Avis Technique 6/08-1768

Conduit de lumière naturelle

Conduit de lumière naturelle

Tubular daylight guidance system

Rohr von natürlichen licht

Solatube®

Titulaire : Solatube Global Marketing, Inc
3216 Grey Hawk Court
Carlsbad, CA 92010, USA

Tél. : +1 760 597 1111
Fax: +1 760 597 1181
E-Mail: sgm@solaglobal.com

Commission chargée de formuler des Avis Techniques
(arrêté du 2 décembre 1969)

Groupe Spécialisé n° 6

Composants de baie, vitrages

Vu pour enregistrement le 22 septembre 2008

Secrétariat de la commission des Avis Techniques
CSTB, 84 avenue Jean Jaurès, Champs sur Marne, FR-77447 Marne la Vallée Cedex 2
Tél. : 01 64 68 82 82 - Fax : 01 60 05 70 37 - Internet : www.cstb.fr

Les Avis Techniques sont publiés par le Secrétariat des Avis Techniques, assuré par le CSTB. Les versions authentifiées sont disponibles gratuitement sur le site internet du CSTB (http://www.cstb.fr)
© CSTB 2008

Le Groupe spécialisé n° 6 « Composants de baie, vitrages » de la Commission chargée de formuler des Avis Techniques, a examiné, le 21 février 2008, le système de conduit de lumière naturelle SOLATUBE®, présenté par la société SOLATUBE®. Il a formulé, sur ce système, l'Avis Technique ci-après pour les utilisations en France Européenne.

1. Définition succincte

1.1 Description succincte

Conduit de lumière naturelle en kit pré-assemblé appelé « SOLATUBE® » de diamètre de 250mm ou de 350mm pour la série Brighten Up®, et de diamètre de 530mm pour la série Sola Master®, posé en toiture de bâtiment pour assurer l'éclairage naturel des locaux pouvant être non immédiatement sous-jacent.

1.2 Identification

Tous les cartons d'emballage des kits « SOLATUBE® » sont marqués à la référence commerciale du produit et un code barre permettant au fabricant, d'accéder à la liste des éléments du kit de base.

Un système « SOLATUBE® » en kit de base dispose d'une étiquette autocollante (dite de sécurité), collée sur l'anneau de fixation au plafond et visible lorsque le composant diffuseur est retiré. Sur cette étiquette, le marquage comprend le nom « SOLATUBE », le type de système « SOLATUBE », l'adresse de fabrication, un code d'identification du système et un espace libre pour le renseignement de la date de pose dans le bâtiment.

2. AVIS

2.1 Domaine d'emploi accepté

Il est identique au domaine proposé, à savoir :

- toits en pente, couverts de tuile canal ou de tuile mécanique ou de tuile plate (ou ardoise) pour une pente supérieure ou égale au minimum prévu dans le DTU de mise en œuvre pour chaque type de couverture,
- couvertures par éléments métalliques en feuille et en longues feuilles pour une pente supérieure ou égale au minimum prévu dans le DTU de mise en œuvre,
- toiture-terrasse revêtue d'une étanchéité,
- pour des locaux à faible et moyenne hygrométrie, autres que des locaux réfrigérés (Cf. 2.32),

et ce, dans les limites d'emploi dues aux caractéristiques de réaction au feu des composants (Cf. 2.21).

La fonction principale du système est l'éclairage naturel du local sous-jacent ou d'un local inférieur.

2.2 Appréciation sur le système

2.21 Aptitude à l'emploi

Stabilité

Le système « SOLATUBE® » présente une résistance mécanique permettant de satisfaire à la seule disposition spécifique de ce système figurant dans les lois et règlements, et relative à la résistance sous les charges de vent et à la neige.

Sécurité

Des usagers

La sécurité des usagers n'est pas mise en cause par l'emploi du système « SOLATUBE® ».

Des intervenants

La pose en toiture des systèmes « SOLATUBE® » nécessite le recours à des dispositifs anti-chutes selon la réglementation en vigueur et ne présente pas dans ce cas de risques particuliers.

La mise en place de dispositifs permettant la circulation des personnes sans appui direct sur le système « SOLATUBE® » (ex. : échafaudage, plate-forme, nacelle, …) doit être réalisée.

Lors de l'entretien et de la maintenance, il requiert une protection contre les chutes par des dispositifs garde-corps ou équivalents.

Si selon le DIUO (Cf. code du travail), soit en raison de la constitution, soit de par la conception de la toiture, il n'est prévu, ni envisageable de mettre en place des dispositions permettant de supprimer le risque de chute sur le système « SOLATUBE® » d'un intervenant, la résistance du système « « SOLATUBE® » au choc de 1200 J doit être vérifiée, selon les modalités définies dans le document « Méthode d'essai au choc sur verrières » Cahier du CSTB n°3228.

Vis à vis du feu

- Réaction au feu

Elle est à examiner en fonction des règlements concernant l'habitation, les établissements recevant du public et les immeubles de grande hauteur.

Les classements de réaction au feu des principaux matériaux du système « SOLATUBE® » sont indiqués au paragraphe « Informations utiles complémentaires ».

Selon les dispositions réglementaires relatives aux immeubles de grande hauteur, l'élément diffuseur et l'élément d'adaptation du diffuseur en plafond du système « SOLATUBE® », compte tenu du classement de réaction au feu, ne peut pas être utilisé dans les plafonds et plafonds suspendus de ces bâtiments (Art. GH15 et GH21 §1 de l'arrêté du18 octobre 1977 modifié – règlement de sécurité pour la construction des IGH).

Selon les dispositions réglementaires relatives aux établissements recevant du public, l'élément diffuseur et l'élément d'adaptation du diffuseur en plafond du système « SOLATUBE® », compte tenu du classement de réaction au feu, ne peut pas être utilisé dans les locaux intérieurs et dégagements accessibles au public (AM5 de l'arrêté du 25 juin 1980 modifié - sécurité incendie dans les ERP).

Ces dispositions seraient à considérer pour certaines parties communes de bâtiment d'habitation.

En référence au code du travail, en ce qui concerne la prévention des incendies pour les bâtiments dont le plancher bas du dernier niveau est situé à plus de 8m du sol, l'élément diffuseur du système « SOLATUBE® », compte tenu du classement de réaction au feu, ne peut pas être utilisé dans les plafonds et plafonds suspendus de ces bâtiments (Art.9 III parties translucides, arrêté du 5 août 1992 modifié).

- Résistance au feu

Elle est à examiner en fonction des règlements concernant l'habitation, les établissements recevant du public et les immeubles de grande hauteur.

Il n'y a pas eu d'essais dans le cas présent.

Etanchéité à l'air et à l'eau

Elles peuvent être normalement assurées avec l'emploi du système « SOLATUBE® ».

Isolation thermique et confort d'été

isolation thermique (thermique d'hiver)

Les coefficients de transmission thermique, U_{CL}, calculés conformément aux règles Th-Bât, sont donnés dans le tableau 1 en fin de partie Avis Technique.

Le système de conduit de lumière naturelle en kit de base appelé « SOLATUBE® » n'entre pas dans le champ des exigences réglementaires de la réglementation thermique en raison de leur faible section, inférieure à 0,5m².

Cependant le système « SOLATUBE® » est pris en compte dans le calcul global des déperditions thermiques de l'ouvrage lorsque ce système est employé à l'unité ou en batterie.

Confort d'été

Pour une estimation des apports solaires, les coefficients de transmission solaire et de réflexion solaire des principaux éléments, collecteur et convoyeur, sont donnés au paragraphe « Informations utiles complémentaires ».

Isolation acoustique

Les dispositions réglementaires spécifiques à l'emploi des conduits de lumière concernent leur implantation en toiture et la nature du bâtiment.

Au vu de la constitution du système, dans le domaine de l'isolation au bruit aérien (Dn,e,w(C ;Ctr)), il est vraisemblable que ce système présente une « faiblesse acoustique » et ce, d'autant plus que le diamètre sera grand ou que le nombre de système présent en toiture sera élevé.

Au regard des exigences réglementaires lorsqu'elles s'appliquent, il n'y a pas eu d'essais dans le cas présent. Il faudra donc prévoir la réalisation d'une étude spécifique au cas par cas.

Apports lumineux

Un rendement lumineux global du système « SOLATUBE® » peut être calculé pour la plupart des situations à partir des éléments préconisés par

le Dossier Technique §5.2. Un exemple de calcul est donné dans le *tableau 2* en fin de partie Avis Technique.

Les dispositions réglementaires spécifiques à l'emploi des conduits de lumière concernent leur implantation et en particulier, la nature du local à éclairer.

D'une part, le Code du travail (Livre 2 Réglementation du travail, Titre 3 Hygiène et sécurité) traite de l'éclairage naturel en stipulant avec l' Article R. 235-2, que « Les bâtiments doivent être conçus et disposés de manière que la lumière naturelle puisse être utilisée pour l'éclairage des locaux destinés à être affectés au travail, sauf dans les cas où la nature technique des activités s'y oppose » (Chapitre 5 Dispositions applicables aux opérations de construction dans l'intérêt de l'hygiène et de la sécurité au travail, Section 2 Règles d'hygiène).

D'autre part, le Code du travail renseigne sur les valeurs d'éclairement minimales en apportant des prescriptions techniques (Chapitre 2 Hygiène, aménagement des lieux de travail, prévention des incendies, Section 2 Ambiances des lieux de travail, Sous-section 3 Eclairage) par décrets successifs (décret n°83-721 du 2 août 1983), à savoir :

- *Extrait* de l'article R. 232-7-2. : « Pendant la présence de personnel dans les lieux définis à l'article R. 232-7, les niveaux d'éclairement mesurés au plan de travail ou, à défaut, au sol, doivent être au moins égaux aux valeurs indiquées ci-après :

Locaux affectés au travail et leurs dépendances Valeurs minimales d'éclairement	
Voies de circulation intérieure	40 lux
Escaliers et entrepôts	60 lux
Locaux de travail, vestiaires, sanitaires	120 lux
Locaux aveugles affectés à un travail permanent	200 lux

  Dans les zones de travail, le niveau d'éclairement doit être en outre adapté à la nature et à la précision des travaux à exécuter ».

- Article R. 232-7-1 : « L'éclairage doit être conçu et réalisé de manière à éviter la fatigue visuelle, ainsi que les affections de la vue qui en résultent, et permettre de déceler les risques perceptibles par la vue.

  Les locaux de travail doivent autant que possible disposer d'une lumière naturelle suffisante (décret n°92-333 du 31 mars 1992, « Les dispositions de l'article R. 232-7-1, alinéa 2 sont applicables à compter du 1er janvier 1996 ») ».

Intrusion

La sécurité des biens en ce qui concerne le kit de base de lumière naturelle « SOLATUBE® » de diamètre de 530mm, pourrait être assurée par l'effet retardateur à l'effraction d'une tige en acier inoxydable (diamètre de 8mm) introduite dans l'élément convoyeur de départ.

Il n'y a pas eu d'essais du retard à l'effraction sur le système « SOLATUBE® ».

Informations utiles complémentaires

- Des essais de réaction au feu réalisés sur les matériaux de plusieurs composants du kit « SOLATUBE®» ont donné les classements de réaction au feu suivants :

Composants du kit « SOLATUBE® »	Classement de réaction au feu	
Tube convoyeur de lumière « Spectralight Infinity® »	M1	*Procès-verbal du CSTB n°RA07-0482 du 30 novembre 2007*
Coupole en PMMA translucide	M4	*Procès-verbal du CSTB n°RA08-0096 du 11 mars 2008*
Diffuseur en PC translucide (type Optiview®)	M3	*Procès-verbal du CSTB n°RA08-0097 du 11 mars 2008*
Adaptateur plafond en PMMA ton blanc	M4	*Procès-verbal du CSTB n°RA08-0130 du 19 mars 2008*

Nota : Les classements de réaction au feu donnés dans ce tableau ci - dessus correspondent à des procès-verbaux de réaction au feu valides à la date de l'examen de l'Avis Technique. Il y aura lieu de vérifier, le cas échéant, la validité de ces procès verbaux pendant la durée de validité de l'Avis Technique.

Les coefficients de transmission solaire et de réflexion solaire des principaux éléments convoyeurs déterminés sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Eléments du kit « SOLATUBE® »	τ_e	ρ_e
Coupole en PMMA	80	8
Convoyeur « Spectralight® Infinity »	-	93
Dual Diffuseur Optiview®	82	13
Dual Diffuseur Vusion®	79	11

τ_e (1)transmission solaire normal/hémisphérique (en %)

ρ_e (1)réflexion solaire normal/hémisphérique (en %)

(1) = selon NF EN 410

2.22 Durabilité - Entretien

La durabilité des éléments constituant le système « SOLATUBE® » est satisfaisante.

Sortie de toit

Les résultats des essais effectués au brouillard salin neutre (selon NF ISO 9227, environ 240h d'exposition), n'ont pas montré d'altérations du revêtement des sorties de toit métalliques visées dans le présent Avis Technique.

Visseries métalliques

Pour les éléments de visserie exposés aux conditions climatiques inclus les kits de base visés dans le présent Avis Technique, les résultats des essais effectués au brouillard salin neutre (selon NF ISO 9227, environ 240h d'exposition), n'ont pas montré d'altérations notables de ces éléments.

Coupole

Pour la composition visée dans cet Avis Technique, les résultats des essais effectués au dégradeur UV sont satisfaisants.

Ces résultats ainsi que l'expérience en œuvre sur des produits similaires avec la matière PMMA permettent de penser qu'il n'y aura pas de diminution significative de la transmission lumineuse de la coupole dans le temps.

Les pluies assurent le nettoyage courant de la surface de la coupole. Ce nettoyage peut être complété par un nettoyage manuel à l'eau effectué de temps à autre en fonction de conditions d'exposition du système « SOLATUBE® ».

Convoyeur de lumière « Spectralight® Infinity»

Le matériau permettant le convoyage de la lumière naturelle est un matériau organique multicouche comprenant une couche extérieure permanente constituée de polyéthylène naphtalate (PEN).

Pour la composition visée dans cet Avis Technique, les résultats de vieillissement simulé effectués sur des échantillons de système « Spectralight® Infinity » protégés par des éléments de coupole en PMMA de 3 mm d'épaisseur, font apparaître une sensibilité au vieillissement du revêtement « Spectralight® Infinity ».

Afin de prendre en compte ces phénomènes d'évolution dans le temps des matériaux, il est affecté une pondération de 0,9 du rendement lumineux initial pour traduire la valeur moyenne du rendement lumineux sur la durée de vie du système.

Diffuseur

Le matériau entrant dans la fabrication du composant-diffuseur (nommé Vusion®) est identique à celui pour la fabrication de la coupole.

Le cas échéant, un entretien par nettoyage manuel peut être effectué à l'eau car le composant-diffuseur est démontable.

Il est à noter l'absence d'étanchéité à l'air du raccord plafond avec le niveau supérieur et le cas échéant, ceci peut occasionner l'apparition de salissures en plafond.

2.23 Fabrication et contrôles

La réalisation d'un kit préassemblé « SOLATUBE® » comprend la fabrication des sorties de toit, des tubes convoyeur, l'assemblage des parties « collecteur » et « émetteur », la fabrication des coudes le cas échéant, et la mise en ordre en boite cartonnée avant expédition.

Chaque pièce du kit de base « SOLATUBE® » en provenance d'un fournisseur fait l'objet d'un cahier des charges produit établi par la société SOLATUBE Global Marketing, Inc. et donne lieu à des contrôles qualité réception.

La société SOLATUBE Global Marketing, Inc. a mis en place un contrôle interne.

La société SOLATUBE Global Marketing, Inc. fait l'objet d'un suivi régulier par le CSTB.

2.3 Cahier des Prescriptions Techniques

2.31 Conditions de fabrication

Contrôles réception sur éléments du kit

Les fournisseurs des principaux composants du kit préassemblé « SOLATUBE® » font l'objet de contrôles qualité réception avec un niveau d'inspection standard en référence à la norme ISO 2859 (niveau II). Les contrôles concernent l'aspect et le cas échéant, les caractéristiques dimensionnelles des pièces entrant dans l'assemblage du kit.

Les principaux éléments du kit « SOLATUBE® » visés par ces contrôles réception sont : la coupole et son support, les diffuseurs et leur support.

Conditions de fabrication

Dans le cadre de la fabrication du convoyeur « Spectralight® Infinity », le fabricant est tenu de réaliser les contrôles suivants : température de calandrage (3 fois par bobine), test au décollement (1 fois par lot de production).

Contrôles sur produits finis

Le fabricant SOLATUBE est tenu d'exercer sur l'assemblage du kit « SOLATUBE® » un contrôle permanent, à l'unité, dont les résultats seront consignés sur registre.

La régularité, l'efficacité et les conclusions de cet autocontrôle sont vérifiées par le CSTB une fois par an.

2.32 Conditions d'emploi

Le risque d'avoir des condensations sur la face intérieure du convoyeur cylindrique de lumière pourrait apparaître lorsque ce système, non isolé, traverse un local non chauffé et que l'hygrométrie est importante dans le local à éclairer, non ventilé.

L'utilisation du système « SOLATUBE® » dans les locaux à faible et moyenne hygrométrie ($W/n \leq 5g/m^3$ avec W, la quantité de vapeur d'eau produite (en g/h) et n, le taux horaire de renouvellement d'air (en m^3/h) ; voir le « e-Cahiers n°3567 » du CSTB) ne doit pas induire de défaillance de ces systèmes.

Il convient de vérifier au préalable si la ventilation du local à éclairer est convenablement assurée.

L'utilisation du système « SOLATUBE® » tel que visé par le présent Avis Technique, dans des locaux à basses températures (locaux réfrigérés, …) est proscrite dans le cas présent.

2.33 Conditions de stockage

Lorsqu'il est protégé dans son emballage d'origine non endommagé, le kit préassemblé de système « SOLATUBE® » peut être stocké à l'air libre sous abri.

Dans tous les autres cas (emballages ouverts), il doit être stocké en intérieur et à l'abri des poussières.

2.34 Conditions de conception

Une étude préalable de conception du conduit de lumière naturelle dans le bâtiment est nécessaire. Elle permettra d'évaluer les difficultés éventuelles liées à son implantation telles que les raccords à la couverture et de déterminer par le calcul, la valeur du rendement lumineux selon les dispositions prévues par le Dossier Technique §5.

La société SOLATUBE Global Marketing, Inc. peut apporter une assistance technique lors de l'étude préalable et de la réalisation du bâtiment, aux professionnels et aux utilisateurs qui en font la demande.

2.35 Conditions de mise en oeuvre

La pose d'un système en kit pré-assemblé « SOLATUBE® » doit être réalisée par des entreprises de couverture ou d'étanchéité qualifiées. La société SOLATUBE Global Marketing, Inc. a désigné un distributeur exclusif sur le marché français (site web : *www.natureetconfort.fr*) assurant la pose ou à défaut, tenant à disposition, une liste de poseurs agréés par ses soins.

La pose d'un système en kit pré-assemblé « SOLATUBE® » de la série Brighten Up® ou de la série Sola Master® sur une toiture existante nécessite de découvrir en partie cette toiture et de procéder à nouveau à son étanchéité dans les dispositions du DTU concerné et en tenant compte de points singuliers traités dans les alinéas suivants.

L'emploi du mastic élastique de fixation de tuiles à la sortie de toit métallique et de tuiles à tuile le cas échéant, de référence SIKAFLEX PRO 11 FC (base polyuréthane, certifié SNJF de classe F 25E), durable au rayonnement ultra-violet et aux écarts de température, est limité au type de tuiles non siliconées et à certains éléments de couverture détaillés dans les §6.11, §6.12et §6.13 du Dossier Technique. Il convient de respecter les précautions d'usage de ce produit, à savoir : nature des supports et leur préparation (primaire d'adhésion éventuel), température d'application, … . Dans le cas d'emploi d'un mastic élastique de fixation d'une autre référence, une étude spécifique d'adhésivité et de durabilité devra être réalisée.

La liaison à la toiture, selon le type de couverture, doit satisfaire aux dispositions des alinéas ci-après.

Dispositions relatives pour toiture de tuile canal

La mise en œuvre d'un système « SOLATUBE® » sur une couverture de tuile canal est limitée à la série Brighten Up® c'est-à-dire, aux systèmes de diamètre de 250mm et de 350mm.

La mise en œuvre d'un système « SOLATUBE® » sur une couverture de tuile canal introduit des dispositions complémentaires en référence au DTU 40.22 et font l'objet du présent Avis Technique.

Ces points singuliers sont traités dans le §6.11 du Dossier Technique. Il convient de les observer lors de la mise en œuvre.

Dispositions relatives pour toiture de tuile mécanique

La mise en œuvre d'un système « SOLATUBE® » sur une couverture de tuile mécanique est limitée à la série Brighten Up® c'est-à-dire, aux systèmes de diamètre de 250mm et de 350mm.

La mise en œuvre d'un système « SOLATUBE® » sur une couverture de tuile mécanique introduit des dispositions complémentaires en référence aux DTU 40.21 et DTU 40.211 et font l'objet du présent Avis Technique.

Ces points singuliers sont traités dans le §6.12 du Dossier Technique. Il convient de les observer lors de la mise en œuvre.

Dispositions relatives pour toiture de tuile plate

La mise en œuvre d'un système « SOLATUBE® » sur une couverture de tuile plate est limitée à la série Brighten Up® c'est-à-dire, aux systèmes de diamètre de 250mm et de 350mm.

La mise en œuvre d'un système « SOLATUBE® » sur une couverture de tuile plate introduit des dispositions complémentaires en référence au DTU 40.23 et font l'objet du présent Avis Technique.

Ces points singuliers sont traités dans le §6.13 du Dossier Technique. Il convient de les observer lors de la mise en œuvre.

Dispositions relatives pour toiture revêtues d'une étanchéité

La mise en œuvre d'un système « SOLATUBE® » sur une toiture revêtue d'une étanchéité est limitée à la série Sola Master®, c'est-à-dire, aux systèmes de diamètre de 530mm.

La mise en œuvre d'un système « SOLATUBE® » en toiture-terrasse introduit des dispositions complémentaires en référence au DTU 43 pour ce type de toiture et font l'objet du présent Avis Technique.

Ces points singuliers sont traités dans le §6.14 du Dossier Technique. Il convient de les observer lors de la mise en œuvre.

Dispositions dans les couvertures par éléments métalliques en feuille et en longues feuilles

La mise en œuvre d'un système « SOLATUBE® » sur ce type de couverture est limitée à la série Sola Master®, c'est-à-dire, aux systèmes de diamètre de 530mm.

La mise en œuvre d'un système « SOLATUBE® » implique la réalisation d'une pénétration dans la couverture en longue feuille métallique.

L'entreprise de couverture réalise les raccords métalliques nécessaires qui doivent satisfaire aux exigences et aux dispositions complémentaires du DTU 40.4 pour ce type de toiture. Dans ce but, un adaptateur rond/carré métallique proposé par le fabricant et illustré en *figure 2-e* en fin de dossier technique, pourra être utilisé.

2.36 Conditions d'entretien

Il faut proscrire toute pâte abrasive susceptible de rayer la coupole ou le diffuseur ainsi que les solvants pouvant entraîner des fissurations.

Il n'est pas possible de réparer les éléments de coupole, de conduit de lumière et de diffuseur détériorés (perforations).

Il est recommandé lors de l'entretien, de procéder également au nettoyage de l'aire de la sortie de toit et de contrôler et de remplacer éventuellement, les éléments de toiture ou autres, cassés et tranchant, risquant d'affecter à terme l'étanchéité à l'eau du système « SOLATUBE® » et plus généralement, de la couverture.

Conclusions

Appréciation globale

L'utilisation du conduit de lumière naturelle désigné « SOLATUBE® » dans le domaine proposée est appréciée favorablement.

Validité

Jusqu'au 28 février 2010.

Pour le Groupe Spécialisé n°6
Le Président
P MARTIN

3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Le Groupe Spécialisé a formulé son Avis pour un domaine d'emploi restreint selon les types de couverture. Il tient à attirer l'attention des utilisateurs sur les risques inhérents à une pose qui serait effectuée sans précaution et sans prise en compte au préalable des éléments nouveaux de couverture associés à l'emploi d'un système « SOLATUBE® » tels que la réalisation de l'ourlet de 2cm au minimum des bords latéraux de la sortie de toit métallique pour une couverture de tuiles plates.

D'une manière générale, l'éclairage de locaux aveugles à l'aide de la lumière naturelle telle qu'obtenue avec les systèmes « SOLATUBE® » est bénéfique puisqu'ils participent, pour les occupants, à préserver le rythme circadien nécessaire à tout organisme biologique. Toutefois, il va de soi que l'emploi de ces seuls systèmes, sans une lecture attentive des besoins d'éclairage et sans une étude préalable, ne peuvent pas suppléer, dans bien des situations, aux exigences réglementaires de niveau d'éclairement minimal. Il convient d'en tenir compte dans la prescription de ces systèmes.

Il doit être entendu que les matériaux de convoyage de la lumière naturelle à base de matières plastiques peuvent présenter une fatigue à terme se traduisant par une légère diminution du rendement lumineux global. Le manque d'entretien de ces systèmes (nettoyage de la surface intérieure du diffuseur et de la surface de la coupole à l'eau de temps à autre) peut être également un facteur important de diminution du rendement lumineux global.

Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n°6
H. LAGIER

Tableaux de l'Avis Technique

Tableau 1 – Coefficient de transmission thermique, U_{CL} , en W/(m²K), des systèmes SOLATUBE®

Tableau 1-a : Conduit de lumière non isolé traversant un local chauffé			
U_{CL}	Diamètre du système « SOLATUBE® »		
Longueur	250mm	350mm	530mm
0,5m	11,25	8,63	7,26
1m	13,11	10,26	9,38
1,5m	13,61	11,05	10,61
3m	17,17	13,57	11,42
6m	18,25	15,60	13,39

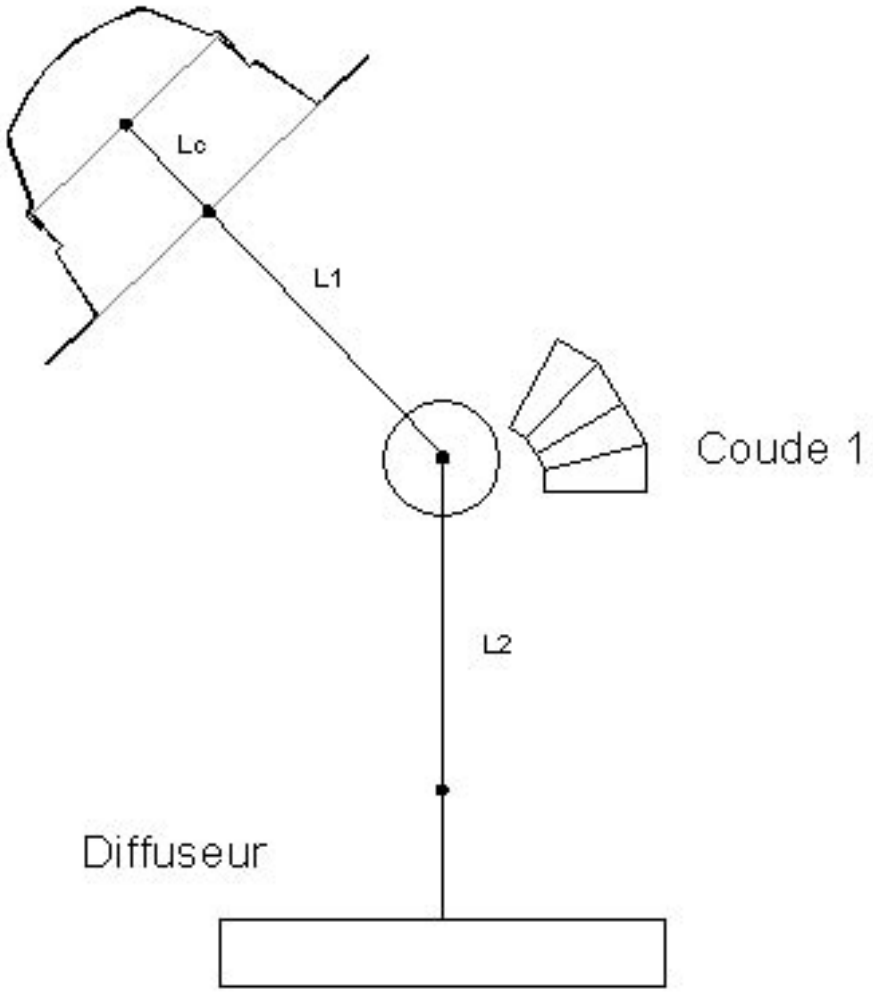
Tableau 1-b : Conduit de lumière isolé(1) traversant un local chauffé			
U_{CL}	Diamètre du système « SOLATUBE® »		
Longueur	250mm	350mm	530mm
0,5m	4,75	3,99	3,40
1m	6,84	5,53	4,38
1,5m	8,18	6,59	5,17
3m	12,91	9,78	7,14
6m	13,59	12,05	8,87
(1) : isolant type laine de verre d'épaisseur de 45mm et de λ=0,04 W/(mK)			

Tableau 1-c : Conduit de lumière non isolé traversant un local non chauffé			
U_{CL}	Diamètre du système « SOLATUBE® »		
Longueur	250mm	350mm	530mm
0,5m	2,59	2,52	2,44
1m	2,70	2,64	2,57
1,5m	2,74	2,70	2,64
3m	2,80	2,78	2,74
6m	2,84	2,83	2,80

Tableau 1-d : Conduit de lumière isolé(1) traversant un local non chauffé			
U_{CL}	Diamètre du système « SOLATUBE® »		
Longueur	250mm	350mm	530mm
0,5m	2,31	2,21	2,16
1m	2,38	2,32	2,25
1,5m	2,44	2,39	2,31
3m	2,57	2,52	2,45
6m	2,68	2,64	2,58
(1) : isolant type laine de verre d'épaisseur de 45mm et de λ=0,04 W/(mK)			

Tableau 2 – Exemple de calcul du rendement lumineux

Conduit de lumière « SOLATUBE® » de Φ=530mm comprenant 2 longueurs droites L1=0,6m et L2=2,4m et incluant 1 angle de 150°



		Longueur de chaque élément (en m)	Rendement lumineux de chaque composant à l'état initial (Cf. Dossier Technique §5.2)
Collecteur	coupole + support convoyeur	0,3	0,73
Convoyeur droit : L1		0,6	
Coude 1	(courbé 30°)		0,90
Convoyeur droit : L2		2,4	0,93
Diffuseur	Emetteur rond Composant diffuseur type Prismatique	0,6	0,91
	Rendement lumineux initial du système =		**0,56**

Dossier Technique

établi par le demandeur

A. Description

1. Principe

Les conduits de lumière naturelle en kit de base désigné « SOLATUBE® » sont destinés à être utilisé en toiture, à savoir :

- toit en pente, couvert de tuiles mécanique, de tuiles canal ou de tuiles plates (ou ardoises) pour une pente supérieure ou égale au minimum prévu dans le DTU de mise en œuvre pour chaque type de couverture,
- couvertures par éléments métalliques en feuille et en longues feuilles pour une pente supérieure ou égale au minimum prévu dans le DTU de mise en œuvre,
- toiture-terrasse revêtue d'une étanchéité.

La fonction principale du système est l'éclairage naturel du local sous-jacent ou d'un local inférieur.

Les kits standards de base « SOLATUBE® », décrits à partir des *figures 1a* et *1b*, sont proposés en deux séries différentes et en trois diamètres :

pour la série Brighten Up® : de diamètre de 250mm (noté 160 DS (pour Daylight System)) et de diamètre de 350mm (noté 290 DS), destinée préférentiellement au résidentiel ;

et, pour la série Sola Master® : de diamètre de 530mm (noté 21-C) destiné au bâtiment tertiaire.

Chaque système « SOLATUBE® » est défini par un collecteur de lumière, un conduit métallique recevant en face intérieure un film polymère réfléchissant contre-collé type « miroir » et en sortie de plafond, un diffuseur rond ou carré.

Un système « SOLATUBE® » type est représenté en *figure 1* en fin de Dossier Technique.

2. Matériaux

2.1 Sortie de toit et Extensions

2.11 Sortie de toit

Les sorties de toit (ou solins) assurent deux fonctions : la tenue mécanique du système de conduit de lumière naturelle et la continuité de l'étanchéité de la couverture.

Pour la série Brighten Up® correspondant aux conduits de lumière naturelle de diamètres 250mm et 350mm, il existe deux types de sorties de toit :

- sortie de toit dite « universelle » (base de type ondulée), avec une partie supérieure inclinée ou non, à destination des toitures de tuile canal ou de tuile mécanique,
- sortie de toit base plate, avec une partie supérieure inclinée à 15° à destination des toitures de tuile plate.

Les sorties de toit base plate sont métalliques et d'épaisseur de 0,71mm minimum : le cœur du matériau est en acier de qualité grade A (conforme à la norme ASTM A 653/A653M-02a qui a pour équivalence la norme NF EN 10154) et est revêtu d'aluminium par un procédé de dépose à chaud appelé « Hot Dip » (visé par la norme ASTM A 463/A 463M-02a). Ces plaques métalliques de référence DDS T1-5 de chez ATLAS STEEL PRODUCTS Co. (OH, US) sont transformées à façon en atelier (déformation à froid sous presse) par la société SOLATUBE Global Marketing, Inc. puis, teintées en face extérieure avec un traitement de finition. Ce dernier correspond à un thermo-laquage en coloris noir semi-brillant, de 80 µm d'épaisseur, de référence PBS6-40018, et est réalisé par la société SHERWIN WILLIAMS (Ontario, CA).

La sortie de toit base plate, concernant uniquement le système « SOLATUBE® » de 350mm de diamètre, sont retravaillées à leur arrivée sur le marché français : leurs bords latéraux dans le sens du rampant sont repliées sur une distance au minimum de 20mm afin de permettre latéralement le drainage des eaux pluviales. Un descriptif de la sortie de toit base plate, série Brighten Up®, est représenté en *figure 2a* en fin de Dossier Technique.

Les sorties de toit dite « universelle » décrites sur les *figures 2b* et *2c* en fin de Dossier Technique, et à destination des systèmes « SOLATUBE® » de 2500mm et de 350mm de diamètre, rassemblent deux matériaux métalliques de nature différente :

- la partie supérieure circulaire de la sortie de toit, de matériau identique à la sortie de toit base plate,
- la base de la sortie de toit réalisée à partir d'une plaque en aluminium, de 0,50mm d'épaisseur, de référence 1100-O ALUMINUM ALLOY de chez Bralco Metals (US).

Après pressage et découpage de la plaque en aluminium formant la base de la sortie de toit « universelle », la liaison entre ces deux matériaux est réalisée à l'aide d'une bande adhésive double face de mousse acrylique, de 19mm de largeur et de 1,6mm d'épaisseur, de référence 4655 VHB ce chez 3M (St Paul, MN, US). La liaison correspondant à un recouvrement d'environ 5cm de la base de la sortie de toit en face intérieure de la partie supérieure circulaire de la sortie de toit prenant en sandwich la bande mousse adhésive double face est réalisée sous presse à façon en atelier par la société SOLATUBE Global Marketing, Inc. .Ensuite, la sortie de toit dite « universelles » consolidée reçoit sur la face exposée aux intempéries, un traitement de finition par thermo-laquage, identique à celui décrit précédemment pour les sorties de toit base plate.

Le tableau ci-dessous indique les références et les caractéristiques des sorties de toit pour conduits de diamètre de 250mm et 350mm.

Système SOLATUBE® Série Brighten Up®			Diamètre (mm) 250	Diamètre (mm) 350
Sortie de toit Code produit Dmensions (cm) & Poids	Universelle	Incliné	230 850 87 x 87 cm 1,97 kg Inclinaison 25°	230 870 86 x 101,5cm 3,86 kg Inclinaison 25°
		Plat (hauteur 15cm)	230 860 87 x 87 cm 1,95 kg	230 880 86 x 101,5cm 2,59 kg
	Base Plate	Incliné 15°	-	200 765 69,5 x 69,5cm 2,86 kg

Pour la série Sola Master® correspondant au conduit de lumière naturelle de diamètre de 530mm, il existe :

- sortie de toit plate pour toiture terrasse
- haut de costière pour pose sur bac acier non incliné.

Ces sorties de toit décrites sur la *figure 2d* en fin de Dossier Technique, sont fabriquées avec la même référence d'acier revêtu aluminium que celles des sorties de toit base plate mais ils reçoivent un traitement de finition de type laquage poudre ASA 70 Gray de chez Dupont ou un produit équivalent.

Le tableau ci-dessous indique les références et les caractéristiques des sorties de toit pour conduits de diamètre de 530mm.

Système SOLATUBE® Série Sola Master® , diamètre de 530mm		
Code produit Sortie de toit	200 890	Plat (hauteur 20cm)
	200 860	Plat (hauteur 28cm)
	200 780	Haut de costière

2.12 Extension de sortie de toit

Une extension de sortie de toit inclinée est utilisée pour augmenter la hauteur du relevé d'étanchéité de la sortie de toit par rapport au plan de la couverture.

L'extension de sortie de toit est réalisée avec la même référence d'acier revêtu aluminium que celles des sorties de toit base plate ; elle est d'un diamètre légèrement supérieur pour s'emboiter dans la sortie de toit. Elle se fixe en quatre points par des vis traversant sur le pourtour circulaire et est scellée en face intérieure à l'aide de mastic d'étanchéité (Cf §2.8). Pour parfaire l'étanchéité de la sortie de toit, il est nécessaire d'enduire les têtes de vis à l'aide du mastic d'étanchéité. La *figure 3* en fin de Dossier Technique décrit la mise en œuvre de l'extension sur la sortie de toit.

Le tableau ci-dessous indique les références des extensions de sortie de toit :

Système SOLATUBE®	Diamètre (mm) 250	Diamètre (mm) 350
Code produit Extension de hauteur 50mm	200 500	200 460
Code produit Extension de hauteur 100 mm	230 770	230780

2.2 Convoyeur de lumière

Les tubes convoyeurs de la lumière naturelle du kit « SOLATUBE® » comprennent le système de convoyage de la lumière naturelle nommé « Spectralight® Infinity ». Ce système de convoyage se compose d'un feuil aluminium recevant en face intérieure, un film réfléchissant contre-collé de type « 3M Daylighting Film DF2000MA » de la société 3M protégé par un film de protection temporaire pelable en polyéthylène. Ce dernier est retiré lors de la mise en œuvre du convoyeur sur les autres éléments du kit du système SOLATUBE®.

Le feuil aluminium correspond à un alliage aluminium, de référence AW-3105-H28 (selon NF EN 485-2), traité sur une face pour recevoir par laminage, le film réfléchissant. Il est livré en rouleaux de longueur d'environ 1200m, dans une épaisseur de 0,36mm±0,025 et dans une largeur d'environ 1,20m.

Le film réfléchissant de « 3M Daylighting Film DF2000MA » de la société 3M (St-Paul, MN, USA) correspond à un film multicouche incorporant une couche intermédiaire de haute réflectivité à forte teneur en éléments silicium (majoritaire). L'empilement des différentes couches de matériaux diélectriques permet d'obtenir une haute réflectivité dans le domaine du visible de type « miroir », y compris pour de faibles angles d'incidences de la lumière ; la couche extérieure permanente, transparente et protectrice correspond à un film polymère à base de polyéthylènenaphtalate (PEN).

2.21 Convoyeur cylindrique droit

L'assemblage d'un convoyeur cylindrique droit – aussi appelé tube d'extension – est représenté sur la *figure 4a* : il correspond à un recouvrement d'environ 2cm des deux bords à l'aide d'entailles à l'aveugle, permettant ainsi de former le cylindre. La zone de recouvrement est ensuite scellée par un ruban aluminium adhésif (ruban aluminium : Cf. §2.52) : l'assemblage final est représenté en *figure 4b* en fin de Dossier Technique. A l'interface de deux conduits successifs, il est positionné par enroulement sur le pourtour d'un de deux bord cylindriques, le joint brosse de dilatation décrit au §2.51.

Les convoyeurs de lumière sont livrés en plaques cylindriques prédécoupées et pré-usinées, prêtes à être assemblé pour réaliser le conduit, avec des longueurs utiles précisées dans le tableau ci-dessous.

Système SOLATUBE®					
Diamètre (en mm)	250	250	350	350	530
Code Produit	320 030	320 050	300 010	300 020	300 770
Longueur utile (en mm)	400	600	400	600	600

2.22 Convoyeur cylindrique coudé

La découpe d'éléments de convoyeur cylindrique droit en tranche avec un angle de 15° permet par pivotement des deux parties de réaliser un convoyeur cylindrique coudé d'un angle variable de 0 à 30°. Sur cette découpe, une déformation type « onde » avec empreintes respectivement, profil et contre-profil sur les bords de coupe est réalisée afin de permettre leur encastrement. Sur la zone de recouvrement latérale correspondant à celle d'un convoyeur de lumière type, pour maintenir chacune des pièces du coude, sont effectués un emboutissage par point à froid et un scellement continu à partir du ruban aluminium adhésif

L'assemblage successif de convoyeurs cylindriques coudés permet d'obtenir des angles jusqu'à 90° : la *figure 5* en fin de Dossier Technique, en donne une illustration. Des angles intermédiaires (par exemple, 60°) et des cheminements en S du convoyeur cylindrique sont possibles en utilisant des encastrements successifs d'élément de convoyeur cylindrique coudé.

Pour la série Sola Master® correspondant au conduit de diamètre de 530mm, le dévoiement des convoyeurs de lumière naturelle n'est envisagé que jusqu'à un angle de 30° et ce, sur une longueur de 400mm, compte-tenu de leur volume en usage, en sous-face ou en niveau inférieur de la couverture.

Les convoyeurs cylindriques coudés sont livrés pré-assemblés en position de tube vertical pour des raisons d'encombrement et de volume lors du transport et de la manutention.

Les éléments coudés peuvent être introduits dans le convoyeur de lumière à tous les niveaux, après chaque élément convoyeur droit. Le tableau ci-dessous liste les convoyeurs cylindriques coudés disponibles pour chaque système « SOLATUBE® ».

Système « SOLATUBE® »	Diamètre (mm)		
	250	350	530
Code produit Convoyeur cylindrique coudé	301 960	301 980	300 720

2.23 Convoyeur cylindrique supérieur et anneau de fixation de la coupole

Le convoyeur cylindrique supérieur est l'élément du kit recevant la coupole (également appelée couramment « dôme ») qui se fixe à la sortie de toit lors de la mise en œuvre en couverture. Il comprend :

- un élément de convoyeur cylindrique coudé (Cf. §2.22) permettant l'obtention d'un angle variable de 0° à 30° par rapport au plan de mise en œuvre défini par la couverture. Le bord supérieur cylindrique de cet élément de convoyeur est usiné pour recevoir quatre crochets traversant (emboutissage à froid) en matériau thermoplastique translucide. Ces crochets sont répartis sur le bord cylindrique et assurent le maintien par crochetage de l'anneau de fixation support de la coupole.
- un anneau de fixation à dimensions de l'élément de convoyeur cylindrique, support de la coupole, en matériau thermoplastique translucide qui comprend quatre empreintes, points supports par clip de la coupole sur l'anneau. Il comprend également des tétons prépercés et emboutis dans sa partie supérieure, permettant de recevoir des vis de fixation. La manœuvre circulaire de la coupole et de cet anneau de fixation est rendu possible autour du convoyeur cylindrique supérieur. Les anneaux de fixation sont détaillés par diamètre du système « SOLATUBE® », en *figure 6-a* en fin de Dossier Technique et, leur mise en œuvre sur l'élément de convoyeur cylindrique, support de la coupole, en *figure 6-b* en fin de Dossier Technique.

  La fixation définitive de l'anneau sur le convoyeur cylindrique supérieur intervient lors de la mise en œuvre après le choix de l'orientation de la coupole, fonction de lieu d'implantation du système « SOLATUBE® » en couverture.

Le matériau thermoplastique translucide entrant dans la fabrication de l'anneau de fixation et des crochets de maintien au convoyeur cylindrique supérieur est en polyméthacrylate de méthyle (PMMA), de qualité grade PLEXIGLAS DR-101, de la société ALTUGLASS INTERNATIONAL (ARKEMA Group).

L'assemblage du convoyeur cylindrique supérieur, de l'anneau de fixation support de la coupole, des crochets et des espaceurs (en polyamide 6,6 de coloris noir pré-percés) est réalisé en usine.

Pour la série Sola Master® correspondant au conduit de diamètre de 530mm, l'anneau de fixation support de la coupole est fixé en usine directement sur le tube supérieur.

Ces éléments de convoyage de la lumière naturel disponibles pour chaque système « SOLATUBE® », listés dans le tableau ci-dessous et présentés en *figure 7* en fin de Dossier Technique, sont livrés prémontés en cylindre droit.

		Système SOLATUBE®		
	Diamètre (en mm)	250	350	530
Convoyeur cylindrique supérieur	Code Produit	990 260	990 240	301 710
	Longueur utile (en mm)	300	300	
Anneau fixation support de la coupole	Code Produit	410 700	410 800	400 785

2.24 Convoyeur cylindrique inférieur et anneau de fixation de l'élément diffuseur

Le convoyeur cylindrique inférieur est l'élément du kit recevant le diffuseur qui se fixe au plafond du local à éclairer. Il comprend :

un élément de convoyeur cylindrique qui peut être coudé (Cf. §2.22) permettant l'obtention d'un angle variable de 0° à 30° par rapport au plafond du local à éclairer. Le bord inférieur cylindrique de cet élément de convoyeur est usiné pour recevoir par emboitement un anneau de fixation en matériau thermoplastique, support de l'élément diffuseur.

Un anneau de fixation support de l'élément diffuseur, en matériau thermoplastique translucide, qui comprend quatre logements équidistants répartis sur le pourtour circulaire, recevant quatre cornières (ou équerres) thermoplastiques de coloris blanc, liées à l'anneau par vis traversant. L'anneau de fixation comprend également sur ses bords

extérieurs des lèvres en élastomère thermoplastique en coloris blanc, co-extrudées, permettant de réaliser deux plans d'étanchéité : le premier, entre le convoyeur cylindrique inférieur et l'anneau de fixation et le second, entre l'anneau de fixation et l'élément diffuseur. Les anneaux de fixation de l'élément diffuseur sont détaillés par diamètre du système « SOLATUBE® », en figures 8-a et 8-b en fin de Dossier Technique.

La fixation définitive de l'anneau de fixation au plafond est réalisée par rotation des quatre cornières (ou équerres) et leur serrage à l'aide des vis traversant (Figures 8-c en fin de Dossier Technique) : celle-ci intervient lors de la mise en œuvre après choix de l'emplacement du diffuseur dans le local à éclairer. Il est possible également de réaliser la fixation du support du diffuseur au plafond par vissage direct en 8 points sur les logements pré-usinés sur le pourtour de l'anneau (Figures 8-d en fin de Dossier Technique).

Le matériau thermoplastique entrant dans la fabrication de l'anneau de fixation support de l'élément diffuseur et des crochets de maintien au convoyeur cylindrique supérieur est en polyméthacrylate de méthyle (PMMA), incolore, de référence Plexiglas MI-7-101 de chez Altuglas International (ARKEMA Group, US), correspondant à une qualité de résine de grade pour transformation par injection et pour des applications destinées à un usage extérieur.

Le matériau thermoplastique des cornières (ou équerres) utilisés comme éléments de fixation du convoyeur cylindrique inférieur au plafond du local à éclairer, est du polyamide 6,6 de ton blanc de référence Hylon® N1000EL de chez ENTEC Engineering (US).

L'assemblage du convoyeur cylindrique inférieur, de l'anneau de fixation au plafond support de l'élément diffuseur et des cornières est réalisé en usine.

Pour la série Sola Master® correspondant au conduit de diamètre de 530mm, à défaut d'un anneau de fixation plafond circulaire, il est proposé une boîte de raccordement plafond carrée (*Figures 8-e* en fin de Dossier Technique).

Ces éléments de convoyage de la lumière naturel disponibles pour chaque système « SOLATUBE® », listés dans le tableau ci-dessous, sont livrés pré-montés en cylindre droit.

		Système SOLATUBE®		
	Diamètre (en mm)	250	350	530
Convoyeur cylindrique inférieur	Code Produit	990 250	990 230	301 730
	Longueur utile (en mm)	300		
Anneau fixation support du diffuseur	Code Produit	410210	410410	401880

2.25 Système anti-intrusion

Un système anti-intrusion est développé pour le conduit de lumière Ø530mm. Il consiste en une barre en acier inoxydable de 8mm de diamètre, insérée dans le conduit de lumière fixé à la sortie de toit. Cette barre est fixée sur le pourtour du convoyeur cylindrique à l'aide de vis traversant.

Le système anti-intrusion est représenté sur la figure 9 en fin de Dossier Technique.

2.3 Collecteur

2.31 Coupole

La coupole, de forme quasi-hémisphérique, est en PMMA translucide polyméthacrylate de méthyle), de qualité grade PLEXIGLAS DR-101, de la société ALTUGLASS INTERNATIONAL (ARKEMA Group) et mise en œuvre par injection.

Les dimensions de chaque coupole référencée par un code produit sont précisées dans le tableau ci-dessous et représentées en figure 10 en fin de Dossier Technique.

Pour la série Brighten Up® correspondant aux conduits de diamètres 250mm et de 350mm, les coupoles sont équipées de la technologie Raybender^{MC} 3000 : il s'agit de stries en face intérieure pouvant conduire à une déviation de la lumière incidente rasante dans le convoyeur cylindrique placé à un niveau inférieur. La coupole est clippée sur l'anneau de fixation lié au convoyeur cylindrique.

Pour la série Sola Master® correspondant au conduit de diamètre de 530mm, la coupole est vissée à l'anneau de fixation à l'aide de vis traversants.

Les coupoles adaptées à chaque diamètre de système « SOLATUBE® » sont référencées dans le tableau ci-dessous.

Système Solatube	Diamètre (mm)		
	250	350	530
Diamètre coupole (en mm)	303	403	575
Code produit	410 720	410 790	509 100

2.32 Système Light Tracker™

Le système Light Tracker™ consiste en une languette en aluminium revêtue du film réfléchissant, à l'identique du matériau employé pour les convoyeurs cylindriques. Ce système est positionné en face intérieure de la coupole, la face réfléchissante étant côté intérieur, au plus près de l'axe du convoyeur cylindrique.

Le but recherché par le système Light Tracker™ est d'orienter la lumière incidente rasante du soleil couchant ou soleil levant vers l'intérieur du convoyeur cylindrique. Lors de la mise en œuvre du système « SOLATUBE® » en couverture, il convient de choisir son orientation au Sud.

Le système Light Tracker™ disponible pour chaque système « SOLATUBE® », listé dans le tableau ci-dessous et détaillé en schéma-type sur en figure 11 en fin de Dossier Technique, doit être positionné dans la coupole avant sa mise en œuvre sur l'anneau de fixation support.

Système Solatube	Diamètre (mm)		
	250	350	530
Code produit	410 760	410 831	300 690

2.4 Diffuseur

Le diffuseur est l'élément d'optique du système « SOLATUBE® » permettant une diffusion homogène de la lumière naturelle vers l'intérieur du local à éclairer.

