

Sur le procédé

Coussins à membranes ETFE

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

Titulaire(s) : Société SEELE France S.A.S

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
V5	Cette version intègre : Modification du § Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé pour intégrer la jurisprudence concernant les moyens de protection anti-volatile.	BOULLON Tamara	VALEM Frédéric
V4	Cette version intègre les modifications suivantes : • Nouvelle trame d'avis Technique • Modification de la forme des coussins • Mise à jour du § Thermique • Ajout du § 2.6 Traitement en fin de vie	BOULLON Tamara	VALEM Frédéric
V3	Il s'agit d'une montée de version suite à la modification du paragraphe 2.2.2.5 Moyens de protection anti-volatile.	MOKRANI Youcef	VALEM Frédéric

Descripteur :

Verrières composées de coussins gonflables, eux-mêmes composés de 2, 3 ou 4 couches et jusqu'à 5 couches de film en ETFE (Ethylène Tétra Fluor Ethylène). Les coussins sont gonflés avec de l'air à une pression de 300 ± 50 Pa. Les coussins sont réalisés par un assemblage de lés avec des recouvrements transversaux thermo-soudés en usine.

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.....	7
2.1.	Mode de commercialisation.....	7
2.1.1.	Coordonnées	7
2.1.2.	Identification	7
2.2.	Description	7
2.2.1.	Principe.....	7
2.2.2.	Caractéristiques des composants	8
2.3.	Dispositions de conception	10
2.3.1.	Dispositions générales de conception.....	10
2.3.2.	Dimensionnement.....	10
2.3.3.	Dispositions en zone sismique	11
2.3.4.	Thermique	11
2.4.	Dispositions de mise en œuvre	12
2.4.1.	Dispositions générales de mise en œuvre.....	12
2.4.2.	Mise en œuvre des coussins	13
2.5.	Maintien en service du produit ou procédé	15
2.6.	Traitement en fin de vie	15
2.7.	Assistance technique.....	15
2.8.	Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication.....	15
2.8.1.	Dispositions générales de fabrication	15
2.8.2.	Coussins.....	15
2.8.3.	Phasage dans la fabrication d'un coussin	16
2.9.	Mention des justificatifs.....	17
2.9.1.	Résultats expérimentaux	17
2.9.2.	Références chantiers	18
2.10.	Annexe : Méthodologie de dimensionnement des coussins gonflables ETFE.....	18
2.10.1.	Chargements	18
2.10.2.	Coefficients de pondération	18
2.10.3.	Résistance ETFE	19
2.11.	Annexe du Dossier Technique.....	22

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 verrières en coussins gonflables sont utilisables dans les conditions d'exposition pour lesquelles l'action résultante unitaire correspondant à la pression de vent normal est inférieure ou égale à 1200 Pa sauf justification particulière selon la norme NF EN 13830, conformément à l'annexe de dimensionnement.

La satisfaction aux exigences parasismiques du système, utilisant le procédé de verrière en coussins gonflables, doit être appréciée au cas par cas selon l'arrêté du 22 octobre 2010 et ses modificatifs ou les normes Eurocode, dans les mêmes conditions que pour une verrière traditionnelle pour les ossatures et ses fixations.

1.1.2. Ouvrages visés

Verrières en coussins gonflables pour des bâtiments d'usage courant (de logement, d'enseignement, de bureaux, d'hôpitaux, ...).

Pour les systèmes utilisant les profilés SC-01 et SC-16, le drainage des eaux éventuelles d'infiltration est réalisé par une tôle placée entre l'ossature support et les profilés SC-01 et SC-16. L'ensemble est fixé mécaniquement par des boulons avec un dispositif d'étanchéité. Toute défaillance de ce dispositif de ce système d'étanchéité pourra être à l'origine d'infiltration d'eau. En conséquence, ce type de système est à utiliser pour des locaux dont la destination permet de considérer que d'éventuelles infiltrations d'eau ne sont pas préjudiciables.

Le présent avis exclut la formation de poche d'eau sous combinaison de charge ELU ($\gamma_q = 1,5$) et/ou sous cas accidentelle ($\gamma_q = 1,0$) si un coussin est dégonflé (en cas de coussin dégonflé, d'un tuyau arraché, d'une panne de machinerie, etc.).

La mise en œuvre du procédé sur une ossature bois est exclue pour les systèmes sans double barrière d'étanchéité.

Dans les locaux chauffés, un chéneau de recueil des eaux de condensation doit être systématique.

1.2. Appréciation

1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

1.2.1.1. Stabilité

Les verrières en ETFE ne participent pas, par nature, à la stabilité des bâtiments, laquelle incombe à la structure de ces derniers.

La stabilité propre des verrières 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 l'habitation, les établissements recevant du public, les immeubles de grande hauteur, les lieux de travail, etc.

Les classements de réaction au feu des membranes sont donnés dans le paragraphe 2.9 du dossier technique.

1.2.1.3. Sécurité aux chutes

Le système n'assure pas la sécurité vis-à-vis des chutes de personnes pour les usagers.

1.2.1.4. Sécurité des intervenants

La mise en œuvre en toiture fait généralement 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.

La sécurité vis-à-vis des chutes a été vérifiée par un essai M50/1200 Joules.

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. Pour les façades rideaux, le coefficient de transmission thermique U_{cw} doit être inférieur à 2,6 W/(m².K) si le bâtiment rentre dans le champs d'application de la RT global et 1,9 W/(m².K) si la RT par élément s'applique.

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 et à l'eau peut être assurée dans les limites du domaine d'emploi accepté.

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 le film en ETFE ne subissait 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 verrière gonflable à moyen et à long terme ne peut être totalement exclu, sous l'action des conditions atmosphériques. Toutefois, Les risques ne devraient avoir que des effets d'aspect (salissures).

Le risque de condensations passagères à l'intérieur des coussins ne peut être totalement exclu, risquant d'entraîner à terme le développement de moisissures nuisibles à l'aspect.

Les risques d'infiltration d'eau sont limités, comme pour les verrières traditionnelles, par un système de drainage à 2 niveaux (calfeutrement externe et profilés drainants) à l'exception des profilés SC-01 et SC-16 pour lesquels la seconde barrière est traversée par les dispositifs de fixation.

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

Le comportement et l'entretien prévisible des profilés extérieurs sont analogues à ceux d'une verrière avec serreur en aluminium.

La réparation confère à l'élément de verrière réparé la même durabilité que celle attendue d'un élément d'origine.

Les risques de condensation sur les profilés ne peuvent être exclus, la mise en œuvre d'un cheneau recueil des eaux de condensation est nécessaire.

La durabilité de l'ouvrage est conditionnée à la réalisation de l'entretien et de la maintenance périodique, en particulier pour les unités de gonflage et la société **seele** est tenue de proposer systématiquement un contrat d'entretien et de maintenance.

1.2.3. Impacts environnementaux

1.2.3.1. Données environnementales

Les produits de la marque « Coussins à membranes ETFE » ne disposent d'aucune déclaration environnementale (DE) et ne peuvent donc revendiquer aucune performance environnementale particulière. Il est rappelé que les DE n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du produit.

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 relatives aux produits pouvant contenir des substances dangereuses, pour leur fabrication, leur intégration dans les ouvrages du domaine d'emploi accepté et l'exploitation, de ceux-ci. Le contrôle des informations et déclarations délivrées en application des réglementations en vigueur 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 verrières gonflables, une pente minimum, 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.

Pour les systèmes utilisant les profilés SC-01 et SC-16, le drainage des eaux éventuelles d'infiltration est réalisé par une tôle placée entre l'ossature support et les profilés S-01 et SC-16. L'ensemble est fixé mécaniquement par des boulons avec un dispositif d'étanchéité. Toute défaillance de ce système d'étanchéité pourra être à l'origine d'infiltration d'eau. En conséquence, ce type de système est à utiliser pour des locaux dont la destination permet de considérer que d'éventuelles infiltrations d'eau ne sont pas préjudiciables.

La pression nominale des coussins gonflables étant de 300 Pa, il sera nécessaire de vérifier que sous combinaison de charge ELS la limite élastique des membranes y compris des membranes intermédiaires n'est pas dépassée.

Le non-contact des films ETFE avec la charpente métallique sera vérifié sous chargement ELU.

Afin de limiter les risques de désordres liés à des percements et des attaques de volatiles, il y a lieu de faire une analyse de risque d'endommagement et de prévoir des dispositifs permettant l'effarouchement des volatiles (cf § 2.2.2.5).

Cette technique est soumise à un contrat d'entretien et de maintenance par des entreprises spécialisées.

La zone d'accessibilité 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

Société seele France S.A.S
28 rue de Schweighaeuser
FR – 67000 STRASBOURG
Tél. : +33 155 25 29 84
Email : info.fr@seele.com
Internet : www.seele.com

2.1.2. Identification

Les emballages font référence à la marque **seele**.

2.2. Description

2.2.1. Principe

Verrières transparentes ou translucides de toiture, ou abri pour tous types de bâtiments, qui sont composées de coussins avec la morphologie suivante : toutes formes polygonales sont possibles avec un minimum de 3 côtés jusqu'à une forme circulaire. Pour les formes circulaires, les profiles seront sectionnés en fonction du rayon de courbure afin de suivre la courbe sans avoir de cassure trop importante.

Les dimensions maximales sont définies selon les cas de charge et la géométrie des coussins. La longueur est en générale uniquement définie d'un point de vue logistique de fabrication, transport et pose.

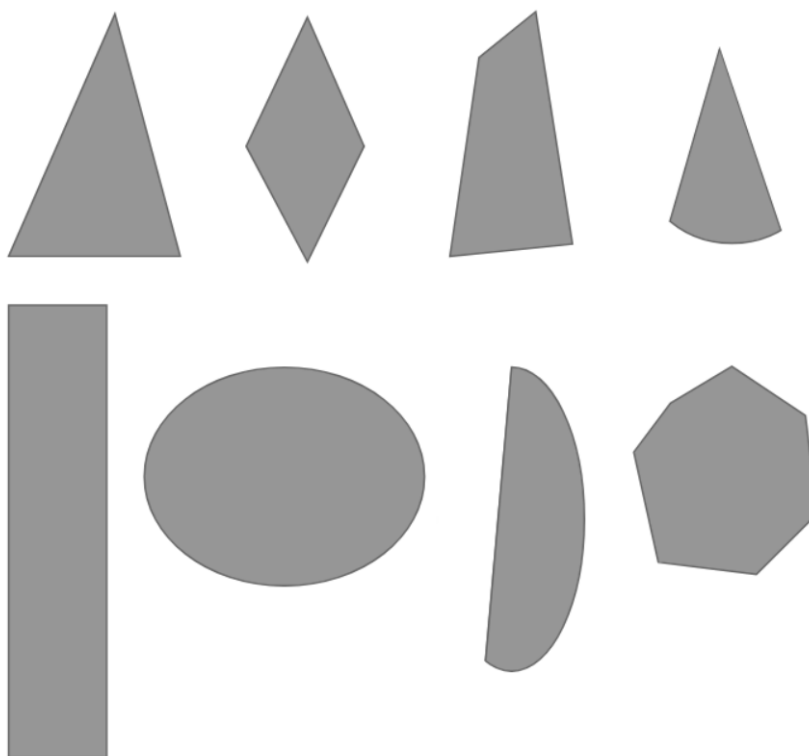


Figure 1 – Morphologie des coussins

En aucun cas l'ensemble des rives ne peut être coplanaire et il est nécessaire d'avoir une pente entre elles.
Les coussins sont composés jusqu'à 5 couches de film en ETFE.

Une pente minimum doit être respectée pour assurer l'évacuation de l'eau dans le cas du dégonflage du coussin. La pente minimum est calculée en fonction de la géométrie des coussins à l'ELU sous combinaison de charges climatiques et dans le cas accidentel d'une déchirure d'un film ou de défaillance du dispositif de gonflage.

L'absence de formation de poche d'eau doit être vérifiée par calcul pour chaque géométrie en considérant le coussin dégonflé et sous charges de neige (ELU) afin que les films ETFE restent dans la zone de déformation élastique

2.2.2. Caractéristiques des composants

2.2.2.1. Coussin ETFE

- Film ETFE

La matière utilisée dans les coussins à membrane ETFE est un matériau polymère viscoélastique obtenu par copolymérisation synthétique. Celui-ci est composé des unités monomères modifiées d'Éthylène et de fluor éthylène. Les monomères sont formés par 3 éléments chimiques, le fluor (F), le carbone (C) et l'hydrogène (H).

Coussin réalisé avec un minimum de 2 couches de film jusqu'à 5 couches avec une épaisseur de film de 100-500 microns selon les besoins.

La zone d'installation des coussins à membrane ETFE est exclue si la hauteur d'installation est inférieure à 2,50 mètres sans dispositif de protection spécifique afin d'éviter les dégradations volontaires.

Les finitions disponibles en film :

- T transparent,
- C teinté,
- M mate,
- P impression sérigraphiée.

Epaisseur μm	100	150	200	250	300	350	400	500
Poids g/m^2	175	262,5	350	437,5	525	612,5	700	875

Tableau 1 – Epaisseurs des films

Contrainte de traction à rupture	$F_{u,d(f)}$	>40	MPa	EN ISO 527-1
Contrainte de traction à rupture de la soudure	$F_{y,d,(ws)}$	>30	MPa	-
Contrainte de traction à 10% à l'état neuf		>18	M Pa	EN ISO 527-1
Contrainte de traction après 5000h UV		>40	M Pa	EN ISO 527-1
Allongement à rupture		>300	%	EN ISO 527-1

Tableau 2 – Caractéristiques des films

Résistances minimales suivant EN 527-1 / 527-3, géométrie échantillon type 2 (bandes d'échantillons)	
Effort de tension membrane / bourrelet de soudure	$f_{y, d (f, ws)} \geq 21 \text{ MPa}$
Résistance à la traction soudure	$f_{u, d (ws)} \geq 30 \text{ MPa}$
Résistance à la traction membrane	$f_{u, d (f)} \geq 40 \text{ MPa}^*$
* La résistance à la traction minimale de la membrane est, à l'état neuf, ainsi qu'après 10 ans $f_{u, d (f), 10 \text{ years}} \geq 40 \text{ MPa}$.	

Tableau 3 – Résistance minimale

Selon les essais réalisés par **seele**, aucune différence n'a été constatée en propriétés mécaniques entre les films.

Les coussins gonflables en ETFE sont classés au feu B-s1, d0.

- Ourllet de rive dite «Keder»

La rive des coussins est fermée avec une poche ETFE d'épaisseur 200 micron minimum autour d'un cordon en EPDM extrudé de diamètre 6 mm, dureté 80 ± 5 Shore A.

- Valve de gonflage en ETFE

La valve des coussins est formée d'éléments fraisés ronds et étanches à l'air, en matériaux aluminium EN-AW6060 T6/T66 anodisé. Les valves sont anodisées conformément à la norme EN ISO 7599 (équivalent DIN 17611 E6/C-0 (EV1)). L'anodisation respecte les dispositions de la NF P 24-351 et sont sous label QUALANOD ou QUALIMARINE suivant les conditions d'exposition définies dans la norme. L'épaisseur de la couche d'anodisation est comprise entre 20 et 25 μm .

2.2.2.2. Profilé aluminium (Cf. figures 1 à 7)

Pour la fixation des coussins ETFE sur la structure métallique, 5 différents systèmes de profilés aluminium, réalisés par extrusion en aluminium EN-AW6060/T6/T66 suivant les normes NF EN 573-1 à -4 et NF EN 755-1 à -5, sont utilisés :

- SC-01, SC-16 et SC-19 : profils symétriques pour maintenir un coussin de chaque côté ;
- SC-02 et SC-15 : profils dissymétriques pour le maintien d'un seul coussin – le plus souvent installés en combinaison avec un chéneau entre 2 coussins ETFE.

Les profilés aluminium sont anodisés E6/C-0 (EV1) selon la DIN 17611. L'épaisseur d'anodisation varie de 20 à 25 µm.

La liaison entre coussin ETFE et profilé aluminium est obtenue par l'ourlet de rive dit « keder ». L'ourlet de rive est maintenu dans un profilé en aluminium extrudé en forme de C, suivant la norme NF EN 755-2. Ce profil est fixé sur le profilé de base.

Les figures 1 à 11 en annexe décrivent les différents systèmes de profilés aluminium y compris moyens de fixation (matériaux, dimensions, espaces, etc.) et accessoires.

Les profilés peuvent être anodisés ou laqués sous label Qualicoat ou label Qualanod ou équivalent, suivant les conditions d'exposition définies dans la norme NF P 24-351. L'épaisseur minimale d'anodisation est de 20 µm. L'épaisseur de laquage est définie spécifiquement selon les systèmes de laquage.

Les joints d'étanchéité en EPDM sont des profilés extrudés en forme (profilé d'angle ou profilé capot) avec une dureté entre 50 et 80 ± 5 Shore A, conforme à la norme EN 10204.

Les fixations des profils de base sur l'élément de structure primaire sont définies dans le paragraphe 2.6 du Dossier Technique.

L'ensemble des câbles anti-pigeon sont des câbles en Inox type 1.4401 de diamètre de 1 à 3 mm avec des ressorts en inox porté par des supports en inox.

2.2.2.3. Equipement de gonflage (Cf. figure 24)

Le système de gonflage de coussins est constitué d'un réseau de tuyau d'air (conduits d'air, conduits d'entrée et de sortie) et d'une unité de gonflage (soufflerie principale et secondaire, assécheur d'air).

- Le réseau d'air

Le système de conduits d'air est réalisé en circuit fermé (possibilité d'un circuit ouvert, si nécessaire). Il ne comporte pas d'éléments pouvant transférer des charges et donc ne fait pas l'objet d'un calcul statique.

Le système de conduits d'air est fixé sur les éléments de la structure porteuse. Des raccords de dilatation sont prévus en tuyau flexible EPDM.

Le système de conduits d'air est composé des éléments et des matériaux suivants :

- Conduits d'air primaire - $d > 50$ mm (80 à 300 mm)
 - tuyau métallique agrafé selon EN 12237 classe D, matériau acier galvanisé, aluminium ou inox selon exigence du projet à réaliser ;
 - tube rond, matériau: PVC-U, résistant aux UV.
- Conduits d'air - raccord au coussin - $d = 50$ mm

Conduit flexible raccordant le circuit d'air primaire au coussin.

Tuyaux flexibles, variantes réalisées en matière de polymère de fluor, par exemple : FEP ou ETFE.

- Accessoires

Colliers à tube et moyens de fixation correspondants (vis, écrous, rondelles), en acier inox selon les normes de la série NF EN 10088 (nuance minimale 1.4301 (A2)) ou en acier galvanisé suivant les conditions d'exposition définies dans la norme NF P24-351.

- L'unité de gonflage

Le système de pression est composé d'une ou de plusieurs stations de gonflage réglables.

Ces stations sont composées d'une soufflerie principale et d'une soufflerie secondaire (pour des raisons de sécurité et de redondance), d'un groupe électrique de secours, si nécessaire, en plus de la connexion au réseau public d'électricité de 230V / 400V.

La puissance et le nombre de souffleries dépendent du volume du coussin à alimenter et de la pression nominale intérieure du coussin à atteindre. Une station peut, au maximum, fournir l'air de soutien à une surface de coussin d'environ 4 000 m². La pression nominale intérieure est de 300 Pa.

Les souffleries principales et secondaires sont dimensionnées de manière identique ; elles peuvent fonctionner en automatique ou en manuelle.

Les souffleries principales et secondaires fonctionnent par redondance, de manière alternée automatiquement ou manuellement de façon hebdomadaire. Cette redondance vise à une usure régulière des souffleries ainsi qu'à pouvoir relever des erreurs de fonctionnement. Elles peuvent aussi fonctionner simultanément de sorte à fournir à peu près le double du volume d'air d'un coussin.

- Technique de mesure d'air et de régulation

Pour chaque unité de gonflage, le système de mesure d'air et de régulation de la pression est constitué d'un capteur de mesure de pression pour la régulation de la soufflerie et d'instruments de mesures complémentaires tel que capteurs de pression $p_{\min}$ et $p_{\max}$. Des capteurs de vent, de neige, de température, d'indication de manque de pression ou de l'alarme visuelle ou acoustique de manque de pression, etc. peuvent compléter ce système.

Le système de mesure d'air et de régulation est constitué d'un capteur de mesure d'air par coussin, d'un capteur de mesure de pression pour la régulation de la pression de la soufflerie, et d'instruments de mesures supplémentaires, comme les capteurs de vent, de neige, de température, d'indication de manque de pression ou de l'alarme visuelle ou acoustique de manque de pression, etc.

La différence de pression produite par la soufflerie par rapport à celle de l'environnement correspond au standard de 300 Pascal (Pa) (pression nominale intérieure, p_{nom}). Elle varie à l'intérieur de la plage de tolérance réglée. La tolérance normale correspond au standard de 50 Pa.

Pour stabiliser le coussin dans le cas de charges de vent, la pression nominale intérieure est suffisante. Plus les valeurs de seuil inférieur et supérieur sont faibles (plage de tolérance), plus la soufflerie se mettra en marche régulièrement.

L'absence de formation de poche d'eau est à déterminer au cas par cas par dimensionnement à l'ELU.

La conception de la puissance de soufflerie, du réseau des conduits d'air et des sections des tuyaux est effectuée par SEELE. Les sections des tuyaux du réseau d'air sont généralement $\varnothing 50$ mm pour l'alimentation du coussin et $\varnothing 80$ à 300mm pour la station d'alimentation.

2.2.2.4. Accessoires (Fournis par seele)

- Bande butyle

Bande auto-adhésive double face pour auto-soudure, matière d'étanchéité flexible et à élasticité permanente sur la base du butyle pour un assemblage étanche des éléments en PVC.

