

Sur le procédé

## **BEMO® N50 et N65 cintré**

**Famille de produit/Procédé** : Couverture en bac métallique autoportant à joints sertis ou à emboîtement

**Titulaire(s) :** Société **BEMO System GmbH**

### **AVANT-PROPOS**

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

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

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

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

**Groupe Spécialisé n° 5.1 - Produits et procédés de couvertures**

## Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V2	L'Avis Technique a été examiné par le Groupe Spécialisé n° 5.1 « Produits et procédés de couverture » en date du 3 juillet 2023. Actualisation des alliages d'aluminium utilisés (cf. § 2.2.2.1.2).	Marc AUGELAI	François MICHEL
V1	L'Avis Technique a été examiné par le Groupe Spécialisé n° 5.1 « Produits et procédés de couverture » en date du 7 novembre 2022. Première demande.	Marc AUGELAI	François MICHEL

### Descripteur :

Système de couverture à joint debout aluminium serti autoportant juxtaposés, assemblés et sertis mécaniquement longitudinalement dans le sens de la pente. Il se compose de bacs BEMO® cintrés emboîtés sur des pattes de fixations reliées à la structure. Les bacs se dilatent librement sur celles-ci. Les fixations de ce procédé ne sont pas apparentes.

Le procédé BEMO® N50 et N65 cintré est destiné à la réalisation de couvertures de formes cintrées convexe en pleine voûte et demi-voûte convexe (cf. figure 25) ou demi-voûte concave (cf. figure 26), pour les bâtiments dont l'hygrométrie est faible ou moyenne, situés en France métropolitaine et en climat de plaine (altitude  $\leq 900$  m), quelles que soient leur destination, en construction neuve ou rénovation totale (jusqu'à la charpente support).

Ce système, associé à une isolation thermique, est généralement mis en œuvre en couverture « chaude » selon les préconisations du § 2.3.4.2. Il peut également être mise en œuvre en couverture « froide ventilée » sur bâtiments ouverts non isolés selon le § 2.3.4.1.

La longueur maximale des bacs et des rampants est au plus égale à 100 m, et la pente minimale admissible est de 3% (cf. § 1.1.2).

## Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé .....	7
1.1.	Domaine d'emploi accepté .....	7
1.1.1.	Zone géographique.....	7
1.1.2.	Ouvrages visés.....	7
1.2.	Appréciation .....	8
1.2.1.	Aptitude à l'emploi du procédé .....	8
1.2.2.	Durabilité et entretien .....	9
1.2.3.	Impacts environnementaux .....	9
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé.....	10
2.	Dossier Technique.....	11
2.1.	Mode de commercialisation .....	11
2.1.1.	Coordonnées.....	11
2.1.2.	Mise sur le marché .....	11
2.1.3.	Identification .....	11
2.2.	Description .....	11
2.2.1.	Principe.....	11
2.2.2.	Caractéristiques des composants.....	11
2.3.	Disposition de conception .....	20
2.3.1.	Contraintes liées à l'aluminium.....	20
2.3.2.	La charpente.....	22
2.3.3.	L'ossature secondaire.....	23
2.3.4.	Type de toiture .....	23
2.3.5.	Préconisations en fonction du type de complexe .....	25
2.3.6.	Pente .....	25
2.3.7.	Formes admissibles et rayons de cintrages minimaux .....	26
2.3.8.	Portées des bacs .....	29
2.3.9.	Remarques sur les évacuations d'eau pluviales.....	30
2.4.	Disposition de mise en œuvre .....	30
2.4.1.	Phase de préparation .....	30
2.4.2.	Méthode de pose des pattes .....	32
2.4.3.	Méthode de pose des bacs .....	33
2.4.4.	Méthode de pose du faitage .....	35
2.4.5.	Méthode de pose des rives .....	38
2.4.6.	Méthode de pose de l'éégout .....	39
2.4.7.	Méthode de réalisation des points singuliers.....	40
2.5.	Entretien et réparation.....	43
2.5.1.	Entretien de la couverture .....	43
2.5.2.	Remplacement d'une partie de couverture.....	43
2.6.	Assistance technique .....	43
2.6.1.	Conseil à l'étude.....	43
2.6.2.	Formation des entreprises de pose .....	43
2.6.3.	Assistance au démarrage.....	43
2.6.4.	Assistance technique obligatoire .....	44
2.7.	Principes de fabrication et de contrôle.....	44
2.7.1.	Fabrication des bacs BEMO® N50 et N65 cintrés .....	44
2.7.2.	Contrôles de fabrication des bacs .....	44
2.7.3.	Fabrication des accessoires.....	45

2.7.4.	Contrôles de fabrication des accessoires .....	45
2.8.	Mention des justificatifs.....	45
2.8.1.	Résultats Expérimentaux .....	45
2.8.2.	Références chantiers.....	45
2.9.	Annexes du Dossier Technique .....	46

**Légende tableaux**

Tableau 1 :	Configurations admises et limites d'emploi
Tableau 2 :	Caractéristiques mécaniques des alliages d'aluminium
Tableau 3 :	Tolérances de fabrication des bacs BEMO® N50, N65
Tableau 4 :	Exposition atmosphérique extérieure pour les pentes supérieures ou égales à 3 %
Tableau 5 :	Dénomination des pattes
Tableau 6 :	Caractéristiques mécaniques polypropylène sabots isolants
Tableau 7 :	Formes de couvertures admissibles
Tableau 8 :	Rayons de cintrage minimal
Tableau 9 :	Longueurs, assemblages et pénétrations des bacs BEM en fonction des pentes de couverture
Tableau 10 :	Charges réparties admises en kN/m <sup>2</sup> de neige en pression et de vent en dépression selon les normes NF EN 1991-1-1-3, NF EN 1991-1-1-4 et leurs annexes nationales, BEMO® N50/333
Tableau 11 :	Charges réparties admises en kN/m <sup>2</sup> de neige en pression et de vent en dépression selon les normes NF EN 1991-1-1-3, NF EN 1991-1-1-4 et leurs annexes nationales, BEMO® N50/429
Tableau 12 :	Charges réparties admises en kN/m <sup>2</sup> de neige en pression et de vent en dépression selon les normes NF EN 1991-1-1-3, NF EN 1991-1-1-4 et leurs annexes nationales, BEMO® N50/470
Tableau 13 :	Charges réparties admises en kN/m <sup>2</sup> de neige en pression et de vent en dépression selon les normes NF EN 1991-1-1-3, NF EN 1991-1-1-4 et leurs annexes nationales, BEMO® N65/305
Tableau 14 :	Charges réparties admises en kN/m <sup>2</sup> de neige en pression et de vent en dépression selon les normes NF EN 1991-1-1-3, NF EN 1991-1-1-4 et leurs annexes nationales, BEMO® N65/333
Tableau 15 :	Charges réparties admises en kN/m <sup>2</sup> de neige en pression et de vent en dépression selon les normes NF EN 1991-1-1-3, NF EN 1991-1-1-4 et leurs annexes nationales, BEMO® N65/400
Tableau 16 :	Charges réparties admises en kN/m <sup>2</sup> de neige en pression et de vent en dépression selon les normes NF EN 1991-1-1-3, NF EN 1991-1-1-4 et leurs annexes nationales, BEMO® N65/440
Tableau 17 :	Charges admissibles maximales point fixe par rivet
Tableau 18 :	Charges admissibles maximales point fixe par boulon traversant
Tableau 19 :	Choix du nombre de fixations de la patte sur l'écarteur en fonction de l'effort -Point fixe par rivet
Tableau 20 :	Choix du nombre de fixations de la patte sur l'écarteur en fonction de l'effort -Point fixe par boulon traversant
Tableau 21 :	Choix de l'espacement des étriers pour fixation écarteur sur étrier avec 2 vis -Point fixe par rivet
Tableau 22 :	Choix de l'espacement des étriers pour fixation écarteur sur étrier avec 2 vis -Point fixe par boulon traversant
Tableau 23 :	Choix de l'espacement des étriers pour fixation écarteur sur étrier avec 4 vis -Point fixe par rivet
Tableau 24 :	Choix de l'espacement des étriers pour fixation écarteur sur étrier avec 4 vis -Point fixe par boulon traversant

**Légende figures**

Figure 1 :	Principe global procédé BEMO
Figure 2 :	Profil N50
Figure 3 :	Profil N65
Figure 4 :	Pattes aluminium
Figure 5 :	Pattes aluminium doubles
Figure 6 :	Sabot isolant TK5
Figure 7 :	Sabot isolant TK15
Figure 8 :	Closoir aluminium
Figure 9 :	Mousse de closoir
Figure 10 :	Support de faîtage
Figure 11 :	Patte coulissante
Figure 12 :	Profil de rive
Figure 13 :	Cornière d'égout
Figure 14 :	Closoir d'égout
Figure 15 :	Etrier
Figure 16 :	Ecarteur
Figure 17 :	Tolérances de pose des pattes
Figure 18 :	Point fixe par rivet
Figure 19 :	Point fixe par rivets multiple
Figure 20 :	Point fixe par boulon traversant
Figure 21 :	Coupe toiture froide
Figure 22 :	Coupes toitures chaudes
Figure 23 :	Rayon minimal en zone sommitale
Figure 24 :	Exemple de coupure à réaliser en cas de toiture en forme de vague
Figure 25 :	Forme cintrée pleine voûte convexe ou en demi-voûte convexe

- Figure 26 : Forme cintrée en demi-voûte concave (ou contre voûte)
- Figure 27 : Forme cintrée convexe pleine voûte avec rayons multiples
- Figure 28 : Forme cintrée concave avec rayons multiples
- Figure 29 : Forme cintrée mécaniquement concave avec rayons multiples
- Figure 30 : Manutention des colis
- Figure 31 : Stockage des colis
- Figure 32 : « Malformations potentielles » des bâtiments
- Figure 33 : Traçage des axes de référence sur toiture froide
- Figure 34 : Traçage des axes de référence sur toiture chaude
- Figure 35 : Positionnement des vis sur les pattes
- Figure 36 : Sens de pose
- Figure 37 : Coupes toitures chaudes
- Figure 38 : Délardage des bacs pour recouvrement transversal
- Figure 39 : Ressaut
- Figure 40 : Pince à relever
- Figure 41 : Faîtage sur toiture froide
- Figure 42 : Faîtage sur toiture chaude
- Figure 43 : Faîtage coulissant
- Figure 44 : Rives
- Figure 45 : Pince à larmier
- Figure 46 : Egout
- Figure 47 : Chéneau encaissé
- Figure 48 : Sortie de toiture cylindrique
- Figure 49 : Sortie de toiture rectangulaire
- Figure 50 : Joint de dilatation
- Figure 51 : Principe de continuité de forme des bacs BEMO® N50 et N65 cintrés

# 1. Avis du Groupe Spécialisé

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

## 1.1. Domaine d'emploi accepté

### 1.1.1. Zone géographique

Le procédé est visé pour une mise en œuvre en France métropolitaine et en climat de plaine (altitude  $\leq$  900 mètres).

### 1.1.2. Ouvrages visés

Le procédé BEMO® N50 et N65 cintré est destiné à la réalisation de couvertures de formes cintrées convexe en pleine voûte et demi-voûte convexe (cf. figure 25) ou demi-voûte concave (cf. figure 26), pour des bâtiments dont l'hygrométrie est faible ou moyenne, quelles que soient leur destination, en construction neuve ou rénovation totale (jusqu'à la charpente support).

Ce système, associé à une isolation thermique, est généralement mis en œuvre en couverture « chaude » selon les préconisations du § 2.3.4.2. Il peut également être mise en œuvre en couverture « froide ventilée » sur bâtiments ouverts non isolés selon le § 2.3.4.1.

La longueur maximale des rampants avec bacs de hauteur 65 mm est au plus égale à 100 m. La longueur maximale des rampants avec bacs de hauteur 50 mm est au plus égale à 50 m.

La longueur maximale des bacs de hauteur 65 mm est au plus égale à 100 m. La longueur maximale des bacs de hauteur 50 mm est au plus égale à 50 m.

La longueur des éléments par rapport à la position du point fixe est au maximum de 50 mètres.

La pente est au moins égale à 3 % avec les bacs N65 et N50 (cf. § 2.4.3.6).

Les joints longitudinaux entre les bacs sont orientés dans le sens de la plus grande pente, et les génératrices sont parallèles entre elles.

**Tableau 1 – Configurations admises et limites d'emploi**

Zone		France métropolitaine et climat de plaine (altitude $\leq$ 900 m)	
Type de couverture		Couverture froide ventilée	Couverture chaude
Bâtiment ouvert		Admis	
Bâtiment fermé	Isolé	Non admis	Admis
	Non isolé		Non admis
Pente minimale		3% (cf. § 2.3.6)	
Longueur maximale de bacs et de rampant		BEMO® N50 : longueur 50 m maxi BEMO® N65 : longueur 100 m maxi, point fixe à 50 m maximum	
Franchissement possible du faitage avec pente conforme au § 2.3.6	Bâtiment ouvert	Admis, si longueur entre pignons $\leq$ 12 m	Admis
	Bâtiment fermé	Non admis	
Type de cintrage	Voûte et demi-voûte convexe	Admis	Admis
	Demi-voûte concave	Admis	Admis
	Convexe et concave	Non admis*	
* : Une rupture (chéneaux ou ressaut) est nécessaire à la jonction de deux formes convexe et concave.			

## 1.2. Appréciation

### 1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

#### 1.2.1.1. Stabilité

Elle peut être considérée comme normalement assurée dans les conditions d'emploi préconisées par le Dossier Technique (cf. § 2) étant entendu que l'avis ne concerne que le cas où les pattes de couverture sont disposées au droit de la structure porteuse et fixées sur celle-ci, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une ossature intermédiaire (oméga), sans contribution mécanique de la peau inférieure éventuelle.

#### 1.2.1.2. Sécurité en cas d'incendie

Ce procédé de couverture avec finition nue, alu naturel ou pré-patinée, répond aux exigences de performance vis-à-vis du feu venant de l'extérieur selon l'arrêté du 14 février 2003.

Le classement de réaction au feu des bacs avec finition nue, alu naturel ou pré-patinée, est A1 selon la norme NF EN 13501-1.

Le classement de réaction au feu des bacs avec les autres revêtements définis au tableau 4 n'est pas connu.

Le classement de réaction au feu des bacs avec film régulateur de condensation (cf. § 2.2.2.1.4.5) n'est pas connu.

#### 1.2.1.3. Pose en zones sismiques

Selon la réglementation sismique définie par :

- Le décret N°2010-1254 relatif à la prévention des risques sismiques ;
- Le décret N°2010-1255 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français ;
- L'arrêté du 22 octobre 2010 modifié relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ».

Le procédé peut être mis en œuvre, en respectant les prescriptions du Dossier Technique sur des bâtiments de catégorie d'importance I, II, III et IV, situés en zone de sismicité 1 (très faible), 2 (faible), 3 (modérée) et 4 (moyenne), sur des sols de classe A, B, C, D et E.

Cet avis ne traite pas des mesures préventives spécifiques qui peuvent être appliquées aux bâtiments de catégorie d'importance IV, pour garantir la continuité de leur fonctionnement en cas de séisme.

#### 1.2.1.4. Prévention des accidents lors de la mise en œuvre

La résistance en charge ponctuelle de ce procédé de couverture a fait l'objet d'essai en laboratoire.

Lors des opérations d'entretien, il y a lieu de respecter les dispositions réglementaires relatives à la protection contre les chutes de hauteur.

#### 1.2.1.5. Etanchéité à l'eau

On peut considérer que cette couverture est étanche à l'eau dans les conditions de pose prévue dans le domaine d'emploi (cf. § 1.1).

#### 1.2.1.6. Isolation thermique

Elle est disposée dans l'espace compris entre la sous-face de la couverture et le support continu de celle-ci, selon les dispositions de traitement des « toitures chaudes » prévues par le Dossier Technique (cf. § 2.3.4.2).

Les bâtiments utilisant ce procédé de couverture doivent faire l'objet d'études énergétiques pour vérifier le respect des réglementations thermiques en vigueur qu'il s'agisse de bâtiments neuf ou existants.

Ces études tiennent compte du coefficient de transmission surfacique global d'une paroi  $U_p$  (en  $W/(m^2.K)$ ), ponts thermiques intégrés pris en compte. Dans le cas de couverture chaude isolée, un exemple de calcul des valeurs de ponts thermiques intégrés et des coefficients de transmission surfacique  $U_p$  est disponible en Annexe 3.

#### 1.2.1.7. Complexité de couverture

Ce procédé est destiné à la réalisation de couvertures de formes cintrées cintrées convexe en pleine voûte et demi-voûte convexe (cf. figure 25) ou demi-voûte concave (cf. figure 26), comportant peu de pénétrations. Les joints des bacs de couverture BEMO® N50, N65 cintrés sont parallèles entre eux et alignés selon la ligne de plus grande pente de la toiture.

#### 1.2.1.8. Hygrométrie des locaux et risques de condensation

Ce procédé n'est utilisé que pour des locaux à faible ou moyenne hygrométrie.

Dans le cas de toiture chaude, il convient de soigner la mise en œuvre du pare-vapeur, tel que décrit dans le Dossier Technique.

Dans le cas de toiture froide ventilée, pour les bâtiments ouverts uniquement, les dispositions du DTU 40.35 s'appliquent vis-à-vis de la condensation. En fonction de l'utilisation du local, de son hygrométrie et des variations thermiques et climatiques, il existe un risque de condensation en sous-face de la couverture. C'est pourquoi l'usage d'un régulateur de condensation (cf. § 2.2.2.1.4.5) en sous-face des bacs est obligatoire dans ce cas de figure. Les applications du procédé en toitures froides ventilées requièrent une étude préalable, à l'instigation du maître d'œuvre afin d'étudier la faisabilité de l'installation vis-à-vis des risques de condensation. À défaut d'étude, des conditions météorologiques particulières pourraient conduire à la saturation du régulateur de condensation, amenant des condensations inévitables.

#### 1.2.1.9. Accessibilité

Ce procédé, comme c'est le cas général pour les couvertures aluminium, présente une relative sensibilité au marquage.

Le procédé ne visant pas les chemins de circulation permanents, le maître d'ouvrage devra en tenir compte en cas de présence en toiture d'équipements dont la surveillance ou l'entretien doivent être assurés régulièrement.

Comme tous les procédés de cette famille, la fixation de potelets, de lignes de vie sur le bac (tant en plage que sur les joints debout) ou sur le bac support non porteur est proscrite. Ceux-ci doivent obligatoirement être fixés dans la charpente (qui devra être vérifiée apte à cet usage), en respectant les principes d'étanchéité à l'eau et de pénétrations par soudure (cf. § 2.4.7).

#### 1.2.1.10. Aspects sanitaires

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

#### 1.2.1.11. Acoustique

Les performances acoustiques des systèmes constituent des données nécessaires à l'examen de la conformité d'un bâtiment vis-à-vis de la réglementation acoustique en vigueur :

- Arrêté du 30 juin 1999 relatif aux bâtiments d'habitation ;
- Arrêté du 25 avril 2003 relatif aux hôtels, établissements d'enseignement et de santé ;
- Arrêté du 13 avril 2007 relatif aux travaux de rénovation en zones exposées au bruit.

Le passage de la performance du système à la performance de l'ouvrage peut être réalisé à l'aide d'une des trois approches suivantes :

- Le calcul selon la norme NF EN 12354-1 à 6, objet du logiciel ACOUBAT ;
- Le référentiel QUALITEL ;
- Les Exemples de Solutions Acoustiques, de janvier 2014.

Aucun élément permettant de justifier des performances acoustiques du procédé n'a été fourni.

Cette couverture doit être considérée comme bruyante sous l'effet du vent, de la grêle et des variations rapides de température (choc thermique).

#### 1.2.1.12. Adaptation des revêtements des bacs BEMO® cintrés

##### **Vis-à-vis des ambiances intérieures**

On se référera aux dispositions prévues dans le § 2.14 du DTU 40.36.

##### **Vis à vis des ambiances extérieures**

*Cas des couvertures de pente supérieure ou égale à 5%*

Les dispositions du Guide des Choix (chapitre 2 du DTU 40.36) s'appliquent à ce système. Le § 2.2.2.1.4.2 du Dossier Technique récapitule les dispositions à considérer en fonction de l'exposition atmosphérique extérieure.

*Cas des couvertures de pente comprise entre 3 et 5 %*

Dans ces conditions de pente et en raison des risques de stagnation de dépôts sur la couverture qu'elles peuvent entraîner, l'assistance technique du fabricant doit être systématiquement requise pour préciser la nature du revêtement complémentaire.

#### 1.2.1.13. Fabrication et contrôle

La fabrication des bacs fait appel aux techniques habituelles de profilage des tôles d'aluminium qui est réalisé sur le chantier ou en usine. Dans l'un et l'autre cas, le contrôle des produits fabriqués est à la charge de la Société BEMO.

Dans le cas de fabrication sur le site, il convient de disposer d'une aire de travail adaptée.

Un contrôle des valeurs minimales de limite d'élasticité ( $R_{p0,2}$ ), résistance à la traction ( $R_m$ ) et allongement ( $A_{50mm}$ ) mentionnées au tableau 2 est réalisée à chaque bobine. Toute bobine présentant des valeurs inférieures aux valeurs du tableau 2 est rejetée. Cet Avis est formulé en prenant en compte les contrôles et modes de vérification de fabrication décrits dans le Dossier Technique.

#### 1.2.1.14. Mise en œuvre

La mise en œuvre de ce système est effectuée exclusivement par des entreprises instruites et agréées par la Société BEMO. Le titulaire devra tenir une liste à jour de ces entreprises et pouvoir la mettre à disposition d'un éventuel demandeur.

La réalisation des raccordements sur chantier par soudure nécessite une qualification particulière (cf. § 2.4.7.1).

Le levage des éléments et les manutentions de bacs doivent être effectués avec précaution afin d'éviter les déformations.

L'assistance technique de la Société BEMO doit être requise.

### **1.2.2. Durabilité et entretien**

Dans les conditions de pose prévues par le domaine d'emploi, on peut considérer que la durabilité de cette couverture est comparable à celle des couvertures visées par le DTU 40.36.

### **1.2.3. Impacts environnementaux**

Ce procédé ne dispose d'aucune Déclaration Environnementale <sup>(1)</sup> (DE) et ne peut revendiquer aucune performance environnementale particulière. Il est rappelé que le DE n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé (produit).

(1) Non visé par l'Avis.

## 1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

### Généralités

Comme pour l'ensemble des procédés de cette famille, le Groupe Spécialisé attire l'attention sur le fait que ce procédé est destiné à la réalisation de couvertures :

- Sur support homogène
- Avec peu de pénétrations et de dimensions limitées afin de conserver une ligne de points fixes continue.

Comme pour tous les procédés de cette famille, il est rappelé, spécifiquement dans le cas de pannes minces, que les charges apportées par le procédé sont ponctuelles.

La soudure sur aluminium réalisé par le procédé TIG nécessite le recours à un soudeur qualifié dans ce domaine suivant les préconisations de la norme EN ISO 9606-2.

Le Groupe Spécialisé admet la rédaction du § 2.3.4.2, concernant le bac non porteur support d'isolant et la référence au NF DTU 40.35, faute de référentiel technique approprié pour cette utilisation aux états limites.

Les coefficients de sécurité du procédé par rapport à la ruine sont, en charge ascendante et descendante :

- Flèche inférieure au 1/200ème de la portée ;
- Coefficient de sécurité de 2 par rapport à la ruine des bacs,
- Coefficient de sécurité de 2 par rapport à la ruine des pattes de fixation.

Dans le cas des toitures chaudes, le support d'isolation non porteur en peau inférieure ne reprend que le poids de l'isolant. Dans le cas d'utilisation d'une tôle d'acier nervurée, cette dernière est positionnée avec les nervures saillantes vers le haut.

L'emploi de ce procédé de couverture en climat de montagne (altitude > 900 m), dans les départements et Régions d'Outre-Mer (DROM) n'est pas visé par le présent document.

Comme pour tous les procédés de cette famille, et bien que non présenté au Dossier Technique, le demandeur commercialise des solutions de sur-couverture, d'équipements de protection individuels ou collectives, ou de modules photovoltaïques, assujetties aux recouvrements longitudinaux des bacs à l'aide de pinces ou d'étriers. Le Groupe Spécialisé estime qu'en l'état actuel, les justifications apportées sur cette technologie sont insuffisantes pour considérer que la pérennité de la performance mécanique, de l'étanchéité à l'eau et de la sécurité des travailleurs soient assurées. Ainsi :

- la fixation de solutions de sur-couverture (habillages non étanches, panneaux de bardage, etc...) sur les joints debout est exclue.
- la fixation de modules photovoltaïques n'est pas visée, et relève de la procédure d'Avis Technique du GS 21.

Les chéneaux intérieurs sont des ouvrages de conception et de réalisation délicate (pente, étanchéité à l'eau, corrosion, évacuation des eaux, entretien, etc.) qui nécessitent une consultation du Maître d'Ouvrage par le Maître d'Œuvre, en vue d'obtenir son accord sur la conception et la réalisation d'un tel ouvrage.

Le Dossier Technique prévoit une assistance technique selon le § 2.6. Les cas où cette assistance technique est obligatoire sont récapitulés au § 2.6.4.

### Charpente

Comme pour tous les systèmes de couvertures de cette famille, la charpente doit présenter une tolérance d'implantation permettant la mise en œuvre et le bon fonctionnement du procédé (cf. § 2.3.2).

La charpente du bâtiment devra être conçue en tenant compte de la charge transmise par les pattes du procédé, notamment au droit des points fixes (cf. § 2.3.1.3).

### Couvertures cintrées

La réalisation d'un cintrage convexe et concave dans un même bac n'est pas évaluée dans ce DTA (cf. § 2.3.7). Une rupture (chéneaux ou ressaut) est nécessaire à la jonction de deux formes convexe et concave.

Dans le cas de cintrage naturel, un effet de facetage n'est pas à exclure. Un effet de pochage dans la plage plane des bacs peut également apparaître. Ces effets ne sont toutefois pas préjudiciables au bon fonctionnement et à la durabilité du procédé. Le facetage peut être réduit en réduisant les portées des bacs.

Dans le cas de couverture chaude isolée cintrée, le bac support non porteur, tout comme le bac BEMO®, est à choisir en fonction de ses capacités de cintrage. Selon les cas, il peut être nécessaire de poser ce bac support non porteur sur deux appuis, et de réaliser une facetisation de la sous-face de la couverture.

Dans le cadre du présent DTA, les zones de pente supérieure à 173 % en prolongation de la couverture sont admises (cf. § 2.3.6). Toutefois, il ne faut pas considérer ces zones comme un bardage, notamment parce que la conception de l'intégration de baies dans ces zones n'est pas traitée. Si tel est le cas, un DTA du Groupe Spécialisé n° 2.2 est envisageable.

### Sécurité

Comme pour tous les procédés de cette famille, la fixation d'équipements de protection individuels (potelets, de lignes de vie, etc...) ou collectives (chemins de circulation, etc...) sur le profilé, le joint debout, ou dans le support d'isolation inférieur non porteur est proscrite. Ces éléments sont ancrés dans la charpente, qui devra être vérifiée apte à cet usage.

## 2. Dossier Technique

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

### 2.1. Mode de commercialisation

#### 2.1.1. Coordonnées

Titulaire : BEMO SYSTEMS GmbH  
 Max-Eyth Strasse 2  
 D-74532 Ilshofen  
 Tél : +49 7904 298 9960  
 E-Mail : [sales@bemo.com](mailto:sales@bemo.com)  
 Internet : [www.bemo.com](http://www.bemo.com)

Distributeur : BEMO SYSTEMS GmbH  
 Branche France  
 1 Avenue de Altkirch  
 68100 Mulhouse  
 E-Mail : [bemofrance@bemo.com](mailto:bemofrance@bemo.com)  
 Internet : [www.bemo.com](http://www.bemo.com)

#### 2.1.2. Mise sur le marché

En application du règlement (UE) n° 305/2011, le produit « système à joint debout BEMO® cintré » fait l'objet d'une Déclaration de Performances (DdP) établie par la société BEMO Systems GmbH sur la base de la Norme NF EN 14782 : 2006.

Les produits conformes à cette DdP sont identifiés par le marquage CE.

#### 2.1.3. Identification

Les bacs profilés sont dénommés BEMO® N50/333, BEMO® N50/429, BEMO® N50/470, BEMO® N65/305, BEMO® N65/333, BEMO® N65/400, BEMO® N65/440.

Les différents profils sont illustrés par les figures 2 et 3 du Dossier Technique.

### 2.2. Description

#### 2.2.1. Principe

Système de couverture à joint debout aluminium serti autoportant juxtaposés, assemblés et sertis longitudinalement. Il se compose de bacs BEMO® N50, N65 cintrés emboîtés sur des pattes de fixations reliées à la structure. Les bacs se dilatent librement sur les pattes de fixation et aucune fixation ne les traverse. Un point fixe est réalisé à chaque bac afin de maîtriser la dilatation.

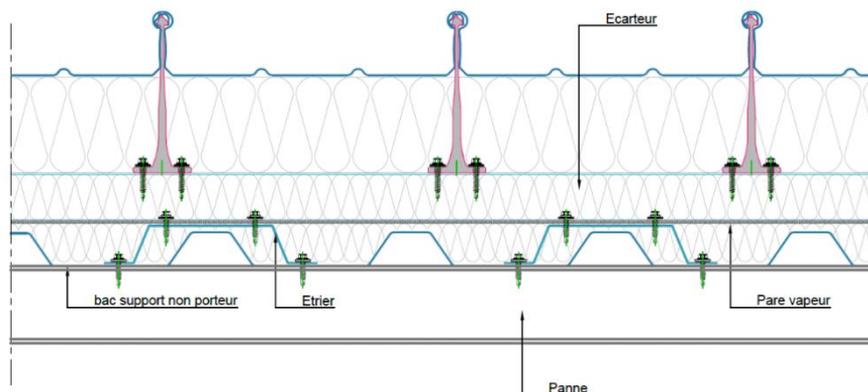


Figure 1 – Principe global procédé BEMO® N50 et N65 cintré

#### 2.2.2. Caractéristiques des composants

##### 2.2.2.1. Bacs BEMO® N50 et N65 cintrés

###### 2.2.2.1.1. Généralités

Les bacs concernés par le présent document sont les profils avec relevé hauteur 50 mm dénommés BEMO® N50/xxx (xxx : largeur du bac) et les profils avec relevé hauteur 65 mm dénommés BEMO® N65/xxx.

### 2.2.2.1.2. Alliages d'aluminium utilisés

Les alliages d'aluminium utilisés pour la fabrication des bacs de la gamme BEMO sont de type EN AW-3004 H36, EN AW-3005 H26 selon la norme NF EN 485-2. Pour les bobines prélaquées les alliages d'aluminium utilisés sont de type EN AW-3004 H46 ou EN AW-3005 H46 ou H48 selon la norme EN 1396.

Les caractéristiques mécaniques minimales des alliages sont reprises dans le tableau 2. BEMO se charge de vérifier que les caractéristiques mentionnées au tableau 2 sont respectées pour chaque bobine (cf. § 2.7.2.1.1).

