

Sur le procédé

Coussins à membranes ETFE

Titulaire : Société seele France S.A.S.
Internet : www.seele.com

Descripteur :

Verrières composées de coussins gonflables. Les coussins sont composés de 2 à 5 membranes ETFE (Ethylène Tétrà Fluor Ethylène) et sont gonflés avec de l'air à une pression nominale de 300 Pa.

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

Famille de produit/Procédé : Verrière en coussins gonflables

AVANT-PROPOS

Les Avis Techniques et les Documents Techniques d'Application sont destinés à mettre à disposition des acteurs de la construction des éléments d'appréciation sur la façon de concevoir et de construire des ouvrages au moyen de produits ou procédés de construction dont la constitution ou l'emploi ne relèvent pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

Au terme d'une évaluation collective, l'avis technique de la commission se prononce sur l'aptitude à l'emploi des produits ou procédés relativement aux exigences réglementaires et d'usage auxquelles l'ouvrage à construire doit normalement satisfaire.

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V1	Cette version intègre les modifications suivantes : <ul style="list-style-type: none"> - Ajout de la nouvelle jurisprudence concernant les procédés de coussins gonflables ; - Ajout des films d'épaisseurs 350 à 500 µm ; - Suppression du profil SC-11 et ajout des profilés SC-15, SC-16 ; - Mise à jour de l'annexe de dimensionnement. 	Aurélie BAREILLE	Frédéric VALEM

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé	4
1.1.	Définition succincte	4
1.1.1.	Description succincte	4
1.1.2.	Identification	4
1.2.	AVIS.....	4
1.2.1.	Domaine d'emploi accepté	4
1.2.2.	Appréciation sur le procédé	4
1.2.3.	Prescriptions Techniques	6
1.2.4.	Conditions la réparation et la maintenance	6
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé	6
2.	Dossier Technique.....	7
2.1.	Données commerciales	7
2.1.1.	Coordonnées	7
2.2.	Description	7
2.3.	Matériaux, produits et composants	7
2.3.1.	Coussins ETFE.....	7
2.3.2.	Profilé aluminium	8
2.3.3.	Equipement de gonflage.....	9
2.3.4.	Accessoires.....	9
2.4.	Fabrication	10
2.5.	Surveillance et contrôle.....	11
2.6.	Mise en œuvre	11
2.7.	Thermique.....	13
2.8.	Sismique	14
2.9.	Dimensionnement	15
2.10.	Réparation et entretien	15
2.10.1.	Réparation.....	15
2.10.2.	Entretien	16
2.11.	Résultats expérimentaux.....	16
2.12.	Références	17
2.12.1.	Données environnementales et Sanitaires.....	17
2.12.2.	Autres références	17
2.13.	Annexes du Dossier Technique.....	18

1. Avis du Groupe Spécialisé

Le Groupe Spécialisé n° 2.1 - Produits et procédés de façade légère de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques a examiné, le 13 octobre 2020, le procédé **Coussins à membranes ETFE**, présenté par la Société SEELE. Il a formulé, sur ce procédé, l'Avis Technique ci-après. L'avis a été formulé pour les utilisations en France métropolitaine.

1.1. Définition succincte

1.1.1. Description succincte

Verrières composées de coussins gonflables, eux-mêmes composés de 2, 3, ou 5 films en ETFE (Ethylène Tétra Fluor Ethylène). Les coussins sont gonflés avec de l'air à une pression nominale de 300 ± 50 Pa.

Les coussins sont réalisés par un assemblage de lés avec des recouvrements transversaux thermo-soudés en usine.

1.1.2. Identification

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

1.2. AVIS

1.2.1. Domaine d'emploi accepté

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

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 (contrainte) et sous cas accidentel si un coussin est dégonflé (due à la géométrie du coussin).

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.

Le présent Avis ne vise pas les fenêtres intégrées dans la verrière.

1.2.2. Appréciation sur le procédé

1.2.2.1. Satisfaction aux lois et règlements en vigueur et autres qualités d'aptitude à l'emploi

Stabilité

Les verrières 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.

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 2.3.1. du dossier technique établi par le demandeur.

Pose en zones sismiques

Les coussins en ETFE ne présentent pas par nature de risque particulier vis-à-vis des actions sismiques.

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

Un calcul sismique de l'ossature primaire soutenant la verrière doit être réalisé indépendamment du procédé de coussins gonflable en ETFE.

Isolation thermique

Pour les bâtiments neufs, la réglementation thermique RT2012 fixe une exigence sur le facteur solaire des baies pour les locaux destinés au sommeil. Dans ce cas, le facteur solaire de la baie avec ses dispositifs de protections solaires doit être \leq à la valeur donnée dans l'article 21 de l'arrêté du 26 octobre 2010. La réglementation thermique 2012 n'impose pas d'exigence minimale sur les caractéristiques thermiques (U et TL) de ce type de composant. Ils sont pris en compte dans la vérification des exigences réglementaires à l'échelle du bâtiment (Cep, Tic et Bbio).

Si le bâtiment rentre dans le champ d'application de l'arrêté du 13 juin 2008 (RT global), la réglementation thermique pour les bâtiments existants fixe une exigence sur le facteur solaire des locaux destinés au sommeil. Dans ce cas, le facteur solaire doit être inférieur ou égal au facteur solaire défini dans le tableau de l'article 23 de l'arrêté. La réglementation thermique pour les bâtiments existants n'impose pas d'exigence sur les coefficients U et TL des verrières.

Étanchéité

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

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.

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.

Informations utiles complémentaires

Sécurité aux chutes

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

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. (cf. § B-Résultats expérimentaux).

Isolement acoustique

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

1.2.2.2. Durabilité - Entretien

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 serre 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.

1.2.2.3. Fabrication et contrôle

Les dispositions prises par la Société **seele** sont propres à assurer la constance de qualité des coussins et des accessoires associés aux profilés.

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.

Cet avis est formulé en prenant en compte les contrôles et les modes de vérification de fabrication décrits dans le Dossier Technique Etabli par le Demandeur (DTED).

1.2.2.4. 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**.

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.

1.2.3. Prescriptions Techniques

1.2.3.1. Conditions 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 § 7 correspondent à la limite élastique déterminée par **seele**, 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 (cf. §3 DT).

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).

1.2.3.2. Conditions de fabrication

Les coussins sont fabriqués par **seele** dans leur usine en Allemagne (Obing).

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

1.2.4. Conditions la réparation et la maintenance

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).

Appréciation globale

L'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi accepté (cf. paragraphe 1.2.1) est appréciée favorablement.

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Il s'agit de la seconde révision. Les principales modifications sont :

- Ajout des films d'épaisseurs 350 à 500 µm ;
- Suppression du profil SC-11 et ajout des profilés SC-15, SC-16
- Mise à jour de l'annexe de dimensionnement.

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.

Dans le cas des coussins à plus de 2 membranes, l'intégrité des membranes intermédiaires doit être vérifiée sous combinaison de charge ELS.

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

Les risques de désordre liés à des percements par des oiseaux ne sont pas exclus sur les films sérigraphiés.

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 du dossier établi par le titulaire

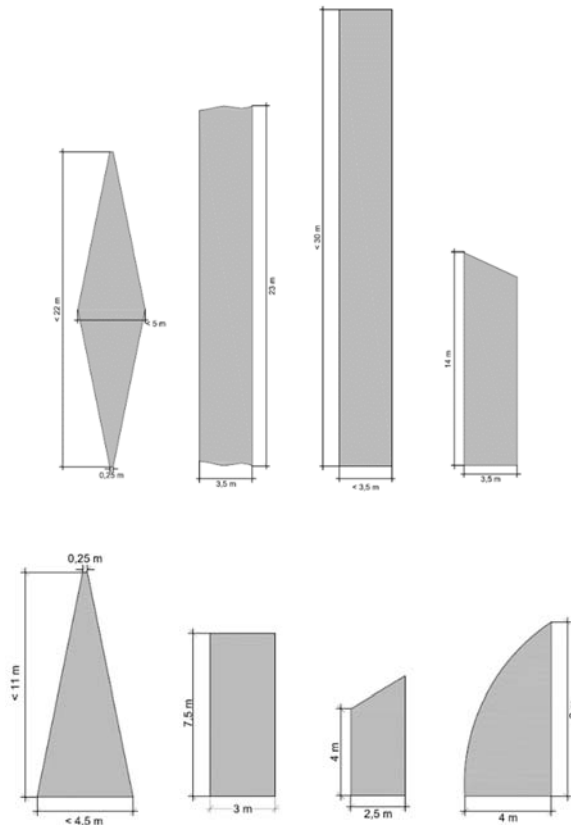
2.1. Données commerciales

2.1.1. Coordonnées

Titulaire : 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

2.2. Description

Verrières transparentes ou translucides de toiture, ou abri pour tous types de bâtiments, qui sont composées de coussins avec la morphologie suivante :



Les coussins sont composés de 2, 3, 4 ou 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.

2.3. Matériaux, produits et composants

2.3.1. Coussins 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 50-500 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.

Tableau 1 – épaisseur des films

Epaisseur μm	50	100	150	200	250	300	350	400	500
Poids g/m^2	87,5	175	262,5	350	437,5	525	612,5	700	875

Tableau 2 – caractéristiques mécaniques

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

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 $f_{u,d(f),10 \text{ years}} \geq 40 \text{ MPa}$.

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.

Ourlet 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 $80 \pm 5 \text{ Shore A}$.

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 selon le label QUALANOD ou équivalent suivant les conditions d'exposition définies dans la norme NF P24-351.

2.3.2. 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 $80 \pm 5 \text{ Shore A}$, 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.

2.3.3. 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 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.

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.

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.

2.3.4. 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

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.

2.4. Fabrication

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. 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 Reveal™)

Tableau 3 – Films ETFE et fournisseurs

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

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.

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

- 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

- 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

- 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) de **seele** cover GmbH 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

- 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.

2.5. 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 (Health & Safety (H&S) Concept).
- 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.

2.6. Mise en œuvre

Montage des coussins à membrane ETFE

Equipe de montage

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

- Pour chaque projet, un chef de projet de la société **seele** dirige les travaux. C'est lui qui forme, qui gère le personnel pour le montage et qui assure la coordination des personnes.

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 µm) 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 avec des éléments flexibles pour la dilatation. Le réseau d'air est fixé sur la structure primaire du bâtiment. Les raccords de tubes en PVC-U 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.

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 (ø11 mm x 24 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 perçement 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 (ø 11 mm) en sous face pour permettre la fixation à la charpente. Des trous oblongs (ø11 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 ± 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.

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.
- 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 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 le tuyau d'air en PVC-U et entre 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.

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 (alvéolis) du profil de base.
- Mise en œuvre et fixation des câbles anti-pigeon.

2.7. Thermique

Calcul du coefficient de transmission surfacique, U

Le coefficient de transmission surfacique de la verrière se calcule conformément aux règles Th-U, 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 :

$$U_{cwi} = \frac{\sum UA + \sum \psi \ell}{A_{cwi}}$$

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.

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-U sont donnés ci-après :

Tableau 4 – coefficient de transmission pour les profilés

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

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 6 – coefficient de transmission ψ_g de pont thermique périphérique

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		

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).

Calcul du facteur solaire, S

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

2.8. Sismique

Les activités sismiques ne représentent pas de risque majeur pour les coussins gonflable en ETFE, compte tenu de leur faible poids (525 g/m^2 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.

2.9. 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 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 coussins à membrane ETFE **seele** ont résisté à une pression de vent simulée (ELS) de + 1.200 Pa et à une succion de vent (ELS) de -2.250 Pa. Le test a été effectué suivant EN 13830.

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 de gonflage
- le poids propre, la précontrainte, la pression de gonflage et le vent
- le poids propre, la précontrainte, la pression de gonflage et la neige
- le poids propre, la précontrainte et la stagnation de l'eau
- le poids propre, la précontrainte, la pression 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 - 2,41 x écart type »).

2.10. Réparation et entretien

2.10.1. Réparation

Une analyse de dommage est faite pour définir le type de réparation à faire.

Dans le cas d'un trou ou une coupure moins de 300 mm de longueur une réparation par rustine ETFE est possible. Au-delà de cette taille, le coussin devrait être remplacé.

Avant de poser la rustine, il faut nettoyer la surface du coussin avec un solvant MEK. Toute boursoufflure doit être enlevée pour assurer une surface lisse avant de coller la rustine en ETFE autocollante.

Endommagements

Les petits endommagements de la membrane ETFE, tels des entailles d'une longueur ne dépassant pas 300 mm et des trous d'un diamètre ne dépassant pas 40 mm, peuvent être réparés par une bande adhésive ETFE spécifique **seele**.

De tels endroits endommagés sont vérifiés au moins une fois par an dans le cadre du plan de maintenance standard et réparés le cas échéant.

Dans le cas d'endommagements plus importants, le coussin à membrane ETFE est remplacé.

Méthodologie de remplacement d'un coussin

La méthodologie de remplacement d'un coussin est basée sur le principe de ne jamais laisser un trou entre le coussin en train d'être remplacé et le coussin de remplacement.

- Tout d'abord la zone en dessous du coussin endommagé est évacuée et signalée.
- Des cordes sont fixées sur les points d'accrochage et servent comme deuxième dispositif de protection pour la dépose et pose du coussin.
- L'accès aux points d'accrochage se fera par un échafaudage ou par des filets montés sur place.
- Ensuite le capot serreur est enlevé à chaque extrémité du coussin endommagé depuis des nacelles ou une tour d'échafaudage. Le coussin est clipsé dans le profil en aluminium et le capot serreur sert pour assurer la bonne évacuation d'eau uniquement.
- Le coussin endommagé est enlevé du profil à chaque extrémité. Ce coussin est toujours tenu en place par les profils latéraux.
- Le coussin neuf est ensuite fixé dans le profil à chaque extrémité.
- Au fur et à mesure les capots serreurs sont enlevés. Le coussin endommagé est enlevé également. Le coussin de remplacement est fixé directement derrière.
- Ce procédé continue jusqu'au bout du coussin. Le coussin endommagé est emballé avec des cordes et il est descendu au sol.
- Ensuite les capots serreurs sont reposés.
- Le coussin est gonflé. Le remplacement est complet.

2.10.2. Entretien

Compte tenu des propriétés naturelles anti-adhérentes de la membrane ETFE *seele*, les coussins n'ont pas besoin de nettoyage sur leur côté extérieur. Ainsi, le remplacement à effectuer sur un coussin consiste uniquement en interventions dans le cas de dommage accidentel et donc nécessite une intervention par les équipes spécialisées de *seele*. Toutefois, le coussin est résistant aux chutes d'un corps mou et donc ne pose aucun souci dans le cas d'une intervention non sanctionnée.

A la livraison de chaque projet, le dossier d'ouvrage exécuté comprend une notice d'emploi pour les coussins. Le nettoyage est fait avec de l'eau et les chiffons Microtex selon la notice jointe.

Dans le cadre d'un projet, un contrat de maintenance annuel est préconisé. Cette maintenance, tous les 12 mois, est effectuée par des équipes de *seele* qui vérifient le bon fonctionnement des unités de gonflage, y compris le remplacement des filtres d'air et une inspection visuelle de l'installation des coussins, de la menuiserie et raccords.

Mode d'emploi (Operation & Maintenance (O&M) Manual, y compris plan de maintenance et mode de nettoyage spécifique au projet).

2.11. 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 : NOWOFLON 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.