- Bande PE

Bande auto-adhésive d'étanchéité en polyéthylène, à cellules closes et microporeuse pour un assemblage étanche d'éléments exposé à un fort rayonnement UV.

- Bande Kompri

Bande d'étanchéité auto-adhésive sur une face, à cellule ouverte imbibée d'acrylate pour un assemblage étanché de joints de dilatation. Cette bande d'étanchéité gonfle lentement après sa mise en œuvre.

- Loctite 511 d'origine Henkel ou équivalent

Joint liquide pour étanchéité (pas de blocage) pour les connexions vissées.

- Chéneau de condensation

Élément en tôle d'acier, soudée aux jointures avec une membrane PVC-U ou TPO/FPO

2.2.2.5. Moyens de protection anti-volatile

Afin d'assurer une durée de vie d'une verrière ETFE compatible avec la vie de l'ouvrage, la maîtrise d'ouvrage devra intégrer à son projet une analyse de risques d'endommagement vis à vis des volatiles nuisibles ; le but de cette analyse étant de limiter la possibilité pour les oiseaux de se poser sur les ossatures ou les coussins par la mise en place de dispositifs d'éloignement physique ou d'effarouchement tels que décrits dans les exemples suivants :

- Fixation sur les profilés de couvertures de protection en acier inoxydable avec support en forme de V (espacement d'environ 1,0m), qui maintiennent en place 2 fils (diamètre = 1mm) ; la tension du fil est créée au moyen d'un ressort, qui est fixé à l'extrémité de chaque dispositif.
- Mise en place de filets adaptés (résistants aux intempéries, aux UV, aux insectes et oiseaux, à la pollution etc.).
- Installation de systèmes d'effarouchement de type : envoi d'ultrasons ou de sons spécifiques aux nuisibles, menace mobile, laser invisible pour l'œil humain, détection à reconnaissance de forme, détection à reconnaissance vocale, fauconniers, drones, etc.).

2.3. Dispositions de conception

2.3.1. Dispositions générales de conception

Les éléments d'ossature secondaire et leurs fixations seront calculés et vérifiés en utilisant les règles de calculs et les normes en vigueur.

Le dimensionnement des coussins est réalisé par la société **seele** avec un logiciel propre à la société, qui a fait l'objet d'un contre-calcul par le CSTB.

Les contraintes limites données au Tableau 2 correspondent à la limite élastique déterminée par **seele**, pour donner suite à une campagne d'essai interne.

La résistance du complexe de reprise sur les profilés doit être vérifiée au cas par cas sur chaque opération.

Pour l'appréciation du risque de rétention d'eau ou de neige, il devra être tenu compte des éventuelles déformations de l'ossature primaire et des déformations des coussins sous poids propre et charge pondérée (ELU).

2.3.2. Dimensionnement

- Méthodologie de calcul de la résistance des coussins.

La méthode de calcul des coussins est similaire à celle utilisée par les autres types d'habillage d'enveloppe :

- Calcul des hypothèses des charges climatiques.
- Calcul de la résistance des coussins par rapport à ces hypothèses.
- La fourniture d'une descente de charges au charpentier sous la responsabilité de seele.
- Calcul des hypothèses de charges climatiques

Les hypothèses sont basées sur l'Eurocode.

Les hypothèses de charge sont soit définies par le bureau d'étude structure (déjà déterminées) ou seele les détermine suivant les normes européennes, en particulier celles de NF EN 1990. Lorsque les hypothèses sont déterminées par seele, il y a une concertation des hypothèses de charge avec l'ingénieur statique de la structure primaire.

Le standard est de tenir compte des hypothèses de charges suivantes et de les superposer :

- Poids propres (dans la mesure où il n'est pas négligeable) ;
- Précontrainte en raison de la pression nominale intérieure du pneu ainsi qu'en cas de défaillance de l'alimentation en air ;
- Température ;
- 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.

La vérification de la résistance des coussins est faite avec les charges climatiques ELU.

Les différentes combinaisons de charges sont :

- le poids propre, la précontrainte et la pression nominale de gonflage
- le poids propre, la précontrainte, la pression nominale de gonflage et le vent
- le poids propre, la précontrainte, la pression nominale de gonflage et la neige
- le poids propre, la précontrainte et la stagnation de l'eau
- le poids propre, la précontrainte, la pression nominale de gonflage, la neige et le vent.
- Analyse de la détermination de la forme et de la précontrainte

L'analyse de la détermination de la forme et de la précontrainte des coussins à membrane ETFE **seele** se font dans l'entreprise même (bureau technique) ou sous la responsabilité de celle-ci. Cette analyse a été menée moyennant FE-Software EASY, TECHNET GmbH ; Stuttgart, par emploi de la méthode force-densité, bases de l'analyse suivant l'état actuel de la technique par exemple : SAP-REPORT 'Prospect for European guidance for the structural design of tensile membrane structure », Natalie Stranghoener, Jörg Uhlemann, +20 authors (2016) ou European Design Guide for Tensile Surface Structures, Foster, B., Mollaert, M., TensiNet, 2004.

- Justifications des calculs de capacité de charge, d'exploitation et de durabilité

Les justifications des calculs pour les coussins à membrane ETFE sont effectuées suivant le concept de dimensionnement **seele**, Obing, 2007, vérifiées et validées par l'Institut de certification, de contrôle et de vérification Dr. Blum, Stuttgart/Allemagne, accréditée par le Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt) pour membranes.

Les états limites de la capacité de charge et de l'exploitation des coussins à membrane ETFE **seele** ont été définis pour les cas de charges concernées. Ceux-ci sont contenus dans le document technique.

Les justifications des calculs pour les profils en aluminium et de leurs liaisons se font sur la base des normes unifiées européennes pour éléments en aluminium, éléments en acier et connexions vissées.

La résistance du complexe de reprise (profilé aluminium de base avec les films) sur les profilés doit être vérifiée au cas par cas sur chaque opération (essais sur la base de 5 échantillons en considérant la valeur calculée « moyenne – 2,33 x écart type » selon la norme EN 1990 Tableau D1).

2.3.3. Dispositions en zone sismique

Les activités sismiques ne représentent pas de risque majeur pour les coussins gonflable en ETFE, compte tenu de leur faible poids (525 g/m² pour une épaisseur de 300 µm), de leur souplesse et du type de sollicitations de la membrane (traction uniquement).

La composition des coussins gonflables en ETFE permet d'absorber et de diminuer les sollicitations sismiques de la structure primaire lors d'une activité sismique.

Remarque : Un calcul sismique de la structure primaire soutenant la verrière doit être réalisé indépendamment du système de coussins gonflables en ETFE.

2.3.4. Thermique

2.3.4.1. Calcul du coefficient de transmission surfacique, U

Le coefficient de transmission surfacique de la verrière se calcule conformément aux règles Th-Bat, comme étant une moyenne pondérée des coefficients surfaciques et linéiques des éléments par les surfaces correspondantes.

Le coefficient de transmission surfacique d'un élément de verrière U_{cwi} se calcule d'après la formule ci-après :

$$U_{cwi} = \frac{\sum U A + \sum \Psi \ell}{A_{cwi}}$$

où :

U : Coefficient surfacique des constituants : remplissage et profilé de verrière, en W/(m².K).

A : Surface correspondante en m².

Ψ : Coefficient linéique périphérique, en W/(m.K).

ℓ : Longueur du linéaire situé à l'interface entre le remplissage et le profil, en m.

A_{cwi} : Surface de la trame répétitive.

2.3.4.2. Autres informations techniques

Les coefficients de transmission thermique surfacique et linéique destinés au calcul du coefficient U moyen de la verrière selon les règles Th-Bat sont donnés ci-après :

Profil	U_f	b_f
SC-01	6,3 ⁽¹⁾	125
SC-02 (demi-profil)	8,3	156
SC-15	8,64	65
SC-16	6,17	110
SC-19	7,24	110

(¹) : la valeur est obtenue en ajoutant au coefficient calculé par **seele** un terme ΔU pour tenir compte des vis de fixation du capot de serrage.

U_g : coefficient de transmission surfacique du remplissage en partie courante, en $W/(m^2.K)$,
 B_f : longueur du remplissage dans le modèle numérique (demi-portée dans ce cas) en m.

Tableau 4 – Coefficient de transmission pour les profilés

Nombre de couches	U_g en $W/(m^2.K)$ ⁽²⁾	
	Paroi horizontale	Paroi verticale
Double parois	3,5	3,1
Triple parois	2,3	2,1
Quadruple parois	1,7	1,6
Quintuple parois	1,4	1,3

(²) : valeurs calculées conformément aux règles Th6U-fascicule 3/5 et à la norme EN 673, majorées de 0,3 $W/(m^2.K)$ pour les parois horizontales et de 0,2 $W/(m^2.K)$ pour les parois verticales.

Tableau 5 – Coefficient de transmission pour les coussins (émissivité : 0,89)

Nombre de couches	ψ_g en $W/(m^2.K)$ ⁽²⁾
	Paroi horizontale et verticale
	Portée de 3,5 à 60 mètres
Double parois	0,2
Triple parois	
Quadruple parois	
Quintuple parois	

Tableau 6 – Coefficient de transmission ψ_g de pont thermique périphérique

Une étude a été réalisée afin de calculer le coefficient de transmission thermique U de film ETFE avec la prise en compte d'une sérigraphie. Cette méthode de calcul a été validée par les essais à la Boite Chaude Gardée (BCG). (Rapport d'expertise du CSTB datant de juin 2020).

2.3.4.3. Calcul du facteur solaire, S

Le facteur solaire d'un coussin gonflable pourra être calculé au cas par cas par le demandeur.

2.4. Dispositions de mise en œuvre

2.4.1. Dispositions générales de mise en œuvre

La mise en œuvre est réalisée par la société **seele** ou par des entreprises spécialisées avec l'assistance technique de la Société **seele**. Dans le cas d'entreprises spécialisées externes à **seele**, ces dernières auront été audité au préalable par **seele** et obtiendront un certificat leur autorisant la mise en œuvre des produits ETFE **seele**.

Elle fait appel à des dispositifs extérieurs de montage (nacelles, échafaudages ...) et de levage.

Elle nécessite certaines précautions, notamment pour la mise en place des garnitures d'étanchéité (extérieure et intérieure) au raccordement des profilés pour le serrage des vis de fixation.

2.4.2. Mise en œuvre des coussins

2.4.2.1. Montage des coussins à membrane ETFE

- Equipe de montage
 - Le montage est réalisé exclusivement par du personnel formé, qualifié et validé par **seele** pour ces travaux.
- Sécurité durant le montage
 - L'exécution du montage se fait suivant le planning de montage spécifique au projet.
 - Il y a au minimum une instruction sur la sécurité par le coordinateur sécurité et santé, ainsi que d'autres instructions par le chef de chantier sur place.
 - Chaque monteur est équipé d'un équipement de protection et antichute personnel dans la mesure où son activité l'exige.
 - Les surfaces de travail sont composées exclusivement de plateformes, d'échafaudages, de filets et de sécurité antichute selon 1263-1 et EN 1263-2. Ces plateformes et filets sont fixés sur la structure primaire. Les intervalles et la constitution des points de fixation répondent aux autorisations spécifiques et suivent les consignes de sécurité au travail en vigueur.
 - Pour des endroits difficilement accessibles au moment du montage, l'intervention se fait avec des équipements pour alpinisme autorisés et testés suivant EN 795.
 - La chute d'objets est empêchée par des filets de sécurité suivant EN 1263-1 et EN 1263-2.
 - L'accès aux coussins à membrane ETFE de **seele** n'est autorisé qu'au personnel de montage formé et sous conditions. Les coussins ont été maintes fois vérifiés dans le cadre d'autorisation pour la construction en France (ATEX) quant à leur résistance au choc suivant EN 13830. Les essais de choc vertical M50/1200 Joules ont démontré qu'un coussin à 2 couches ($d = 200 \mu\text{m}$) résiste à la chute du corps d'épreuve, et ce, que le coussin ETFE soit gonflé ou vide.
- Montage de l'alimentation en air
 - Les stations d'alimentation d'air sont montées dans des locaux techniques ou à l'extérieur à proximité des coussins ETFE. Les stations sont étanches à l'eau et insonorisées à l'extérieur du bâtiment.
 - Les stations d'alimentation d'air sont raccordées au réseau électrique par le client.
 - Le réseau d'air consiste en une série de tubes rigides en métal de type acier galvanisé, acier inox ou aluminium en fonction de l'environnement avec des éléments flexibles pour la dilatation. Le réseau d'air est fixé sur la structure primaire du bâtiment. Les raccords de tubes rigides et de tubes flexibles sont réalisés à l'aide de colliers de serrage.
 - Avant le raccordement du réseau d'air au coussin, une vérification de l'alimentation en air et des sorties d'air aux extrémités du système ouvert est réalisée.

2.4.2.2. Installation des profilés de base

Ossature secondaire

- Profilés en alliage d'aluminium extrudés montants et traverses assemblés sur chantier et comportant des gorges de récupération des eaux d'infiltration éventuelles.

A chaque assemblage

- SC-01 (figures 1 et 2) et SC-16 (figures 5 et 6)
 - Les profilés de base sont extrudés et percés avec des trous oblongs ($\varnothing 11 \text{ mm} \times 24 \text{ mm}$) en sous face pour permettre la fixation à la charpente. Les profilés sont fixés à la charpente métallique par l'intermédiaire de boulons M10 avec verrouillage.
 - La répartition des fixations est calculée selon les charges imposées sur le profil. Chaque fixation est réalisée avec un minimum de deux boulons. La distance entre les points de fixations (entraxe maximum 1,0m – distance au bord : 0,50 m) et la qualité des boulons font l'objet d'une note de calcul. Chaque pièce de profil est fixée avec au moins 4 boulons.
 - Positionnement des chéneaux de condensation métalliques (en acier galvanisé, inox ou aluminium) gainés d'une membrane en matière plastique, PVC ou TPO/FTP, (tôle de recouvrement de membrane FVB) sur les appuis d'acier (voir plans détaillés).
 - Fixation FVB sur les appuis d'acier à l'aide de connexions vissées normés M10 qui sont passées par en bas, à travers le percement des appuis, y compris positionnement des rondelles, application des produits d'étanchéité pour le filetage, ainsi que le serrage des boulons.
 - Soudure à chaud du revêtement plastique sur tous les embouts des profils de la tôle de recouvrement moyennant une bande adhésive et le pistolet à air chaud.
 - Scellement des embouts soudés à l'aide d'un produit d'étanchéité en matériau plastique précédemment décrit.
 - Montage des plots d'encadrement EPDM sur les vis freinées avec des boulons.
 - Les joints d'étanchéité angulaires (SC-01) en EPDM sont coupés puis glissés dans les rainures.
 - Installation des coussins – voir point suivant
 - Après l'installation du coussin, le joint d'étanchéité du capot en EPDM est déployé et coupé. Les profilés chapeau sont fixés par vissage en fonction du plan de montage, avec un entraxe maximum de 250 mm. Ce complexe sert de couvercle et de premier niveau d'étanchéité.
- SC-19 (figure 7) :
 - Le profilé SC-19 est extrudé avec une rainure en sous face pour permettre la fixation à la charpente avec des boulons à tête marteau. Pour le reste, le système de fixation du profilé SC-19 est analogue au profilé SC-01

et SC-16 à l'exception des chéneaux de condensation. Le système SC-19 est installé sans chéneaux de condensation et peut ainsi être utilisé uniquement pour des constructions sans exigences vis-à-vis des exigences thermiques.

- La répartition des fixations est calculée selon les charges imposées sur le profil. La distance entre 2 points de fixation (entraxe maximum 1,00 m – distance au bord : 500 mm). Chaque pièce de profil est fixée avec au moins X boulons.
- SC-02 (figure 3) :
 - Les profilés de base SC-02 sont extrudés et percés avec des trous ronds ($\varnothing$ 11 mm) en sous face pour permettre la fixation à la charpente. Des trous oblongs (Φ 11 mm x 25 mm) sont à prévoir sur la charpente afin de permettre les réglages et la reprise des tolérances. Le profilé est fixé à la charpente par l'intermédiaire d'une vis tête fraisée avec verrouillage.
 - La répartition des fixations est calculée selon les charges imposées sur le profil. La distance entre 2 points de fixation (entraxe maximum 0,50 m – distance au bord : 500 mm) et la qualité du boulon font l'objet d'une note de calcul. Chaque pièce de profil est fixée avec au moins 2 boulons.
 - Le coussin est installé avec le profilé de keder qui sert en même temps de couvercle et de premier niveau d'étanchéité. Ce profil aluminium est bloqué dans sa position finale par des vis 4,8mm x 9,5 mm (ISO 7049).
 - L'étanchéité entre coussin ETFE et la structure primaire est réalisée moyennant un profilé EPDM. Le coussin appuie sur le profilé EPDM et assure l'étanchéité. Les joints entre plusieurs pièces EPDM sont collés.
- SC-15 (figure 4) :
 - La fixation du profilé SC-15 est réalisée sans boulon. Le profilé de base est fixé sur un flasque en continu de la charpente métallique et tenu en position par la tension de la membrane ETFE. Pour la séparation galvanique entre la charpente métallique et le profilé aluminium, un joint EPDM est installé entre les deux.
 - Un deuxième profilé EPDM assure l'étanchéité entre le coussin et la charpente. Le coussin appuie sur le profilé EPDM et assure ainsi l'étanchéité. Les joints entre plusieurs pièces EPDM sont collés.
 - Après installation du coussin, un troisième profilé EPDM, dureté shore A 60 $\pm$ 5, est installé comme couvercle et première barrière d'étanchéité. Les joints entre plusieurs pièces EPDM et l'onglet aux angles des coussins sont collés.
 - Installation coussin – voir point suivant
 - Avant installation des coussins, le rail pour les keders est ébardé et graissé avec un spray pour une meilleure glissance de la poche du keder dans le canal.

Un pas à pas de pose est mis en exemple figure 30.

2.4.2.3. Installation des coussins

- Les coussins en film plastique sont déballés en fonction des instructions d'emballage et un contrôle visuel, des cordons de soudure et des éléments montés, est réalisé.
- Les coussins ETFE sont en général déroulés sur les filets de pose. Ces derniers sont utilisés comme plateforme d'accès et de travail. Ils sont conformes à la norme EN 1263-1 et à la recommandation r446 de la Caisse nationale de l'assurance maladie des travailleurs salariés. Si une pose sur filet n'est pas faisable, alors il est possible d'utiliser un glissoir, liner, en membrane PVC (largeur environ 1,0 m) est fixé pour protéger les coussins à membrane ETFE lors de leur positionnement. Les coussins sont ensuite préparés et positionnés pour leur installation.
- Les poches des keders sont insérées dans le canal graissé du profilé, débutant par le grand côté. Le profil du keder est accroché dans le profilé de base débutant à la moitié du grand côté du champ ainsi que de manière analogue aux deux coins avoisinants. Des sangles de sécurité sont installées pour éviter un décollage lors de rafales de vent. Déploiement et étendage du coussin en partant du bord longitudinal déjà fixé.
- Le coussin est tiré sur le filet ou le glissoir (liner – sac de levage et protection des membranes en phase chantier pour éviter tout dommage) en PVC. Les poches du keder sont insérées dans le canal du profilé préalablement graissé. Ce profilé est ensuite accroché dans le profilé de base débutant à la moitié du champ ainsi que de manière analogue aux deux coins avoisinants.
- Les valves d'entrée et de sortie d'air sont ensuite installées. Les colliers de fixation sont mis en place entre le tuyau FEP et la conduite rigide d'air ainsi que la valve d'entrée et le coussin d'air.
- Une fois que le coussin est tendu par le profil sur tous ses côtés, il est parfaitement maintenu. Le coussin à membrane ETFE est raccordé au système d'alimentation en air à l'aide de tubes flexibles précédemment décrits DN 50 mm, les tuyaux de mesure de pression sont et la connexion avec l'armoire à commande est réalisée. Une surpression de montage de 100 Pascal est appliquée pendant au moins 24 heures pour vérifier le remplissage en air de toutes les chambres. Un contrôle de tous les éléments de construction est réalisé pour vérifier leur bonne liaison et le bon fonctionnement du coussin à membrane ETFE.
- Ensuite la pression intérieure nominale, p_{nom} , du coussin est appliquée.

2.4.2.4. Pose des accessoires

- Pose d'étanchéité

La continuité de l'étanchéité avec les autres corps d'états se fait par la mise en œuvre d'une bande de membrane pvc fixée mécaniquement entre capot serreur et profil aluminium. De l'autre côté cette bavette est soudée sur une tôle co-laminée. Une isolation thermique peut être insérée et les joints d'étanchéité en PVC sont soudés.

- Pose des capots serreurs

Ces capots sont percés avec des trous de diamètre 7 mm espacés de 250 mm pour le passage d'une vis. Les vis du capot serreur en inox avec un diamètre de $\varnothing$ 6.5 mm x 32 mm, une rondelle étanche, sont vissées dans la rainure (alvéovis) du profil de base.

Mise en œuvre et fixation des câbles anti-pigeon.

2.5. Maintien en service du produit ou procédé

La Société **seele** est tenue de fournir à ses clients une notice de maintenance (examens à effectuer, leur périodicité) et d'entretien détaillée (produits d'entretien ou de nettoyage identifiés par leur nature chimique).

2.6. Traitement en fin de vie

En fin de vie des coussins, ces derniers seront démontés et renvoyés en usine. Les éléments métalliques tels que les vis, profils et valves d'air seront séparés des coussins et mis en recyclage métal. Le Keder en EPDM sera retiré du coussin et mis en décharge. L'ETFE restant sera trié entre les ETFE transparents, colorés ou sérigraphiés. Ils seront ensuite envoyés en recyclage spécialisés en ETFE. Seele utilise un recyclage en Suisse. L'ETFE recyclé n'est plus utilisé pour l'architecture mais dans l'industrie par exemple comme produit isolant pour les câbles électriques.