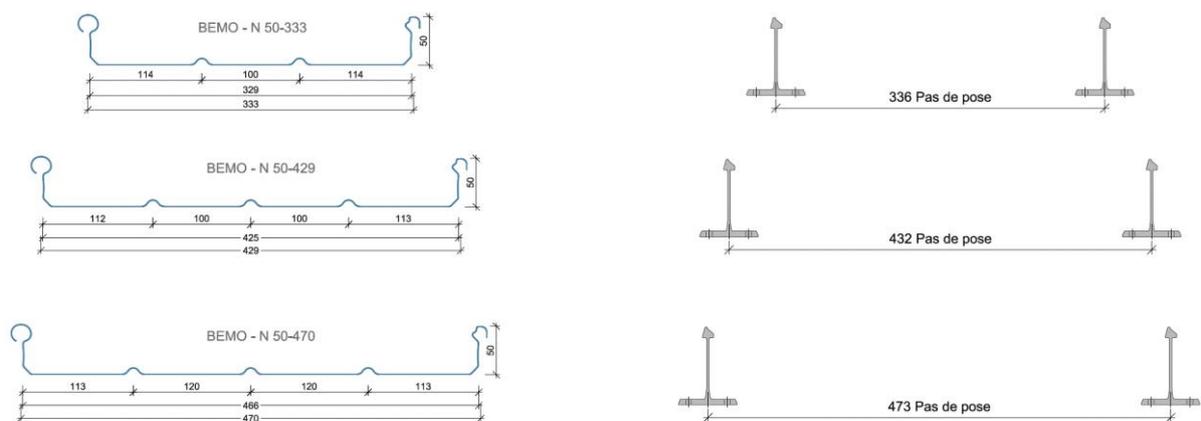
**Tableau 2 – Valeurs caractéristiques mécaniques minimales des alliages d'aluminium**

Limite d'élasticité min. $R_{p0,2}$	Résistance à la traction min. $R_m$	Allongement min. $A_{50\text{ mm}}$
N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%
185	200	3,0

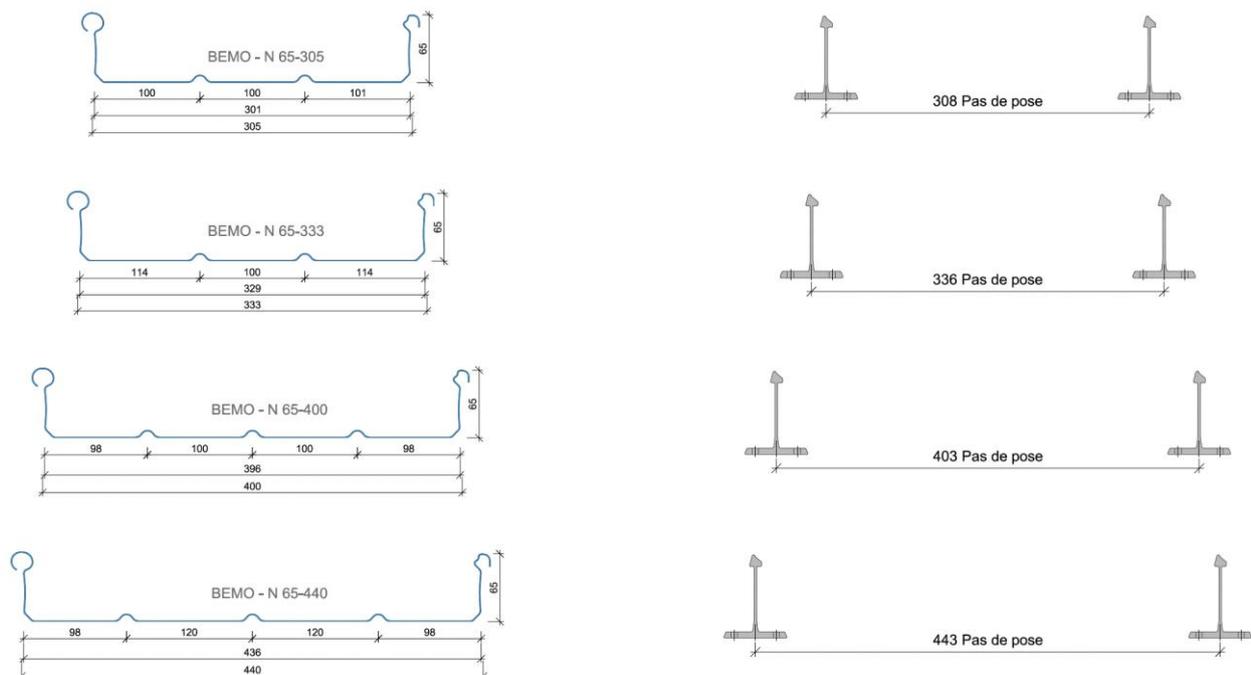
### 2.2.2.1.3. Dimensions et tolérances des bacs

Les caractéristiques dimensionnelles des bacs sont indiquées sur les figures 2 à 3.

Les tolérances de fabrication sont indiquées dans le tableau 3.



**Figure 2 – Profil N50**



**Figure 3 – Profil N65**

**Tableau 3 – Tolérances de fabrication des bacs BEMO® N50 et N65 cintrés**

Dimension	Tolérance	Norme de référence
Pas de pose	-0 / +1 mm	Référentiel interne
Hauteur des relevés	+/- 1,5 mm	EN 508-2
Epaisseur nominale de l'aluminium	-0,03 / +0,01 de 0,7 à 0,8 mm - 0,035 / +0,01 de 0,9 à 1,0mm -0,045 / +0,01 de 1,0 à 1,2 mm	EN 485-4 (restreinte)
Longueur des bacs	- 5 / + 20 mm pour $L_{max} = 100$ m	EN 508-2

#### 2.2.2.1.4. Finition et aspect de surface des bacs

##### 2.2.2.1.4.1. Généralités

Les bacs peuvent être livrés lisses, ou avec une gravure dénommée Stucco. Ces deux aspects de surface sont disponibles quelles que soient les finitions (nue, alu naturel, laqué ou pré-patiné).

##### 2.2.2.1.4.2. Laquage

Le tableau 4 indique le type de revêtement à utiliser en fonction de l'exposition atmosphérique extérieure où seront installés les bacs de couverture.

**Tableau 4 – Exposition atmosphérique extérieure pour les pentes supérieures ou égales à 3 % <sup>(1)</sup>**

Revêtement	Exposition atmosphérique extérieure							
	Rurale non polluée	Industrielle ou urbaine		Marine				Spéciale
		Normale	Sévère	20 à 10 km	10 à 3 km	Bord de mer < 3 km <sup>(3)</sup>	Mixte	Particulière
Aluminium nu ou pré-patiné (2)	■	■	□	■	■	■	□	□
Laquage polyester 25 µm mini	■	□	-	-	-	-	-	-
Laquage polyester 2L EuraBuild® PE 23 µm	■	□	-	-	-	-	-	-
Laquage PVDF 2L REYNOLUX® PVDF 25 µm	■	■	□	■	■	■	□	□
Laquage PVDF 2L EuraBuild® PVDF 25 µm	■	■	□	■	■	□	□	□
Laquage PVDF 3L REYNOLUX® PVDF 40 µm	■	■	□	■	■	■	□	□
Laquage PVDF 3L EuraBuild® PVDF 40 µm	■	■	□	■	■	□	□	□
BEMO-FLON® REYNOLUX® FEVE 25 µm	■	■	□	■	■	■	□	□

(1) Pentes comprises entre 3 % et 5 % : consulter la Société BEMO SYSTEMS.

(2) Par référence aux expositions atmosphériques définies par l'annexe B.1 du DTU 40.36.

(3) Hors Front de mer, où l'accord du fabricant est obligatoire.

■ Matériaux adaptés à l'exposition.

□ Matériaux dont le choix définitif ainsi que les caractéristiques doivent être arrêtées après consultation et accord du fabricant.

- Non adapté.

##### 2.2.2.1.4.3. Anodisation

Une oxydation flash ou pré-patinage peut être pratiquée en surface des bacs aluminium afin de limiter la brillance et les effets d'éblouissement.

##### 2.2.2.1.4.4. Protection de surface

Sur demande client, les bacs, quelles que soient les finitions, peuvent être livrés filmées sur tout ou partie de la surface. Le film de protection doit être enlevé dans les 10 jours suivant la pose pour éviter tout transfert de colle sur la surface des bacs BEMO® N50 et N65 cintrés. Cette règle est également valable pour les pièces d'habillage : rives, faîtière, solin....

### 2.2.2.1.4.5. Régulateur de condensation

Lorsque les bacs BEMO® N50 et N65 cintrés sont mis en œuvre en couverture froide ventilée sur bâtiments ouverts, un film régulateur de condensation (DRIPSTOP C04881 95) est apposé sur leur face intérieure lors de l'opération de profilage. La capacité d'absorption-désorption de ce film est de 600 g/cm<sup>2</sup> selon la norme NF P 15-203-1, réf. DTU 27-2, valeur moyenne en fin de phase d'absorption.

#### Caractéristiques du régulateur de condensation :

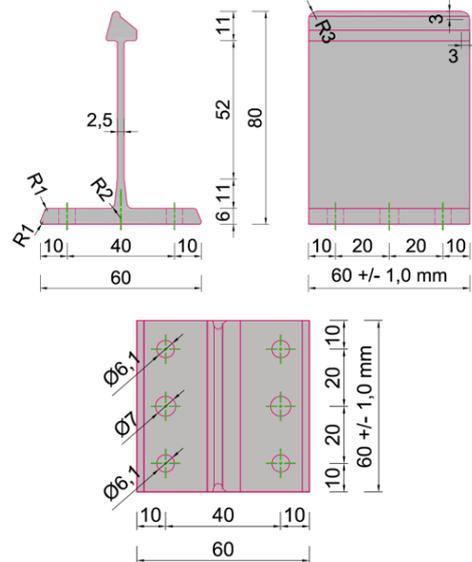
- Épaisseur : < 1 mm ;
- Poids : 95 g/m<sup>2</sup>.

### 2.2.2.2. Pattes de fixation et sabots isolants

#### 2.2.2.2.1. Pattes aluminium

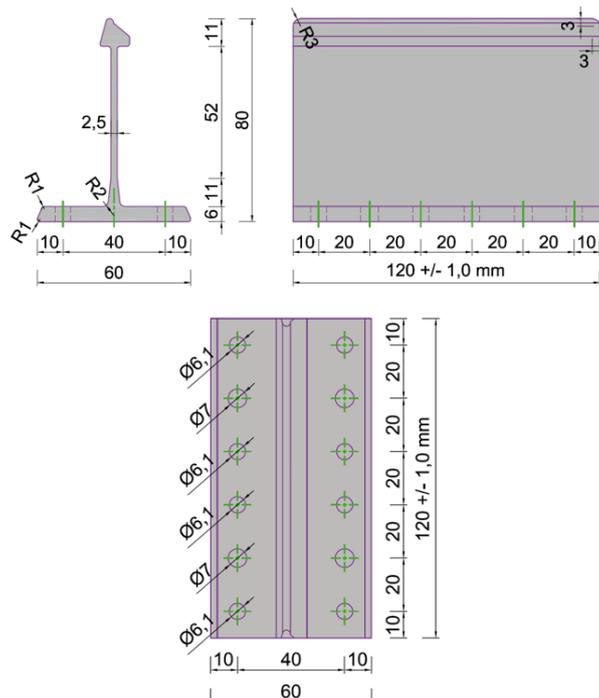
Les pattes support en aluminium sont fabriquées par extrusion dans un alliage d'aluminium de type EN AW 6060 T 66 selon NF EN 573-3 (cf. figure 4). Leur tête est asymétrique. Le sens de pose détermine donc leur positionnement.

Deux types de longueurs (dans le sens des joints des bacs) sont disponibles : 60 et 120 mm. Les pattes de 120 mm dites « doubles » (cf. figure 5) sont utilisées au droit des points fixes en cas de fortes sollicitations.



\* Les différentes hauteurs disponibles sont indiquées dans le tableau 5

**Figure 4 – Patte Aluminium H 80\***



\* Les différentes hauteurs disponibles sont indiquées dans le tableau 5

**Figure 5 – Pattes doubles H 80\***

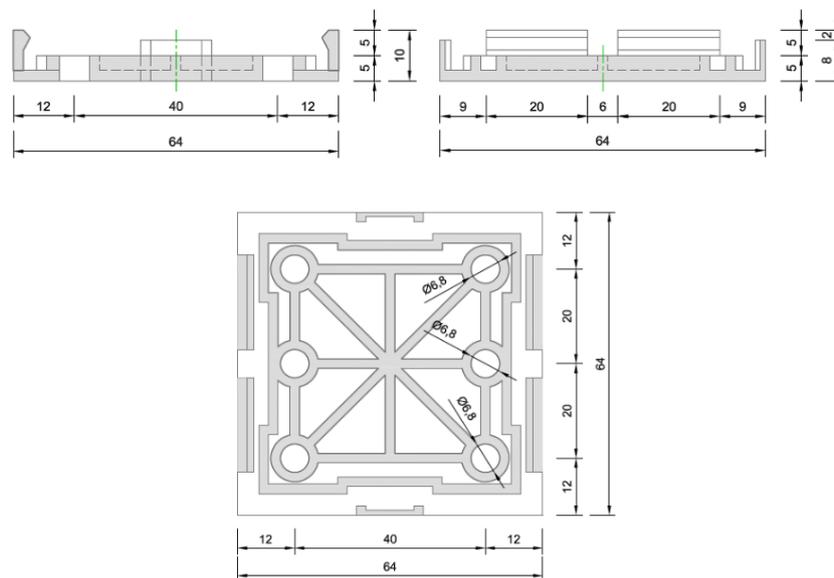
### 2.2.2.2.2. Sabot isolant

Dénommés TK5 et TK15, et d'épaisseur respective 5 et 15 mm, les sabots isolants sont fabriqués par injection à partir d'une matière plastique PPC 7712, polypropylène (cf. figures 6 et 7). Le sabot TK5 est systématiquement utilisé avec les pattes aluminium. Le sabot TK15 permet d'obtenir des hauteurs de pattes intermédiaires (cf. tableau 5). L'empilage de plusieurs sabots est proscrit.

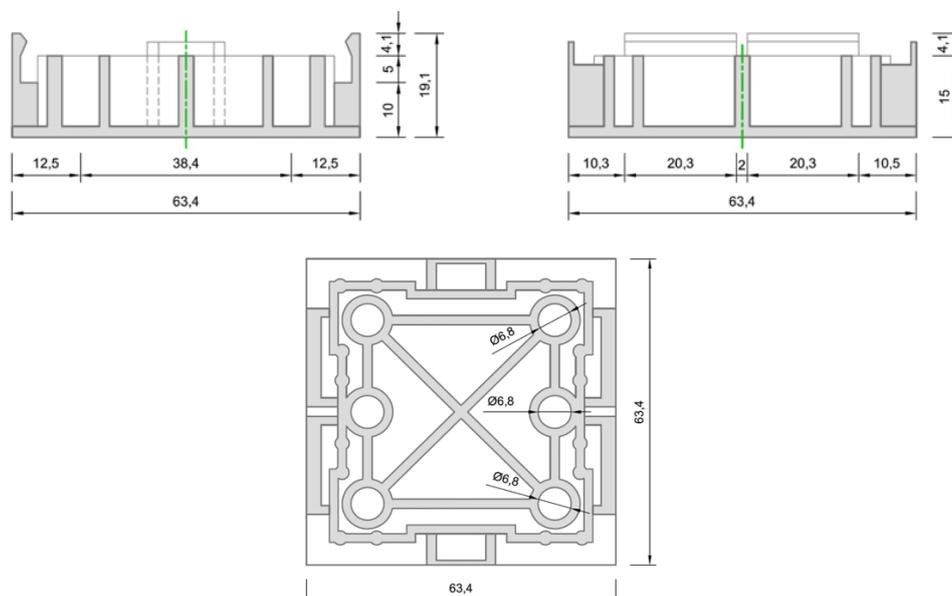
Dans le cas de l'utilisation avec des pattes doubles, les relevés des sabots isolants sont rompus ce qui permet leur aboutage. Le tableau 6 indique les caractéristiques mécaniques du polypropylène utilisé.

**Tableau 6 – Caractéristiques mécaniques Polypropylène**

Caractéristique mesurée	Valeur	Norme de référence
Densité (g/cm <sup>3</sup> )	≥ 0,905	ISO 1183
Contrainte de rupture en traction (MPa)	≥ 23,00	ISO 527-2
Allongement à la rupture en traction (MPa)	≥ 6,0 %	ISO 527-2
Résistance au choc Charpy (23°C entaillé) en kJ/m <sup>2</sup>	≥ 4	ISO 180
Dureté Rockwell	80	ISO 2039-2



**Figure 6 – Sabot isolant TK5**

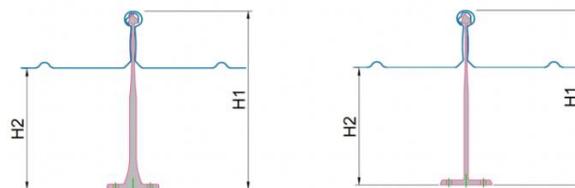


**Figure 7 – Sabot isolant TK15**

### 2.2.2.3. Tableau récapitulatif des hauteurs de complexe

Le tableau 5 reprend les dimensions de chaque type de pattes et des hauteurs de complexe associées.

**Tableau 5 – Dénomination des pattes**



Désignation des pattes alu /60 simple - /120 double	Hauteur H1 (en mm)	Hauteur H2 (en mm) Bac BEMO N50	Hauteur H2 (en mm) Bac BEMO N65
Patte alu 65/60 ou 65/120	65	15	Incompatible
Patte alu 65/60 ou 65/120 + TK5	70	20	Incompatible
Patte alu 65/60 ou 65/120 + TK15	80	30	Incompatible
Patte alu 80/60 ou 80/120	80	30	15
Patte alu 80/60 ou 80/120 + TK5	85	35	20
Patte alu 80/60 ou 80/120 + TK15	95	45	30
Patte alu 100/60 ou 100/120	100	50	35
Patte alu 100/60 ou 100/120 + TK5	105	55	40
Patte alu 100/60 ou 100/120 + TK15	115	65	50
Patte alu 120/60 ou 120/120	120	70	55
Patte alu 120/60 ou 120/120 + TK5	125	75	60
Patte alu 120/60 ou 120/120 + TK15	135	85	70
Patte alu 140/60 ou 140/120	140	90	75
Patte alu 140/60 ou 140/120 + TK5	145	95	80
Patte alu 140/60 ou 140/120 + TK15	155	105	90
Patte alu 160/60 ou 160/120	160	110	95
Patte alu 160/60 ou 160/120 + TK5	165	115	100
Patte alu 160/60 ou 160/120 + TK15	175	125	110
Patte alu 180/60 ou 180/120	180	130	115
Patte alu 180/60 ou 180/120 + TK5	185	135	120
Patte alu 180/60 ou 180/120 + TK15	195	145	130
Patte alu 200/60 ou 200/120	200	150	135
Patte alu 200/60 ou 200/120 + TK5	205	155	140
Patte alu 200/60 ou 200/120 + TK15	215	165	150
Patte alu 220/60 ou 220/120	220	170	155
Patte alu 220/60 ou 220/120 + TK5	225	175	160
Patte alu 220/60 ou 220/120 + TK15	235	185	170

### 2.2.2.3. Visserie

#### 2.2.2.3.1. Généralités

Les vis utilisées pour la fixation des pattes dans les différents types de support devront justifier à minima :

- Soit d'une résistance caractéristique à l'arrachement de l'ensemble « patte aluminium + 2 vis »  $P_k$  (selon norme NF P 30-310)  $\geq 4,27$  kN dans le support considéré ;
- Soit d'une résistance caractéristique à l'arrachement par vis  $P_k$  (selon norme NF P 30-310)  $\geq 2,89$  kN dans le support considéré.

Les vis peuvent être de type auto-perceuses ou auto-taraudeuses.

La capacité de perçage mentionnée sur la fiche technique devra être en adéquation avec l'épaisseur du support.

La longueur de la vis devra être suffisante pour pouvoir apercevoir un dépassement du filet de la vis en sous-face.

### 2.2.2.3.2. Support acier

La fixation des pattes aluminium sur support acier peut s'effectuer :

- Soit dans les trous opposés de diamètre 6,1 mm (cf. figure 35) avec des vis en acier inoxydable austénitique A2 de type :
  - SDK3-S-377-6,0 x 30
  - Ou vis de diamètre 5,5 ou 6 mm, à tête hexagonale de 8 mm, avec rondelle d'étanchéité inox avec joint vulcanisé monobloc (75 shore, épaisseur 2 mm) diamètre 16 mm (non fournie par BEMO) ;
- Soit dans les trous opposés de diamètre 7 mm (cf. figure 35) avec deux vis en acier inoxydable austénitique A2 de diamètre 6,3 mm à tête hexagonale de 8 mm, avec rondelle d'étanchéité inox avec joint vulcanisé monobloc (75 shore, épaisseur 2 mm) diamètre 16 mm (non fournie par BEMO).

### 2.2.2.3.3. Support bois

La fixation des pattes aluminium sur support bois peut s'effectuer :

- Soit dans les trous opposés de diamètre 6,1 mm (cf. figure 35) avec des vis en acier inoxydable austénitique A2 de diamètre 6 mm, à tête hexagonale de 8 mm, avec rondelle d'étanchéité inox avec joint vulcanisé monobloc (75 shore, épaisseur 2 mm) diamètre 16 mm (non fournie par BEMO) ;
- Soit dans les trous opposés de diamètre 7 mm (cf. figure 35) avec deux vis en acier inoxydable austénitique A2 de diamètre 6,5 mm à tête hexagonale de 8 mm, avec rondelle d'étanchéité inox avec joint vulcanisé monobloc (75 shore, épaisseur 2 mm) diamètre 16 mm (non fournie par BEMO).

Longueur d'ancrage dans le support bois est de 50 mm mini.

### 2.2.2.3.4. Support béton

La pose sur béton se fait par l'intermédiaire d'ancrages métalliques conformes au DTU 40.35. La visserie utilisée est celle préconisée pour les supports acier.

## 2.2.2.4. Accessoires de montage BEMO® SYSTEMS

### 2.2.2.4.1. Généralités

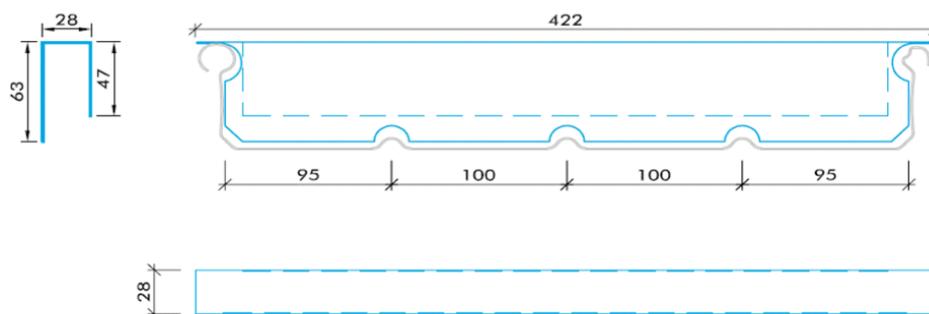
Le procédé est conçu avec ses accessoires de montage spécifiquement adapté aux points singuliers. L'utilisation de ces accessoires d'origine, à l'exception de tout autre, est requis pour une parfaite fonctionnalité du système.

### 2.2.2.4.2. Accessoires de faitage

En fonction des configurations de toiture et de la pente de la couverture, plusieurs accessoires peuvent être mis en œuvre simultanément, à savoir :

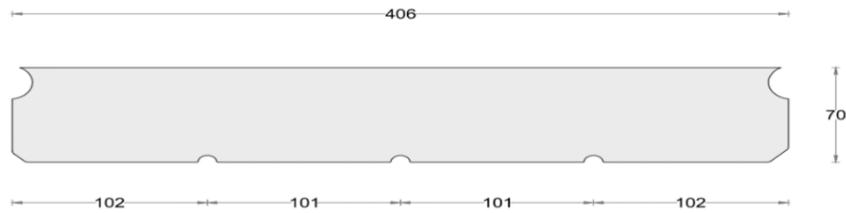
- Le closoir aluminium (cf. figure 8), pièce pliée réalisée dans le même alliage que les bobines utilisées pour les bacs BEMO® N50 et N65 cintrés, livrée à la largeur du bac ;
- La mousse de closoir (cf. figure 9), pièce réalisée en mousse de polyéthylène, livrée à la largeur du bac, à utiliser uniquement pour des pentes inférieures à 10% ;
- Le support de faitage (cf. figure 10), pièce pliée réalisée dans le même alliage que les bobines utilisées pour les bacs BEMO® N50 et N65 cintrés, livrée en longueur de 3 m ;
- La patte coulissante (cf. figure 11), pièce réalisée par injection à partir d'un alliage EN AW 6060 T66 selon NF EN 573-3, est utilisée pour maintenir la pièce de faitage lorsque le point fixe est réalisé à l'égout.

Les principes de montage sont explicités au § 2.4.4. Ces accessoires sont également utilisés pour la réalisation de ressaut.



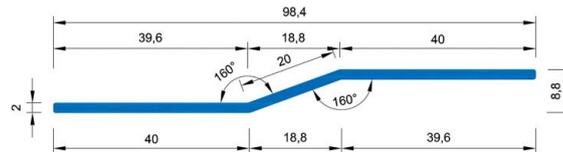
(Exemple pour un bac de largeur 400 mm – en gris sur la figure)

**Figure 8 – Closoir Aluminium**

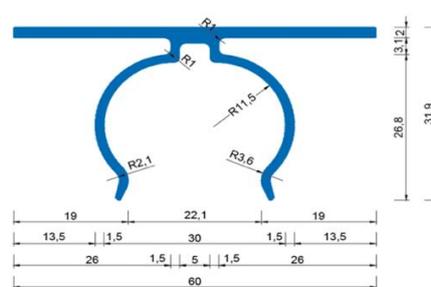


(Exemple pour un bac de largeur 400 mm)

**Figure 9 – Mousse de closoir Aluminium**



**Figure 10 – Support de faitage**

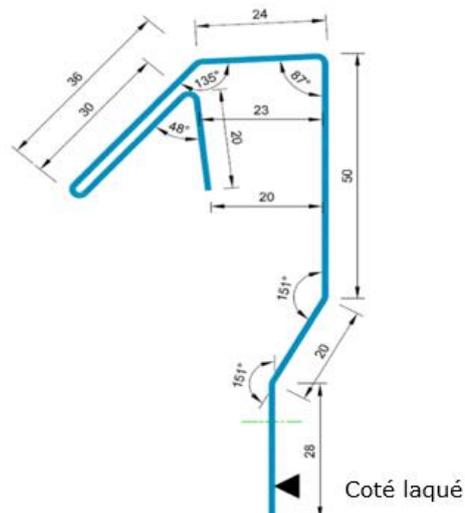


**Figure 11 – Patte coulissante**

### 2.2.2.4.3. Accessoire de rive

La réalisation de la rive est assurée par le profil de rive (cf. figure 12), pièce pliée réalisée dans le même alliage que les bobines utilisées pour les bacs BEMO® N50 et N65 cintrés, livrée en longueur de 3 m. Le profil de rive est cintré naturellement sur le chantier ou, si cela n'est pas possible, il sera encoché à intervalles réguliers afin de permettre son cintrage.

Les principes de montage sont explicités au paragraphe 2.4.5.



**Figure 12 – Profil de rive**

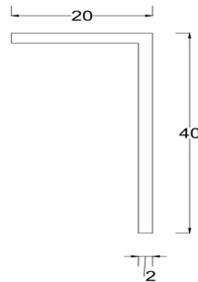
#### 2.2.2.4.4. Accessoires d'égout

La réalisation de l'égout nécessite trois accessoires à savoir :

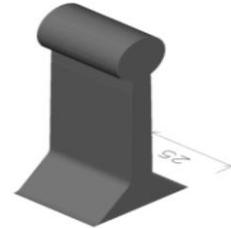
- La cornière d'égout (cf. figure 13), pièce réalisée par injection à partir d'un alliage EN AW 6060 T66 selon NF EN 573-3, livrée en longueur de 6 m.
- Le closoir d'égout (cf. figure 14), pièce réalisée en mousse de polyéthylène, livrée à la hauteur du bac (50 ou 65).
- Le joint compribandé adhésif, livré en rouleau de 13 m.

Les principes de montage sont explicités au paragraphe 2.4.6.

Ces accessoires sont également utilisés pour la réalisation de ressaut.



**Figure 13 – Cornière d'égout**



**Figure 14 – Closoir d'égout**

#### 2.2.2.4.5. Equipement de toiture

La pose de chemins de circulation ou de potelets pour l'équipement de protection collective ou individuelle ne doit pas être effectuées sur les bacs de couverture BEMO® N50 ou N65 cintrés (ni en plage, ni sur les joints debout) et donc ne doit pas les solliciter mécaniquement.

La solution consiste alors à venir rechercher la charpente, vérifiée apte à cet usage, en traversant le complexe de couverture. L'étanchéité entre les habillages des supports traversant la couverture et les bacs BEMO® N50 ou N65 cintrés sera réalisée par soudure (cf. § 2.4.7). L'assistance technique de la société BEMO SYSTEMS GmbH est obligatoire. Un autocontrôle des soudures formalisé sera systématiquement réalisé par l'entreprise de pose.

Les contraintes liées à la dilatation des bacs seront prises en compte lors du montage de ces habillages (cf. § 2.3.1.2).

#### 2.2.2.5. Accessoires « externes » de montage

Les bacs supports non porteur ainsi que l'isolation thermique ne font pas partie des fournitures BEMO®.

##### 2.2.2.5.1. Bac support non porteur

En cas de mise en œuvre en toiture chaude reconstituée, le bac support non porteur fait l'objet d'une fiche technique et est conforme au DTU 40.35 (les tôles d'acier nervurées perforées étant admises dans les mêmes conditions), DTU 40.36 (posé conformément au DTU 40.35). Le choix de ce bac est lié au rayon de cintrage de la couverture. Une pose du bac support non porteur sur deux appuis peut être envisagée si nécessaire. Il convient donc d'en tenir compte concernant les couches d'isolant à mettre en œuvre pour garantir un contact en tout point entre le fond de plage des bacs BEMO® N50 ou N65 cintrés et l'isolant.

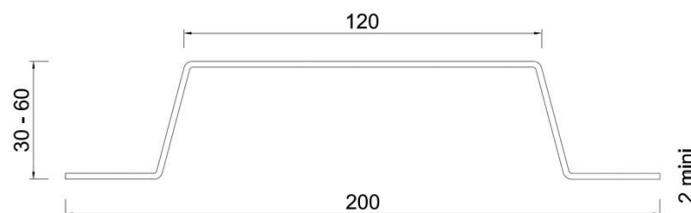
##### 2.2.2.5.2. Ossature secondaire

L'ossature secondaire est utilisée pour la réalisation de toiture chaude. Elle est constituée d'étriers et d'écarteurs fixés à la charpente. Elle a pour fonction de reporter les charges sur celle-ci et de ne pas solliciter le bac support non porteur.

###### 2.2.2.5.2.1. Etrier

L'étrier (cf. figure 15), pièce pliée réalisée en acier galvanisé S250 GD de classe de protection minimale Z 275, d'épaisseur minimale de 2 mm. Cet élément ponctuel est fixé dans de la charpente, par deux vis au minimum, au-dessus du bac support, non porteur avec un espacement régulier défini par calcul (voir Annexes 1 et 2).

La résistance de l'étrier devra faire l'objet d'une justification particulière selon les normes NF EN 1993-1\_3 et NF EN 1993-1-3/NA, au cas par cas.



**Figure 15 – Etrier**

### 2.2.2.5.2.2. Ecarteur

L'écarteur (cf. figure 16), pièce pliée réalisée en acier galvanisé S250 GD de classe de protection minimale Z 275, d'épaisseur minimale de 1,5 mm. Cet élément filant est fixé sur les étriers, par deux vis au minimum, avec un espacement régulier défini par calcul (voir Annexes 1 et 2).

La résistance de l'étrier devra faire l'objet d'une justification particulière selon les normes NF EN 1993-1-3 et NF EN 1993-1-3/NA, au cas par cas.

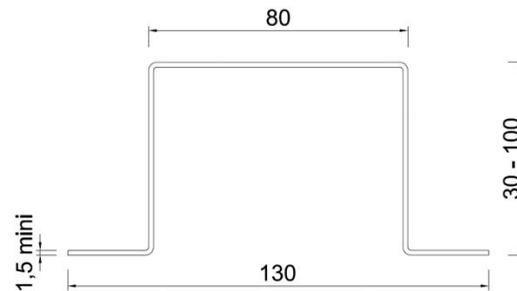


Figure 16 – Ecarteur

### 2.2.2.5.3. Pare vapeur

En cas de mise en œuvre en toiture chaude reconstituée (cf. § 2.3.4.2), l'utilisation d'un pare vapeur indépendant est nécessaire. En fonction du projet il pourra être positionné selon la règle du 2/3 – 1/3 ou du 3/4 – 1/4 (cf. § 2.3.4.2).

L'ouvrage pare-vapeur est conforme à la norme NF DTU 43.3 +A1.

En tout état de cause, ce pare-vapeur doit être réalisé de façon à ce qu'il constitue un ouvrage continu. Un soin tout particulier devra également être apporté aux accidents de couverture et à la périphérie de celle-ci (remontée du pare-vapeur afin d'assurer la continuité du complexe).

Dans le cas de mise en œuvre de bacs supports non porteur perforés, le pare-vapeur sera composé d'un voile de verre de grammage minimum 60 g/m<sup>2</sup>, collé sur une feuille d'aluminium d'épaisseur minimale 40 µm.

### 2.2.2.5.4. Isolation thermique

Les caractéristiques et épaisseur de l'isolant sont conformes au DTU 40.35. L'isolant doit posséder un classement WS (absorption d'eau à court terme ≤ 1 kg/m<sup>2</sup> selon la norme NF EN 13162+A1).

L'épaisseur de l'isolant et la hauteur de patte utilisée doivent permettre de comprimer la couche supérieure de l'isolant entre 15 et 30 mm, ceci afin d'éviter la formation de poche d'air sous la plage plane des bacs BEMO® N50 et N65.

À l'égout, au faitage et autour des pénétrations, un isolant en laine minérale haute densité de classe de compressibilité C (selon Guide UEAtc, e-cahier du CSTB n°2662\_V2) possédant un DTA de panneaux isolant support d'étanchéité du Groupe Spécialisé n° 5.2, doit être mis en œuvre.

Les ponts thermiques sont à évaluer selon l'Annexe 3.

## 2.3. Disposition de conception

### 2.3.1. Contraintes liées à l'aluminium

#### 2.3.1.1. Contacts interdits

Les différents alliages d'aluminium utilisés pour la fabrication des bacs, des pattes et des accessoires de montage ne doivent en aucun cas être en contact avec,

- pour le bois : le chêne, le châtaignier, ainsi que les bois traités avec des oxydes métalliques de cuivre ;
- pour les métaux : le cuivre, le plomb, l'étain, l'acier non protégé ainsi que les revêtements contenant du plomb, du cuivre, du fer ou du mercure.
- lorsqu'il s'agit d'un support en plâtre ou en mortier de ciment, le contact direct avec le plâtre et le ciment est interdit. Toutefois, ces interdictions ne s'appliquent pas aux ouvrages localisés tels que solins, engravures...

Les contacts autorisés sont les suivants : le zinc, l'acier inoxydable, l'acier galvanisé ou protégé d'un revêtement contenant du zinc.