2.12. Références

2.12.1. Données environnementales et Sanitaires¹

Le produit (ou procédé) Coussins à membrane ETFE ne fait pas l'objet d'une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES).

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

2.12.2. Autres références

L'ensemble des références relatives au procédé Verrière en coussins gonflables ETFE représente à ce jour : 31 000 m² en France, depuis 2013 dont environ 7 000 m² depuis la dernière révision en 2016.

¹ Non examiné par le Groupe Spécialisé dans le cadre de cet Avis.

2.13. Annexes du Dossier Technique

Annexe - Méthodologie de dimensionnement des coussins gonflables en ETFE

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

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

Pression intérieure 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. Coefficients de pondération

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 intérieure des coussin.

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 intérieure du coussin.

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.

Coefficient de sécurité pour le calcul de la résistance

En état limite de service (ELS) :

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

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

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

3. Résistance ETFE

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 γ 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 »)

$$R_{d,ELS} = \frac{f_{y,k;0,05}}{\gamma_{m,ELS} \times \sum A_{cc}}$$

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°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 :

$$R_{d,ELU} = \frac{f_{y,k;0,05}}{\gamma_{m,ELU} \times \sum A_{cc}}$$

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.

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_2 biax	A_1 durée	A_2 age	A_3 temp	$f_{y,d}$	
	[-]	[-]	[-]	[-]	[°C]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	
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		
ELS-CC-4	charge de neige	bâtiments non chauffés	LTL	toutes les couches	3	25			1,30		1,00	13,7	
ELS-CC-5	charge du vent	bâtiments fermés	STL	exposée au vent	23	21			1,00		1,00	15,0	
		autres couches		40	21	1,00			1,20		12,5		
		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		
		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

Concept de design structurel pour les films ETFE soudés, ELU													
Cas de charge (CC)	Description de la charge	Situation du bâtiment	periode de chargement	couche exposée (OL, IL)	Température du film (T)	Résistance à la traction	γ_m	A_2 biax	A_1 durée	A_2 age	A_3 temp	$f_{y,d}$	
	[-]	[-]	[-]	[-]	[°C]	[N/mm ²]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[N/mm ²]	
ELU-CC-2	inflation nominale	Tous les bâtiments	PL	toutes les couches	40	30	1,1	1,20	1,80	1,10	1,20	9,6	
ELU-CC-3-1	inflation maximale*	Tous les bâtiments	LTL	exposée à la neige	3	33			1,30		1,00	17,5	
				autres couches	23	30			1,30		1,00	15,9	
ELU-CC-4	charge de neige	bâtiments chauffés	LTL	exposée à la neige	3	33			1,30		1,00	17,5	
		autres couches		23	30	1,30			1,00		15,9		
ELU-CC-4	charge de neige	bâtiments non chauffés	LTL	toutes les couches	3	33			1,30		1,00	17,5	
ELU-CC-5	charge du vent	bâtiments fermés	STL	exposée au vent	23	30			1,00		1,00	20,7	
		autres couches		40	30	1,00			1,20		17,2		
		toutes les couches		23	30	1,00			1,00		20,7		
ELU-CC-15	charge du vent + charge de neige	bâtiments chauffés	STL	exposée à la neige ou au vent	3	33			1,00		1,00	22,7	
		autres couches		23	30	1,00			1,00		20,7		
		toutes les couches		3	33	1,00			1,00		22,7		
ELU-CC 7-1	poche d'eau, défaillance du système	le cas échéant	LTL	exposée au vent	23	30					1,30	1,00	15,9
ELU-CC 7-2	poche de neige, défaillance du système	le cas échéant	LTL	exposée à la neige	3	33					1,30	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)

Module d'Young ETFE

- Module d'Young pour le calcul de tension E = 900 MPa
- Module d'Young pour le calcul de la déformation E = 750 MPa
- Coefficient de Poisson $\mu = 0.4$
- Module de Cisaillement pour E=900 MPa: G = 321.5 MPa
- Module de Cisaillement pour E=750 MPa: G = 267.9 MPa

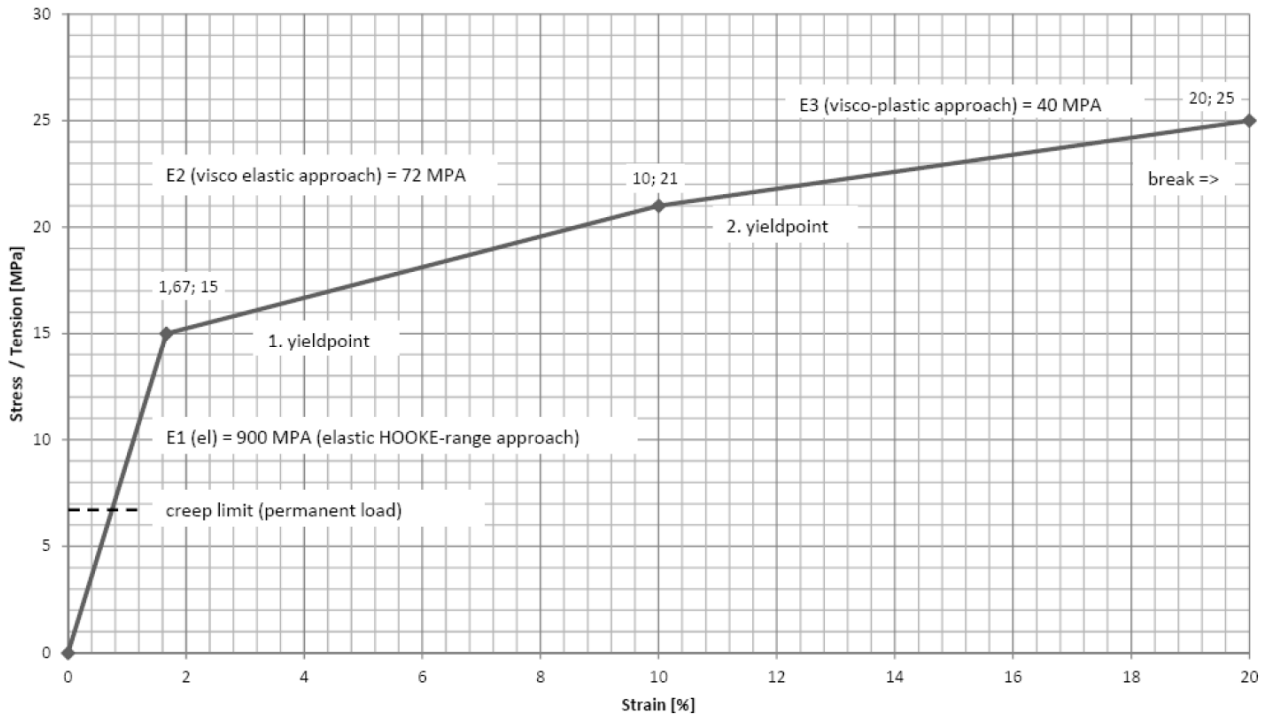


Figure 3.1: diagramme de tension-extension idéalisé pour film ETFE (partie élastique et viscoélastique jusqu'à 21 N/mm²)

Tableaux et figures du Dossier Technique

Tableau 7 - Contrôle de fabrication

CONTROLE COUSSIN – FABRICATION ASSUREE PAR <i>seele cover GmbH</i>			
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 : <ul style="list-style-type: none"> • 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	<p>Une fiche de suivi accompagne chaque coussin pendant sa fabrication. Les contrôles suivants sont enregistrés pour chaque coussin :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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	<p>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 :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Essai de traction de deuxième point limite d'élasticité. • Essai de traction à rupture. <p>Production de coussin validée si conforme et archivage des résultats et des échantillons. Reprise des contrôles de la machine si non-conforme.</p>	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.	

- | | | |
|--|--|---|
| 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 coussin 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 | |

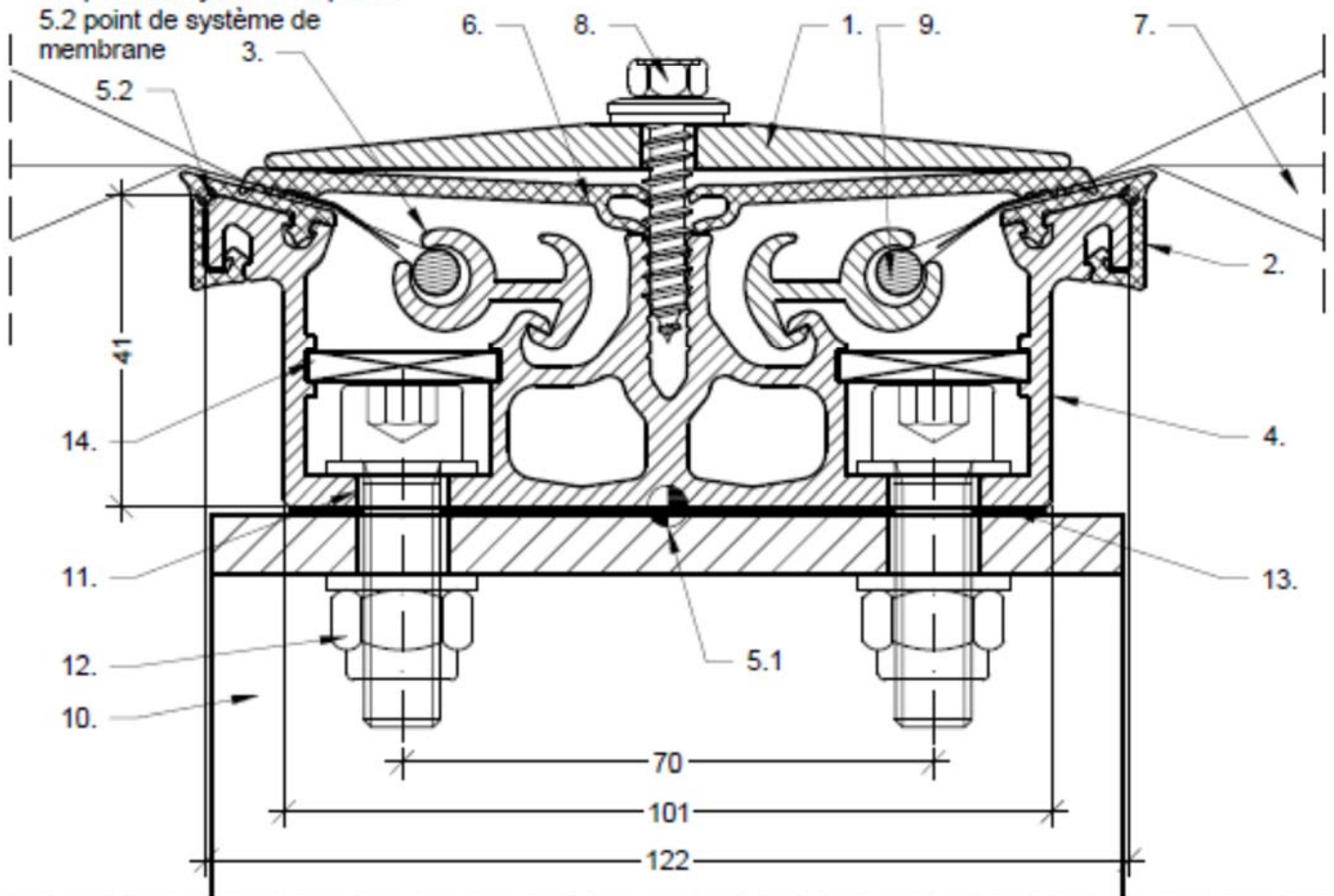


Figure 1 - Détail des éléments d'un profilé aluminium simple -SC-01 - sur acier - sans gouttière de condensation

- | | | |
|--|---|---|
| 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. point de système
6.1 point de système de profilé
6.2 point de système de
membrane | 12. trou oblong dans le profil en
aluminium 11x25mm |
| 2. extrusion angulaire, EPDM
Shore A 60 ± 5, couleur: noir
surface: sec | 7. gouttière de condensation,
Tôle métallique revêtue de PVC,
soudée aux joints avec un
matériau PVC | 13. vis à tête hexagonale
EN ISO 4017 -
M10xL-PC-70-SW16
(DIN 933)
rondelle
EN ISO 7089 - M10
(DIN 125)
écrou hexagonal
EN ISO 4032 - M10-PC-70-SW16
(DIN 934)
écrou hexagonal avec bride
DIN 6923 - M10-PC-70-SW15
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. conception standard d'un coussin
pneumatique. Nombre de
couches en fonction des
exigences de chaque projet. | 14. bloc de distance (étanchéité),
EPDM
Shore A 65 ± 5, couleur: noir
26x15x70mm
avec perçage Ø=18mm
surface: sec |
| 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. vis avec rondelle d'étanchéité
6,5x32-Ø16
acier inoxydable A2 : 1.4301 /
AISI 304 | 15. Pièce de fixation en aluminium
pour joints de profilés de base
afin de réduire au minimum le
décalage 4x25x60mm |
| 5. joint d'étanchéité couvercle,
EPDM
Shore A 60 ± 5, couleur: noir
surface: sec | 10. ourlet de rive 'keder' Ø 6 mm,
EPDM
Shore A 80 ± 5, couleur: noir | |
| | 11. structure principale, dimensions
d'acier en fonction de calculs
statiques,
avec forage Ø=11mm | |

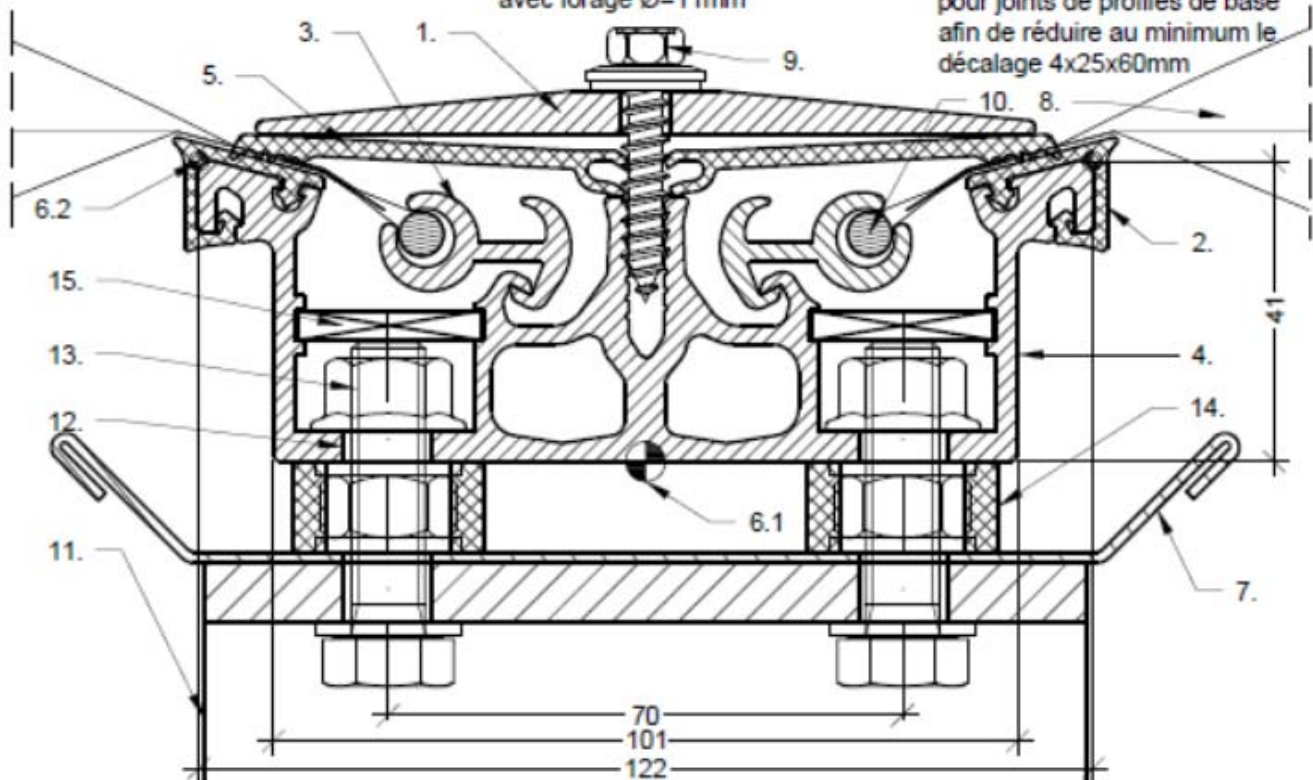


Figure 2- Détail des éléments d'un profilé aluminium sur acier avec gouttière de condensation – SC-01