2.7. Assistance technique

La mise en œuvre est réalisée par la société **seele** ou par des entreprises spécialisées avec l'assistance technique de la Société **seele**.

2.8. Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication

2.8.1. Dispositions générales de fabrication

Les coussins sont fabriqués par des sous-traitants de **seele**, dans différentes usines de fabrication qui auront au préalable été inspectées et validées par **seele**. Ces dernières seront également contrôlées régulièrement par le département interne de contrôle Qualité seele. Les directives prises par la Société **seele** sont propres à assurer la constance de qualité des coussins et des accessoires associés aux profilés.

Les usines qualifiées pour la fabrication disposent d'un certificat émis par **seele**. Les usines certifiées à ce jour sont :

- Novum Membrane, Allemagne
- Flontex, Pologne
- Koch, Allemagne
- Highpoint, France

D'autres usines peuvent être qualifiées par **seele** sous confirmation d'un audit externe.

Toutes les opérations de découpe, perçage des garnitures d'étanchéité devront être réalisées avec soin, en atelier, à l'aide de l'outillage spécifique.

Les dispositions de fabrication adoptées par les sociétés applicatrices du système, et respectant les prescriptions de la Société **seele**, permettent de compter sur une constance de qualité suffisante. Pour ce faire **seele** envoie un plan de contrôle qualité (ITP) propre à chaque projet. Chaque entreprise de confection est tenue de respecter ce plan et de fournir les fiches contrôles demandées.

Les demandes du ITP sont spécifiques à chaque projet et contiennent les demandes suivantes :

- Contrôle qualité des films ETFE reçus (désordre visuel, confirmation de l'épaisseur)
- Contrôle de la résistance des films ETFE employés
- Contrôle aléatoire des dimensions des lés pendant la découpe
- Contrôle journalier des paramètres de soudure des machines avant le démarrage
- Contrôle journalier des soudures
- Documentation des films, lés, coussins avec traçabilité depuis le film jusqu'au coussin installé
- Archivage des échantillons de contrôle de fabrication
- Documentations emballage

Cet avis est formulé en prenant en compte les contrôles et les modes de vérification de fabrication décrits dans le Dossier Technique.

2.8.2. Coussins

L'ETFE employé par seele pour la confection des membranes est une matière synthétique polymère thermoplastique et viscoélastique par copolymérisation. Il est composé par les unités monomères, l'éthylène et le tétra-fluor-éthylène. Les monomères sont constitués à partir des éléments chimiques que sont le fluor (F), le carbone (C) et l'hydrogène (H).

Pour le transformer en film, il est chauffé à 380° C et extrudé à travers des enrouleurs.

Cette thermo-plasticité signifie que l'ETFE, par apport de chaleur, est extrudable, formable et soudable. En raison de cette viscoélasticité, les propriétés mécaniques de la membrane ETFE sont principalement dépendantes du degré de charge, du temps (par exemple durée de charge) et de la température. La norme CEN/TS 19102 tient compte de cette diminution de la résistance en appliquant un coefficient de réduction. Le concept de dimensionnement employé par **seele** tient compte de ce fait d'une diminution des résistances moyennant un coefficient de réduction.

Le matériau de la membrane est livré sous forme de rouleaux (largeur maximale du rouleau 1550 à 2000 mm). Les pièces de membranes sont ensuite thermiquement assemblées pour former un coussin.

L'ETFE est utilisé pour ses propriétés mécaniques ainsi que pour sa grande transparence. Le film a une très haute résistance à la déchirure (40 N/mm²) en raison de sa structure moléculaire. Il est très stable sous l'ultraviolet avec des essais indiquant une résistance au-delà de 25 ans. Egalement, il est autonettoyant sous la pluie.

Les films ETFE des fabricants suivants sont utilisés :

- Nowofol (film de marque Nowoflon),
- AGC (film de marque Fluon)
- PATI,
- TCI (film de la marque RevealTM)

	Nowofol	AGC	Pati	TCI
T	X	X	X	X
C	X	X		
M		X		
P	X	X	X	X

Tableau 7 – Films ETFE et fournisseurs

Seele emploie pour une construction (toiture,...) exclusivement des membranes ETFE provenant d'un fournisseur unique (voir tableau 3). Les membranes ETFE issues de productions différentes ne sont jamais mélangées et soudées.

2.8.3. Phasage dans la fabrication d'un coussin

La fabrication des coussins à membrane ETFE seele se déroule schématiquement comme suit :

Vérification des bases des études (par **seele**)

- Etudes d'exécution à partir d'un modèle 3D de la structure primaire de l'architecte.
- Statique validée de la structure primaire (acier, bois, ...) de l'ingénieur structure.
- Statique validée de la structure secondaire (coussins à membrane ETFE) de l'ingénieur structure.
- Contrat de construction, registre des prestations, description des prestations, détermination des interfaces et spécification de l'ouvrage des coussins à membrane ETFE suivant le projet.
- Vérification de l'offre et commande des prestations des sous-traitants.

Etudes de l'ouvrage (par **seele**)

- Conception d'un modèle 3D du système linéaire de la structure secondaire (interface géométrique avec la structure primaire).
- Dessins de construction de la structure secondaire (profils serreurs, appuis, ...).
- Conception d'une statique vérifiable de la structure secondaire (coussins à membrane ETFE avec connexion de rive) ; le cas échéant une statique des états ou étapes de montage.
- Accord entre commanditaire, architecte, ingénieur structure, instituts de vérification, administration et autres ouvrages.
- Arrêté et commande des éléments à fournir et des prestations des entreprises sous-traitantes.
- Exécution de la détermination de la forme et de l'interface avec logiciel FE.
- Préparation du travail concernant la fabrication, le transport et le montage (plan d'installation du chantier, planning des phases et du montage, plan de fabrication, plan d'assurance qualité et de vérification spécifique au projet, plan d'emballage et de réception ...).
- Contrôle de toutes les prestations des études d'atelier concernant la conformité avec les bases des études par le chef de projet ; contrôle du respect des directives de qualité spécifiques au projet par le chef de projet, ou, en cas d'écart, par le surveillant interne de la qualité de chez **seele**.

Fabrication de la structure primaire (coussins à membrane ETFE) dans l'entreprise, y compris les contrôles (par l'entreprise de confection validée par **seele**)

- Contrôle de l'entrée des marchandises et des éléments livrés, en particulier les membranes ETFE (en rouleaux) suivant le plan QS **seele**.
- Vérification des attestations et des autorisations de surveillance de la construction.
- Coupe et découpe des ouvertures pour l'emplacement des valves (valves d'entrée et de sortie, ainsi que de trop-plein), ainsi que l'application de diverses spécifications et marquages (indications sur l'installation) moyennant des markers/cutters électroniques sur la base de la spécification de la confection.
- Contrôle du respect des tolérances de mesure nécessaire des éléments de membrane et des ouvertures, ainsi que le contrôle des divers spécifications et marquages.
- Soudure des diverses bandes de membrane ETFE pour constituer une couche de membrane.
- Contrôle du respect des couches de membrane nécessaires.
- Vérification de la résistance des cordons de soudure conformément au plan de vérification spécifique au projet.

- Soudure des différentes couches de membrane ETFE pour former un coussin pneumatique ETFE (cordons de soudure des poches de rive avec leur bourrelet intégré).
- Contrôle du respect des tolérances de mesure nécessaires des coussins.
- Contrôle du cordon de soudure de rive filant, quant à sa continuité, en particulier dans les angles.
- Vérification des résistances des cordons de soudure conformément au plan de vérification spécifique au projet.
- Montage des accessoires des coussins, en particulier des valves.
- Contrôle externe (surveillance externe) par un institut de certification, de surveillance et de vérification pour membrane indépendante et accréditée par le DIBt.

Stockage, transport des éléments de la construction de l'ouvrage secondaire (coussins à membrane ETFE) au chantier, y compris contrôles (soit par **seele**, soit par l'entreprise de confection validée par **seele**)

- Stockage à l'abri de l'humidité, protégé contre vol, et adéquat quant au produit et à son emploi, des coussins à membrane ETFE prêts à être montés jusqu'au moment de leur expédition.
- Etablissement des papiers de douanes et de transport, application du marquage d'identification, le cas échéant de celui CE, sur le bordereau de livraison.
- Emballage conforme au produit des coussins à membrane ETFE dans des caissons de transports solides conformément au plan d'emballage et de réception ; ajout de produit de dessiccation pour les transports plus longs ou dans le cas de stockage prolongé sur le chantier.
- Contrôle des documents de transport, ainsi que de l'emballage approprié au produit et à son emploi.
- Transport au chantier.
- Vérification des documents de transport, en particulier du bordereau de livraison et du marquage d'identification, le cas échéant de celui CE ; contrôle que l'emballage n'a pas été ouvert.
- Dépose des caissons de transport au lieu indiqué sur le chantier ; l'entreposage à un autre endroit seulement en cas de nécessité et après concertation avec la direction du chantier sur place.

2.8.3.1. Surveillance et contrôle

L'assurance qualité des coussins à membrane ETFE **seele** suit en ce qui concerne les études, le management projet, l'approvisionnement des marchandises, la fabrication, le transport, l'exécution et la maintenance (inspection, entretien, remise en état et nettoyage) les documents spécifiques au projet suivants :

- Plan d'assurance qualité (QS-Plan) avec indications concernant les contrôles qualité, la traçabilité du produit tout du long du flux des marchandises, les mesures en cas de défauts etc. ainsi que d'autres documents du management qualité QM, avec indications sur la fabrication des coussins à membrane ETFE et sur la surveillance interne et externe.
- Mode d'emploi (Opération & Maintenance (O&M) Manual, y compris plan de maintenance et mode de nettoyage spécifique au projet).
- Modèle contrat de maintenance et de check-list maintenance.
- Concept de montage et installation de chantier.
- Concept de sécurité sur le chantier Tel qu'un Plan Particulier de Sécurité et de Protection de la Santé (PPSPS)
- L'assurance qualité **seele** permet une traçabilité de la prestation globale réalisée jusqu'aux produits de construction et matériaux mis en œuvre. Les différents contrôles durant la fabrication sont indiqués dans le chapitre 3. Les membranes ETFE employées et les cordons de soudure correspondent aux exigences minimales indiquées dans le tableau 7.

2.9. Mention des justificatifs

2.9.1. Résultats expérimentaux

Essai d'étanchéité :

- Essai de détermination de l'étanchéité à l'eau et de la résistance à la charge due au vent et essais de résistance du choc, projet « Centre aquatique et d'escalade » - Migros Neydens », France, juillet 2008 – n°PV : 1611-TR_EVC_SE01.
- Essai de détermination de l'étanchéité à l'eau et de la résistance à la charge due au vent et essais de résistance du choc, projet « Pôle de loisirs et de commerces » - Lyon Confluences », France - N° PV : 3749_30004_TR_EVC_SE01.

Essais mécaniques sur membranes :

- Rapport sur les tests de longue durée de la membrane ETFE d'une épaisseur de 200 µm de ASAHI dans le laboratoire Blum, projet 626-12, Laboratorium Dr. Blum, Stuttgart, 30.01.2006.
- Attestation de preuve pour le comportement au feu selon DIN 4102, Teil 1, P-BWU03-I-16.5.107, membrane ETFE : NOWOFLO ET 6235 Z, MPA Stuttgart – Otto-Graf-Institut, 19.05.2010.

Feu :

- Essai de vérification de l'inflammabilité de l'ETFE – MFPA Leipzig GmbH – n° PV : PZ III / B – 04 – 071 – classement obtenu : B-s1, d0
- PV de classement de réaction au feu – Laboratoire Central – N°PV : 414/04 - ETFE 100 µm = M2 (2004 – durée non limitée) – classement obtenu : B-s1, d0.
- Procès-verbal de Classement de Réaction au feu d'un Matériau : Film Éthylène Tétra-fluor-éthylène (ETFE), Préfecture de Police, Laboratoire Central, Paris, France – classement obtenu : B-s1, d0.
- Essai de classement au feu des coussins de 2 à 5 films avec des épaisseurs variant de 100 µm à 500 µm selon la norme EN 13501-1- rapport d'essai : MPA n°903 1777 000-80 (19 décembre 2019) – classement obtenu : B-s1, d0.

- PV de classement de réaction au feu « TCI REVEAL ETFE Film » - MPA n° 903 177 000-80 – classement B-s1, d0

Choc :

- Rapport d'essai de choc M50/1200 joules conformément au cahier du CSTB 3228 – essai réalisé dans le cadre de l'ATEX n°1625 – dimension 3,50 m x environ 20 m – forme du coussin : triangulaire – composition 250 µm / 100 µm / 250 µm

Thermique :

- Etude thermique : validation des coefficients de transmission thermique d'un procédé de parois légères à base de coussins à membranes ETFE – n° rapport : DER/HTO 2012-294-FL/LS – n° affaire 11-099.
- Etude thermique : utilisation d'une méthode validée par des essais BCG afin de calculer le coefficient de transmission thermiques U de films ETFE avec prise en compte de l'effet de l'infra-rouge – n° rapport : DER/HTO 2020-106-FaL/LS – n° affaire 19-040
- Notes de calculs thermiques :
 - SC-15, SC-16 et SC-19 – note n° 36011
 - SC-15 – note n° 36011-1-0_A1_SC-15-5
 - SC-16 – note n° 36011-1-0_A1_SC-16-1 et 36011-1-0_A1_SC-16-2
 - SC-19 – note n° 36011-1-0_A1_SC-19-1 et 36011-1-0_A1_SC-19-2

Dimensionnement :

- Analyse de la méthode de dimensionnement des coussins à membranes ETFE : DER/CLC-11-198.

2.9.2. Références chantiers

L'ensemble des références relatives au procédé Verrière en coussins gonflables ETFE SEELE représente à ce jour : 35 000 m² en France, depuis 2013 dont environ 4000 m² depuis la dernière révision en 2022.

2.10. Annexe : Méthodologie de dimensionnement des coussins gonflables ETFE

2.10.1. Chargements

- **Poids propre :**

Densité ETFE : $\gamma_{ETFE} = 1,75 \text{ g/cm}^3$.

Poids de surface membrane ETFE : $g_{ETFE-Folie 250\mu m} = 450 \text{ g/m}^2$.

Poids de surface ETFE-Coussin : $g_{drellagies ETFE-Coussin} \leq 0,02 \text{ kN/m}^2$.

En règle générale, le poids propre de la membrane ETFE est négligeable.

- **Pression intérieure nominale coussin :**

Pression intérieure nominale : $P_{nom} = 300 \text{ Pa}$.

Remarque : la pression est augmentée qu'en cas de charge de neige : $T_{Folie-max} = +23^\circ\text{C}$.

Pression intérieure coussin en cas de charge de vent W : $P_{i,W}$.

Pression intérieure en cas de charge de neige S : $P_{i,S}$.

lorsque $P_{nom} \geq \gamma_{L,S}$; $P_{i,S} = P_{max}$,

lorsque $P_{nom} < \gamma_{L,S}$; $P_{i,S} = p_{atmos}$ (longue durée).

- **Charges de vent**

Succion de vent zone normale (wind suction) : WS

Pression du vent (wind pressure) : WP

- **Charges de neige**

Charge de neige : S

Vérification des poches d'eau à l'ELU : Cas normal : sous cas de neige.

Cas accidentel : en cas de ruine accidentelle d'un film ou défaillance du dispositif de gonflage.

2.10.2. Coefficients de pondération

2.10.2.1. Coefficient de sécurité pour le calcul des déformations et de la résistance à la rupture (selon EN 1990)

- **En état limite de service (ELS) :**

$\gamma_{L,ELS} = 1,0$ – pression nominale intérieure des coussins.

- **En état limite ultime de la capacité de charge (ELU) :**

$\gamma_{L,ELU} = 1,50$ charges extérieures individuelles, exemple : vent, neige.

$\gamma_{L,ELU} = 1,10$ – pression nominale intérieure des coussins.

- **Vérification des poches d'eau à l'ELU :**

Cas normal : $\gamma_q = 1,50$ sous cas de neige.

Cas accidentel : $\gamma_q = 1,0$ en cas de ruine accidentelle d'un film ou défaillance du dispositif de gonflage.

2.10.2.2. Coefficient de sécurité pour le calcul de la résistance

- **En état limite de service (ELS) :**

$\gamma_{M,SLS} = 1,0$ pour

- **En état limite ultime de la capacité de charge (ELU) :**

$\gamma_{M,ULS} = 1,1$

2.10.3. Résistance ETFE

2.10.3.1. Dans les états limites de services :

Déformation admissible par la membrane ETFE déterminée sur la base des déformations maximales (flèche) dans le sens z vers le centre de la zone : $R_{d,ELS} = u_z \leq u_{z,adm}$

La déformation sous chargement ELU est calculée afin de vérifier la non-collision de la membrane avec des éléments constructifs (à angle coupant, rigides, ...)

Tension admissible par les membranes ETFE déterminée sur la base de la limite d'effort mono-axiale avec la valeur fractile de 5% (index 0.05) de la limite d'élasticité (index y selon norme) de la membrane à une température $T=23^\circ\text{C}$ diminuée du produit des facteurs de réduction dépendant du cas de charge sur l'effort de tension :

$$\Sigma A_{cc} = A_0 \times A_1 \times A_2 \times A_3 \times A_4$$

- Valeurs de diminution :

A0 [biax] = essai de matériau avec sollicitation biaxiale et mono-axiale

A1 [durée] = sollicitation longue durée

A2 [age] = conditions d'exposition à l'environnement (p.ex. rayons UV)

A3 [temp] = sollicitations de température (températures élevées)

A4 [fabric.] = tolérances de fabrication (lors de la considération de la fractile de 5%, la valeur de ce facteur est « 1 »)

$$R_{d,ELS} = \frac{f_{y,k0,05}}{\gamma_{m,ELS} \times \Sigma A_{cc}}$$

$$f_{R,mod} = f_R / k_{total}$$

2.10.3.2. Dans les états limites ultimes de la capacité de charge (ELU) :

Tension admissible par les membranes ETFE déterminée sur la base de la valeur fractile de 5 % (index 0.05) de la résistance à la traction mono-axiale (index u selon norme) de la soudure (SN) à une température $T=23^\circ\text{C}$ diminuée de la valeur de correction de sécurité de l'élément propre au matériau ainsi que du produit des facteurs de réduction dépendant du cas de charge concernant la résistance à la traction :

$$R_{d,ELU} = \frac{f_{y,k0,05}}{\gamma_{m,ELS} \times \Sigma A_{cc}}$$

$$f_{Rd} = \min \left(\begin{array}{l} f_{1Rd} = \frac{f_{u23}}{\gamma_{M0}} \\ f_{2Rd} = \frac{f_{uw23}}{\gamma_{M1}} \end{array} \right)$$

$$f_{R,mod} = f_R / k_{total}$$

2.10.3.3. Résistance du matériau

Les valeurs de résistance pour le dimensionnement sont influencées par les paramètres différents comme ci-après. Ils en résultent des valeurs de résistance différentes, en fonction des différents cas de charge, qui sont récapitulés au tableau comme ci-après.