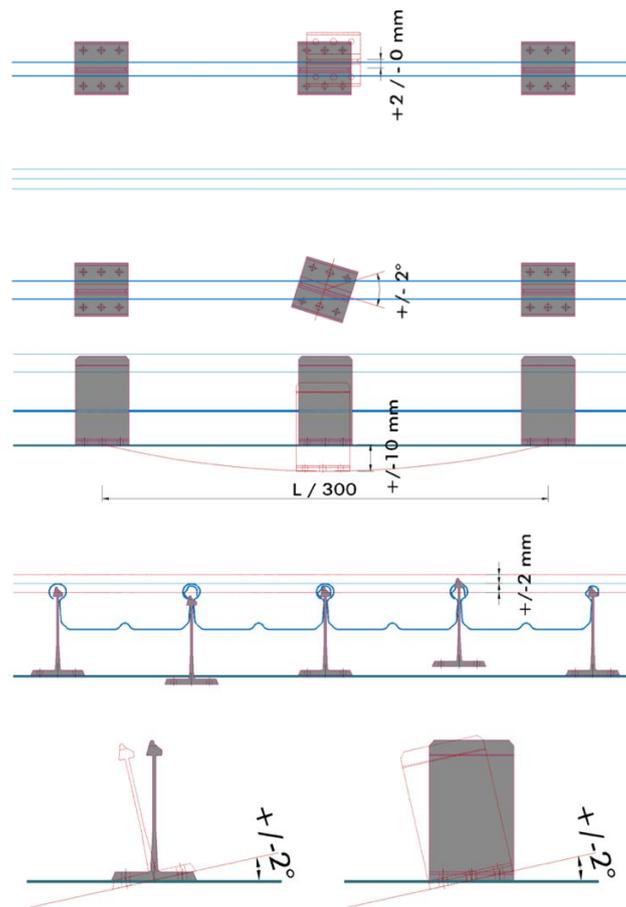
#### 2.3.1.2. Dilatation

Comme tous les matériaux, l'aluminium se dilate et se rétracte au gré des variations de températures. Le coefficient de dilatation de l'aluminium est de  $24.10^{-6} / ^\circ\text{C}$ .

Pour des raisons pratique, la valeur de 1,5 mm par mètre est retenue.

Un jeu minimal de 20 mm devra être respecté entre la cornière d'égout et le chéneau (cf. figure 46), ainsi qu'entre les habillages de sorties de toiture et les costières (cf. § 2.4.7.2 et § 2.4.7.3).

L'alignement des pattes doit donc respecter les tolérances mentionnées en figure 17 afin de limiter les efforts liés à la dilatation des bacs sur les pattes, et l'usure de celles-ci du fait des cycles journaliers répétés.



**Figure 17 – Tolérances de pose des pattes**

### 2.3.1.3. Effort sur le point fixe

Chaque bac BEMO® N50 ou N65 cintré est doté d'un point fixe et un seul par fixation mécanique. Les points fixes sont réalisés sur les pattes aluminium exclusivement, et sont alignés sur un même axe perpendiculaire aux bacs.

Ces efforts et donc le dimensionnement du point fixe dépendent de :

- La longueur du rampant considéré ;
- La pente de la couverture ;
- Le poids propre des bacs BEMO® utilisés ;
- La charge de neige.

La ligne de point fixe est située au maximum à 50 m des extrémités de bacs. En conséquence pour les bacs de longueur maximale (100 m) la ligne sera placée au milieu des bacs, nécessitant la réalisation d'un faitage coulissant conformément à la figure 43. L'Annexe 1 indique la méthode d'étude de faisabilité des formes de la couverture et le positionnement du point fixe.

Le calcul du point fixe est effectué par le service technique de la société BEMO pour chaque projet. Un exemple de calcul est fourni en Annexes 2 et 3.

Le calcul du point fixe est réalisé de la façon suivante :

- Un premier calcul, avec une charge de neige de 50 % sur la zone de couverture située à gauche du point fixe et une charge de 100 % sur la zone de couverture située à droite ;
- Un second calcul, avec une charge de neige de 100 % sur la zone de couverture située à gauche du point fixe et une charge de 50 % sur la zone de couverture située à droite.

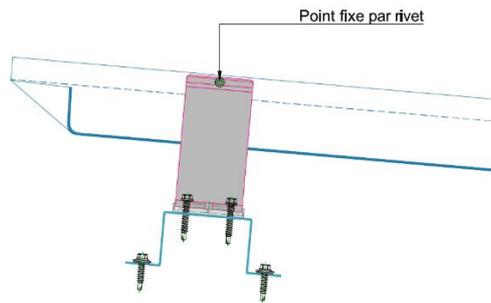
La valeur déterminante retenue pour réaliser le point fixe est la valeur de la composante tangentielle la plus défavorable obtenue en effectuant ces deux calculs. Dans le cas où la couverture est constituée d'un seul rampant, il est évident que le cas de 100 % de neige est déterminant.

À noter que la charge sur le point fixe est indépendante de sa position.

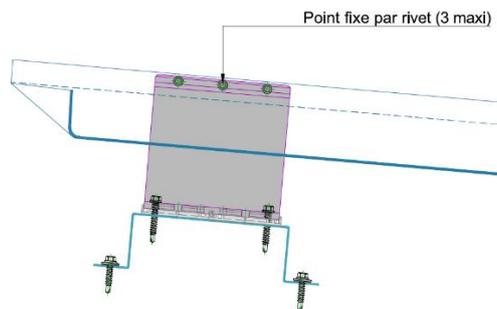
Plusieurs solutions sont mises en œuvre en fonction des efforts sur le point fixe :

- Le point fixe par rivet unique, rivet à rupture de tige de 5 x 12 en aluminium et tige inox, placé au milieu de la tête de patte (cf. figure 18), effort maximal cf. tableau 17 ;
- Le point fixe par rivets multiples, 3 rivets maximum en conservant une cote de 10 mm de chaque extrémité de la tête de patte (cf. figure 19), effort maximal : cf. tableau 17 ;
- Le point fixe par boulon traversant : vis HM8 inox, deux rondelles d'étanchéité et écrou frein (cf. figure 20), effort maximal : cf. tableau 18.

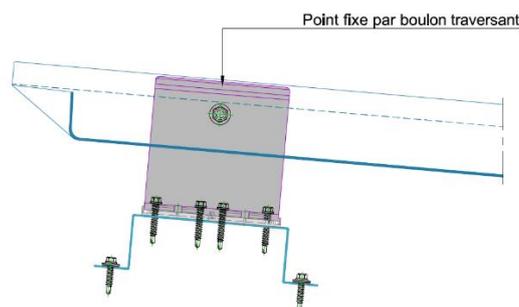
Dans le cas où les efforts exercés sur les pattes au droit des points fixes sont supérieurs aux charges maximales des tableaux 17 et 18, le recours à l'utilisation d'une patte double (longueur 120 mm) est possible. Dans ce cas, l'assistance technique de la société BEMO est obligatoire pour dimensionner le point fixe mais aussi l'ossature secondaire.



**Figure 18 – Point fixe par rivet unique**



**Figure 19 – Point fixe par rivets multiples**



**Figure 20 – Point fixe par boulon traversant**

Le positionnement du point fixe dépend de la forme de la couverture (cf. § 2.3.7 et Annexe 1).

Les règles principales de positionnement du point fixes sont :

1. Pour une couverture cintrée (naturellement ou mécaniquement) convexe (voûte ou demi-voûte) à rayon unique le point fixe est placé de préférence au faîtage. Si les rampants de couverture sont asymétriques, le point fixe peut être décalé de façon à respecter la distance maximale de 50 m de l'extrémité du bac.
2. Pour une couverture cintrée (naturellement ou mécaniquement) concave (demi-voûte ou contre-voûte) à rayon unique le point fixe est placé de préférence en milieu de contre-voûte.
3. Dans le cas de couverture cintrée à rayons multiples, le point fixe est placé à la zone de transition entre le plus petit rayon et la zone suivante.

## 2.3.2. La charpente

### 2.3.2.1. Répercussions sur la charpente

Du fait des efforts exercés sur les pattes de fixation, il est nécessaire de déterminer la descente de charge au droit des pannes via les écarteurs et étriers. Un exemple de calcul est donné en Annexe 3.

Le dimensionnement de la charpente au droit des points fixes de la couverture devra faire l'objet d'une justification calculée par le charpentier dans chaque cas d'application. Celle-ci doit être spécifiée dans les DPM.

### 2.3.2.2. Points de vigilance à prendre en compte par le maître d'œuvre pour le charpentier

Un travail en amont du projet entre le charpentier et l'entreprise BEMO, sous la supervision du maître d'ouvrage, est nécessaire. Les points suivants doivent être étudiés :

- Contreventement de la charpente (sans sollicitation des bacs de couverture BEMO® ou du support non porteur d'isolation en cas de toiture chaude reconstituée) ;
- Dimensionnement des pannes en fonction des sollicitations (points fixes des bacs BEMO® N50 ou N65 cintrés notamment) ;

- Doublement (ou augmentation) potentiel du nombre de pannes en périphérie, au droit des sorties de toitures, au droit du point fixe.
- Les écarteurs oméga et les étriers supports doivent être centrés sur l'axe des pannes, et les écarteurs doivent être entièrement supportés par les étriers, ce qui conditionne le type de panne à utiliser. Les pannes doivent permettre de disposer d'une surface d'appui suffisante pour les pattes (au minimum 65 mm pour les pattes aluminium simples, 120 mm pour les pattes aluminium doubles) ou les étriers (au minimum 130 mm).

Le respect des tolérances de construction concernant les structures porteuses selon le § 2.3.2.4 est impératif. Elles seront à prévoir dans les Documents et Pièces Marché (DPM) du charpentier.

### 2.3.2.3. Acceptation du support

Avant de poser le bac support non porteur et l'ossature secondaire, l'entreprise de pose devra s'assurer des points suivants :

- Respect des entraxes de pannes ;
- Respect des tolérances d'altimétrie des surfaces d'appuis ;
- Respects des largeurs des surfaces d'appuis ;
- Serrage effectif des différents éléments de charpente et des liernes en cas de pose sur panne « C ».

### 2.3.2.4. Conditions de flèches et tolérances de montage et de fabrication

#### Ossature acier

Les structures porteuses sont en acier conformément à la norme NF EN 1993-1-1/NA. Les valeurs limites maximales à prendre en compte pour les flèches verticales sont celles de la ligne « Toiture en général » du tableau 1 de la clause 7.2.1 (1) B de la norme NF EN 1993-1-1/NA.

Les tolérances de la classe 1 de fabrication de la norme NF EN 1090-2 sont compatibles avec le procédé BEMO® cintré. Les tolérances de montage de classe 2 de cette même norme sont nécessaires.

#### Ossature bois

Les structures porteuses sont en bois conformément à la norme NF EN 1995-1-1/NA. Les valeurs limites maximales à prendre en compte pour les flèches sont celles figurant à l'intersection de la colonne « Bâtiments courants » et de la ligne « Éléments structuraux » du tableau 7.2 de la clause 7.2 (2) de la norme NF EN 1995-1-1/NA.

#### Ossature béton avec inserts métalliques ancrés

Les structures porteuses sont en béton, conformément aux normes NF EN 1992-1-1, NF EN 1992-1-1/NA, et NF P10-203-1 (réf. DTU 20.12), avec inserts métalliques ancrés conformément au DTU 40.35.

### 2.3.3. L'ossature secondaire

Elle se compose d'étriers et d'écarteurs conformes aux § 2.2.2.5.2.

Les écarteurs sont fixés sur les rangées d'étriers et peuvent posés parallèlement à la ligne de faîtage ou d'égout, au choix.

L'étude technique de conception BEMO® précisera si une structure secondaire intermédiaire entre la charpente et le système BEMO® est nécessaire. Les DPM indiqueront systématiquement si cette structure secondaire est oui ou non à prévoir, et quel en sera le lot titulaire. Ceci implique une prise en charge du projet par le bureau d'étude BEMO® dès la phase conception, avant signature des marchés.

Dans tous les cas, la résistance de l'ensemble de la structure intermédiaire (écarteurs, étriers, vis de fixations) devra faire l'objet d'un dimensionnement selon la norme NF EN 1993-1-3/NA et d'une justification calculée dans chaque cas d'application. Dans le cas d'emploi d'une telle ossature, la largeur d'appui des pannes (cf. § 2.3.2.2) doit être adaptée en conséquence et précisée dans les DPM.

### 2.3.4. Type de toiture

#### 2.3.4.1. Toiture froide ventilée sur bâtiment ouvert

Le procédé BEMO® cintré permet la réalisation de couverture froide sans isolation sur bâtiment ouvert uniquement. (cf. figure 21).

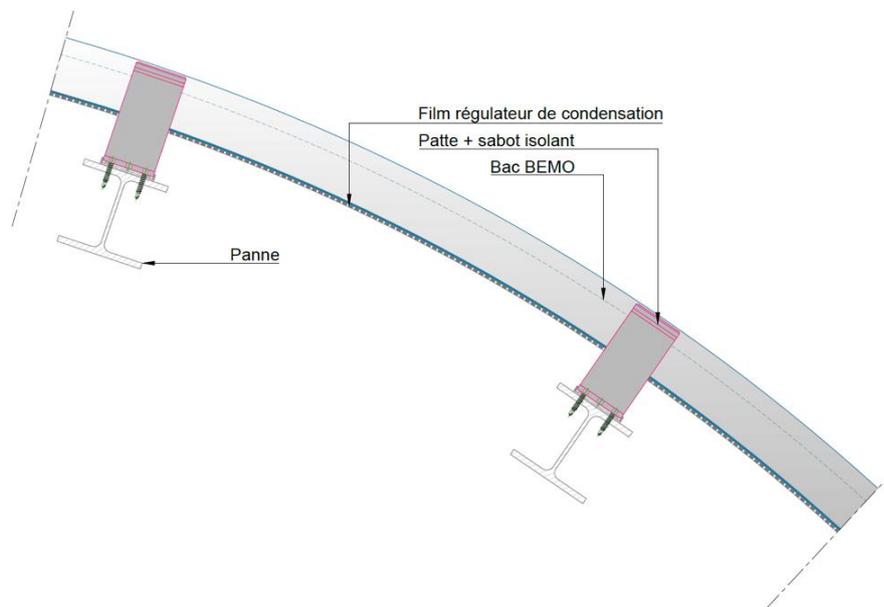
Dans le cas de couverture froide cintrée sur bâtiment ouvert avec voûte continue au faîtage, la distance maximale du bâtiment de pignon à pignon est de 12 m.

La conception de l'ouvrage et de la charpente doit tenir compte d'une ventilation de la sous face de la couverture suivant les principes et le dimensionnement du DTU 40.36, § 3.8.

En complément de la ventilation, et afin de limiter les risques de condensation, la sous-face des bacs doit toujours être traitée avec un régulateur de condensation lors de l'opération de profilage en usine ou sur chantier (cf. § 2.2.2.1.4.5).

La toiture froide se compose des éléments suivants :

- Éléments structurels de charpente (fermes, pannes ou autres) ;
- Pattes de fixation aluminium avec sabot isolant en polypropylène empêchant un contact entre des matériaux naturellement incompatibles (par exemple : certaines essences de bois et l'aluminium) ;
- Lame d'air de ventilation continue, y compris au niveau des pannes, entre la charpente et la sous face des bacs (lame d'air minimale de 25 mm) ce qui implique l'utilisation de pattes de hauteur supérieures ou égales à 80 mm pour le procédé N50 et 100 mm pour le procédé N65 ;
- Bacs BEMO® N50 ou N65 cintrés avec traitement régulateur de condensation en sous face (cf. § 2.2.2.1.4.5).



**Figure 21 – Coupe toiture froide**

#### 2.3.4.2. Toiture chaude

Le procédé BEMO® cintré permet la réalisation de couverture chaude avec isolation thermique. (cf. figure 22)

La conception du complexe doit tenir compte des principes et des recommandations du DTU 40.36.

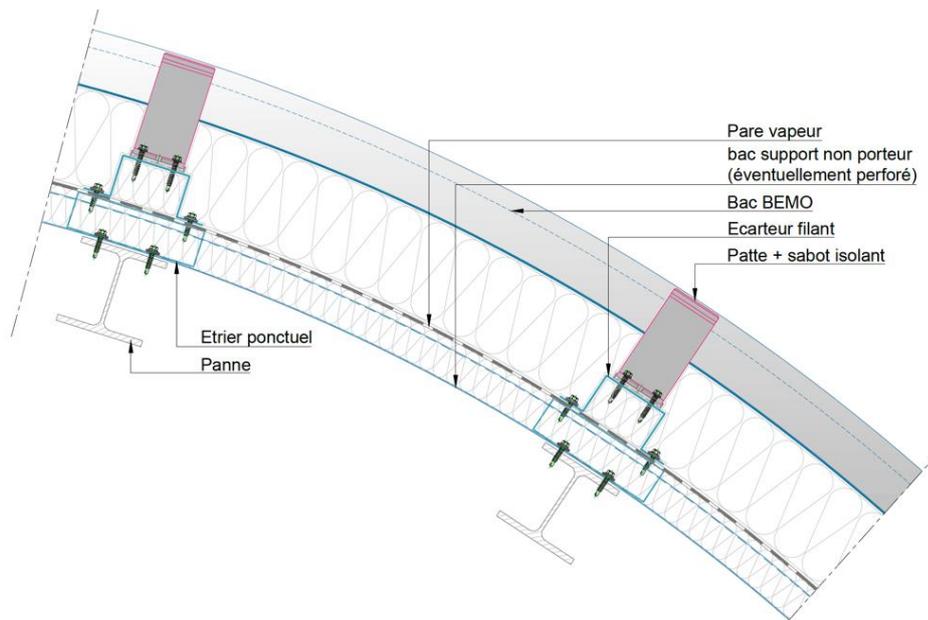
La toiture chaude se compose des éléments suivants :

- Éléments structurels de charpente (fermes, pannes ou autres) ;
- Support d'isolation non porteur (tôle nervurée pleine ou perforée faisant l'objet d'une fiche technique, et conforme au DTU 40.35 (les tôles d'acier nervurées perforées étant admises dans les mêmes conditions) ou 40.36 (posée conformément au DTU 40.35), dalle béton avec inserts métalliques conformément au DTU 43.3, feutre tendu ;
- Une barrière pare-vapeur (cf. § 2.2.2.5.3), ayant pour rôle d'empêcher la migration de la vapeur d'eau dans le complexe, positionnée :
  - au niveau du support non porteur d'isolation ;
  - ou au 2/3 - 1/3 de la résistance thermique totale du complexe isolant (2/3 au-dessus du pare-vapeur, 1/3 en dessous) hors zone très froide ;
  - ou 3/4 - 1/4 en zone très froide.

**NOTE :** Une zone très froide est définie par une température de base strictement inférieure à  $- 15\text{ °C}$  (NF P 52-612/CN). Les départements de la zone très froide sont :

- Le Bas-Rhin, le Haut-Rhin, les Vosges, le Territoire de Belfort, la Moselle et la Meurthe et Moselle pour les altitudes  $> 400\text{ m}$ .
- Le Doubs pour les altitudes  $> 600\text{ m}$ .
- L'Ain, les Hautes-Alpes, l'Isère, le Jura, la Loire, la Nièvre, le Rhône, la Haute-Saône, la Saône-et-Loire, la Savoie et la Haute-Savoie pour les altitudes  $> 800\text{ m}$ .

- Une ossature secondaire éventuelle (étriers + écarteurs + fixations), disposée au droit des éléments de charpente, permettant de ne pas solliciter le support d'isolation non porteur ;
- Pattes de fixation en aluminium avec sabot isolant en polypropylène réduisant les ponts thermiques et empêchant un contact entre des matériaux naturellement incompatibles (par exemple : l'acier non protégé et l'aluminium) ;
- Une première couche d'isolant souple en laine de verre ou laine de roche jusqu'au niveau des écarteurs, posés perpendiculairement au rampant. Une deuxième couche croisée d'isolant thermique de laine de verre ou de laine de roche, embrochée sur les pattes, présentant une surépaisseur de 15 à 30 mm par rapport à la cote H2 du tableau 5, de façon à être comprimée par la face plane des bacs BEMO® N50 ou N65 cintrés lors de la pose. Ces isolants possèdent un classement WS (absorption d'eau à court terme  $\leq 1\text{ kg/m}^2$  selon NF EN 13162+A1). À l'égout, au faitage et autour des pénétrations, un isolant haute densité de classe de compressibilité C (selon Guide UEAtc, e-cahier du CSTB n°2662\_V2) possédant un DTA de panneaux isolant support d'étanchéité du Groupe Spécialisé n° 5.2, doit être mis en œuvre ;
- Bacs BEMO® N50 ou N65 cintrés.



**Figure 22 – Coupe toiture chaude**

### 2.3.5. Préconisations en fonction du type de complexe

Il convient dès la conception des ouvrages d'anticiper certains points tels que :

#### 2.3.5.1. Pour les toitures froides

- Réception du support afin de rentrer dans les tolérances admissibles de pose du procédé BEMO® cintré ;
- Vérification de la surface d'appui en fonction du type de pattes utilisé (simple ou double)
- Inclinaison de la surface d'appui des pannes suivant la pente de la couverture ;
- Découpe et neutralisation de la couche de film anti-condensation sous les bacs BEMO® cintrés en cas de soudure.

#### 2.3.5.2. Pour les toitures chaudes

- Réception du support afin de rentrer dans les tolérances admissibles de pose du procédé BEMO® cintré et adapter la solution d'ossature secondaire ;
- Dimensionnement des étriers en fonction de la hauteur du bac support non porteur, afin de permettre la fixation par vis de l'écarteur sans percement du bac support non porteur ;
- Absence de vis de couturage des bacs support non porteurs dans les zones où les étriers doivent être posés ;
- Adéquation entre les différentes épaisseurs d'isolants, les bacs support non porteur et l'ossature secondaire (étriers et écarteurs) ;
- Position et choix du pare-vapeur au sein du complexe ;
- Pose du pare-vapeur sur la périphérie et les sorties de toiture.

#### 2.3.5.3. Pour toutes les configurations

Travail en amont en collaboration avec le charpentier pour tenir compte :

- Des tolérances de pose du procédé BEMO® cintré et du dédoublement des pannes en zones périphériques (portées pratiques en zone courante divisées par deux) ;
- De la présence de sorties de toiture et de leur position par rapport au point fixe (gestion de la dilatation) ;
- Du dimensionnement des pannes (bois ou acier) de façon à disposer d'une surface d'appui suffisante soit pour les pattes dans le cas d'une toiture froide ou pose en fond de bac en toiture chaude, soit pour la pose des éléments constitutifs de l'ossature secondaire.

#### 2.3.5.4. Recommandations en rénovation totale de toiture

Toute rénovation totale (jusqu'à la charpente support) ne peut s'effectuer qu'après vérification du support (cf. 2.4.1.2.) et étude préalable de stabilité, à la charge du Maître d'ouvrage, conforme à l'Annexe A de la norme NF DTU 43.5. L'étude portera notamment particulièrement sur la capacité de la charpente à reprendre les efforts engendrés par les points fixes, ou encore la largeur des appuis.

### 2.3.6. Pente

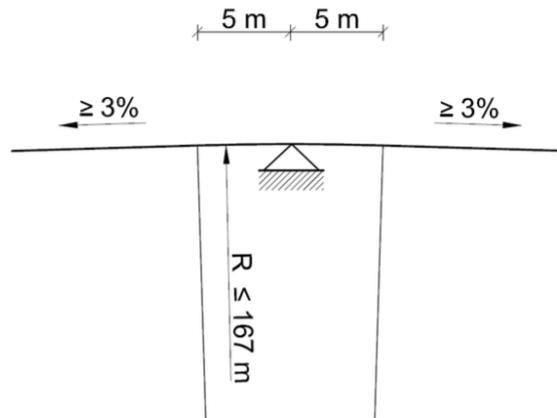
La pente doit être supérieure ou égale à 3% sur plan en tout point de la couverture, pour assurer l'évacuation des eaux de ruissellement.

En fonction du régime de pente de la couverture, certains accessoires peuvent ou non être utilisés (cf. § 2.4.3.2).

Dans le cas d'une toiture convexe en pleine voute (cf. figure 25), une zone de pente inférieure à 3% est acceptée dans les conditions suivantes :

- Longueur maximale de part et d'autre de la ligne de faitage inférieure ou égale à 5 m, (soit un rayon convexe de courbure de 167 mètres) ;
- Pas de recouvrement transversal, ni traversée de toiture des bacs dans cette zone.

La figure 23 ci-dessous illustre ces exigences.



**Figure 23 – Rayon minimal en zone sommitale**

### Cas particulier de couvertures convexes avec zone de pente > 173%

Dans le cas particulier de couverture convexe, l'utilisation de ce procédé sur certains bâtiments peut amener à considérer une partie de la couverture comme un procédé de protection des parois verticales. Le procédé BEMO® cintré peut ainsi être utilisé dans une zone de pente > 173% si le point fixe est situé dans une zone de pente < 173%.

Le risque sismique n'est cependant pas différent du procédé de couverture, qui peut être mis en œuvre dans ce cas particulier en parois verticales dans les mêmes conditions qu'au § 1.2.1.3.

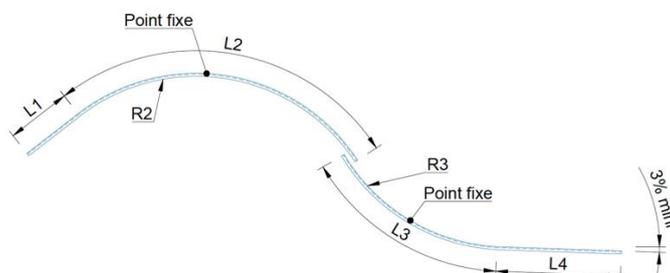
Dans ces conditions, la couverture ne devra comporter que peu de pénétrations. Les prescriptions du § 2.4.7 seront à respecter.

Les bacs métalliques en aluminium sont naturellement sensibles aux chocs de petits corps dur (0,5 kg/3 J et 1kg/10 J). Si les DPM définissent des exigences particulières du point de vue de la résistance aux chocs, les vérifications doivent être effectuées par la réalisation d'un essai choc selon la norme P08-302 « Résistance aux chocs », la note d'information n° 5 Modalités des essais de chocs de performance sur les bardages rapportés, vêtements et vêtements », et le Cahier du CSTB 3546-V2 « Note d'information n° 11 : Résistance aux chocs des bardages rapportés, vêtements et vêtements ».

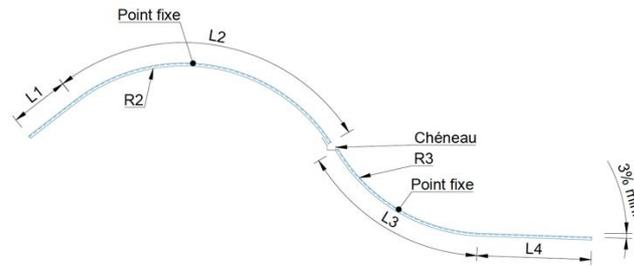
### 2.3.7. Formes admissibles et rayons de cintrages minimaux

#### 2.3.7.1. Formes admissibles

Il est rappelé que le présent document ne traite que de la mise en œuvre du procédé BEMO® N50 et N65 cintré pour la réalisation de complexe de couverture **de forme soit convexe, soit concave**. Dans le cas de bâtiment en forme de vague (alternance de formes concaves et convexes), une coupure entre les deux formes devra être réalisée sous la forme d'un ressaut ou d'un chéneau (cf. figure 24).



Réalisation d'un ressaut (cf. figure 39). Faitage coulissant sur bac concave (cf. figure 43).



Réalisation d'un chéneau intermédiaire (cf. figure 46). Faîtage couissant sur bac concave (cf. figure 43).

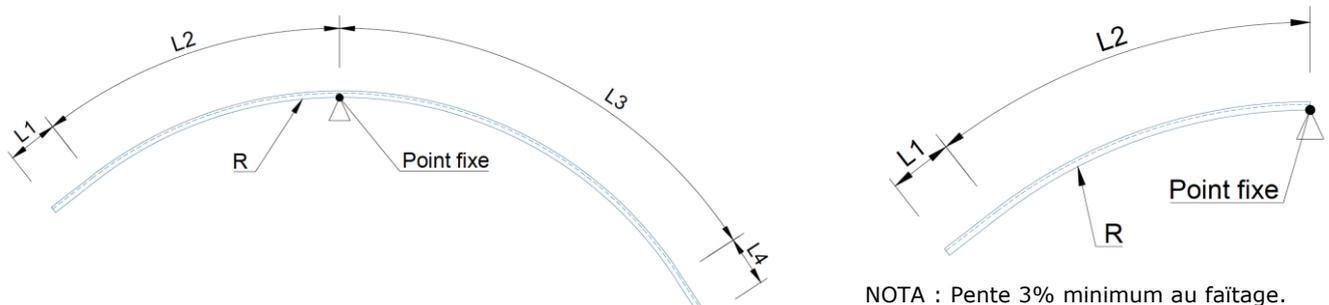
**Figure 24 – Exemple de coupure à réaliser en cas de toiture en forme de vague**

Les formes de couverture cintrées convexes ou concaves doivent faire l'objet d'une étude de faisabilité selon l'Annexe 1. Le tableau 7 reprend les cas de figure courants rencontrés. Des exemples d'études de faisabilité de formes sont disponible en fin d'Annexe 1.

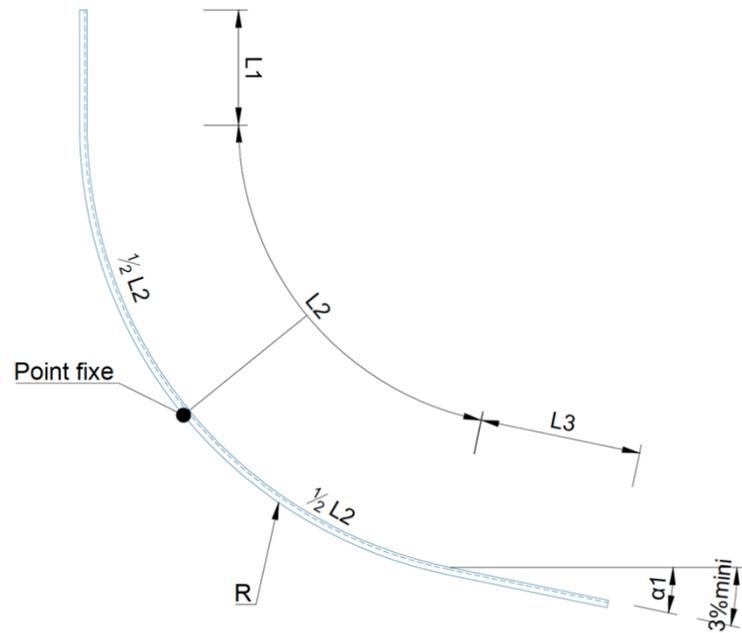
Dans le cas de cintrage à rayons multiples, il est nécessaire de faire appel au service technique de BEMO SYSTEMS GmbH. Les longueurs de bacs et distances par rapport au point fixe doivent respecter le § 1.1.2.