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' $\varnothing 6$ mm, EPDM
Shore A 80 ± 5 , couleur: noir
8. cordon rond en butyl $\varnothing 4$ mm
9. chéneau structurel, dimensions d'acier en
fonction de calculs statiques,
avec trous oblongs
10. vis à tête fraisée pour max. $t = 8$ mm
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

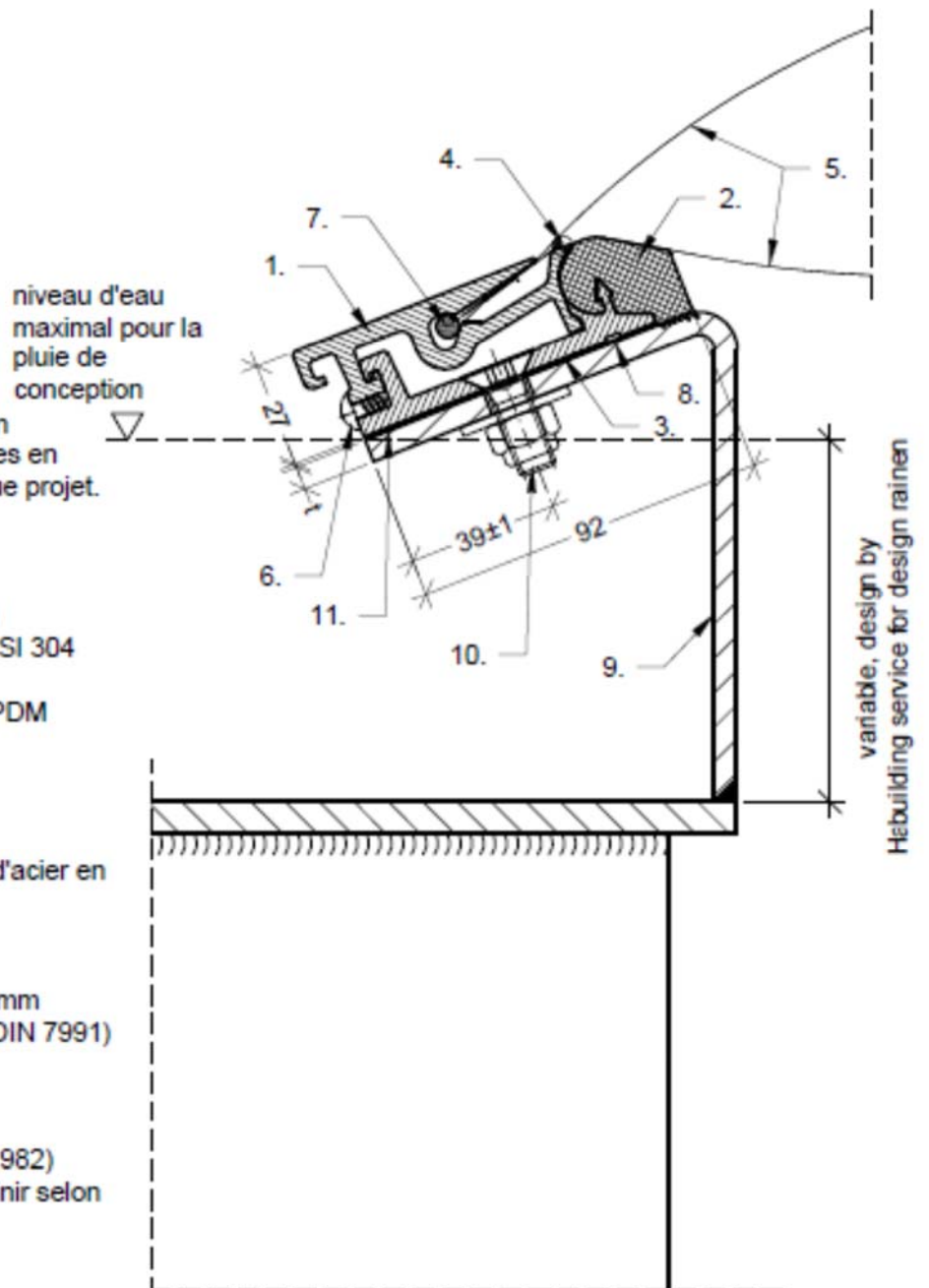


Figure 3 - Détail des éléments d'un profilé aluminium sur acier sans gouttière de condensation - SC-02

1. chéneau structurel en acier
2. séparation extrusion type 1, EPDM
Shore A 50 ± 5 , couleur: noir
surface: sec
3. profilé de protection des arêtes de type 2, EPDM
Shore A 50 ± 5 , couleur: noir
surface: Polymère lubrifiant
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
5. barre Keder, aluminium
EN AW-6060 T66, EN 573-3, EN 573-2
anodisation E6/C-0, DIN 17611
Épaisseur de classe 25
6. ourlet de rive 'keder' Ø 6 mm, EPDM
Shore A 80 ± 5 , couleur: noir
7. keder Ø 6 mm, EPDM
Shore A 80 ± 5 , couleur: noir
longueur d'environ 100 mm, local pour une
installation tous les 1 m
8. extrusion de couverture de type 3, EPDM
Shore A 60 ± 5 , couleur: noir
surface: Polymère lubrifiant
9. conception standard d'un coussin
pneumatique. Nombre de couches en
fonction des exigences de chaque projet.
10. point de système de membrane.

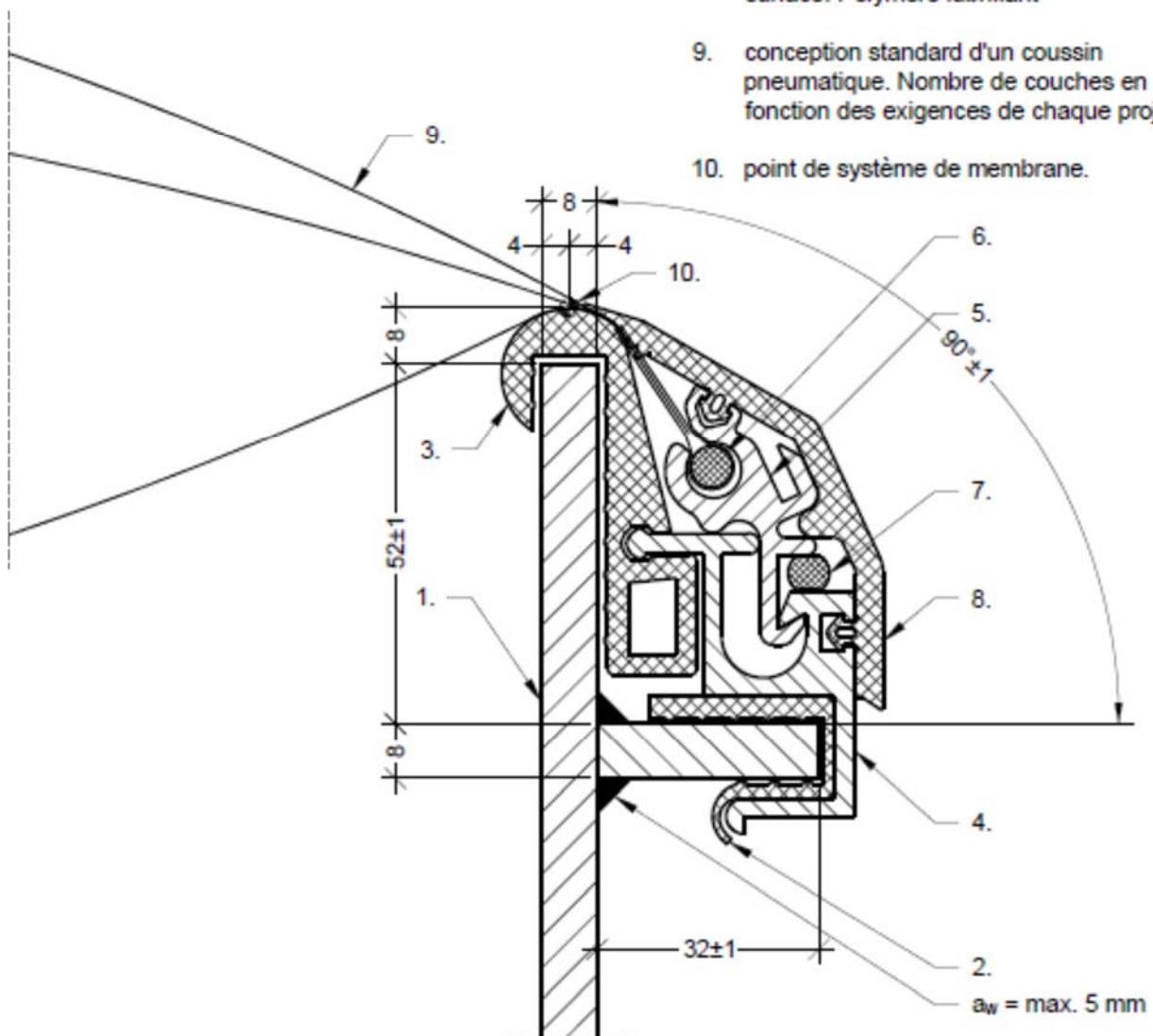


Figure 4- Détail des éléments d'un profilé aluminium sur acier sans gouttière de condensation -SC-15

- | | | |
|--|---|--|
| 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 | 5. joint de couvercle, EPDM
Shore A 60 ± 5 , couleur: noir
surface: sec | 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 |
| 2. barre Keder, 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 coussin
pneumatique. Nombre de
couches en fonction des
exigences de chaque projet. | 11. couche de séparation, EPDM |
| 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 | 7. vis avec rondelle d'étanchéité
6,5x32-Ø16
acier inoxydable A2: 1.4301 /
AISI 304 | 12. forage dans le profil en aluminium
Ø=11-12mm |
| 4. point de système
4.1 point de système de profilé
4.2 point de système de
membrane | 8. ourlet de rive 'keder' Ø 6mm,
EPDM
Shore A 80 ± 5 , couleur: noir | 13. Pièce de fixation en aluminium
pour joints de profilés de base
afin de réduire au minimum le
décalage 3x33x60mm
3-AW-5754 |
| | 9. structure principale, acier
dimensions en fonction de
calculs statiques,
avec trous oblongs 11x25mm | |

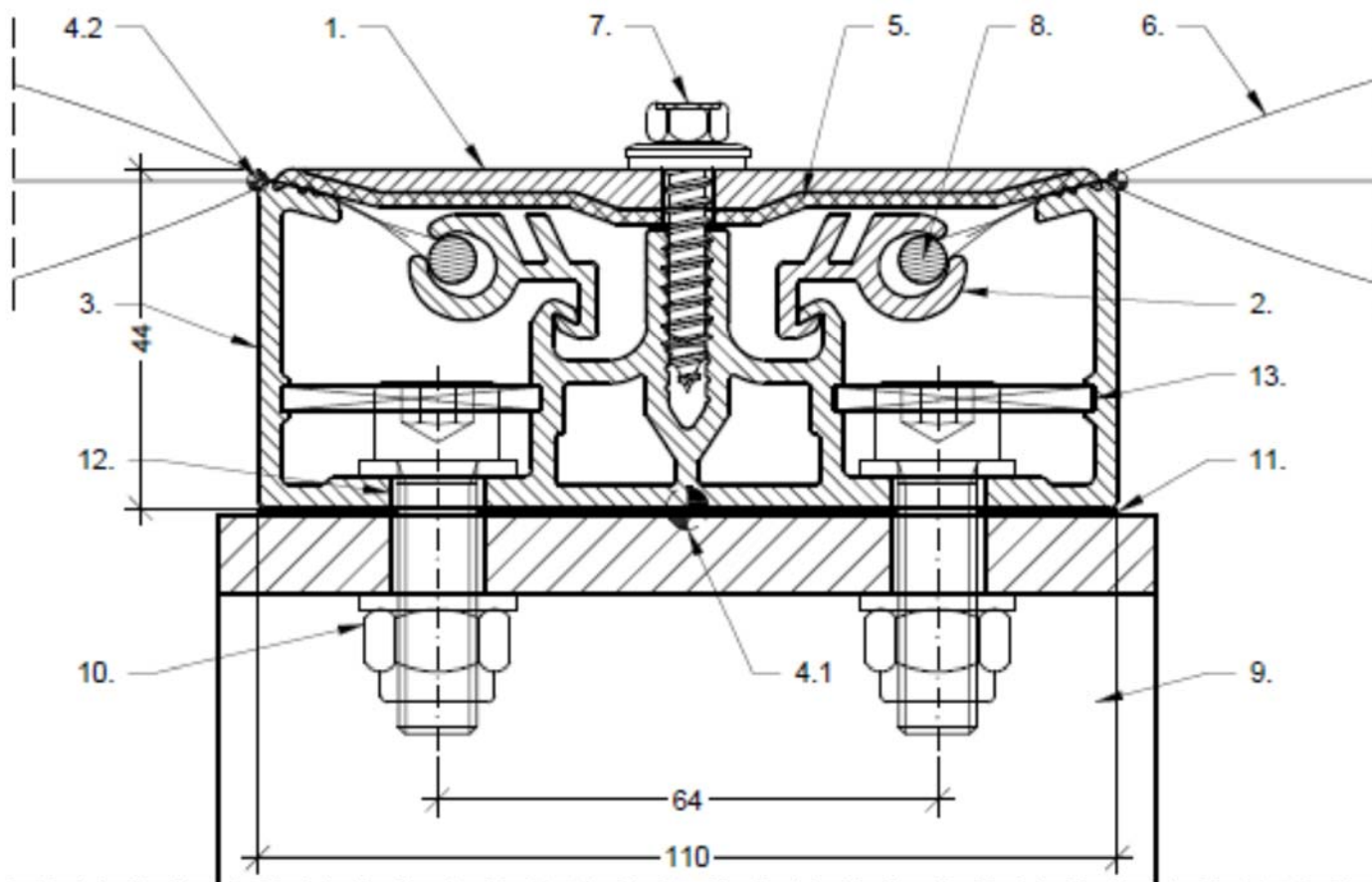


Figure 5 - Détail des éléments d'un profilé aluminium sur acier sans gouttière de condensation -SC-16

