sécurité local, égal à 5.

2.10.4.3. Tension expérimentale de dimensionnement de la membrane

Des tests des membranes, des soudures et des rives ont été réalisés selon DIN EN ISO 1421 :1998 pour des températures de 23° C et de 70°C par DEKRA Automobil GmbH Labor für technische Textilien und Folien.

Les tests des membranes et des soudures ont pour but de valider les tensions normatives de dimensionnement des membranes.

Les tests des membranes sur la rive ont pour but de valider les tensions de dimensionnement des rives des coussins.

	502	402	B1015	B1013
Contrainte de traction à la rupture des soudures à 23 °C (5% fractile) (chaîne/trame) (daN/5cm)	265/272	216/197	285/285	215/244
Contrainte de traction à la rupture des soudures à 70 °C (5% fractile) (chaîne/trame) (daN/5cm)	214/228	180/167	299/243	200/217

Tableau 13 – Résultats des tests sur les soudures (chaîne/trame)

	502	402	B1015	B1013
Contrainte de traction à la rupture des soudures à 23 °C (5% fractile) (chaîne/trame) (daN/5cm)	279/270	206/192	283/267	252/365
Contrainte de traction à la rupture des soudures à 70 °C (5% fractile) (chaîne/trame) (daN/5cm)	249/238	183/168	279/269	220/224

Tableau 14 – Résultats des tests sur les membranes (chaîne/trame)

Indépendamment des températures de tests réalisés, le calcul des tension admissibles (voir §2.3.1.6) impose un coefficient de sécurité supérieur à 3,5 entre les contraintes de tension admissible et les contraintes de traction à la rupture des soudures et des membranes (5% fractile).

Pour les températures de tests réalisés à 23°C, il existe au minimum un coefficient de sécurité supérieur à 4 entre les contraintes de traction à la rupture des soudures et des membranes (5% fractile) et les tensions normatives de dimensionnement des membranes.

Le taux de chute entre la contrainte à la rupture à 23°C et celle à 70°C est compris entre 10% et 25% (le coefficient de réduction A3 est compris entre 1,1 et 1,25). Les résultats des tests ci-dessus confirment un taux de chute maximum de 24%. Les tensions de dimensionnement des membranes sont donc celles définies selon la méthode normative de dimensionnement explicitée dans le paragraphe 2.3.1.6.

	Coussin type 1 – FERRARI	Coussin type 2 - VERSEIDAG
Contrainte de traction à la rupture de la rive à 23 °C (5% fractile) (chaîne/trame) (daN/5cm)	431/403	336/200
Contrainte de traction à la rupture de la rive à 70 °C (5% fractile) (chaîne/trame) (daN/5cm)	261/265	92/107

Tableau 15 – Résultats des tests d'accroche du profilé avec kedder sur la rive des coussins (chaîne/trame)