**Tableau 7 – Formes de couverture admissibles (longueurs de bacs supérieures à 2m)**

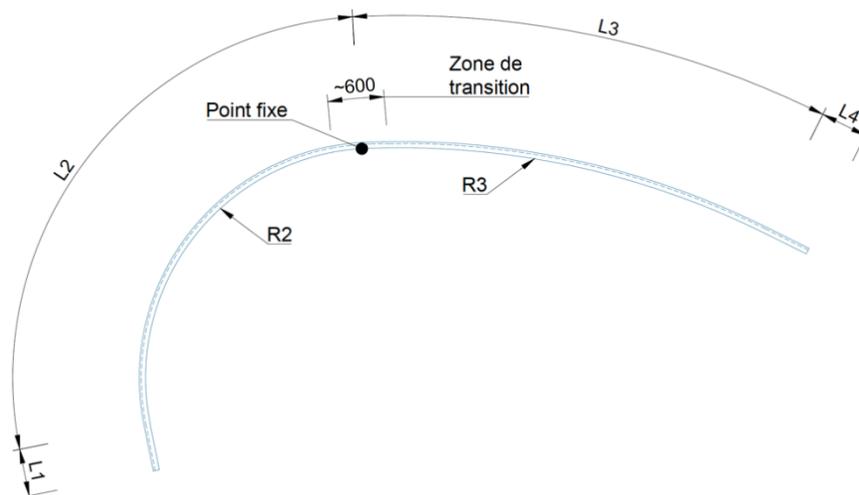
Forme	Type de cintrage	Contraintes	Localisation point fixe
<b>Convexe :</b> Pleine voûte ou demi-voûte (Cf. figures 25 et 25 bis)	Naturel et / ou mécanique lisse	-	En sommet de la vouite
<b>Concave :</b> Demi-voûte concave (Cf. figure 26)	Naturel et / ou mécanique lisse	-	Au milieu de la contre vouite
<b>Rayons multiples convexe :</b> Voute complète ou demi-voûte (cf. figure 27)	Naturel et / ou mécanique lisse	R croissant en s'éloignant du PF	A à la jonction du rayon le plus petit.
<b>Rayons multiples concave :</b> Demi-voûte concave	Naturel et / ou mécanique lisse	R croissant en s'éloignant du PF	R cintrage naturel : au milieu de la contre vouite (cf. figure 30) R cintrage mécanique : à la jonction du rayon le plus petit (cf. figure 31)



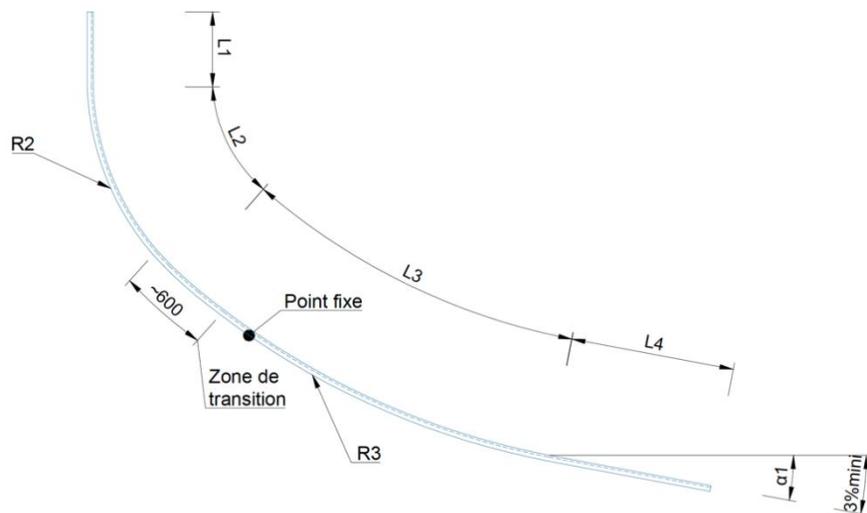
**Figure 25 – Forme cintrée pleine voûte convexe ou en demi-voûte convexe**



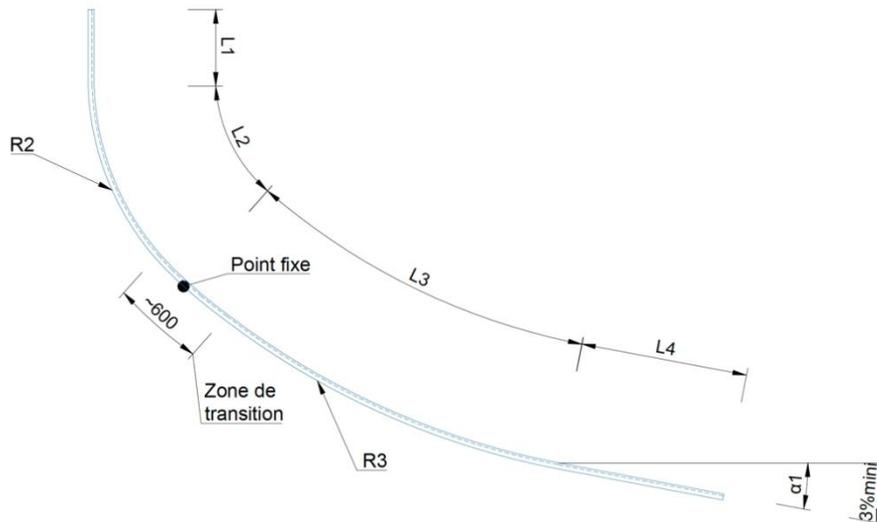
**Figure 26 – Forme cintrée en demi-voûte concave (ou contre voûte)**



**Figure 27 – Forme cintrée convexe pleine voûte avec rayons multiples**



**Figure 28 – Forme cintrée concave avec rayons multiples**



**Figure 29 – Forme cintrée mécaniquement concave avec rayons multiples**

NOTA : les valeurs minimales des parties droites L1 et L4 sont de 300 mm et sont inhérentes au procédé de fabrication. De même une zone transitoire est générée lors du cintrage entre les différents rayons d'un même bac. Elle est en moyenne de 600 mm en fonction du ratio entre les rayons de cintrage successifs. La forme de la couverture doit respecter le principe de continuité des rayons (cf. figure 51).

### 2.3.7.2. Rayons de cintrage minimaux

Le tableau 8 indique les valeurs de cintrage minimum admissibles avec les bacs BEMO® N50 et N65 cintré.

**Tableau 8 – Rayons de cintrage minimal (m)**

	Epaisseur (mm)	Rayon cintrage naturel		Rayon cintrage mécanique lisse	
		Convexe	Concave	Convexe	Concave
N50-333, N50-429, N50-470	0,9	38	42	3,0	10
	1,0	40	45	1,3	6,0
	1,2	45	45	1,0	5,0
N65-305, N65-333, N65-400, N65-440	0,9	42	45	3,0	14
	1,0	45	50	1,5	10
	1,2	50	55	1,0	8,0

### 2.3.8. Portées des bacs

Les tableaux 10 à 16 reprennent les charges uniformément réparties admises par type de bacs en fonction de leur largeur, nombre d'appuis et type de sollicitations (charges descendantes ou ascendantes).

Les charges uniformément réparties, à l'Etat Limite de Service (ELS), admises par l'ouvrage de couverture (bac + pattes + fixations), données aux tableaux 10 à 16, sont à comparer directement aux charges :

- Descendantes de neige (S) en pression, selon la norme NF EN 1991-1-3 et son Annexe Nationale NF EN 1991-1-3/NA ;
- Ascendantes de vent caractéristique ( $W_k$ ) en dépression, selon le *E-Cahier CSTB n°3804\_V2* d'octobre 2021 (cf. exemple en Annexe 6).

Le calcul au cas par cas des actions de vent en dépression reste possible selon la norme NF EN 1991-1-4 et son Annexe Nationale NF EN 1991-1-4/NA, en utilisant les coefficients d'orographie, de direction, de saison, structural, de probabilité et de pression intérieure et extérieure mentionnés dans le *E-Cahier CSTB n°3804\_V2* d'octobre 2021.

Les charges de vent prises en compte peuvent entraîner des portées de bacs, donc des distances entre pannes, différentes en zone de rive et en partie courante de toiture, selon le *E-Cahier CSTB n°3804\_V2* d'octobre 2021.

Les valeurs des tableaux de charges sont données en fonction des critères suivants :

- Flèche inférieure au 1/200<sup>ème</sup> de la portée ;
- Coefficient de pondération des charges permanentes :  $\gamma_g = 1,35$  ;
- Coefficient de pondération des charges d'exploitation :  $\gamma_q = 1,5$  ;
- Coefficient de réduction de la résistance des bacs :  $\gamma_M = 1,3$  ;
- Coefficient de réduction de la résistance des fixations :  $\gamma_{m,k} = 1,33$  ;
- Portées maximales selon résistance au charges concentrées selon NF EN 1090-5 :2017, Annexe B.6.3 ;
- Le poids propre du profil bac BEMO® est déjà pris en compte dans le tableau ;

Et intègrent les vérifications de tenue :

- Du bac BEMO®, en pression et dépression ;
- De la stabilité des pattes de fixation, en pression et dépression, quelle que soit la hauteur ;
- De la fixation de la patte avec deux vis de résistance caractéristique à l'arrachement conformes au § 2.2.2.3.1.

Un exemple de calcul est donné en Annexe 6.

Pour les valeurs de portées intermédiaires, une interpolation linéaire reste possible.

Les bacs de rayon de cintrage supérieur à 100 mètres sont considérés comme des éléments droits. La portée des bacs cintrés à un rayon inférieur à 75 mètres sont réduites à 75 % (cf. DTU 40.35/A1). Pour les valeurs de rayon intermédiaire, on applique l'interpolation linéaire (exemple : pour un rayon de cintrage de 92 m, la portée est réduite à 92 % de la valeur du bac droit ( $R \geq 100$  m)).

En ce qui concerne les effets de la neige, on peut considérer que la notion de charge exceptionnelle est implicitement vérifiée lorsque la charge de neige  $s_k$  est supérieure ou égale à :

- 70 daN/m<sup>2</sup> pour les zones A2 et B1,
- 90 daN/m<sup>2</sup> pour les zones B2 et C2,
- 120 daN/m<sup>2</sup> pour la zone D.

Pour une zone de neige donnée, lorsque la charge de neige  $s_k$  est inférieure à la valeur indiquée ci-dessus, il y a lieu de remplacer la valeur  $s_k$  par la valeur indiquée pour la vérification des bacs.

### 2.3.9. Remarques sur les évacuations d'eau pluviales

La mise en place de gouttières accrochées directement sur l'extrémité des bacs BEMO® n'est pas envisageable.

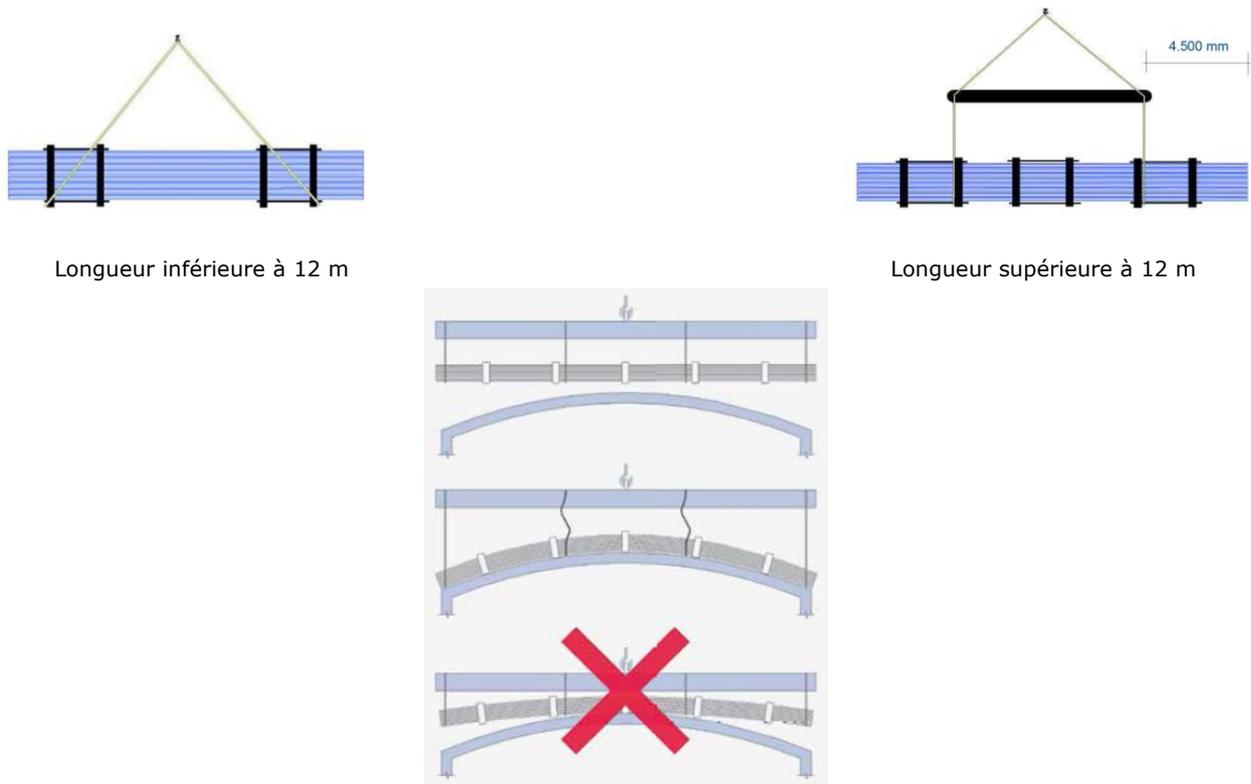
## 2.4. Disposition de mise en œuvre

### 2.4.1. Phase de préparation

#### 2.4.1.1. Manutention et Stockage des bacs

Que les bacs soient livrés d'usine ou fabriqués sur site, les consignes suivantes doivent être impérativement respectées afin de ne pas endommager les bacs BEMO® N50 et N65 cintrés.

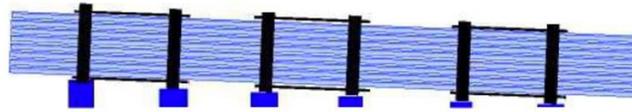
La manutention de colis de longueurs inférieures à 12 m s'effectue à l'aide de deux élingues, pour les longueurs supérieures, l'utilisation d'un palonnier est obligatoire (cf. figure 30).



**Figure 30 – Manutention des colis**

Afin de prévenir toute apparition de rouille blanche, les colis doivent être stockés avec une pente et protégés des intempéries (entreposés si possible dans un endroit couvert et sec ou protégé par bâchage efficace) tout en permettant leur ventilation (cf. figure 31).

En fonction de la courbure des bacs, la longueur des élingues reliant le colis au palonnier devra être adaptée afin de permettre une dépose des bacs sans encombre et le décrochage des élingues.



**Figure 31 – Stockage des colis**

#### 2.4.1.2. Acceptation du support et traçage des axes de référence

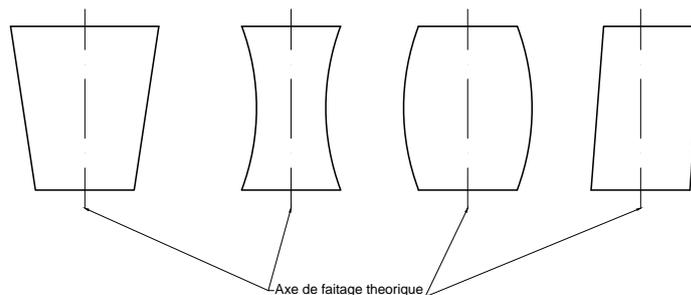
La charpente devra être contrôlée et réceptionnée par le maître d'ouvrage et par l'entreprise de couverture avant la mise en œuvre du procédé BEMO® cintré.

Un relevé de la charpente par scanner laser opéré par la société BEMO peut être effectué à la demande de l'entreprise. Cette prestation permet de déterminer la forme réelle du support et d'anticiper les potentielles modifications à effectuer sur la charpente, ou permettre d'adapter l'ossature secondaire en fonction des non-conformités détectées.

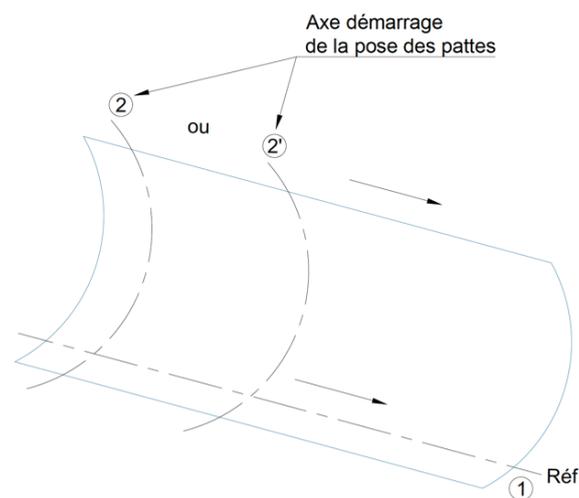
Avant tout traçage, il est impératif de vérifier la géométrie exacte des rampants de la couverture afin de détecter les déviations par rapport à la forme théorique. Les défauts en vue de dessus de couverture, illustrés en figure 32, pourraient avoir un impact sur la pose des pattes ou de l'ossature secondaire si la ligne de référence choisie n'était pas la bonne.

Pour une toiture à deux rampants, tracer le trait carré en partant de la ligne de faîtage. Pour une toiture simple rampant, tracer le trait carré en partant de la ligne d'égout. Dans le cas d'une pose sur ossature, l'écarteur de faîtage ou d'égout sera pris en référence pour la pose des autres écarteurs et pour le traçage du trait carré. (cf. figures 33 et 34).

Dans le cas de bâtiments de grande largeur, l'axe de référence des pattes pourra être tracé au milieu de la largeur du rampant afin de limiter les accumulations d'erreur de pose.

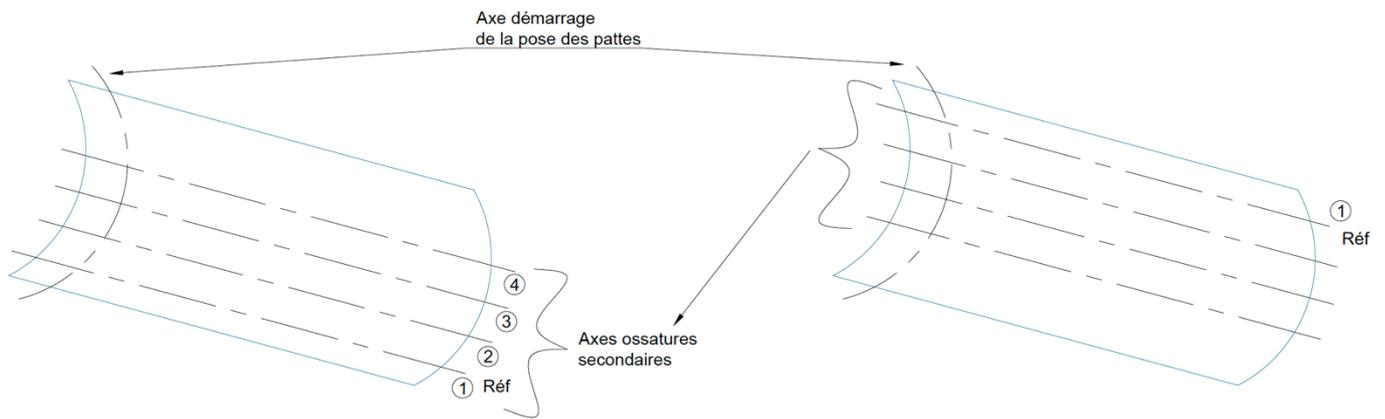


**Figure 32 – « Malformations » potentielles de bâtiment**



**Figure 33 – Traçage axes de référence toiture froide**

(Pas d'ossature secondaire)



**Figure 34 – Traçage axes de référence toiture chaude**

#### 2.4.1.3. Calepinage des pattes et des bacs

En fonction de la largeur réelle du bâtiment, l'axe de démarrage de la pose des pattes peut varier. En effet il n'est pas souhaitable de devoir découper un bac dans sa longueur sur une des rives du bâtiment. Il est donc préférable de répartir les « jeux » de part et d'autre du milieu du rampant.

Pour se faire on réalise le calcul suivant :

$$Nb = Lp / Pb$$

Avec :

Nb : nombre de bacs

Lp : largeur réelle du rampant

Pb : pas de pose théorique du bac (Largeur du bac +3 mm)

On prend la partie entière de Nb que l'on multiplie de nouveau par Pb pour obtenir la largeur couverte par les bacs BEMO® N50 et N65 cintrés.

$$Lc = \text{ENT}(Nb) \times Pb$$

On répartit les jeux comme suit :

$$J = ((Lp - Lc)/2)$$

Ce qui nous donne la cote de **l'axe** de la première ligne de patte par rapport à la rive.

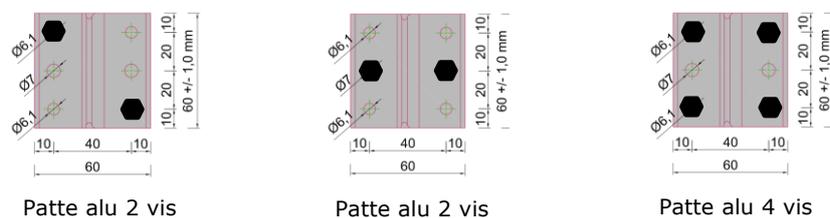
Si on veut avoir la cote de démarrage au **bord de la patte** :

$$J = ((Lp - Lc)/2) - 32$$

Un exemple de calepinage est donné en Annexe 4.

#### 2.4.2. Méthode de pose des pattes

La fixation des pattes sur la structure s'effectue sur l'écarteur dans le cas d'une couverture chaude, ou sur la charpente dans le cas d'une couverture froide, au minimum par deux vis en acier inoxydable définies au paragraphe 2.2.2.3, disposées de part et d'autre de l'âme de la patte, soit en quinconce, soit en opposition (cf. figure 35).



**Figure 35 – Positionnement des vis sur les pattes**

Le sabot isolant est systématiquement mis en œuvre avec les pattes aluminium.

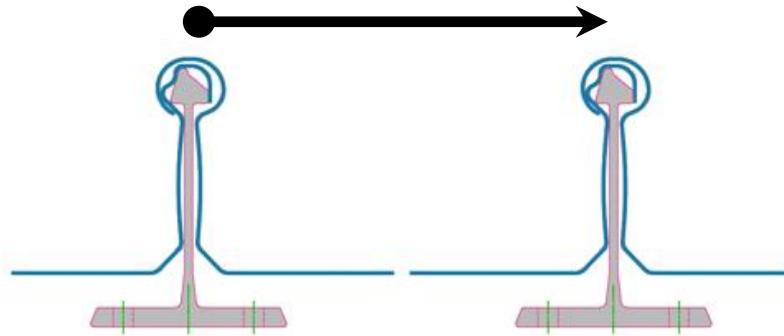
Dans le cas de pose de pattes au droit des pannes sur le fond du bac support non porteur (cf. figure 37), le pas d'onde de ce bac devra être un multiple du pas de pose des bacs BEMO® N50 et N65 droits choisis.

La tête de la patte étant asymétrique, une attention toute particulière devra être portée à la pose afin de ne pas inverser la tête de patte par rapport au sens de pose des bacs (cf. figure 36).

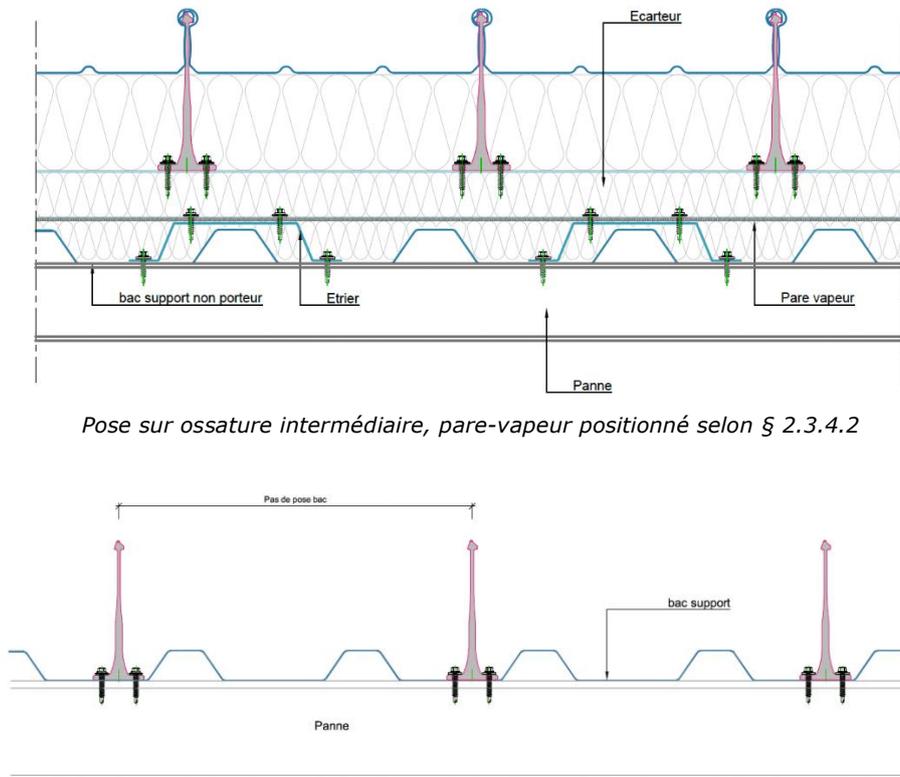
### 2.4.3. Méthode de pose des bacs

#### 2.4.3.1. En partie courante

Les bacs BEMO® N50 et N65 cintrés sont emboîtés sur les pattes aluminium. Le sens de pose est donné par l'orientation de la patte choisie (cf. figure 36). La figure 37 illustre respectivement une pose avec ou sans ossature intermédiaire.



**Figure 36 – Sens de pose**



*Pose sur ossature intermédiaire, pare-vapeur positionné selon § 2.3.4.2*

*Pose en fond de bac support non porteur (sans ossature intermédiaire)*

**Figure 37 – Coupes transversales toiture chaude**

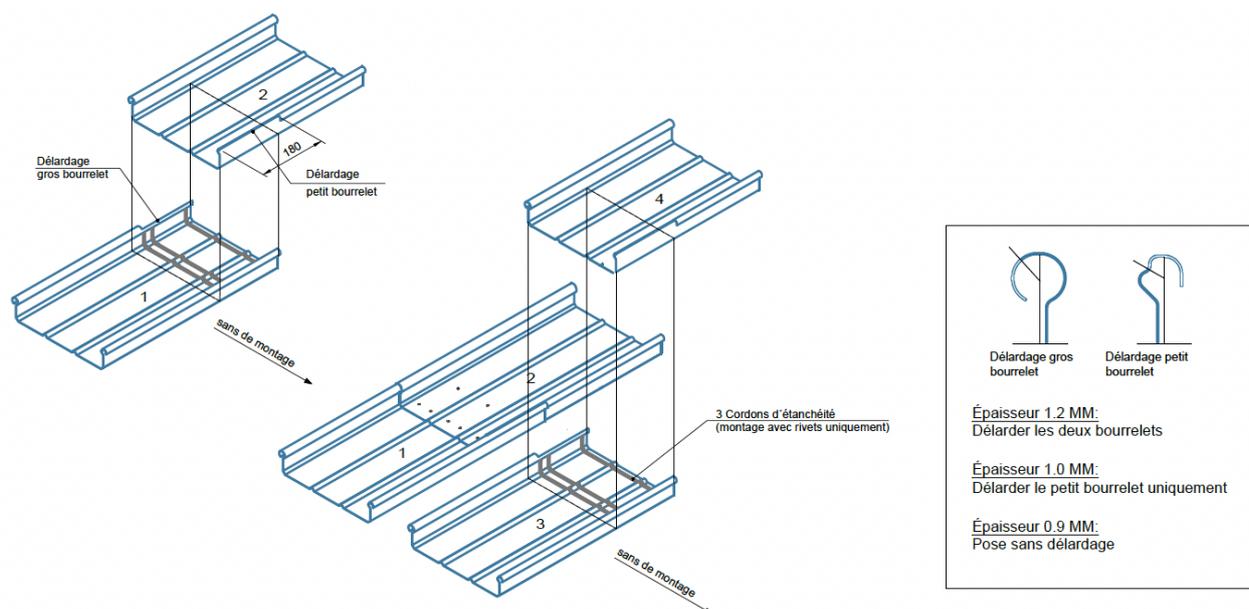
#### 2.4.3.2. En cas de recouvrement transversal

Pour des questions de transport ou d'impossibilité de produire sur site, les bacs BEMO® N50 et N65 cintrés peuvent être assemblés par recouvrement transversal, nécessitant alors un délardage des bourrelets des bacs (cf. figure 38). Le tableau 9 donne, en fonction de la pente du rampant de la couverture la technique d'assemblage à appliquer (soudure TIG selon les préconisations du chapitre 2.4.7.1 ou rivets avec étanchéité complémentaire).

**Tableau 9 – Longueurs, assemblages et pénétrations des bacs BEMO® en fonction des pentes de couvertures**

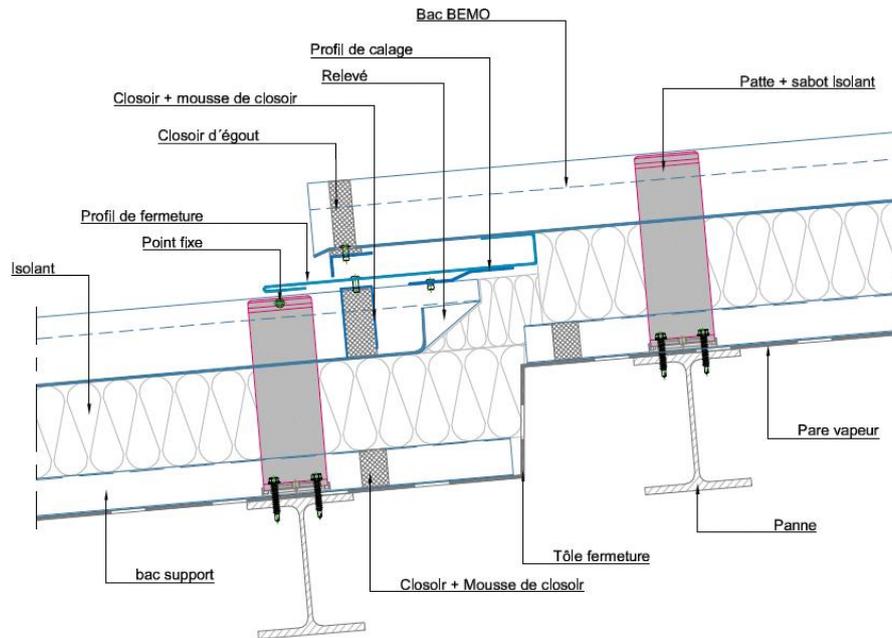
	$3 \leq P \leq 7 \%$	$7 < P \leq 10 \%$	$10 < P \leq 20 \%$	$P > 20 \%$
Longueur maximale des bacs	N65 : 100 m (extrémités des bacs à 50 m du point fixe) N50 : 50 m			
Jonctions transversales par soudure	Oui	Oui	Oui	Oui
Jonctions transversales par rivets et complément d'étanchéité	Non	Oui	Oui	Oui
Pénétration : assemblage par soudure	Oui	Oui	Oui	Oui
Pénétration simple : assemblage plaque à douille	Non	Oui	Oui	Oui
Closoir égout nécessaire	Oui	Oui	Non	Non
Closoir mousse faîtage	Oui	Oui	Oui	Non
Ressaut	Oui	Oui	Oui	Oui

NOTA : Aucune pénétration, aucun recouvrement transversal et aucun ressaut ne sont admis dans la zone proche du faîtage inférieure à 3% dans le cas de voute convexe.

**Figure 38 – Délardage des bacs pour recouvrement transversal**

#### 2.4.3.3. Réalisation d'un ressaut

Pour des questions de transport, d'impossibilité de produire sur site ou de réaliser le recouvrement par soudure, il est possible de réaliser un ressaut (cf. figure 39). A noter que la cornière d'égout est posée grand coté dans le sens de la pente.



**Figure 39 – Ressaut**

#### 2.4.4. Méthode de pose du faîtage

Chaque bac BEMO® N50 ou N65 cintré est plié en extrémité à l'aide d'un pince spécifique dite « pince à relever » (cf. figure 40). Le débord maximum à partir de la patte est de 250 mm.

Un closoir aluminium est disposé à une distance minimale de l'extrémité du bac (cf. figure 41)

En fonction du régime de pente, un closoir mousse est emboîté derrière le closoir aluminium (cf. tableau 9).

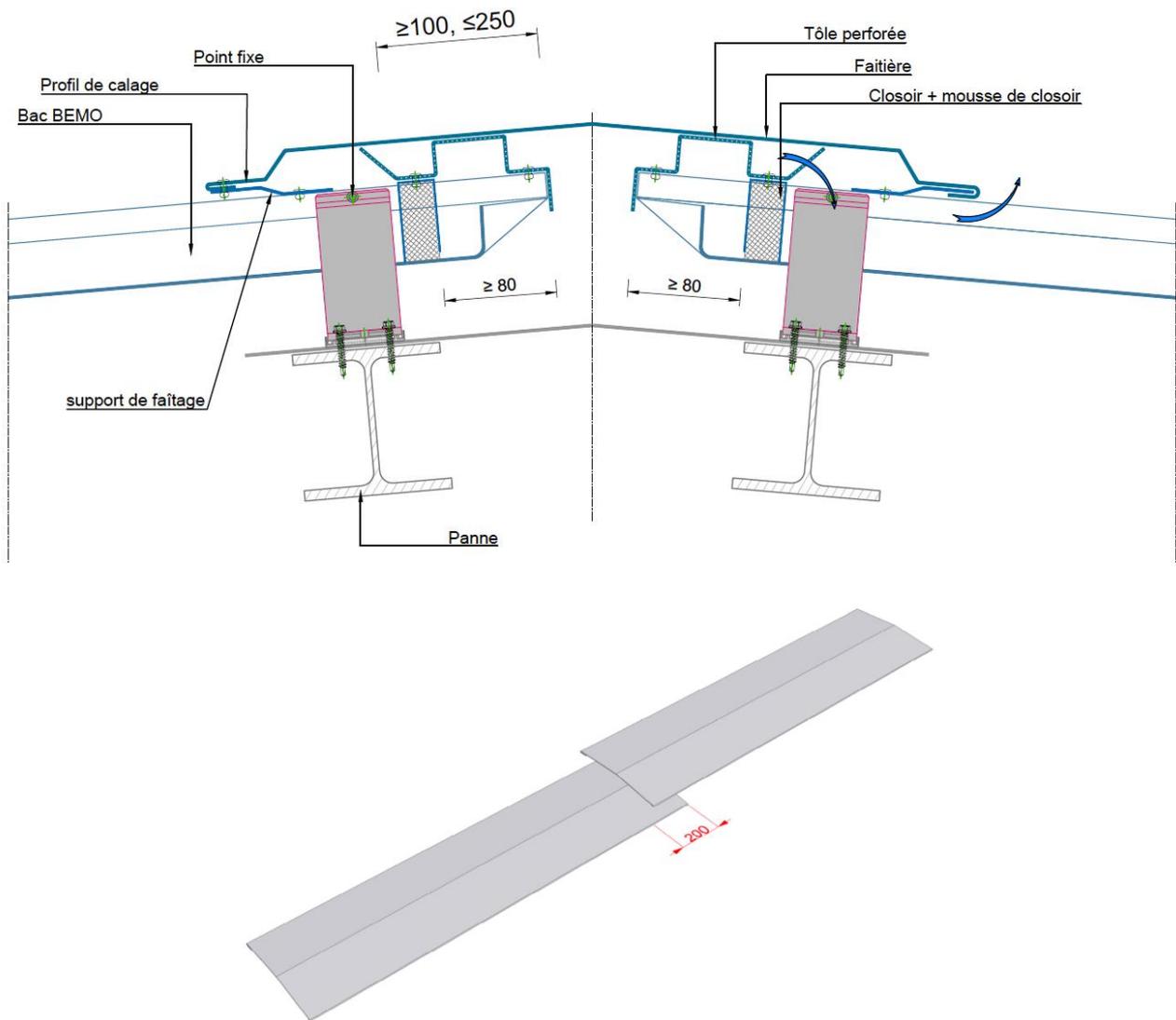
Deux profils de calage de faîtière sont ensuite disposés sur les bourrelets des bacs. Un est situé au droit du closoir alu, l'autre à l'extrémité du bac (cf. figures 41 et 43).