- | | | |
|---|---|---|
| 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 | 6. gouttière de condensation,
Tôle métallique revêtue de PVC,
soudée aux joints avec un
matériau PVC | 12. vis à tête hexagonale
EN ISO 4017 -
M10xL-PC-70-SW16
(DIN 933)
rondelle
EN ISO 7089 - M10
(DIN 125)
écrou hexagonal
EN ISO 4032 - M10-PC-70-SW16
(DIN 934)
écrou hexagonal avec bride
DIN 6923 - M10-PC-70-SW15
acier inoxydable de classe à
définir selon EN 1993-1-4-A1
couple de serrage: 32Nm |
| 2. barre Keder, aluminium
EN AW-6060 T66, EN 573-3,
EN 573-2
anodisation E6/C-0, DIN 17611
Épaisseur de classe 25 | 7. conception standard d'un coussin
pneumatique. Nombre de
couches en fonction des
exigences de chaque projet. | |
| 3. profilé de base, aluminium
EN AW-6060 T66, EN 573-3,
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 | |
| 4. joint de couvercle, EPDM
Shore A 60 ± 5, couleur: noir
surface: sec | 9. ourlet de rive "keder" Ø 6mm,
EPDM
Shore A 80 ± 5, couleur: noir | 13. bloc de distance (étanchéité),
EPDM
Shore A 65 ± 5, couleur: noir
26x15x70mm
avec perçage Ø=18mm
surface: sec |
| 5. point de système
5.1 point de système de profilé
5.2 point de système de
membrane | 10. structure principale, dimensions
d'acier en fonction de calculs
statiques,
avec forage Ø=11-12 mm
(revêtement inclus) | 14. Pièce de fixation en aluminium
pour joints de profilés de base
afin de réduire au minimum le
décalage 3x33x60mm
3-AW-5754 |
| | 11. trou oblong dans le profil en
aluminium 11x25mm | |

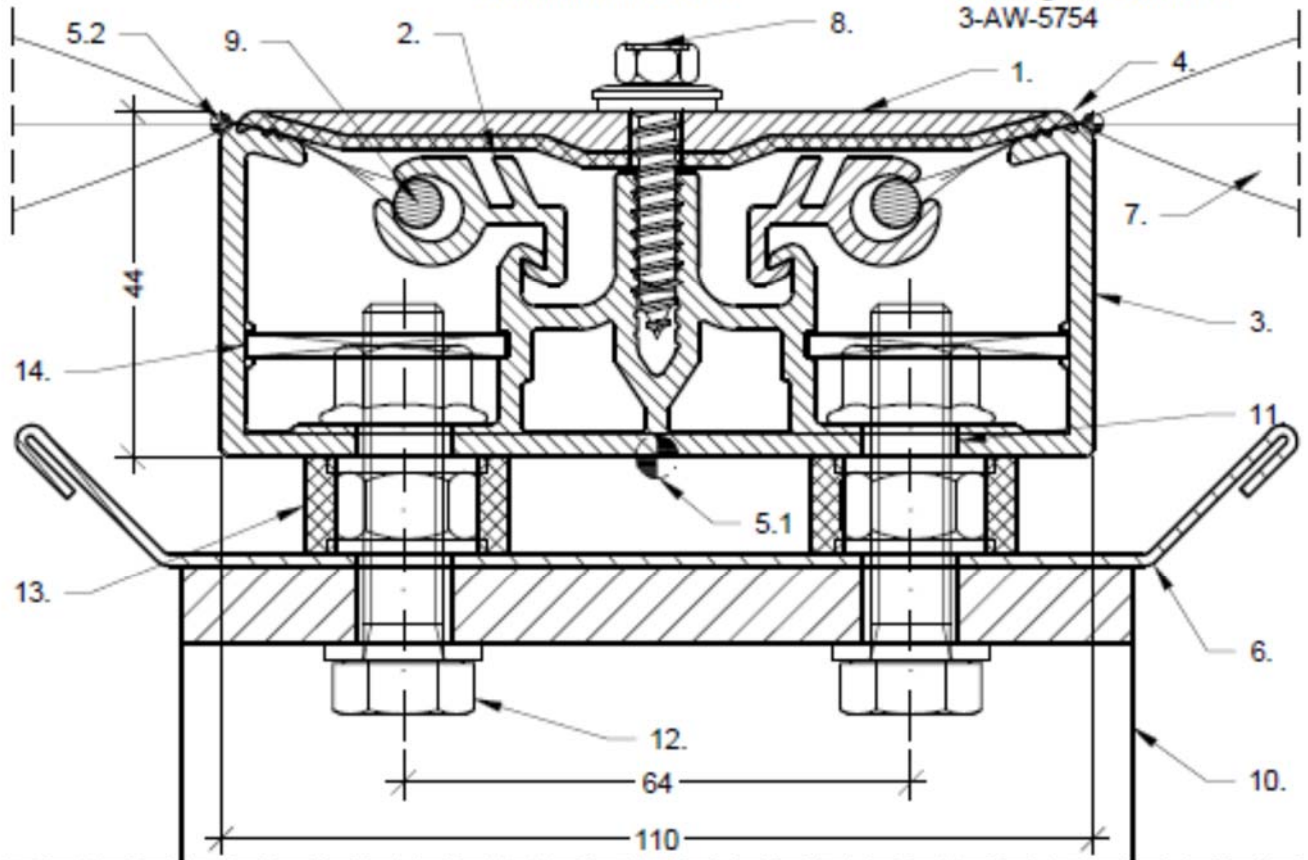


Figure 6 - Détail des éléments d'un profilé aluminium sur acier avec gouttière de condensation -SC-16

- | | | |
|--|---|---|
| 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,
573-2
anodisation E6/C-0, DIN 17611
Épaisseur de classe 25 | 6. conception standard d'un
coussin 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 |

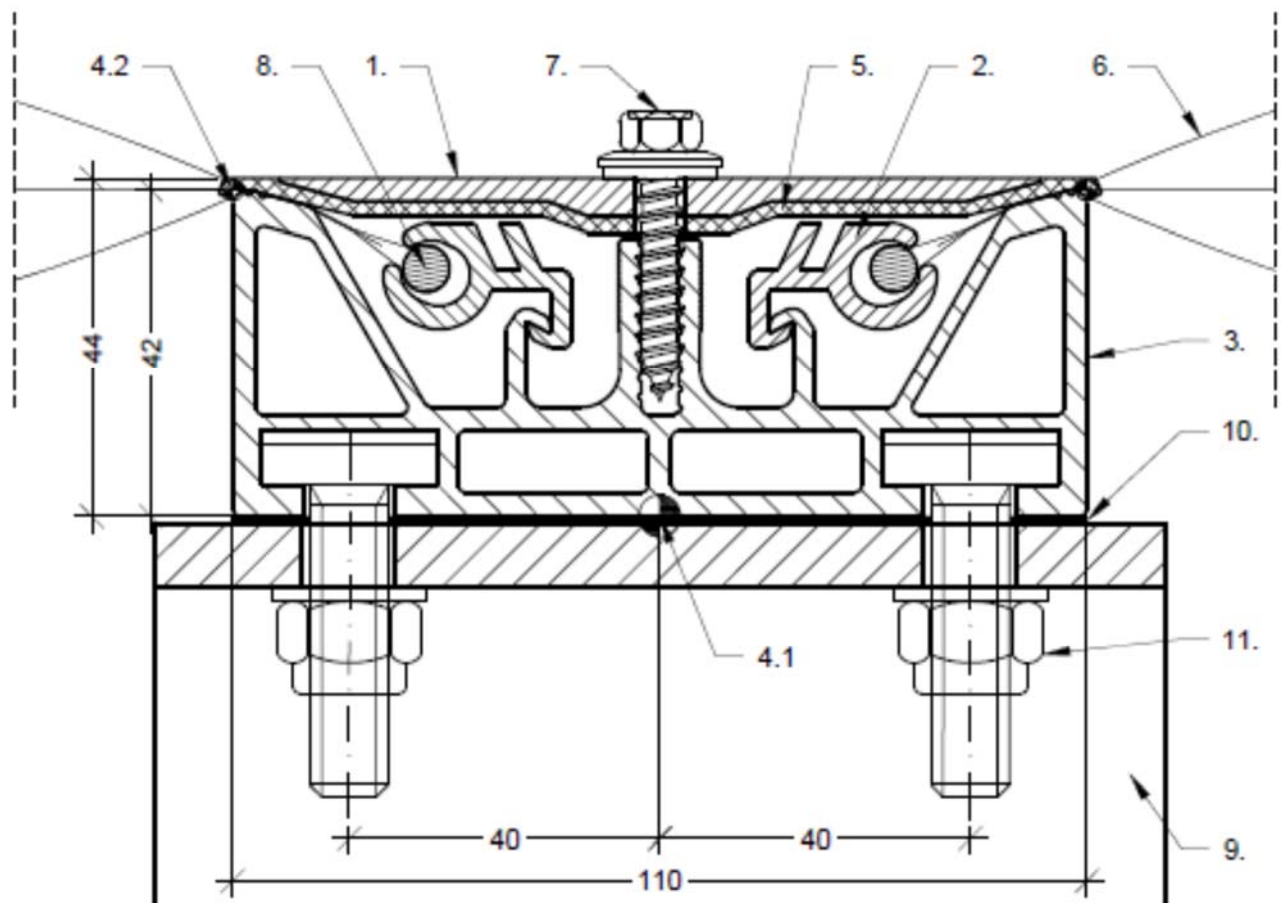


Figure 7 - Détail des éléments d'un profilé aluminium en boulon à tête marteau sur acier sans gouttière de condensation -SC-19

- | | |
|---|---|
| 1. Joint EPDM haut simple profil côte bavette | 11. Drainage de condensat |
| 2. Joint EPDM bas simple profil côte bavette | 12. Profil SC-01 d'extrusion en aluminium par exemple T6063 |
| 3. Protection contre les oiseaux | 13. Tube d'air principal |
| 4. Vis étanche du capot serreur | 14. Collier de fixation pour tuyaux |
| 5. Ourlet de rive dit "Keder" par exemple en EPDM | 15. Valve d'admission air |
| 6. Film ETFE, par exemple une coussins avec trois couches | 16. Tuyau flexible, diamètre ~50mm, par exemple en FEP ou en ETFE |
| 7. Valve de régulation en compartiment entre les coussins | 18. Étanchéité |
| 8. Capot serreur en aluminium par exemple T6063 | 19. Valve de purge air |
| 9. Étanchéité par exemple en PVC | |
| 10. Isolation thermique | |

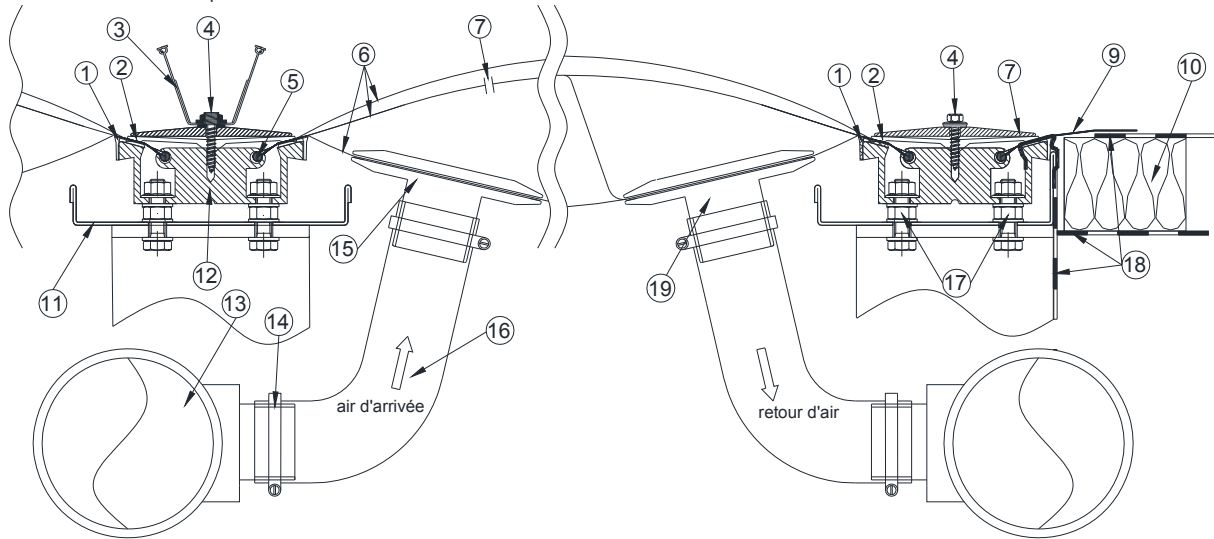
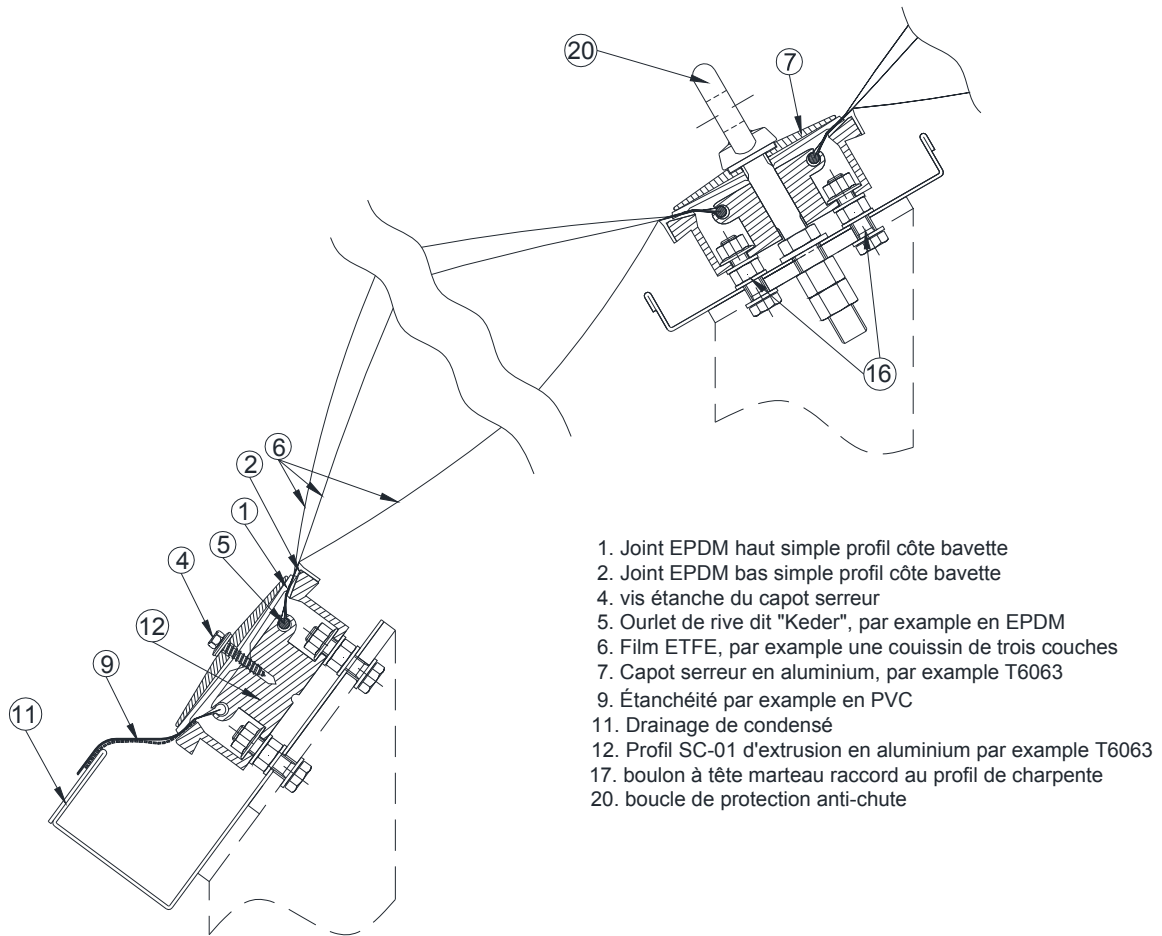