2.11. Annexe du Dossier Technique – Schémas de mise en œuvre

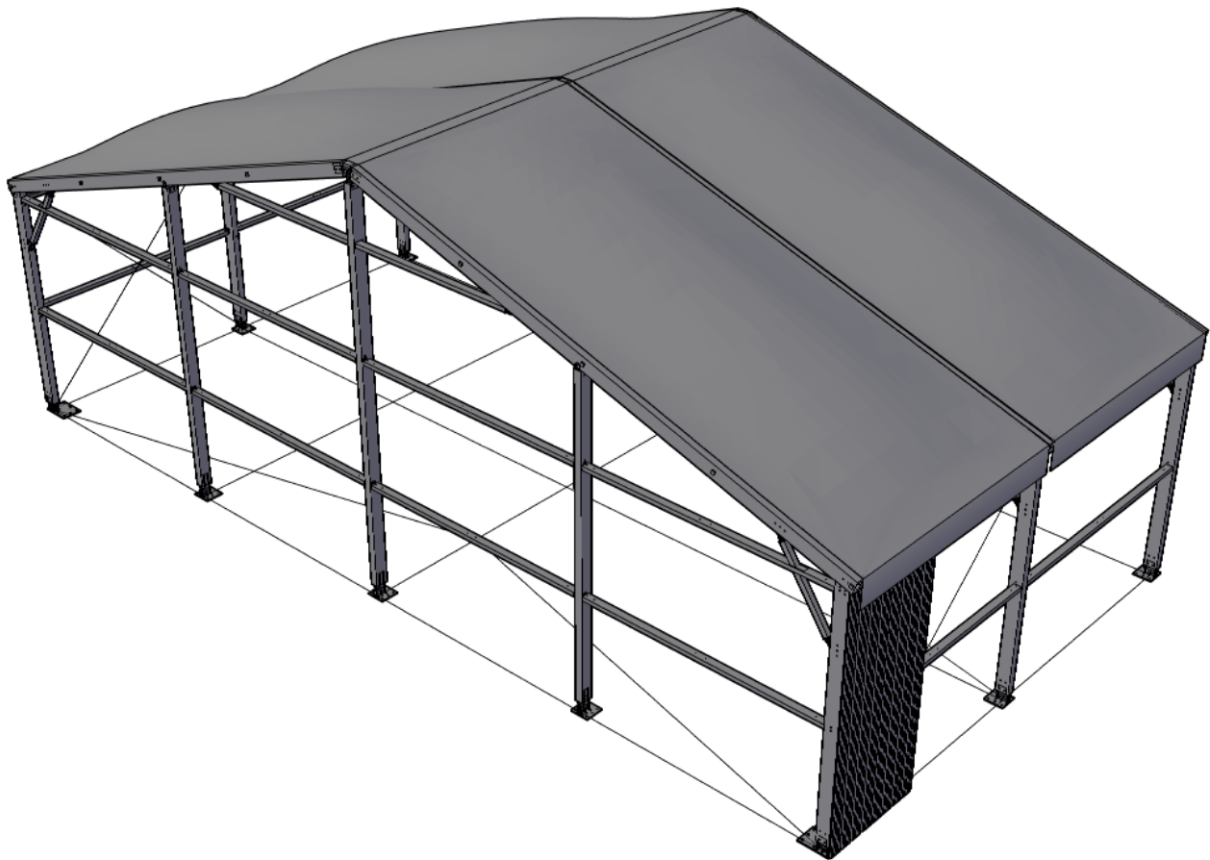


Figure 1 – Vue isométrique - principe ossature et coussins surpressés

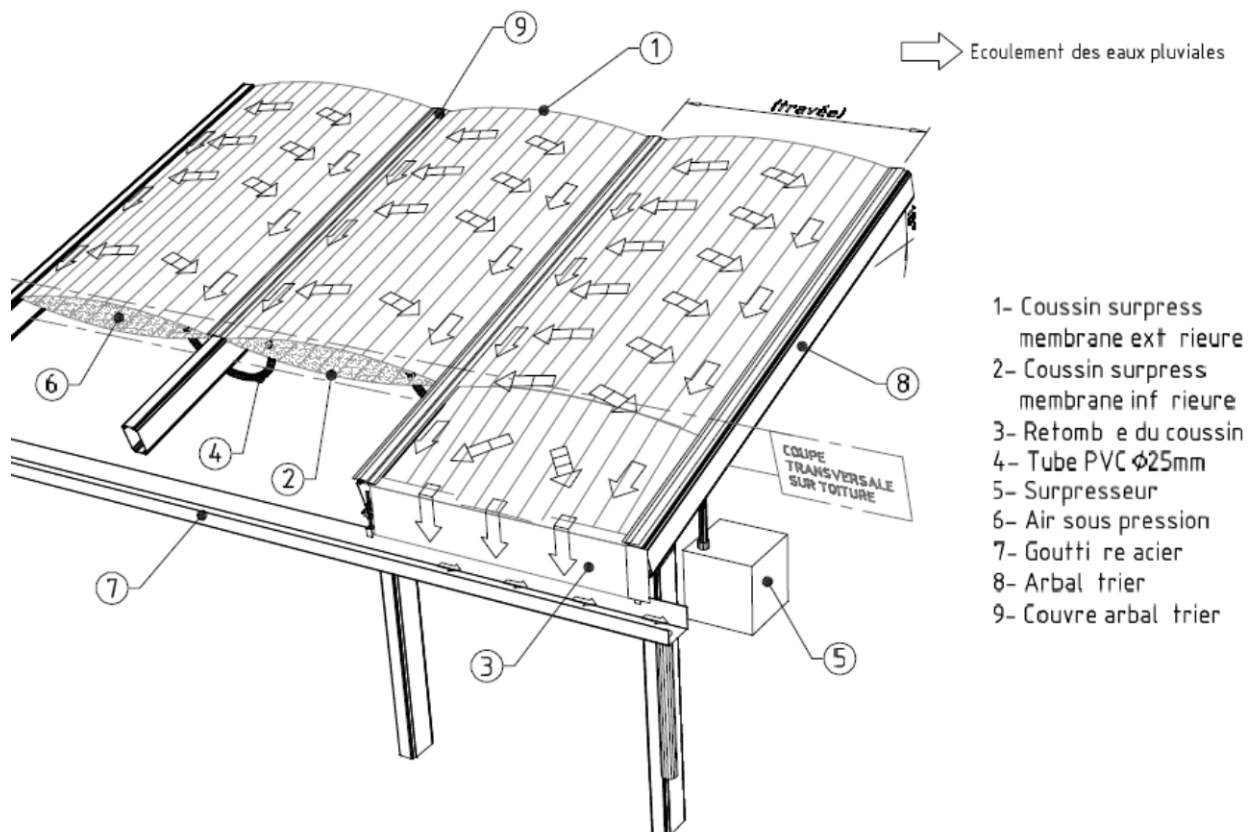
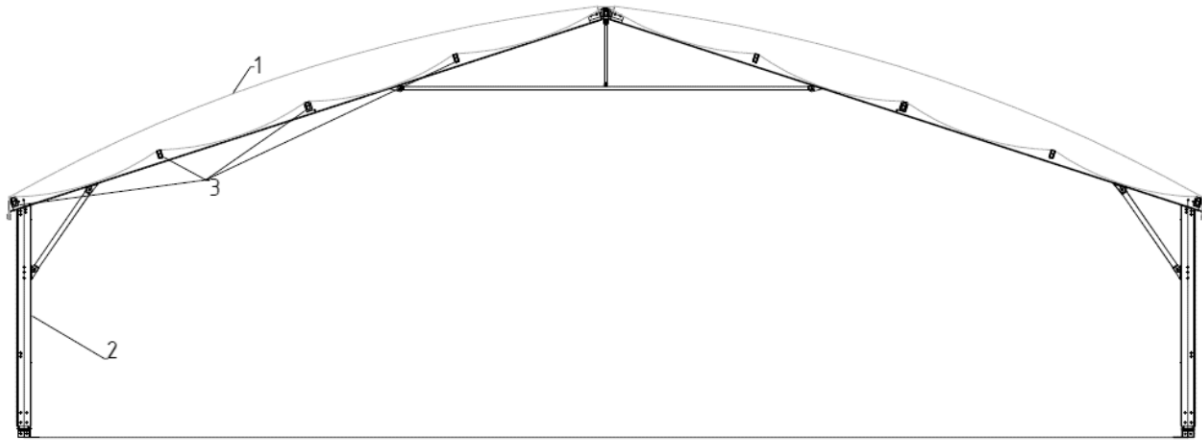
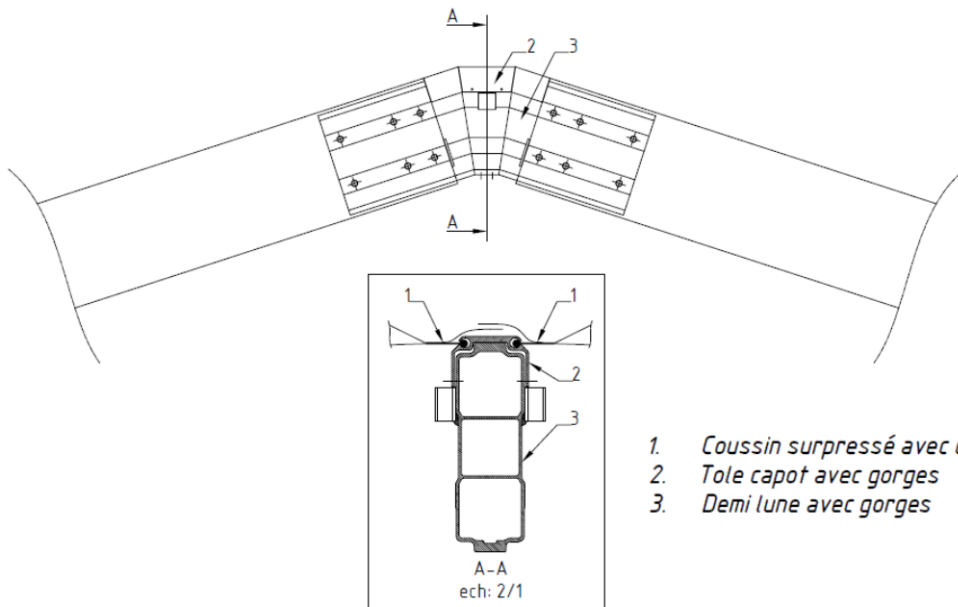