Une faîtière vient ensuite recouvrir le tout. Sa fixation se fait toujours sur le profil de calage de faîtière situé **au droit** du closoir et **au droit du centre de la plage plane du bac**. Une autre fixation peut être mise en œuvre sur l'autre versant ou en façade en fonction du type de faîtage à réaliser.

Dans le cas d'un faîtage coulissant (cf. § 2.2.2.4.2 et figure 43), une patte spécifique est utilisée comme support de la faîtière.

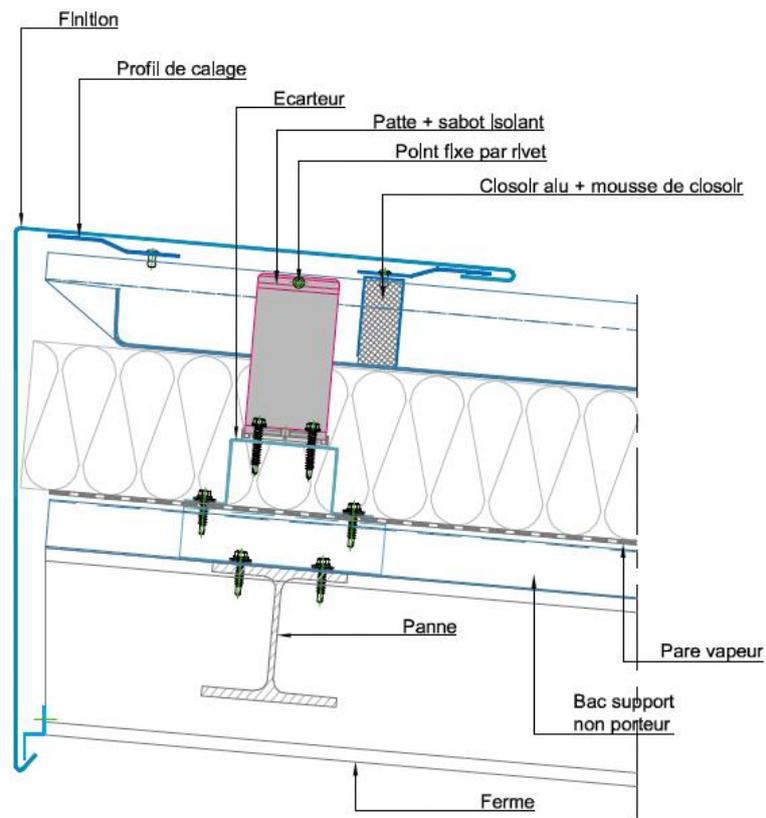
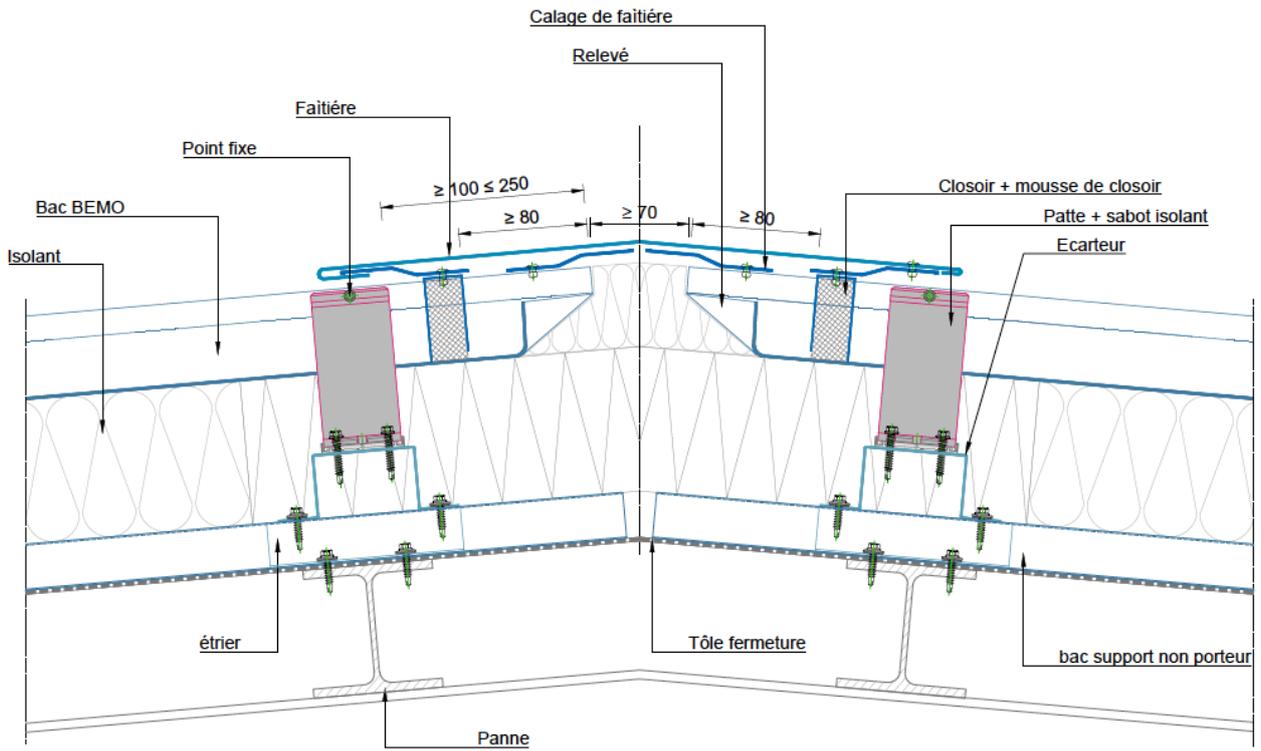


**Figure 40 – Pince à relever**

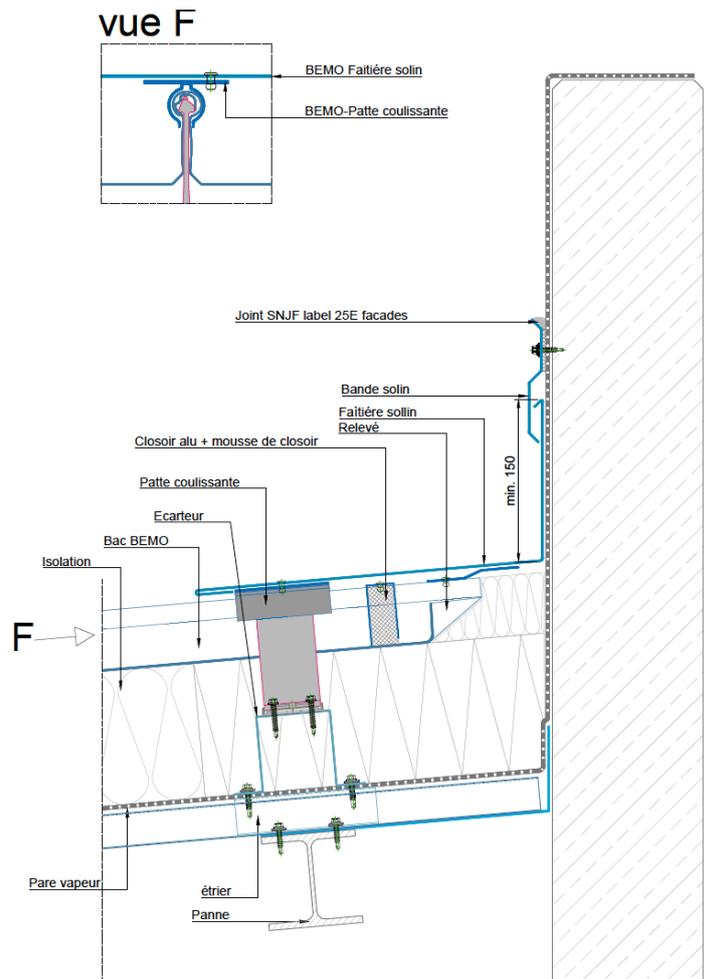


Principe de recouvrement des faitières

**Figure 41 – Faîtage sur toiture froide**



**Figure 42 - Faîtage sur toiture chaude**

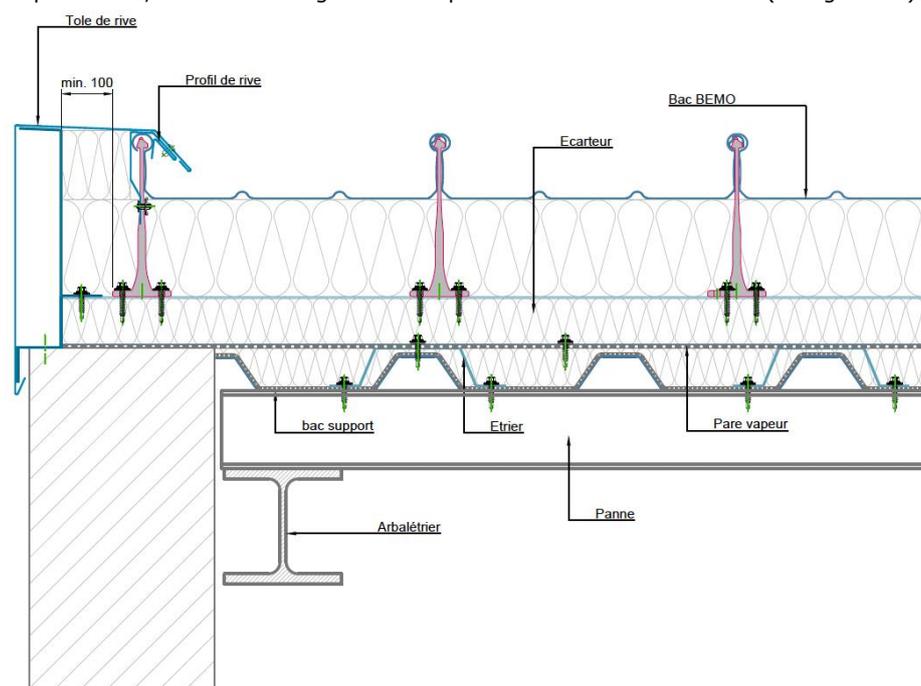


**Figure 43 – Faîtage coulissant**

#### 2.4.5. Méthode de pose des rives

La rive est constituée du profil de rive et de la rive proprement dite. Le profil de rive est fixé sur la patte à l'aide d'une vis dans la patte aluminium. En fonction du rayon de cintrage, il peut s'avérer nécessaire de réaliser des entailles dans le profil de rive afin de pouvoir suivre le rayon de courbure.

La rive vient s'agrafer sur le profil de rive (avec recouvrement de 200 mm) et est fixée en pignon par des pattes ponctuelles de largeur 50 mm, d'épaisseur 1,5 mm en acier galvanisé espacée de 500 mm maximum (cf. figure 44).



**Figure 44 – Rive**

### 2.4.6. Méthode de pose de l'égout

La fixation de gouttière ou chéneau en extrémité des bacs BEMO® N50 et N65 cintrés est interdite.

Chaque bac BEMO® N50 ou N65 cintré est plié en extrémité à l'aide d'un pince spécifique dite « pince à larmier » (cf. figure 45).

Un closoir mousse est inséré à l'avancement dans le petit bourrelet à 25 mm de l'extrémité du bac.

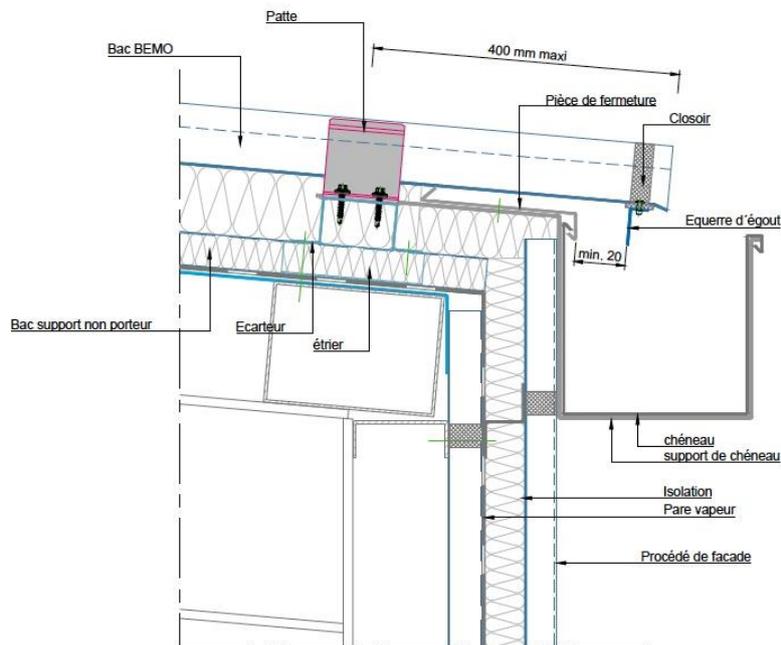
Une équerre aluminium recevant un joint compribande auto-adhésif est positionnée au droit de la rangée de closoir mousse d'égout et assemblée par rivets étanche dia 4,8 x 10 en plage. Le nombre de rivets est fonction de la largeur du bac. Pour un bac de largeur 333, trois rivets seront mis en place car ce bac possède deux joncs en plage, donc trois intervalles. (cf. figures 46 et 47). Dans le cas de rives biaises et l'impossibilité de réaliser les points fixes au faitage, la cornière d'égout sera découpée à la largeur de chaque bac afin de ne pas entraver la dilatation des bacs.

Un jeu minimum est assuré entre l'équerre aluminium et la pièce de fermeture du chéneau (cf. figure 47).

Le débord maximum à partir de la patte est de 400 mm.

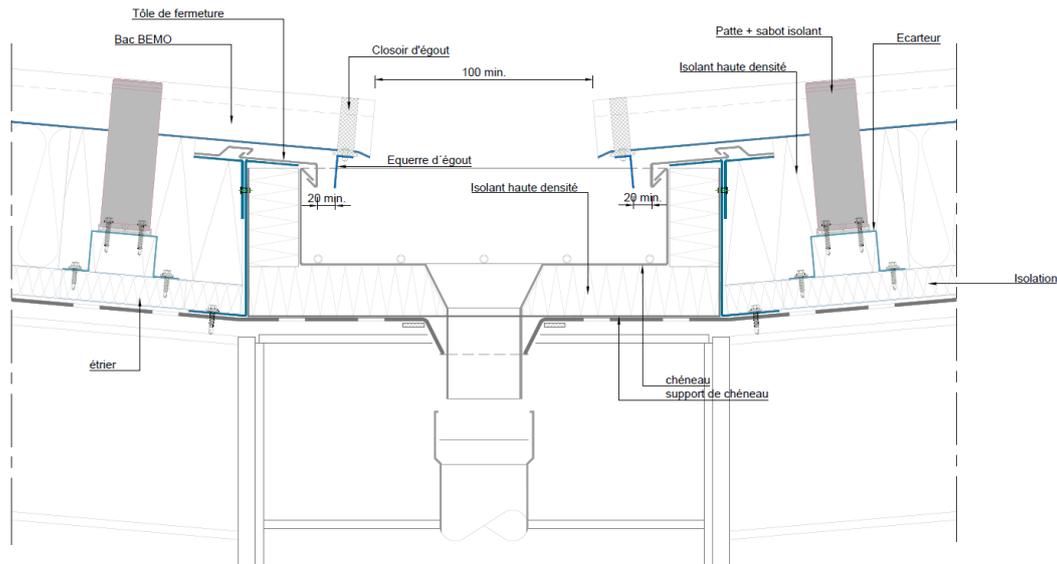


**Figure 45 – Pince à larmier**



*Nota : Pour le calcul du jeu minimum de dilatation, se reporter au § 2.3.1.2.*

**Figure 46 – Egout**



Nota : Pour le calcul du jeu minimum de dilatation, se reporter au § 2.3.1.2.

**Figure 47 – Chéneau encaissé**

## 2.4.7. Méthode de réalisation des points singuliers

### 2.4.7.1. Généralités

Ce procédé est destiné à la réalisation de couvertures avec peu de pénétrations et de dimensions limitées. Les costières doivent présenter des parties cintrées adaptées au rayon de cintrage du chantier.

L'étanchéité des habillages de sorties de toiture est systématiquement réalisée par soudure TIG ou MIG. Cette opération nécessite une préparation adaptée des surfaces à assembler. Sur les bacs nus, un simple dégraissage est suffisant. Pour les bacs prélaqués, un décapage du revêtement à l'aide d'une brosse métallique de forme conique à fils de cuivre est nécessaire.

La largeur du décapage est de l'ordre d'un centimètre de part et d'autre du cordon de soudure à réaliser. En présence d'un film régulateur de condensation en sous face du bac, celui-ci devra être retiré sur une profondeur de 120 mm afin de prévenir tout départ de feu.

La soudure sera effectuée par un soudeur qualifié suivant les préconisations de la norme EN ISO 9606-2.

### 2.4.7.2. Sortie de toiture cylindrique (cf. figure 48)

Comme pour toutes sorties de toiture, la gestion de la dilatation est primordiale. Le jeu minimum « J » laissé autour du conduit sera fonction de la position de la sortie par rapport au point fixe. Le jeu sera ainsi conforme au § 2.3.1.2 (1,5 mm/m de bac), avec un minimum sera de 20 mm.

Par exemple : sortie positionnée à 45 m du point fixe. Le jeu J est égal à  $J = 45 \times 1,5 = 67,5$  mm. Il est donc nécessaire de prévoir un habillage d'un rayon de 68 mm plus grand que le diamètre extérieur de la sortie cylindrique.

En fonction du diamètre de la sortie de toiture et donc de ses habillages, il sera nécessaire de découper les relevés des bacs BEMO® N50 et N65 cintrés. Le règle à adopter est la suivante :

Lb étant la largeur de la plage du bac,

Dsh le diamètre extérieur de l'habillage de la sortie de toiture :

Découpe des relevés des bacs si  $Dsh > Lb - 150$  mm

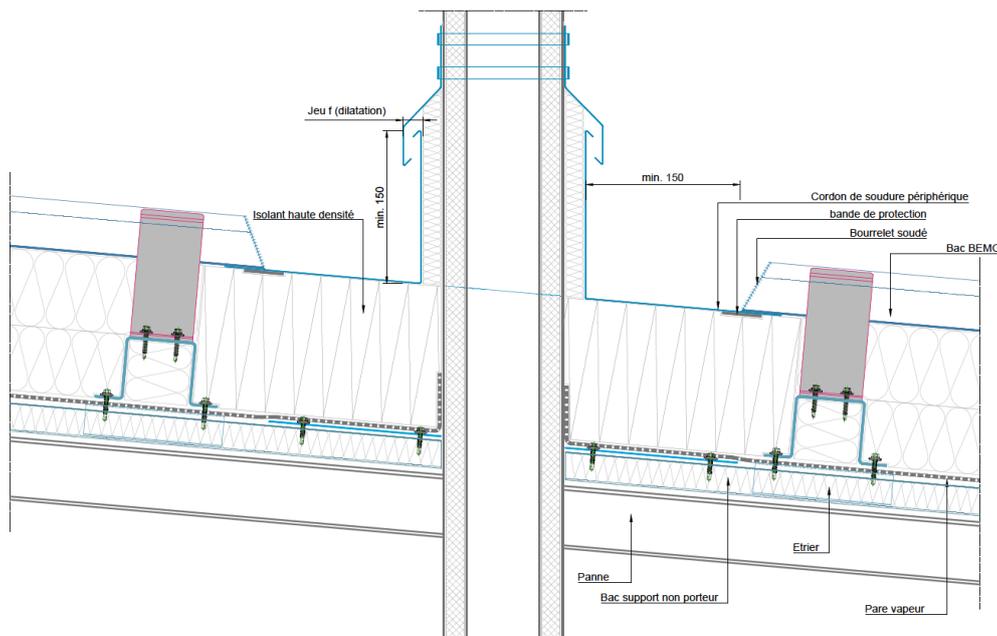
Une platine, une fois soudée selon les préconisations du § 2.4.7.1, assurera alors l'étanchéité.

Pour les sorties de grand diamètre, un isolant haute densité sera disposé en périphérie de la sortie de toiture afin d'assurer un bon maintien des tôles d'habillage avant soudure.

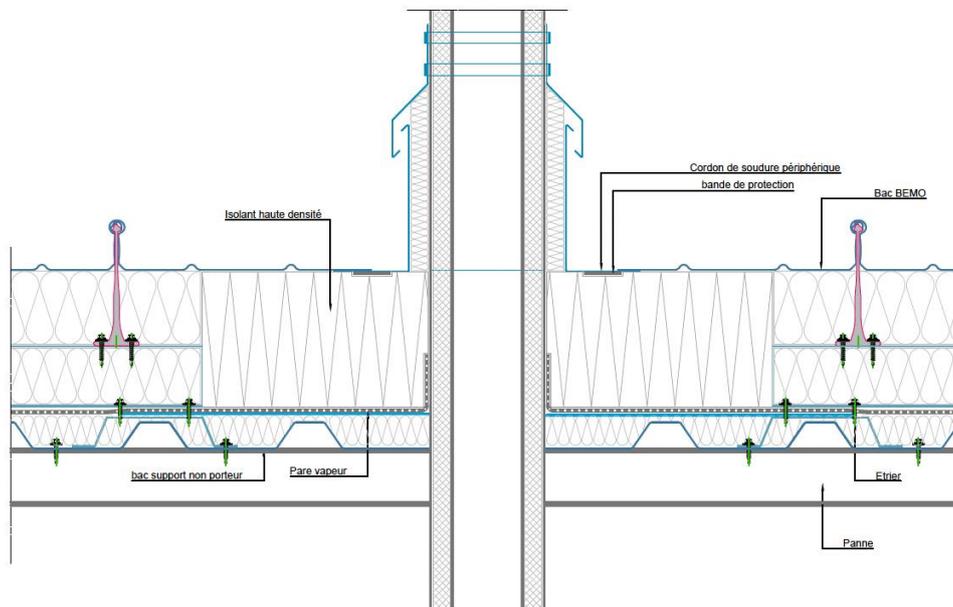
Une bande de protection métallique en acier galvanisé épaisseur 2 mm et de largeur 100 mm sera disposée en périphérie au droit de la future soudure afin de faciliter l'assemblage.

En cas de toiture froide, un profil « Z » sera disposé en lieu et place de l'isolant haute densité.

Une distance minimale de « travail » (150 mm) sera conservée autour de l'habillage de la sortie afin de permettre au soudeur de réaliser la préparation des surfaces et son cordon de soudure.



*Nota : Pour le calcul du jeu minimum de dilatation, se reporter au § 2.3.1.2.*



**Figure 48 – Sortie de toiture cylindrique**

#### 2.4.7.3. Sortie de toiture rectangulaire (cf. figure 49)

Comme pour les sorties de toiture cylindrique, le jeu entre les habillages et la sortie de toiture sera conforme au § 2.3.1.2 (1,5 mm/m de bac), avec un minimum de 20 mm.

Pour des sorties de toitures positionnées en enfilade sur une même ligne de bacs, le calcul du Jeu « J » se fera toujours par rapport au point fixe, et non par rapport à la sortie de toiture précédente.

Par exemple : sorties positionnées à 20 m, 30 m, 35 m du point fixe. Le jeu J est égal respectivement à  $J = 20 \times 1,5 = 30$  mm, 45 mm et 62,5 mm. Il est donc nécessaire de prévoir un positionnement des habillages différent pour chacune des sorties de toiture.

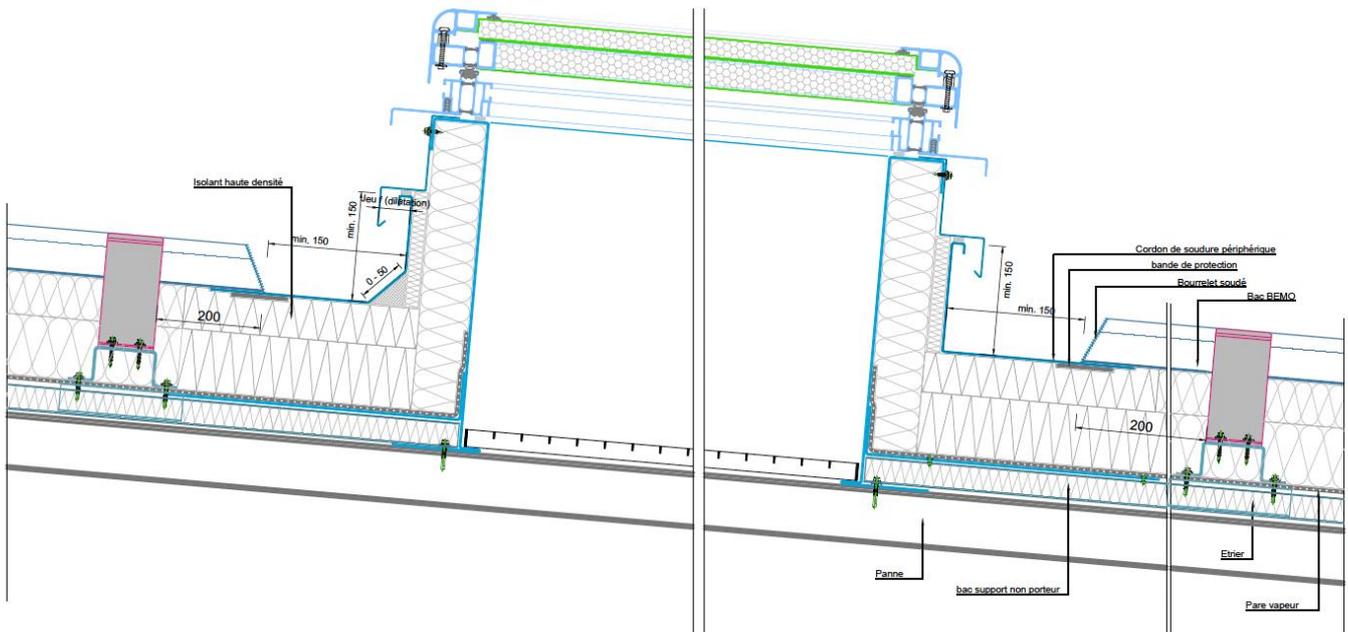
Dans le sens de la pente, la longueur de la sortie est limitée à l'espacement maximum entre les pannes (3,5 m maximum).

Dans le sens de la largeur du rampant, la dimension maximale de la sortie ne dépassera pas 1,88 m (soit 4 bacs de 470 maximum).

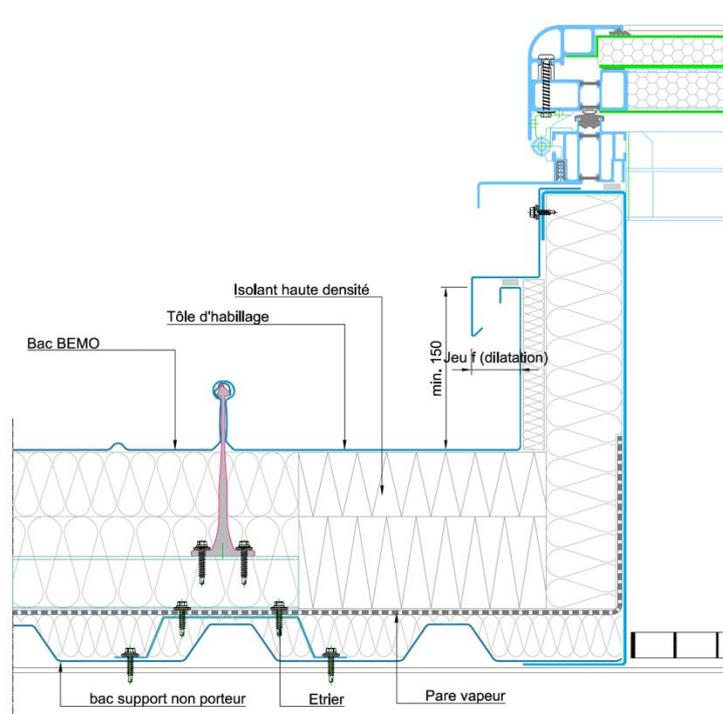
Au-delà d'une dimension de 1,4 x 1,4 m, les habillages seront réalisés en aluminium d'épaisseur 1,5 mm minimum.

Un isolant haute densité sera disposé en périphérie de la sortie de toiture afin d'assurer un bon maintien des tôles d'habillage avant soudure. Une bande de protection métallique en acier galvanisé épaisseur 2 mm et de largeur 100 mm sera disposée en périphérie au droit de la future soudure afin de faciliter l'assemblage.

En cas de toiture froide, un profil « Z » en acier galvanisé d'épaisseur minimal 1,5 mm sera disposé en lieu et place de l'isolant haute densité.



Nota : Pour le calcul du jeu minimum de dilatation, se reporter au § 2.3.1.2.



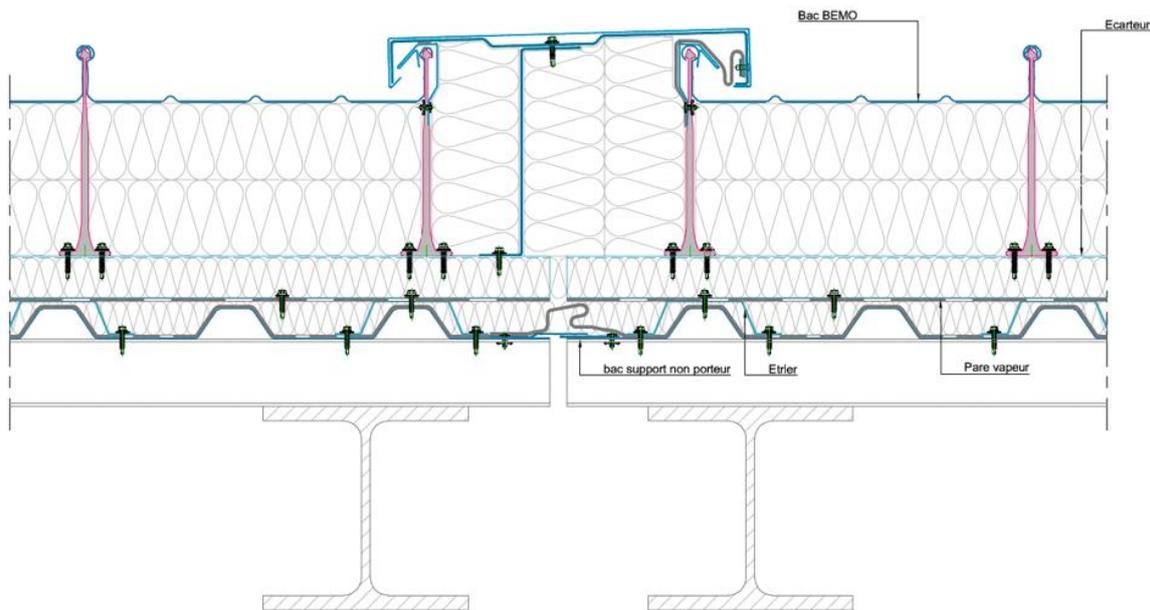
**Figure 49 – Sortie de toiture rectangulaire**

#### 2.4.7.4. Joint de dilatation (cf. figure 50)

Les joints de dilatation du gros œuvre sont reportés au niveau de la couverture. La coiffe de ce joint de dilatation devra permettre le renvoi des eaux sur un de ses côtés, vers le fond des bacs et sera posée sans fixation traversante sur le dessus.

Le profil « Z » central devra être dimensionné afin de pouvoir reprendre les efforts liés au vent s'appliquant sur la coiffe du joint de dilatation.

La tôle d'habillage est agrafée d'un côté de son support et fixée par une fixation mécanique (vis ou rivet) de l'autre côté.



**Figure 50 – Joint de dilatation**

## 2.5. Entretien et réparation

### 2.5.1. Entretien de la couverture

Les dispositions de l'annexe A2 du DTU 40.36 s'appliquent à ce système.

En fonction du niveau de salissure et de leur nature, utiliser de l'eau savonneuse en frottant si besoin avec une brosse à pavé sur les zones fortement encrassées, puis rincer à l'eau claire.

Ne jamais utiliser de produit à Ph basique ou fortement acide.

Comme pour toutes les interventions sur une couverture, la réglementation sur la prévention des chutes de hauteur est à respecter.

### 2.5.2. Remplacement d'une partie de couverture

En cas d'endommagement ponctuel de la couverture, les bacs BEMO® N50 et N65 cintrés peuvent être déposés en dessertissant le gros bourrelet à l'aide du galet de dessertissage livrée avec la machine à sertir.