Figure 8 – Exemple de Détail des éléments de coussins avec un profilé SC-01



- 1. Joint EPDM haut simple profil côte bavette
- 2. Joint EPDM bas simple profil côte bavette
- 4. vis étanche du capot serreur
- 5. Ourlet de rive dit "Keder", par exemple en EPDM
- 6. Film ETFE, par exemple une coussin de trois couches
- 7. Capot serreur en aluminium, par exemple T6063
- 9. Étanchéité par exemple en PVC
- 11. Drainage de condensé
- 12. Profil SC-01 d'extrusion en aluminium par exemple T6063
- 17. boulon à tête marteau raccord au profil de charpente
- 20. boucle de protection anti-chute

Figure 9- Exemple de détail des éléments d'une verrière inclinée avec un profilé SC-01

- 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
- 25. Profil SC-02 d'extrusion en aluminium par exemple EN AW T6060 T66

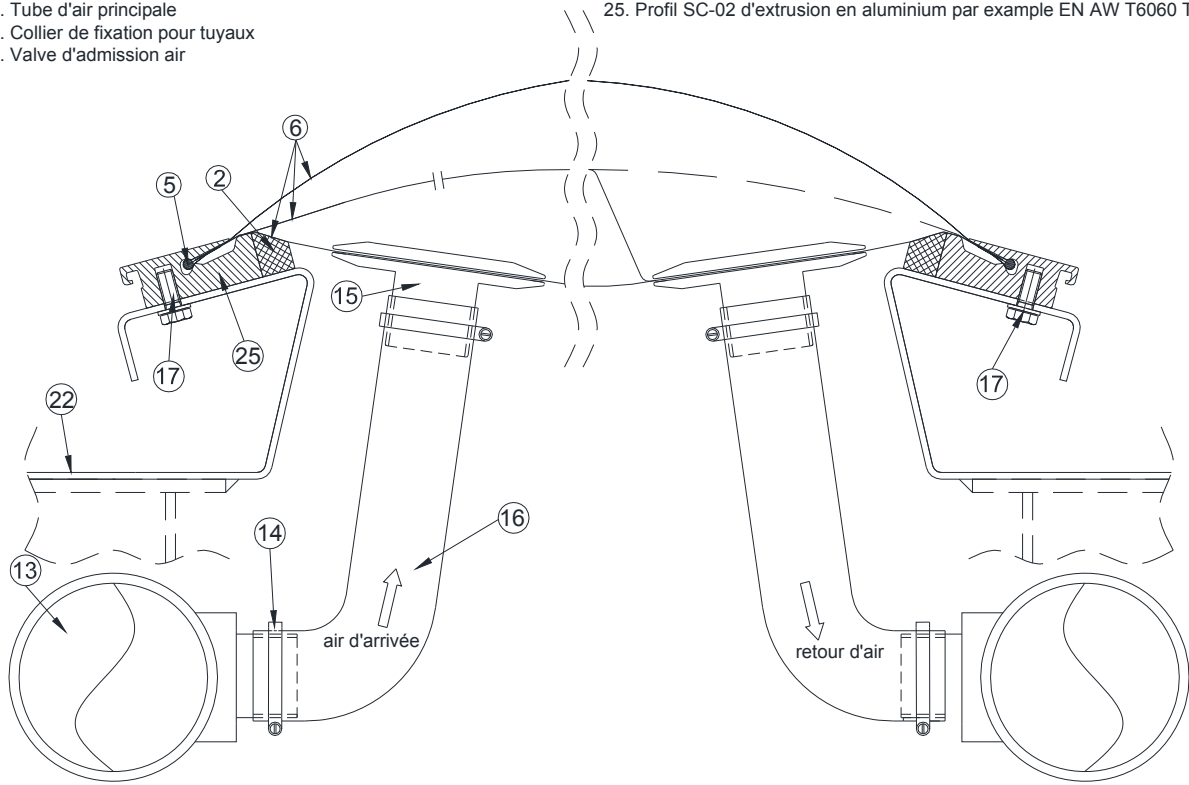


Figure 10 – Détail des éléments de coussins avec un profilé SC-02

- 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

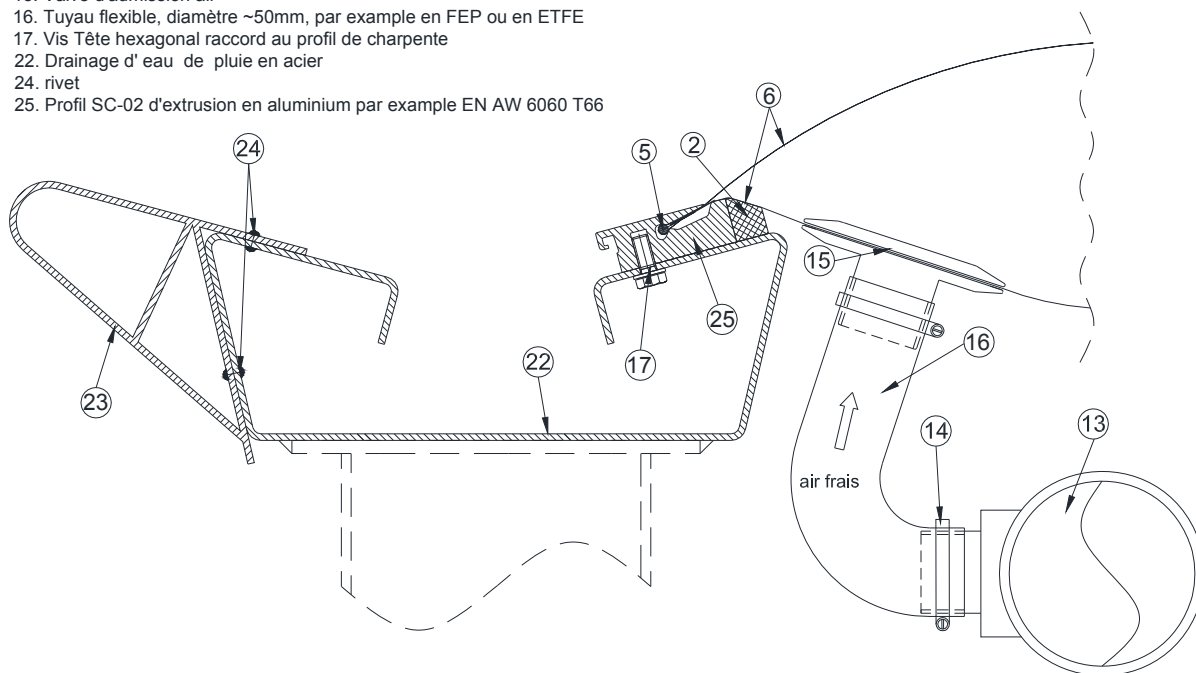


Figure 11 –détail de rive d'un coussin avec un chenaux avec un profilé SC-02

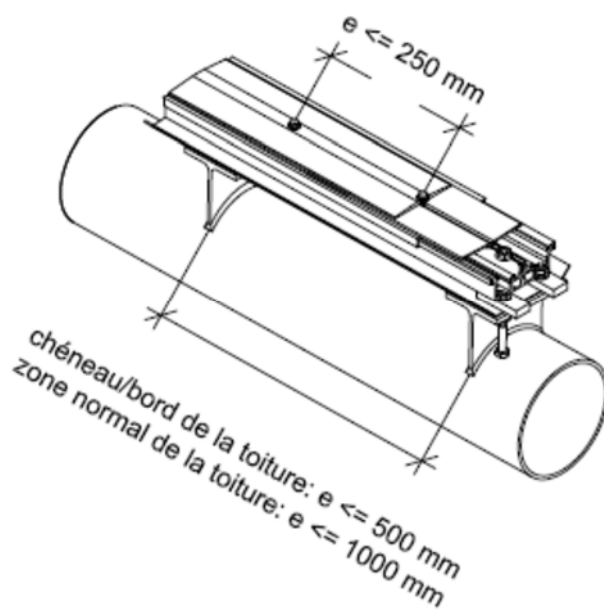


Figure 12 – Détail du principe de fixation des profilés SC-01 sur une charpente primaire

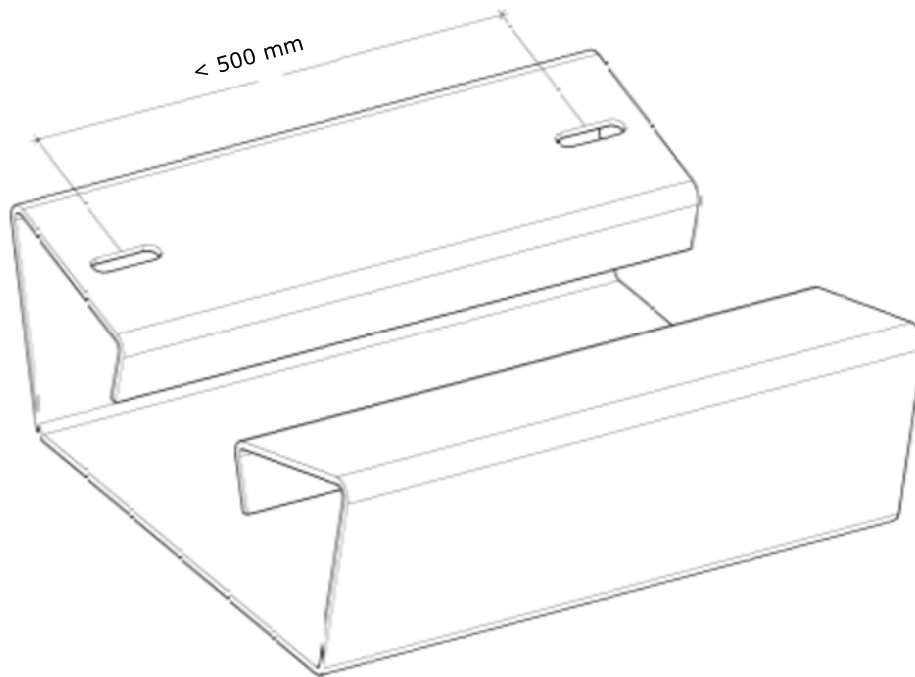


Figure 13 – Élément support des profilés de base SC-02 – espacement entre vis

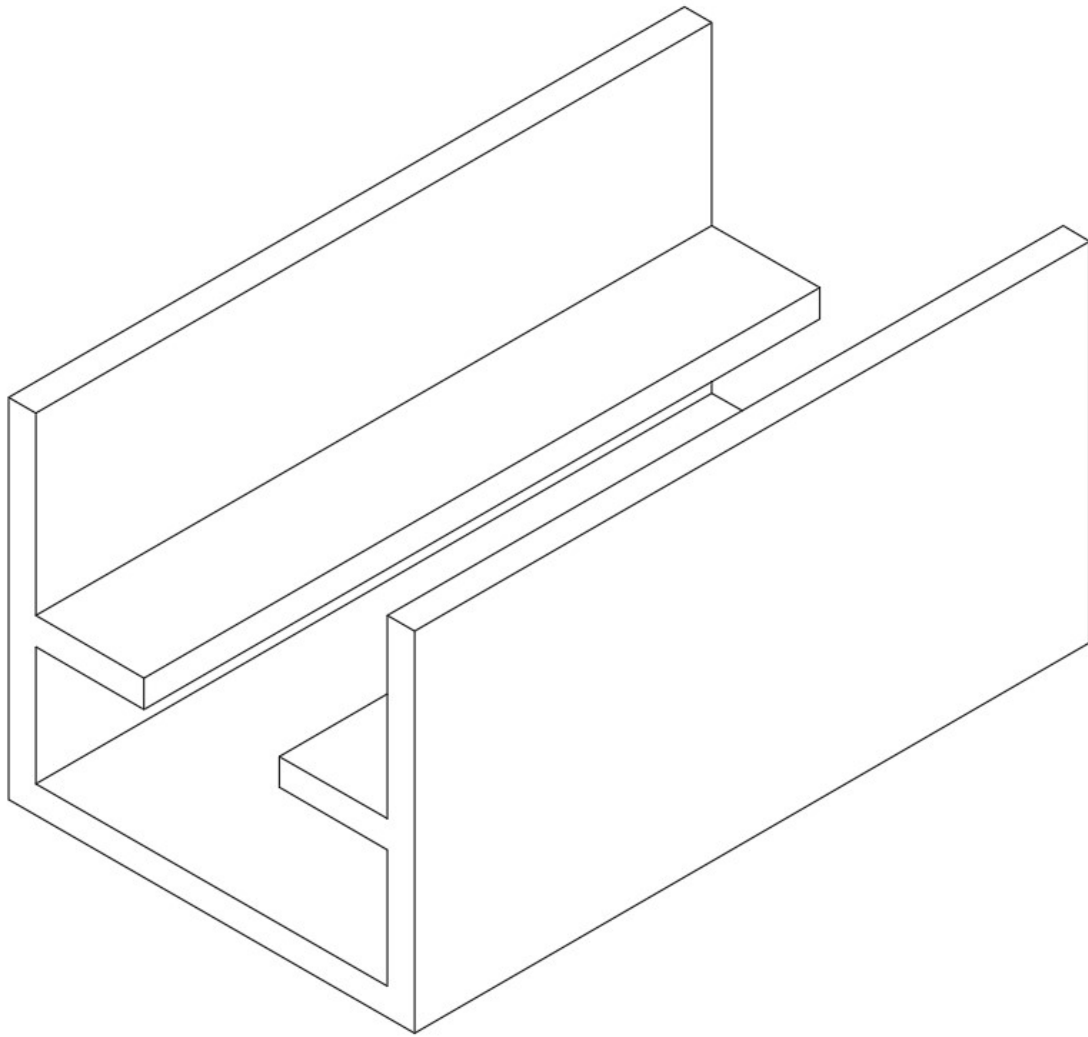


Figure 14– Détail du support de fixation pour le profilé SC-15 (charpente primaire)