Figure 2 – Vue isométrique - principe coussins surpressés



- 1. Coussin surpressé
- 2. Ossature aluminium
- 3. Pannes aluminium

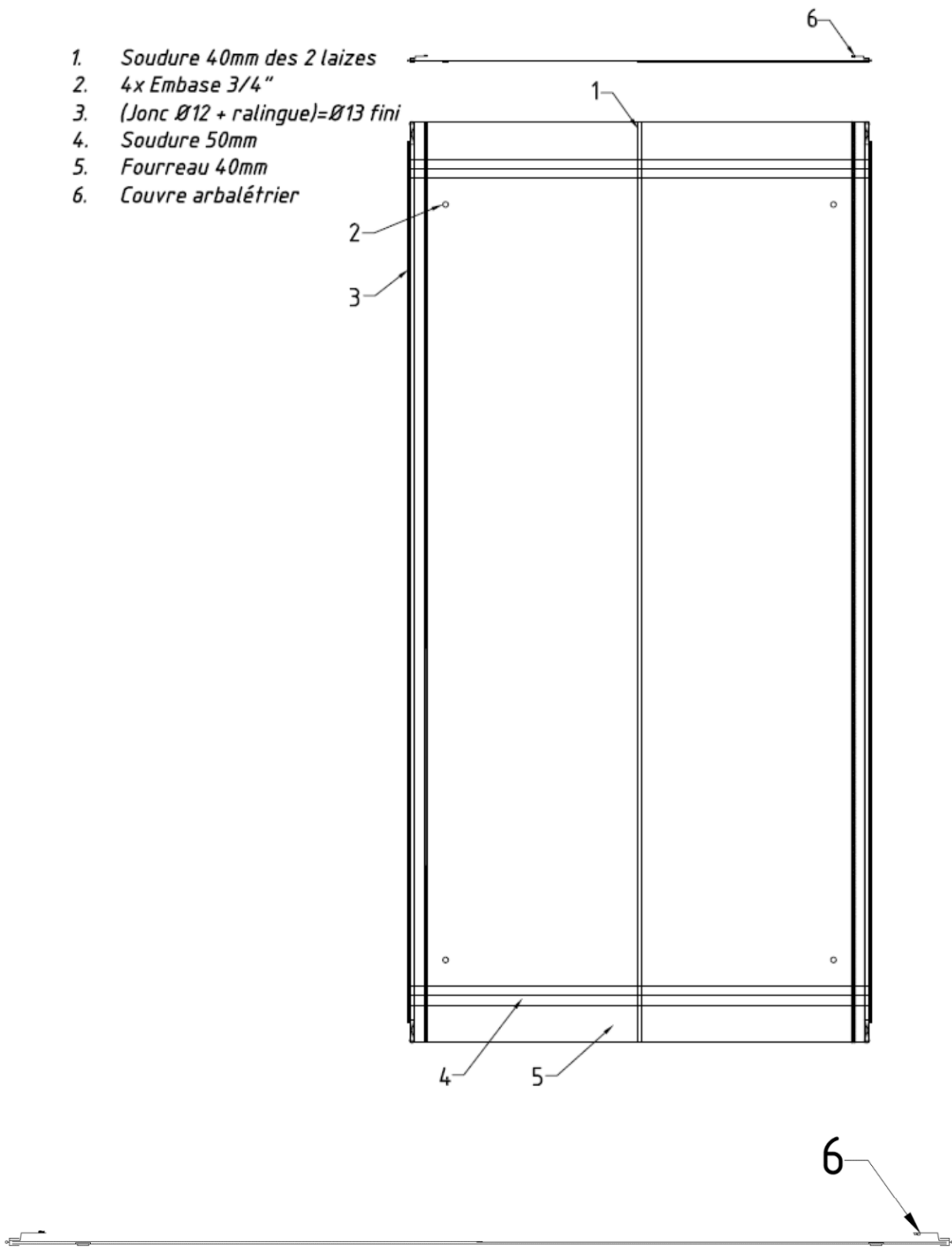
Figure 3 – Vue du portique bi-pente (18°)



- 1. Coussin surpressé avec couvre arbalétrier
- 2. Tole capot avec gorges
- 3. Demi lune avec gorges

Figure 4 – Vue détail passage toile au faîtage

1. Soudure 40mm des 2 laizes
2. 4x Embase 3/4"
3. (Jonc Ø12 + ralingue)=Ø13 fini
4. Soudure 50mm
5. Fourreau 40mm
6. Couvre arbalétrier