Pour la série Brighten Up® correspondant aux conduits de diamètres de 250mm et de 350mm, le composant diffuseur est rond et à double paroi ; il est fixé sur l'anneau de fixation par un anneau d'habillage opaque de coloris blanc.

Le diffuseur transparent incolore à double paroi, en matériau thermoplastique, est constitué de :

- en face externe :

	Diffuseur « Optiview »	Diffuseur « Vusion »
Nature du Matériau	Polycarbonate de référence Makrolon 2407 (Bayer via AMCO)	Polyméthacrylate de méthyle (PMMA) de référence Plexiglas® MI -7-101 (Altuglas / Arkema Group US)
Epaisseur (en mm)	0,70	2,40

- en face interne : Polyméthacrylate de méthyle (PMMA) de référence Plexiglas® MI -7-101, d'environ de 2,1mm d'épaisseur, de chez Altuglas International d'Arkema Group.

Le matériau thermoplastique de coloris blanc opaque entrant dans la fabrication de l'anneau d'habillage est du polyméthacrylate de méthyle (PMMA) de référence Plexiglas® MI -7-101 ayant reçu une pigmentation en ton blanc de chez ALTUGLASS INTERNATIONAL (ARKEMA Group, US).

Les figures 12 et 13 en fin de Dossier Technique donnent les caractéristiques dimensionnelles des composants diffuseurs et des anneaux d'habillage en fonction des diamètres des systèmes « SOLATUBE® ». Le tableau ci-dessous indique pour la série Brighten Up®, les références des diffuseurs à double parois :

Système « SOLATUBE® »		Diamètre (mm) 250	350
Code produit : Partie Inférieure du Diffuseur	Finition glacée – diffuseur « Vusion® »	421 110	421 210
	Finition lentille de Fresnel – diffuseur Optiview®	421 100	421 200
Code produit : Partie Supérieure du Diffuseur	Paroi transparente		

Le tableau ci-dessous indique pour la série Brighten Up®, les références des anneaux d'habillage s'emboitant dans l'anneau de fixation au plafond :

Système « SOLATUBE® »	Diamètre (mm) 250	350
Code produit Anneaux d'habillage	410 310	410 510

Pour la série Sola Master® correspondant au conduit de diamètre de 530mm, le composant diffuseur est carré ou rond.

Le diffuseur rond (à simple paroi) est utilisé pour équiper les conduits de lumière de diamètre 530 mm, à destination de bâtiment tertiaire tel que des ateliers, des entrepôts, bâtiments tertiaires ou industriels, …, dans lesquels il n'y a pas de double plafond.

Le tableau ci-dessous indique les références des diffuseurs ronds :

Série Sola Master® diamètre de 530 mm	Diffuseur rond	Anneaux d'habillage
Code produit diffuseur rond	402 050	401 060

Dans le cas, où il y a un double plafond, il existe des diffuseurs carrés avec des finitions différentes.

Le tableau ci-dessous indique les références des diffuseurs carrés :

Série Sola Master® diamètre de 530 mm	Diffuseur à prisme 60 x 60 cm	Diffuseur OptiView 60 x 60 cm	Diffuseur plat glacé 60 x 60 cm
Code produit diffuseur carré	400 900	401 010	401 040
Code kit 21 DS associé	104 105	104 115	104 135

2.5 Systèmes d'étanchéité

Pour assurer l'étanchéité entre les éléments du convoyeur de lumière, il y a deux dispositif : un joint brosse adhésif de dilatation déposé entre les parois des deux tubes convoyeurs successifs et un ruban adhésif aluminium collé en face extérieure du tube convoyeur de lumière naturelle au niveau de l'assemblage de deux convoyeurs successifs.

2.51 Joint brosse de dilatation

Le joint brosse de dilatation protège la surface du film de haute réflectivité contre d'éventuels rayures des bords cylindriques des convoyeurs successifs et participe à limiter l'empoussièrement d'un système « SOLATUBE® ». La *figure 13* en fin de Dossier Technique donne les caractéristiques dimensionnelles du joint brosse de dilatation et le tableau ci-dessous indique les références des joints brosses fonction des diamètres des systèmes « SOLATUBE® » :

Système « SOLATUBE® »	Diamètre (mm) 250	350	530
Code produit	620 020	620 040	300 690

2.52 Ruban de scellement en aluminium

Le ruban adhésif aluminium (code produit : 600 020) correspond à une bande adhésive mono-face de 51 mm de largeur conditionnée en rouleau de 5,5m.

2.6 Accessoires

2.61 Eléments types du kit

Kit de Visserie (code produit : 701 350) :

- Vis de fixation de l'anneau support de la coupole :
  - vis acier de coloris noir, tête bombée, traité anti-corrosion (revêtement type AL-2000 PTFE de chez RGF Enterprises , Inc.), perçant, de dimensions 8x25 mm de chez ARC Fasteners (US).

(code produit : 700 240).

- Vis d'assemblage de convoyeurs de lumière successifs :
  - Vis de coloris gris, tête plate, de dimensions 7x10 mm.
- Vis pour anneau de fixation en plafond :
  - vis pour cloison sèche de coloris laiton, tête plate, de dimensions 7x40mm.
- Vis de fixation de la sortie de toit :
  - vis acier de coloris gris, tête bombée, traité anti-corrosion (dacrotisation), de dimensions 8x50mm de chez ARC Fasteners (US).

    (code produit : 700 480).
- Kit de pattes de maintien de la sortie de toit aux éléments de couverture (code produit : 720 095) avec vis de fixation du clip (de coloris gris, tête bombée, de dimensions 8x8mm).

2.62 Autres composants

Cartouche de mastic certifié SNJF classe mastic élastique F 25E.

(exemple : cartouche n°2610 type Sikaflex PRO - 11FC)

3. Systèmes en kit de base

Les systèmes « SOLATUBE® » sont livrés en kit en usine en emballage cartonné et rassemblent pour chaque diamètre, les éléments principaux suivants :

- un collecteur : coupole et système Light Tracker™,
- des éléments convoyeurs de lumière : tube inférieur et supérieur,
- un ensemble émetteur incluant le raccord plafond
- un livret rassemblant les consignes d'installation
- une carte de garantie à 10ans.

Le tableau ci-dessous indique les références des kits pré-assemblés :

Système « SOLATUBE® »	Diamètre (en mm) 250	350	530	530
Code produit	120 700	121 600	104 105 104 115 104 135	104 120
Référence commerciale	160 DS	290 DS	21 DS-C	21DS-O

La sortie de toit métallique et les extensions de convoyeurs et autres éléments coudés font l'objet d'emballages indépendants du kit standard pour le marché français.

3.1 Collecteur

Le collecteur pour un diamètre donné rassemble les éléments suivants :

- une coupole : Cf. §2.51,
- un système Light Tracker™ : Cf. §2.52,
- un tube convoyeur cylindrique supérieur de départ de longueur de 0,3m et de diamètre adéquat, équipé de l'anneau support de la coupole : Cf. §2.43,

3.2 Convoyeurs droits et coudés

Les convoyeurs de lumière en partie droite, pour un diamètre donné sont disponibles en différentes longueurs : 0,4m et 0,6m.

Ils sont livrés en emballage cartonné indépendant, en plaques cylindriques prêtes à être assemblées sur le site.

Les coudes pour un diamètre donné sont livrés assemblés en longueur et il convient d'effectuer la mise forme finale du coude sur le site.

3.3 Emetteur

Le diffuseur pour un diamètre donné comprend :

- un tube convoyeur cylindrique inférieur de départ de longueur de 0,3m et de diamètre adéquat, équipé de l'élément de fixation en plafond (anneau ou adaptateur rond/carré le cas échéant) : Cf. §2.44,
- un diffuseur assemblé à l'élément d'habillage (anneau ou carré, le cas échéant) : Cf. §2.6.

4. Fabrication

4.1 Processus

Un kit de base « SOLATUBE® » rassemblent les éléments principaux suivants :

- un collecteur,
- des éléments convoyeurs de lumière,
- un ensemble émetteur regroupant le composant-diffuseur et le raccord plafond,
- une sortie de toit.

4.11 Sous-traitance

Plusieurs éléments composant le kit « SOLATUBE » sont fabriqués par un panel de fournisseurs répondant à partir d'un cahier des charges et à des spécifications de matériau établis par la société SOLATUBE Global Marketing, Inc. et en particulier, cela concerne pour chaque diamètre de kit pré-assemblé de la série Brighten Up®, les éléments suivants :

- dôme,
- l'anneau support du dôme,
- système Light Tracker™ ,
- raccord de plafonds (carrés ou circulaires)
- accessoires de fixation
- les diffuseurs

Pour le diamètre 530 mm, série Sola Master®, cela concerne les éléments suivants :

- la boite de transition rond /carré
- un diffuseur (OptiView® ou prismatique)

L'ensemble de ces éléments est collecté par la société SOLATUBE Global Marketing, Inc. qui conditionne des kits en fonction des commandes et de mise en production.

4.12 Atelier de fabrication

Hors ligne principale d'assemblage des kits « SOLATUBE® », la société SOLATUBE Global Marketing, Inc. fabrique dans trois ateliers distincts, pour chaque diamètre de kit pré-assemblé, les éléments suivants :

- les tubes convoyeurs avec le système de convoyage de la lumière naturelle nommé « Spectralight® Infinity » ;
- les sorties de toit plates ou dites universelles, inclinées ou non le cas échéant.

La ligne fabrication « tubes convoyeurs » correspond à une ligne de calandrage dans des conditions tempérées réalisant le contre-collage du film de haute réflectivité au support aluminium. Elle associe des tables de préparation et de découpe à façon des produits contre-collés.

Les sorties de toit sont fabriquées à partir de presses de 25-30 tonnes par déformation de plaques métalliques à dimensions qui associent des étapes de découpes et d'ébavurage des produits transformés.

4.12 Atelier d'assemblage

L'assemblage d'un kit « SOLATUBE® » comprend les étapes principales suivantes :

- découpe des hauteurs de tube convoyeur, pré-usinage et mise en forme cylindrique,
- réalisation des empreintes pour un coude à 30° et rivetage des bords,
- mise en place de l'anneau support de la coupole et des crochets sur un premier élément de tube convoyeur avec coude,
- mise en place de l'anneau raccord plafond sur un second élément de tube convoyeur avec coude et scellement par du ruban adhésif aluminium,
- collecte des autres éléments du kit : coupole, diffuseur, visseries, élément d'étanchéité, …,
- mise en boite cartonnée
- pesée du colis.

4.2 Contrôles

4.21 Contrôles réception sur éléments du kit

Les fournisseurs des principaux composants du kit de base « SOLATUBE® » font l'objet de contrôles qualité réception avec un niveau d'inspection standard en référence à la norme ISO 2859 (niveau II). Les contrôles concernent l'aspect et le cas échéant, les caractéristiques dimensionnelles des pièces entrant dans l'assemblage du kit.

Les principaux éléments du kit « SOLATUBE® » visés par ces contrôles réception sont : la coupole et son support, les diffuseurs et leur support.

4.22 Conditions en fabrication

Dans le cadre de la fabrication des sorties de toit, les opérateurs effectuent un contrôle visuel permanent et des contrôles dimensionnelles le cas échéant.

Dans le cadre de la fabrication du convoyeur « Spectralight® Infinity », les opérateurs réalisent systématiquement les contrôles suivants : température de calandrage (3 mesures par bobine), test au décollement (1 test de délaminage par lot de production).

Au niveau de l'atelier d'assemblage, chaque opérateur intervient en cascade, par un contrôle visuel successif des éléments du kit. Il est réalisé toutes les dix unités, des essais de mise en œuvre des coudes à 30° sur le collecteur de lumière ainsi que sur le diffuseur.

4.23 Contrôles sur produits finis

Pour chaque diamètre, le kit « SOLATUBE® » dans son emballage cartonné est pesé à l'aide d'une balance de précision : la valeur relevée doit satisfaire à la spécification définie.

Chaque semaine, un contrôleur est nommé et doit effectuer un contrôle du kit « SOLATUBE® », au minimum deux emballages cartonnés, au hasard, selon un plan d'inspection pré-défini. Ces contrôles font l'objet d'enregistrement et sont associés au dossier de fabrication du lot.

Contrôles	Fréquence
Pesée	par boite
Aspect général	Par prélèvement : 1 à 2 fois par semaine
Présence de l'ensemble des composants du kit	
Disposition des films de protection	
Présence marquage	
Etiquetage : Collecteur et Diffuseur, Convoyeur	

4.3 Marquage

Tous les cartons d'emballage des kits « SOLATUBE® » sont marqués à la référence commerciale du produit et un code barre permettant au fabricant, d'accéder à la liste des éléments du kit de base.

Un système « SOLATUBE® » en kit de base dispose d'une étiquette autocollante (dite de sécurité), collée sur l'anneau de fixation au plafond et visible lorsque le composant diffuseur est retiré. Sur cette étiquette, le marquage comprend le nom « SOLATUBE », le type de système « SOLATUBE », l'adresse de fabrication, un code d'identification du système et un espace libre pour le renseignement de la date de pose dans le bâtiment.

Lors de la mise en œuvre du kit « SOLATUBE® » sur site, le poseur renseigne la date de pose du système.

4.4 Stockage

Lorsqu'il est protégé dans son emballage d'origine non endommagé, le kit de base du système « SOLATUBE® » peut être stocké à l'air libre sous abri.

Dans tous les autres cas (emballages ouverts), il doit être stocké en intérieur et à l'abri des poussières.

5. Conception

5.1 Paramètres de situation

Un projet d'éclairage naturel par un conduit de lumière naturelle dans un local intérieur nécessite au préalable :

- la connaissance du climat lumineux du lieu où se trouve implanté le système « SOLATUBE® »,
- le niveau d'éclairement lumineux souhaité dans le local ainsi que ses dimensions, la surface au sol et le type de revêtement des parois intérieures.

L'éclairage de locaux fait l'objet d'exigences réglementaires : il convient de tenir compte des minima de niveaux d'éclairement lumineux précisés dans les cahiers normatifs afférents (par exemple : NF EN 12464-1 pour les zones de circulation, …).

Pour optimiser les performances d'éclairement lumineux, il convient de positionner les systèmes « SOLATUBE® » sur les toitures aux endroits les plus élevés en tenant compte de la course du soleil sur une année par rapport au bâtiment c'est-à-dire de son azimut et de son inclinaison au cours d'une année.

Les données météo en terme de climat lumineux d'un site, peuvent être, entre autre, récupérées sur le site web : www.satel-light.com,

doivent être représentatives d'une année type en terme de distribution du niveau d'éclairement et du type de ciel. A partir de ces données, on détermine :

- le nombre d'heures ensoleillés (si le rayonnement solaire direct normal DIR_{nor} >120W/m² alors le soleil est présent [1]),
- le nombre d'heures en ciel « couvert » (soleil non visible),
- et les distributions du niveau d'éclairement horizontal correspondantes aux types de ciel définis précédemment, à un pas de temps horaire prédéfini (pas horaire ou par demi-heure).

5.2 Calcul du bilan lumineux d'un système SOLATUBE à l'état initial

Le bilan lumineux global d'un kit préassemblé donné « SOLATUBE® » est fonction du diamètre du système, de la longueur des éléments convoyeurs et de l'ensemble diffuseur. Le calcul du bilan lumineux global est réalisé par pondération de la valeur du flux lumineux moyen entrant par les valeurs des rendements lumineux de chaque élément d'optique déterminées en laboratoire et détaillées dans les tableaux ci-après.

Bilan Lumineux (en %)		Système « SOLATUBE® » Diamètre (en mm) 250	350	530
Collecteur		63 (L=0,30m)	66 (L=0,30m)	77 (L=0,40m)
Tube Collecteur (Collecteur + 0,60m Convoyeur droit)		53	57	73
Longueur droite de convoyeur (en m)	0,60	98	97	98
	1,20	95	95	96
	2,40	90	92	93
	3,60	85	88	90
	4,20	83(1)	86(1)	-
	>4,20 et ≤10(2)	70(1)	75(1)	-
Emetteur	Rond (L=0,3 m)	95	98	-
	Carré (L=0,4 m)	-	-	59

(1) : valeurs extrapolées

(2) : pas de valeurs disponibles au-delà de 10m

L = longueur de tube convoyeur associé à l'élément correspondant

Bilan Lumineux Coude (en %)		Système « SOLATUBE® » Diamètre (en mm) 250	350	530
1 coude convoyeur	30°	85	88	90
	60°	79	86	-
	90°	80	87	-

Bilan Lumineux (en %) Diffuseur		Système «SOLATUBE®» Diamètre (en mm) 250	350	530
(1)Diffuseur Rond Plan	Lentille de Fresnel Optiview®	70	72	-
	Prismatique Vusion®	75	76	-
Diffuseur Carré Plan	Lentille de Fresnel Optiview®	-	-	82
	Prismatique Glacé	-	-	86
Diffuseur Rond Concave	Prismatique	-	-	91

(1) : diffuseur comprenant une double paroi

Les bilans lumineux de chaque élément d'optique sont déterminés conformément au « Protocole de test optique de guides de la lumière naturelle » (exception faite de la sphère d'Ulbricht remplacée par un cube intégrateur de 1m de côté) proposé par le Comité Technique 3.38 (Daylight Guidance Systems) de la Commission Internationale de l'Eclairage.

5.3 Détermination du niveau d'éclairement résultant

Une première approche consiste à déterminer le rendement global lumineux du système « SOLATUBE® » utilisé ou retenu, pour éclairer le local intérieur du bâtiment, et ceci, à l'aide des rendements lumineux précisés au §5.2, de chacun des éléments d'optiques.

Dans une seconde étape, à partir des paramètres de situation du bâtiment (Cf. §5.1) et en considérant le flux lumineux entrant disponible, il convient d'établir le résultat sur une année complète type c'est-à-dire de préciser :

1. le flux lumineux annuel transmis (en lumens, lm) par le système « SOLATUBE® », disponible pendant 50% du temps de « ciel couvert ».
2. la proportion (%) des situations de « ciel couvert » avec un flux lumineux annuel transmis de plus de 1000lm (lumen, lm) par le système « SOLATUBE® »,
3. la proportion (%) des situations de « ciel couvert » avec un flux lumineux annuel transmis de plus de 2000lm (lumen, lm) par le système « SOLATUBE® »,
4. la proportion (%) des situations de « ciel couvert » avec un flux lumineux annuel transmis de plus de 3000lm (lumen, lm) par le système « SOLATUBE® »,
5. la proportion (%) des situations de « ciel couvert » avec un flux lumineux annuel transmis de plus de 4000lm (lumens, lm) par le système « SOLATUBE® ».

La valeur de flux lumineux annuel transmis par le système « SOLATUBE® », disponible pendant 50% du temps de « ciel couvert » (Cf. §5 1), revient à considérer la performance lumineuse « minimale » du système « SOLATUBE® » en œuvre par temps couvert.

En dernier lieu, afin d'établir le bilan énergétique, il est possible de comparer la valeur de flux lumineux annuel disponible à celles d'une source d'éclairage artificiel classique c'est-à-dire, composée soit :

- d'une lampe à incandescence d'efficacité (y compris le luminaire) égale à 8lm/W (en lumen/Watt),
- ou bien, d'une lampe fluorescente d'efficacité (y compris le luminaire) égale à 50lm/W (en lumen/Watt).

Note : Une lampe à incandescence de 60W fournit un flux lumineux de 480lm et un tube fluorescent de 1,20m (36W) fournit un flux de l'ordre de 3400lm.

6. Mise en œuvre

Un livret en version française, regroupant les consignes de mise en œuvre est édité par la société SOLATUBE Global Marketing, Inc., et il accompagne le produit livré. Il regroupe les étapes et outils nécessaires afin d'optimiser l'installation d'un kit pré-assemblé de système «SOLATUBE®» en couverture.

Dans le cas d'une charpente traditionnelle en bois, la découpe de chevrons peut être évitée avec les systèmes «SOLATUBE®» de diamè-

[1] « Guide des instruments et des méthodes d'observation météorologiques » - Organisation Météorologique Mondiale (Genève) - 1996

tres de 250 mm et de 350 mm. Pour les diamètres de 530 mm, un chevêtre pourra être réalisé.

Le raccord de plafond est fixé en usine sur un élément de convoyeur de lumière, ce dernier permet de réaliser la liaison avec le plafond du local à éclairer.

6.1 Mise en œuvre du collecteur en couverture

Pour un toit en pente, les implantations d'un système «SOLATUBE®» au plus haut du rampant sont préférées.

Pour un toit sans pente dans les limites précisées des DTU concernés, les dispositions pour toiture-terrasse s'appliquent : Cf. §6.14.

La mise en œuvre du collecteur sur un bâtiment existant nécessite de découvrir en partie la couverture.

Dans la plupart des situations, pour un toit en pente, la sortie de toit est positionnée selon le sens du rampant, sur les éléments de couverture en partie basse et sur les liteaux en partie haute (sous les éléments de couverture).

En partie haute de sortie de toit, la liaison à la couverture est réalisée sur les liteaux à l'aide de vis perforant de longueur 50mm, posés à une distance d'environ de 2 à 3cm du bord extérieur haut de la sortie de toit ou à défaut, par des cornières en L agrippant la sortie de toit aux liteaux. Des liteaux éventuels peuvent être ajoutés sur les chevrons à ceux existants afin de réaliser la totalité de l'assise de la sortie de toit.

En partie basse de sortie de toit, la liaison à la couverture est réalisée à partir des pattes de maintien de la sortie de toit sur les éléments de couverture, décrites au §2.8 et mises en œuvre selon les plans de détail en *figure 14*.

Après mise en œuvre de la sortie de toit en couverture et la réalisation de la continuité de l'étanchéité de la couverture, le convoyeur de départ est inséré dans la sortie de toit. Avant la fixation de celui-ci à la sortie de toit, il convient de vérifier que le système Light Tracker™, placé en face intérieure de la coupole, est orienté dans la direction face au Sud. Ceci peut être effectué par emboitage au préalable de la coupole dans son anneau support. Il est possible de choisir l'orientation alors, par rotation de l'anneau support de la coupole autour de la sortie de toit (Cf *figure 7* en fin de Dossier Technique).

Afin d'assurer l'étanchéité à l'eau de la couverture, il convient de prendre en compte les points singuliers des mises en œuvre préconisées dans les paragraphes suivants selon le type de couverture concerné.

6.11 Dispositions relatives pour toitures de tuile canal

La mise en œuvre d'un système «SOLATUBE®» sur une couverture de tuiles type canal est limitée aux systèmes «SOLATUBE®», série Brighten Up®, de diamètre de 250mm et de 350mm.

La mise en œuvre d'une couverture en tuile canal de terre cuite doit être conforme aux exigences et aux dispositions de traitement des points singuliers le cas échéant (ex. : mode de fixation des tuiles, mortier, pénétrations, …) du DTU 40.22.

La mise en œuvre du système «SOLATUBE®» sur une couverture en tuile canal introduit des points singuliers représentés pour la plupart, sur les *figures 15-a, b, c, d et e* en fin de Dossier Technique.

Lors de la mise en œuvre dans une couverture avec la tuile de type canal, en fonction des situations, il convient de noter et le cas échéant, d'adapter les éléments principaux suivants :

- La zone d'implantation doit être choisie près du faîtage afin d'optimiser le fonctionnement du collecteur de lumière.
- Sur la zone d'implantation, les éléments de couverture sont retirés et le choix d'un espace entre deux chevrons successifs devrait pouvoir correspondre au passage du tube convoyeur de départ et donc, correspondre à la mise en place de la sortie de toit (Cf. *figure 15-a*). Les liteaux gênants peuvent être découpé au diamètre du tube convoyeur de départ.
- La base de la sortie de toit en partie haute dans le sens du rampant, est glissée sous les tuiles de courant (tuiles numérotées de 10, 12, 14, 16, 18 et 20 ; Cf. *figure 15-b*) et fixée à la volige à l'aide de vis traversant.
- La base de la sortie de toit en partie basse dans le sens du rampant, couvre les éléments de couverture et est modelée dans le sens des nervures, de manière à reprendre les ondes des tuiles (tuiles de 46 à 57 , Cf. *figures 15-c* et *15-d*).
- Les bords latéraux de la sortie de toit se déversent de part et d'autre, dans une rangée de tuiles de courant respectivement, tuiles numérotées de 10, 22, 34 et 46 et tuiles numérotées de 20, 32, 44 et 56 (Cf. *figure 15-b*). Par ailleurs, les déformations générées sur la sortie de toit doivent permettre d'obtenir une onde de chaque côté de la sortie de toit de manière à ce qu'une onde puisse réaliser le relevé d'étanchéité suffisant pour permettre le drainage des eaux pluviales.
- Les tuiles de couvert en amont numérotées 13, 15 et 17 (Cf. *figure 15-d*) sont maintenues à l'aide de longs crochets se fixant en amont à la volige ou aux liteaux.
- Les tuiles de couvert numérotées 35 et 43 (Cf. *figure 15-d*) doivent être collées à la sortie à l'aide d'un mastic élastique de fixation de référence SIKAFLEX PRO 11 FC (base polyuréthane, certifié SNJF de classe F 25E). Les tuiles de couvert en amont numérotées 23 et 31 (Cf. *figure 15-d*) sont maintenues à l'aide des crochets de tuiles à tuiles.