Il est fortement recommandé de nettoyer la couverture dans la zone où les bacs doivent être déposés afin de faciliter le travail du galet de dessertissage.

Cette opération ne peut être faite que 2 fois. Au-delà le remplacement des bacs est obligatoire.

L'utilisation de pince pour ouvrir les bourrelets est strictement interdite. Si tel est le cas, le ou les bacs ainsi démontés devront être remplacés à neuf.

## 2.6. Assistance technique

### 2.6.1. Conseil à l'étude

Le bureau d'études de BEMO SYSTEMS GmbH se tient à disposition des cabinets d'architectes et des entreprises de pose afin de les conseiller dans la conception de leur système de couverture aluminium à joint debout.

### 2.6.2. Formation des entreprises de pose

Le système de couverture BEMO® nécessite une formation dans les locaux de BEMO SYSTEMS GmbH ou sur le chantier afin de bien intégrer les spécificités de ce produit et sa mise en œuvre. Un certificat de formation nominatif et un état exhaustif des points abordés sont délivrés aux stagiaires. Les soudeurs devant intervenir sur les bacs BEMO® N50 et N65 cintrés devront posséder une attestation de capacité selon la norme ISO 9606-2 valide durant la durée de l'intervention.

### 2.6.3. Assistance au démarrage

Du fait de la précision demandée au niveau de la pose de l'ossature secondaire et des pattes de fixation, le recours à un technicien de la société BEMO est obligatoire pour la première mise en œuvre du système BEMO par l'entreprise de pose. Ce technicien complètera la formation effectuée par l'entreprise de pose dans les locaux de BEMO SYSTEMS GmbH ou sur le chantier (cf. § 2.6.2), conseillera les poseurs sur le choix des lignes de références et contrôlera la constance de la qualité de pose.

## 2.6.4. Assistance technique obligatoire

Les cas suivants nécessitent obligatoirement le recours à l'assistance technique de la société BEMO SYSTEMS GmbH :

- Cas des couvertures de pente comprise entre 3 et 5 %, pour la définition de la nature du revêtement prélaqué (cf. § 2.2.2.1.4.2).
- Cas des équipements de toiture, repris directement sur la charpente, vérifiée apte à cet usage, en traversant le complexe de couverture. L'étanchéité entre les habillages des supports traversant la couverture et les bacs BEMO® N50 ou N65 cintrés sera réalisée par soudure (cf. § 2.4.7) et l'assistance technique de la société BEMO SYSTEMS GmbH est obligatoire (cf. § 2.2.2.4.5).
- Le calcul du point fixe est effectué par le service technique de la société BEMO SYSTEMS GmbH pour chaque projet (cf. § 2.3.1.3). En cas de recours à une patte double (cf. figure 5) pour la reprise d'efforts importants, l'ossature secondaire sera également dimensionnée par le bureau d'étude BEMO SYSTEMS GmbH.
- L'étude technique de conception BEMO précisera si une structure secondaire intermédiaire entre la charpente et le système BEMO est nécessaire. Les DPM indiqueront systématiquement si cette structure secondaire est oui ou non à prévoir, et quel en sera le lot titulaire. Ceci implique une prise en charge du projet par le bureau d'étude BEMO® dès la phase conception, avant signature des marchés (cf. § 2.3.3).
- Dans le cas de cintrage à rayons multiples, il est nécessaire de faire appel au service technique de BEMO SYSTEMS GmbH (cf. § 2.3.7.1).

---

## 2.7. Principes de fabrication et de contrôle

---

### 2.7.1. Fabrication des bacs BEMO® N50 et N65 cintrés

#### 2.7.1.1. En usine

Les bacs BEMO® N50 et N65 cintrés sont fabriqués dans l'usine de Ilshofen en France. Ils sont obtenus par profilage à froid sur machines à galets à partir de bobine d'aluminium de dimensions et finition adaptée aux bacs à produire. Ils sont ensuite cintrés si besoin mécaniquement dans une cintruse à galets en fonction des rayons à obtenir. Ils sont colisés au sein de cette même usine selon les besoins du client.

#### 2.7.1.2. Sur chantier

La société BEMO SYSTEMS GmbH peut exporter ses unités de fabrication mobile sur chantier afin de s'affranchir des contraintes liées au transport des produits finis. Les produits finis sont alors soit colisés au sol en attente de levage ou de parachèvement, soit directement produits à hauteur de toiture et mis en œuvre « dans la foulée ».

### 2.7.2. Contrôles de fabrication des bacs

#### 2.7.2.1. En usine

##### 2.7.2.1.1. Sur matière première

A réception des bobines, un contrôle visuel de l'état de la palette est effectué. Les bons de livraisons sont rapprochés de la commande et comparés aux colis réceptionnés. La présence des certificats 3.1b est vérifiée. Cette étape franchie, un prélèvement matière format A4 est effectué afin de réaliser les tests de pliage selon l'EN ISO 7438 et les contrôles liés au laquage (couleur, brillance, rayure) 2 fois par an conformément au plan de contrôle. Ces contrôles sont consignés sur une fiche archivée au service qualité.

Les caractéristiques minimales de l'alliage sont vérifiées, conformément au tableau 2, sur la base des valeurs déclarées dans le certificat 3.1b.

##### 2.7.2.1.2. Sur produit fini

Les bacs produits font l'objet d'un contrôle dimensionnel complet pour chaque commande ou une fois par jour en cas de commande importante.

Les contrôles suivants sont réalisés :

- Hauteurs des petits et grands bourrelets ;
- Largeur plage plane des bacs ;
- Hauteur raidisseurs ;
- Pas de pose ;
- Longueur des bacs à chaque changement de longueur ;
- Contrôle des rayons et des éventuelles parties droites à l'aide d'un mannequin papier, coté petit bourrelet puis coté grand bourrelet après retournement du bac.

Un essai de glissement des pattes dans le petit bourrelet est effectué après chaque changement de bobine (protocole interne). Ces contrôles sont consignés sur une fiche archivée au service qualité.

##### 2.7.2.1.3. Sur les colis

Un contrôle visuel du colis est effectué avant toute expédition afin de s'assurer de la bonne stabilité de la palettisation et de l'absence de dommages liés au cerclage ou à la manutention interne. La présence des documents de livraison et des étiquettes d'avertissement est également réalisée.

## 2.7.2.2. Sur chantier

### 2.7.2.2.1. Sur matière première

Seule l'adéquation entre les caractéristiques de la commande et de la matière est contrôlée : largeur de la bobine, couleur, épaisseur, caractéristiques minimales de l'alliage (cf. tableau 2). Un contrôle visuel de l'état des palettes est également réalisé en prenant soin de vérifier l'absence totale d'eau dans le film de palettisation.

### 2.7.2.2.2. Sur produit fini

Les contrôles sur site sont identiques à ceux effectués en usine.

### 2.7.2.2.3. Sur les colis

Les contrôles sur site sont identiques à ceux effectués en usine. Les colis sont disposés afin de prévenir toute stagnation d'eau.

## 2.7.3. Fabrication des accessoires

Les accessoires suivants sont fabriqués dans l'usine de Ilshofen en France :

- Closoir de façtage
- Profil de rive
- Profil de calage

## 2.7.4. Contrôles de fabrication des accessoires

### 2.7.4.1. En usine

#### *Sur matière première*

Les contrôles des bobines destinées à la fabrication des profils de rive, de façtage et autres habillages sont identiques à ceux pratiqués sur les bobines destinées à la fabrication des bacs de couverture.

#### *Sur produit fini*

En ce qui concerne les pattes aluminium, un contrôle dimensionnel au gabarit est effectué par lot de fabrication. Le résultat de ces contrôles est consigné sur des fiches dédiées, archivées au service qualité. La présence du certificat 3.1b est vérifiée dès réception des colis.

La mise à longueur des pattes aluminium ainsi que leur perçage sont réalisés par une presse. Seule l'adéquation entre la commande et le type de patte est contrôlé.

### 2.7.4.2. Sur chantier

Seule l'adéquation entre les caractéristiques de la commande et des quantités et type d'accessoire sont contrôlés. Un contrôle visuel de l'état des palettes est également réalisé en prenant soin de vérifier l'absence de dommage.

### 2.7.4.3. Pour la sous-traitance

Un certificat matière 3.1b est systématiquement demandé pour chaque commande. L'adéquation entre les caractéristiques de la commande et des quantités et type d'accessoire sont contrôlés. Un contrôle visuel de l'état des palettes est également réalisé en prenant soin de vérifier l'absence de dommage.

---

## 2.8. Mention des justificatifs

### 2.8.1. Résultats Expérimentaux

Essai de traction en zones périphérique et centrale des pattes BEMO, KIT du 30 mars 1984.

Essai de charge ascendante et descendante, bacs sur 2 ou 3 appuis, d'août 1984 à 1985, EMPA 50258.

Essais de charge ascendantes et descendantes, pose sur une ou deux travées. Rapport du 2 janvier 1985.

Essais de glissement de l'assemblage longitudinal serti. Rapport Réf II.I-14 617 de septembre 1985.

Essais de charges ascendantes et descendantes sur BEMO® 65/400 en aluminium d'épaisseur 0,7 ; 0,8 et 1,0 mm. Rapport d'essai de l'université de Hanovre, juin 1986.

Essai de traction et de flambement pattes aluminium BEMO®, Rapports 49 a, b et c AMB Hannover du 9 janvier 1992.

Essais de flexion sous charge ponctuelle Bac 65/305. Rapport CSTB N° 35 345 22 mars 1993.

Essais de flexion sous charge ponctuelle Bac 65/400. Rapport SOCOTEC N° LG40005 16 novembre 2001.

Essais de frottement (100000 cycles) pattes / bac Rapport KIT (Karlsruhe Institut für Technologie) 123004-2 du 10 mai 2012.

Détermination des ponts thermiques en fonction du complexe N° CSTB / 2013-10-01 du 1<sup>er</sup> octobre 2013.

Rapport CSTB de calcul des ponts thermiques DEB/R2EB-2022-080-LB/NZ du 6 mai 2022.

Rapport CSTB de vieillissement et essais comparatif de tenue des sabots isolants N° DSSF 22-11559.

### 2.8.2. Références chantiers

Le système BEMO® cintré a été mis en œuvre à hauteur de 412 00 m<sup>2</sup> depuis 1989, dont 36 000 m<sup>2</sup> en France.

---

## **2.9. Annexes du Dossier Technique**

---

### ***Légende annexes***

Annexe 1 : Etude faisabilité couverture cintrée convexe OU concave

Annexe 2 : Calcul de point fixe et fixation ossature secondaire, méthode lecture directe

Annexe 3 : Calcul de point fixe et fixation ossature secondaire, méthode classique

Annexe 4 : Ponts thermiques

Annexe 5 : Calepinage des bacs

Annexe 6 : Note de calcul charges de neige et vent

**Tableau 10 – Charges réparties ELS admises en kN/m<sup>2</sup>, BEMO® N50/333**

Solicitation	Portée R ≤ 75 m	Portée R = 85 m *	Portée R ≥ 100 m	2 appuis				3 appuis				4 appuis et plus			
				Epaisseur des tôles en mm				Epaisseur des tôles en mm				Epaisseur des tôles en mm			
				0,8	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,0	1,2
Charges descendantes	0,75	0,85	1,00	4,89	5,88	6,13	6,12	2,44	2,43	2,43	2,42	2,67	2,67	2,66	2,65
	0,94	1,06	1,25	3,12	3,75	4,38	4,89	1,94	1,94	1,94	1,93	2,13	2,13	2,12	2,11
	1,13	1,28	1,50	2,16	2,55	2,88	3,28	1,61	1,61	1,61	1,60	1,77	1,77	1,76	1,76
	1,31	1,49	1,75	1,39	1,59	1,80	2,05	1,38	1,38	1,37	1,37	1,51	1,51	1,51	1,50
	1,50	1,70	2,00	0,92	1,06	1,19	1,36	1,08	1,20	1,20	1,19	1,27	1,32	1,31	1,31
	1,69	1,91	2,25	0,64	0,73	0,82	0,94	0,85	1,06	1,06	1,05	0,99	1,17	1,16	1,16
	1,88	2,13	2,50	0,46	0,52	0,59	0,67	0,68	0,87	0,95	0,94	0,80	1,02	1,04	1,04
	2,06	2,34	2,75	0,34	0,38	0,43	0,49	0,56	0,71	0,86	0,85	0,60	0,76	0,86	0,94
	2,25	2,55	3,00	0,25	0,29	0,32	0,37	0,46	0,59	0,74	0,78	0,50	0,58	0,65	0,74
Charges ascendantes	0,75	0,85	1,00	2,95	4,07	5,19	8,03	2,28	3,10	3,94	3,77	2,49	3,39	4,30	4,24
	0,94	1,06	1,25	2,37	2,88	3,33	5,52	1,83	2,49	3,15	2,74	2,00	2,72	3,45	3,09
	1,13	1,28	1,50	1,70	2,01	2,32	3,37	1,53	2,08	2,63	2,10	1,67	2,27	2,88	2,37
	1,31	1,49	1,75	1,26	1,48	1,71	2,14	1,31	1,78	2,15	1,66	1,43	1,95	2,46	1,88
	1,50	1,70	2,00	0,97	1,12	1,27	1,45	1,12	1,56	1,72	1,35	1,24	1,71	1,97	1,53
	1,69	1,91	2,25	0,70	0,80	0,90	1,03	0,96	1,37	1,41	1,12	1,07	1,40	1,61	1,28
	1,88	2,13	2,50	0,52	0,59	0,67	0,76	0,84	1,11	1,18	0,95	0,94	1,09	1,23	1,08
	2,06	2,34	2,75	0,40	0,45	0,51	0,58	0,75	0,92	1,00	0,82	0,72	0,83	0,93	0,93
	2,25	2,55	3,00	0,31	0,36	0,40	0,46	0,67	0,78	0,86	0,71	0,56	0,64	0,73	0,81

\* Pour des rayons de cintrage compris entre 75 et 100 m, multiplier la portée de la colonne R ≥ 100 m par la valeur du rayon et diviser par 100 (interpolation linéaire). Ex pour 85 m : 1,25 x 0,85 = 1,06 m.

**Notes :** Les valeurs de charges admises du tableau sont à comparer en pression aux charges de neige (S) selon la norme NF EN 1991-1-3 et son Annexe Nationale NF EN 1991-1-3/NA, et en dépression aux charges de vent caractéristique (W<sub>k</sub>) selon le E-cahier CSTB n°3804\_V2 d'octobre 2021. Elles tiennent compte d'une résistance caractéristique à l'arrachement des vis de fixations (2 minimum par pattes) conforme au § 2.2.2.3.1.

**Tableau 11 – Charges réparties ELS admises en kN/m<sup>2</sup>, BEMO® N50/429**

Solicitation	Portée R ≤ 75 m	Portée R = 85 m *	Portée R ≥ 100 m	2 appuis				3 appuis				4 appuis et plus			
				Epaisseur des tôles en mm				Epaisseur des tôles en mm				Epaisseur des tôles en mm			
				0,8	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,0	1,2
Charges descendantes	0,75	0,85	1,00	4,12	4,75	4,75	4,74	1,89	1,88	1,88	1,87	2,07	2,06	2,06	2,05
	0,94	1,06	1,25	2,63	3,12	3,64	3,79	1,50	1,50	1,50	1,49	1,65	1,64	1,64	1,63
	1,13	1,28	1,50	1,79	2,04	2,27	2,66	1,25	1,25	1,24	1,24	1,37	1,36	1,36	1,35
	1,31	1,49	1,75	1,12	1,27	1,42	1,66	1,07	1,06	1,06	1,05	1,17	1,17	1,16	1,16
	1,50	1,70	2,00	0,74	0,84	0,94	1,10	0,93	0,93	0,92	0,92	1,02	1,02	1,01	1,01
	1,69	1,91	2,25	0,51	0,58	0,65	0,76	0,82	0,82	0,82	0,81	0,90	0,90	0,90	0,89
	1,88	2,13	2,50	0,36	0,41	0,46	0,54	0,74	0,74	0,73	0,73	0,81	0,81	0,80	0,80
	2,06	2,34	2,75	0,27	0,30	0,34	0,40	0,60	0,67	0,66	0,66	0,53	0,60	0,67	0,72
	2,25	2,55	3,00	0,20	0,23	0,25	0,29	0,50	0,57	0,60	0,60	0,40	0,46	0,51	0,60
Charges ascendantes	0,75	0,85	1,00	2,27	3,02	3,78	5,71	1,77	2,41	3,03	2,81	1,94	2,64	3,31	3,14
	0,94	1,06	1,25	1,82	2,25	2,67	3,81	1,42	1,93	2,42	2,05	1,56	2,11	2,65	2,31
	1,13	1,28	1,50	1,28	1,57	1,86	2,65	1,19	1,62	2,02	1,58	1,30	1,76	2,21	1,78
	1,31	1,49	1,75	0,94	1,16	1,37	1,74	1,02	1,39	1,72	1,26	1,12	1,52	1,90	1,42
	1,50	1,70	2,00	0,73	0,89	1,01	1,18	0,90	1,21	1,40	1,03	0,98	1,33	1,59	1,16
	1,69	1,91	2,25	0,57	0,64	0,72	0,84	0,78	1,01	1,16	0,86	0,87	1,10	1,30	0,97
	1,88	2,13	2,50	0,42	0,48	0,53	0,62	0,65	0,82	0,98	0,73	0,73	0,88	0,98	0,83
	2,06	2,34	2,75	0,32	0,37	0,41	0,48	0,54	0,68	0,82	0,63	0,59	0,67	0,74	0,71
	2,25	2,55	3,00	0,25	0,29	0,32	0,38	0,46	0,58	0,70	0,55	0,46	0,52	0,58	0,62

\* Pour des rayons de cintrage compris entre 75 et 100 m, multiplier la portée de la colonne R ≥ 100 m par la valeur du rayon et diviser par 100 (interpolation linéaire). Ex pour 85 m : 1,25 x 0,85 = 1,06 m.

**Notes :** Les valeurs de charges admises du tableau sont à comparer en pression aux charges de neige (S) selon la norme NF EN 1991-1-3 et son Annexe Nationale NF EN 1991-1-3/NA, et en dépression aux charges de vent caractéristique (W<sub>k</sub>) selon le E-cahier CSTB n°3804\_V2 d'octobre 2021. Elles tiennent compte d'une résistance caractéristique à l'arrachement des vis de fixations (2 minimum par pattes) conforme au § 2.2.2.3.1.

**Tableau 12 – Charges réparties ELS admises en kN/m<sup>2</sup>, BEMO® N50/470**

Solicitation	Portée R ≤ 75 m	Portée R = 85 m *	Portée R ≥ 100 m	2 appuis				3 appuis				4 appuis et plus			
				Epaisseur des tôles en mm				Epaisseur des tôles en mm				Epaisseur des tôles en mm			
				0,8	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,0	1,2
Charges descendantes	0,75	0,85	1,00	3,90	4,34	4,33	4,33	1,72	1,72	1,71	1,71	1,88	1,88	1,88	1,87
	0,94	1,06	1,25	2,49	2,96	3,44	3,45	1,37	1,37	1,36	1,36	1,50	1,50	1,50	1,49
	1,13	1,28	1,50	1,67	1,89	2,11	2,50	1,14	1,13	1,13	1,13	1,25	1,24	1,24	1,23
	1,31	1,49	1,75	1,04	1,18	1,32	1,56	0,97	0,97	0,97	0,96	1,07	1,06	1,06	1,05
	1,50	1,70	2,00	0,69	0,78	0,87	1,03	0,85	0,84	0,84	0,83	0,93	0,93	0,92	0,92
	1,69	1,91	2,25	0,48	0,54	0,60	0,71	0,75	0,75	0,74	0,74	0,82	0,82	0,82	0,81
	1,88	2,13	2,50	0,34	0,38	0,43	0,51	0,67	0,67	0,67	0,66	0,67	0,73	0,73	0,72
	2,06	2,34	2,75	0,25	0,28	0,31	0,37	0,61	0,61	0,60	0,60	0,49	0,56	0,62	0,66
	2,25	2,55	3,00	0,18	0,21	0,23	0,27	0,48	0,55	0,55	0,54	0,37	0,42	0,47	0,56
Charges ascendantes	0,75	0,85	1,00	2,09	2,74	3,40	5,09	1,62	2,20	2,72	3,31	1,77	2,40	2,97	3,62
	0,94	1,06	1,25	1,66	2,08	2,49	3,34	1,30	1,76	2,18	2,65	1,42	1,93	2,38	2,90
	1,13	1,28	1,50	1,16	1,45	1,74	2,33	1,09	1,47	1,82	2,22	1,19	1,61	1,99	2,42
	1,31	1,49	1,75	0,86	1,07	1,28	1,64	0,93	1,26	1,55	1,75	1,02	1,38	1,71	1,99
	1,50	1,70	2,00	0,66	0,82	0,94	1,11	0,82	1,06	1,27	1,41	0,89	1,20	1,44	1,61
	1,69	1,91	2,25	0,53	0,60	0,67	0,79	0,70	0,89	1,06	1,17	0,78	1,01	1,20	1,33
	1,88	2,13	2,50	0,39	0,45	0,50	0,59	0,57	0,74	0,90	0,98	0,66	0,82	0,91	1,08
	2,06	2,34	2,75	0,30	0,34	0,38	0,45	0,48	0,62	0,76	0,84	0,55	0,62	0,69	0,82
	2,25	2,55	3,00	0,24	0,27	0,30	0,36	0,40	0,52	0,64	0,73	0,43	0,48	0,54	0,64

\* Pour des rayons de cintrage compris entre 75 et 100 m, multiplier la portée de la colonne R ≥ 100 m par la valeur du rayon et diviser par 100 (interpolation linéaire). Ex pour 85 m : 1,25 x 0,85 = 1,06 m.

**Notes :** Les valeurs de charges admises du tableau sont à comparer en pression aux charges de neige (S) selon la norme NF EN 1991-1-3 et son Annexe Nationale NF EN 1991-1-3/NA, et en dépression aux charges de vent caractéristique (W<sub>k</sub>) selon le E-cahier CSTB n°3804\_V2 d'octobre 2021. Elles tiennent compte d'une résistance caractéristique à l'arrachement des vis de fixations (2 minimum par pattes) conforme au § 2.2.2.3.1.

**Tableau 13 – Charges réparties ELS admises en kN/m<sup>2</sup>, BEMO® N65/305**

Solicitation	Portée R ≤ 75 m	Portée R = 85 m *	Portée R ≥ 100 m	2 appuis				3 appuis				4 appuis et plus			
				Epaisseur des tôles en mm				Epaisseur des tôles en mm				Epaisseur des tôles en mm			
				0,8	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,0	1,2
Charges descendantes	0,75	0,85	1,00	6,16	6,69	6,69	6,68	2,66	2,65	2,65	2,64	2,91	2,91	2,90	2,89
	0,94	1,06	1,25	3,93	5,06	5,34	5,33	2,12	2,12	2,11	2,10	2,32	2,32	2,31	2,31
	1,13	1,28	1,50	2,72	3,50	4,28	4,44	1,76	1,76	1,75	1,75	1,93	1,93	1,92	1,91
	1,31	1,49	1,75	1,99	2,56	3,14	3,44	1,51	1,50	1,50	1,49	1,65	1,65	1,64	1,63
	1,50	1,70	2,00	1,52	1,95	2,29	2,52	1,31	1,31	1,31	1,30	1,44	1,43	1,43	1,42
	1,69	1,91	2,25	1,19	1,44	1,60	1,75	1,16	1,16	1,16	1,15	1,28	1,27	1,27	1,26
	1,88	2,13	2,50	0,92	1,04	1,15	1,26	1,04	1,04	1,04	1,03	1,15	1,14	1,14	1,13
	2,06	2,34	2,75	0,68	0,77	0,85	0,94	0,89	0,94	0,94	0,93	1,04	1,03	1,03	1,02
	2,25	2,55	3,00	0,52	0,58	0,65	0,71	0,75	0,86	0,86	0,85	0,88	0,94	0,94	0,93
Charges ascendantes	0,75	0,85	1,00	6,42	7,41	8,40	9,22	3,59	5,13	5,64	5,65	3,92	5,63	6,16	6,17
	0,94	1,06	1,25	4,12	4,75	5,38	5,91	2,64	3,67	4,52	4,52	2,96	4,16	4,94	4,94
	1,13	1,28	1,50	2,87	3,31	3,75	4,12	2,03	2,77	3,48	3,78	2,29	3,15	3,96	4,13
	1,31	1,49	1,75	2,11	2,44	2,76	3,03	1,62	2,17	2,69	2,96	1,83	2,47	3,07	3,39
	1,50	1,70	2,00	1,62	1,87	2,12	2,33	1,33	1,75	2,15	2,37	1,50	2,00	2,46	2,71
	1,69	1,91	2,25	1,29	1,48	1,68	1,85	1,11	1,45	1,76	1,94	1,25	1,65	2,01	2,22
	1,88	2,13	2,50	0,99	1,11	1,24	1,36	0,94	1,21	1,46	1,61	1,07	1,39	1,68	1,85
	2,06	2,34	2,75	0,75	0,85	0,94	1,04	0,81	1,04	1,24	1,37	0,92	1,18	1,42	1,57
	2,25	2,55	3,00	0,59	0,66	0,73	0,81	0,71	0,90	1,07	1,18	0,80	1,02	1,22	1,35

\* Pour des rayons de cintrage compris entre 75 et 100 m, multiplier la portée de la colonne R ≥ 100 m par la valeur du rayon et diviser par 100 (interpolation linéaire). Ex pour 85 m : 1,25 x 0,85 = 1,06 m.

**Notes :** Les valeurs de charges admises du tableau sont à comparer en pression aux charges de neige (S) selon la norme NF EN 1991-1-3 et son Annexe Nationale NF EN 1991-1-3/NA, et en dépression aux charges de vent caractéristique (W<sub>k</sub>) selon le E-cahier CSTB n°3804\_V2 d'octobre 2021. Elles tiennent compte d'une résistance caractéristique à l'arrachement des vis de fixations (2 minimum par pattes) conforme au § 2.2.2.3.1.

**Tableau 14 – Charges réparties ELS admises en kN/m<sup>2</sup>, BEMO® N65/333**

Solicitation	Portée R ≤ 75 m	Portée R = 85 m *	Portée R ≥ 100 m	2 appuis				3 appuis				4 appuis et plus			
				Epaisseur des tôles en mm				Epaisseur des tôles en mm				Epaisseur des tôles en mm			
				0,8	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,0	1,2
Charges descendantes	0,75	0,85	1,00	6,14	6,13	6,13	6,13	2,44	2,43	2,43	2,43	2,67	2,66	2,66	2,66
	0,94	1,06	1,25	3,94	4,90	4,90	4,89	1,94	1,94	1,94	1,93	2,13	2,12	2,12	2,12
	1,13	1,28	1,50	2,72	3,50	4,07	4,07	1,61	1,61	1,61	1,60	1,77	1,76	1,76	1,76
	1,31	1,49	1,75	1,99	2,57	3,14	3,44	1,38	1,38	1,37	1,37	1,51	1,51	1,50	1,50
	1,50	1,70	2,00	1,52	1,96	2,29	2,53	1,20	1,20	1,20	1,19	1,32	1,32	1,31	1,31
	1,69	1,91	2,25	1,19	1,44	1,60	1,76	1,07	1,06	1,06	1,06	1,17	1,17	1,16	1,16
	1,88	2,13	2,50	0,92	1,04	1,15	1,27	0,96	0,95	0,95	0,95	1,05	1,05	1,04	1,04
	2,06	2,34	2,75	0,69	0,77	0,86	0,94	0,87	0,86	0,86	0,86	0,95	0,95	0,94	0,94
	2,25	2,55	3,00	0,52	0,59	0,65	0,72	0,75	0,79	0,78	0,78	0,87	0,87	0,86	0,86
Charges ascendantes	0,75	0,85	1,00	6,42	7,41	8,39	9,22	3,59	5,13	5,17	5,17	3,92	5,63	5,65	5,65
	0,94	1,06	1,25	4,12	4,75	5,38	5,91	2,64	3,67	4,14	4,14	2,96	4,15	4,52	4,53
	1,13	1,28	1,50	2,86	3,30	3,74	4,11	2,03	2,77	3,45	3,45	2,29	3,14	3,77	3,78
	1,31	1,49	1,75	2,11	2,43	2,76	3,03	1,62	2,17	2,69	2,96	1,83	2,47	3,07	3,24
	1,50	1,70	2,00	1,62	1,87	2,12	2,32	1,32	1,75	2,15	2,36	1,50	1,99	2,46	2,70
	1,69	1,91	2,25	1,28	1,48	1,68	1,84	1,11	1,44	1,75	1,93	1,25	1,65	2,01	2,21
	1,88	2,13	2,50	0,99	1,11	1,23	1,36	0,94	1,21	1,46	1,61	1,07	1,39	1,68	1,85
	2,06	2,34	2,75	0,75	0,84	0,94	1,03	0,81	1,03	1,24	1,36	0,92	1,18	1,42	1,57
	2,25	2,55	3,00	0,58	0,66	0,73	0,80	0,70	0,89	1,06	1,17	0,80	1,02	1,22	1,35

\* Pour des rayons de cintrage compris entre 75 et 100 m, multiplier la portée de la colonne R ≥ 100 m par la valeur du rayon et diviser par 100 (interpolation linéaire). Ex pour 85 m : 1,25 x 0,85 = 1,06 m.

**Notes :** Les valeurs de charges admises du tableau sont à comparer en pression aux charges de neige (S) selon la norme NF EN 1991-1-3 et son Annexe Nationale NF EN 1991-1-3/NA, et en dépression aux charges de vent caractéristique (W<sub>k</sub>) selon le E-cahier CSTB n°3804\_V2 d'octobre 2021. Elles tiennent compte d'une résistance caractéristique à l'arrachement des vis de fixations (2 minimum par pattes) conforme au § 2.2.2.3.1.

**Tableau 15 – Charges réparties ELS admises en kN/m<sup>2</sup>, BEMO® N65/400**

Solicitation	Portée R ≤ 75 m	Portée R = 85 m *	Portée R ≥ 100 m	2 appuis				3 appuis				4 appuis et plus			
				Epaisseur des tôles en mm				Epaisseur des tôles en mm				Epaisseur des tôles en mm			
				0,8	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,0	1,2
Charges descendantes	0,75	0,85	1,00	5,10	5,09	5,09	5,08	2,02	2,02	2,01	2,01	2,21	2,21	2,21	2,20
	0,94	1,06	1,25	3,44	4,07	4,06	4,06	1,61	1,61	1,60	1,60	1,76	1,76	1,76	1,75
	1,13	1,28	1,50	2,38	3,05	3,38	3,37	1,34	1,33	1,33	1,32	1,46	1,46	1,46	1,45
	1,31	1,49	1,75	1,74	2,23	2,74	2,89	1,14	1,14	1,13	1,13	1,25	1,25	1,24	1,24
	1,50	1,70	2,00	1,32	1,70	1,97	2,36	1,00	0,99	0,99	0,98	1,09	1,09	1,08	1,08
	1,69	1,91	2,25	1,04	1,23	1,37	1,64	0,88	0,88	0,87	0,87	0,97	0,96	0,96	0,95
	1,88	2,13	2,50	0,79	0,89	0,99	1,19	0,79	0,79	0,78	0,78	0,87	0,86	0,86	0,85
	2,06	2,34	2,75	0,59	0,66	0,73	0,88	0,72	0,71	0,71	0,70	0,79	0,78	0,78	0,77
	2,25	2,55	3,00	0,44	0,50	0,55	0,66	0,65	0,65	0,65	0,64	0,72	0,71	0,71	0,70
Charges ascendantes	0,75	0,85	1,00	2,54	3,51	4,48	5,37	2,80	3,54	4,29	4,31	3,11	3,93	4,71	4,71
	0,94	1,06	1,25	2,04	2,81	3,59	4,30	2,12	2,68	3,24	3,45	2,36	2,98	3,61	3,78
	1,13	1,28	1,50	1,70	2,35	2,99	3,59	1,68	2,12	2,56	2,88	1,87	2,36	2,86	3,15
	1,31	1,49	1,75	1,46	2,02	2,57	3,08	1,37	1,73	2,09	2,48	1,53	1,93	2,33	2,71
	1,50	1,70	2,00	1,28	1,76	2,05	2,46	1,14	1,44	1,74	2,09	1,28	1,61	1,95	2,34
	1,69	1,91	2,25	1,12	1,31	1,45	1,74	0,97	1,22	1,48	1,77	1,09	1,37	1,66	1,99
	1,88	2,13	2,50	0,85	0,96	1,07	1,28	0,84	1,06	1,28	1,53	0,94	1,19	1,43	1,72
	2,06	2,34	2,75	0,65	0,73	0,81	0,97	0,73	0,92	1,11	1,34	0,82	1,04	1,25	1,50
	2,25	2,55	3,00	0,51	0,57	0,63	0,76	0,62	0,78	0,94	1,13	0,72	0,91	1,10	1,31

\* Pour des rayons de cintrage compris entre 75 et 100 m, multiplier la portée de la colonne R ≥ 100 m par la valeur du rayon et diviser par 100 (interpolation linéaire). Ex pour 85 m : 1,25 x 0,85 = 1,06 m.