Tableau 8 – Concept de design structurel pour les films ETFE soudés, ELS

Concept de design structurel pour les films ETFE soudés, ELS

Cas de charge (CC)	Description de la charge	Situation du bâtiment	periode de chargement	couche exposée (OL, IL)	Température du film (T)	Limite d'élasticité	γ_M	A_3 biax	A_1 durée	A_2 age	A_3 temp	$f_{y,d}$
	[-]	[-]	[-]	[-]	[°C]	[N/mm²]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm²]
ELS-CC-2	inflation nominale	Tous les bâtiments	PL	toutes les couches	40	21	1,0	1,40	1,80	1,00	1,20	6,9
ELS-CC-3-1	inflation maximale*	Tous les bâtiments	LTL	exposée à la neige	3	25			1,30		1,00	13,7
				autres couches	23	21			1,30		1,00	11,5
ELS-CC-4	charge de neige	bâtiments chauffés	LTL	exposée à la neige	3	25			1,30		1,00	13,7
		autres couches		23	21	1,30			1,00		11,5	
		bâtiments non chauffés		toutes les couches	3	25			1,30		1,00	13,7
					exposée au vent	23			21		1,00	1,00
ELS-CC-5	charge du vent	bâtiments fermés	STL	autres couches	40	21			1,00		1,20	12,5
		bâtiments ouverts		toutes les couches	23	21			1,00		1,00	15,0
ELS-CC-15	charge du vent + charge de neige	bâtiments chauffés	STL	exposée à la neige ou au vent	3	25			1,00		1,00	17,9
		autres couches		23	21	1,00			1,00		15,0	
		bâtiments non chauffés		toutes les couches	3	25			1,00		1,00	17,9
ELS-CC 7-1	poche d'eau, défaillance du système	le cas échéant	LTL	exposée au vent	23	21			1,30		1,00	11,5
ELS-CC 7-2	poche de neige, défaillance du système	le cas échéant	LTL	exposée à la neige	3	25			1,30		1,00	13,7

Tableau 9 - Concept de design structurel pour les films ETFE soudés, ELU

Concept de design structurel pour les films ETFE soudés, ELU												
Cas de charge (CC)	Description de la charge	Situation du bâtiment	période de chargement	couche exposée (OL, IL)	Température du film (T)	Résistance à la traction	γ_M	A_0 biax	A_1 durée	A_2 age	A_3 temp	$f_{y,d}$
	[]	[]	[]	[]	[°C]	[N/mm²]	[]	[]	[]	[]	[]	[N/mm²]
ELU-CC-2	inflation nominale	Tous les bâtiments	PL	toutes les couches	40	30	1,1	1,20	1,30	1,10	1,20	9,6
ELU-CC-3-1	inflation maximale*	Tous les bâtiments	LTL	exposée à la neige	3	33					1,00	17,5
				autres couches	23	30					1,00	15,9
ELU-CC-4	charge de neige	bâtiments chauffés	LTL	exposée à la neige	3	33					1,00	17,5
		bâtiments non chauffés		autres couches	23	30					1,00	15,9
ELU-CC-5	charge du vent	bâtiments fermés	STL	toutes les couches	3	33					1,00	17,5
		bâtiments ouverts		exposée au vent	23	30					1,00	20,7
ELU-CC-15	charge du vent + charge de neige	bâtiments chauffés	STL	autres couches	40	30					1,00	17,2
		bâtiments non chauffés		toutes les couches	23	30					1,00	20,7
ELU-CC-7-1	poche d'eau, défaillance du système	le cas échéant	LTL	exposée à la neige ou au vent	3	33					1,00	22,7
		le cas échéant		autres couches	23	30					1,00	20,7
ELU-CC-7-2	poche de neige, défaillance du système	le cas échéant	LTL	toutes les couches	3	33					1,00	22,7
		le cas échéant		exposée au vent	23	30					1,00	15,9
ELU-CC-7-2	poche de neige, défaillance du système	le cas échéant	LTL	exposée à la neige	3	33					1,00	17,5
		le cas échéant		exposée à la neige	3	33					1,00	17,5

* La pression intérieure est augmentée pour empêcher la déflation causée par la neige

STL = Short Therm Load (Charge à court terme), LTL = Long Therm Load (Charge à long terme), PL = Permanent Load (Charge permanente)

2.10.3.4. Module d'Young ETFE

Module d'Young pour le calcul de tension $E = 900 \text{ MPa}$

Module d'Young pour le calcul de la déformation $E = 750 \text{ MPa}$

Coefficient de Poisson $\mu = 0.4$

Module de Cisaillement pour $E=900 \text{ MPa}$: $G = 321.5 \text{ MPa}$

Module de Cisaillement pour $E=750 \text{ MPa}$: $G = 267.9 \text{ MPa}$

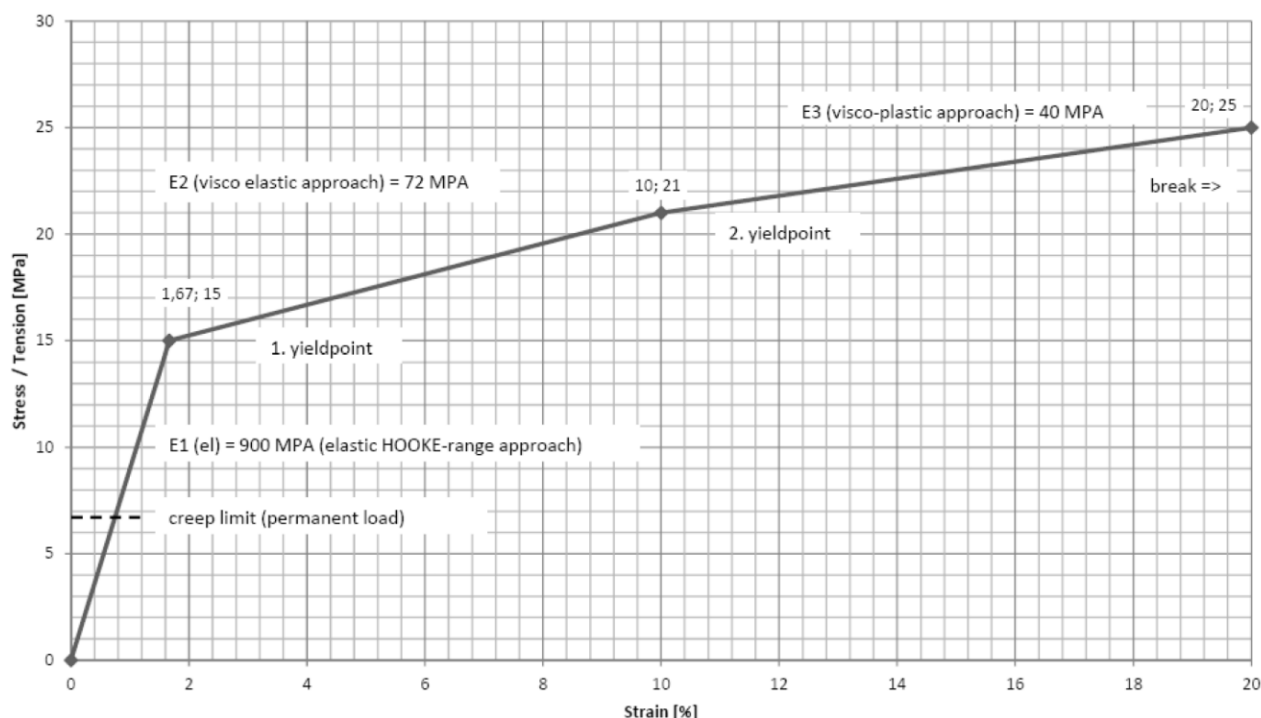


Figure 2 – Diagramme de tension-extension idéalisé pour film ETFE (partie élastique et viscoélastique jusqu'à 21 N/mm²).

2.11. Annexe du Dossier Technique

CONTROLE COUSSIN – FABRICATION ASSUREE PAR se cover GmbH			
1.	CONTROLE DE LIVRAISON DU FILM	Tous les fabricants des films ont un suivi de contrôle de qualité interne. Chaque lot de film est livré avec un certificat de conformité aux propriétés mécaniques selon tableau § 2.1.	
		Vérification de certificat de conformité.	
		Vérification du film avec prélèvements et essais : • Epaisseur. • Essai de traction à 10% d'élongation. • Essai de traction à rupture.	EN ISO 527-3 EN ISO 527-3
		Film enregistré en usine si conforme. Film renvoyé au fabricant si non-conforme.	
2.	CONTROLE DE FABRICATION D'UN COUSSIN	Une fiche de suivi accompagne chaque coussin pendant sa fabrication. Les contrôles suivants sont enregistrés pour chaque coussin : • Vérification de la soudure transversale de chaque couche. • Vérification de la soudure latérale de chaque couche. • Vérification de la conformité des dimensions avec le plan de fabrication. • Vérification de pose de valve de gonflage. • Vérification de la soudure de l'ensemble de toutes les couches. • Vérification de la conformité des dimensions finies de coussins avec le plan de fabrication.	
3.	PRELEVEMENT PENDANT FABRICATION	Des échantillons de coussin (pièce de membrane et de soudures) sont fabriqués en même temps que les coussins avec les mêmes machines et spécifications. Ces échantillons sont soumis aux essais suivants avant le commencement de chaque équipe de travail et à chaque changement de procédé de soudage : • Essai de traction de deuxième point limite d'élasticité. • Essai de traction à rupture. Production de coussin validée si conforme et archivage des résultats et des échantillons. Reprise des contrôles de la machine si non-conforme.	EN ISO 527-3 EN ISO 527-3
4.	VERIFICATION EXTERNE DES ECHANTILLONS	Un organisme externe effectue un audit de la fabrication et prélève des échantillons d'une façon aléatoire en fonction des projets réalisés pour faire des essais de recouplement.	
CONTROLE AUTRE COMPOSANTS (FABRICANT AVEC CERTIFICATION ISO9001)			
1.		Vérification de certificat de conformité livré avec chaque lot.	
CONTROLE AUTRE COMPOSANTS (FABRICANT SANS CERTIFICATION ISO9001)			
1.		Vérification de certificat de conformité livré avec chaque lot.	
2.		Prélèvement aléatoire par seele et essai interne en usine.	
CONTROLE AUTRE COMPOSANTS (FABRICANT AVEC CERTIFICATION ISO9001)			
1.	Filet de pose	Conformité EN1263-1 et R446 de la CNAMTS	

Tableau 10 – Contrôle de fabrication.

- | | | |
|--|--|--|
| 1. profilé de chapeau, aluminium
EN AW-6060 T66, EN 573-3,
EN 573-2
anodisation E6/C-0, DIN 17611
Épaisseur de classe 25 | 6. joint d'étanchéité couvercle,
EPDM
Shore A 60 ± 5, couleur: noir
surface: sec | 11. trou dans le profil en aluminium
Ø=11mm |
| 2. extrusion angulaire, EPDM
Shore A 60 ± 5, couleur: noir
surface: sec | 7. conception standard d'un
cousin pneumatique. Nombre
de couches en fonction des
exigences de chaque projet. | 12. vis à tête cylindrique à six pans
creux
EN ISO 4762 - M10-L-PC-70
(DIN 912)
rondelle
EN ISO 7089 - M10
(DIN 125)
écrou hexagonal
EN ISO 7040 - M10-PC-70
(DIN 982)
acier inoxydable de classe à
définir selon EN 1993-1-4-A1
couple de serrage: 32Nm |
| 3. barre Keder, aluminium
EN AW-6060 T66, EN 573-3,
EN 573-2
anodisation E6/C-0, DIN 17611
Épaisseur de classe 25 | 8. vis avec rondelle d'étanchéité
6,5x32-Ø16
acier inoxydable A2 : 1.4301 /
AISI 304 | 13. couche de séparation, EPDM |
| 4. profilé de base, aluminium
EN AW-6060 T66, EN 573-3,
EN 573-2
anodisation E6/C-0, DIN 17611
Épaisseur de classe 25 | 9. ourlet de rive 'keder' Ø 6 mm,
EPDM
Shore A 80 ± 5, couleur: noir | 14. Pièce de fixation en aluminium
pour joints de profilés de base
afin de réduire au minimum le
décalage 4x25x60mm |
| 5. point de système
5.1 point de système de profilé
5.2 point de système de
membrane | 10. structure principale, acier
dimensions en fonction de
calculs statiques,
avec trous oblongs 11x25mm | |

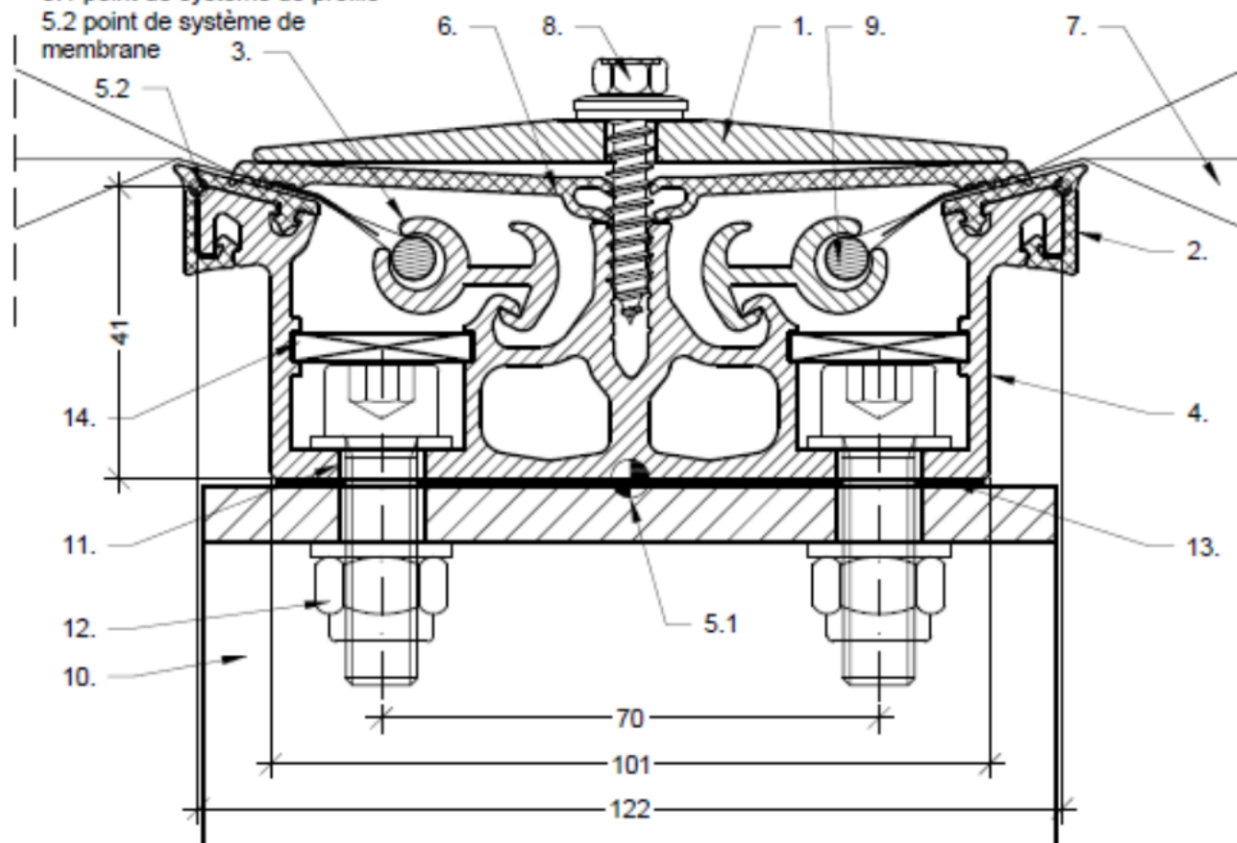


Figure 3 – Détail des éléments d'un profilé aluminium simple -SC-01 – sur acier – sans gouttière de condensation.

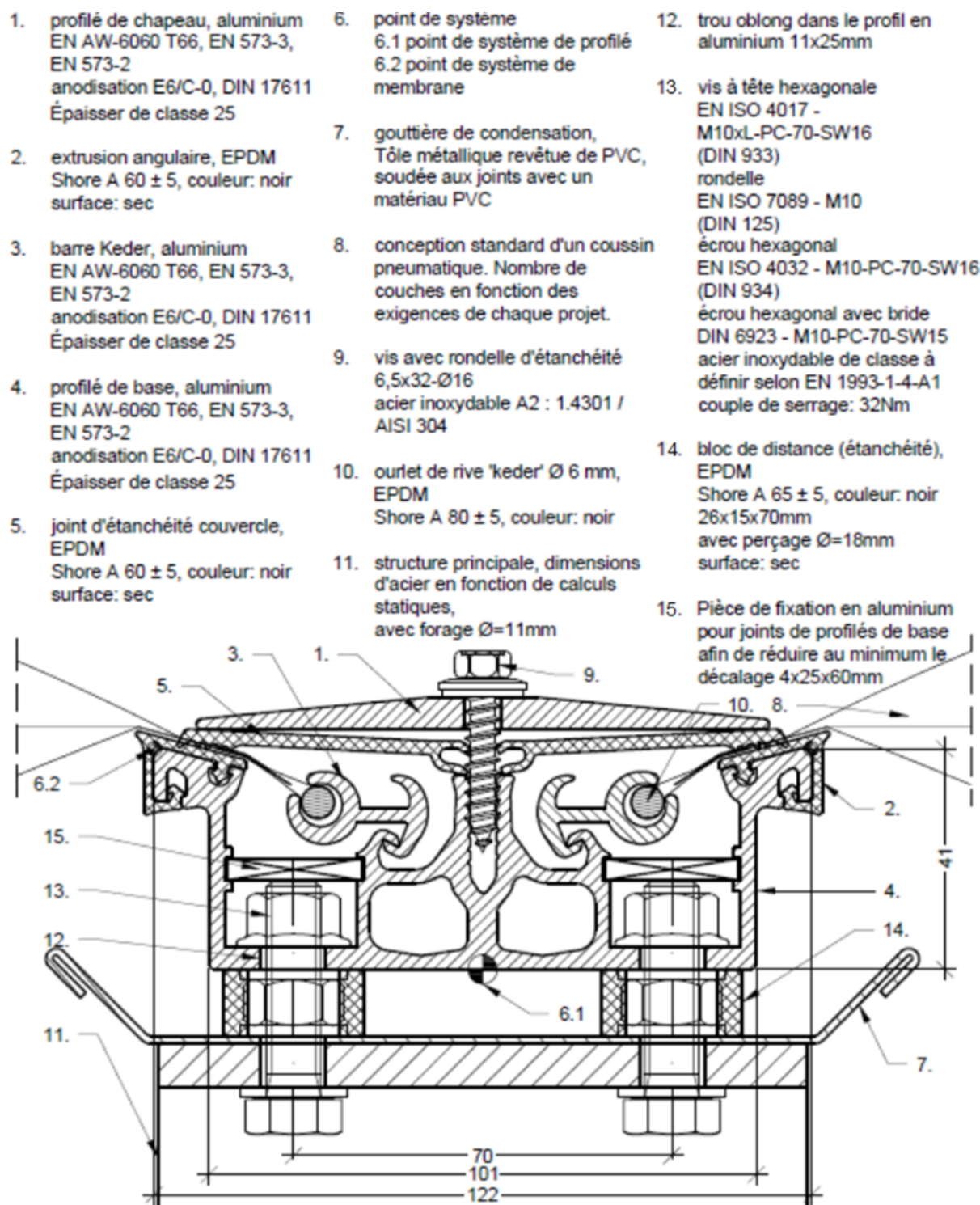


Figure 4 – Détail des éléments d'un profilé aluminium sur acier avec gouttière de condensation – SC-01.

1. profilé en aluminium
EN AW-6060 T66, EN 573-3, 573-2
anodisation E6/C-0, DIN 17611
Épaisseur de classe 25
2. profilé EPDM
Shore A 50 ± 5, couleur: noir
surface: Polymère lubrifiant
3. profilé de base, aluminium
EN AW-6060 T66, EN 573-3,
EN 573-2
anodisation E6/C-0, DIN 17611
Épaisseur de classe 25
4. point de système membrane
5. conception standard d'un coussin
pneumatique. Nombre de couches en
fonction des exigences de chaque projet.
6. dispositif de sécurité avec vis
autotaraudeuse
ISO 7049 - M4,8x9,5 (DIN 7981)
acier inoxydable A2 : 1.4301 / AISI 304
7. ourlet de rive 'keder' Ø 6 mm, EPDM
Shore A 80 ± 5, couleur: noir
8. cordon rond en butyl Ø 4 mm
9. chéneau structurel, dimensions d'acier en
fonction de calculs statiques,
avec trous oblongs
10. vis à tête fraisée pour max. t = 8mm
EN ISO 10642 - M10xL-PC-70 (DIN 7991)
rondelle
EN ISO 7089 - M10 (DIN 125)
écrou de blocage hexagonal
EN ISO 7040 - M10-PC-70 (DIN 982)
acier inoxydable de classe à définir selon
EN1993-1-4-A1
11. couche de séparation, EPDM

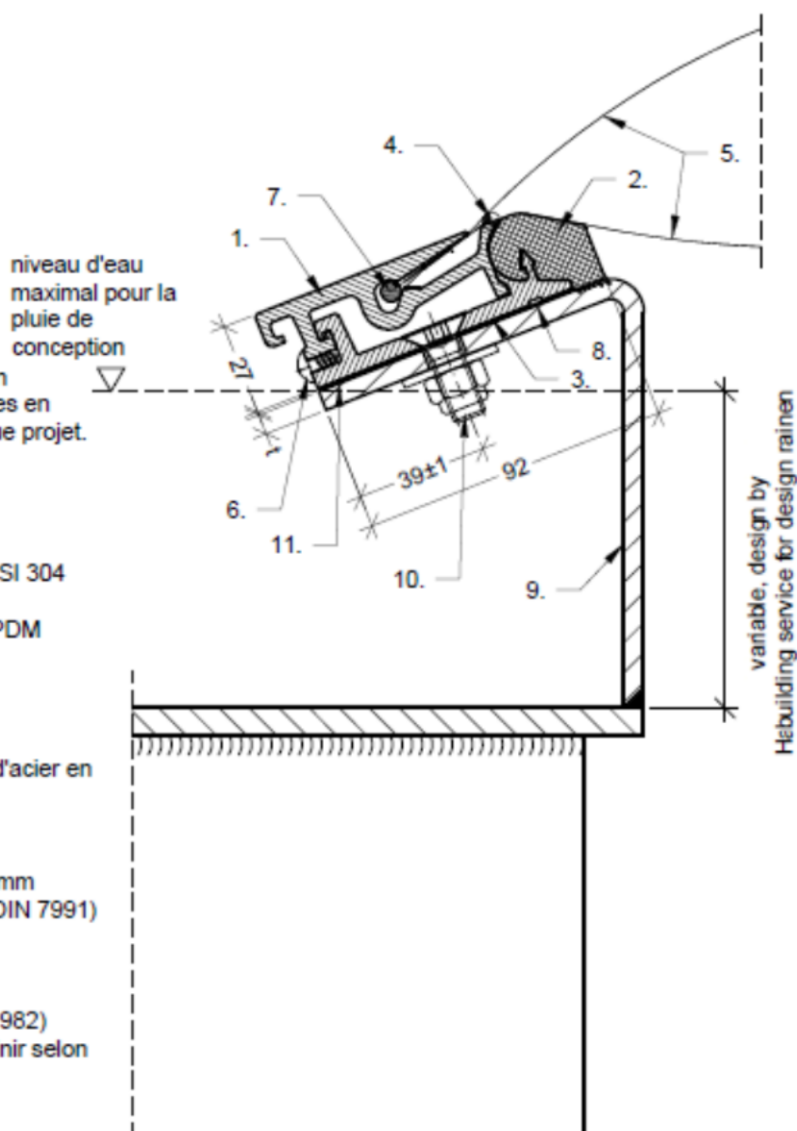


Figure 5 – Détail des éléments d'un profilé aluminium sur acier sans gouttière de condensation – SC-02.