Il convient de noter pour ce type de mise en œuvre les points suivants :

- La partie courante de la sortie de toit ne doit pas être perforée (exception faite de la partie haute glissée sous les éléments de couverture et fixée à la volige par des vis traversant).
- L'utilisation des crochets de maintien des tuiles entre elles (crochets type préconisés dans le DTU 40.22) sur l'aire entière et périphérique de la sortie de toit.
- le maintien de la base de la sortie de toit en partie basse dans le sens du rampant, est assuré à l'aide de pattes de maintien fournies dans le kit, pour augmenter la résistance aux charges de vent ascendantes sur la zone d'implantation choisie (détails de mise en œuvre *figures 14* et *15-d*).

6.12 Dispositions relatives pour toiture de tuile mécanique

La mise en œuvre d'un système «SOLATUBE®» sur une couverture de tuiles mécaniques est limitée aux systèmes «SOLATUBE®», série Brighten Up®, de diamètre de 250mm et de 350mm.

La mise en œuvre d'une couverture de tuiles mécaniques doit être conforme aux exigences et aux dispositions de traitement des points singuliers le cas échéant (ex. : mode de fixation des tuiles, mortier, pénétrations, …) des DTU 40.21 et DTU 40.211.

La mise en œuvre du système «SOLATUBE®» sur une couverture de tuiles mécaniques introduit des points singuliers représentés pour la plupart, sur les *figures 16-a, b, c, d et e* en fin de Dossier Technique.

Lors de la mise en œuvre dans une couverture avec la tuile mécanique, en fonction des situations, il convient de noter et le cas échéant, d'adapter les éléments principaux suivants :

- La zone d'implantation doit être choisie près du faîtage afin d'optimiser le fonctionnement du collecteur de lumière.
- Sur la zone d'implantation, les éléments de couverture sont retirés et le choix d'un espace entre deux chevrons successifs devrait pouvoir correspondre au passage du tube convoyeur de départ et donc, correspondre à la mise en place de la sortie de toit (Cf. *figure 17-b*). Les liteaux gênants peuvent être découpés au diamètre du tube convoyeur de départ.
- La base de la sortie de toit en partie haute dans le sens du rampant, est glissée sous les tuiles mécaniques (tuiles numérotées de 16, 17, 18, 19 et 20 ; Cf. *figure 16-c*).
- La base de la sortie de toit en partie basse dans le sens du rampant, couvre les éléments de couverture et est modelée dans le sens des nervures, de manière à reprendre les ondes des tuiles (tuiles de 1 à 5 , Cf. *figures 16-a* et 1*6-c*).
- L'un des bords latéraux de la sortie de toit se déverse dans une rangée de tuiles et l'autre est modelé au relief de pureau de la tuile mécanique en sous-face (Cf. *figures 16-c*). Par ailleurs, les deux bords latéraux en leur extrémité, sont repliés sur eux-mêmes sur une distance d'environ 2cm au minimum, de manière à ce qu'un relevé d'étanchéité suffisant soit créé pour permettre le drainage des eaux pluviales.
- Les tuiles mécaniques numérotées 11 et 6 sont découpées longitudinalement (Cf. *figures 16-c*) puis, collées entre elles puisqu'elles se superposent. La tuile numérotée 6 est également collée à la sortie de toit à l'aide d'un mastic élastique de fixation de référence SIKAFLEX PRO 11 FC (base polyuréthane, certifié SNJF de classe F 25E).
- Les pattes de maintien fournies dans le kit permettent le maintien de la base de la sortie de toit en partie basse dans le sens du rampant (détails de mise en oeuvre *figures 14* et *16-d*).

Il convient de noter pour ce type de mise en œuvre les points suivants :

- La partie courante de la sortie de toit ne doit pas être perforée.
- Une déformation volontaire de la sortie de toit (marouflage), alors modelée au relief des tuiles mécaniques en sous-face des tuiles numérotées de 17, 18 et 19, en partie haute (Cf. *figure 16-d*), permet d'obtenir un dispositif barrière aux petits volatils.
- le maintien de la base de la sortie de toit en partie basse dans le sens du rampant, est assuré à l'aide de pattes de maintien fournies dans le kit, pour augmenter la résistance aux charges de vent ascendantes sur la zone d'implantation choisie.

6.13 Dispositions relatives pour couvertures en tuiles plates (ou ardoises)

La mise en œuvre d'un système «SOLATUBE®» sur une couverture en tuile plate est limitée aux systèmes «SOLATUBE®», série Brighten Up®, de diamètre de 250mm et de 350mm.

La mise en œuvre d'une couverture en tuile plate doit être conforme aux exigences et aux dispositions de traitement des points singuliers le cas échéant (ex. : mode de fixation des tuiles, mortier, pénétrations, …) du DTU 40.23.

La mise en œuvre du système «SOLATUBE®» sur une couverture de tuiles plates introduit des points singuliers représentés pour la plupart, sur les *figures 17-a, b, c et d* en fin de Dossier Technique.

Lors de la mise en œuvre dans une couverture avec la tuile plate, en fonction des situations, il convient de noter et le cas échéant, d'adapter les éléments principaux suivants :

- La zone d'implantation doit être choisie près du faîtage afin d'optimiser le fonctionnement du collecteur de lumière.
- Sur la zone d'implantation, les éléments de couverture sont retirés et le choix d'un espace entre deux chevrons successifs devrait pouvoir correspondre au passage du tube convoyeur de départ et donc, correspondre à la mise en place de la sortie de toit (Cf. *figure 17-b*). Les liteaux gênants peuvent être découpé au diamètre du tube convoyeur de départ.
- Les bords latéraux de la sortie de toit sont repliés en atelier sur une hauteur d'environ 2cm (Cf. *figures 2 et 17-b*) pour permettre le drainage des eaux pluviales.
- La base de la sortie de toit en partie haute dans le sens du rampant, est glissée sous les tuiles plates (tuiles numérotées de 51 à 54 ; Cf. *figure 17-b* et *c*) et fixée à la volige à l'aide de vis traversant.
- La base de la sortie de toit en partie basse dans le sens du rampant, couvre les éléments de couverture : tuiles de 1 à 5, Cf. *figure 17-c*).
- Les tuiles plates numérotées 7, 18, 29, 40 et 10, 21, 32 et 43 sont découpées longitudinalement (Cf. *figures 17-c*) puis, collées entre elles puisqu'elles se superposent à l'aide d'un mastic élastique de fixation de référence SIKAFLEX PRO 11 FC (base polyuréthane, certifié SNJF de classe F 25E).

Pour ce type de mise en œuvre, il convient de noter que la partie courante de la sortie de toit à base plate ne doit pas être perforée (exception faite de la partie haute glissée sous les éléments de couverture et fixée à la volige par des vis traversant).

6.14 Dispositions pour toiture-terrasse

La mise en œuvre d'un système « SOLATUBE® » en toiture-terrasse est limitée à la série Sola Master®, c'est-à-dire, aux systèmes de diamètre de 530mm.

Lors de la mise en œuvre d'un système «SOLATUBE®» en toiture-terrasse, en fonction des situations, il convient de noter les éléments principaux suivants :

- le système «SOLATUBE®» doit être posé avant la réalisation de l'étanchéité ou dans le cas d'une réalisation postérieure à la construction, un raccord d'étanchéité doit être réalisé in situ par l'entreprise d'étanchéité,
- la sortie de toit et la ré-hausse éventuelle permettent d'obtenir un relevé d'étanchéité supérieur à 15cm.

La sortie de toit pour toiture-terrasse est présentée en *figure 2-d* en fin de Dossier Technique. Dans la plupart des cas, la sortie de toit repose sur deux cordons de silicone extrudés et est fixée en toiture à l'aide de vis réparties sur sa circonférence (tous les 15cm ou 30cm environ). Le produit d'étanchéité recouvre systématiquement la base de la sortie de toit (Cf *figure 18-a* en fin de Dossier Technique).

Pour des implantations en toiture-terrasse où ce type de mise en œuvre ne peut pas être réalisé, un raccord de toiture spécifique sur lequel peut se fixer un adaptateur rond/carré métallique (costière métallique) illustré en *figure 2-e* et en *figure 18-b* en fin de Dossier Technique, doit être réalisé au préalable par l'entreprise d'étanchéité.

6.2 Mise en œuvre du convoyeur de lumière

Le convoyeur de lumière peut comprendre des parties droites et des parties coudées en fonction de l'implantation du système «SOLATUBE®» dans l'ouvrage.

Le conduit de lumière naturelle correspond à des éléments de tube convoyeur emboités successivement : chaque élément de tube convoyeur a une forme légèrement conique et s'emboite dans l'élément suivant et ce, sur toute la longueur de convoyage finale souhaitée. Les éléments de tube convoyeur sont préparés pour être mis en forme sur chantier selon les dispositions détaillées sur les *figures 4* et *5* en fin de Dossier Technique.

La liaison des éléments de tube convoyeur entre eux est réalisée par l'intermédiaire d'un joint brosse de dilatation : Cf. § 2.41 et *figure 13*. A l'interface, le joint de dilatation adhésif (type brosse) parcourt au minimum deux tours du tube convoyeur : il permet une certaine protection de la surface intérieure réfléchissante exposée lors de cet assemblage. Le scellement final sur la circonférence extérieure du tube convoyeur est réalisé à l'aide du ruban adhésif mono-face aluminium.

Après chaque assemblage d'éléments convoyeur, il convient de retirer le film de protection temporaire pelable, de la surface interne des éléments du convoyeur. La surface obtenue doit être brillante et réfléchissante, sans trace et sans pollution par les poussières.

Pour maintenir la forme circulaire du convoyeur, assurer la continuité du conduit et ne pas altérer les propriétés de convoyage de la lumière, le tube convoyeur de lumière peut être cerclé par un collier de suspension (largeur recommandé de 20mm) respectivement, tous les 3m pour les diamètres de 250mm et 350mm et tous les 2,40m pour les diamètres de 530mm du système «SOLATUBE®». Les colliers de suspension sont maintenus par des câbles métalliques fixés au gros œuvre et/ou à la charpente.

6.3 Liaison au plancher et/ou plafond

Les éléments de raccordement plafond décrits dans le §2.6 sont solidaires de l'élément de fin du convoyeur de lumière. Il n'est pas prévu d'étanchéité à l'air autre que ces éléments de raccordement avec le plafond du local à éclairer.

La liaison avec le plancher et/ou plafond est effectuée avec le convoyeur de lumière par l'intermédiaire de cornières en L et de vis traversant (Cf. §2.44) : des exemples de liaison au plancher et/ou plafond du local intérieur à éclairer sont illustrés en *figures 8-c* et *8-d* en fin de Dossier Technique.

Il convient de prendre les précautions nécessaires en ce qui concerne la solidité du support sur lequel doit être fixé le système «SOLATUBE®». L'emploi de plaques supports en sous face du plafond de type bois aggloméré ou contreplaqué, en renfort peut s'avérer nécessaire.

Pour la série Sola Master® correspondant au conduit de lumière naturelle de diamètre de 530mm, en l'absence de plancher ou de plafond, il est proposé un diffuseur spécifique se fixant directement à la paroi cylindrique du tube convoyeur (Cf. *Figures 19* en fin de Dossier Technique).

7. Entretien- réparation - recommandations particulières

7.1 Entretien

La rosée et les pluies assurent le nettoyage courant de la surface de la coupole. Ce nettoyage peut être complété par un nettoyage manuel à l'eau effectué de temps à autre, en fonction de conditions d'exposition du système «SOLATUBE®».

Il faut proscrire toute pâte abrasive susceptible de rayer la coupole ou le diffuseur ainsi que les solvants pouvant entraîner des fissurations.

Les convoyeurs de lumière type « Spectralight® Infinity » comprenant en face intérieure, le film de haute réflectivité peuvent être nettoyé à l'aide d'un tissu doux et non-abrasif et en particulier, par exemple, avec le tissu de référence « 3M Scotchbrite™ High Performance Cloths » de la société 3M.

7.2 Réparation

Il n'est pas possible de réparer les éléments de coupole, de convoyeur de lumière, de sortie de toit et de diffuseur détériorés.

7.3 Recommandations particulières

Les solvants et les émanations de peintures, de produits d'imprégnation, ainsi que certains détergents et produits chimiques peuvent être corrosifs pour les éléments accessibles suivants : coupole, tube convoyeur, diffuseur.

Il convient de ne pas avoir de projection directe de produits à l'aide d'aérosol sur les éléments comme la coupole ou le diffuseur.

B. Résultats expérimentaux

- Rapport du CIE n°173 : 2006 « Tubular daylight guidance systems », ISBN 3 901 906 49 5, (Commission Internationale de l'Eclairage).
- Evaluation des systèmes «SOLATUBE®» de diamètre 250mm, 350mm et 530mm par ICC Evaluation Service, Inc. (Division: 08-Doors and Windows, Section: 08620-Unit Skylights, US). Rapport d'évaluation ICC n°ESR-2253 du 1er décembre 2006.
- Caractérisation des performances lumineuses sur kit de base de systèmes «SOLATUBE®» de diamètre de 250mm, de 350mm et de 530mm : bilan lumineux (§5 du Dossier Technique). Rapport d'essais CSTB n° EN-ECL 07.14.C du 2 octobre 2007.
- Essais de choc sur coupole de système «SOLATUBE®» de diamètre de 250mm. Rapport d'essais CSTB n°BV07-734-B du 23 octobre 2007.

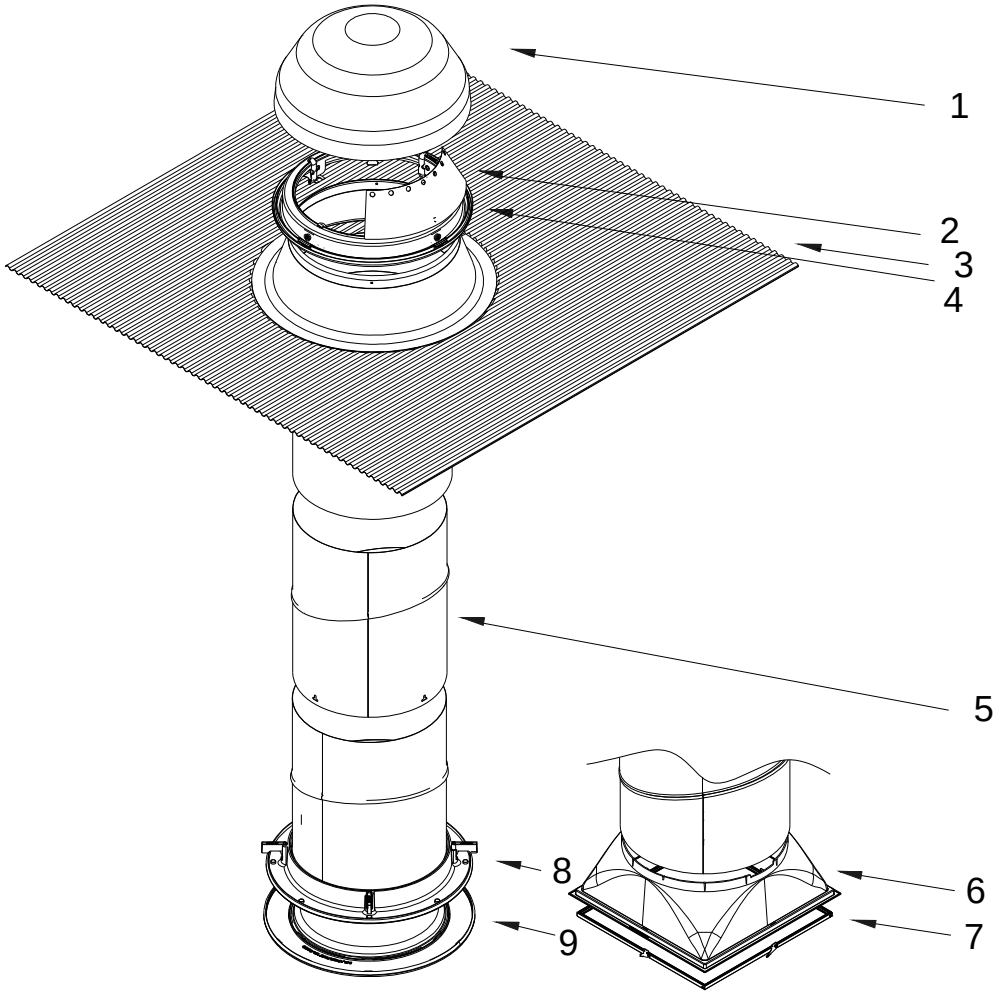
- Essais de charges au vent sur kit de base de système «SOLATUBE®» de diamètre 350mm. Rapport d'essais CSTB n°BV07-387 du 8 juin 2007.
- Caractérisation et identification des matériaux entrant dans la composition d'un système «SOLATUBE®». Rapport d'essais CSTB n°BV07-734-A du 23 octobre 2007 et n°CPM06/260-03956 du 29 janvier 2008.
- Essais de mise en œuvre sur maquette (échelle 1 :1) d'un kit de base «SOLATUBE®» de diamètre de 350mm pour une toiture de tuile plate de terre cuite avec sortie de toit base plate et bords latéraux repliés (juillet 2007).
- Essais de mise en œuvre sur maquette (échelle 1 :1) d'un kit de base «SOLATUBE®» de diamètre de 350mm pour une toiture de tuile canal avec sortie de toit universelle (juillet 2007).
- Essais de mise en œuvre sur maquette (échelle 1 :1) d'un kit de base «SOLATUBE®» de diamètre de 350mm pour une toiture de tuile mécanique avec sortie de toit universelle (juillet 2007).
- Essais de durabilité de 4000h (BST=65°C avec cycle plastique) en WOM CI5000 (Atlas), de la coupole en matériau PMMA associée à un système «SOLATUBE®». Rapport d'essais CSTB n°CPM/05-0060 (Partie coupole) du 3 octobre 2007.
- Essais de durabilité d'une durée totale de 4000h (BST=65°C avec cycle plastique) en WOM CI5000 (Atlas), du matériau convoyage de la lumière « Spectralight® Infinity », protégé par le matériau de coupole (PMMA d'épaisseur de 3,5mm environ). Rapport d'essais CSTB n°CPM/05-0060 (Partie Tube) du 29 octobre 2007.
- Essais de durabilité de 4000h (BST=65°C avec cycle plastique) en WOM CI5000 (Atlas), des diffuseurs Optiview® (base PC) et Vusion® (base PMMA) associés à un système «SOLATUBE®». Rapport d'essais CSTB n°CPM/05-0060 (Partie diffuseurs) du 7 novembre 2007.
- Calcul des déperditions thermiques à travers les systèmes de conduit de lumière naturelle «SOLATUBE®». Rapport d'étude thermique CSTB n°07-068 du 16 novembre 2007.
- Essais de corrosion sur les éléments de sortie de toit, de conduit et visseries associés à un système «SOLATUBE®». Rapport d'essais CSTB n°BV08-078 du 25 janvier 2008.
- Procès-verbaux de classement de réaction au feu du CSTB.

C. Références

- Entreprise KUHN à Saverne (67) : 6 kits de base de Φ=350mm avec sortie de toit universelle sur une toiture de tuile mécanique et pour des conduits de longueur de 3m60.
- Saint Romans (38) : 2 kits de base de Φ=350mm avec sortie de toit universelle sur une toiture de tuile mécanique et pour des conduits de longueur de 4m.
- Entreprise Thyssen à Fameck (57) : 6 kits de base de Φ=530mm en couverture métallique avec utilisation raccord métallique et pour des conduits de longueur de 1m20.
- White Bear Racquet & Swim Club (MN, US) : club de remise en forme équipé de 47 kits de base de Φ=530mm.
- Aqua Lung, Vista (CA, US) : entrepôts et ateliers équipés de 194 kits de base de Φ=530mm.

Figures du Dossier Technique

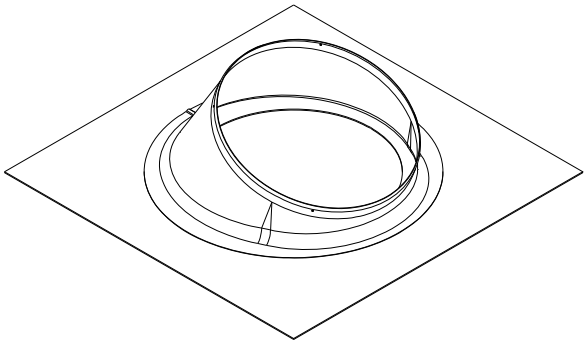
Figure 1 – Schéma type d'un système de conduit de lumière naturelle « SOLATUBE® » : kit Pré-assemblé standard (avec sortie de toit dite « universelle » non inclinée).

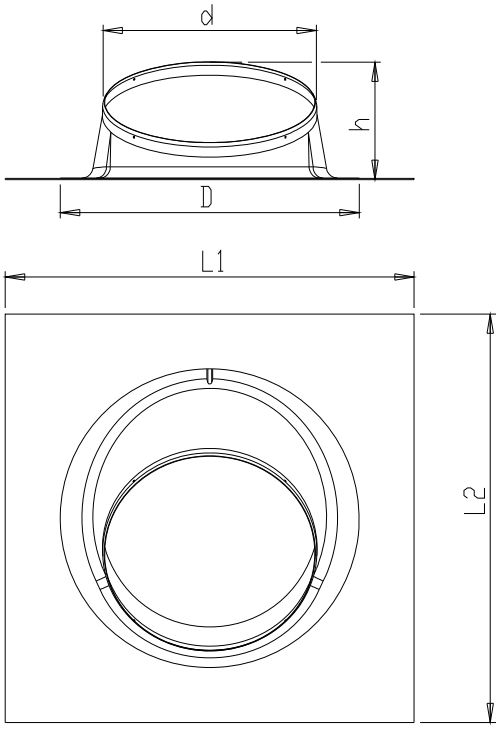


Légende :

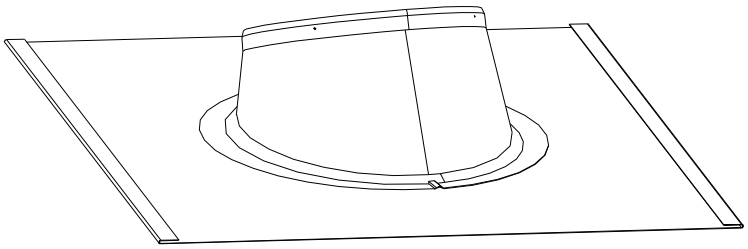
n°1	Coupole avec la technologie Raybender® 3000	n°6	Anneau de raccordement Rond/Carré pour plafond
n°2	Réflecteur LightTracker®	n°7	Diffuseur Carré
n°3	Sortie de toit	n°8	Anneau de raccordement Rond pour plafond
n°4	Anneau de fixation de coupole et Convoyeur supérieur avec angle adaptable	n°9	Diffuseur Rond
n°5	Convoyeur recevant par contre-collage le film réfléchissant nommé « Spectalight® Infinity »		

Figure 2-a – Sorties de toit base plate pour système « SOLATUBE® », série Brighten Up®, de 350mm de diamètre.





	Ref	D	d	h	e	L1=L2	Angle
ø 350	200765	508	362+/-1	197+/-5	2	69.5	15°



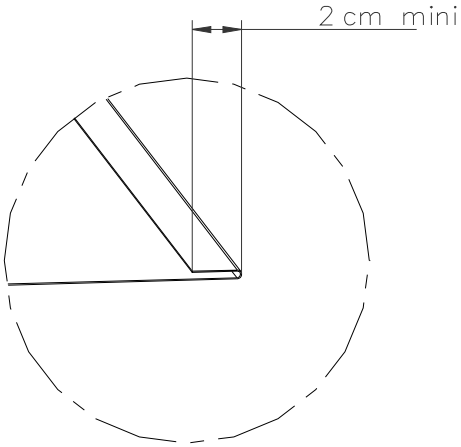
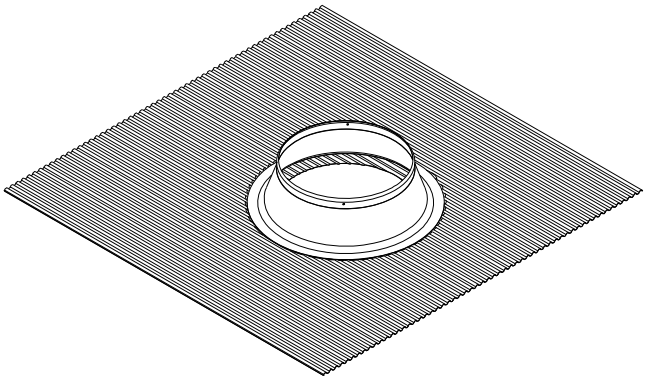
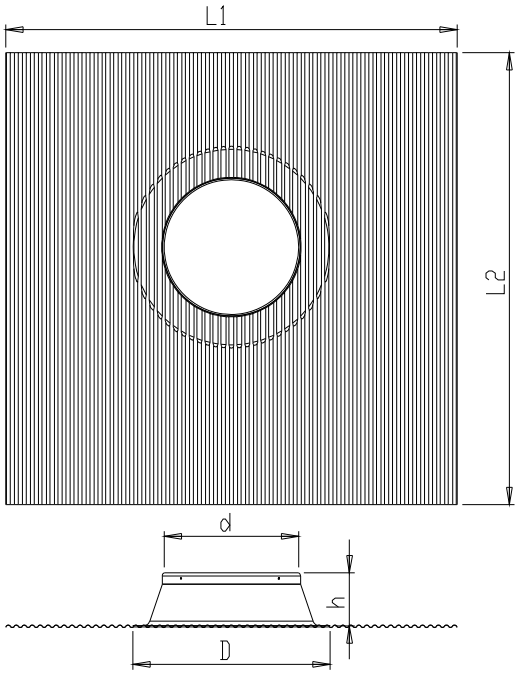
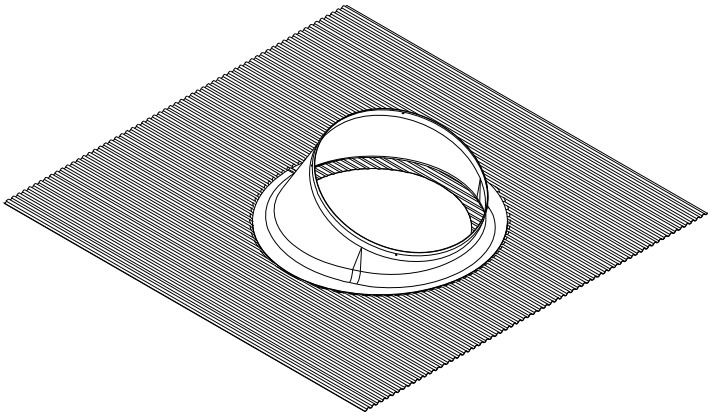


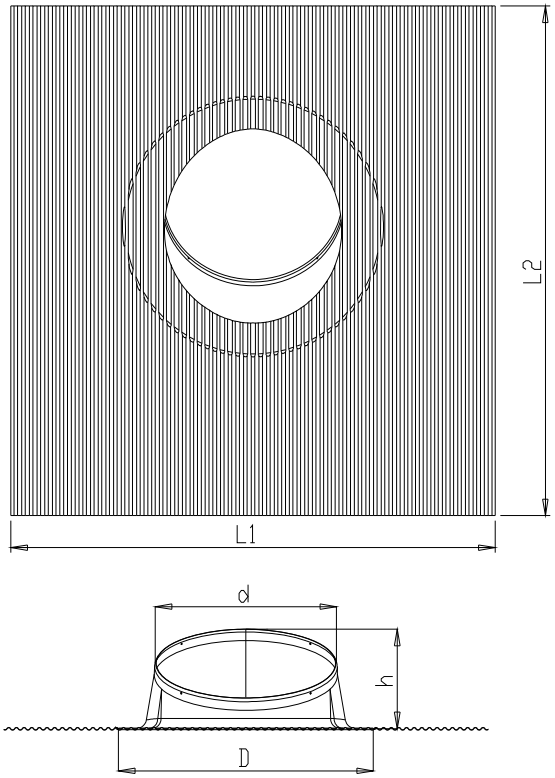
Figure 2-b – Sorties de toit dite « universelle » pour système « SOLATUBE® », série Brighten Up®, de 250mm de diamètre.