- Principe plan de confection d'un coussin

Figure 5

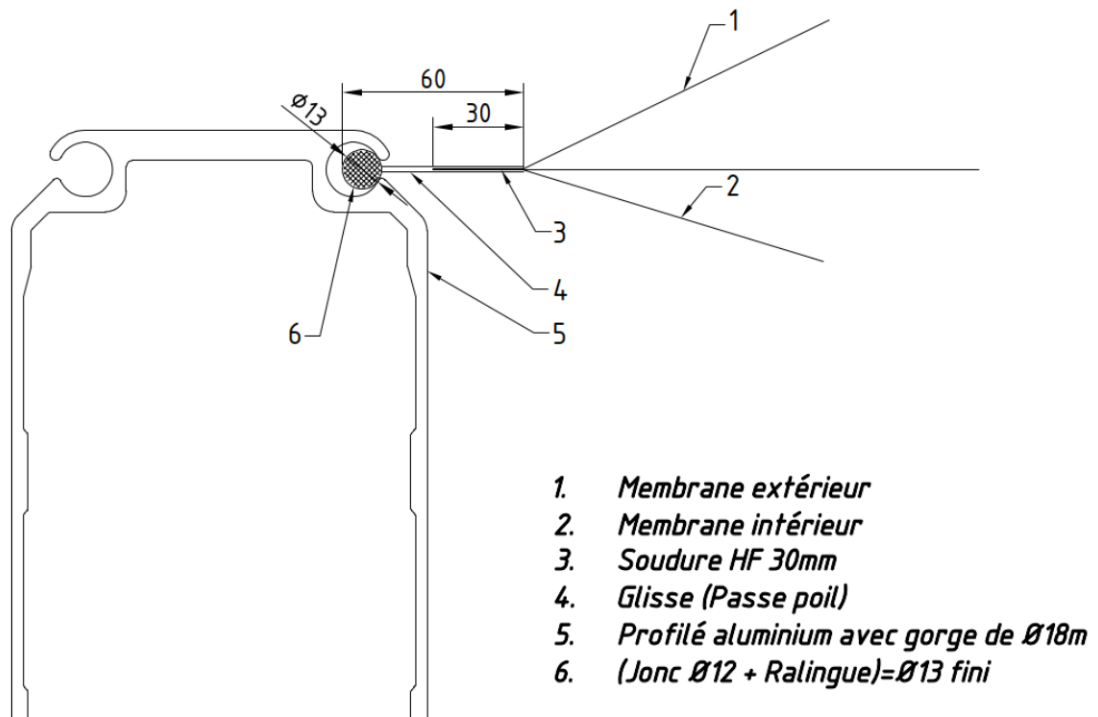


Figure 6 – Coupe sur jonc et ralingue

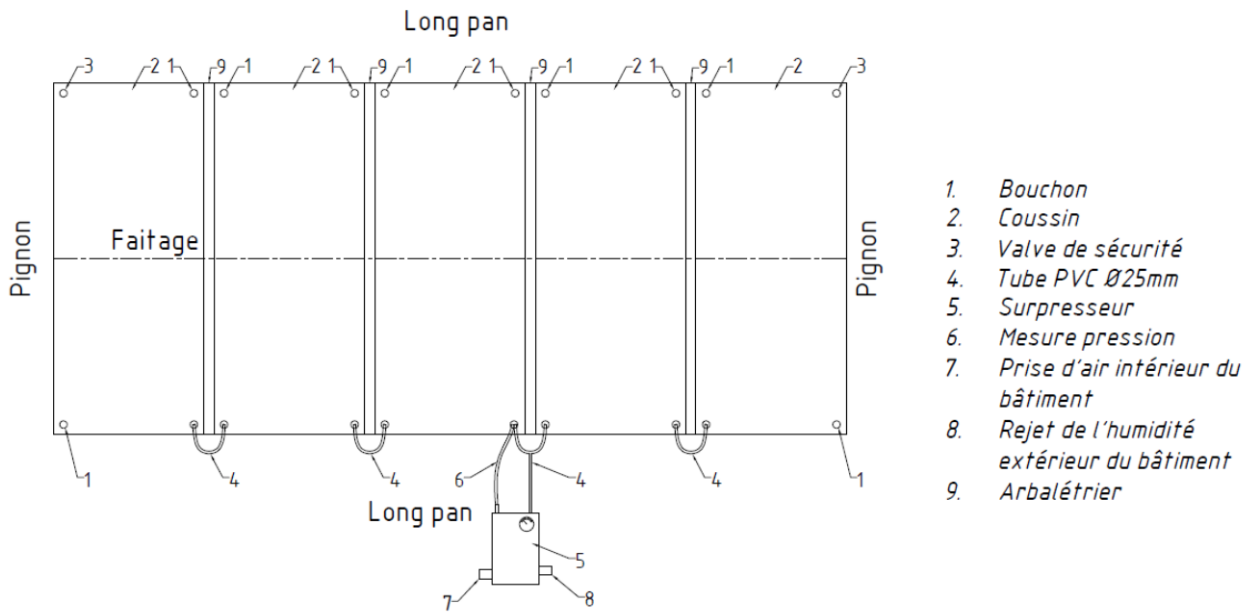
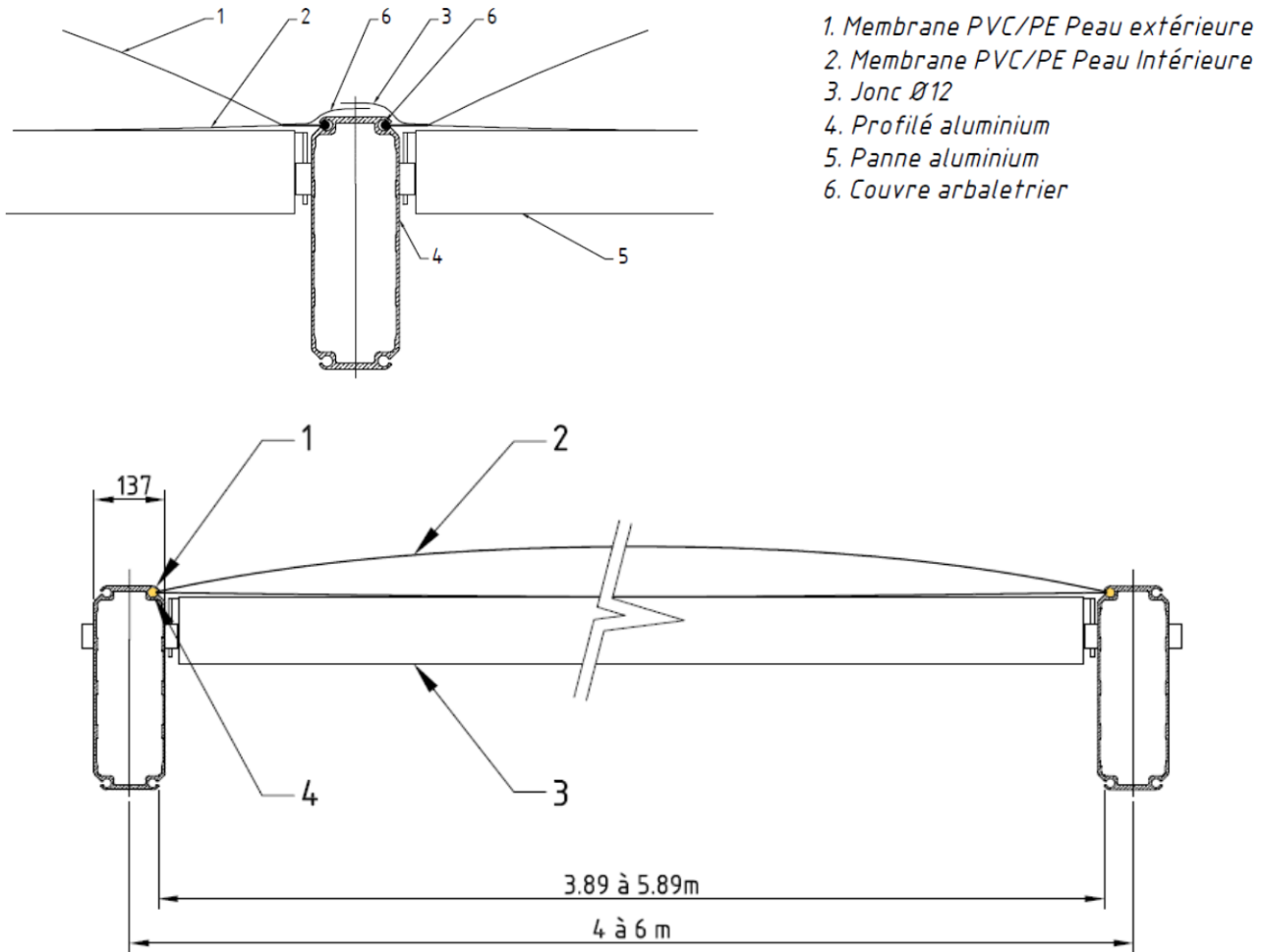


Figure 7 – Principe vue dessus des coussins



1. Profilé aluminium avec gorges
2. Coussin pvc surpressée
3. Panne aluminium anodisée
4. Passage des joncs du coussin dans les gorges

Figure 8 – Vue en coupe transversale des coussins de part et d'autre du support (profilé aluminium)

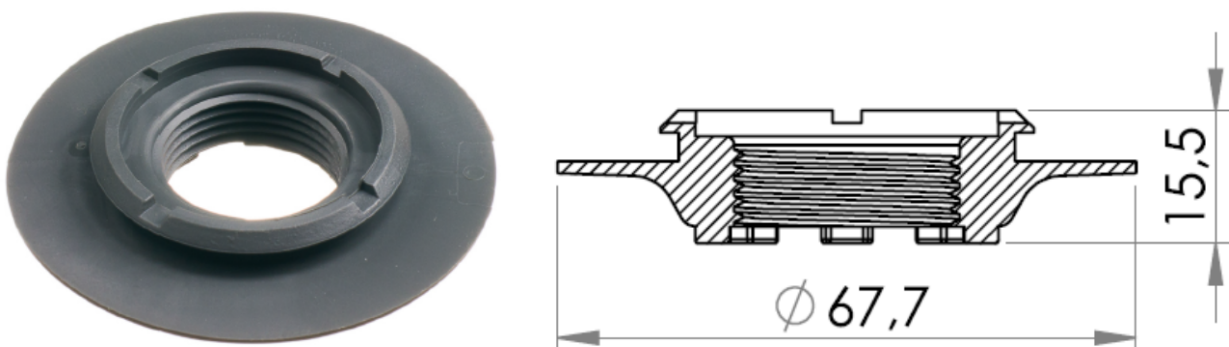
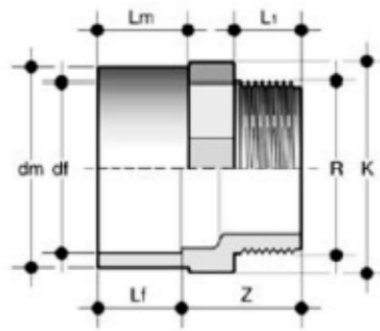


Figure 9 – Embase ou Valve de surpression



dm x df x R	PN	Lm	Lf	L ₁	Z	K	g
16 x 12 x 3/8"	16	14	12,5	11,4	21	18	4
20 x 16 x 3/8"	16	16	14	11,4	20	22	6
20 x 16 x 1/2"	16	16	14	15	23,5	22	10
25 x 20 x 1/2"	16	19	16	15	25	28	12
25 x 20 x 3/4"	16	19	16	16,3	25,5	28	17