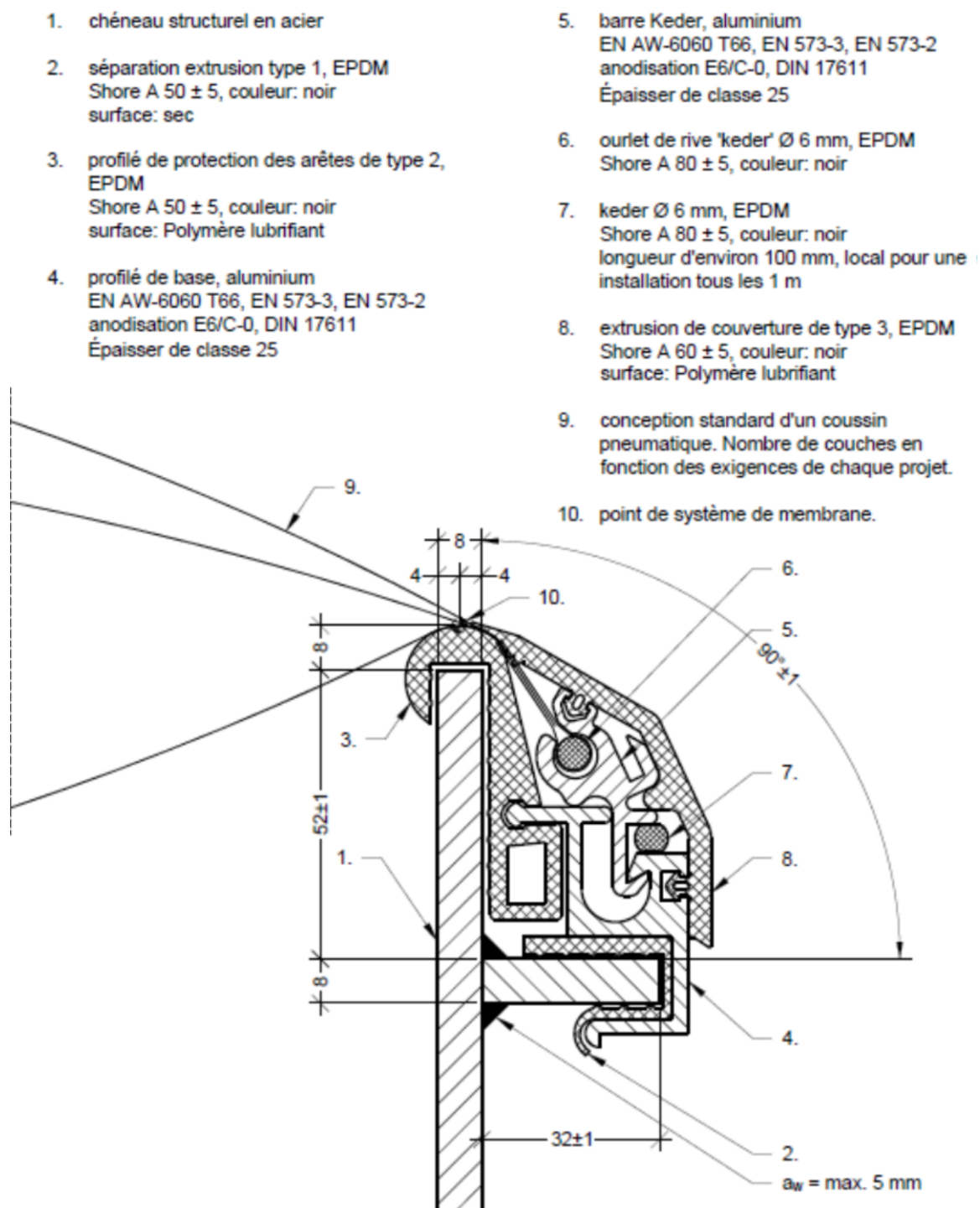


Figure 6 – Détail des éléments d'un profilé aluminium sur acier sans gouttière de condensation –SC-15.

1. profilé de chapeau, aluminium
EN AW-6060 T66, EN 573-3,
EN 573-2
anodisation E6/C-0, DIN 17611
Épaisseur de classe 25
2. barre Keder, aluminium
EN AW-6060 T66, EN 573-3,
EN 573-2
anodisation E6/C-0, DIN 17611
Épaisseur de classe 25
3. profilé de base, aluminium
EN AW-6060 T66, EN 573-3,
EN 573-2
anodisation E6/C-0, DIN 17611
Épaisseur de classe 25
4. point de système
4.1 point de système de profilé
4.2 point de système de
membrane
5. joint de couvercle, EPDM
Shore A 60 ± 5, couleur: noir
surface: sec
6. conception standard d'un coussin
pneumatique. Nombre de
couches en fonction des
exigences de chaque projet.
7. vis avec rondelle d'étanchéité
6,5x32-Ø16
acier inoxydable A2: 1.4301 /
AISI 304
8. ourlet de rive 'keder' Ø 6mm,
EPDM
Shore A 80 ± 5, couleur: noir
9. structure principale, acier
dimensions en fonction de
calculs statiques,
avec trous oblongs 11x25mm
10. vis à tête cylindrique à six pans
creux EN ISO 4762 -
M10-L-PC-70
(DIN 912)
rondelle
EN ISO 7089 - M10
(DIN 125)
écrou hexagonal
EN ISO 7040 - M10-PC-70
(DIN 982)
acier inoxydable de classe à
définir selon EN 1993-1-4-A1
couple de serrage: 32Nm
11. couche de séparation, EPDM
12. forage dans le profil en aluminium
Ø=11-12mm
13. Pièce de fixation en aluminium
pour joints de profilés de base
afin de réduire au minimum le
décalage 3x33x60mm
3-AW-5754

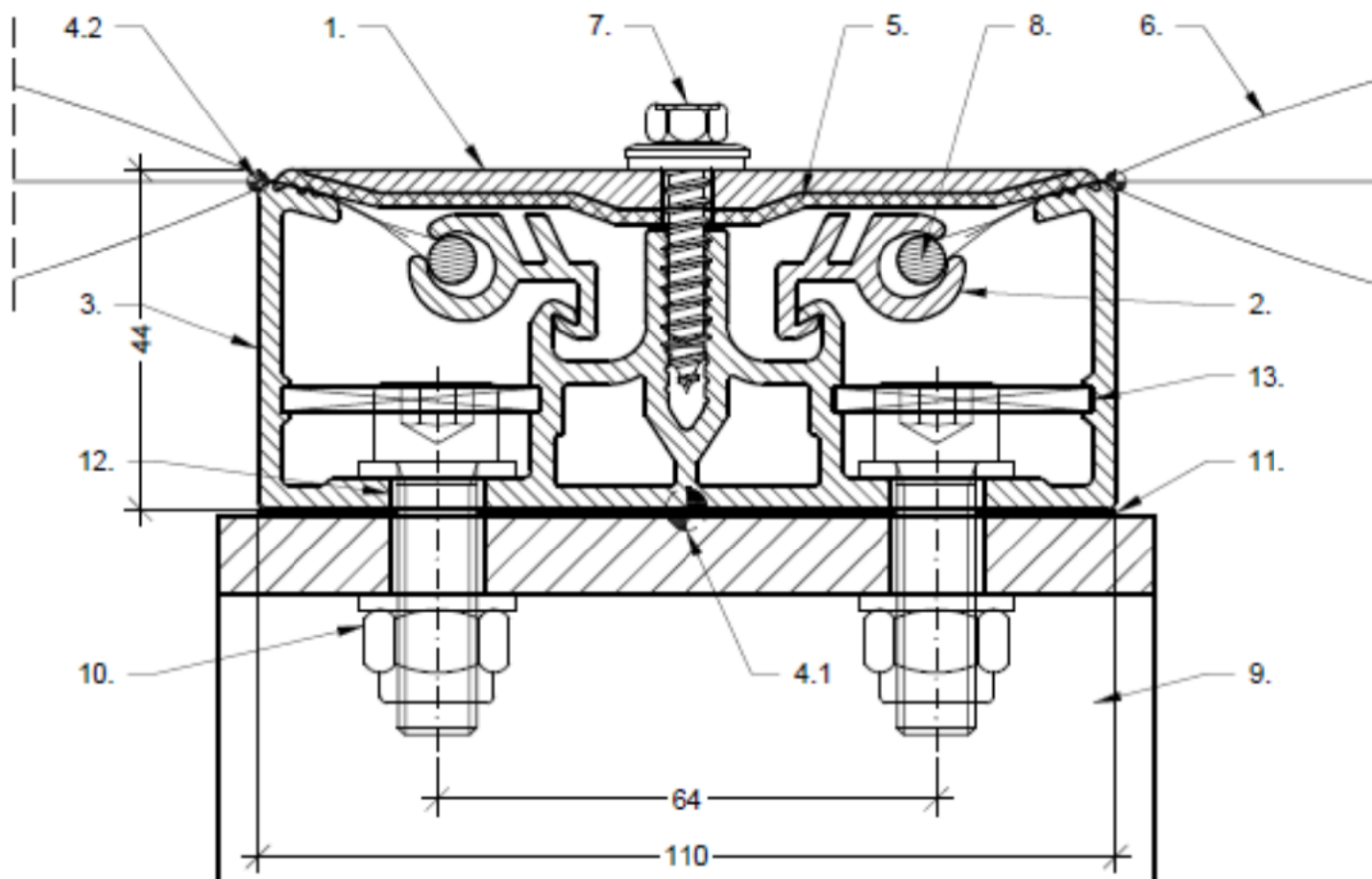


Figure 7 – Détail des éléments d'un profilé aluminium sur acier sans gouttière de condensation –SC-16.

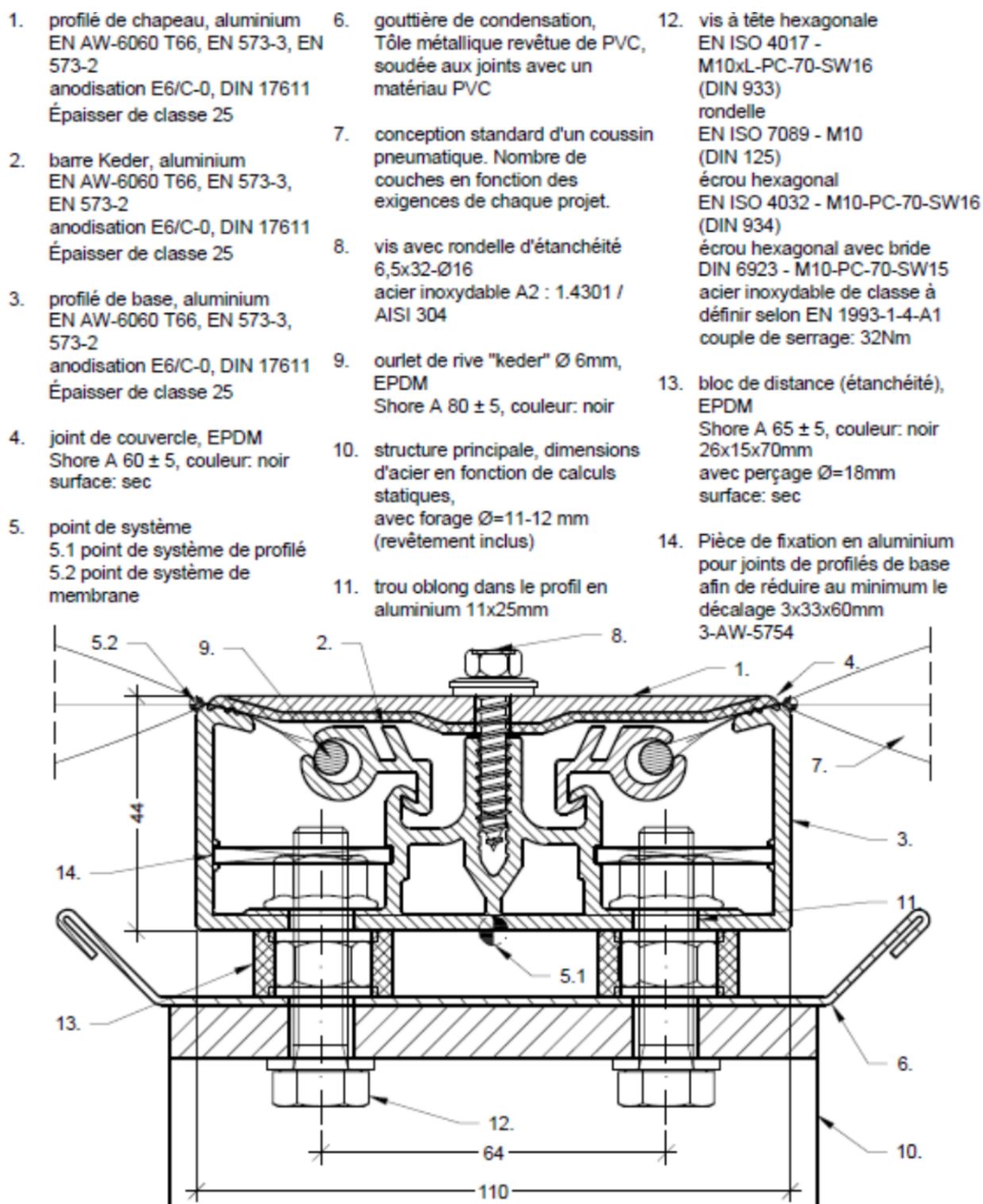


Figure 8 – Détail des éléments d'un profilé aluminium sur acier avec gouttière de condensation –SC-16.

- | | | |
|--|--|---|
| 1. profilé de chapeau, aluminium
EN AW-6060 T66, EN 573-3,
EN 573-2
anodisation E6/C-0, DIN 17611
Épaisseur de classe 25 | 4. point de système
4.1 point de système de profilé
4.2 point de système de
membrane | 8. ourlet de rive "keder" Ø 6 mm,
EPDM
Shore A 80 ± 5, couleur: noir |
| 2. barre Keder, aluminium
EN AW-6060 T66, EN 573-3,
EN 573-2
anodisation E6/C-0, DIN 17611
Épaisseur de classe 25 | 5. joint d'étanchéité couvercle,
EPDM
Shore A 60 ± 5, couleur: noir
surface: sec | 9. structure principale, acier
dimensions en fonction de
calculs statiques |
| 3. profilé de base, aluminium
EN AW-6060 T66, EN 573-3,
EN 573-2
anodisation E6/C-0, DIN 17611
Épaisseur de classe 25 | 6. conception standard d'un
cousin pneumatique. Nombre
de couches en fonction des
exigences de chaque projet. | 10. couche de séparation, EPDM |
| | 7. vis avec rondelle d'étanchéité
6,5x32-Ø16 acier inoxydable
A2 : 1.4301 / AISI 304 | 11. Boulon à tête marteau
28/15 - M10xL-PC-70
écrou hexagonal
EN ISO 7040 - M10-PC-70
rondelle
EN ISO 7089 - M10
acier inoxydable de classe à
définir selon EN
1993-1-4-A1
couple de serrage: 32Nm |

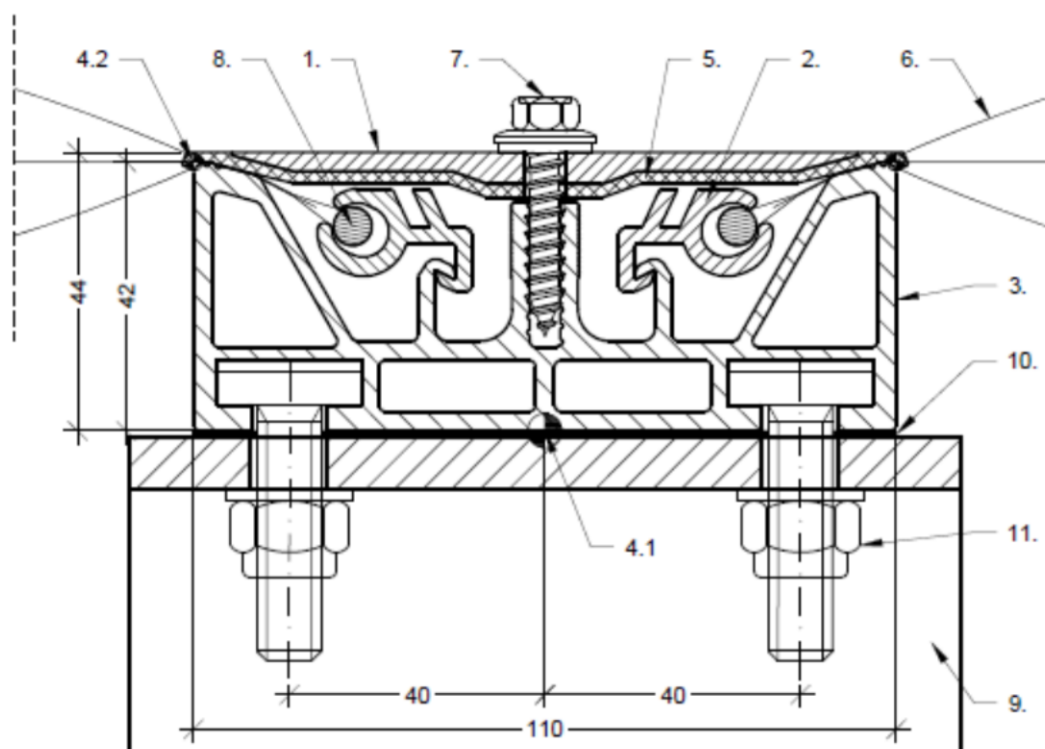


Figure 9 – Détail des éléments d'un profilé aluminium en boulon à tête marteau sur acier sans gouttière de condensation –SC-19.

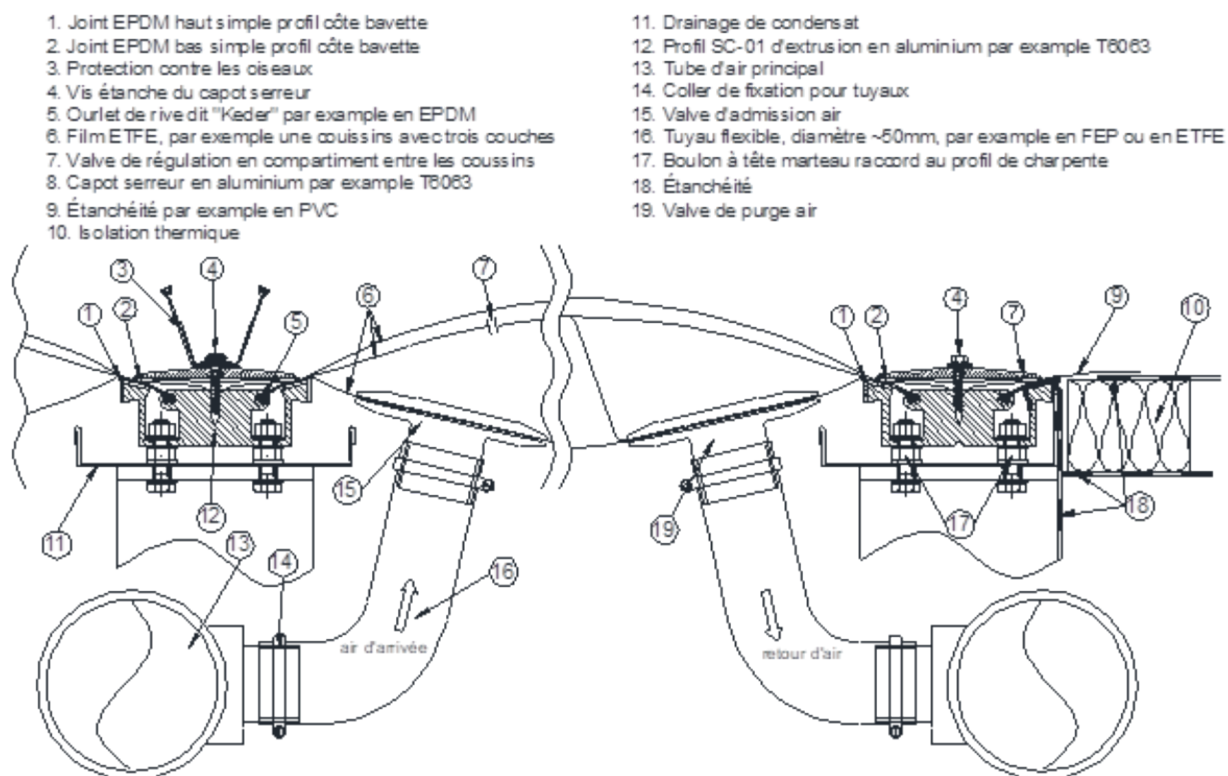


Figure 10 – Exemple de Détail des éléments de coussins avec un profilé SC-01.