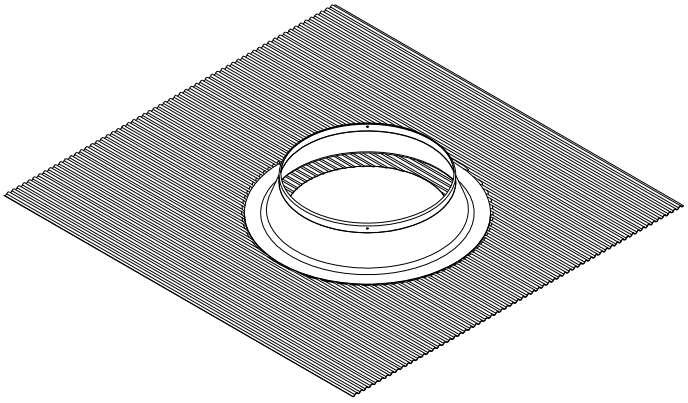
	Ref	D	d	h	e	L1=L2
ø 250	230812	377	257+/-1	100+/-5	2	870

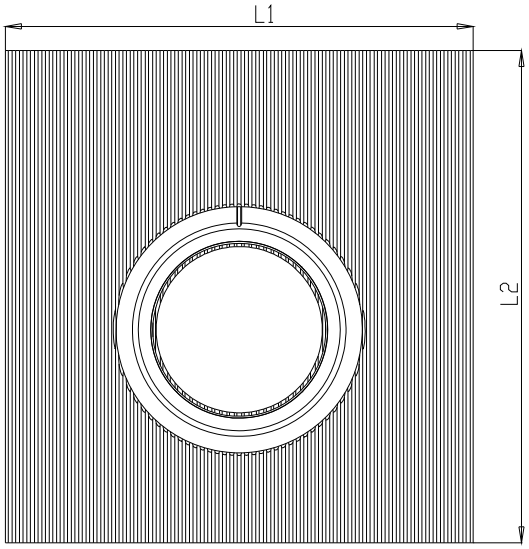




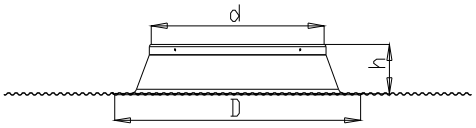
	Ref	D	d	h	e	L1=L2	Angle
ø 250	230820	377	256+/-1	197+/-5	2	870	25°

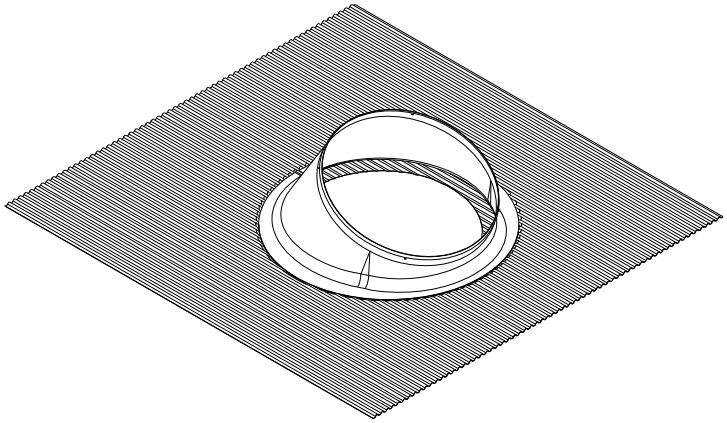
Figure 2-c – Sorties de toit dite « universelle » pour système « SOLATUBE® », série Brighten Up®, de 350mm de diamètre.

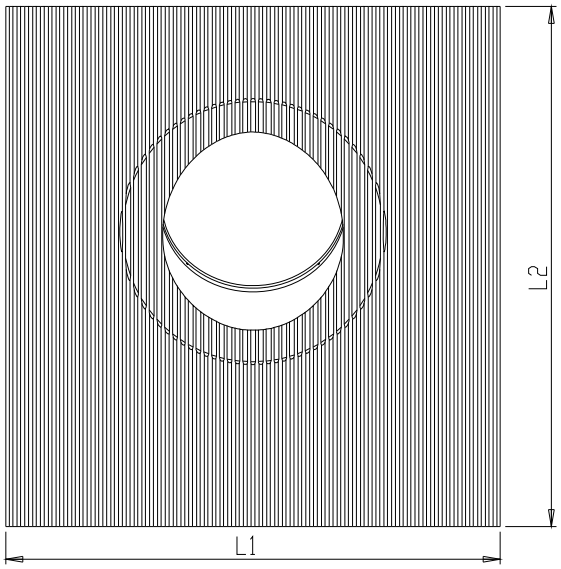


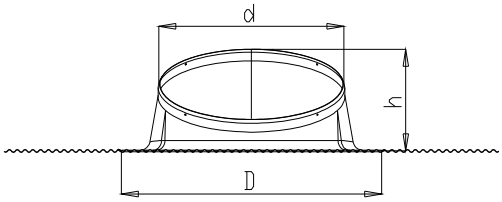


	Ref	D	d	h	e	L1*L2
ø 350	230830	508	357+/-1	100+/-5	2	97*101.5



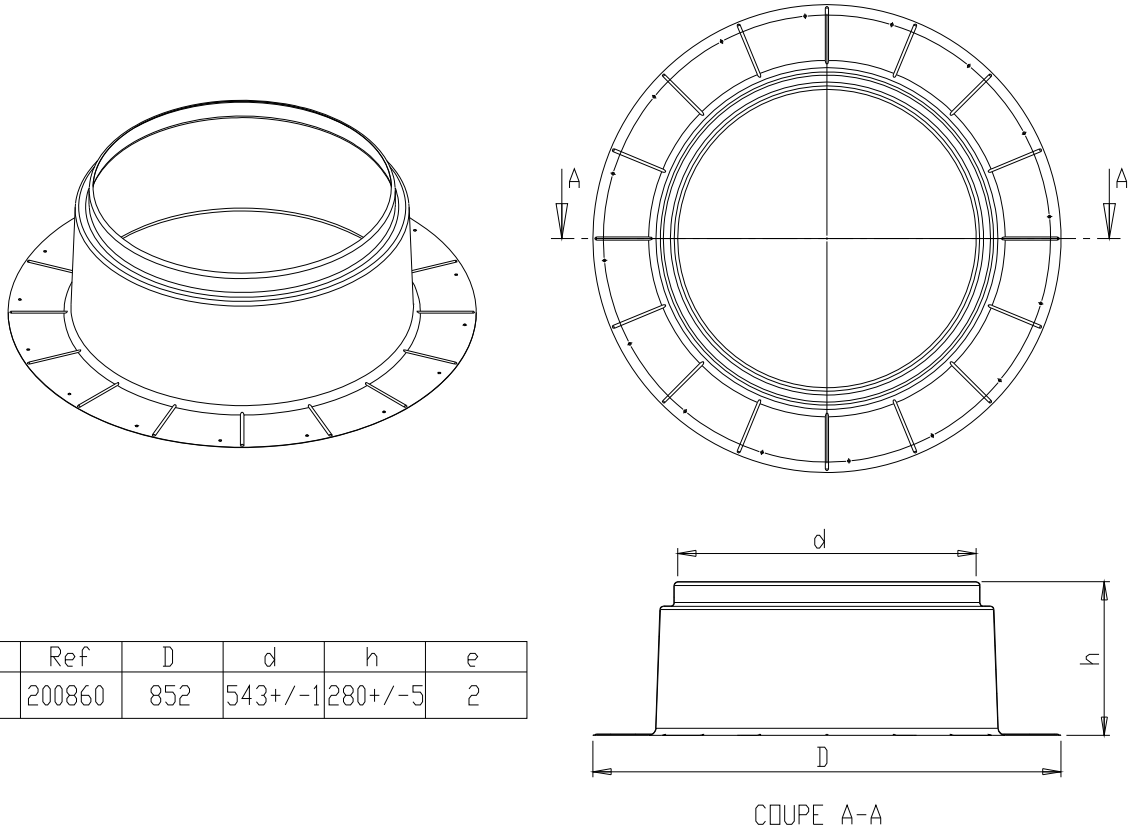






	Ref	D	d	h	e	L1*L2	Angle
ø 350	230870	508	362+/-1	197+/-5	2	97*101.5	15°

Figure 2-d – Sorties de toit pour système « SOLATUBE® », série Sola Master®, de 530mm de diamètre.



	Ref	D	d	h	e
ø 530	200860	852	543+/-1	280+/-5	2

Figure 2-e – Sorties de toit pour système « SOLATUBE® », série Sola Master®, de 530mm de diamètre.

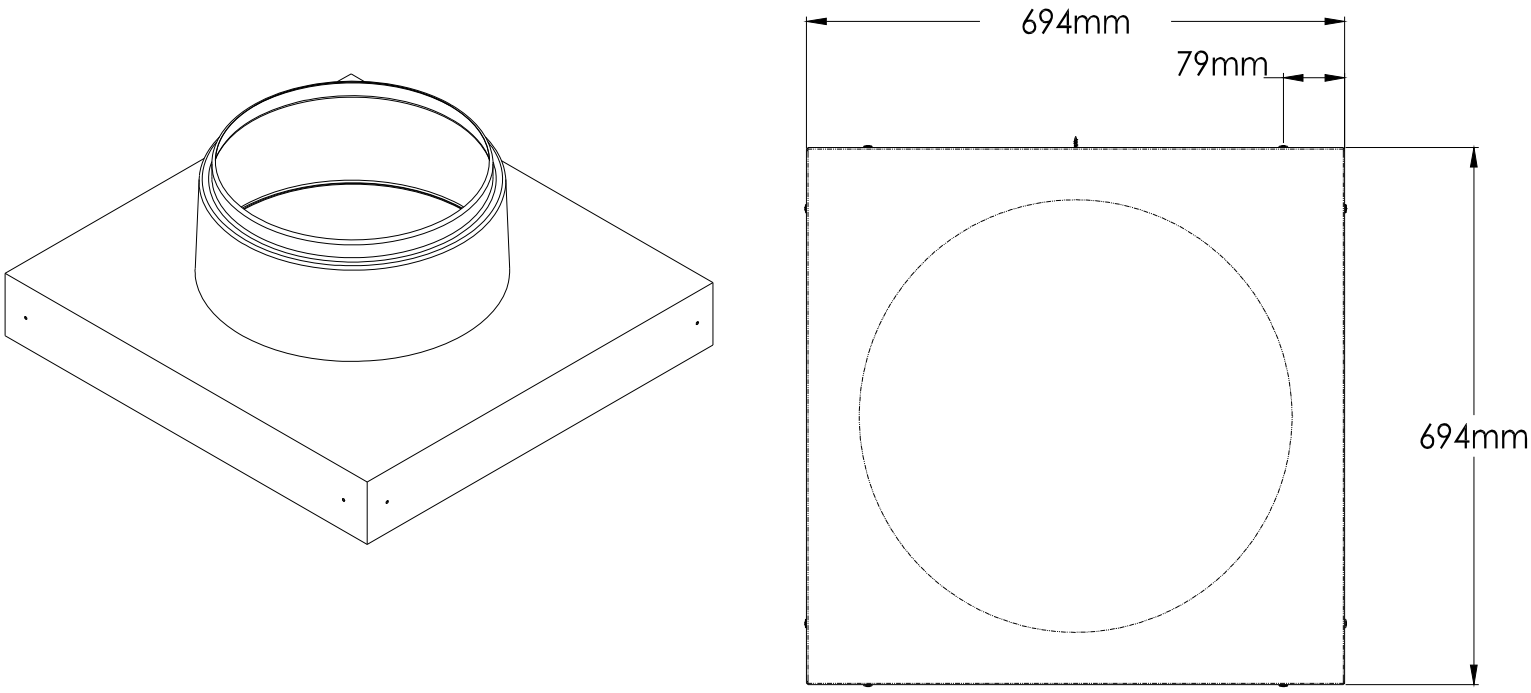


Figure 3 – Utilisation d'extension de sorties de toit pour système « SOLATUBE® », de série Brighten Up® ou de série Sola Master®.

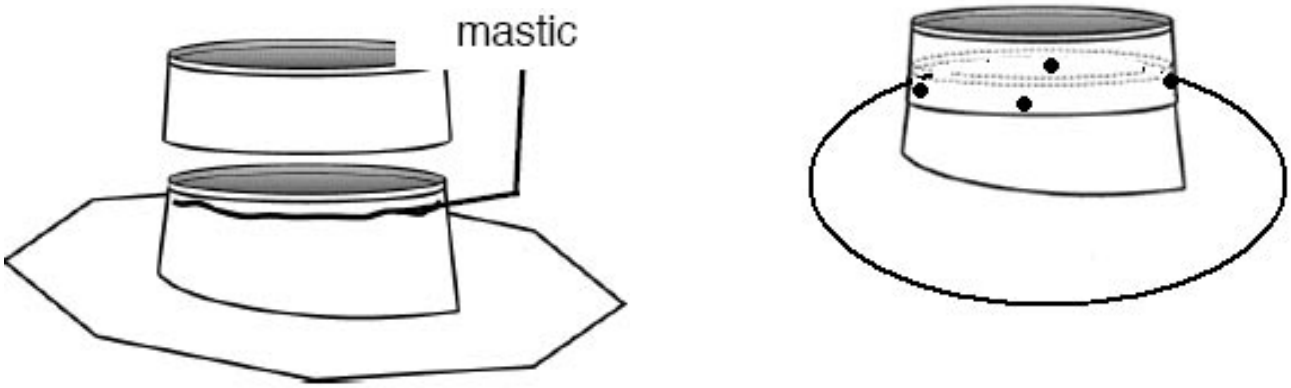


Figure 4a – Convoyeur de lumière « Spectralight® Infinity » : mise en œuvre d'une partie cylindrique droite

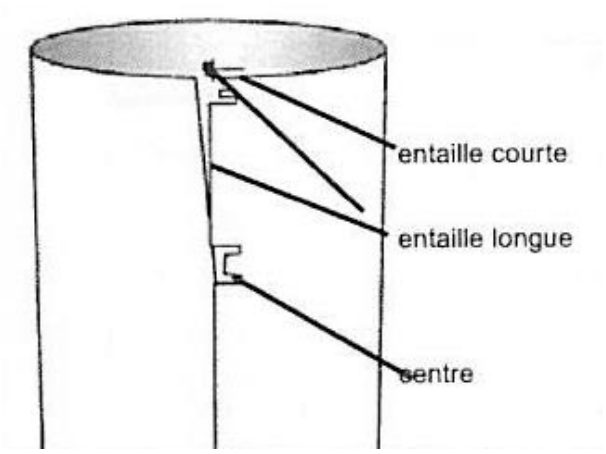


Figure 4b – Détail d'assemblage de Convoyeur de lumière « Spectralight® Infinity » : partie cylindrique droite

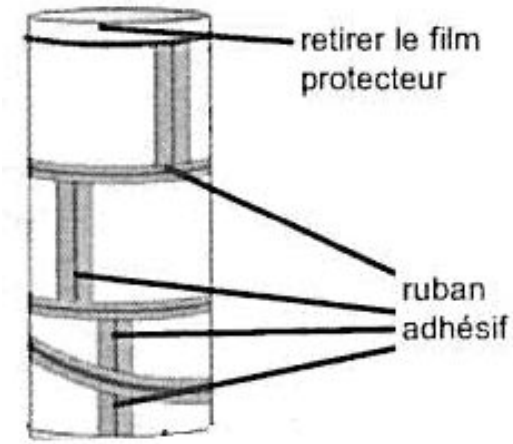
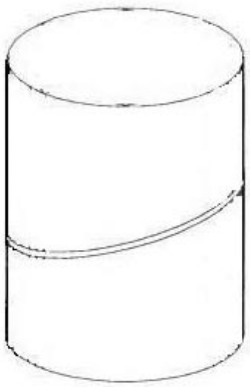
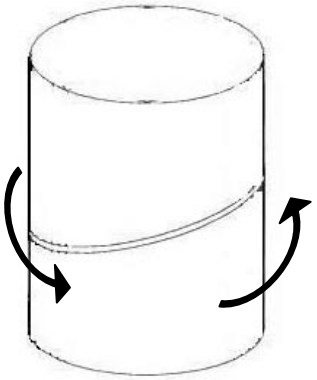
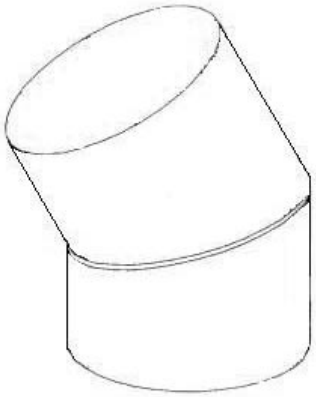


Figure 5 – Convoyeur de lumière « Spectralight® Infinity » : mise en œuvre des coudes

Mise en œuvre d'un coude de 30°







Coude de 90° : par emboitement successifs de deux coudes de 30°

Coude de 90° : par emboitement successifs de trois coudes de 30°

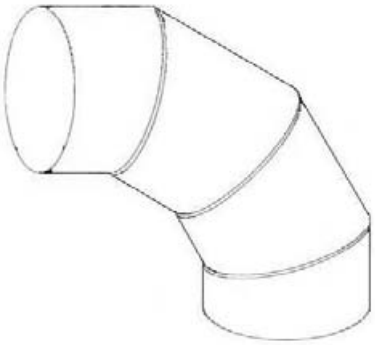


Figure 6-a – Anneau de pré-assemblage pour système « SOLATUBE® », série Brighten Up®.

Système « SOLATUBE® » Diamètre (en mm)	Code produit	D int (en mm)	D ext (en mm)
250	410 700	238	300
350	410 800	342	402

Schéma type :

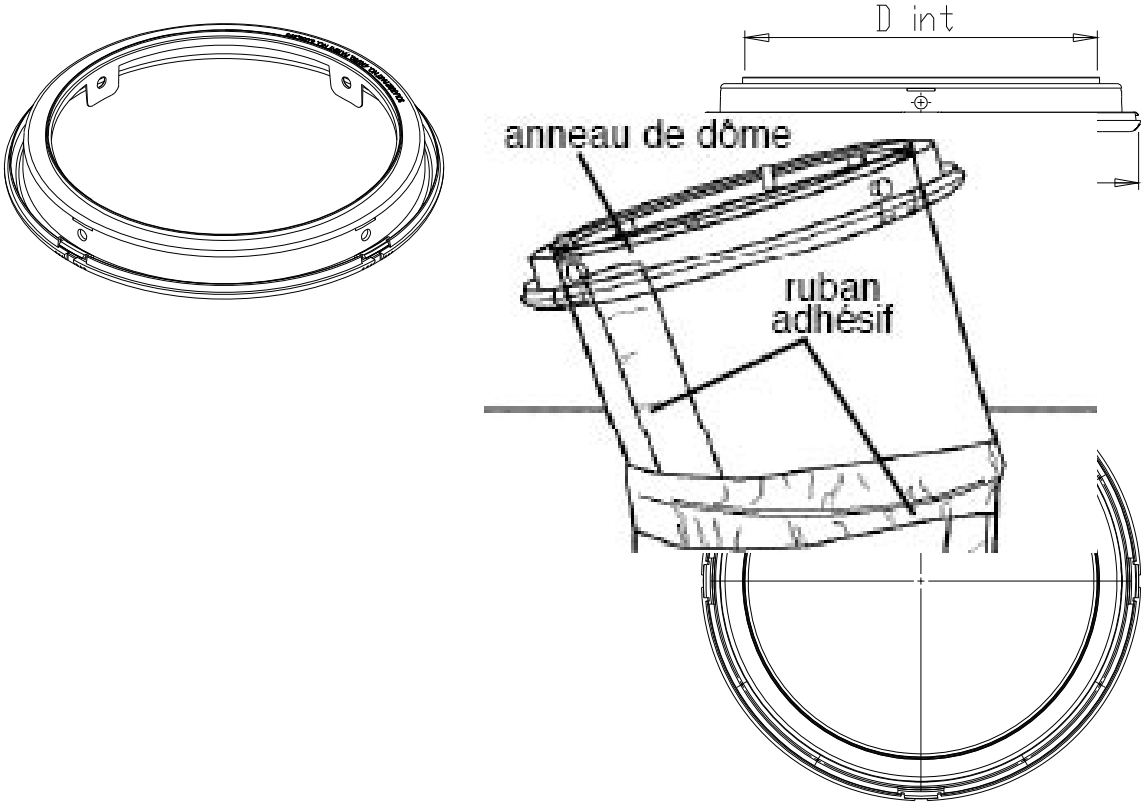


Figure 6-b - Tube collecteur pré-assemblé pour système « SOLATUBE® », série Brighten Up®.

Figure 7 – Anneau support de la coupole, tube convoyeur supérieur et coupole types pour système « SOLATUBE® », série Brighten Up®.