Figure 10 – Embout de raccordement fileté

Profilé 216x137

Profilé 246x137

Profilé 316x137

Profilé 396x137

Profilé 490x140

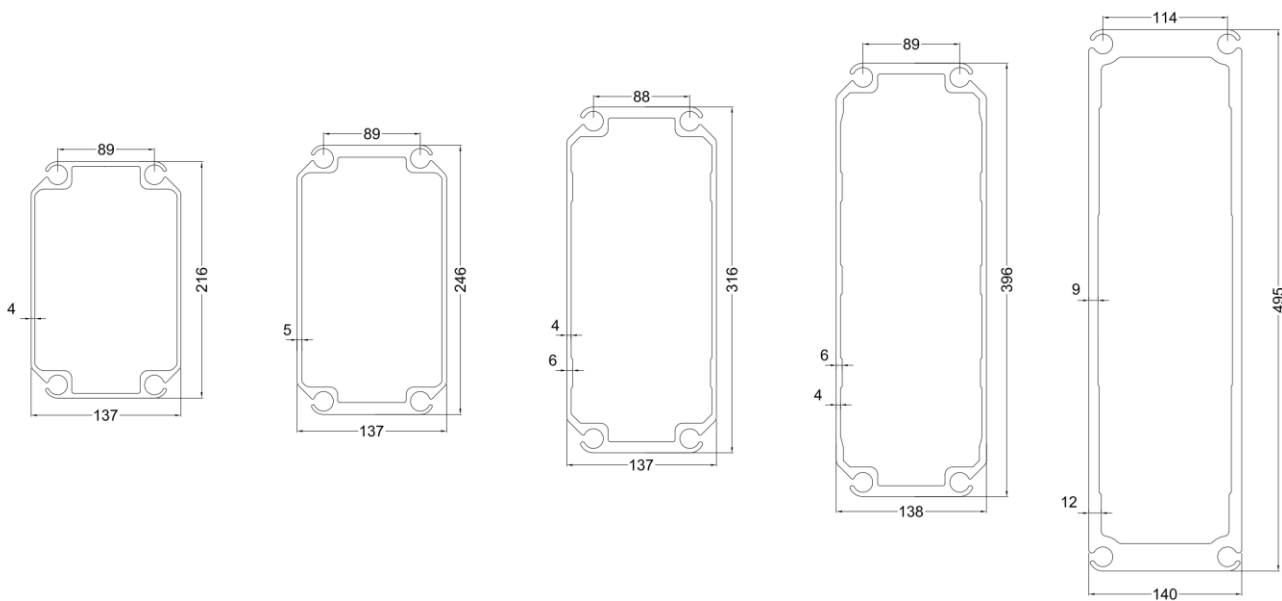


Figure 11 – Profilés aluminium

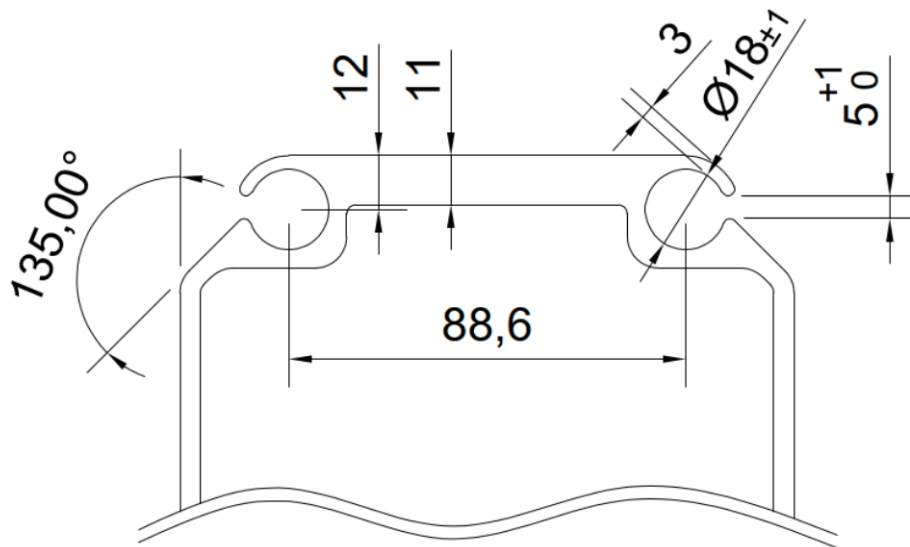
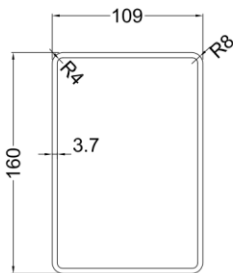
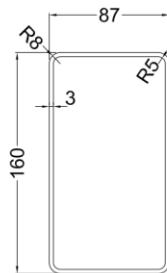