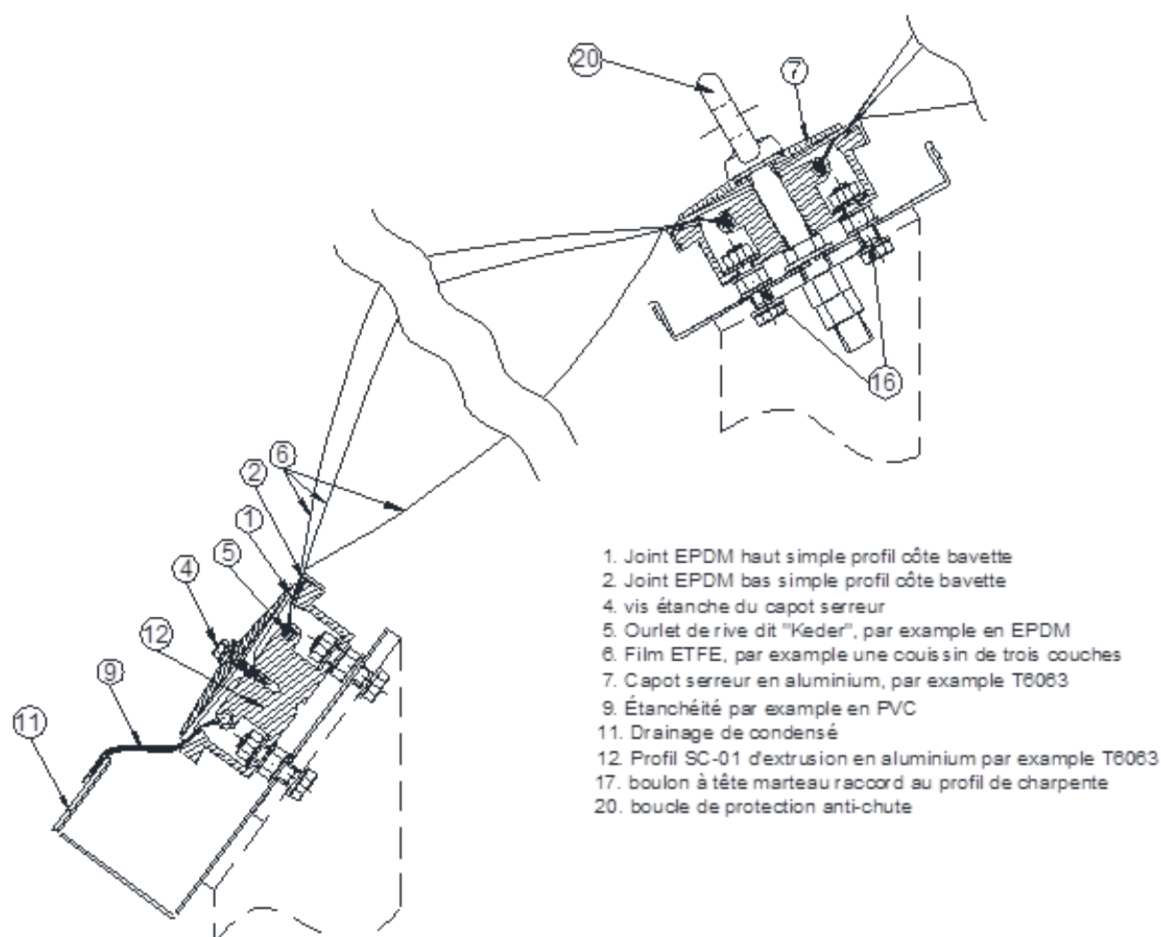


Figure 11 – Exemple de détail des éléments d'une verrière inclinée avec un profilé SC-01.

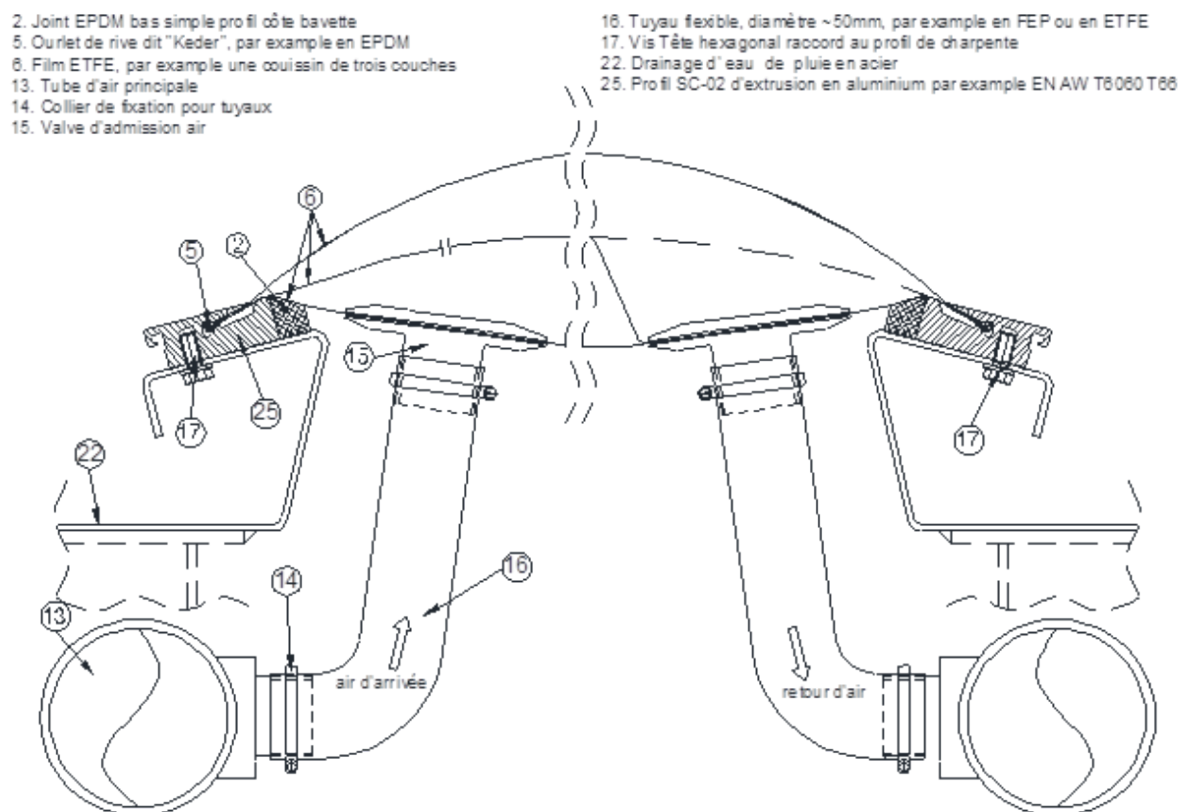


Figure 12 – Détail des éléments de coussins avec un profilé SC-02.

- 2. Joint EPDM bas simple profil côte bavette
- 5. Ourlet de rive dit "Keder", par exemple en EPDM
- 6. Film ETFE, par exemple une coussin de trois couches
- 13. Tube d'air principale
- 14. Collier de fixation pour tuyaux
- 15. Valve d'admission air
- 16. Tuyau flexible, diamètre ~50mm, par exemple en FEP ou en ETFE
- 17. Vis Tête hexagonal raccord au profil de charpente
- 22. Drainage d'eau de pluie en acier
- 24. rivet
- 25. Profil SC-02 d'extrusion en aluminium par exemple EN AW 6060 T66

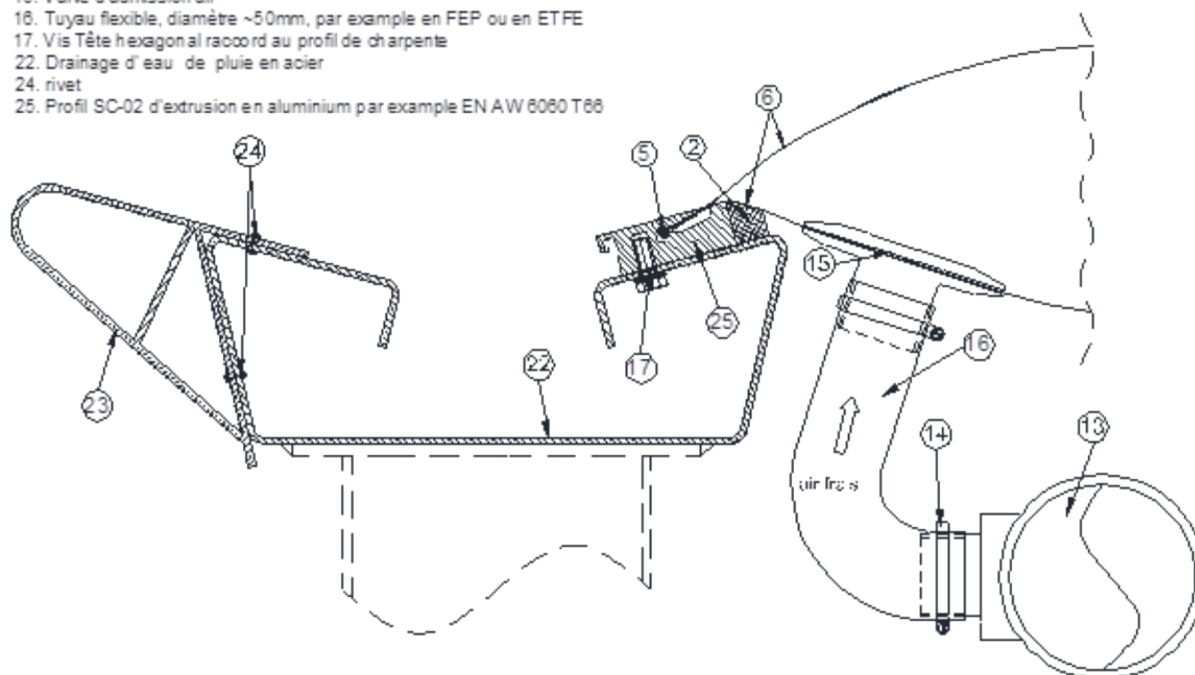


Figure 13 – détail de rive d'un cousin avec un chenaux avec un profilé SC-02.

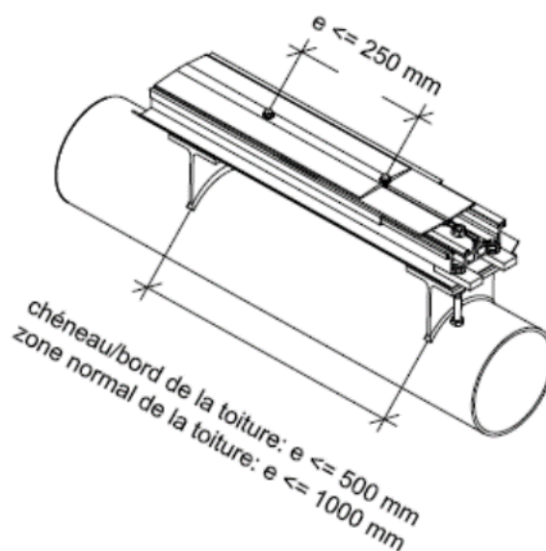


Figure 14 – Détail du principe de fixation des profilés SC-01 sur une charpente primaire.

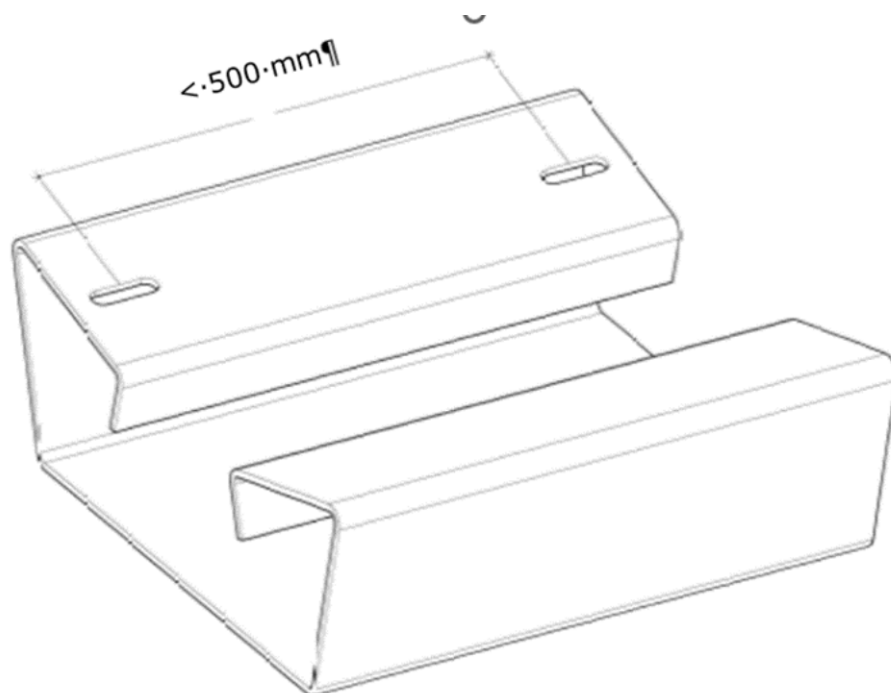


Figure 15 – Élément support des profilés de base SC-02 – espacement entre vis.

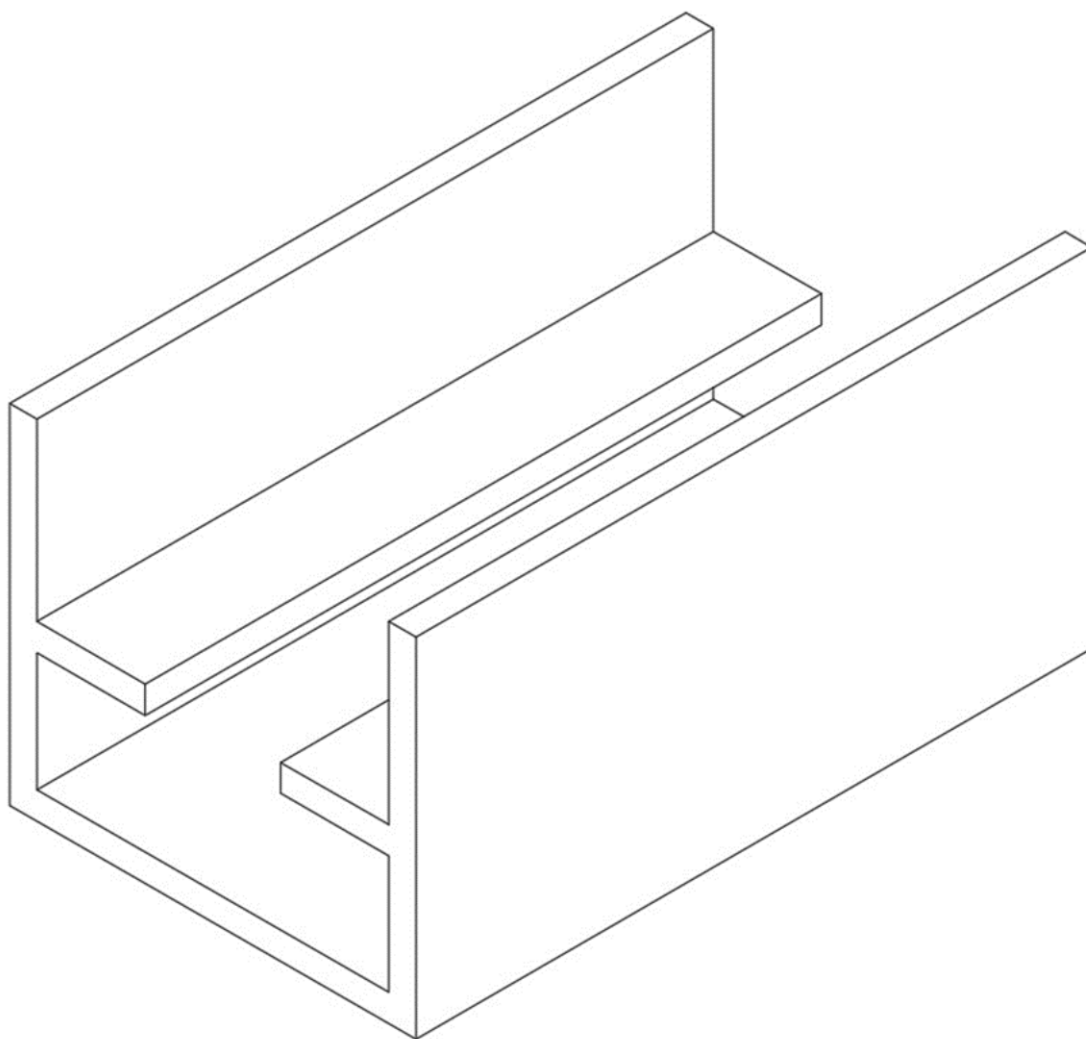


Figure 16 – Détail du support de fixation pour le profilé SC-15 (charpente primaire).

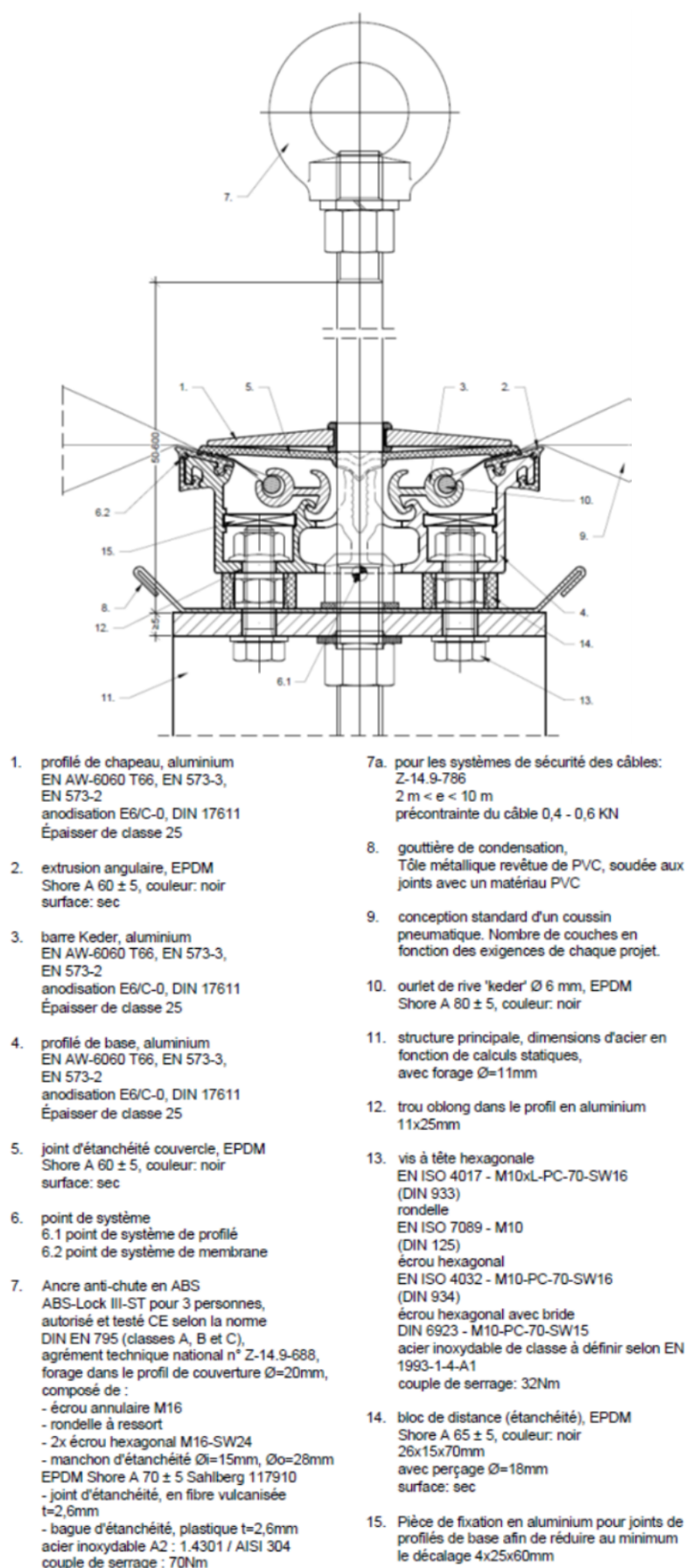


Figure 17 – Vue éclatée d'un système de fixation avec crochet antichute (Exemple profilé SC-01).

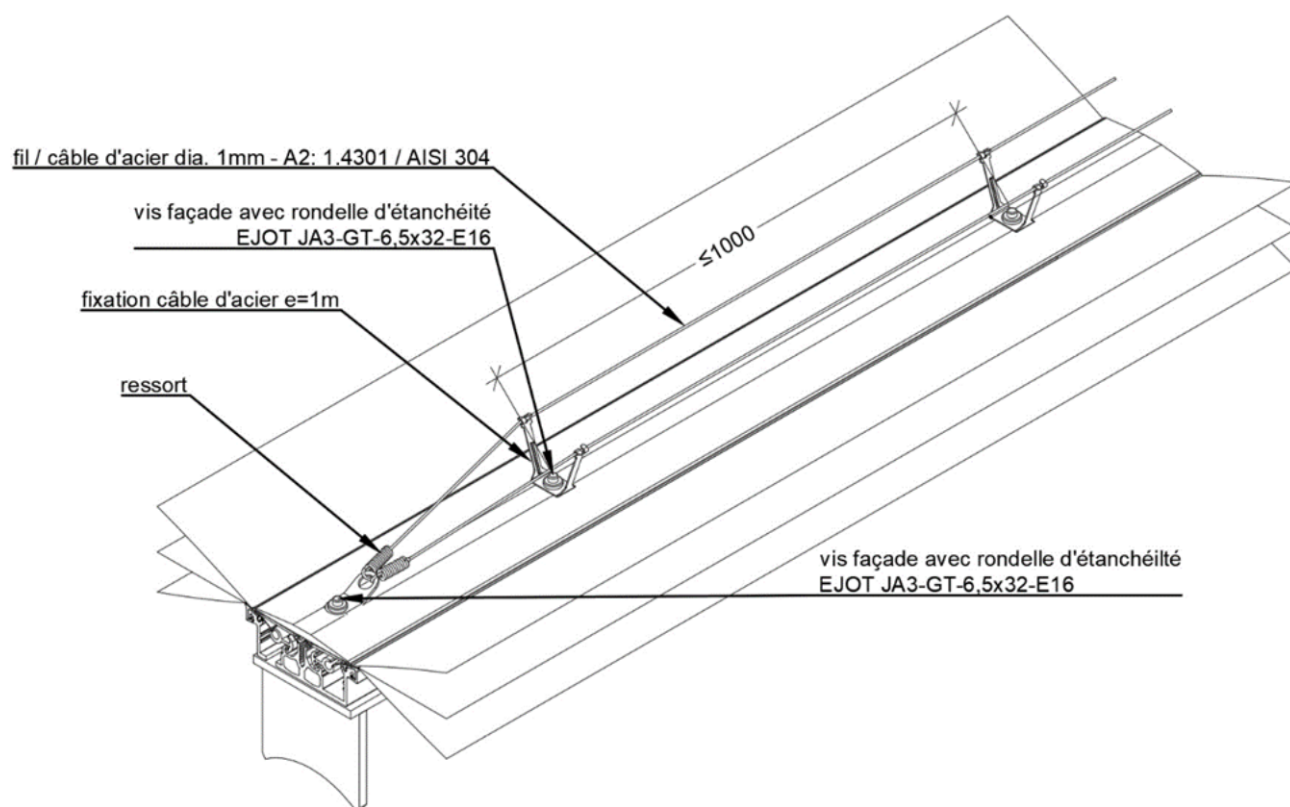


Figure 18 – Vue éclatée d'un système de fixation avec protection de oiseaux (exemple profilé SC-01).