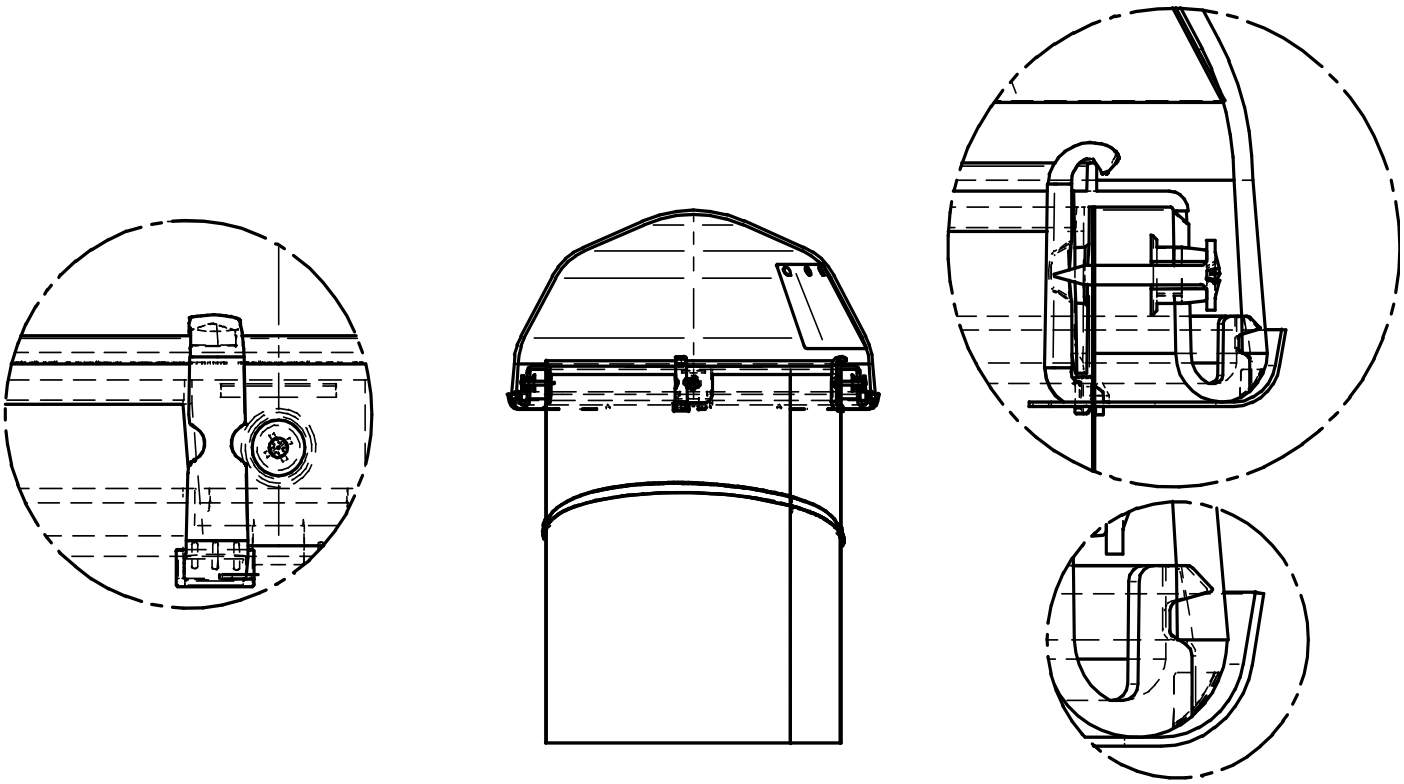
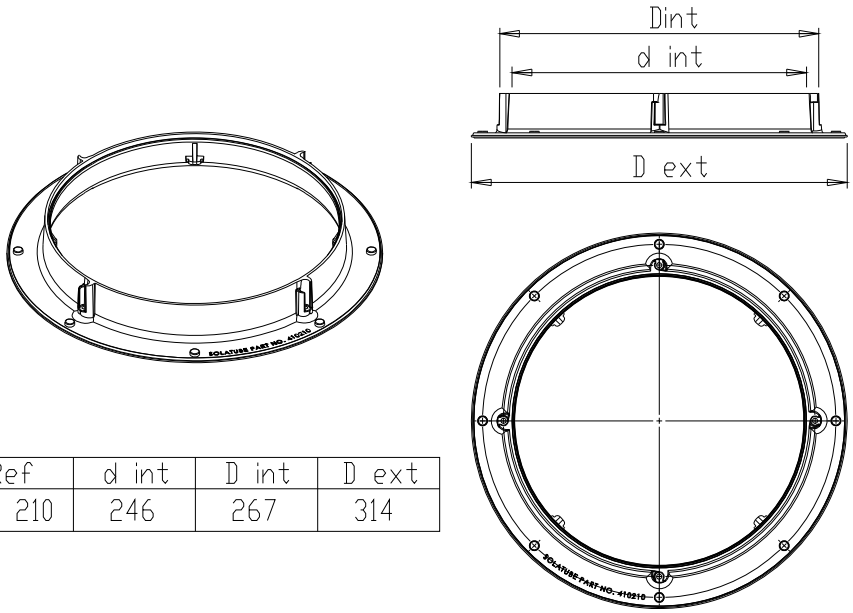


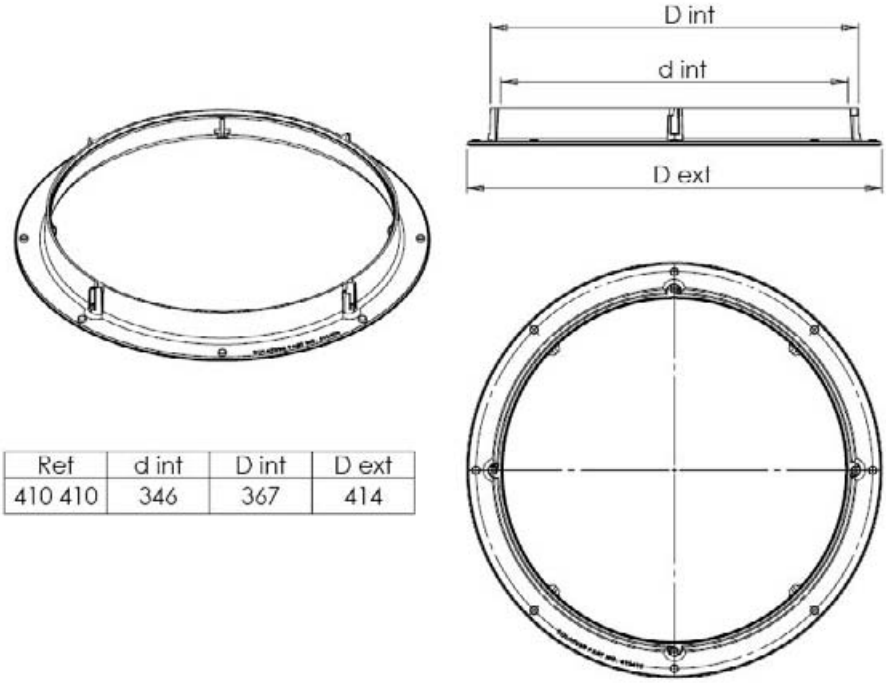
Figure 8-a-b – Anneau de raccordement (au plafond du local à éclairer) pour système « SOLATUBE® », série Brighten Up®.

a) Pour système « SOLATUBE® » de diamètre de 250mm



Ref	d int	D int	D ext
410 210	246	267	314

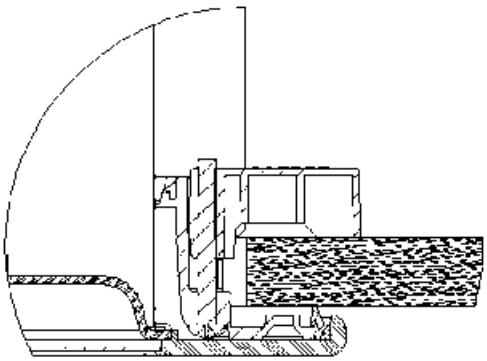
b) Pour système « SOLATUBE® » de diamètre de 350mm



Ref	d int	D int	D ext
410 410	346	367	414

Figure 8-c et-d – Fixation de l'anneau de raccordement (au plafond du local à éclairer) pour système « SOLATUBE® », série Brighten Up®.

c) Système de cornières (ou équerre) à serrage



d) Vissage direct

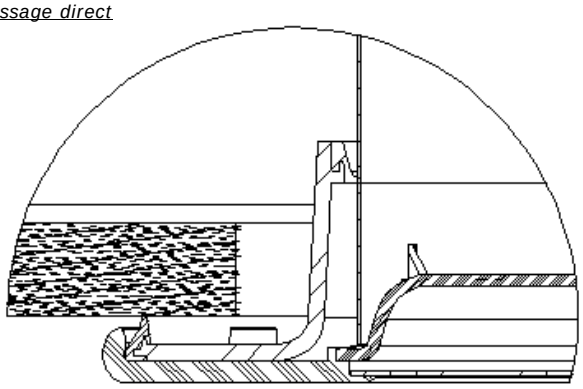


Figure 8-e – Boite de raccordement (au plafond du local à éclairer) pour système « SOLATUBE® », série Sola Master®, de diamètre 530mm.

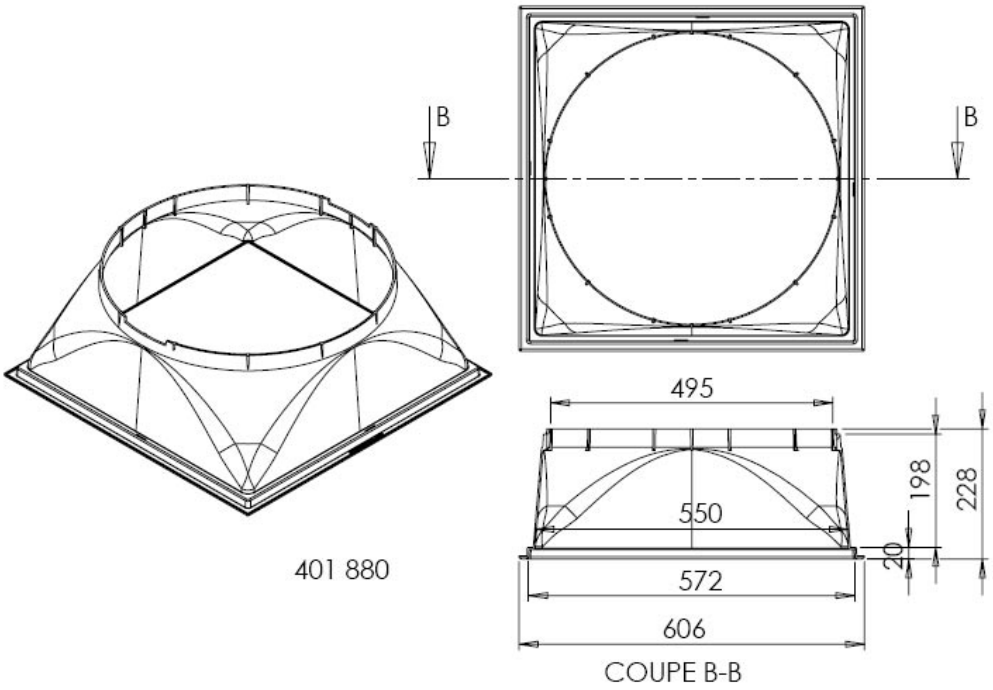


Figure 9 – Système anti-intrusion pour système « SOLATUBE® », série Sola Master®, de diamètre 530mm.

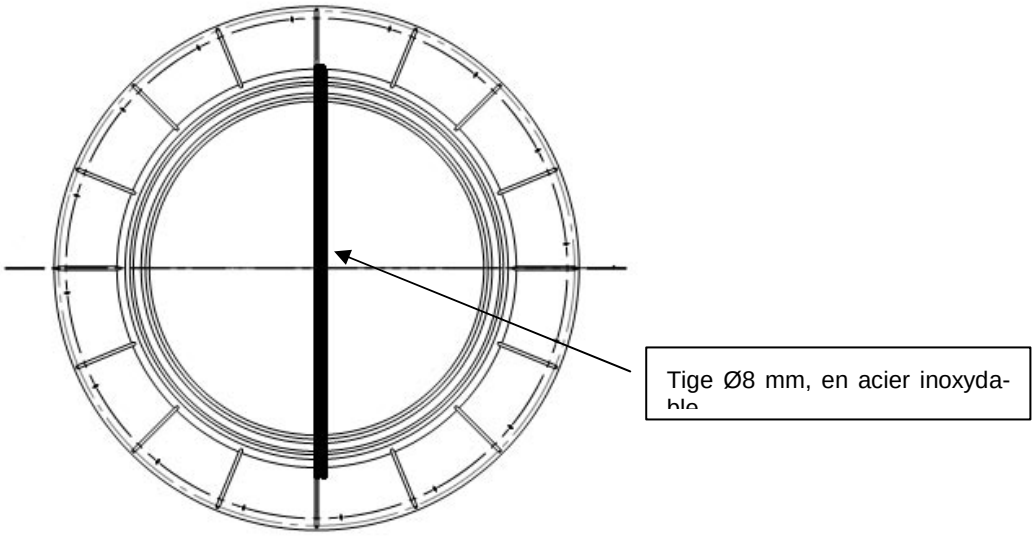
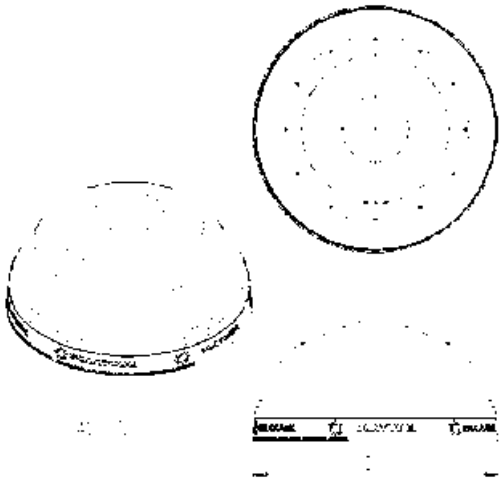


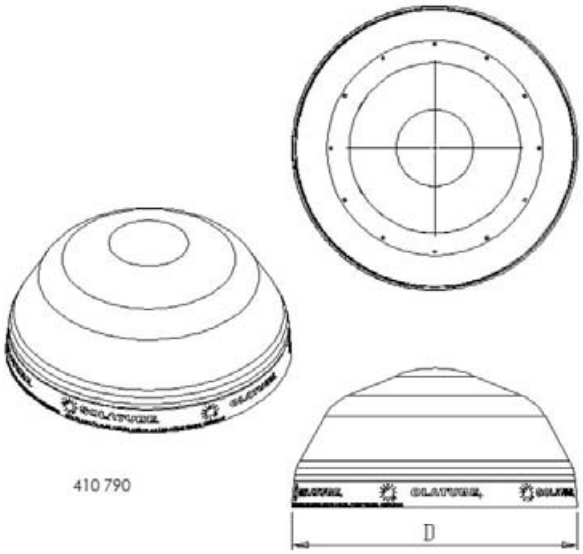
Figure 10 – Coupole pour système « SOLATUBE® ».

Système « SOLATUBE® »	Diamètre (mm)		
	250	350	530
D diamètre coupole (en mm)	303	403	575
Code produit	410 720	410 790	509 100

Code produit : 410 720



Code produit : 410 790



Code produit : 509 100

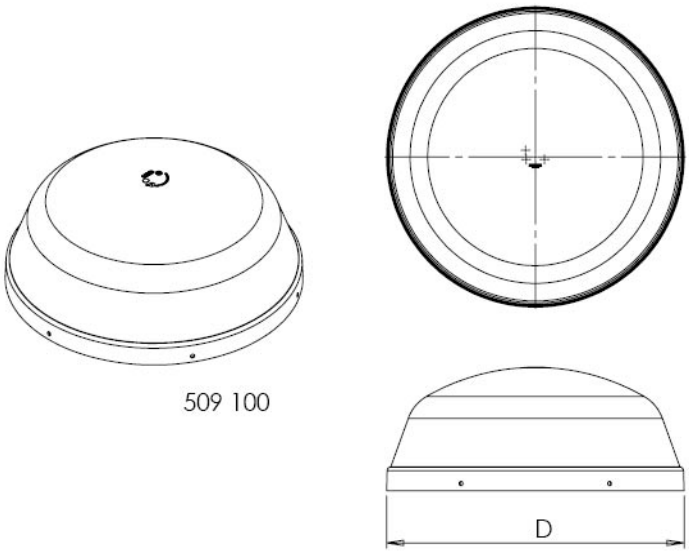
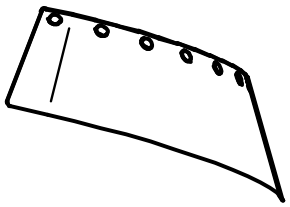
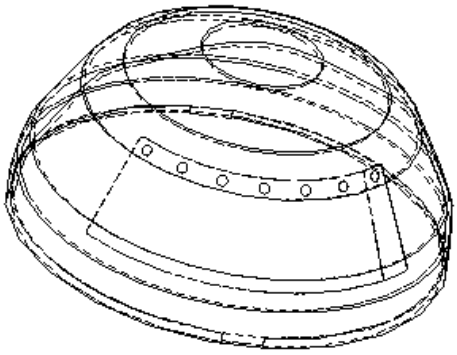


Figure 11 – Système « Light Tracker™ » pour système « SOLATUBE® ».

Système de renvoi de la lumière type associé à la coupole

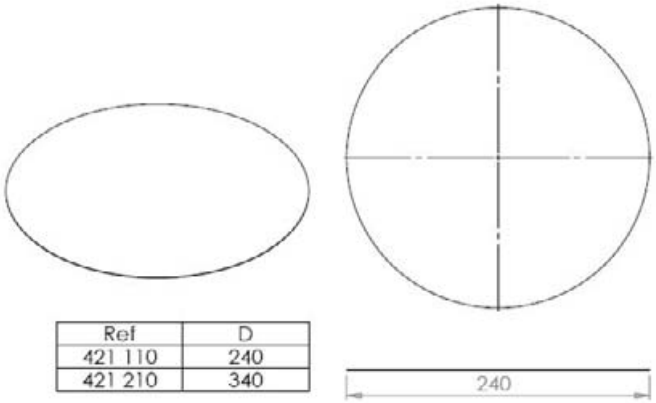




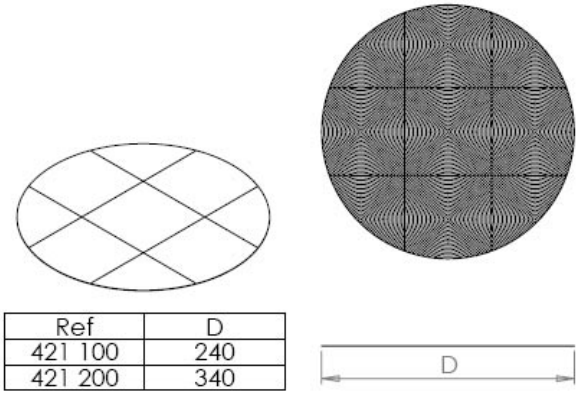
Réflecteur

Réflecteur à insérer dans la coupole

Figure 12-a – Eléments-Diffuseur pour système « SOLATUBE® », série Brighten Up®.



Ref	D
421 110	240
421 210	340

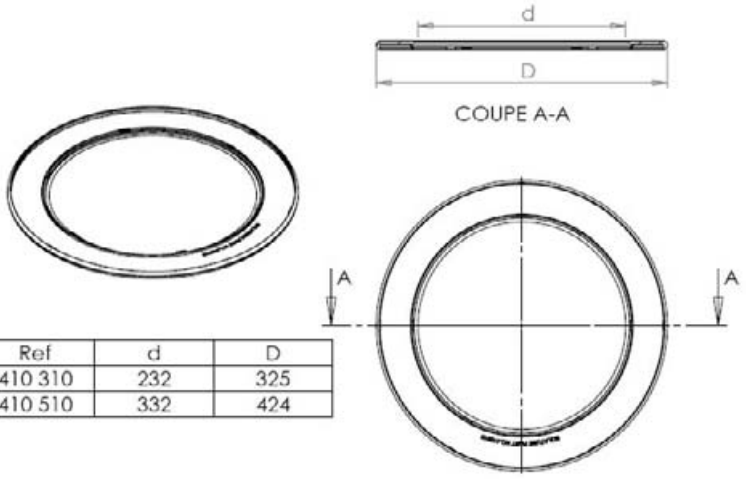


Ref	D
421 100	240
421 200	340

Elément du diffuseur de type Vusion®

Elément du diffuseur de type Optiview®

Figure 12-b – Anneau d'habillage de l'élément diffuseur pour système « SOLATUBE® », série Brighten Up®.



Ref	d	D
410 310	232	325
410 510	332	424

Figure 12-c – Composant-Diffuseur pour système « SOLATUBE® », série Sola Master®.

Elément du diffuseur de type Vusion®

Figure 13 – Joint brosse adhésif mono-face de dilatation pour système « SOLATUBE® ».

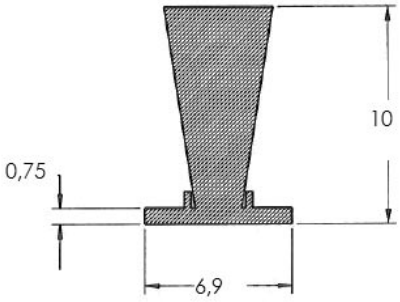
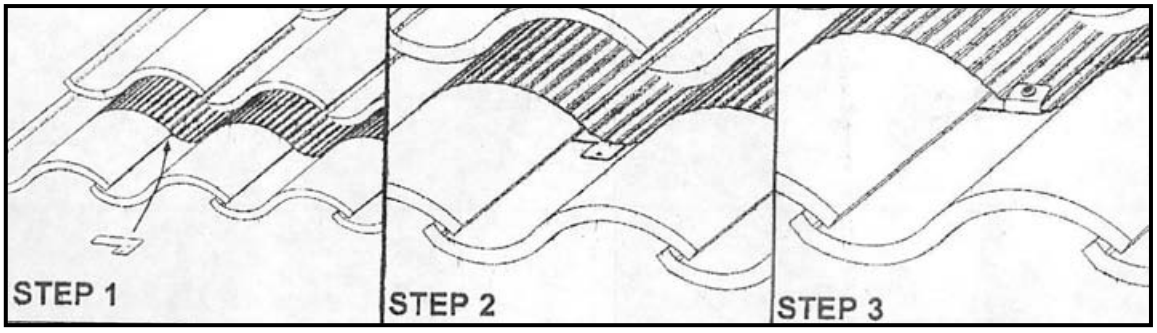
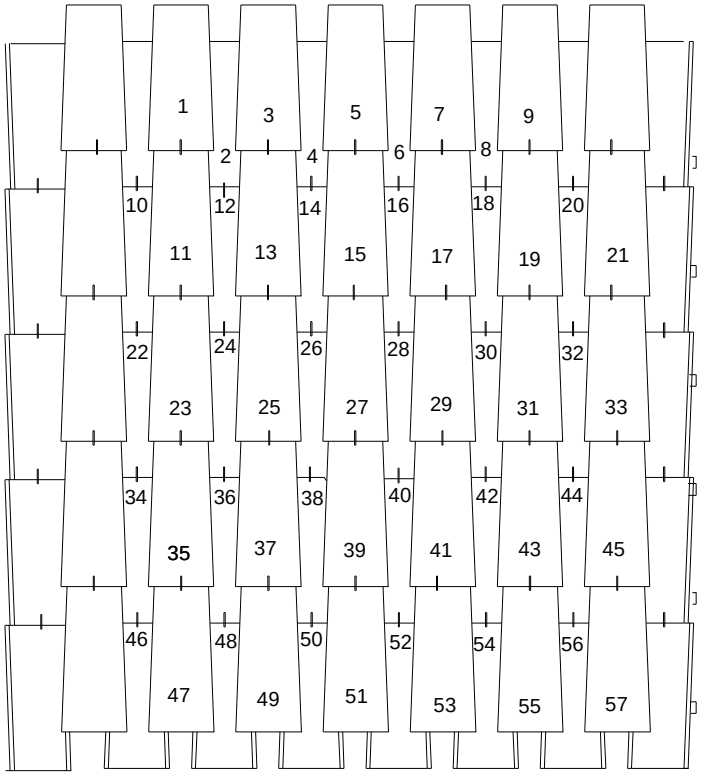


Figure 14 – Pattes de maintien de la sortie de toit pour système « SOLATUBE® ».



Figures 15-a et 15-b – Principe de mise en œuvre préconisée dans le cas de couvertures avec la tuile canal.

a) choix de l'emplacement en toiture et calepinage



b) découpe des liteaux et mise en place de la sortie de toit

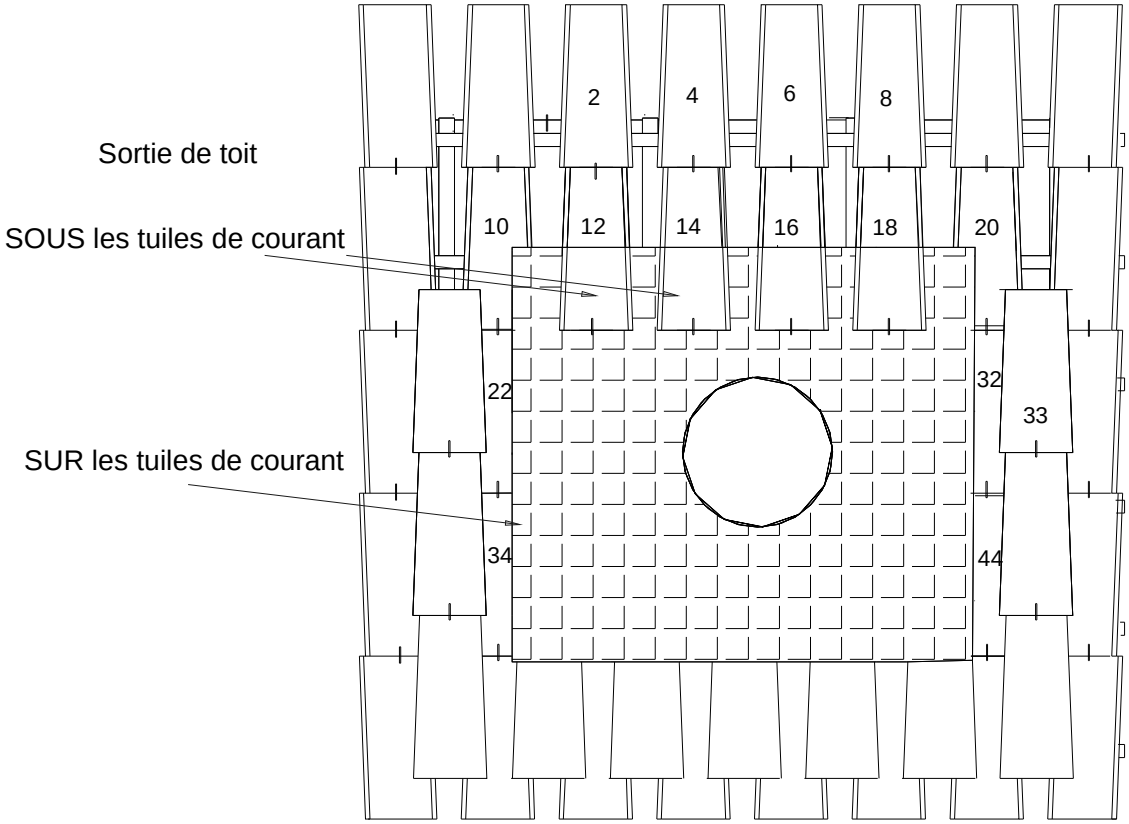


Figure 15-c – Principe de mise en œuvre préconisée dans le cas de couvertures avec la tuile canal : détails.