**Notes :** Les valeurs de charges admises du tableau sont à comparer en pression aux charges de neige (S) selon la norme NF EN 1991-1-3 et son Annexe Nationale NF EN 1991-1-3/NA, et en dépression aux charges de vent caractéristique (W<sub>k</sub>) selon le E-cahier CSTB n°3804\_V2 d'octobre 2021. Elles tiennent compte d'une résistance caractéristique à l'arrachement des vis de fixations (2 minimum par pattes) conforme au § 2.2.2.3.1.

**Tableau 16 – Charges réparties ELS admises en kN/m<sup>2</sup>, BEMO® N65/440**

Solicitation	Portée R ≤ 75 m	Portée R = 85 m *	Portée R ≥ 100 m	2 appuis				3 appuis				4 appuis et plus			
				Epaisseur des tôles en mm				Epaisseur des tôles en mm				Epaisseur des tôles en mm			
				0,8	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,0	1,2	0,8	0,9	1,0	1,2
Charges descendantes	0,75	0,85	<b>1,00</b>	4,63	4,63	4,63	4,62	1,84	1,83	1,83	1,82	2,01	2,01	2,00	2,00
	0,94	1,06	<b>1,25</b>	3,05	3,70	3,69	3,69	1,46	1,46	1,46	1,45	1,60	1,60	1,60	1,59
	1,13	1,28	<b>1,50</b>	2,11	2,64	3,07	3,07	1,21	1,21	1,21	1,20	1,33	1,33	1,32	1,32
	1,31	1,49	<b>1,75</b>	1,54	1,93	2,33	2,62	1,04	1,03	1,03	1,02	1,14	1,13	1,13	1,12
	1,50	1,70	<b>2,00</b>	1,17	1,47	1,78	2,19	0,90	0,90	0,90	0,89	0,99	0,99	0,98	0,98
	1,69	1,91	<b>2,25</b>	0,92	1,15	1,28	1,54	0,80	0,80	0,79	0,79	0,88	0,87	0,87	0,86
	1,88	2,13	<b>2,50</b>	0,74	0,83	0,93	1,11	0,72	0,71	0,71	0,70	0,79	0,78	0,78	0,77
	2,06	2,34	<b>2,75</b>	0,55	0,62	0,69	0,82	0,65	0,65	0,64	0,64	0,71	0,71	0,71	0,70
	2,25	2,55	<b>3,00</b>	0,41	0,47	0,52	0,62	0,59	0,59	0,59	0,58	0,65	0,65	0,64	0,64
Charges ascendantes	0,75	0,85	<b>1,00</b>	2,30	3,17	4,05	4,99	2,38	3,09	3,79	3,92	2,60	3,37	4,14	4,28
	0,94	1,06	<b>1,25</b>	1,84	2,54	3,24	4,00	1,81	2,47	3,04	3,14	2,01	2,70	3,32	3,43
	1,13	1,28	<b>1,50</b>	1,54	2,12	2,71	3,34	1,42	2,00	2,53	2,62	1,59	2,24	2,77	2,87
	1,31	1,49	<b>1,75</b>	1,32	1,82	2,29	2,87	1,16	1,62	2,05	2,25	1,30	1,81	2,31	2,46
	1,50	1,70	<b>2,00</b>	1,16	1,47	1,76	2,24	0,97	1,34	1,69	1,97	1,08	1,50	1,90	2,16
	1,69	1,91	<b>2,25</b>	0,93	1,17	1,36	1,63	0,82	1,13	1,42	1,76	0,92	1,27	1,60	1,92
	1,88	2,13	<b>2,50</b>	0,76	0,90	1,00	1,20	0,71	0,96	1,21	1,49	0,79	1,09	1,37	1,73
	2,06	2,34	<b>2,75</b>	0,61	0,68	0,76	0,91	0,62	0,80	1,04	1,24	0,69	0,94	1,18	1,44
	2,25	2,55	<b>3,00</b>	0,48	0,53	0,59	0,71	0,52	0,68	0,91	1,04	0,61	0,79	1,03	1,21

\* Pour des rayons de cintrage compris entre 75 et 100 m, multiplier la portée de la colonne R ≥ 100 m par la valeur du rayon et diviser par 100 (interpolation linéaire). Ex pour 85 m : 1,25 x 0,85 = 1,06 m.

**Notes :** Les valeurs de charges admises du tableau sont à comparer en pression aux charges de neige (S) selon la norme NF EN 1991-1-3 et son Annexe Nationale NF EN 1991-1-3/NA, et en dépression aux charges de vent caractéristique (W<sub>k</sub>) selon le E-cahier CSTB n°3804\_V2 d'octobre 2021. Elles tiennent compte d'une résistance caractéristique à l'arrachement des vis de fixations (2 minimum par pattes) conforme au § 2.2.2.3.1.

# Annexe 1

## Etude de faisabilité couverture cintrée convexe ou concave

Étude de faisabilité de la toiture cintrée

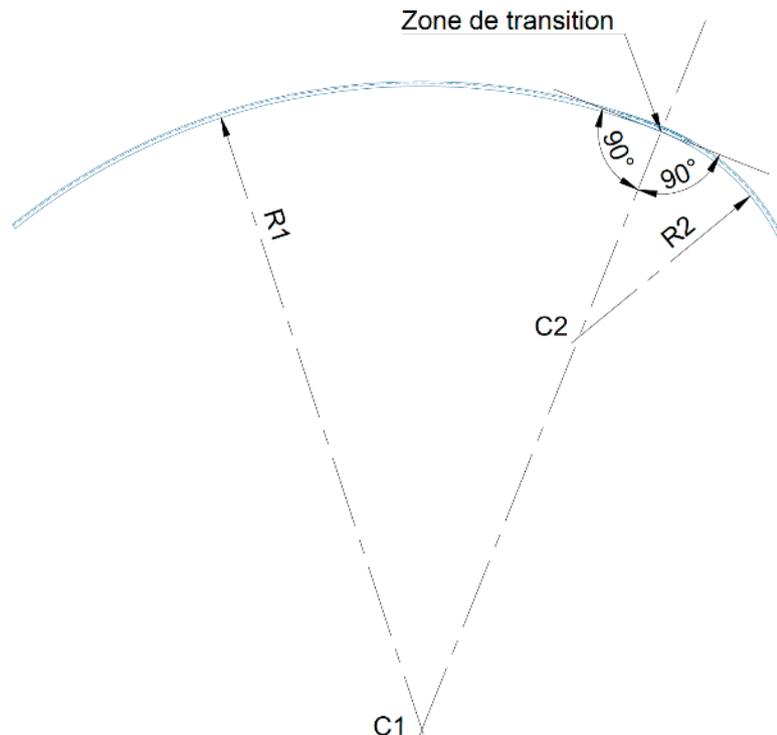
- Vérifier que les rayons s'enchaînent de façon continue (cf. figure 51). Dans le cas contraire modifier les rayons ou insérer une rupture<sup>(1)</sup>.
- Vérifier si la longueur totale du bac est bien inférieure à 100 m, dans le cas contraire insérer une rupture<sup>(1)</sup>.
- Vérifier que la pente est bien supérieure aux minimas exigés<sup>(2)</sup> en tout point de la couverture. Dans le cas contraire insérer une rupture<sup>(1)</sup>.
- Vérifier la présence de cintrage mécanique, dans ce cas positionner le point fixe au droit du rayon le plus petit, dans le cas contraire en sommet de voûte.
- Dans le cas de toiture à rayons multiples, vérifier que les rayons de cintrages sont croissants à partir du point fixe.
- Vérifier que les longueurs de part et d'autre du point fixe ainsi positionné ne dépassent pas 50 m, dans le cas contraire insérer une rupture<sup>(1)</sup>.
- En cas d'insertion d'une rupture reprendre la démarche au début pour revalider l'ensemble des points pour chaque nouvelle partie de toiture ainsi créée.

Le logigramme ci-après décrit la démarche de réflexion pour valider la forme de couverture et la position du point fixe.

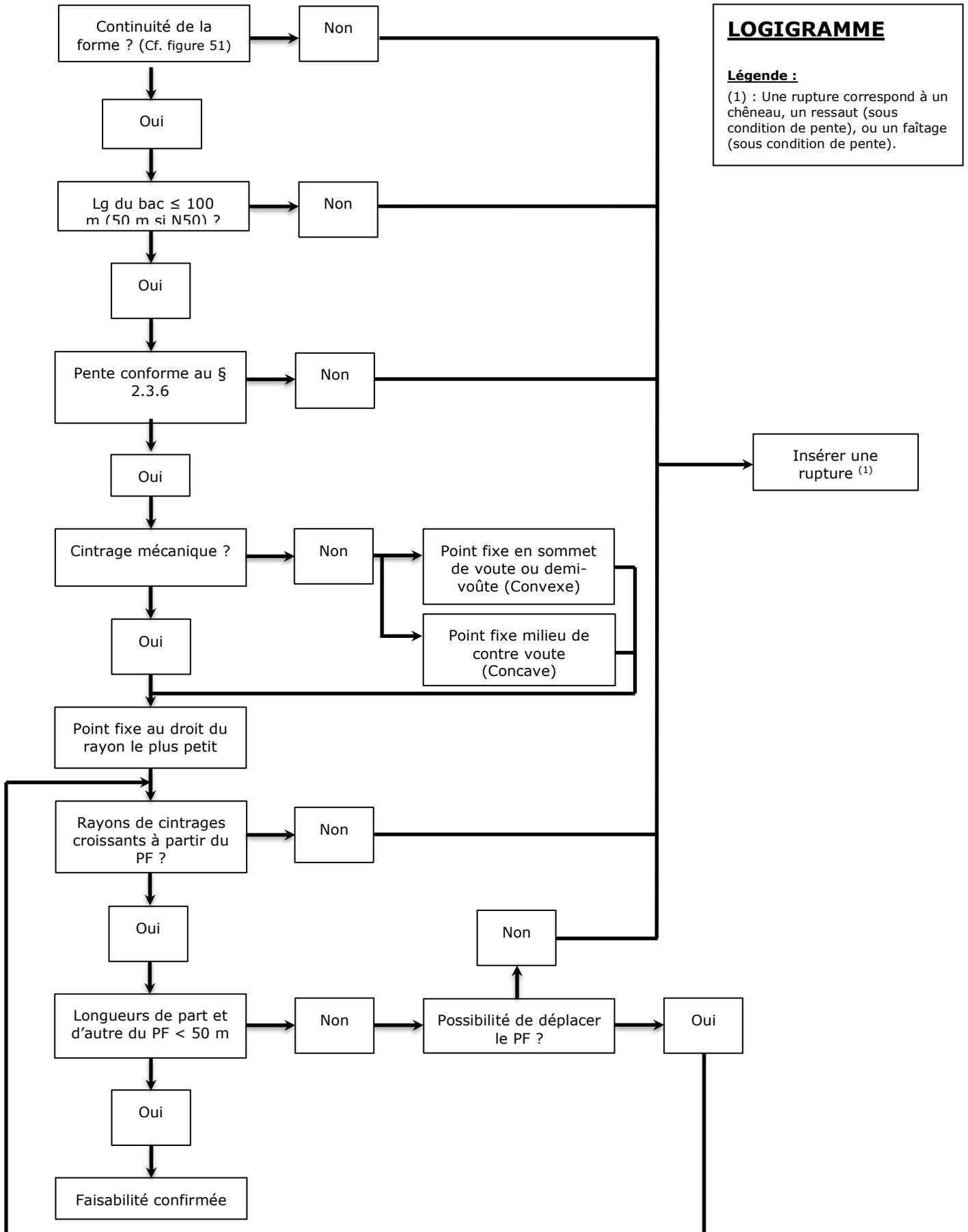
À noter que tout cintrage mécanique implique une partie droite en début et en fin de bacs d'une longueur minimale de 300 mm.

(1) Une rupture correspond à un chéneau, un ressaut (sous condition de pente), ou un faîtage (sous condition de pente).

(2) Cf. limites de pente au § 2.3.6.

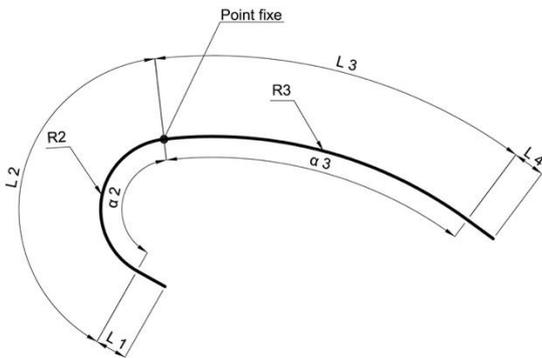


**Figure 51 – Principe de continuité de forme des bacs BEMO® N50 et N65 cintrés**



# Etudes de cas

## Cas n°1



### Données :

- L1 = 0,30 m (partie droite, rayon infini)
- L2 = 10,0 m
- L3 = 47,0 m
- L4 = 0,30 m (partie droite, rayon infini)

### Vérifications :

Continuité des rayons selon *figure 52*.

$$L1 + L2 + L3 + L4 \leq 100 \text{ m}$$

R2 et R3 < 25 m et R2 < R3 (cintrage mécanique lisse pour les deux rayons)

Accroissement des rayons en s'éloignant du point fixe : R2 < R1 = ∞ et R3 < R4 = ∞.

Pente minimale (cf. § 2.3.6) respectée en tout point de la couverture,  
et L1 + L2 ≤ 50 m, L3 + L4 ≤ 50 m.

- Le positionnement du point fixe, selon l'Annexe 1, est réalisé à la jonction du rayon le plus petit.

## Cas n°2



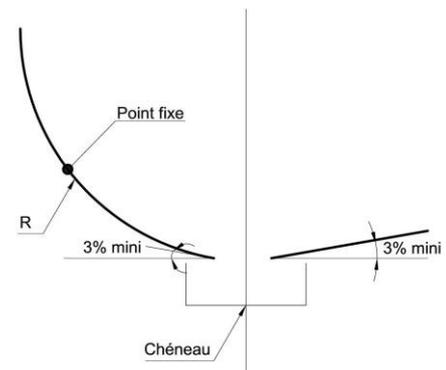
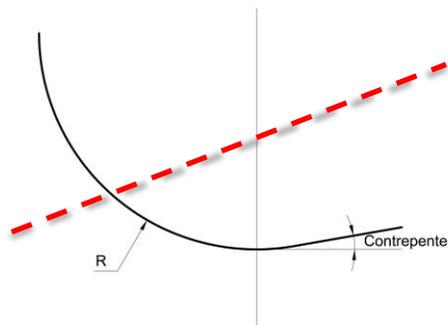
Le fait de mettre un unique point fixe au faîtage ne permet pas de respecter la condition d'accroissement des rayons en s'éloignant du point fixe (puisque R1 > R2).

Il faut donc insérer une rupture. La solution la plus adaptée consiste à positionner deux chéneaux au point de transition de part et d'autre de la partie cintrée de rayon R1.

Une alternative consiste à réaliser deux ressauts aux mêmes endroits (sous réserve de conditions de pente).

- Le positionnement des points fixes, selon l'Annexe 1, est réalisé en sommet de voute (R1), et sur chacune des contre-vôtes (R2).

## Cas n°3



Les conditions de pente (cf. § 2.3.6) en bas de rampant ne sont pas respectées, il est donc nécessaire de réaliser un chéneau à l'axe de la couverture.

- **Le positionnement du point fixe, selon l'Annexe 1, est réalisé au milieu de la contre voute.**

# Annexe 2

## Note de calcul point fixe et fixation ossature secondaire - Méthode « lecture directe »

### Charge de neige selon NF EN-1993-1-3 et NF EN 1991-1-3/NA

#### Données générales

Les pattes au point fixe sont exclusivement **en aluminium**. Elles peuvent être simple - largeur 60 mm - ou double - largeur 120 mm - (Cf. 2.3.1.3).

Les tableaux 19 et 20 (choix du nombre de fixation par patte) a été établi avec les vis définies au chapitre 2.2.2.3.

Les tableaux 21 à 24 ont été réalisés sur la base de l'utilisation de vis de fixation :

Pour l'assemblage des écarteurs sur les étriers :

- avec des vis en acier inoxydable austénitique A2 de diamètre 5,5 ou 6,3 mm, à tête hexagonale de 8 mm avec obligatoirement une rondelle d'étanchéité inox avec joint vulcanisé monobloc (75 shore, épaisseur 2 mm) diamètre 16 (non fourni par BEMO) d'une résistance caractéristique à l'arrachement Pk (selon NF P 30-310) de 2,54 kN par vis.

Pour l'assemblage des étriers sur les pannes :

- avec des vis en acier inoxydable austénitique A2 de diamètre 5,5 ou 6,3 mm, à tête hexagonale de 8 mm avec obligatoirement une rondelle d'étanchéité inox avec joint vulcanisé monobloc (75 shore, épaisseur 2 mm) diamètre 16 (non fourni par BEMO) d'une résistance caractéristique à l'arrachement Pk (selon NF P 30-310) de 6,4 kN par vis.

Cette méthode peut ainsi être utilisé si les vis mises en œuvre possèdent une résistance caractéristique à l'arrachement Pk (selon NF P 30-310) supérieures aux valeurs ci-dessus, dans le support considéré.

Un coefficient de sécurité de 1,35 a été systématiquement appliqué à ces valeurs.

La hauteur des étriers **et** écarteurs retenus pour les tableaux 19 à 24 est de 50 mm. Les étriers de hauteur 50 mm permettent de tenir compte de la majorité des bacs supports non porteurs pouvant être utilisés pour la réalisation de couverture chaude reconstituée, l'écarteur de 50 mm quant à lui représente la majorité des cas de figure rencontrés.

Dans le cas où la hauteur de l'étrier ou de l'écarteur est inférieure à 50 mm, les valeurs des tableaux sont donc favorables.

Dans le cas où l'étrier ou l'écarteur est de hauteur supérieure à 50 mm utiliser la méthode traditionnelle (cf. Annexe 2).

#### Méthode :

- Détermination de la solution à retenir en fonction de l'effort F appliqué sur le point fixe (un ou plusieurs rivets, boulon traversant ?) - tableaux 17 et 18.
- Détermination du nombre de fixation de la patte sur l'écarteur au point fixe en fonction de l'effort F (2 ou 4 fixations) - tableaux 19 et 20.
- Détermination de l'effort ramené à un mètre linéaire d'écarteur
- Détermination de l'espacement des étriers avec deux fixations entre l'écarteur et l'étrier en fonction de l'effort F et de la solution retenue (rivet ou boulon traversant) - tableaux 21 et 22.

Si pas de solution trouvée dans les tableaux 21 et 22 :

- Détermination de l'espacement des étriers avec quatre fixations entre l'écarteur et l'étrier en fonction de l'effort F et de la solution retenue (rivet ou boulon traversant) - tableaux 23 et 24.

Si aucune solution trouvée ou pour des dimensions d'étriers ou d'écarteurs supérieures à 50 mm, utiliser la note de calcul en Annexe 2 ou solliciter le bureau d'études de BEMO® GmbH.

#### Cas N°1 : Couverture en demi-voûte convexe (cases surlignées en jaune dans les tableaux)

Bâtiment situé à Paris dans le 4<sup>ème</sup> arrondissement, charge de neige selon Eurocode EN-1993-1-3 :  $s_k = 0,45 \text{ kN/m}^2$

Charge caractéristique de neige sur la toiture « s » :  $s = s_k \times 0,8 = 0,36 \text{ kN/m}^2$

Altitude : 35 m

Longueur « L » du rampant : L : 12 m

Pente  $\alpha = 10^\circ$

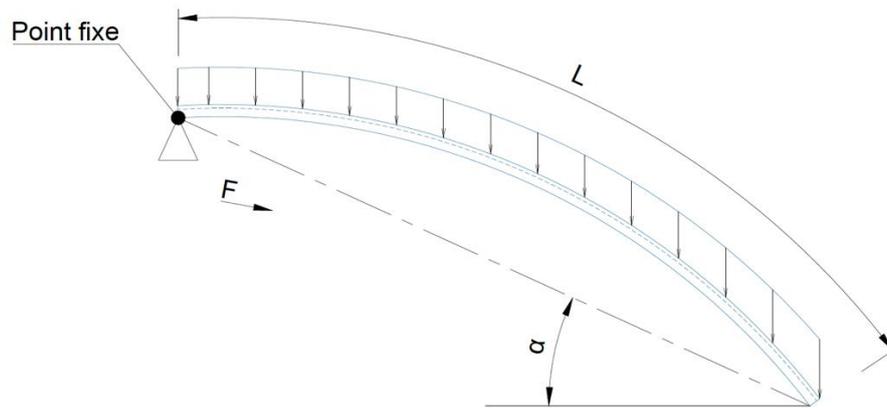
Largeur « b » du Bac BEMO® N65-400 cintré : b=400 mm

Épaisseur « e » du bac BEMO® N65-400 cintré : 1,0 mm

Poids propre « g » du bac BEMO® N65-400 cintré,  $g = 0,042 \text{ kN/m}^2$

Hauteur de patte : 140 mm

Les vis utilisées pour la fixation de la patte sur l'écarteur sont conformes au § 2.2.2.3.



### Force exercée sur le point fixe :

$$F = (g + s \times \cos \alpha) \times \sin \alpha \times L \times b$$

$$F = (1,35 \times 0,042 + 1,5 \times 0,36 \times \cos (10)) \times \sin (10) \times 12 \times 0,4$$

$$F = 0,49 \text{ kN}$$

Le point fixe peut être réalisé soit par la mise en place d'un ou plusieurs rivets ou d'un ou plusieurs boulons traversants. Les efforts admissibles calculé avec un coefficient de sécurité  $\gamma_m$  de 1,35 pour les rivets de dimensions 5 x 12, les boulons traversants de M8 x 30 et pour chacune des épaisseurs sont repris dans les tableaux 17 et 18 :

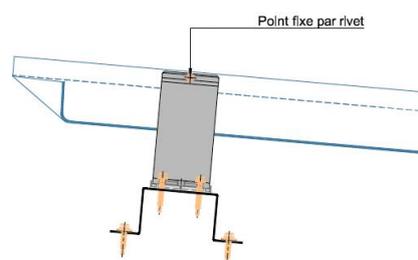
**Tableau 17 – Charges admissibles maximales point fixe par rivet**

Epaisseur des bacs	Charge admissible maximale (kN) $\gamma_m$ 1,35		
	1 rivet	2 rivets	3 rivets
0,8	0,56	1,11	1,67
0,9	0,63	1,25	1,88
1,0	0,70	1,39	2,09
1,2	0,83	1,67	2,50

**Tableau 18 – Charges admissibles maximales point fixe par boulon traversant**

Epaisseur des bacs	Charge admissible maximale (kN) $\gamma_m$ 1,35	
	1 boulon	2 boulons
0,8	1,78	3,56
0,9	2,00	4,01
1,0	2,23	4,45
1,2	3,67	5,34

Dans le cas présent, avec une force au point fixe de 0,49 kN, le point fixe sera réalisé par la pose d'un rivet en milieu de la largeur de la patte (charge admissible maximale 0,70 kN pour une épaisseur de bac de 1,0 mm – surligné en jaune dans le tableau 17).



Les tableaux 19 et 20 donnent directement l'effort maximal admis par 2 ou 4 vis de fixations, en fonction de la hauteur de la patte, et du type de point fixe.

On détermine le nombre de fixations de la patte de point fixe sur l'écarteur en comparant l'effort caractéristique du tableau avec la rangée correspondant à la construction retenue ci-dessus. La valeur recherchée est la valeur immédiatement supérieure à celle du tableau 17 (ici 0,7 kN).

**Tableau 19 – Choix du nombre de fixations de la patte sur l'écarteur en fonction de l'effort - Point fixe par rivet**

Hauteur de patte + TK5	Longueur de la patte	Effort caractéristique au point fixe, fixation par rivet (kN)		Longueur de la patte	Effort caractéristique au point fixe, fixation par rivet (kN)	
		2 fixations en diagonal	4 fixations		2 fixations en diagonal	4 fixations
80 + 5	60	1,12	2,23	120	1,87	3,74
100 + 5	60	0,95	1,90	120	1,65	3,30
120 + 5	60	0,83	1,66	120	1,48	2,96
140 + 5	60	0,74	1,47	120	1,34	2,68
160 + 5	60	0,66	1,32	120	1,22	2,45
180 + 5	60	0,60	1,20	120	1,13	2,25
200 + 5	60	0,55	1,10	120	1,04	2,09
220 + 5	60	0,50	1,01	120	0,97	1,94

**Conclusion :**

Pour une patte de hauteur 140 mm, l'effort maximal admis au niveau des vis de fixation au pied de la patte de point fixe est de 0,74 kN. 2 fixations en diagonal sur une patte simple sont donc suffisantes pour assurer la fixation de la patte sur l'écarteur au droit du point fixe.

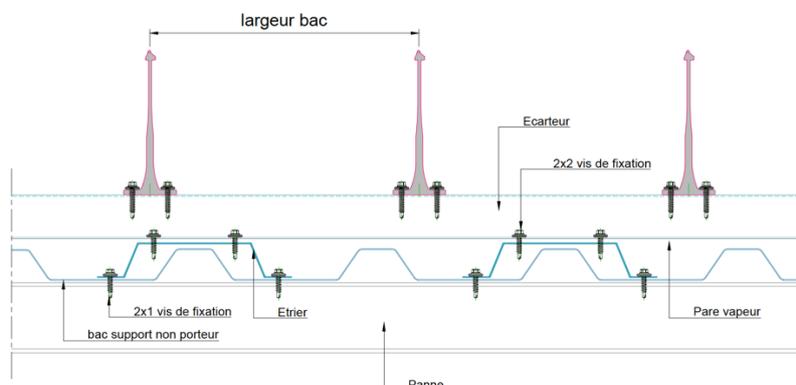
Le tableau ci-dessous est à utiliser en cas de réalisation de point fixe par boulon traversant (voir cas N°2).

**Tableau 20 – Choix du nombre de fixations de la patte sur l'écarteur en fonction de l'effort - Point fixe par boulon traversant**

Hauteur de patte + TK5	Longueur de la patte	Effort caractéristique au point fixe, fixation par boulon traversant (kN)		Longueur de la patte	Effort caractéristique au point fixe, fixation par boulon traversant (kN)	
		2 fixations en diagonal	4 fixations		2 fixations en diagonal	4 fixations
80 + 5	60	1,51	3,02	120	2,33	4,65
100 + 5	60	1,22	2,45	120	2,00	4,00
120 + 5	60	1,03	2,06	120	1,75	3,50
140 + 5	60	0,89	1,77	120	1,56	3,12
160 + 5	60	0,78	1,56	120	1,41	2,81
180 + 5	60	0,70	1,39	120	1,28	2,56
200 + 5	60	0,63	1,26	120	1,17	2,35
220 + 5	60	0,57	1,14	120	1,08	2,17

**Efforts sur les fixations des omégas et des étriers**

La charge linéaire sur l'écarteur, générée par les efforts aux points fixes est :  $F_{lin} = 0,49 / 0,4 = 1,225 \text{ kN/m}$



On compare la charge linéaire précédemment calculée au tableau 21 ou 22 ci-dessous en fonction du type de patte utilisé, afin de s'assurer que la résistance des fixations sera bien supérieure à la sollicitation. Choisir l'espacement des étriers en fonction du type de bac support non porteur utilisé.

Les étriers et écarteurs utilisés pour définir ces tableaux sont ceux définis aux § 2.2.2.5.2.1 et 2.2.2.5.2.2 du présent document. Rappel : La hauteur retenue pour les étriers et les écarteurs est de 50 mm.

**Tableau 21 – Choix de l'espacement des étriers pour fixation écarteur sur étrier avec 2 vis - Point fixe par rivet**

Hauteur de patte + TK5 <b>Point fixe par rivet</b>	Longueur de patte	Charge linéaire admissible (kN/m)			Longueur de patte	Charge linéaire admissible (kN/m)		
		Espacement des étriers				Espacement des étriers		
		400	500	600		400	500	600
80 + 5	60	2,63	2,11	1,76	120	3,97	3,17	2,64
100 + 5	60	2,34	1,87	1,56	120	3,57	2,85	2,38
120 + 5	60	2,11	1,69	1,41	120	3,24	2,59	2,16
140 + 5	60	1,92	1,53	1,28	120	2,97	2,37	1,98
160 + 5	60	1,76	1,41	1,17	120	2,74	2,19	1,82
180 + 5	60	1,62	1,30	1,08	120	2,54	2,03	1,69
200 + 5	60	1,51	1,21	1,00	120	2,37	1,89	1,58
220 + 5	60	1,41	1,13	0,94	120	2,22	1,78	1,48

**Conclusion :** Les écarteurs sont fixés sur les étriers par deux fixations, les étriers sont posés tous les 600 mm avec deux fixations. Il est cependant possible également de les poser tous les 400 ou 500 mm en fonction des caractéristiques dimensionnelles du bac support non porteur.

Pour un point fixe réalisé par boulon traversant le tableau ci-dessous sera utilisé (voir cas N°2) :

**Tableau 22 – Choix de l'espacement des étriers pour fixation écarteur sur étrier avec 2 vis - Point fixe par boulon traversant**

Hauteur de patte + TK5 <b>Point fixe par boulon</b>	Longueur de patte	Charge linéaire admissible (kN/m)			Longueur de patte	Charge linéaire admissible (kN/m)		
		Espacement des étriers				Espacement des étriers		
		400	500	600		400	500	600
80 + 5	60	3,24	2,59	2,16	120	4,77	3,82	3,18
100 + 5	60	2,81	2,25	1,87	120	4,20	3,36	2,80
120 + 5	60	2,48	1,98	1,65	120	3,76	3,00	2,50
140 + 5	60	2,22	1,78	1,48	120	3,39	2,72	2,26
160 + 5	60	2,01	1,61	1,34	120	3,10	2,48	2,06
180 + 5	60	1,83	1,47	1,22	120	2,85	2,28	1,90
200 + 5	60	1,69	1,35	1,13	120	2,63	2,11	1,76
220 + 5	60	1,56	1,25	1,04	120	2,45	1,96	1,63

**Cas N°2 : Toiture en voute pleine asymétrique convexe (Cases surlignées en verts dans les tableaux)**

Bâtiment situé à Albertville, charge de neige selon Eurocode NF EN 1991-1-3/NA :  $s_k = 1,40 \text{ kN/m}^2$

Altitude : 352 m

Charge caractéristique de neige sur la toiture « s » :  $s = s_k \times 0,8 = 1,12 \text{ kN/m}^2$

Surcharge due à la zone de pente inférieure à 3% clause 5.2(6) de la norme NF EN 1991-1-3/NA : 0,2 kN appliquée à la totalité de la couverture.

D'où  $S = 1,12 + 0,2 = 1,32 \text{ kN/m}^2$

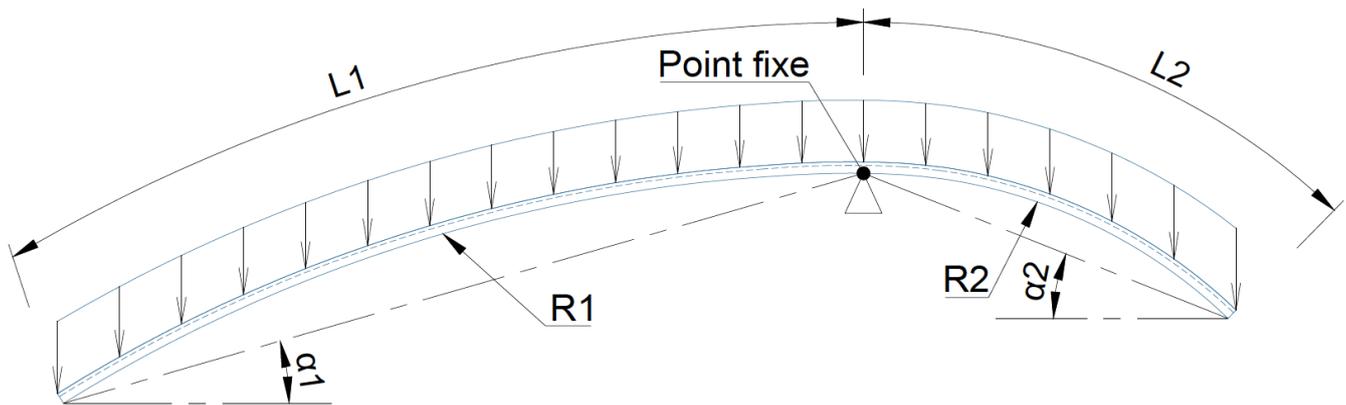
Longueur totale « L » des deux rampants : L : 45 m ( $L_1 = 20 \text{ m}$ ,  $L_2 = 25 \text{ m}$ )

Pente  $\alpha_1 = 18^\circ$  et  $\alpha_2 = 10^\circ$

Caractéristiques du bac inchangées (N65/400 épaisseur 1 mm)

Hauteur de patte : 80 mm

Les vis utilisées pour la fixation de la patte sur l'écarteur ont une résistance caractéristique à l'arrachement  $P_k$  de supérieur ou égal à 4,27 kN.



### Force exercée sur le point fixe :

Nous considérons chacun des deux rampants séparément, en partie gauche  $L_1$  et  $\alpha_1$ , en partie droite  $L_2$  et  $\alpha_2$  (cf. 2.3.1.3).