Figure 12 - Détail des profilés aluminium

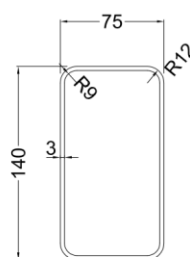
Profilé 160x109x3.75



Profilé 160x87x3



Profilé 140x75x3



Profilé 132x132x4

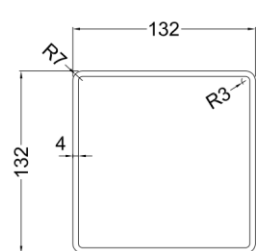


Figure 13 - Profilés aluminium - lisse

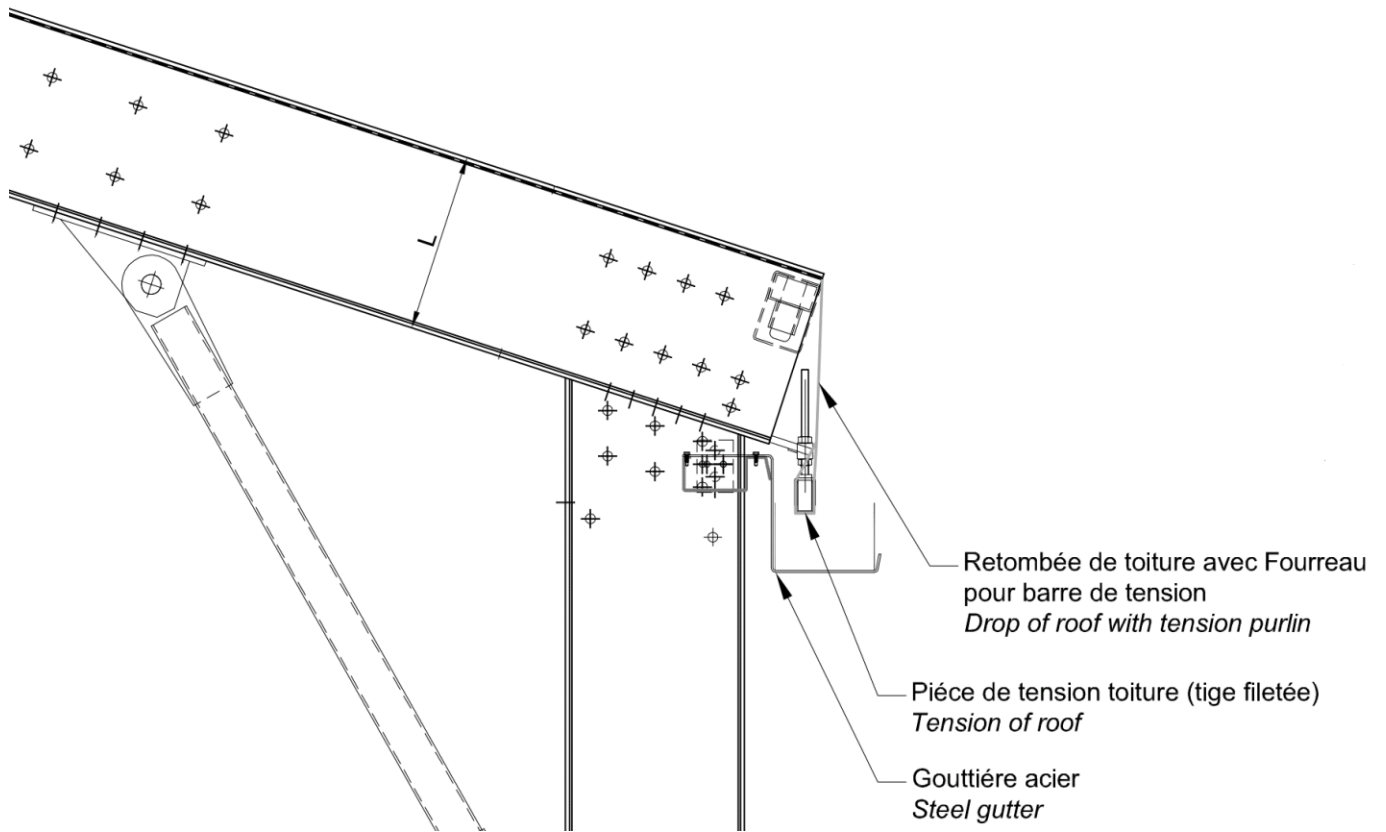


Figure 14 – Vue du portique avec principe de tension et chéneau

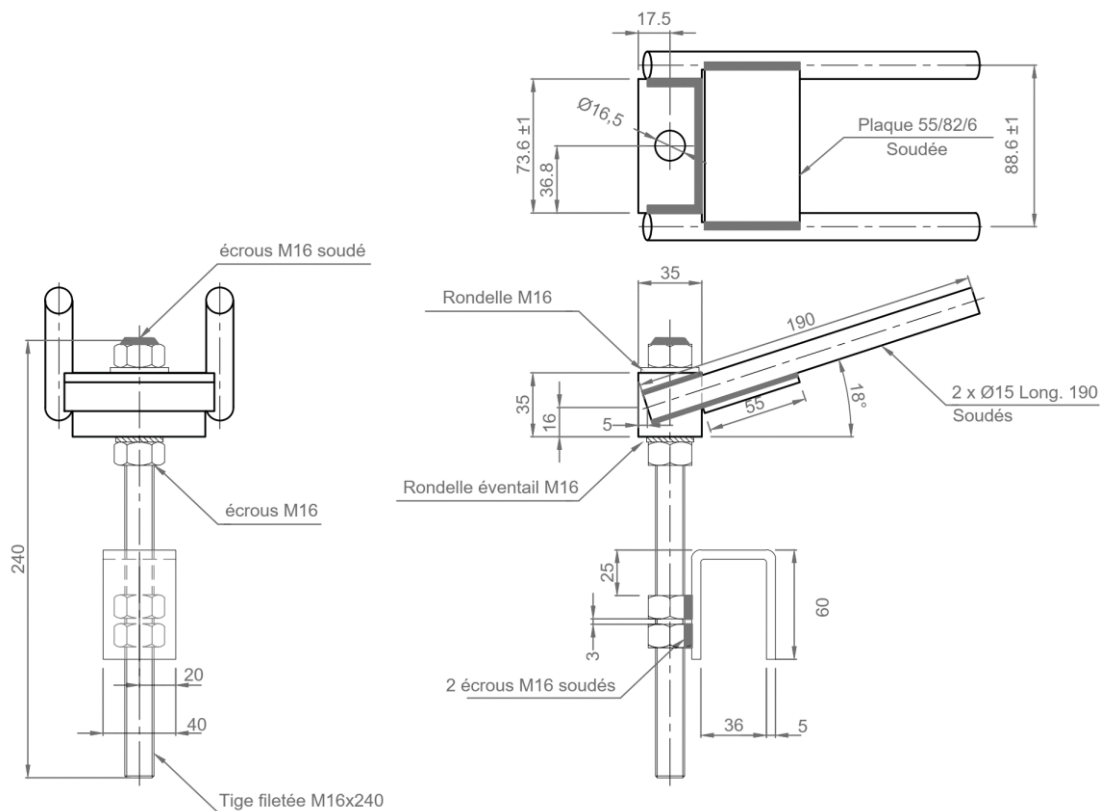


Figure 15 – Détail de la griffe de tension

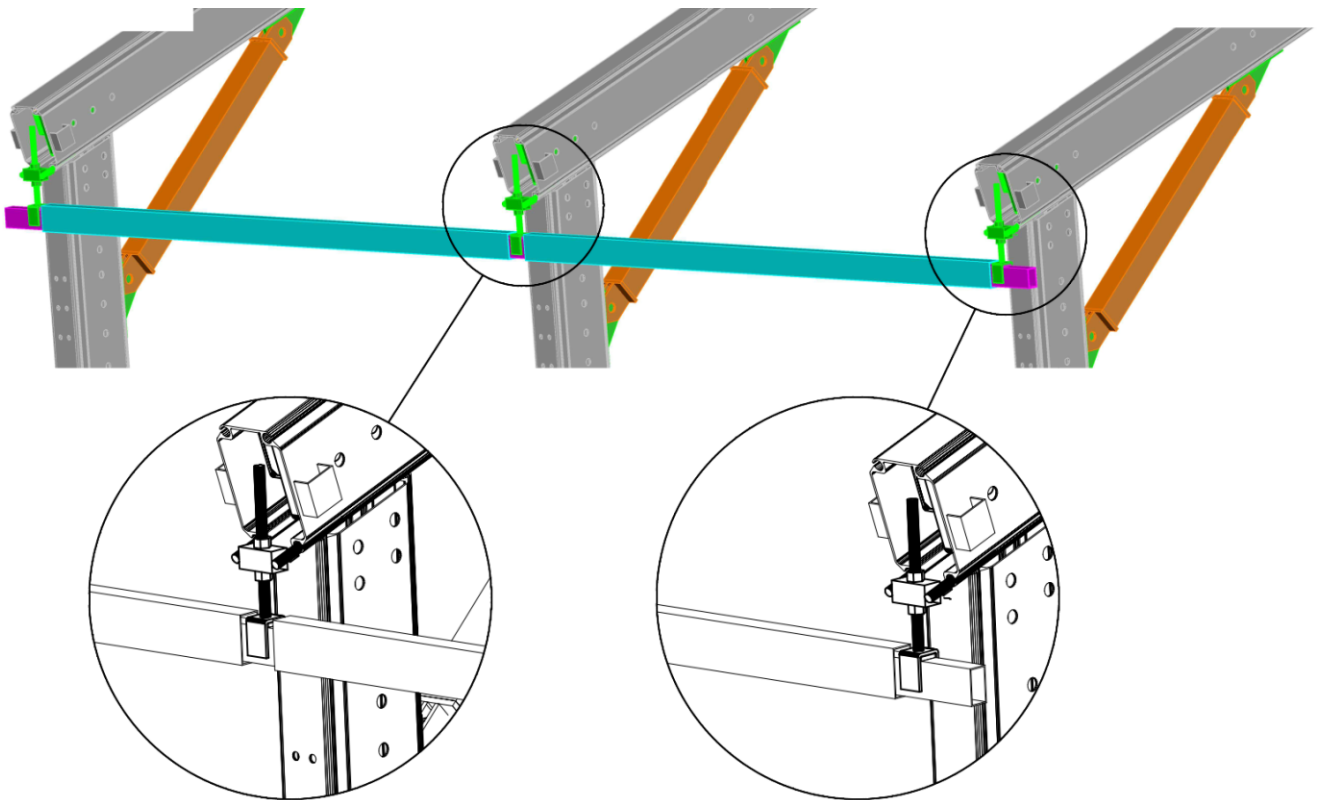


Figure 16 – Détail de la connexion de la griffe de tension

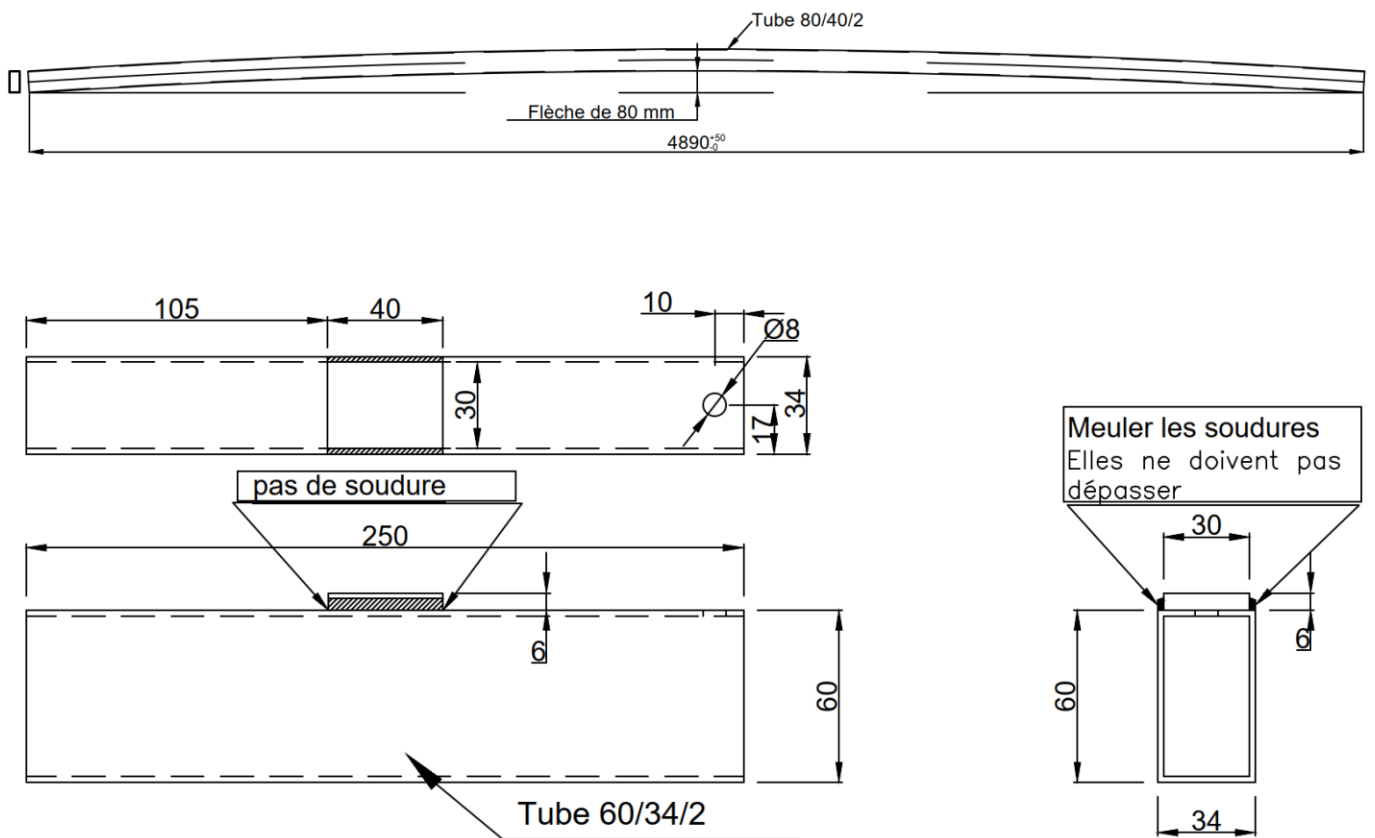


Figure 17 – Schéma des barres de tension de toiture et manchons intermédiaires

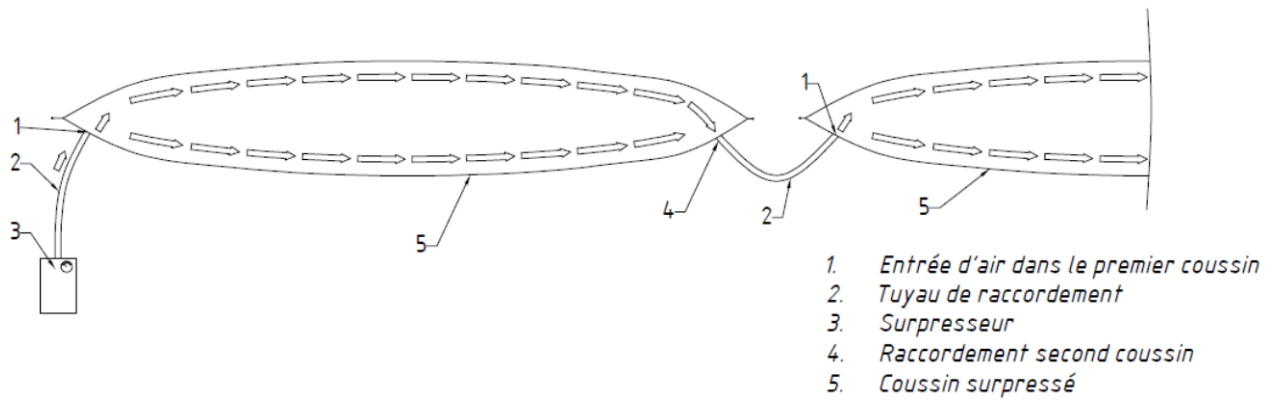


Figure 18 – Principe du circuit de surpression