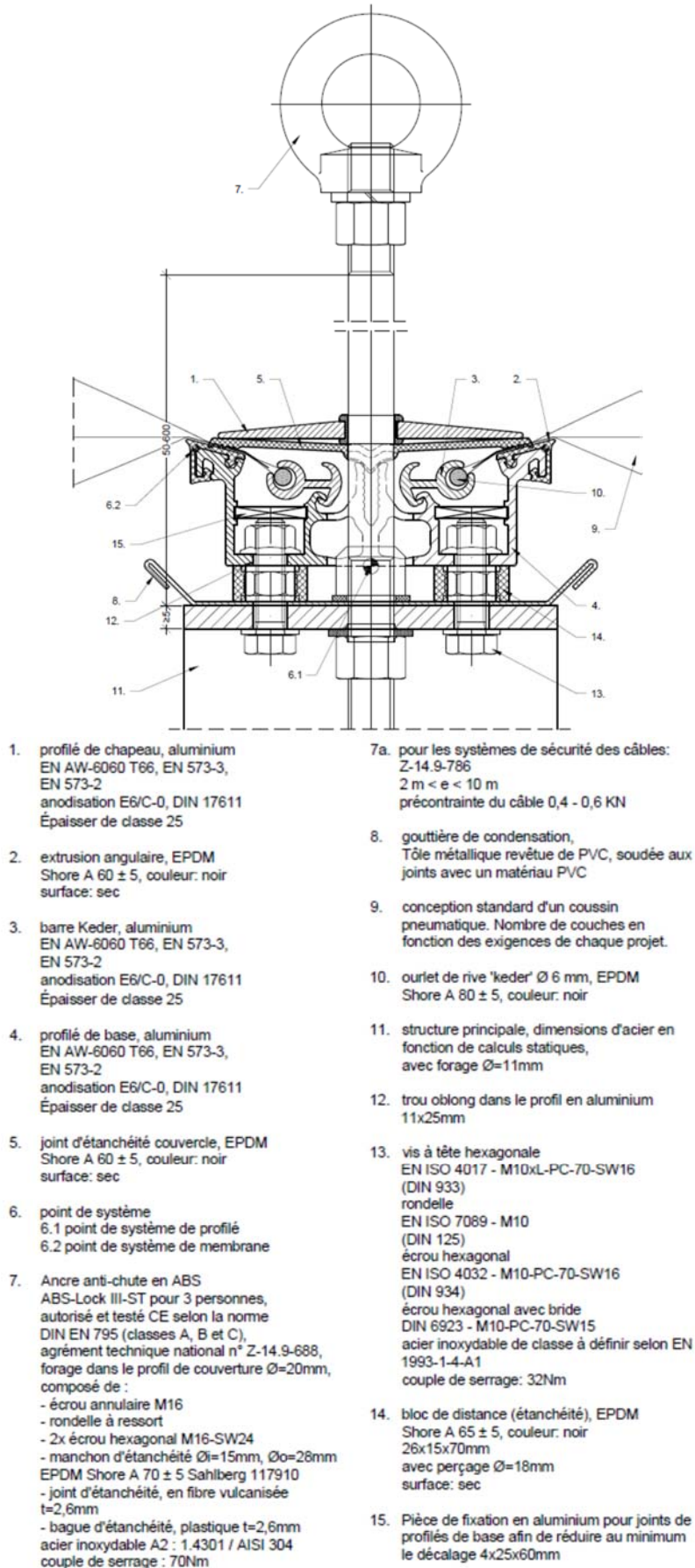


Figure 15 – Vue éclatée d'un système de fixation avec crochet antichute (Exemple profilé SC-01)

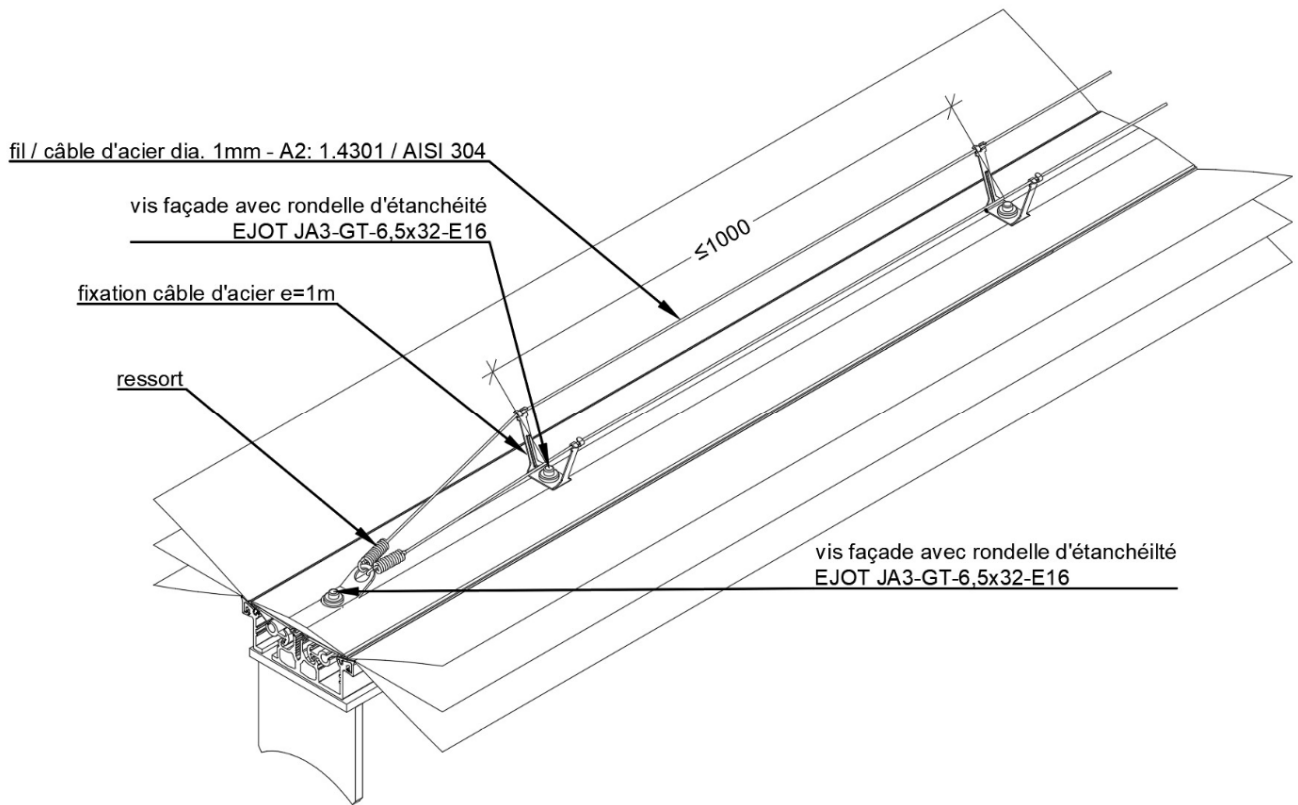


Figure 16 - Vue éclatée d'un système de fixation avec protection de oiseaux (exemple profilé SC-01)

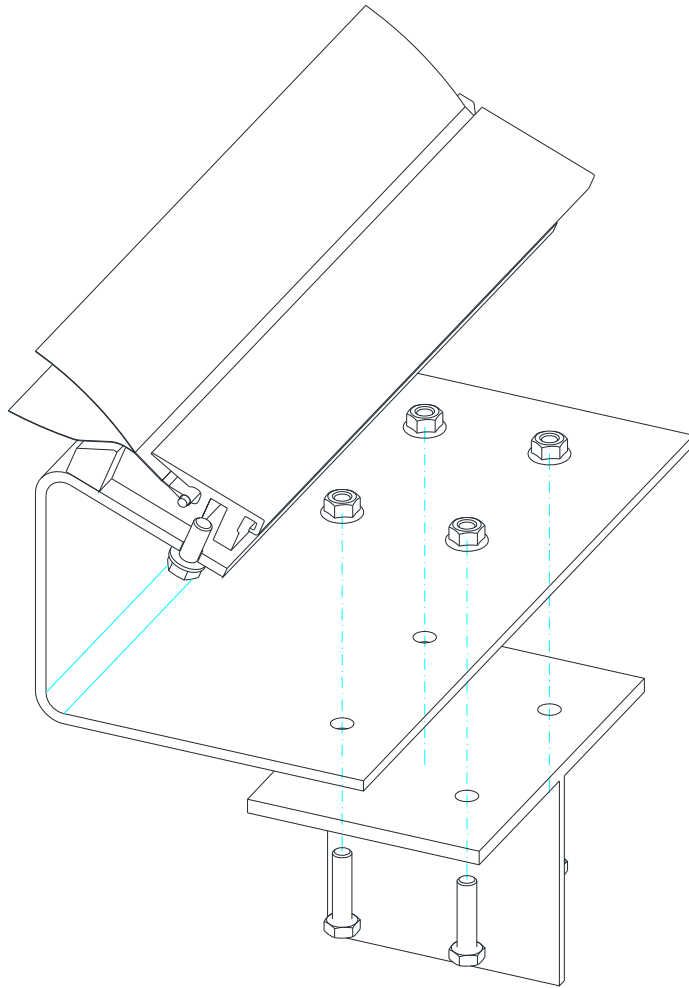


Figure 17 – Vue éclatée d'un système de fixation (profilé SC-02)

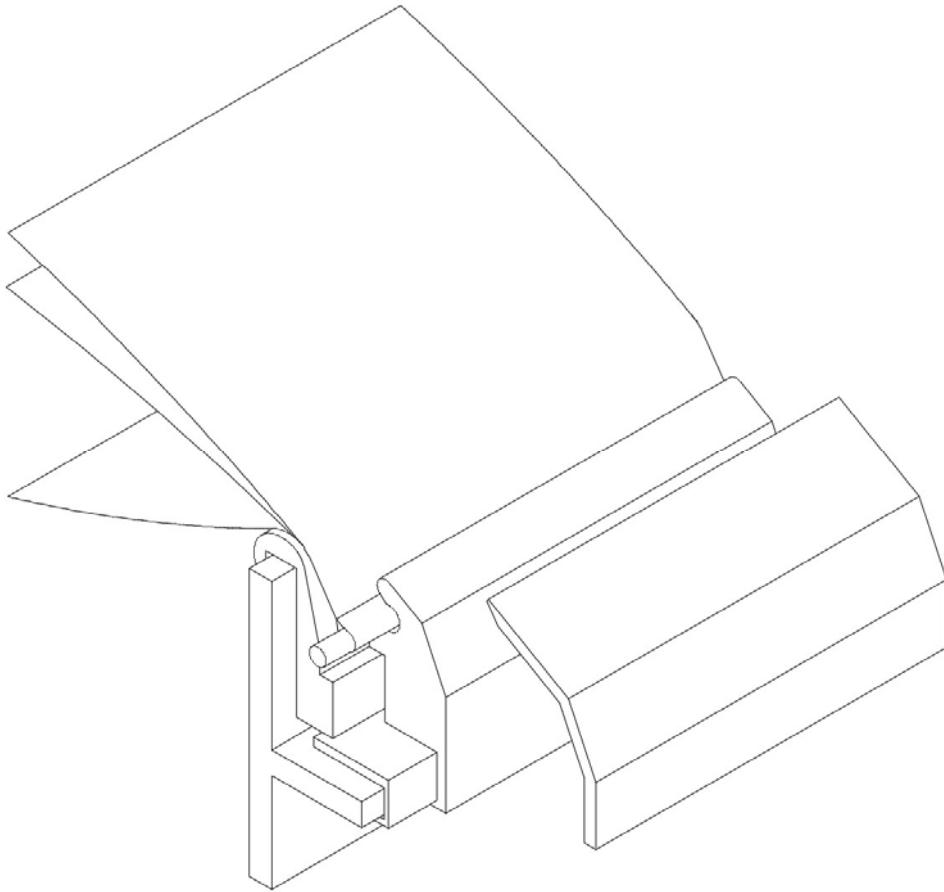


Figure 18– Vue éclatée d'un système de fixation (profilé SC-15)

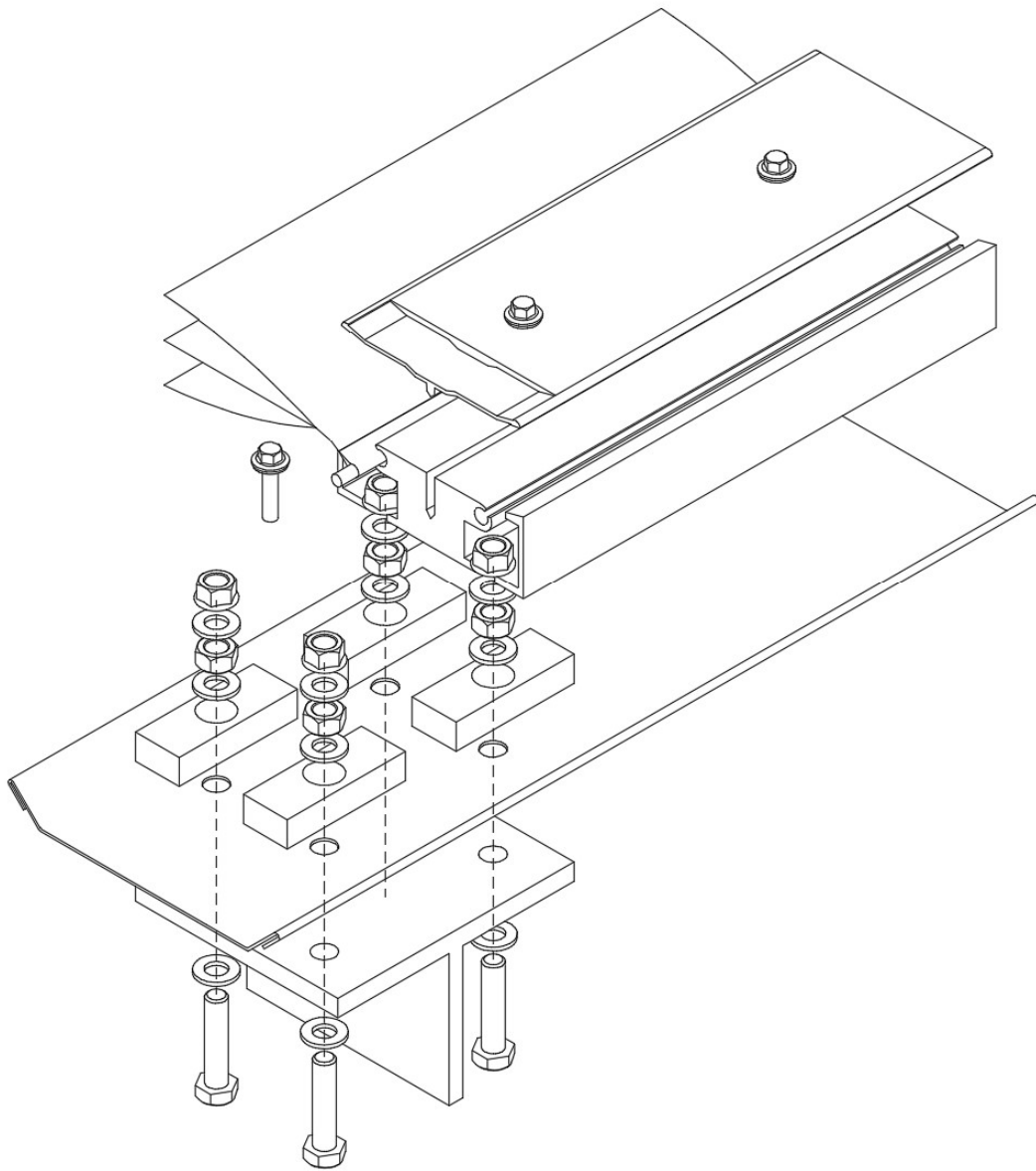


Figure 19 – Vue éclatée d'un système de fixation (profilé SC-16)