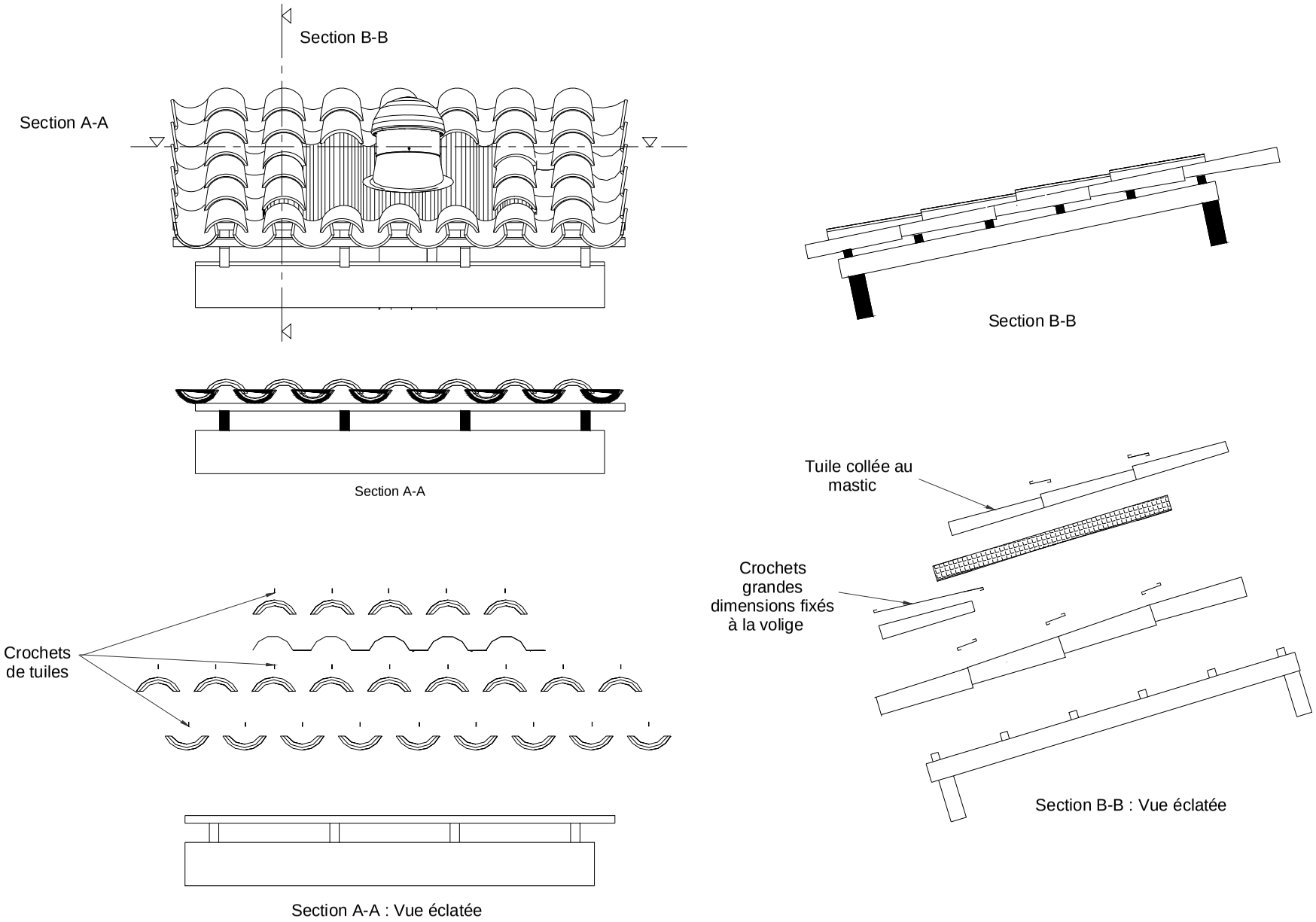


Figure 15-d – Principe de mise en œuvre préconisée dans le cas de couvertures avec la tuile canal : finitions.

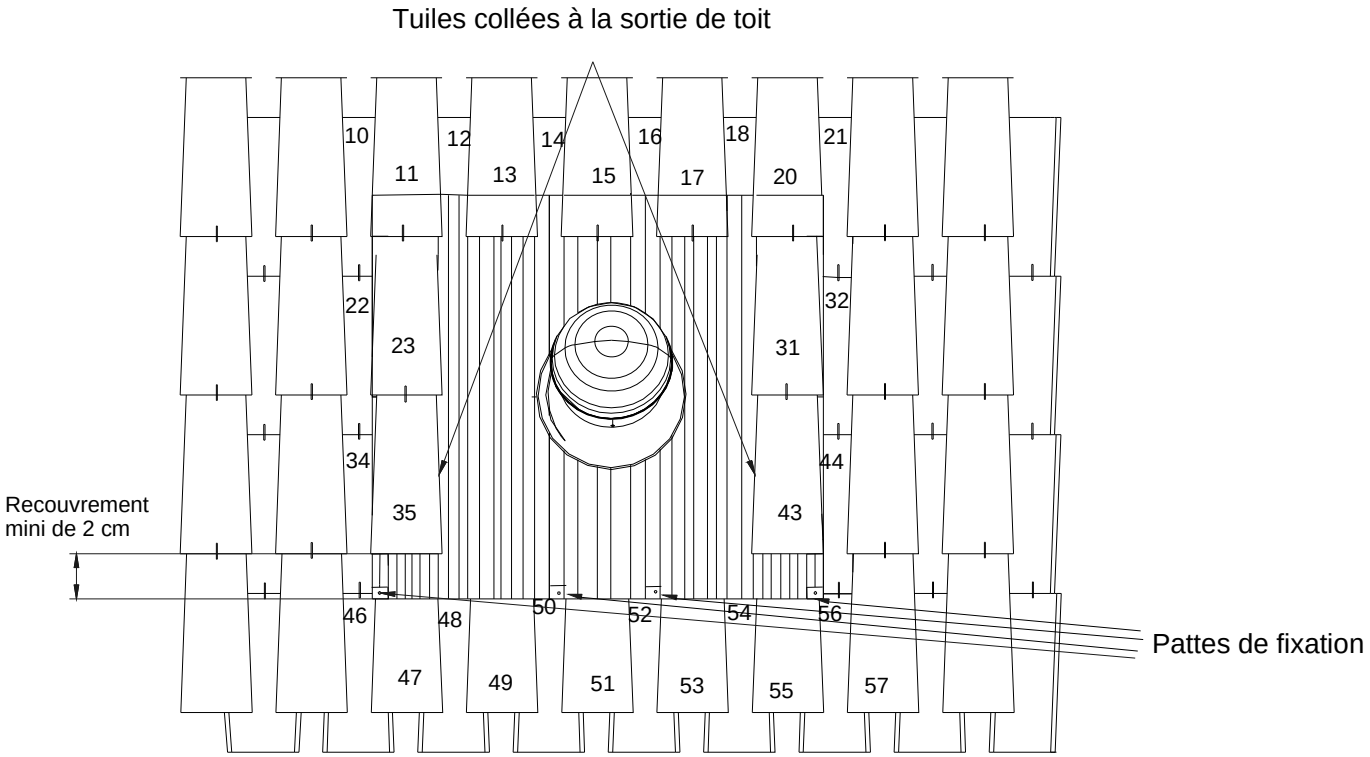
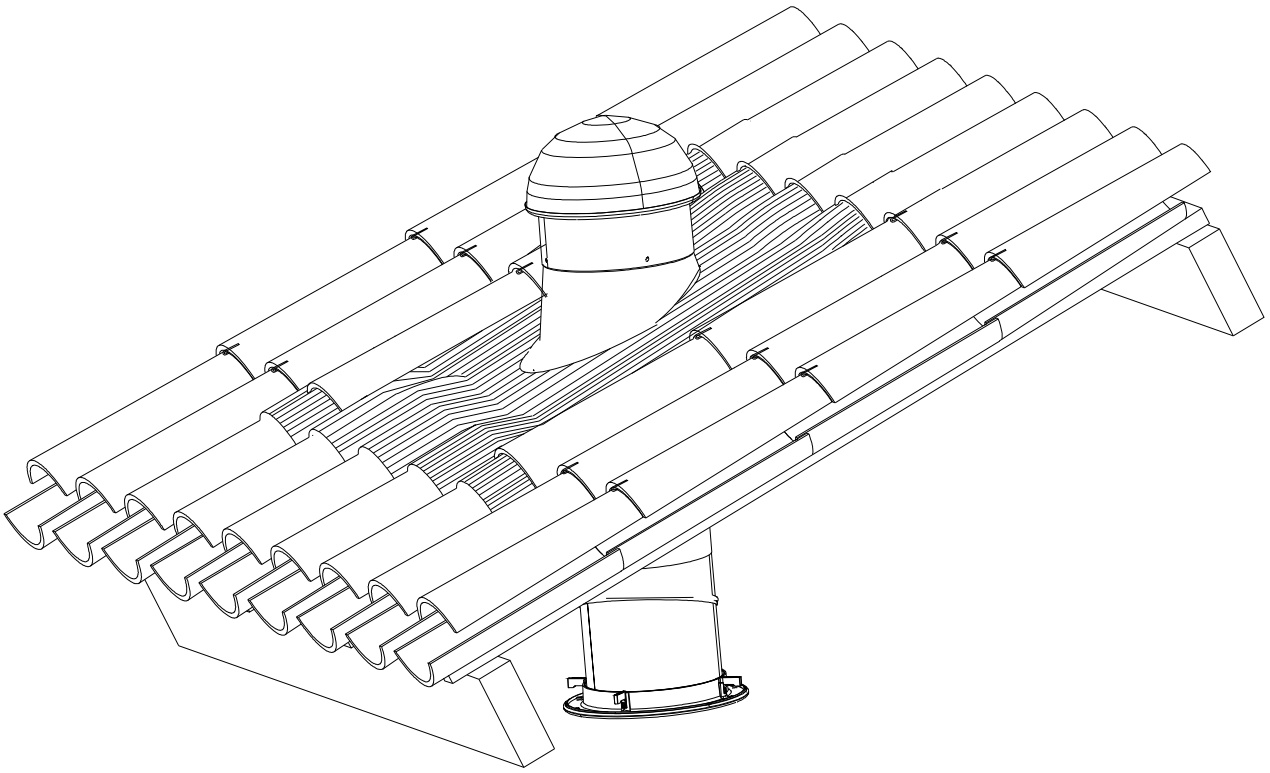
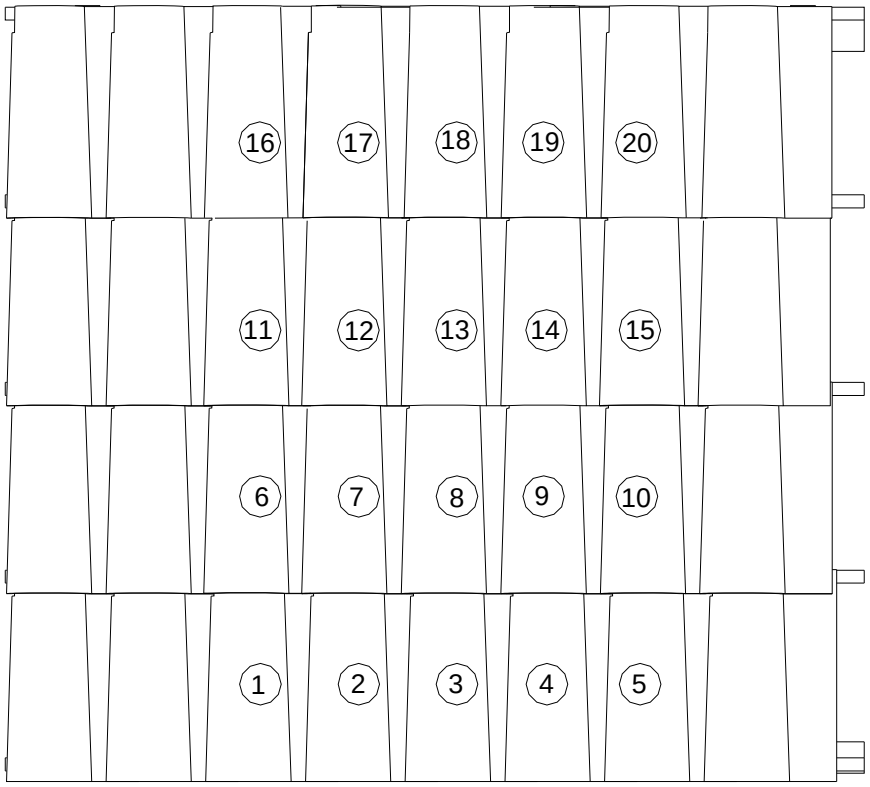


Figure 15-e – Principe de mise en œuvre préconisée dans le cas de couvertures avec la tuile canal : vue d'ensemble.



Figures 16-a et 16-b – Principe de mise en œuvre préconisée dans le cas de couvertures avec la tuile mécanique à fort relief de pureau.

a) choix de l'emplacement en toiture et calepinage



b) découpe des liteaux et mise en place de la sortie de toit

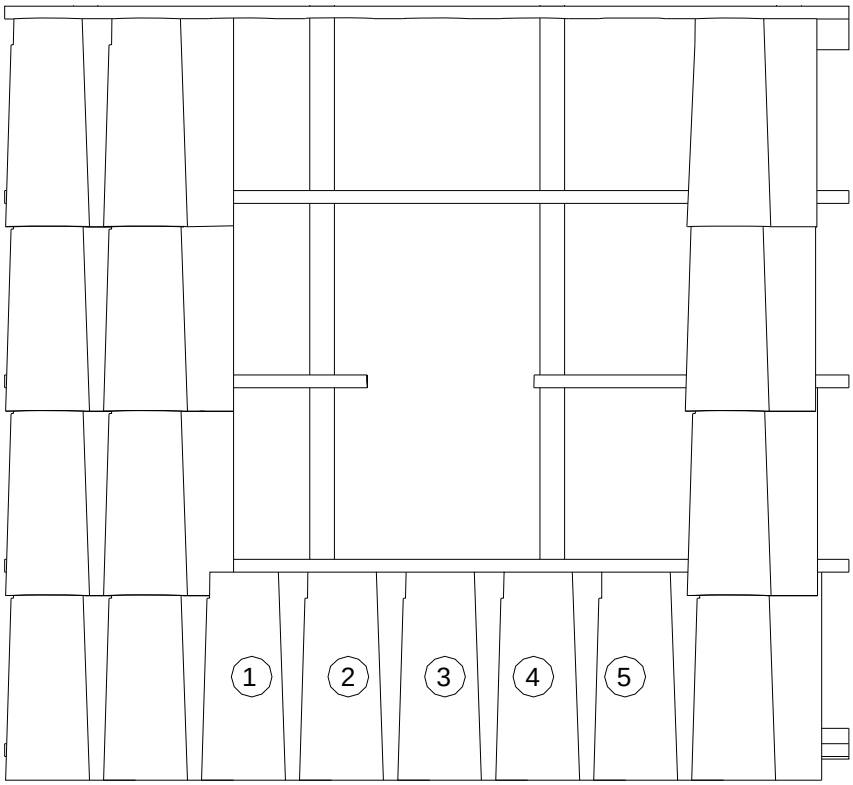
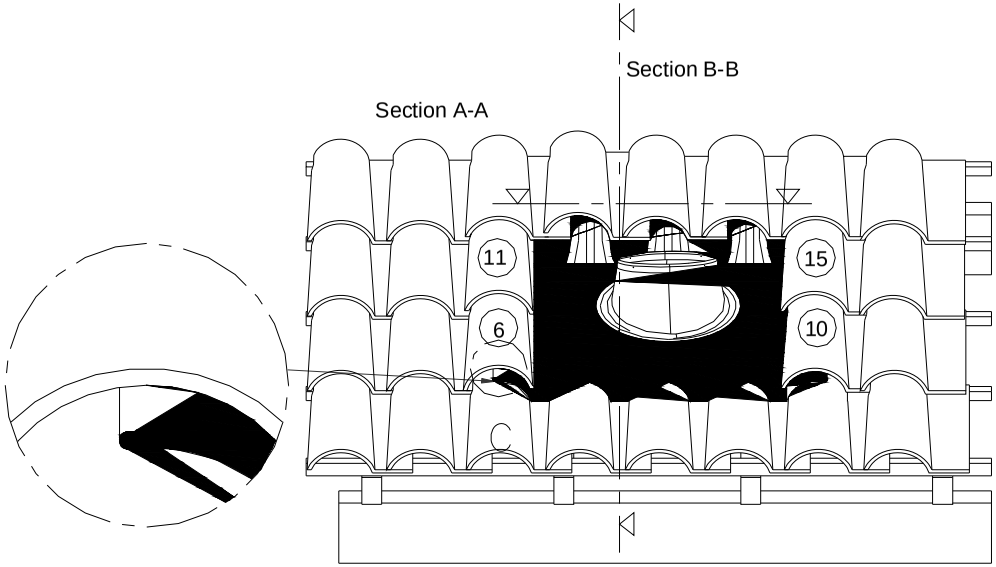
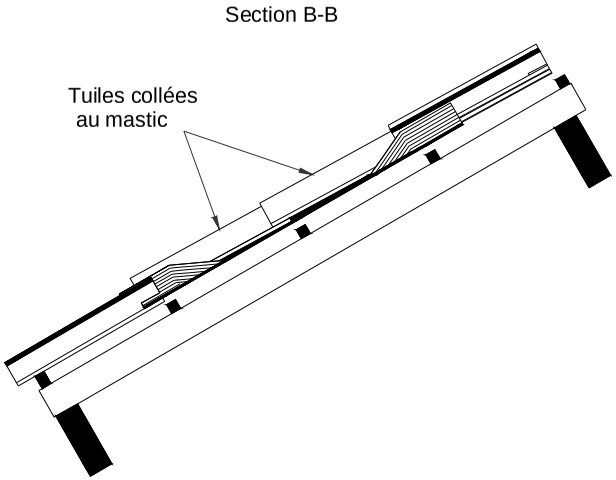
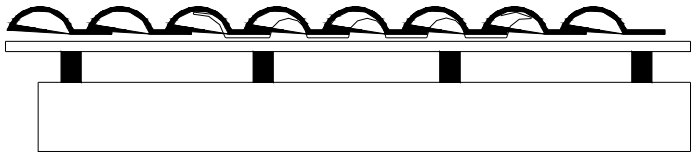


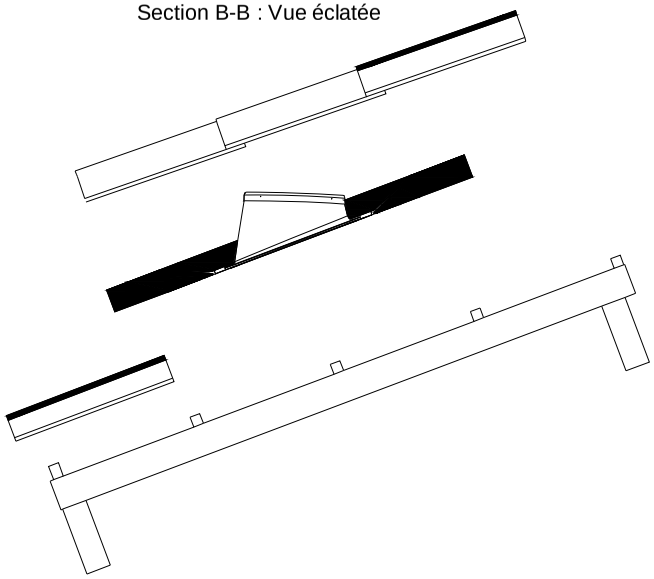
Figure 16-c – Principe de mise en œuvre préconisée dans le cas de couvertures avec la tuile mécanique à fort relief de pureau : détails.

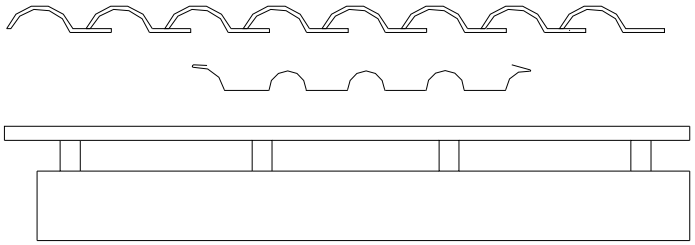






Section A-A





Section A-A : Vue éclatée

Figure 16-d – Principe de mise en œuvre préconisée dans le cas de couvertures avec la tuile mécanique à fort relief de pureau : finitions.

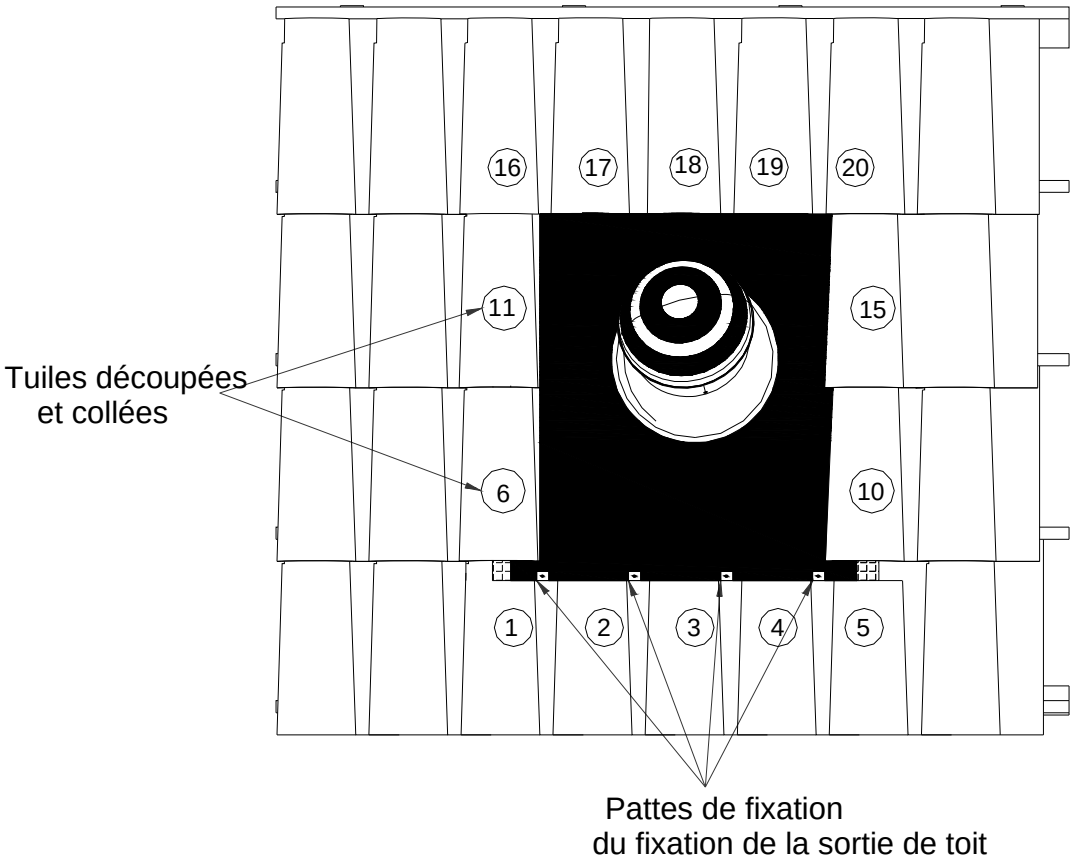


Figure 16-e – Principe de mise en œuvre préconisée dans le cas de couvertures avec la tuile mécanique à fort relief de pureau : vue d'ensemble.