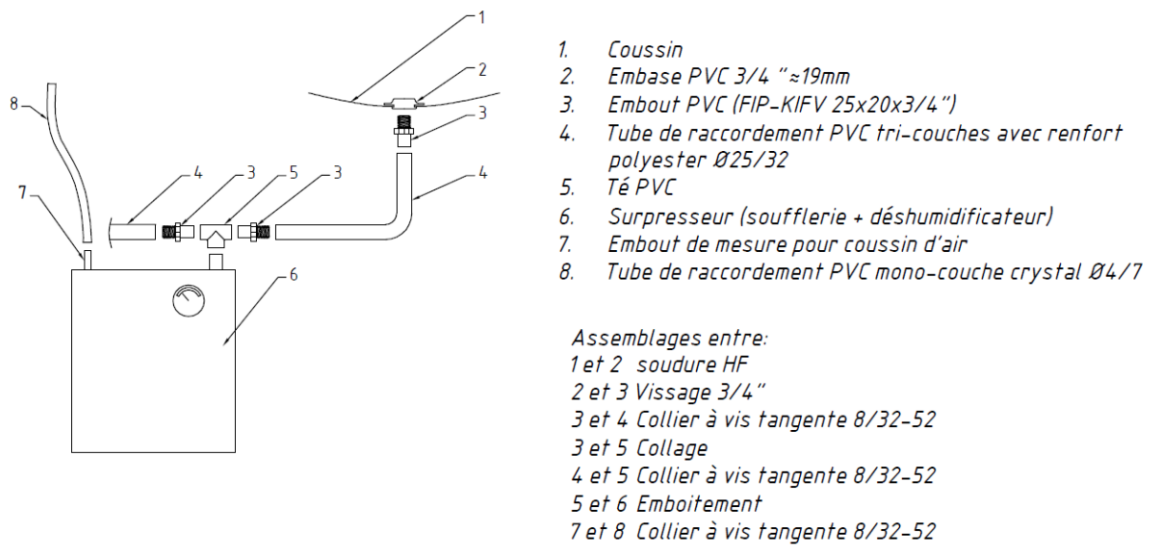


Figure 19 – Principe du raccordement du surpresseur aux coussins surpressés



Le coffret

- En tôle d'acier galvanisé, laqué.
- Revêtement acoustique intérieur avec une isolation acoustique amortissant.
- Vernis RAL 7035.
- Filtre primaire changeable pour empêcher l'entrée de poussière à l'intérieur.

Ventilateur/ Soufflage

- Conçu pour un fonctionnement permanent monté sur moteur électrique.
- La roue de roulement est équilibrée dynamiquement. Ceci permet une rotation sans vibration et avec un faible bruit.

Déshumidificateur

- Déshumidifier l'air extérieur permet d'éviter la formation de condensation et moisissure dans le coussin.
- Un sècheur par absorption est utilisé comme sècheur.