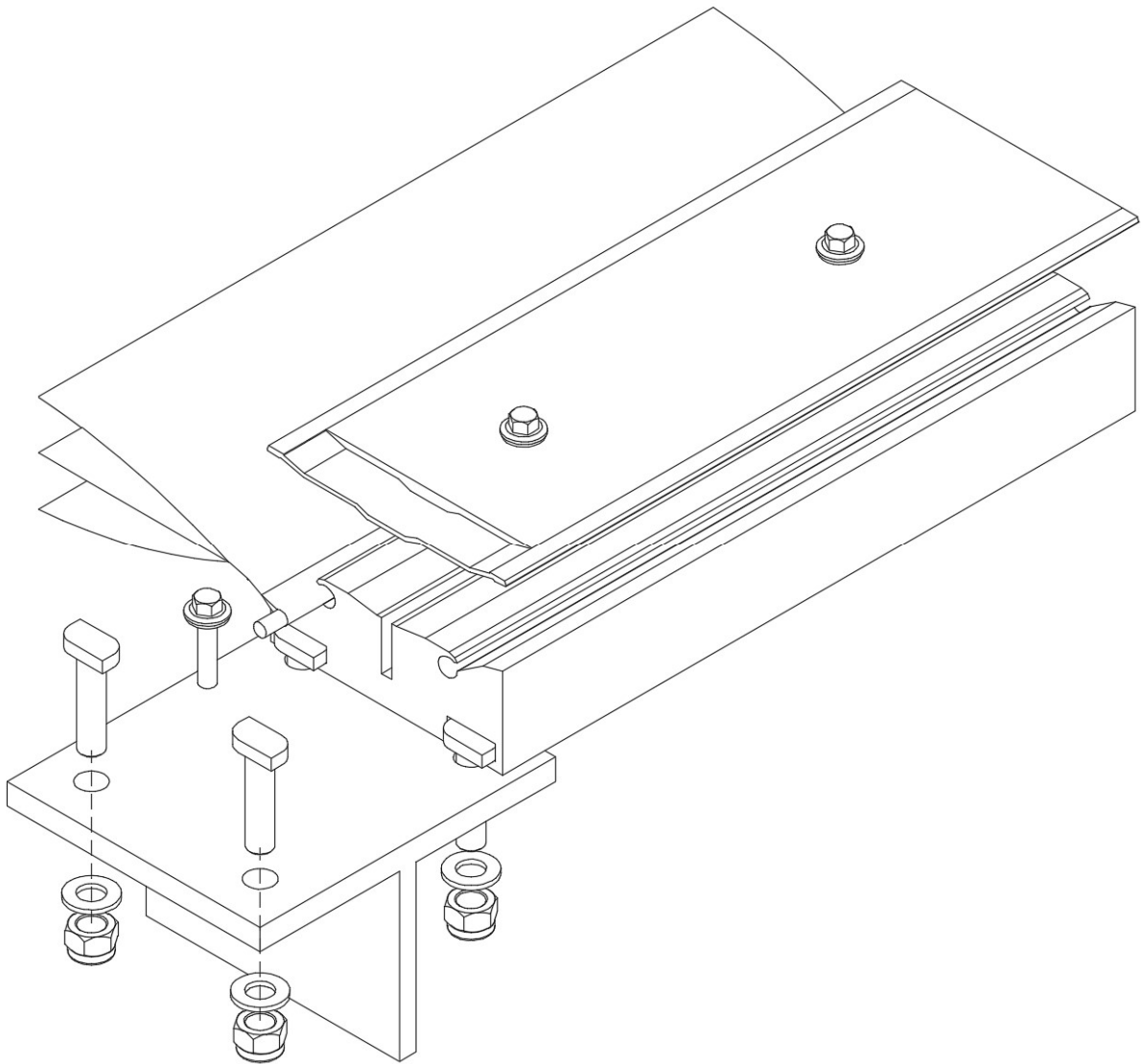


Figure 20 – Vue éclatée d'un système de fixation (profilé SC-19)

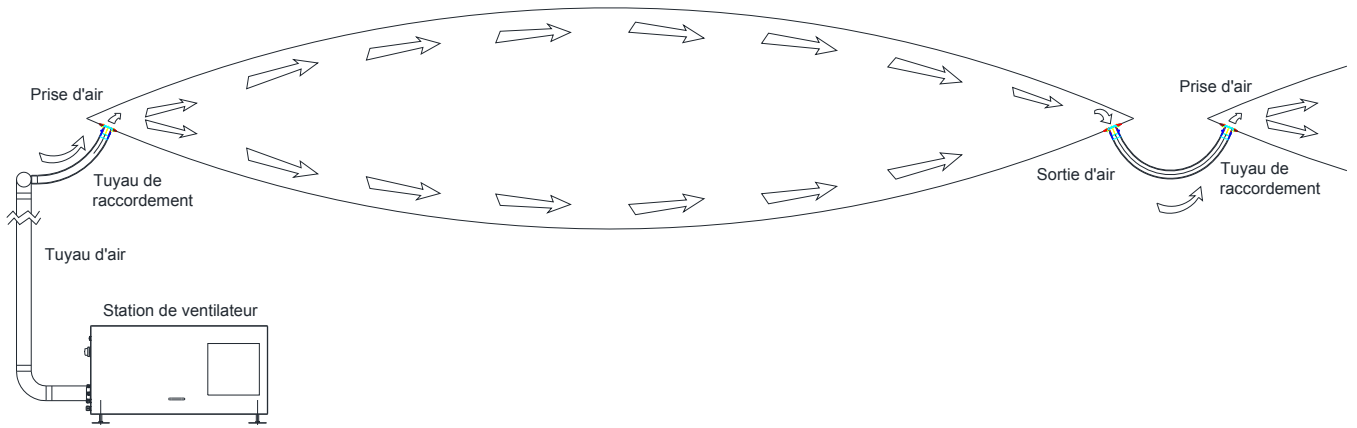


Figure 21 – Principe d'alimentation d'air des coussins ETFE en série

- Coupe entrée d'air DN50
1:1

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

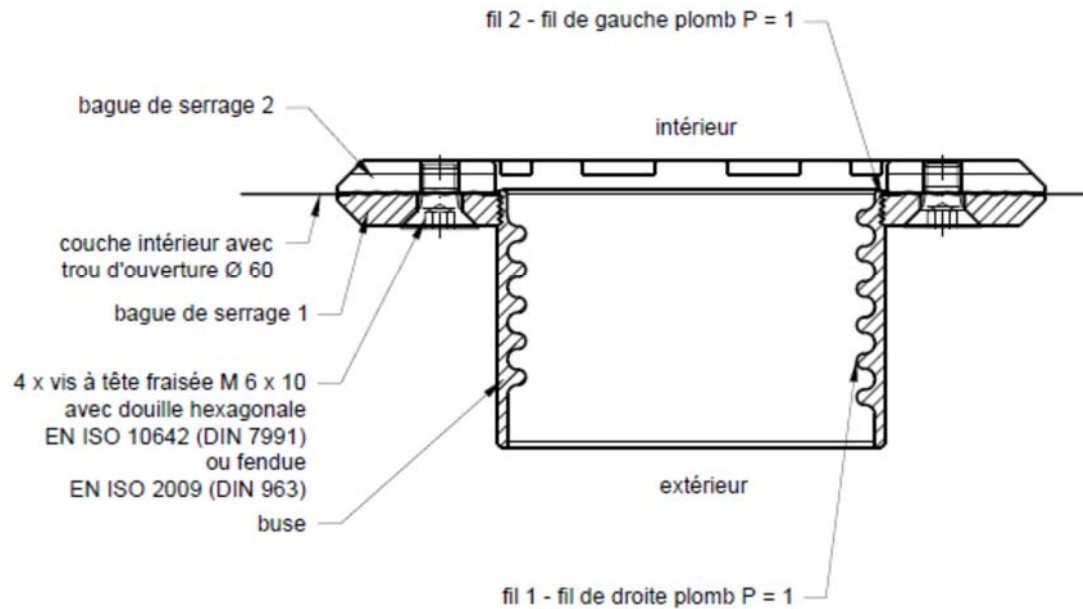
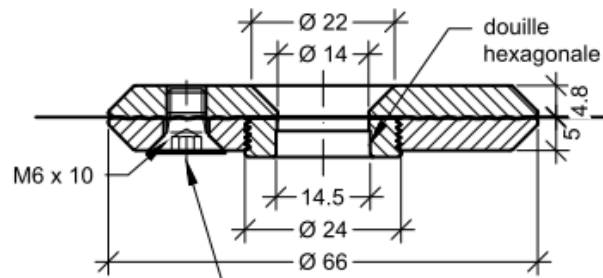


Figure 22 – Détail d'entrée d'air pour tuyau flexible DN50

- Coupe sortie d'air
- 1:1



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

- vue éclatée sortie d'air
- 1:1

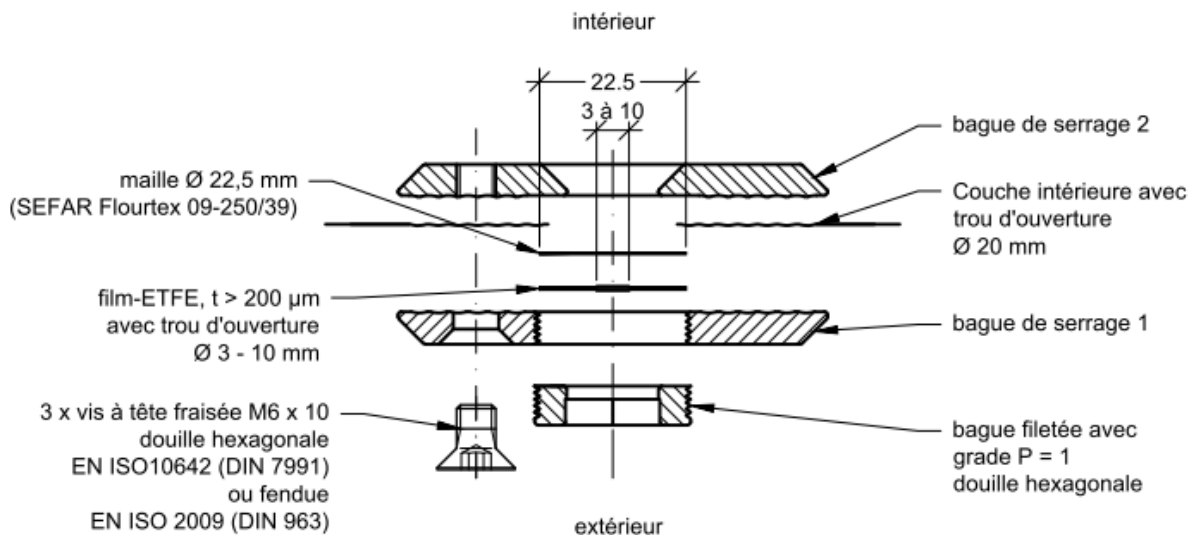
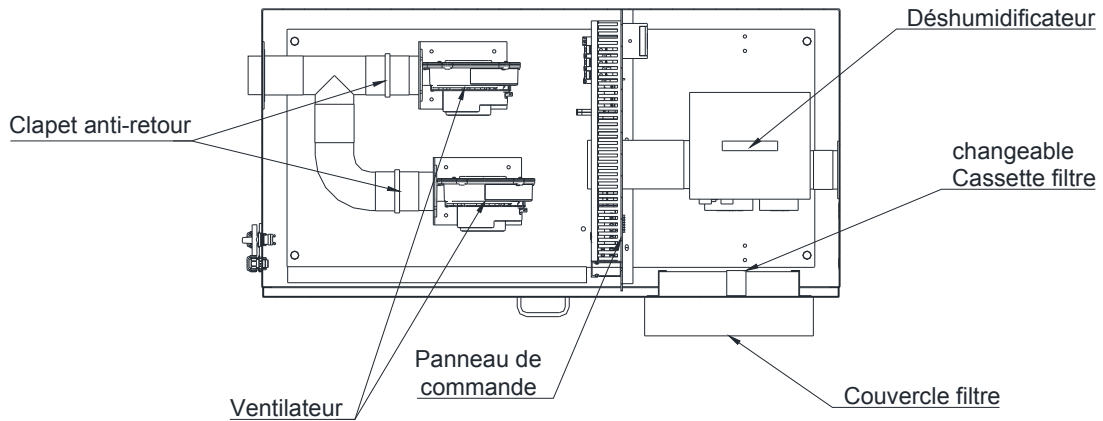


Figure 23 – Détail de sortie d'air pour tuyau flexible



Affaire pieds

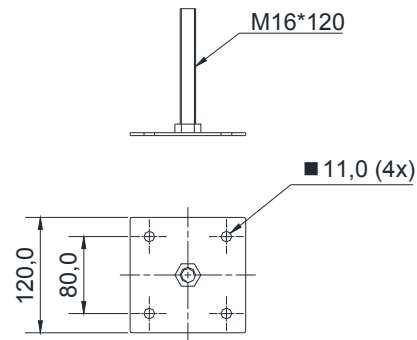


Figure 24 – Détail de l'équipement de gonflage

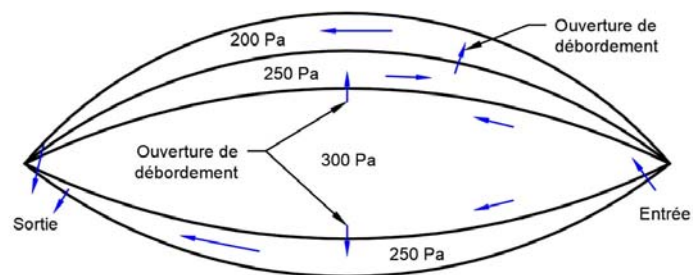


Figure 25 – Passage d'air dans les coussins à 5 films

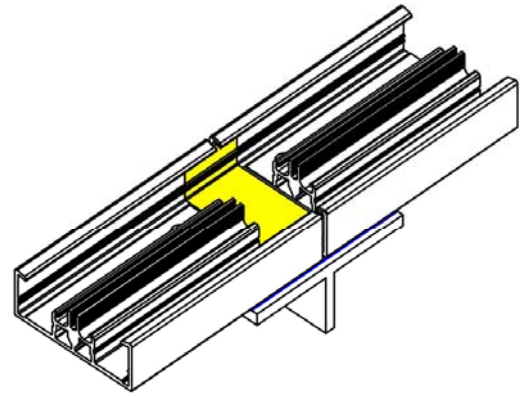
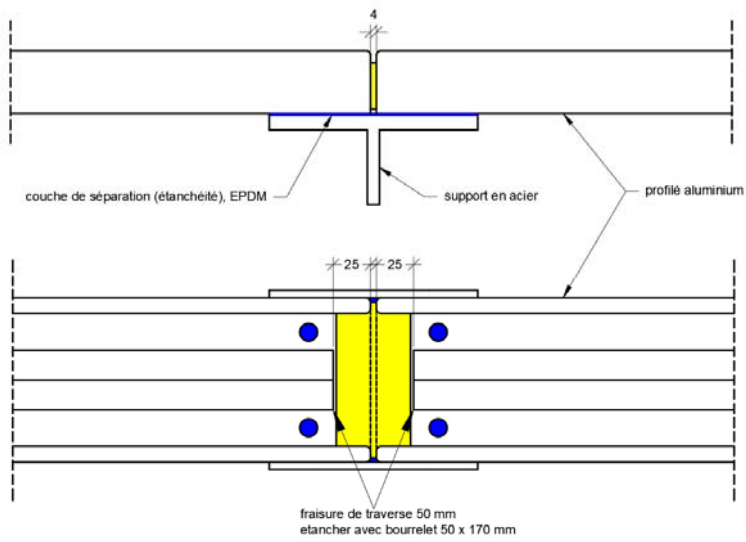
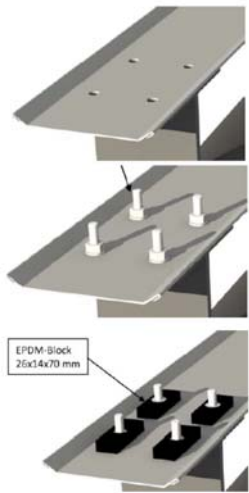


Figure 26 - Eclissage des profilés

1 – installation des filets de pose**2- installation des gouttières de condensation**

a- Placer la gouttière de condensation

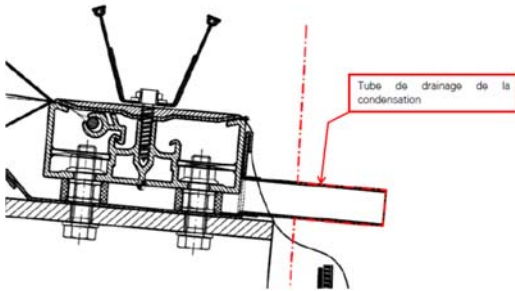
b- percer les trous dans la gouttière de condensation

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)

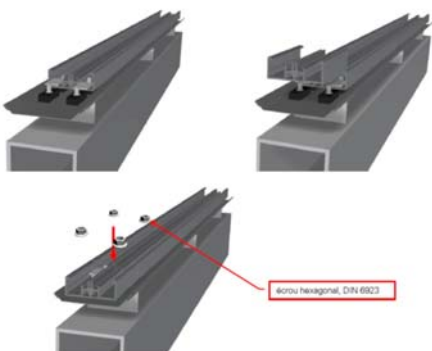
d- placer la 3^{ème} rondelle sur l'écrou

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 bloc d'étanchéité en EPDM
b- Fixerles profilées avec les écrous hexagonaux. Le filetage doit être étanché avec de la LOCTITE 511.