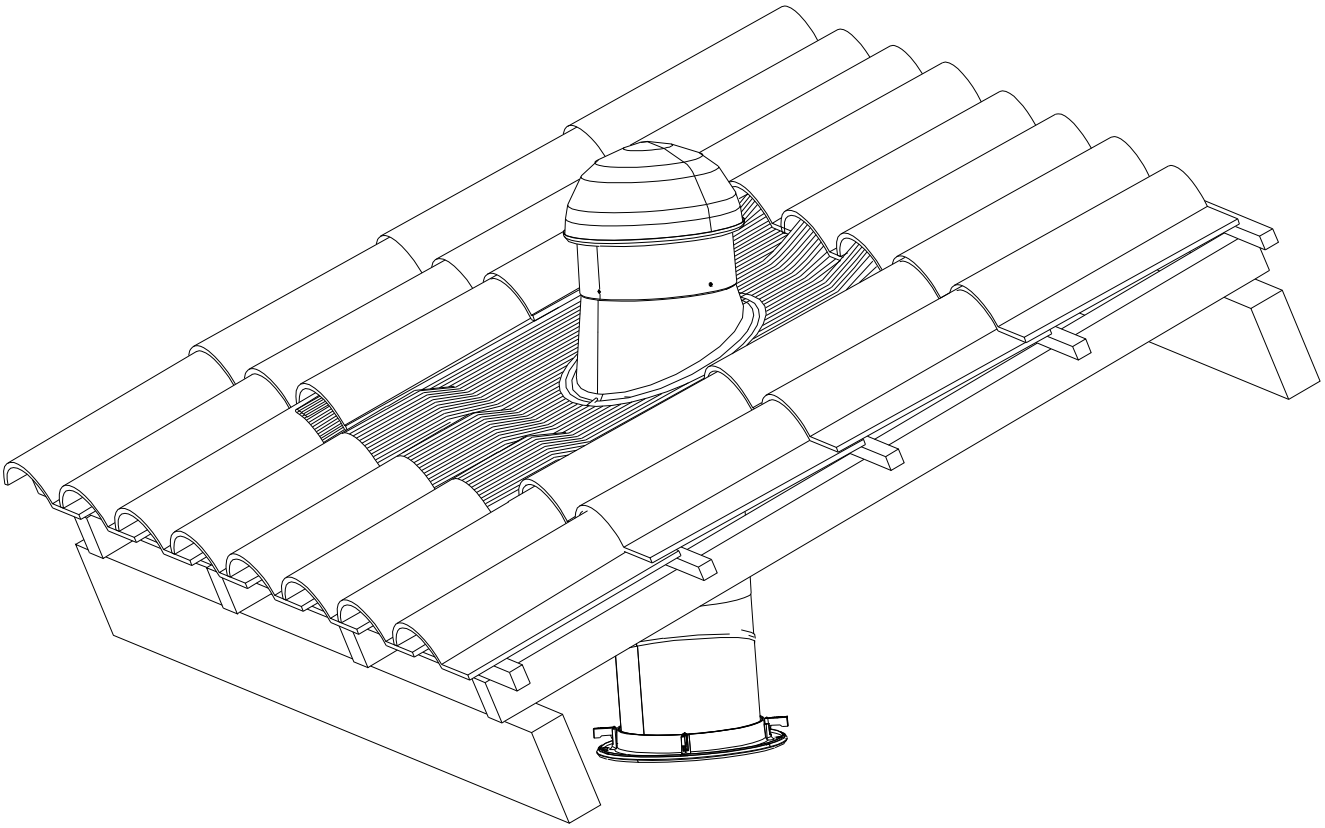
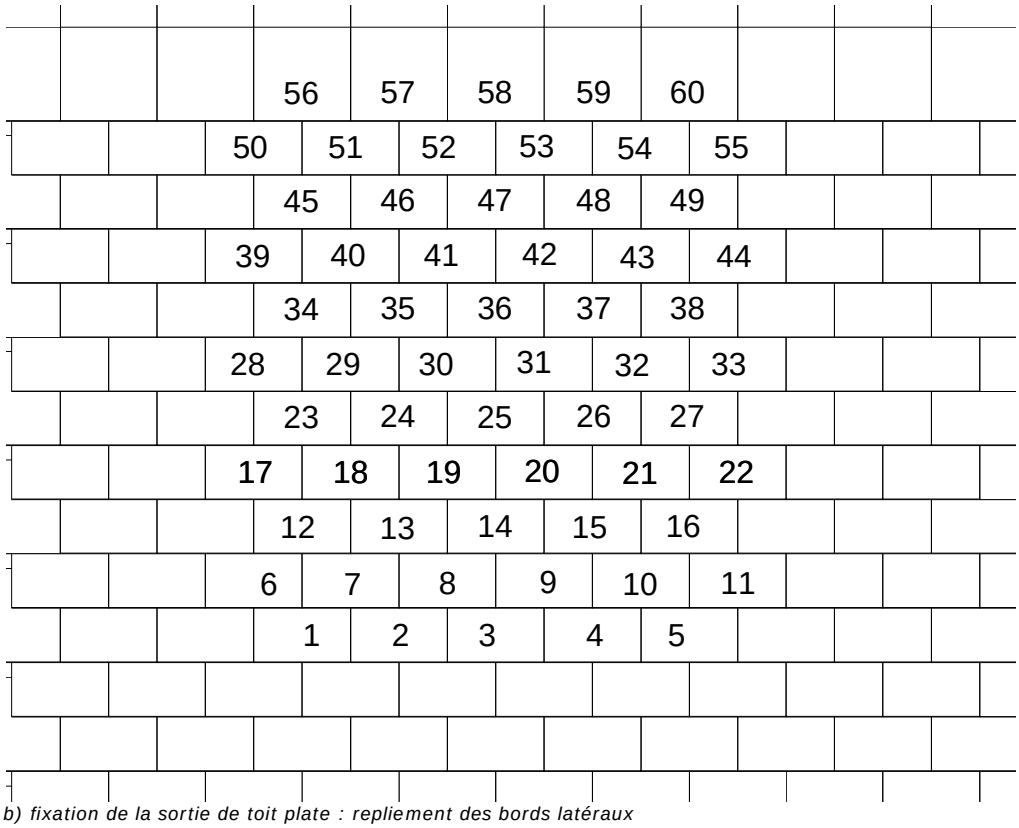


Figure 17-a et 17-b – Principe de mise en œuvre préconisée dans le cas de couvertures avec la tuile plate.

a) choix de l'emplacement en toiture et calepinage



b) fixation de la sortie de toit plate : repliement des bords latéraux

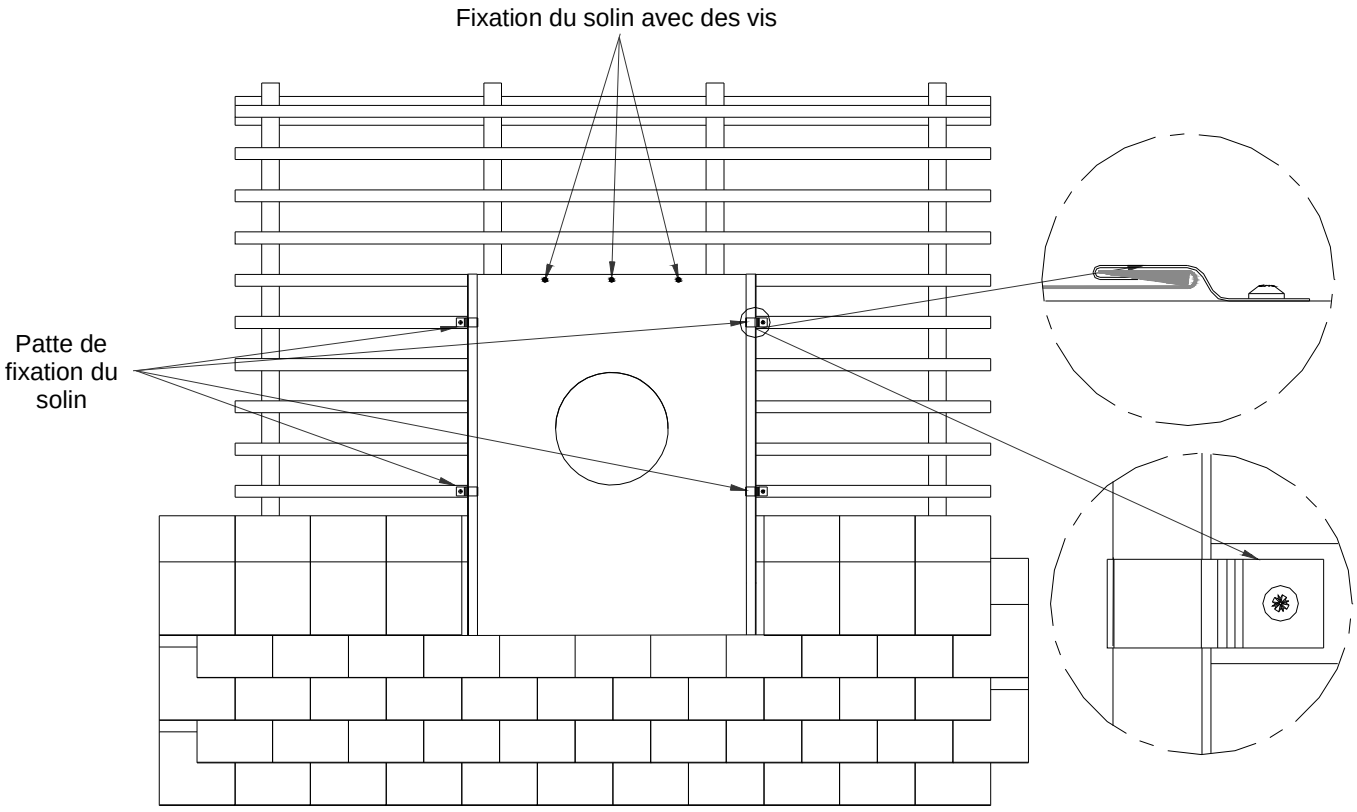


Figure 17-c – Principe de mise en œuvre préconisée dans le cas de couvertures avec la tuile plate : détails.

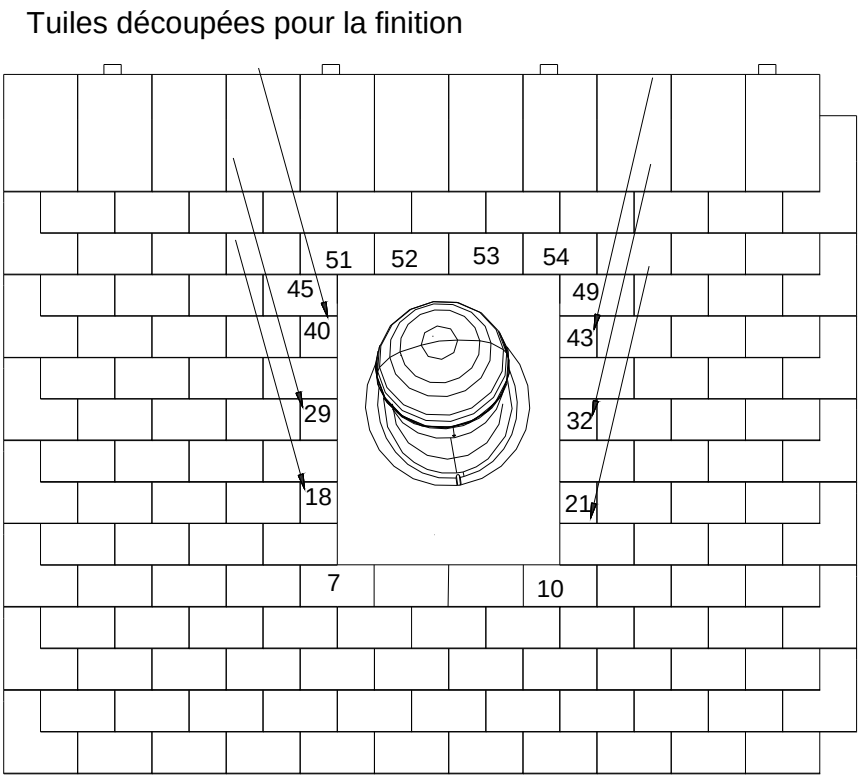


Figure 17-d – Principe de mise en œuvre préconisée dans le cas de couvertures avec la tuile plate : vue d'ensemble.

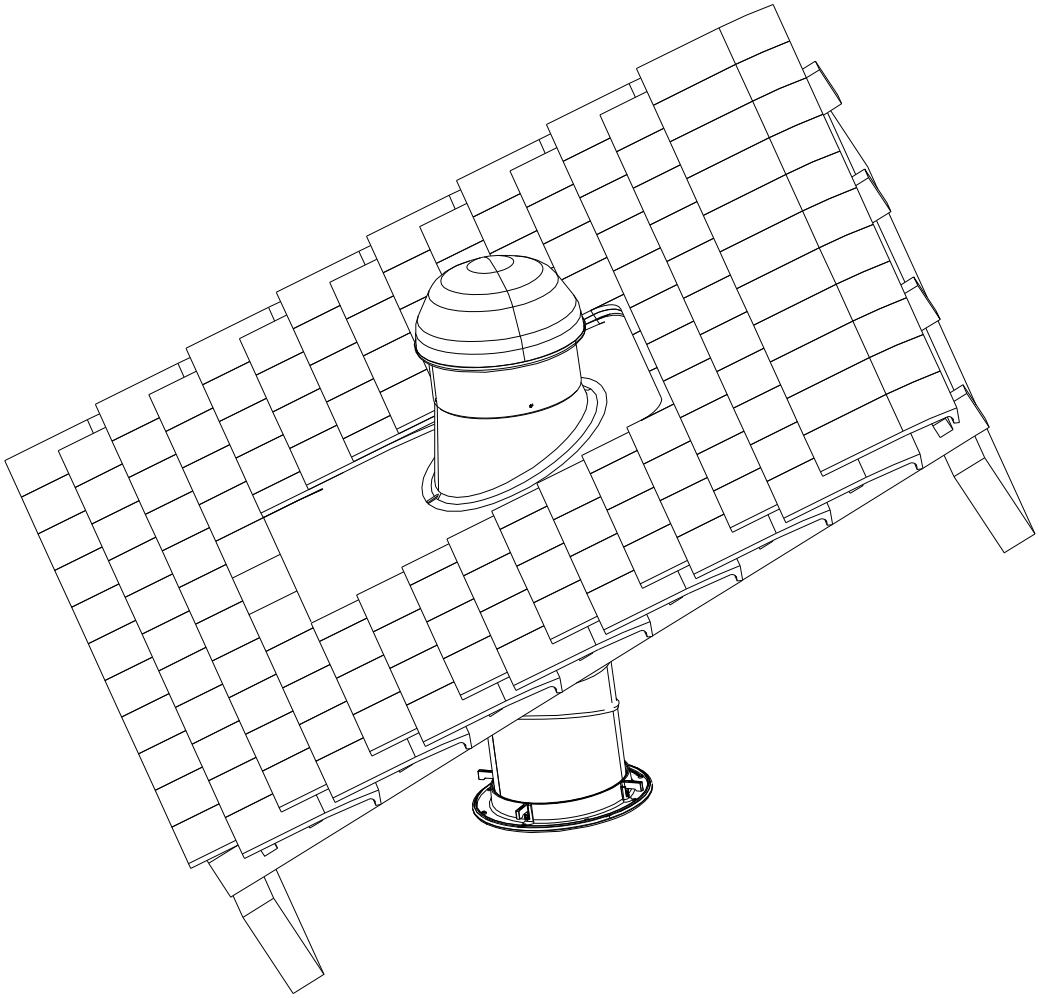


Figure 18-a – Principe de mise en œuvre préconisée dans le cas de toitures-terrasses.

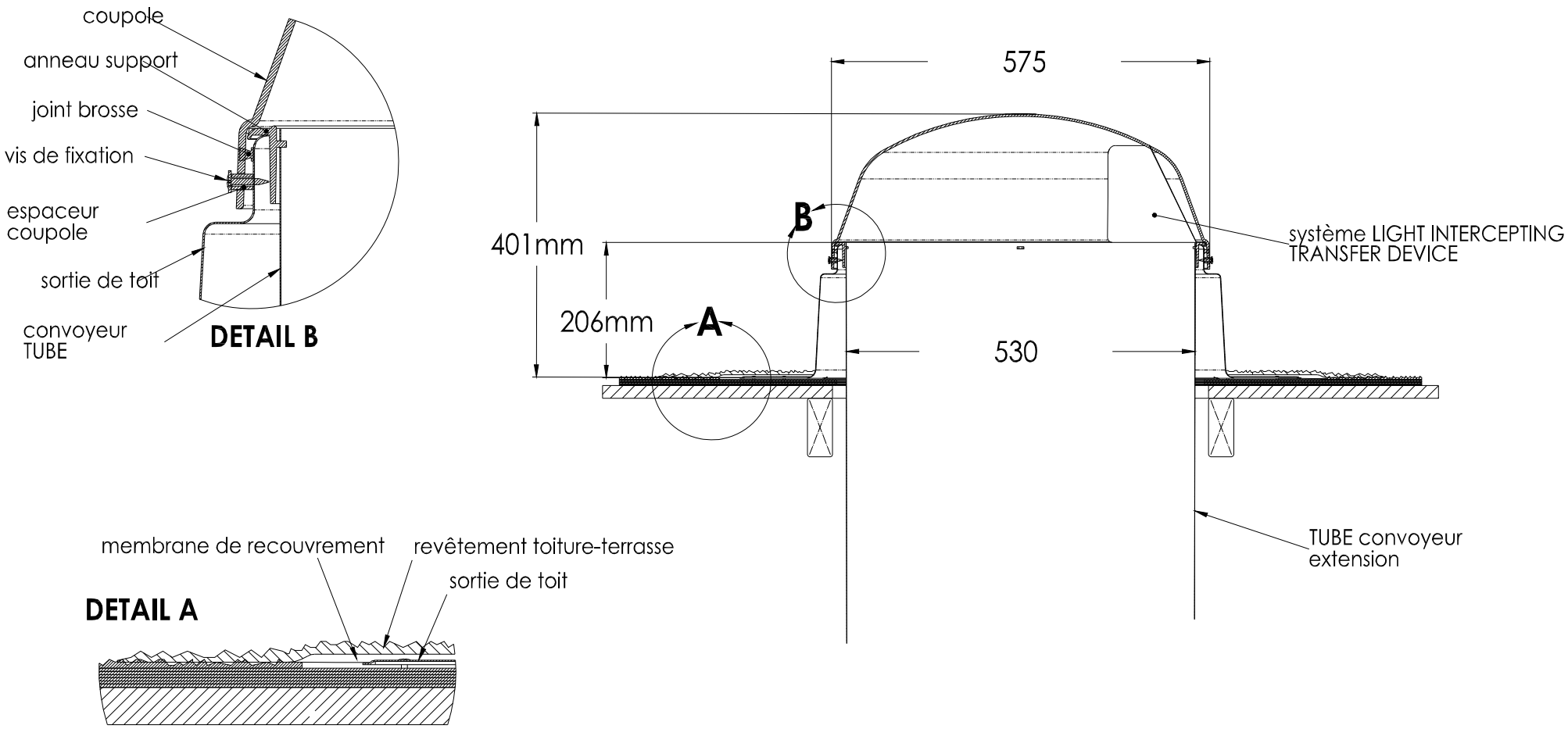
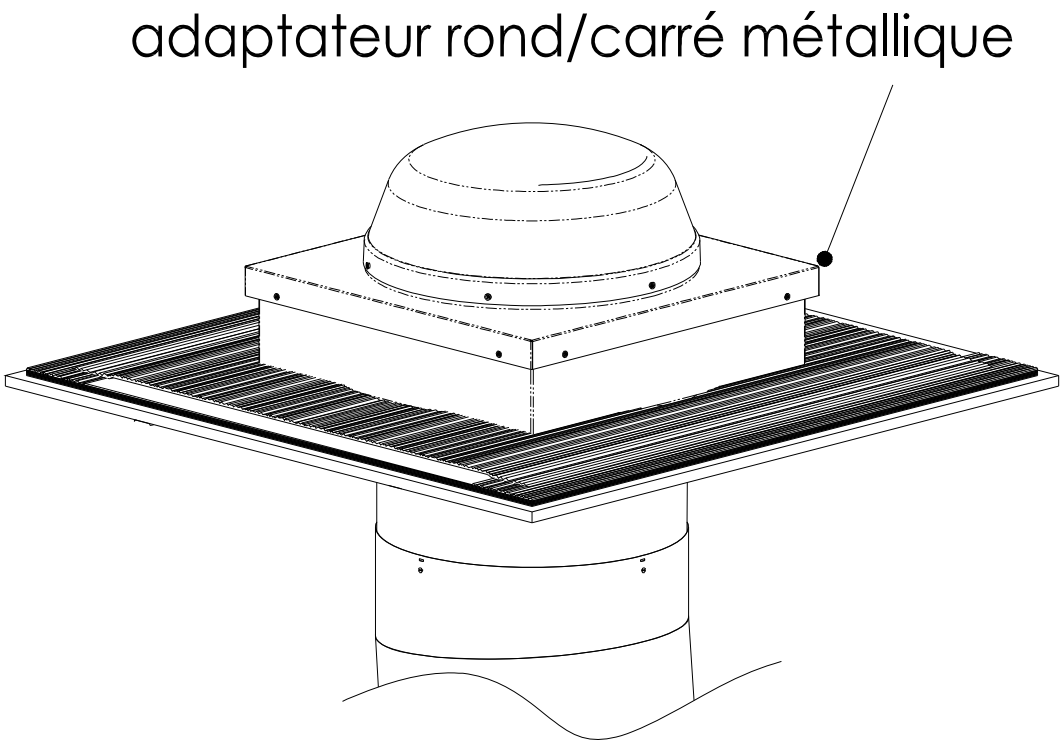


Figure 18-b – Adaptateur rond/carré pour mise en œuvre en toiture-terrasse et en couverture métallique en longue feuille.



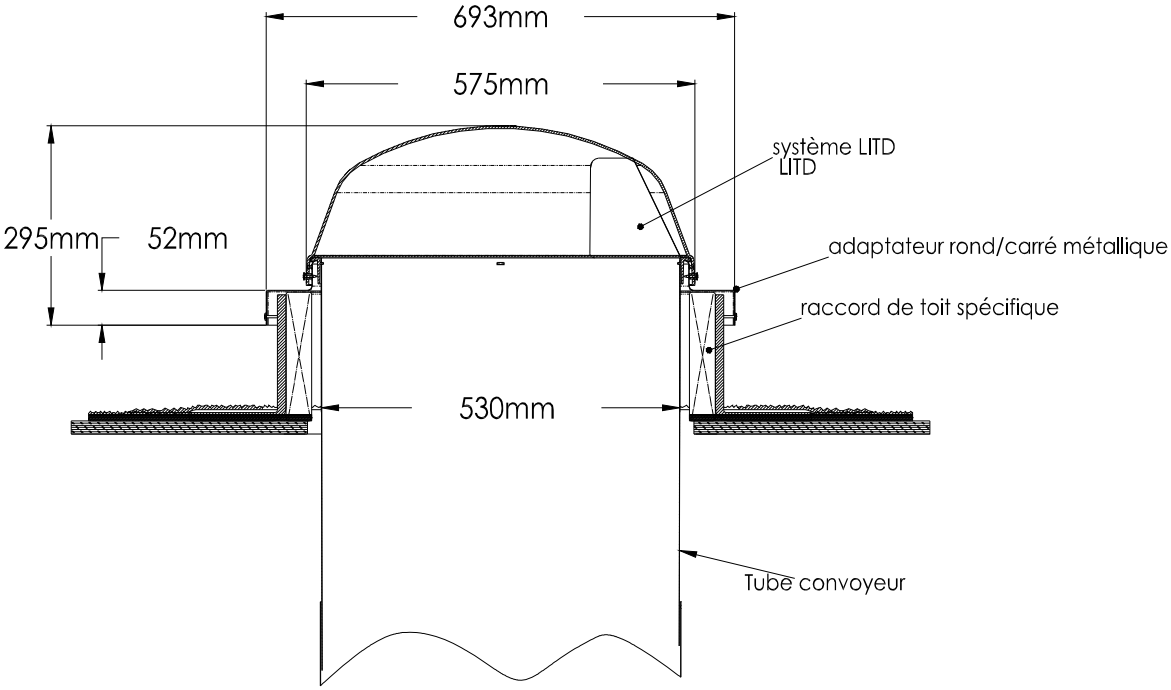
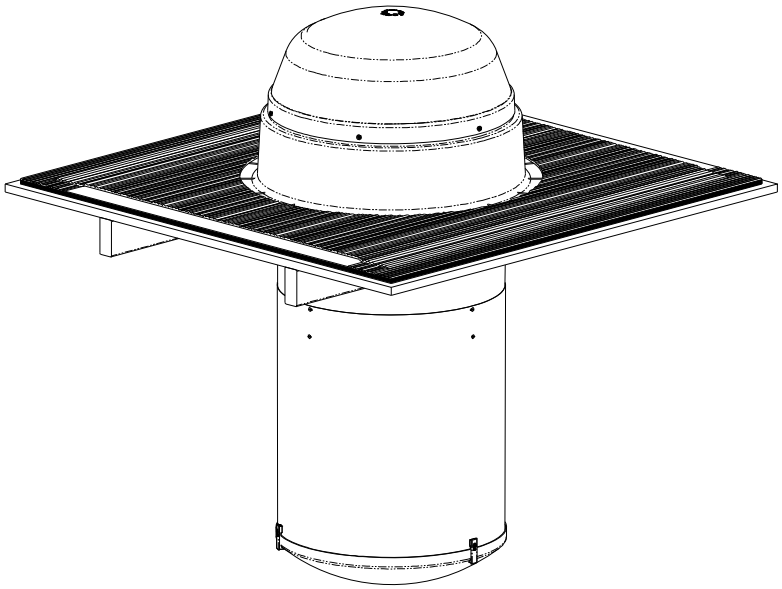
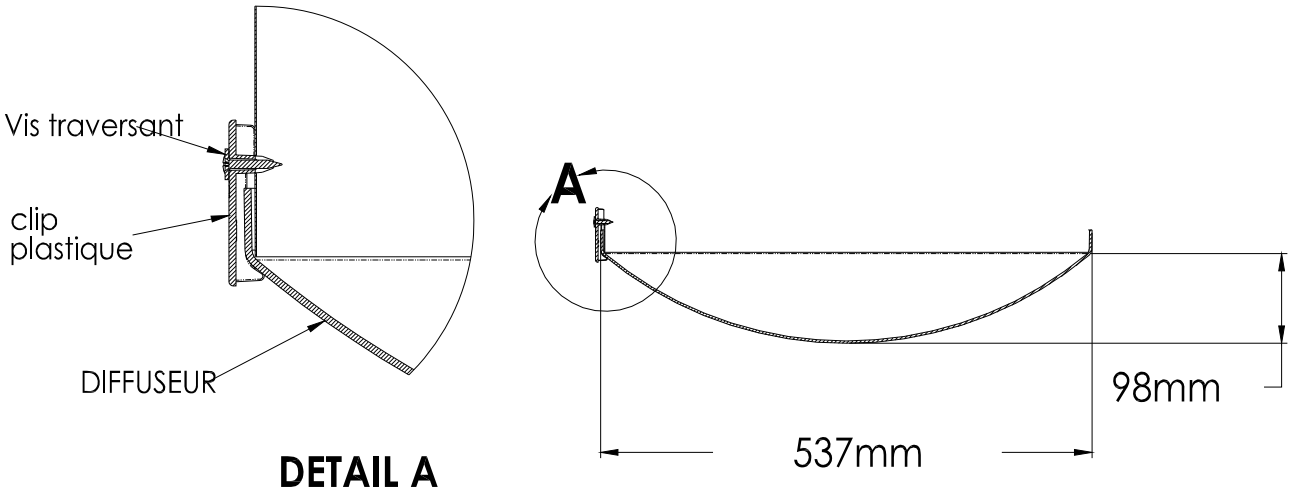



Figure 19 – Système « SOLATUBE® », série Sola Master® de diamètre 530mm, sans liaison au plancher.