#### Partie gauche de la couverture

L'effort sur le point fixe est :

Pour 100% de charge de neige

$$F_1 = (g + s \times \cos \alpha_1) \times \sin \alpha_1 \times L_1 \times b$$

$$F_1 = (1,35 \times 0,042 + 1,5 \times 1,32 \times \cos(18)) \times \sin(18) \times 20 \times 0,4$$

$$F_{1/100\%} = 4,80 \text{ kN}$$

Pour 50% de charge de neige

$$F_1 = (g + s \times \cos \alpha_1) \times \sin \alpha_1 \times L_1 \times b$$

$$F_1 = (1,35 \times 0,042 + 1,5 \times 0,66 \times \cos(18)) \times \sin(18) \times 15 \times 0,4$$

$$F_{1/50\%} = 2,40 \text{ kN}$$

#### Partie droite de la couverture

L'effort sur le point fixe est :

Pour 100% de charge de neige

$$F_2 = (g + s \times \cos \alpha_2) \times \sin \alpha_2 \times L_2 \times b$$

$$F_2 = (1,35 \times 0,042 + 1,5 \times 1,32 \times \cos(10)) \times \sin(10) \times 25 \times 0,4$$

$$F_{2/100\%} = 3,48 \text{ kN}$$

Pour 50% de charge de neige

$$F_2 = (g + s \times \cos \alpha_2) \times \sin \alpha_2 \times L_2 \times b$$

$$F_2 = (1,35 \times 0,042 + 1,5 \times 0,66 \times \cos(10)) \times \sin(10) \times 20 \times 0,4$$

$$F_{2/50\%} = 1,74 \text{ kN}$$

Les efforts de neige pris en charge sont 100 % de charge de neige à gauche et 50% de neige à droite.

$$F = 4,80 - 1,74 = 3,06 \text{ kN}$$

Le point fixe peut être réalisé soit par la mise en place d'un ou plusieurs rivets ou d'un ou plusieurs boulons traversants.

Les efforts admissibles calculé avec un coefficient de sécurité  $\gamma_m$  de 1,35 pour les rivets de dimensions 5 x 12, les boulons traversants de M8 x 30 et pour chacune des épaisseurs sont repris dans les tableaux 17 et 18 :

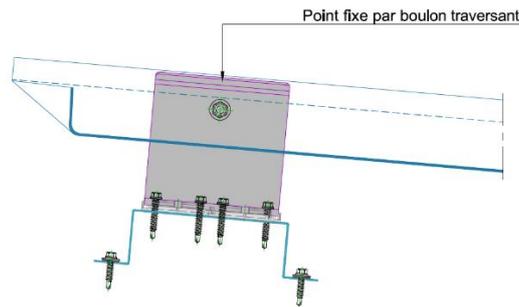
**Tableau 17 – Charges admissibles maximales point fixe par rivet**

Epaisseur des bacs	Charge admissible maximale (kN) $\gamma_m$ 1,35		
	1 rivet	2 rivets	3 rivets
0,8	0,56	1,11	1,67
0,9	0,63	1,25	1,88
1,0	0,70	1,39	2,09
1,2	0,83	1,67	2,50

**Tableau 18 – Charges admissibles maximales point fixe par boulon traversant**

Epaisseur des bacs	Charge admissible maximale (kN) $\gamma_m$ 1,35	
	1 boulon	2 boulons
0,8	1,78	3,56
0,9	2,00	4,01
1,0	2,23	4,45
1,2	3,67	5,34

Dans le cas présent, avec une force au point fixe de 3,06 kN, le point fixe sera réalisé par la pose de deux boulons traversants au milieu de la largeur de la patte (charge admissible maximale 4,45 kN pour une épaisseur de bac de 1,0 mm – surligné en vert dans le tableau 18, les valeurs du tableaux 17 n'atteignant pas la valeur souhaitée).



On détermine le nombre de fixations de la patte de point fixe sur l'écarteur en comparant l'effort caractéristique du tableau avec la rangée correspondant à la construction retenue ci-dessus. Le tableau 19 est remis pour information. Nous utiliserons le tableau 20 du fait de la technique de point fixe retenue.

**Tableau 19 – Choix du nombre de fixations de la patte sur l'écarteur en fonction de l'effort - Point fixe par rivet**

Hauteur de patte + TK5	Longueur de la patte	Effort caractéristique au point fixe, fixation par rivet (kN)		Longueur de la patte	Effort caractéristique au point fixe, fixation par rivet (kN)	
		2 fixations en diagonal	4 fixations		2 fixations en diagonal	4 fixations
80 + 5	60	1,12	2,23	120	1,87	3,74
100 + 5	60	0,95	1,90	120	1,65	3,30
120 + 5	60	0,83	1,66	120	1,48	2,96
140 + 5	60	0,74	1,47	120	1,34	2,68
160 + 5	60	0,66	1,32	120	1,22	2,45
180 + 5	60	0,60	1,20	120	1,13	2,25
200 + 5	60	0,55	1,10	120	1,04	2,09
220 + 5	60	0,50	1,01	120	0,97	1,94

**Tableau 20 – Choix du nombre de fixations de la patte sur l'écarteur en fonction de l'effort - Point fixe par boulon traversant**

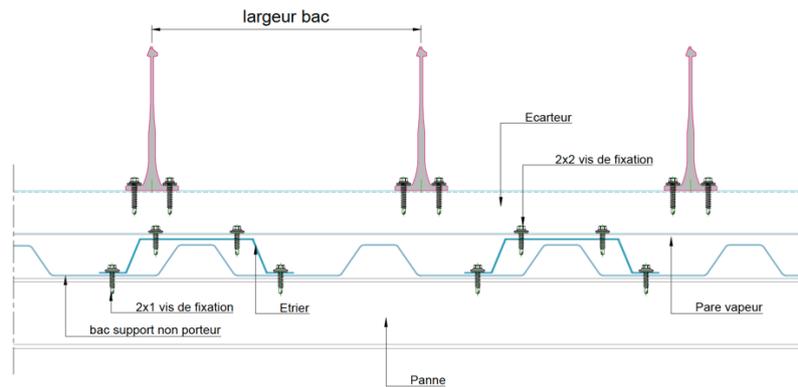
Hauteur de patte + TK5	Longueur de la patte	Effort caractéristique au point fixe, fixation par boulon traversant (kN)		Longueur de la patte	Effort caractéristique au point fixe, fixation par boulon traversant (kN)	
		2 fixations en diagonal	4 fixations		2 fixations en diagonal	4 fixations
80 + 5	60	1,51	3,02	120	2,33	4,65
100 + 5	60	1,22	2,45	120	2,00	4,00
120 + 5	60	1,03	2,06	120	1,75	3,50
140 + 5	60	0,89	1,77	120	1,56	3,12
160 + 5	60	0,78	1,56	120	1,41	2,81
180 + 5	60	0,70	1,39	120	1,28	2,56
200 + 5	60	0,63	1,26	120	1,17	2,35
220 + 5	60	0,57	1,14	120	1,08	2,17

**Conclusion :**

Pour une patte de hauteur 80 mm, l'effort maximum au niveau des vis de fixation au pied de la patte double (120 mm) de point fixe est de 4,65 kN. 4 fixations sur une patte double sont donc nécessaires pour assurer la fixation de la patte sur l'écarteur au droit du point fixe.

### Efforts sur les fixations des omégas et des étriers

La charge linéaire sur l'écarteur, générée par les efforts aux points fixes est :  $F_{lin} = 3,06 / 0,4 = 7,65 \text{ kN/m}$



On compare la charge linéaire précédemment calculée aux tableaux ci-dessous en fonction du type de patte utilisé, afin de s'assurer que la résistance des fixations sera bien supérieure à la sollicitation. Choisir l'espacement des étriers en fonction du type de bac support non porteur utilisé.

Les étriers et écarteurs utilisés pour définir ces tableaux sont ceux définis aux § 2.2.2.5.2.1 et 2.2.2.5.2.2 du présent document. Rappel : La hauteur retenue pour les étriers et les écarteurs est de 50 mm.

**Tableau 21 – Choix de l'espacement des étriers pour fixation écarteur sur étrier avec 2 vis - Point fixe par rivet**

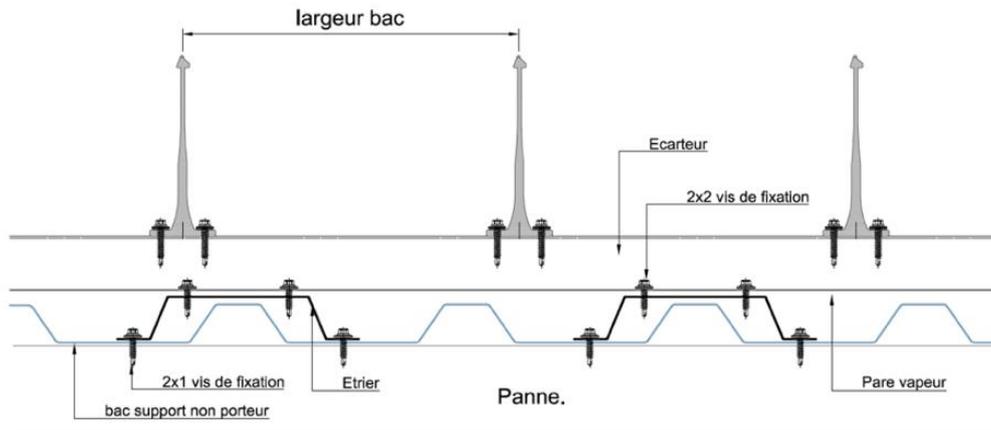
Hauteur de patte + TK5 <b>Point fixe par rivet</b>	Longueur de patte	Charge linéaire admissible (kN/m)			Longueur de patte	Charge linéaire admissible (kN/m)		
		Espacement des étriers				Espacement des étriers		
		400	500	600		400	500	600
80 + 5	60	2,63	2,11	1,76	120	3,97	3,17	2,64
100 + 5	60	2,34	1,87	1,56	120	3,57	2,85	2,38
120 + 5	60	2,11	1,69	1,41	120	3,24	2,59	2,16
140 + 5	60	1,92	1,53	1,28	120	2,97	2,37	1,98
160 + 5	60	1,76	1,41	1,17	120	2,74	2,19	1,82
180 + 5	60	1,62	1,30	1,08	120	2,54	2,03	1,69
200 + 5	60	1,51	1,21	1,00	120	2,37	1,89	1,58
220 + 5	60	1,41	1,13	0,94	120	2,22	1,78	1,48

**Tableau 22 – Choix de l'espacement des étriers pour fixation écarteur sur étrier avec 2 vis - Point fixe par boulon traversant**

Hauteur de patte + TK5 <b>Point fixe par boulon</b>	Longueur de patte	Charge linéaire admissible (kN/m)			Longueur de patte	Charge linéaire admissible (kN/m)		
		Espacement des étriers				Espacement des étriers		
		400	500	600		400	500	600
80 + 5	60	3,24	2,59	2,16	120	4,77	3,82	3,18
100 + 5	60	2,81	2,25	1,87	120	4,20	3,36	2,80
120 + 5	60	2,48	1,98	1,65	120	3,76	3,00	2,50
140 + 5	60	2,22	1,78	1,48	120	3,39	2,72	2,26
160 + 5	60	2,01	1,61	1,34	120	3,10	2,48	2,06
180 + 5	60	1,83	1,47	1,22	120	2,85	2,28	1,90
200 + 5	60	1,69	1,35	1,13	120	2,63	2,11	1,76
220 + 5	60	1,56	1,25	1,04	120	2,45	1,96	1,63

Nous constatons qu'aucune combinaison du tableau 22 ne répond à cette configuration (7,65 kN/m).

Il est donc nécessaire d'augmenter le nombre de fixations au droit des écarteurs comme sur la figure ci-dessous :



Pour mémoire le tableau 23, si le point fixe avait été réalisé par rivet :

**Tableau 23 – Choix de l'espacement des étriers pour fixation écarteur sur étrier avec 4 vis - Point fixe par rivet**

Hauteur de patte + TK5 <b>Point fixe par rivet</b>	Longueur de patte	Charge linéaire admissible (kN/m)			Longueur de patte	Charge linéaire admissible (kN/m)		
		Espacement des étriers				Espacement des étriers		
		400	500	600		400	500	600
80 + 5	60	5,27	4,21	3,51	120	7,52	6,01	5,01
100 + 5	60	4,68	3,75	3,12	120	6,97	5,58	4,65
120 + 5	60	4,22	3,37	2,81	120	6,48	5,18	4,32
140 + 5	60	3,83	3,07	2,56	120	5,93	4,74	3,95
160 + 5	60	3,52	2,81	2,34	120	5,47	4,38	3,65
180 + 5	60	3,25	2,60	2,16	120	5,08	4,06	3,38
200 + 5	60	3,01	2,41	2,01	120	4,74	3,79	3,16
220 + 5	60	2,81	2,25	1,88	120	4,44	3,55	2,96

Le point fixe étant réalisé par boulon traversant, nous regardons dans le tableau 24

**Tableau 24 – Choix de l'espacement des étriers pour fixation écarteur sur étrier avec 4 vis - Point fixe par boulon traversant**

Hauteur de patte + TK5 <b>Point fixe par boulon</b>	Longueur de patte	Charge linéaire admissible (kN/m)			Longueur de patte	Charge linéaire admissible (kN/m)		
		Espacement des étriers				Espacement des étriers		
		400	500	600		400	500	600
80 + 5	60	6,48	5,18	4,32	120	8,51	6,81	5,68
100 + 5	60	5,62	4,49	3,74	120	7,82	6,26	5,21
120 + 5	60	4,96	3,97	3,31	120	7,23	5,79	4,82
140 + 5	60	4,44	3,55	2,96	120	6,73	5,38	4,48
160 + 5	60	4,02	3,21	2,68	120	6,19	4,95	4,13
180 + 5	60	3,67	2,93	2,45	120	5,69	4,55	3,79
200 + 5	60	3,38	2,70	2,25	120	5,27	4,21	3,51
220 + 5	60	3,13	2,50	2,08	120	4,90	3,92	3,27

**Conclusion :** Les écarteurs sont fixés sur les étriers par quatre fixations, les étriers sont posés tous les 400 mm avec quatre fixations.

# Annexe 3

## Note de calcul point fixe et ossature secondaire -Méthode classique

En reprenant le cas N°1 mais en modifiant uniquement la hauteur de l'écarteur (passe de 50 mm à 160 mm).

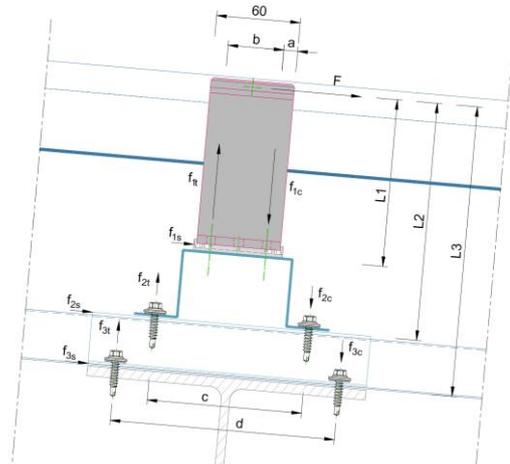
Nous avons donc :

$$\begin{aligned} L1 &= 140 \text{ mm} & L2 &= 300 \text{ mm} & L3 &= 350 \text{ mm} \\ a &= 10 \text{ mm} & b &= 40 \text{ mm} \\ c &= 100 \text{ mm} & d &= 170 \text{ mm} \end{aligned}$$

### Force exercée sur le point fixe :

$$\begin{aligned} F &= (g + s \times \cos a) \times \sin a \times L \times b \\ F &= (1,35 \times 0,042 + 1,5 \times 0,36 \times \cos(10)) \times \sin(10) \times 12 \times 0,4 \\ F &= 0,49 \text{ kN} \end{aligned}$$

1 rivet comme indiqué dans le tableau 15 convient.



#### 1.1. Vérification de la résistance à la traction

La hauteur du rivet par rapport au pied de la patte L1 est de 140 mm.

L'effort de traction est donc de :

$$F_{1t} = 0,49 \times 140 / (10 + 40) = 1,37 \text{ kN}$$

L'effort de compression  $F_{1c}$  est donc également de 1,37 kN

Selon la fiche technique SFS, une vis SFS SX3-6 x 38 dans une structure de 1,5 mm en acier possède une valeur  $P_k$  de 433 daN.

Nous prenons un coefficient de sécurité  $\gamma_M$  de 1,35 qui nous ramène la valeur  $P_k/\gamma_M$  à 321 daN, soit 3,21 kN.

Le nombre de vis nécessaires pour résister à la valeur de traction est :

$$N_{1t} = 1,37 / 3,21 = 0,43 \text{ vis.}$$

#### 1.2. Vérification de la résistance au cisaillement

SFS donne une valeur  $F_q$  au cisaillement de 829 daN.

Nous appliquons à cette valeur le même coefficient  $\gamma_M$  de 1,35 qui nous ramène la valeur à 615 daN.

$$F_{1s} = 1,37 \text{ kN}$$

$$N_{1s} = 1,37 / 6,15 = 0,22 \text{ vis}$$

#### 1.3. Vérification de l'interaction

$$(1,37 / 2) / 6,15 + (1,37 / 2) / 3,21 = 0,11 + 0,21 = 0,32 < 1$$

La fixation de la patte s'effectue donc par deux vis SFS SX3 6 x 38.

## 2. Vérification de la fixation de l'écarteur sur l'étrier

### 2.1. Vérification de la résistance à la traction

Sur une longueur d'écarteur de 1,2 m nous avons 4 pattes (soit trois intervalles de 400 mm). La somme des efforts sur les étriers est :

$$\Sigma F = 1,37 \times 4 = 5,48 \text{ kN}$$

Avec un étrier tous les 500 mm, pour connaître la charge sur les fixations entre l'écarteur et l'étrier :

$$F_{iin} = 5,48 \times 0,5 / 1,2 = 2,28 \text{ kN}$$

$$F_{2t} = 2,28 \times 300 / 100 = 6,84 \text{ kN}$$

Selon la fiche technique SFS, une vis SFS SX 5/8 5,5 x 33 dans une structure de 3 mm en acier possède une valeur  $P_k$  de 715 daN.

Nous prenons un coefficient de sécurité  $\gamma_M$  de 1,35 qui nous ramène la valeur  $P_k/\gamma_M$  à 530 daN, soit 5,30 kN.

Le nombre de vis à utiliser pour résister aux efforts est :

$$N_{2t} = 6,84 / 5,30 = 1,29$$

Pour résister à l'effort de traction il faut 2 vis.

## 2.2. Vérification de la résistance au cisaillement

$$F_{2s} = 2,28 \text{ kN}$$

SFS donne une valeur  $F_q$  au cisaillement de 733 daN.

Nous appliquons à cette valeur le même coefficient  $\gamma_M$  de 1,35 qui nous ramène la valeur à 543 daN soit 5,43 kN.

$$N_{2s} = 2,28 / 5,43 = 0,42$$

Pour résister à l'effort de cisaillement, il faut 1 vis.

Pour des raisons de construction, nous mettrons deux vis.

## 2.3. Vérification de l'interaction

$$(6,84 / 2) / 5,43 + (2,28 / 2) / 5,30 = 0,63 + 0,22 = 0,85 < 1$$

La fixation de l'écarteur sur l'étrier est donc réalisée à l'aide de 4 vis SFS SX 5/8 5,5 x 33.

## 3. Vérification de la fixation de l'étrier sur la panne

### 3.1. Vérification de la résistance à la traction

La force  $F$  est identique que celle calculée pour la fixation écarteur / étrier soit 2,05 kN.

La force de traction est :

$$F_{3t} = 2,28 \times 350 / 170 = 4,69 \text{ kN}$$

Selon la fiche technique SFS, une vis SFS SX 14/12 5,5 x 40 dans une structure de 6 mm en acier possède une valeur  $P_k$  de 1194 daN.

Nous prenons un coefficient de sécurité  $\gamma_M$  de 1,35 qui nous ramène la valeur  $P_k/\gamma_M$  à 884 daN, soit 8,84 kN.

Le nombre de vis à utiliser pour résister aux efforts est :

$$N_{3t} = 4,69 / 8,84 = 0,53$$

Pour résister à l'effort de traction, il faut 1 vis.

### 3.2. Vérification de la résistance au cisaillement

$$F_{3s} = 2,28 \text{ kN}$$

SFS donne une valeur  $R_m$  au cisaillement de 1200 daN.

Nous appliquons à cette valeur le même coefficient  $\gamma_M$  de 1,35 qui nous ramène la valeur à 889 daN soit 8,89 kN.

$$N_{3s} = 2,28 / 8,89 = 0,26$$

Pour résister à l'effort de cisaillement, il faut 1 vis.

### 3.3. Vérification de l'interaction

$$(4,69 / 2) / 8,89 + (2,28 / 2) / 8,84 = 0,26 + 0,13 = 0,39 < 1$$

La fixation de l'étrier sur la panne est donc réalisée à l'aide de 2 vis SFS SX 14/12 5,5 x 40.

# Annexe 4

## Calcul des ponts thermiques

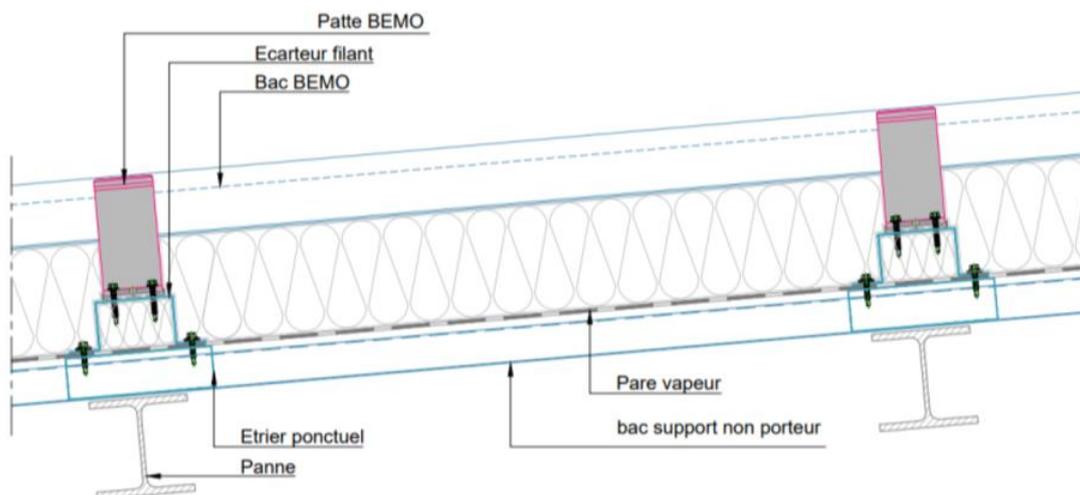
(Cf. rapport CSTB de calcul des ponts thermiques intégrés et des coefficients de transmission surfaciques  $U_c$  et  $U_p$  DEB/R2EB-2022-080-LB/NZ du 6 mai 2022)

Objectif :

Pour cette étude, le complexe de couverture suivant, a été utilisé. Il se compose, de l'intérieur vers l'extérieur :

- D'un bac acier nervuré de type 45/250 d'épaisseur 0,75 mm ;
- D'un étrier en acier galvanisé d'épaisseur 2 mm positionné une onde sur deux du bac support non porteur ;
- D'un écarteur de forme oméga en acier galvanisé d'épaisseur 1,5 mm pour la hauteur 50 mm et 100 mm, 2 mm pour la hauteur 160 mm ;
- De pattes de fixation en aluminium avec sabot isolant TK 5 ;
- D'un bac BEMO® N65/400 en épaisseur 1 mm.

Coupe du complexe étudié avec modélisation 3 D dans le logiciel de calcul



Le calcul a été réalisé par modélisation numérique en tridimensionnel et a consisté à évaluer les flux de chaleur transmis à travers le complexe de couverture de l'ambiance intérieure vers l'extérieure et déterminer ensuite les coefficients de transmission thermique  $U_c$   $\psi_{\text{écarteur } 50}$ ,  $\psi_{\text{écarteur } 100}$ ,  $\psi_{\text{écarteur } 160}$ ,  $\chi_{\text{patte alu + sabot isolant}}$ ,  $\chi_{\text{patte GFK}}$ ,  $\chi_{\text{croisement}}$  et  $U_p$  pour les différentes configurations du complexe de couverture BEMO® N65/400 droit étudiées.

Le calcul du coefficient de transmission surfacique global du procédé de toiture, tenant compte des ponts thermiques intégré, se fait de la façon suivante :

$$U_p = U_c + \frac{\Psi_{\text{écarteur}}}{E_{\text{écarteur}}} + N \cdot \chi_{\text{Halter}} + \frac{\chi_{\text{croisement}}}{E_{\text{écarteur}} \cdot E_{\text{étrier}}} \quad \text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Avec  $U_c$

$$U_c = \frac{1}{0,17 + \sum R_{\text{couches}}} \quad \text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

Et

$\sum R_{\text{couches}}$  la somme des résistances thermiques des couches homogènes de matériaux en partie courante du complexe de couverture en  $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$  ;

$\Psi_{\text{écarteur}}$  le coefficient de pont thermique linéique intégré induit par l'écarteur de forme oméga, en  $\text{W/(m}\cdot\text{K)}$  ;

E écarteur	l'entraxe des écarteurs de forme oméga dans la toiture complète, exprimée en m ;
N	la densité des pattes pour un m <sup>2</sup> de surface, exprimée en m <sup>-2</sup> ;
$\chi$ patte	le coefficient de pont thermique ponctuel intégré lié à une patte aluminium, en W/K
$\chi$ croisement	le coefficient de pont thermique ponctuel intégré lié au croisement entre un écarteur uniformément rempli d'isolant et l'étrier en acier, en W/K ;
E étrier	l'entraxe des étriers dans la toiture complète, exprimée en m.

Les valeurs de ponts thermiques intégrés affichés dans les tableaux ci-dessous peuvent être interpolées pour des épaisseurs utiles d'isolation intermédiaires.

L'épaisseur utile de la couche d'isolation est égale à :

$$E_{\text{utile isolation}} = \Sigma [\text{hauteurs de la patte (alu + TK5)} + \text{hauteur de l'écarteur de forme oméga}] - 65 \text{ mm}$$

(La valeur de 65 mm correspond à la hauteur du bourrelet des bacs BEMO® N65/400).

Les valeurs de  $U_p$  fournies dans le tableau ci-après ne sont valables que dans les limites générales indiquées ci-dessous :

Entraxe horizontal des écarteurs métalliques filants en forme d'oméga de longueur  $\leq 2,5$  m ;

Entraxe horizontal des étriers métalliques ponctuels  $\leq 500$  mm ;

Densité de patte égale par m<sup>2</sup>  $\geq 1$ .

La couche d'isolant épouse parfaitement la forme de l'écarteur en forme d'oméga

**Tableau 4.1 - Patte aluminium + TK 5, écarteur hauteur 50 mm**

Hauteur de patte et sabot isolant TK 5	Hauteur (mm)	E utile isolation (mm)	$U_c$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$\Psi$ écarteur (W/m.K)	$\chi$ patte (W/K)	$\chi$ croisement (W/K)	$U_p$ (W/m <sup>2</sup> .K)
Patte alu 80/65	80 + 5	70	0,44	0,124	0,079	0,004	0,58
Patte alu 100/65	100 + 5	90	0,35	0,059	0,088	0,001	0,47
Patte alu 120/65	120 + 5	110	0,29	0,036	0,090	0,001	0,40
Patte alu 160/65	160 + 5	150	0,22	0,018	0,089	0,000	0,32
Patte alu 200/65	200 + 5	190	0,18	0,011	0,086	0,000	0,27
Patte alu 220/65	220 + 5	210	0,16	0,009	0,084	0,000	0,25

# Annexe 5

## Calepinage des bacs

### Méthode (informative) :

$$Nb = Lp / Pb$$

Avec :

Nb : nombre de bacs

Lp : largeur réelle du rampant

Pb : pas de pose théorique du bac (Largeur du bac +3 mm)

On prend la partie entière de Nb que l'on multiplie de nouveau par Pb pour obtenir la largeur couverte par les bacs BEMO® N50 et N65.

$$Lc = \text{ENT}(Nb) \times Pb$$

On répartit les jeux comme suit :

$$J = ((Lp - Lc)/2)$$

Ce qui nous donne la cote de **l'axe** de la première ligne de patte par rapport à la rive.

Si on veut avoir la cote de démarrage au **bord de la patte** :

$$Jp = ((Lp - Lc)/2) - 32$$

### Exemple chiffré N°1

Couverture avec bacs : N50/470

Largeur théorique de la couverture : 21 m

Largeur réelle de la couverture : 21,2 m

Calcul du nombre de bacs :

$$Nb = 21200 / 473 = 44,82 \text{ bacs}$$

$$Lc = 44 \times 473 = 20812 \text{ mm}$$

Vérification des jeux disponibles :

$$J = (21200 - 20812) / 2 = 194 \text{ mm}$$

La ligne de démarrage de pose des pattes (à leur axe) est à tracer à 194 mm du pignon, pour des raisons pratique, on trace au bord du sabot isolant ce qui nous donne :

$$Jp = 194 - 32 = 162 \text{ mm} > 100 \text{ mm}$$

Le jeu est bien supérieur à 100 mm. Cela permet la pose des profils de soutien de la rive.

Le trait carré est donc à tracer à 162 mm du pignon.

### Exemple chiffré N°2

Couverture avec bacs : N65/400

Largeur théorique de la couverture : 21 m

Largeur réelle de la couverture : 21,05 m

Calcul du nombre de bacs :

$$Nb = 21050 / 403 = 52,23 \text{ bacs}$$

$$Lc = 52 \times 403 = 20956 \text{ mm}$$

Vérification des jeux disponibles :

$$J = (21050 - 20956) / 2. = 47 \text{ mm}$$

La ligne de démarrage de pose des pattes (à leur axe) est à tracer à 47 mm du pignon, pour des raisons pratique, on trace au bord du sabot isolant ce qui nous donne :

$$J_p = 47 - 32 = 15 \text{ mm} < \mathbf{100 \text{ mm}}$$

Le jeu doit être supérieur à 100 mm afin de permettre la pose des profils de soutien de la rive. On doit donc poser un bac en moins. On refait le calcul avec 51 bacs :

$$Lc' = 51 \times 403 = 20553 \text{ mm}$$

Vérification des jeux disponibles :

$$J' = (21050 - 20553) / 2. = 248,5 \text{ mm}$$

$$J_{p'} = 248,5 - 32 = 216,5 \text{ mm} > 100 \text{ mm}$$

Le trait carré est donc à tracer à 216,5 mm du pignon.

# Annexe 6

## Note de calcul charges de vent

Charge de vent selon e-Cahier du CSTB N°3804\_V2

### Données

Bac N65-400, épaisseur 1,0 mm

$h = 10$  m

$b = 40$  m

Bâtiment fermé rectangulaire

Toiture cintrée pleine voute de longueur 20 m

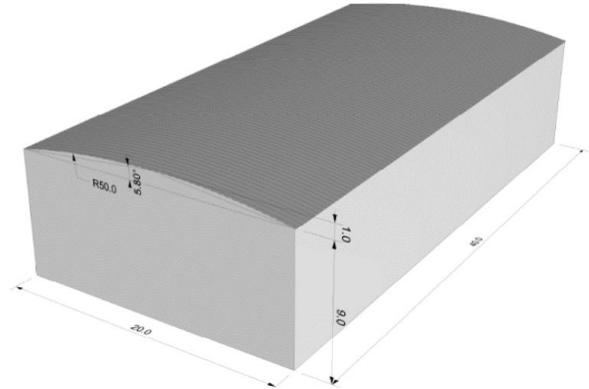
Rayon de cintrage 50 m

Situation : Saint Lô, Manche (50)

Localité classée en région 2, vitesse de référence  $v_{b,0}$  (m/s) égale à 24.

Le bâtiment est situé en périphérie de l'agglomération au cœur d'un parc entouré de bocage dense et d'une zone industrielle, et il est considéré en catégorie IIIb.

D'après le tableau 3 du e-Cahier CSTB n°3804\_V2 :  $q_p(z) = 828$  Pa



Selon le e-Cahier 3804\_V2 du Cstb, Annexe 1, tableau 1.4 :

En région 3, rugosité IIIb, hauteur 10 m les valeurs **en dépression** sont :

En zone centrale ( $c_p = -1,4$ ) :  $W_k = c_p \cdot q_p(z) = 0,687$  kN/m<sup>2</sup>

Zone de rive ( $c_p = -2,6$ ) :  $W_k = c_p \cdot q_p(z) = 1,295$  kN/m<sup>2</sup>

Angles ( $c_p = -3,8$ ) :  $W_k = c_p \cdot q_p(z) = 1,892$  kN/m<sup>2</sup>

On vérifie que  $W_k < Q$  du DTA, tableau 15, 4 appuis et plus, l'espacement maximal entre les pattes donne :

Zone centrale H : 2,25 m

Zone de rive G : 1,88 m

Zone d'angle F : 1,50 m

Pour des raisons pratiques de construction, on prend usuellement :

- Soit zones d'angle et de rive = zone centrale / 2. On vérifie ensuite que la valeur trouvée est bien inférieure à F (sinon on part de F que l'on multiplie par 2 pour trouver H) :
  - Zone centrale H : 2,25 m.
  - Zone de rive G : 1,15 m.
  - Zone d'angle F : 1,15 m.
- Soit la zone d'angle F sur toute la toiture :
  - Zone centrale H : 1,50 m.
  - Zone de rive G : 1,50 m.
  - Zone d'angle F : 1,50 m.