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

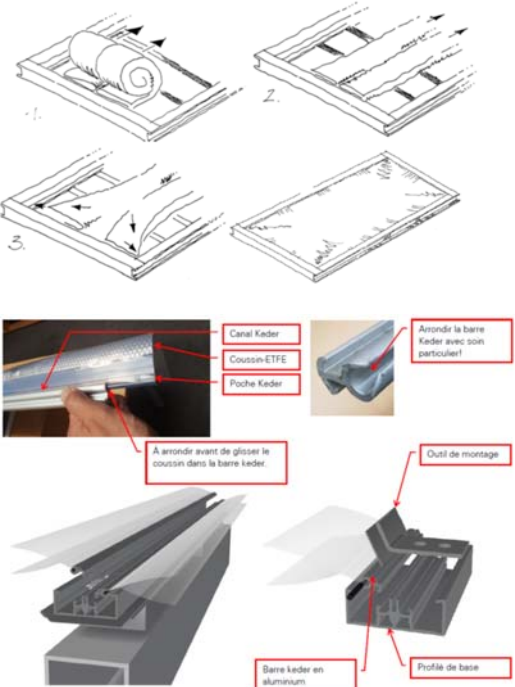
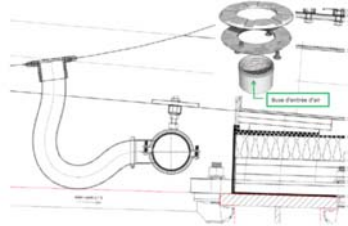
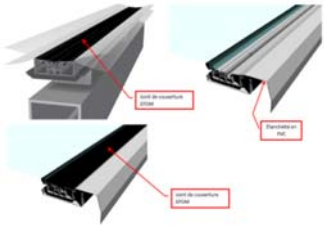
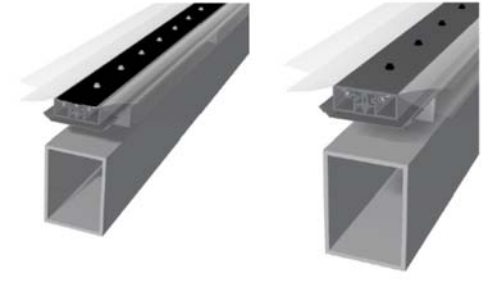
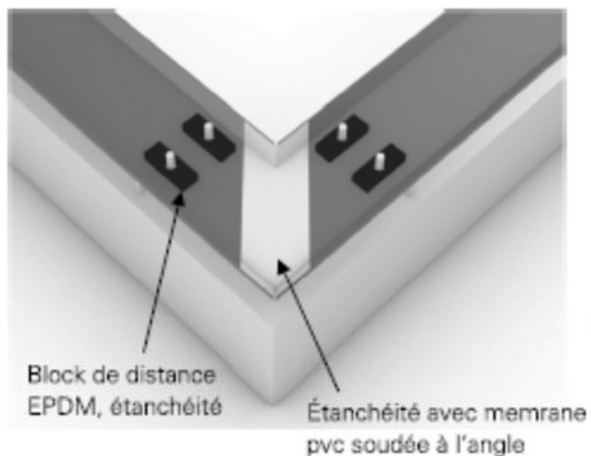
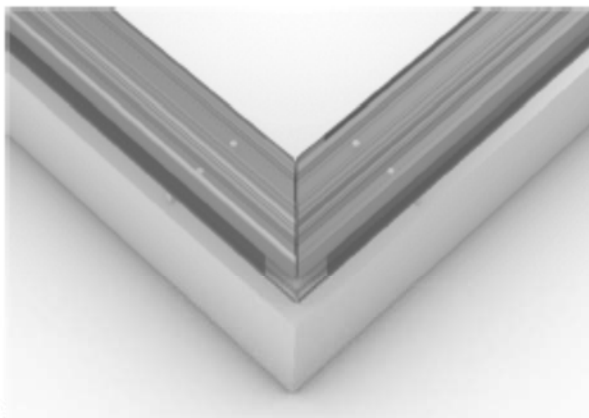
<p>5- Installation des coussins</p>  <p>1. 2. 3. 4.</p> <p>Canal Keder Coussin-ETFE Poche Keder</p> <p>Arrondir la barre Keder avec soin particulier!</p> <p>À arrondir avant de glisser le coussin dans la barre keder.</p> <p>Outil de montage</p> <p>Barre keder en aluminium</p> <p>Profilé de base</p>	<p>a- poser les sur les filets de pose ou sur les sangles (1)</p> <p>b- déplier soigneusement les coussin et le mettre en position (2)</p> <p>c- installer le coussin en commençant pas les angles et accrocher le reste ensuite. (Assurer le coussin contre le vent) (3)</p> <p>d- arrondir la zone où le keder en EPDM et la poche se glissent dans le profil.</p> <p>e- si une coupe a été faite sur le profilé keder, ébavurer le profilé. Nettoyer la barre keder, en particulier le canal.</p> <p>f- mettre en place le keder avec la poche dans le profilé keder.</p> <p>g- Utiliser l'outil de montage pour installer le profil keder dans le profil de base</p>
<p>6- installation des tuyaux flexibles</p> 	<p>Connecter les coussins avec un conduit d'air principale (tube flexible FEP Ø50 mm)</p>
<p>7 installations des joints d'étanchéité</p>  <p>Joint de montage keder</p> <p>Étanchéité en PVC</p> <p>Joint de montage keder</p>	<p>Installation du joint EPDM sur les profilés de base.</p> <p>Installation des bandes d'étanchéité en PVC sur les rive</p>
<p>8- installation du capot serreur</p> 	
<p>9- installation du dispositif anti-volatil</p>	
<p>10- gonfler le coussin</p>	

Figure 27 –Pas à pas de mise en œuvre des profilés SC01 et SC 16 (exemple)

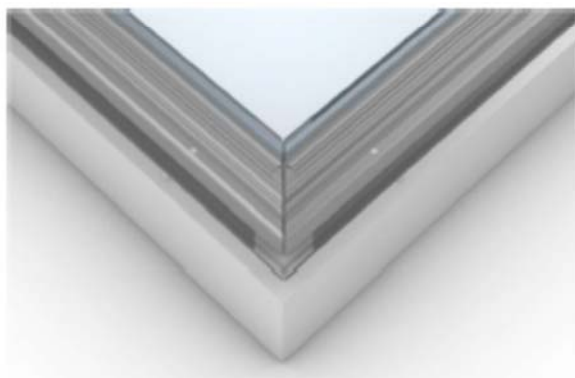
1. installation cheneau de condensation



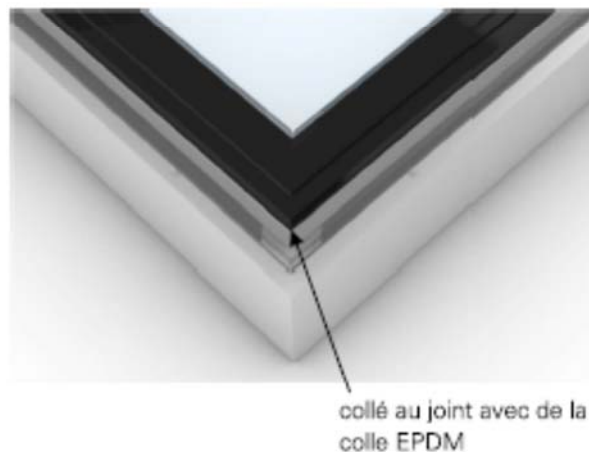
2. installation du profilé de base



3. installation du coussin



4. installation du joint de couvercle



5. installation du profilé de chapeau

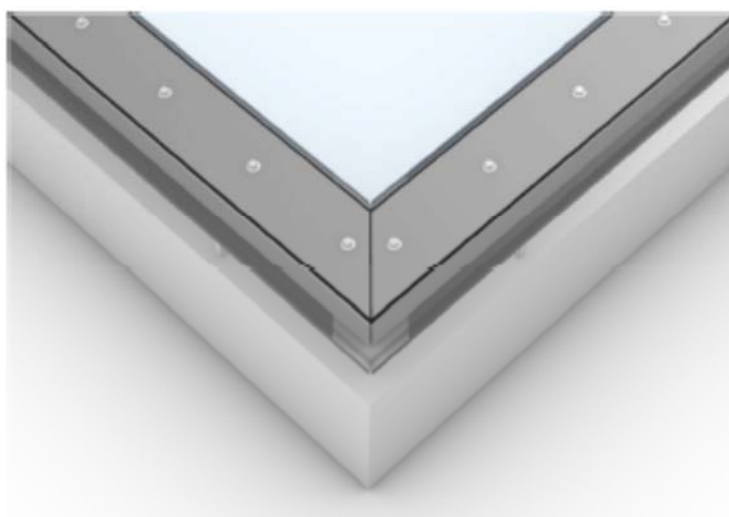
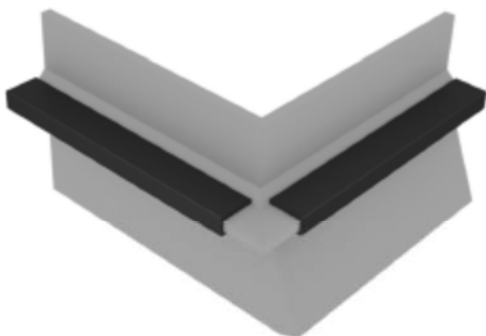
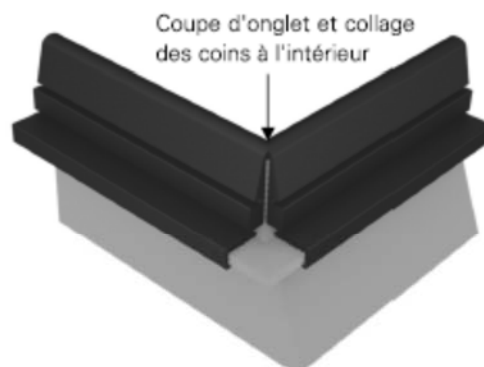


Figure 28 – Pas à pas de mise en œuvre des profilés SC01 et SC 16 (angle)

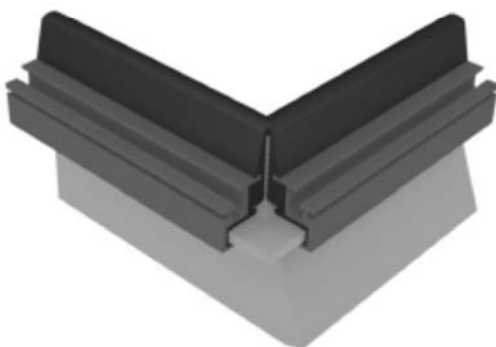
1. installation du séparation extrusion EPDM type 1



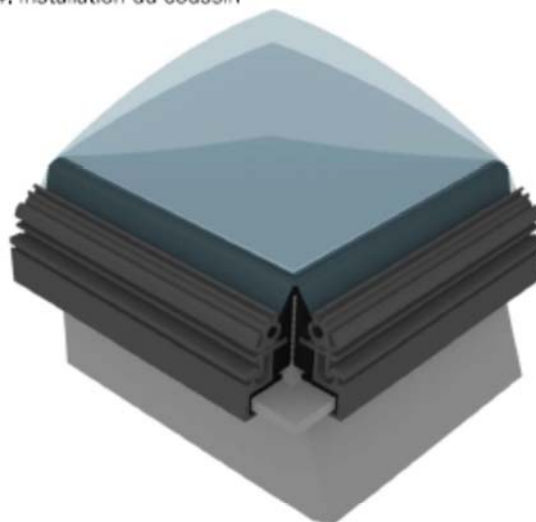
2. installation du profilé de protection des arêtes EPDM type 2



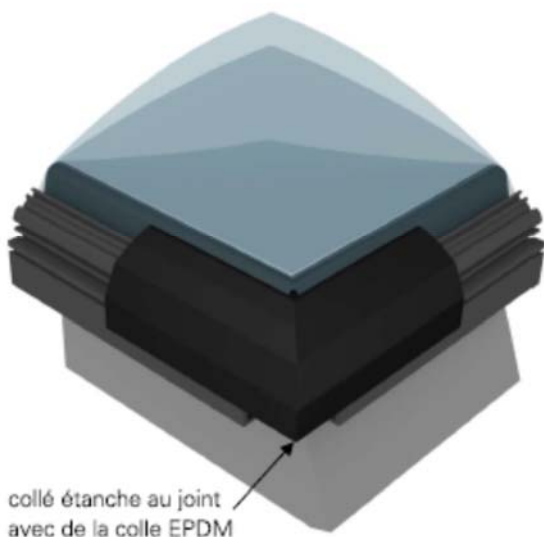
3. installation du profilé de base (profilé alu)



4. installation du coussin



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



6. installation du extrusion EPDM de couverture restant

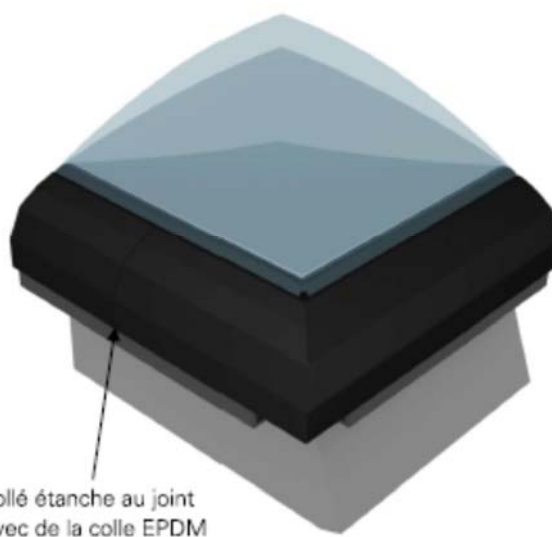


Figure 29 –Pas à pas de mise en œuvre des profilés SC015 (angle)