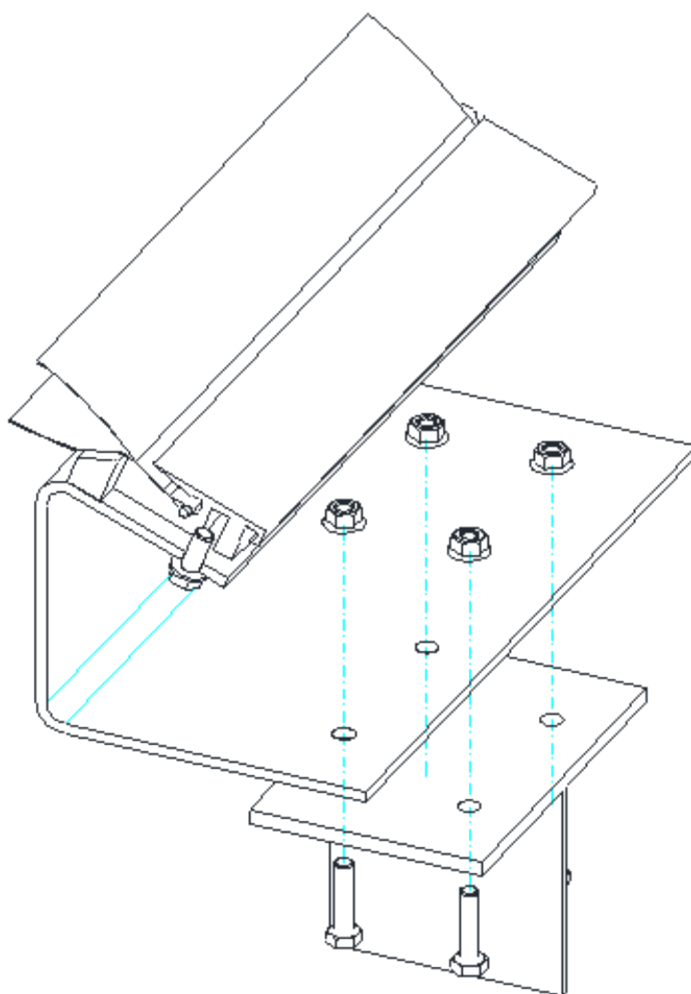


Figure 19 – Vue éclatée d'un système de fixation (profilé SC-02).

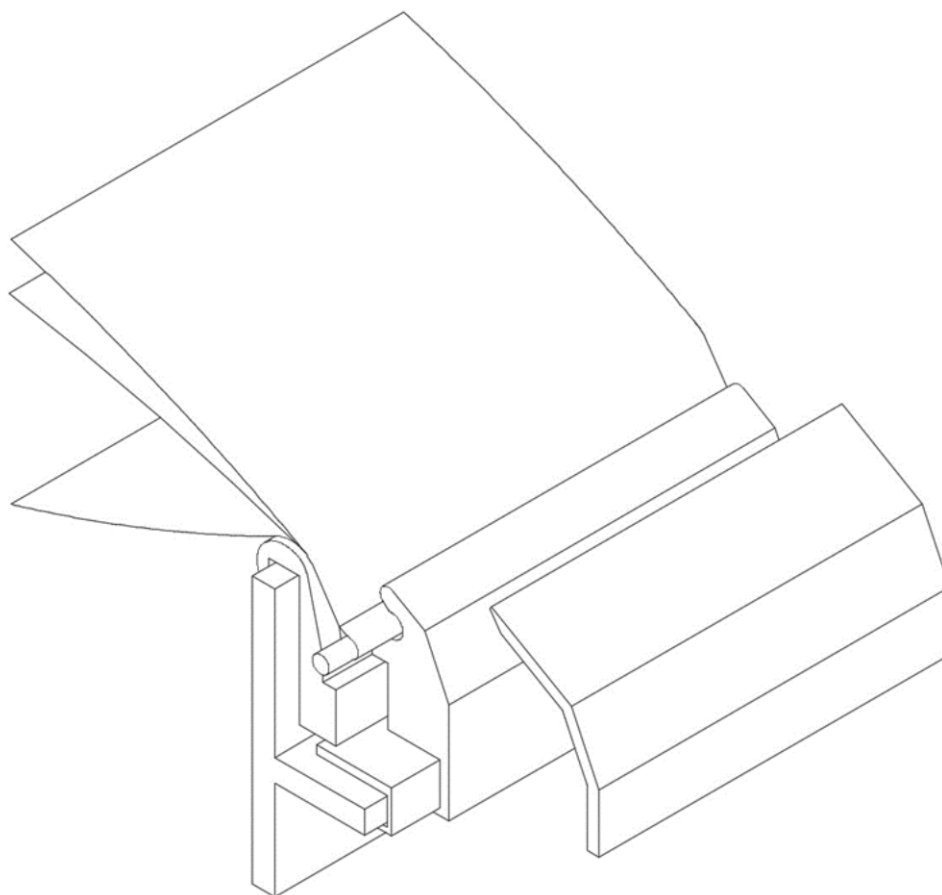


Figure 20 – Vue éclatée d'un système de fixation (profilé SC-15).

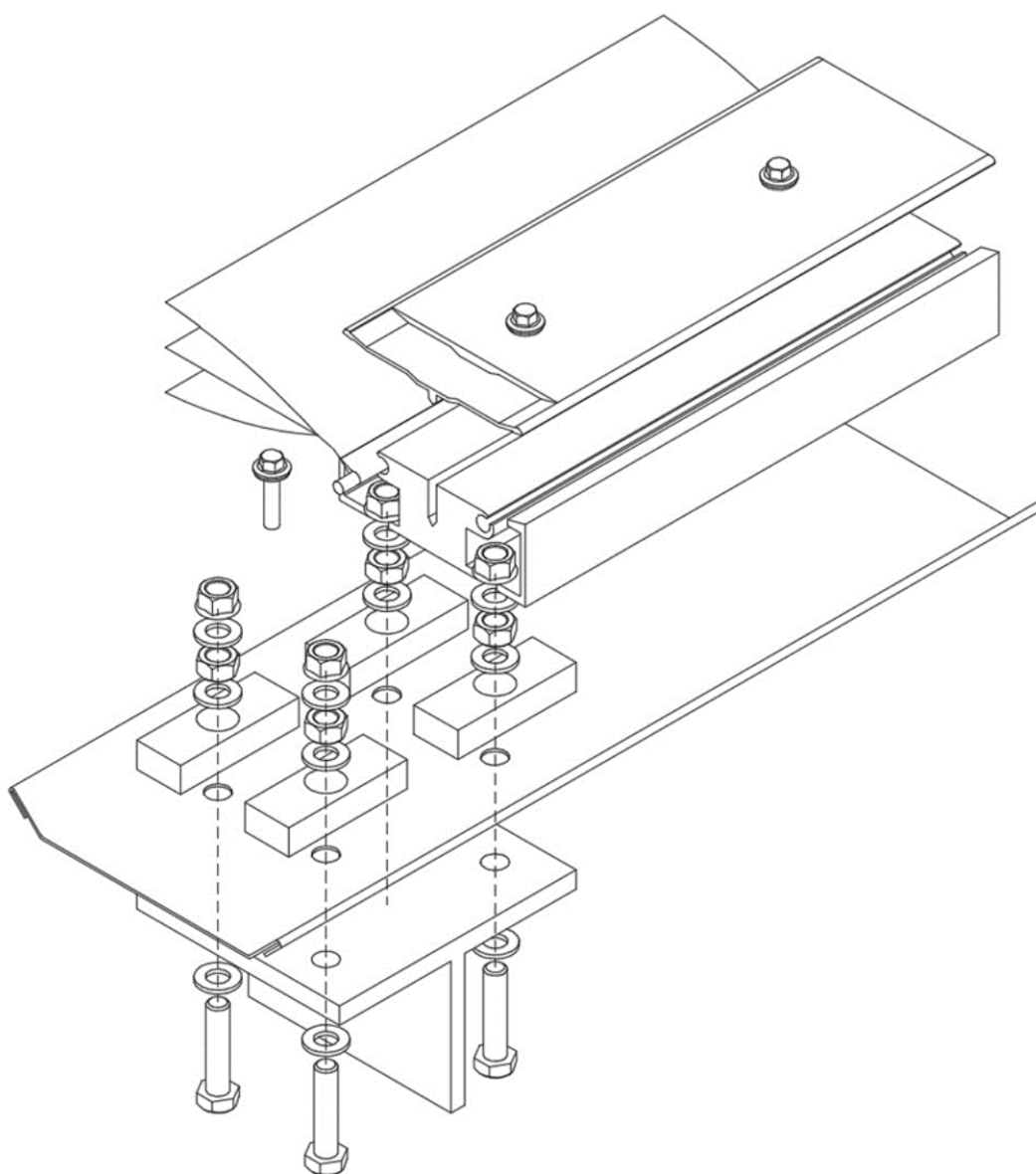


Figure 21 – Vue éclatée d'un système de fixation (profilé SC-16).

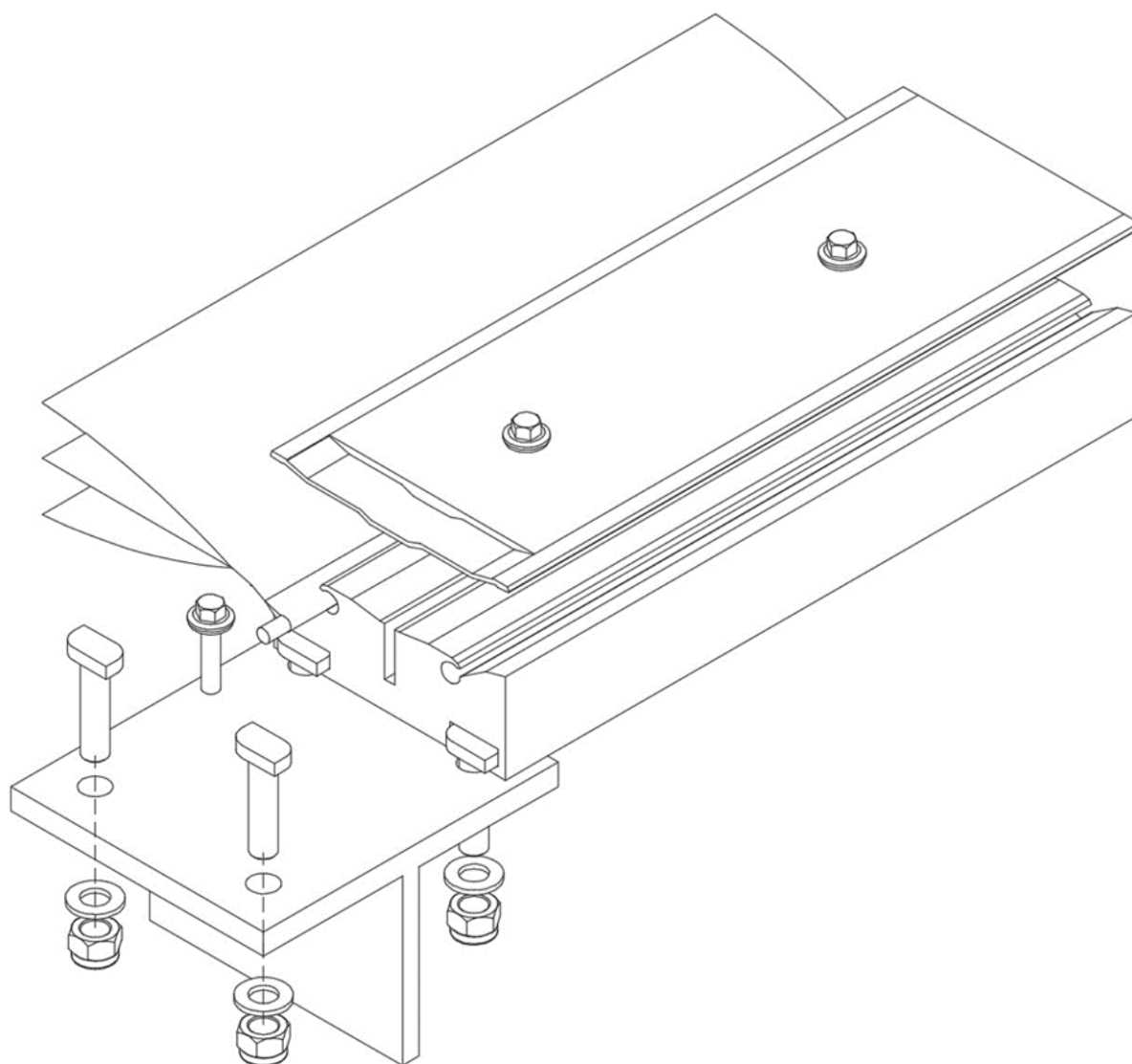


Figure 22 – Vue éclatée d'un système de fixation (profilé SC-19).

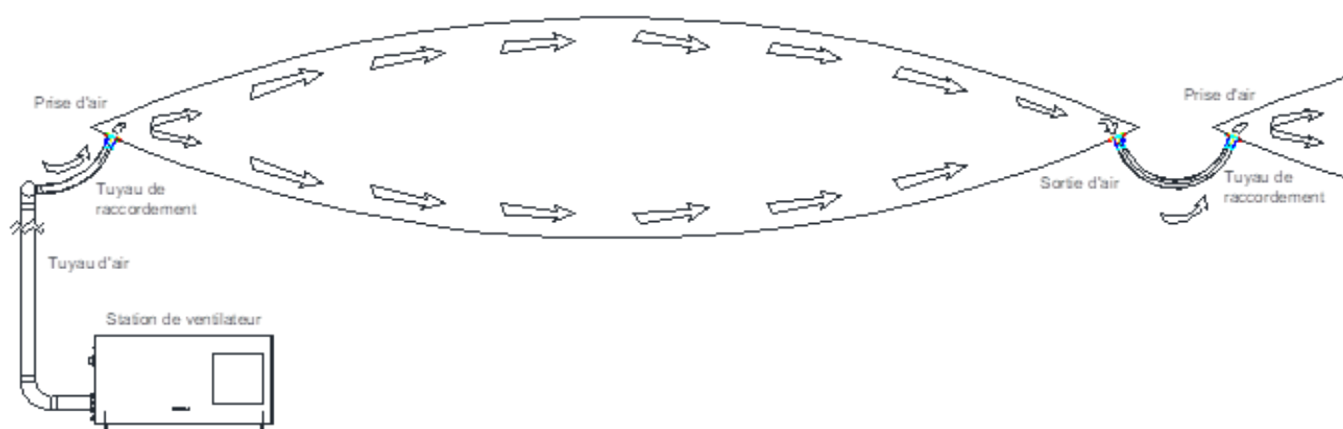
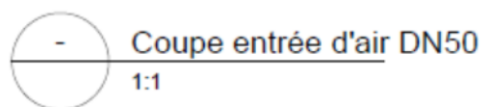


Figure 23 – Principe d'alimentation d'air des coussins ETFE en série



-Matériau:
Aluminium EN AW-6060 T66
DIN EN 573-3,
anodisé E6 C-0 n.
DIN 17611
-Tous les bords dépassent
R 0,5

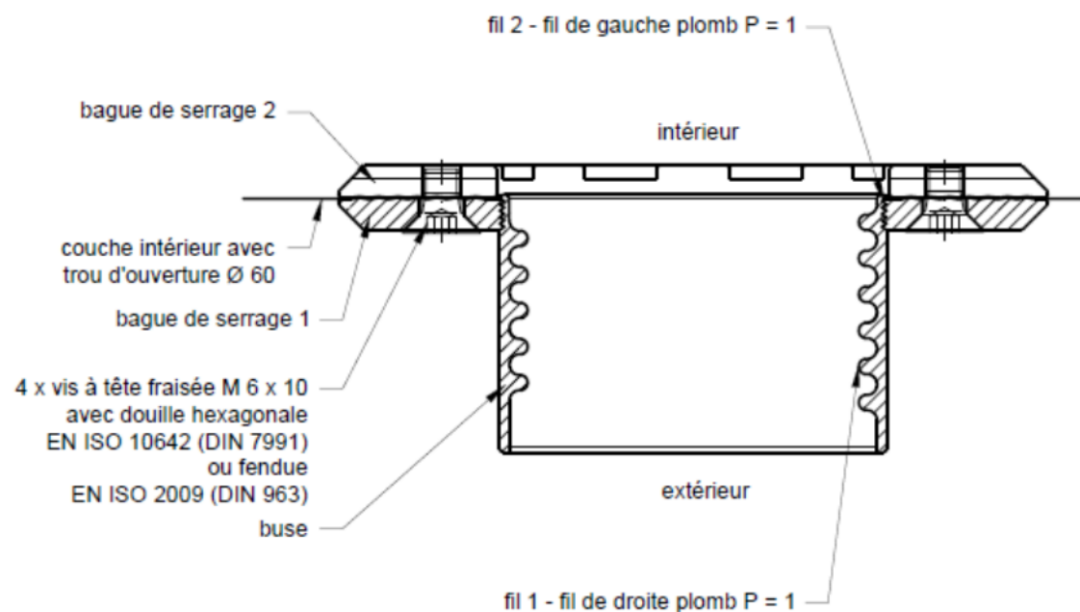
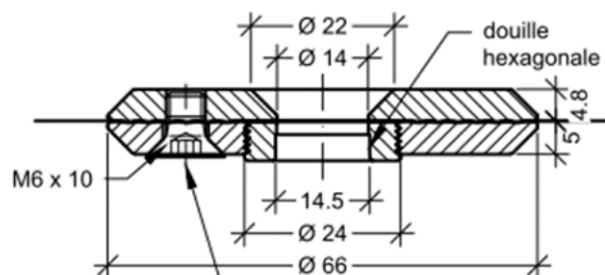
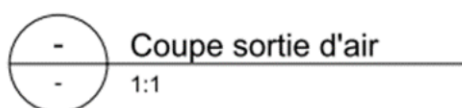


Figure 24 – Détail d'entrée d'air pour tuyau flexible DN50.



fraisage optimisé pour la vis à tête fraisée
en A4 ou PVDF M6 x 10
tolérance dimensionnelle comme ISO 2009, NF E 25-123, DIN 963
La vis ne doit pas dépasser la bague de serrage 2

-Matériau:
Aluminium EN AW-6060 T66
DIN EN 573-3,
anodisé E6 C-0 n.
DIN 17611
-Tous les bords dépassent
R 0,5

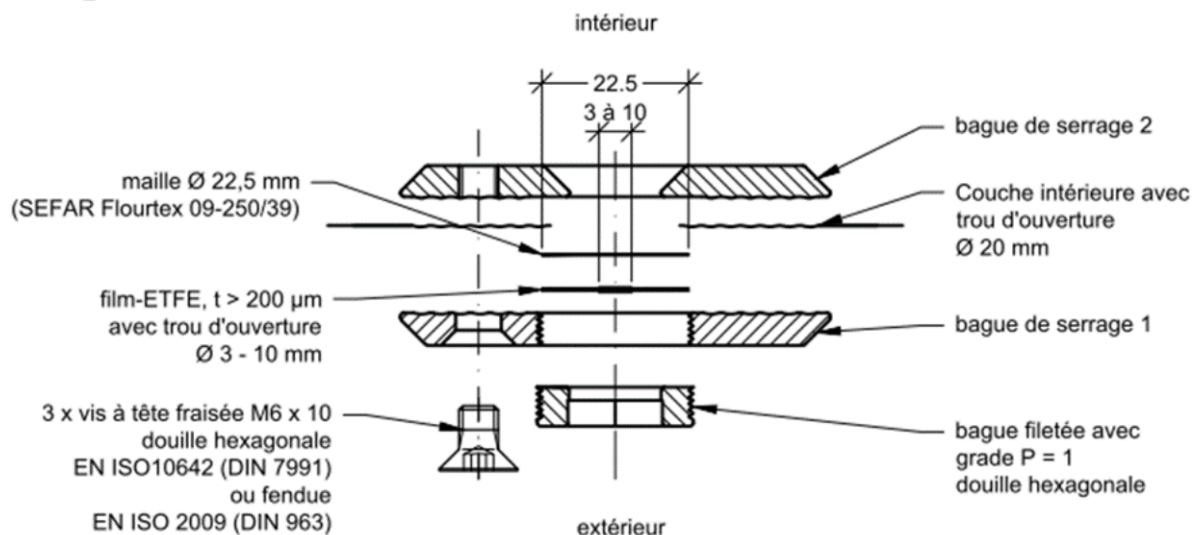
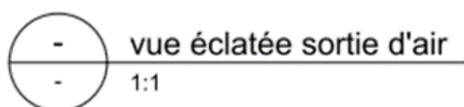
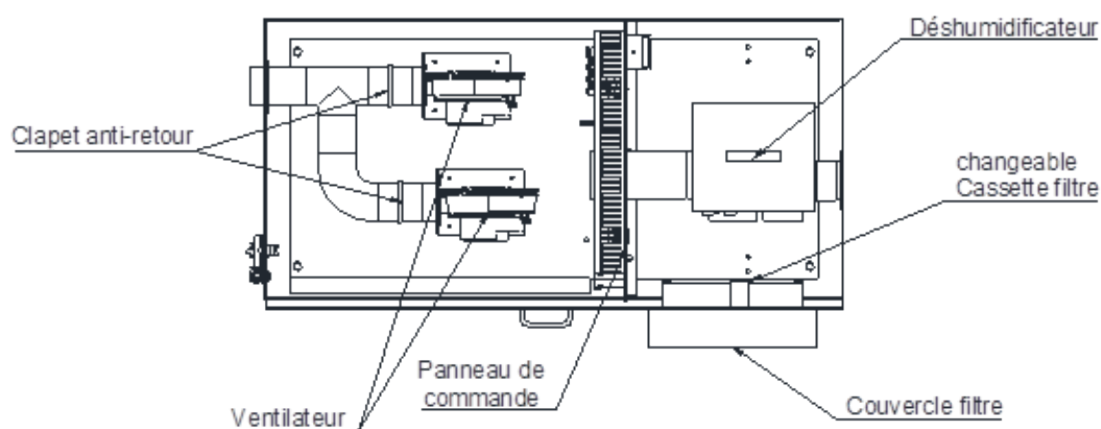


Figure 25 – Détail de sortie d'air pour tuyau flexible.