Armoire électrique

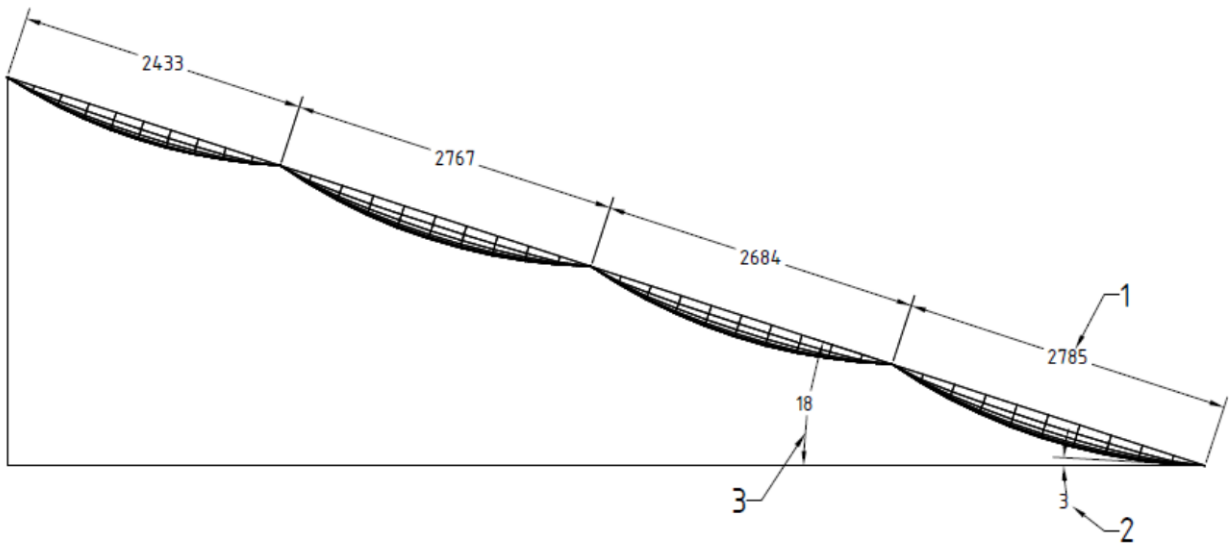
- Le pressostat permet de commander le ventilateur et la régulation de pression avec les fonctions suivantes :
- Réglage de la pression manuelle par l'interrupteur de pression.
- La mesure de la pression dans un coussin.
- Lecture de la pression sur le cadran du pressostat.
- Tableau d'affichage avec voyant d'indications de :
 - Marche (vert).
 - Défaut de fonctionnement (rouge).

Caractéristiques techniques unité de soufflage

- Débit de volume : jusqu'à 200 m³ / h.
- Pression différentielle : jusqu'à 640 Pa.
- Le taux de fuites d'air : environ 18 m³ / h.
- L'air sec : environ 18 m³ / h.
- Pression de coussin : 200 Pa, réglable.
- Souffleur : ND 100 mm.
- Puissance du moteur : 1 x 0,10 kW.
- Type de courant : 230 V / 50 Hz.
- Puissance connectée : environ 1,0 kW.
- Niveau sonore : environ 55 dB (A) à une distance de 2 m.
- Dimensions : D x W x H = environ 400 mm x 600 mm x 1100 mm.

Figure 20 – Exemple de surpresseur : caractéristiques du surpresseur Noltong

Déformée de la membrane avec une charge 1.50kN/m^2 en appui



1. Cote entre pannes
2. Pente minimum de la membrane PVC sous chargement en appui
3. Pente en degré des fermes de la structure

Figure 21 – Exemple justification écoulement eau sur une toiture membrane PVC

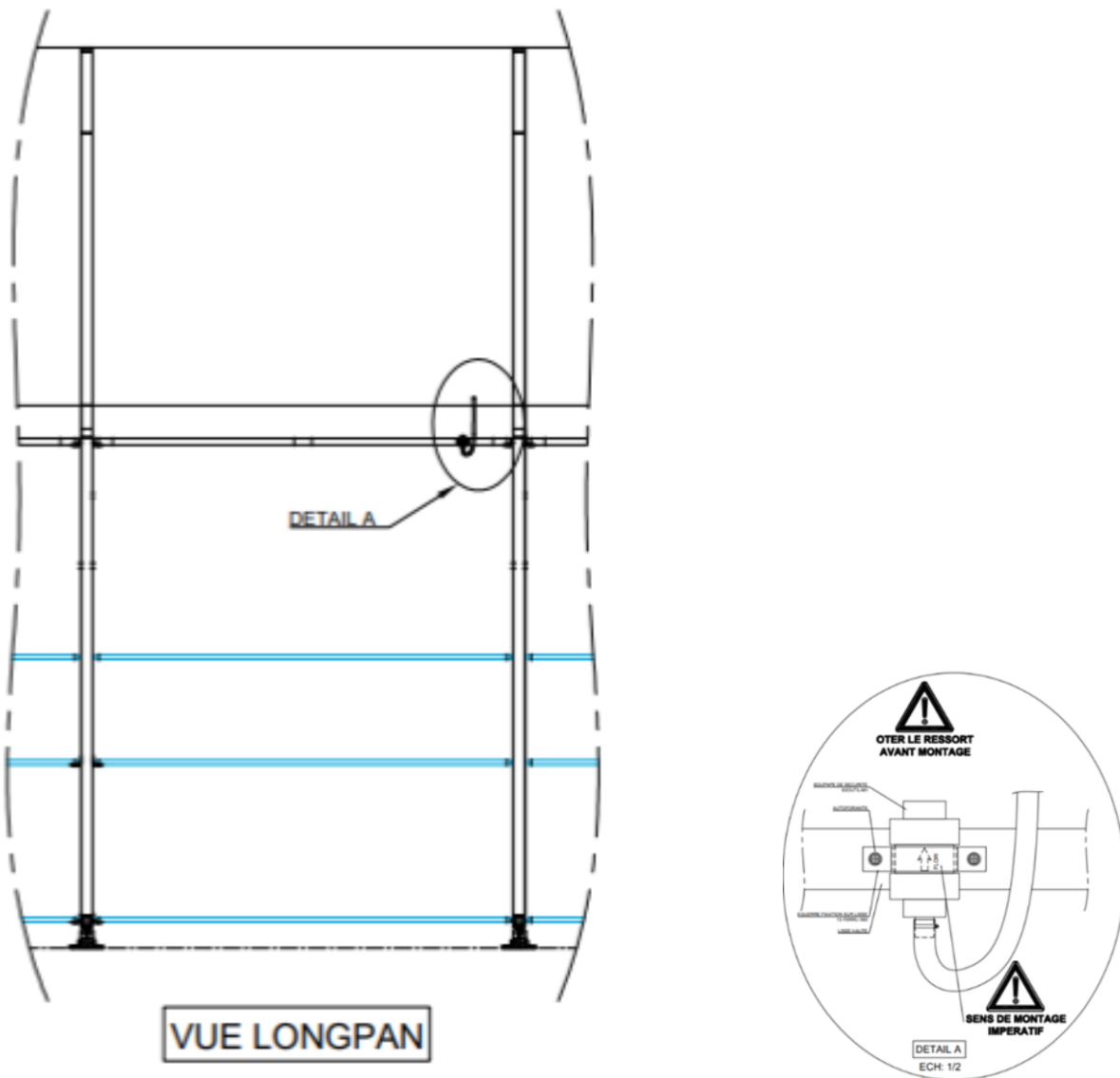


Figure 22 – Positionnement de la valve de surpression