Affaire pieds

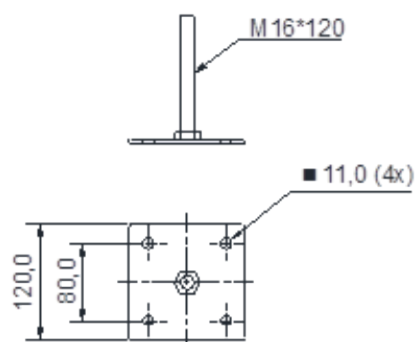


Figure 26 – Détail de l'équipement de gonflage.

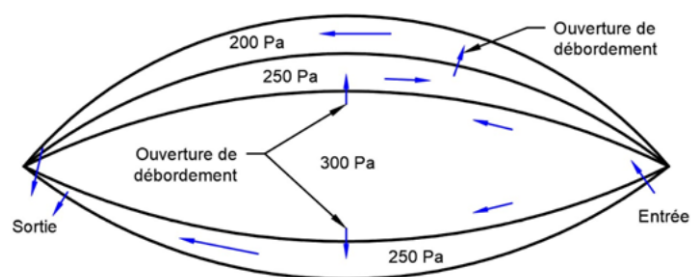


Figure 27 – Passage d'air dans les coussins à 5 films.

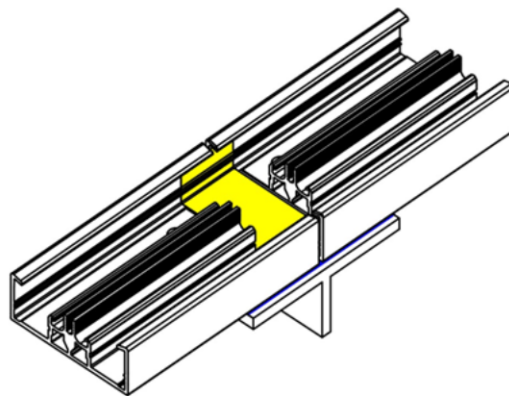
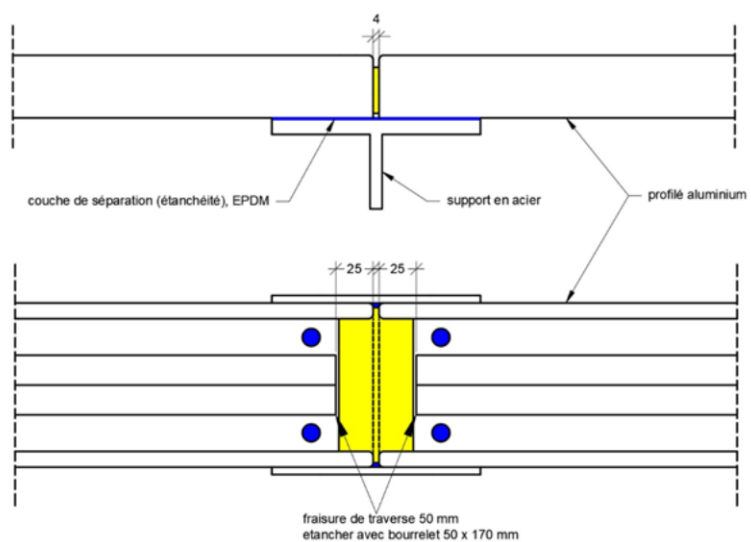
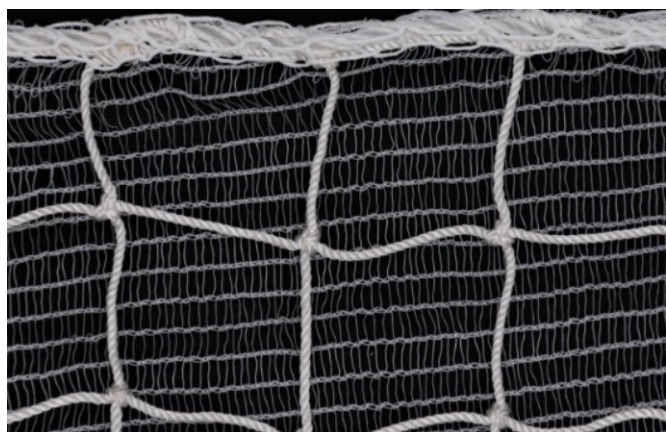
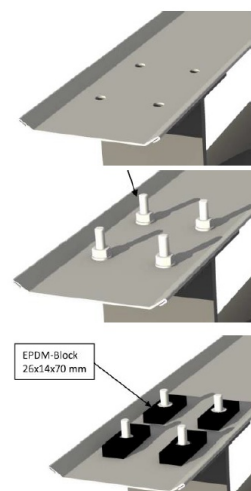
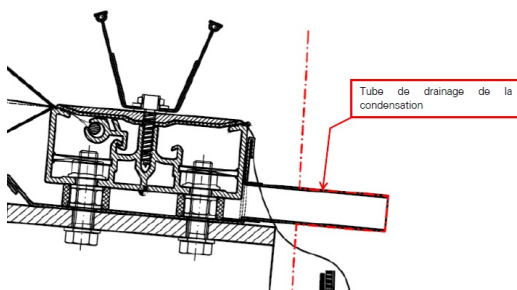
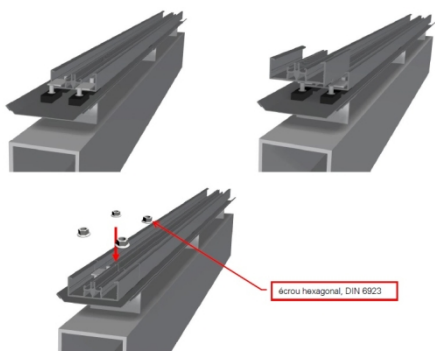


Figure 28 – Eclissage des profilés

1 – installation des filets de pose
FICHE TECHNIQUE
FILET DE SÉCURITÉ ANTI-CHUTE EN 1263-1 / REF : SECU050-475

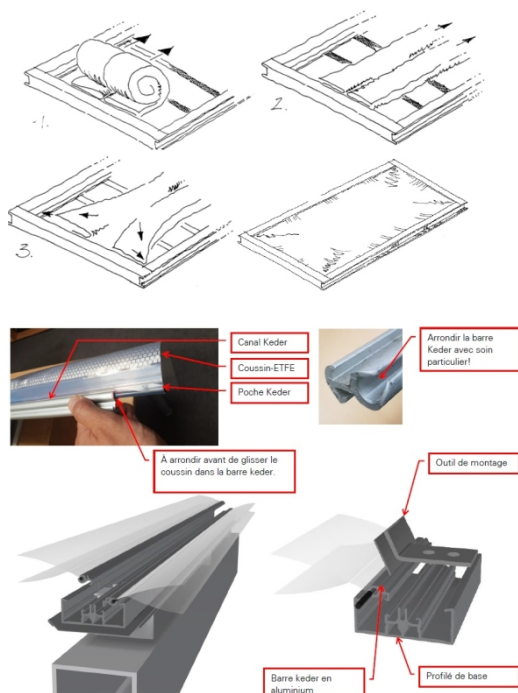
Matière	Polyamide (PA)
Mailles	50 x 50 mm
Diamètre du fil	4,75 mm
Dimensions	sur mesure (dimensions standard disponibles)
Type de maille	Maille carrée
Finition	Ralingue haute ténacité Ø 12 mm en polyamide blanc
Norme UE	EN 1263-1
Jumelage possible avec	Filet pare-gravats
Fabrication	Française
Référence	SECU050-475
Poids au m²	500 g (+ ou - 5%)
Résistance sur une tresse	407 kg (+ ou - 5%)
Résistance théorique indicative sur un m²	3600 kg
Montage	Passée entre toutes les mailles et cousue au pourtour
Matière	Polyamide 12 mm
Poids au mètre linéaire (ML)	100 g (+ ou - 5%)
Résistance théorique indicative sur un ML	3000 kg
Épaisseur sécurité +	4 passes
Point de fusion	220° C

2- installation des gouttières de condensation**a- Placer la gouttière de condensation****b- percer les trous dans la gouttière de condensation****c- Fixer la gouttière avec des vis par le dessus, rondelle sous la gouttière, rondelle au-dessus et premier écrou. Le filetage doit être étanché avec de la LOCTITE 511)****d- placer la 3^{ème} rondelle sur l'écrou****e- souder les jonction entre les gouttières à l'aide d'un bande FPO (Sika Sarnafil T66-15) pour étanché la connexion****f- placer sur toutes les vis le joint d'étanchéité en EPDM (bloc EPDM de 26 x 15 x 70 mm)****3- installation des tubes de drainage****Installer sur chaque poutre de bordure**

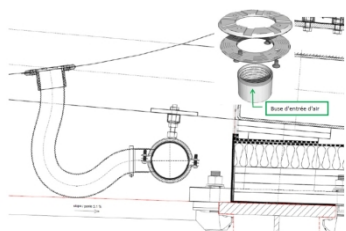
4- Installation des profilés

- a- placer les profilés de base sur les blocs d'étanchéité en EPDM**
b- Fixer les profilés avec les écrous hexagonaux. Le filetage doit être étanché avec de la LOCTITE 511.

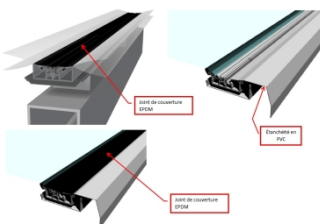
c- des pièces de réglage en aluminium maintiennent les profilés alignés au niveau des jonctions

5- Installation des coussins

- a- poser les sur les filets de pose ou sur les sangles (1)**
b- déplier soigneusement les coussins et les mettre en position (2)
c- installer le coussin en commençant pas les angles et accrocher le reste ensuite. (Assurer le coussin contre le vent) (3)
d- arrondir la zone où le keder en EPDM et la poche se glissent dans le profil.
e- si une coupe a été faite sur le profilé keder, ébavurer le profilé. Nettoyer la barre keder, en particulier le canal.
f- mettre en place le keder avec la poche dans le profilé keder.
g- Utiliser l'outil de montage pour installer le profil keder dans le profil de base

6- installation des tuyaux flexibles

Connecter les coussins avec un conduit d'air principale (tube flexible FEP Ø50 mm)

7 installations des joints d'étanchéité

Installation du joint EPDM sur les profilés de base.
Installation des bandes d'étanchéité en PVC sur les rives

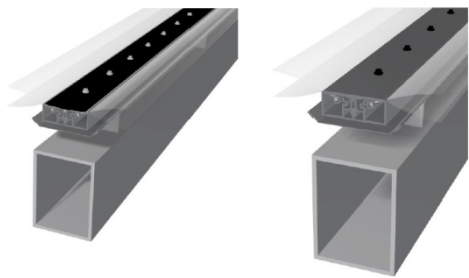
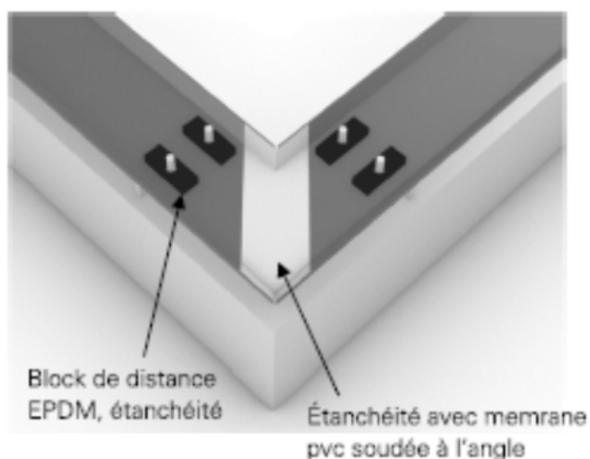
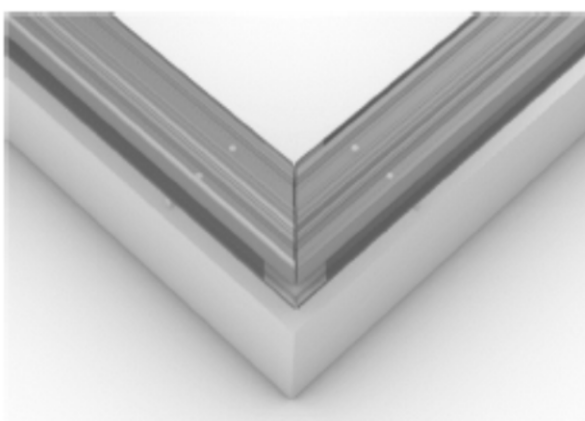
8- installation du capot serreur 	
9- installation du dispositif anti-volatil	
10- gonfler le coussin	

Figure 29 – Pas à pas de mise en œuvre des profilés SC01 et SC 16 (exemple)

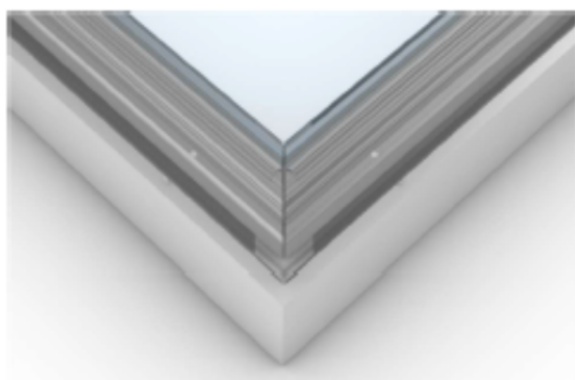
1. installation cheneau de condensation



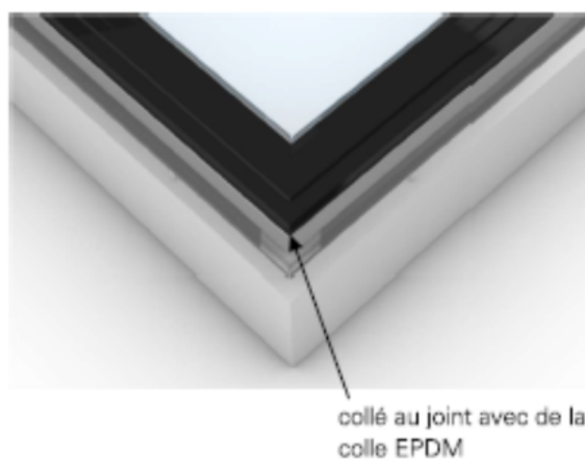
2. installation du profilé de base



3. installation du coussin



4. installation du joint de couvercle



5. installation du profilé de chapeau

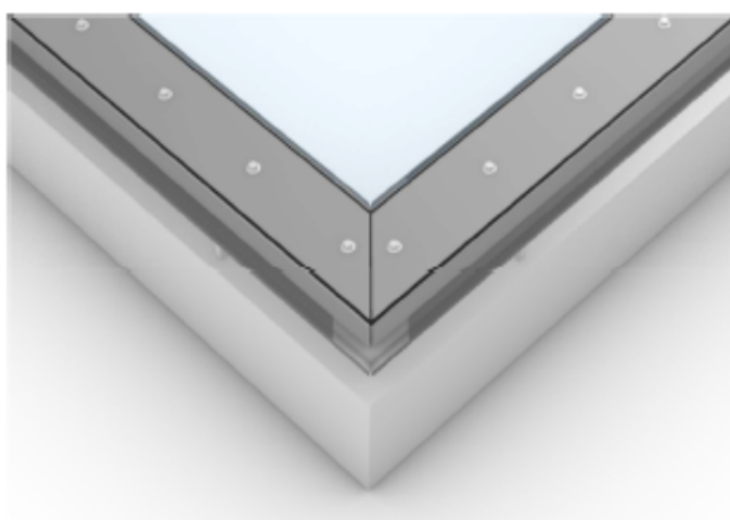
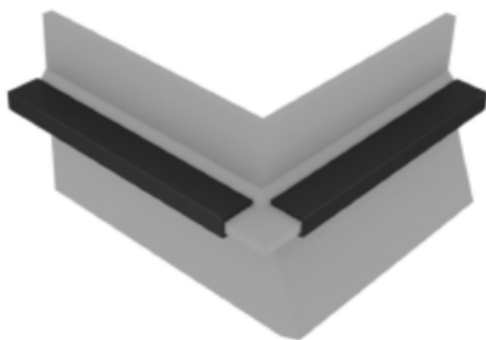
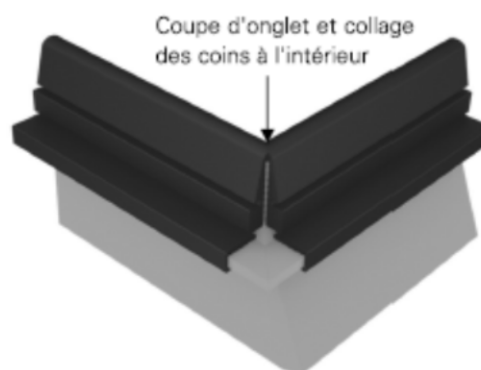


Figure 30 – Pas à pas de mise en œuvre des profilés SC01 et SC 16 (angle)

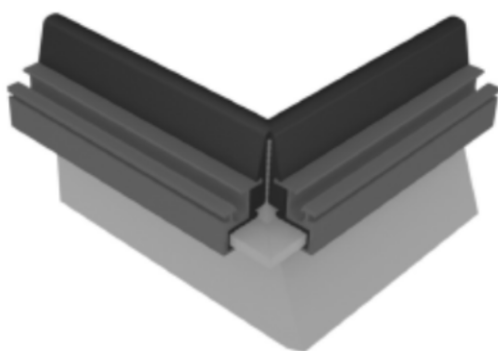
1. installation du séparation extrusion EPDM type 1



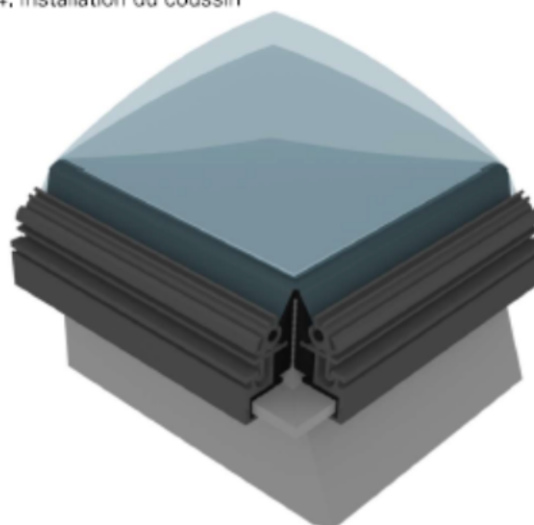
2. installation du profilé de protection des arêtes EPDM type 2



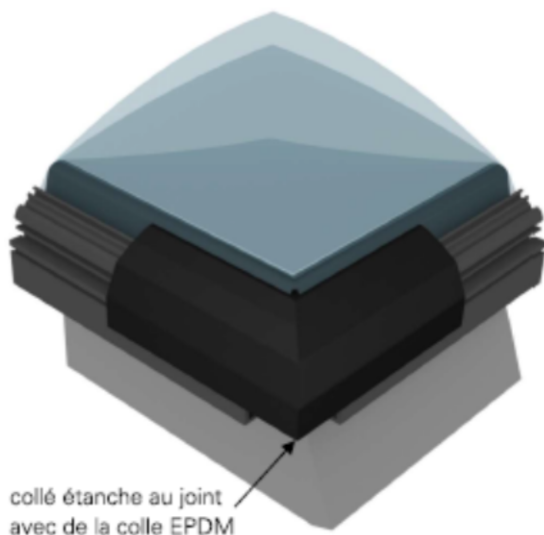
3. installation du profilé de base (profilé alu)



4. installation du coussin



5. Installation du joint d'angle du Extrusion EPDM de couverture



6. installation du extrusion EPDM de couverture restant

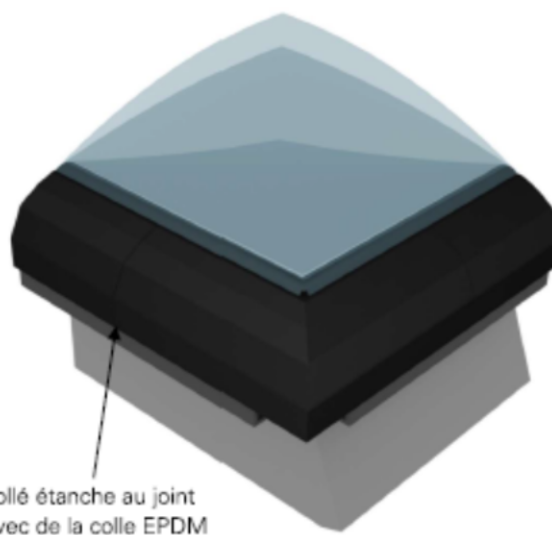


Figure 31 – Pas à pas de mise en œuvre des profilés SC015 (angle)