

Règles générales de conception et de mise en œuvre de l'ossature métallique et de l'éventuelle isolation thermique des bardages rapportés faisant l'objet d'un Avis Technique ou Document Technique d'Application

Ce document a été approuvé par le Groupe Spécialisé n° 2.2 le 13 mars 2018
Il annule et remplace le Cahier 3194 de janvier-février 2000

Groupe Spécialisé n° 2.2

Produits et procédés de bardage rapporté, vêtage et vêtiture



Commission chargée de formuler des Avis Techniques
et Documents Techniques d'Application

(arrêté du 21 mars 2012)

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

Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, exerce quatre activités clés : la recherche, l'expertise, l'évaluation, et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de la transition écologique et énergétique dans le monde de la construction. Son champ de compétences couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes.

Avec plus de 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le groupe CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre Français d'Exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille, 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1^{er} juillet 1992 – art. L 122-4 et L 122-5 et Code Pénal art. 425).

© CSTB 2018

Règles générales de conception et de mise en œuvre de l'ossature métallique et de l'éventuelle isolation thermique des bardages rapportés faisant l'objet d'un Avis Technique ou Document Technique d'Application

SOMMAIRE

PRÉAMBULE

Par rapport à l'édition précédente les modifications suivantes ont été apportées :

- introduction de la vérification possible aux états limites et simplification du calcul des sollicitations (cf. *e-Cahiers du CSTB*, cahier 3763) ;
- simplification du dimensionnement de l'ossature ;
- regroupement des cahiers 3194 et 3586_V2 ;
- corrections de forme ;
- aspect sismique cf. *e-Cahiers du CSTB*, cahier 3725
- mise à jour de l'annexe 4 Eléments de calcul thermique conformément à la RT 2012.

1. Introduction	2
1.1 Objet du document	2
1.2 Définitions	2
1.3 Principes de conception et justifications des dispositions constructives	3
2. Description des constituants de l'ossature et de l'isolation complémentaire	4
2.1 Profilés d'ossature	4
2.2 Pattes de fixation des profilés	6
2.3 Cales de rupture de pont thermique	13
2.4 Lisses	13
2.5 L'isolant	14
2.6 Organes de fixation	14
3. Conception et mise en œuvre	20
3.1 Pose des pattes	20
3.2 Pose de l'isolant	22
3.3 Pose des profilés porteurs	25
3.4 Aménagement de la lame d'air	28
3.5 Pose des lisses	30

Annexe 1

Détermination des caractéristiques mécaniques des attaches destinées à la fixation des profilés sur la structure porteuse	36
---	----

Première partie – Résistance admise aux charges verticales permanentes dues à la masse du bardage rapporté	36
--	----

Deuxième partie – Résistance admissible selon NV 65 modifiées (sous VENT NORMAL) ou valeur de calcul à l'état limite de service au sens de l'Eurocode 1991-1-4 et de son Annexe nationale (AN) aux charges horizontales momentanées dues à la dépression	38
--	----

Annexe 2.1

Fixations - Caractéristiques	41
------------------------------	----

Annexe 2.2

Détermination de la résistance caractéristique des assemblages	42
--	----

Annexe 2.3

Partie A : Résistance en traction	43
Partie B : Résistance en cisaillement	46

Annexe 3

Définition des atmosphères extérieures – Protection contre la corrosion	48
---	----

Annexe 4

Eléments de calcul thermique	52
------------------------------	----

Annexe 5

Eléments à prendre en compte dans le dimensionnement d'une ossature de bardage rapporté	54
---	----

Cas A : Ossature simple constituée d'un réseau de profilés porteurs verticaux sur lesquels viennent se fixer directement les éléments de paroi	54
--	----

Cas B : Ossature croisée constituée d'un réseau de profilés porteurs verticaux sur lesquels viennent se fixer des lisses horizontales supportant les éléments de paroi	55
--	----

1. Introduction

1.1 Objet du document

Le présent document s'applique à la France européenne. Ce document a pour objet de définir les exigences retenues en ce qui concerne les ossatures métalliques et l'isolation thermique associée, des bardages rapportés faisant l'objet d'un Avis Technique ou Document Technique d'Application (DTA) et de décrire :

- les constituants usuellement utilisés pour la réalisation de l'ossature métallique et celle de l'isolation thermique associée ;
- la mise en œuvre habituelle des constituants précédemment décrits, permettant de satisfaire à ces exigences.

En l'absence d'un DTU « Bardages Rapportés » à l'exception du NF DTU 41.2, il a paru utile d'établir un document technique de référence dans le souci de rassembler ce que l'on peut considérer comme les Règles de l'Art. En pratique, la constitution de l'ossature métallique et sa mise en œuvre telles qu'elles sont décrites dans le présent document, sont communes tant aux bardages rapportés relevant du domaine traditionnel qu'à la plupart des bardages rapportés considérés comme non-traditionnels. En effet, le caractère de non-traditionnalité d'un bardage rapporté est le plus souvent fonction des éléments de paroi constituant la peau du bardage :

- soit parce qu'ils sont réalisés en matériaux non traditionnels (mortier de résines, mortier CCV, stratifiés, compounds polyester, panneaux composites, etc.) ;
- soit parce que réalisés dans des matériaux reconnus traditionnels, ils sont proposés dans des formats et selon des modes de fixation qui ne le sont pas (par exemple carreaux céramiques de grandes dimensions et/ou fixés à l'aide d'inserts).

Les deux référentiels relatifs au vent (Neige et Vent 65 modifiées et Eurocode 1991-1-4 + Annexe nationale [AN] et ses amendements) cohabitent.

Dans le cadre de ce document, si les hypothèses suivantes sont vérifiées :

- 900 mm ou 600 mm d'entraxe maximum entre les montants d'ossature tels que définis au § 2.1.4 (formes) et aux § 2.1.2.1 (pour leurs natures et épaisseurs) ;
- distance entre pattes-équerres (disposées en quinconce) ou étriers de 1,35 m au maximum (qui peut être limité à 1 m selon certaines conditions du § 2.1.4) ;

alors les formules classiques de RDM concernant les déformées peuvent être utilisées quel que soit le référentiel choisi pour les efforts de vent qui s'appliquent à la façade (Règles NV 65 modifiées ou Eurocode 1991-1-4 + AN + amendements).

Les autres cas seront traités directement dans les Avis Techniques ou Document Technique d'Application (DTA) du groupe spécialisé n° 2.2.

Pour ce qui concerne le respect des exigences relatives à la sécurité incendie, on se reportera à la réglementation en vigueur.

Compte tenu des dispositions prises dans ce document, il n'est pas pris en compte de réduction des performances des profilés en acier galvanisé, que les tolérances sur épaisseur soient spéciales, normales ou décalées au sens de la NF P 34-310.

Les conditions d'utilisation d'un bardage rapporté posé sur ossature métallique, objet du présent document, dans les zones sismiques concernées par la réglementation sont décrites dans l'Avis Technique ou DTA de ce bardage rapporté.

1.2 Définitions

1.2.1 Bardage rapporté

On appelle bardage rapporté, le système de revêtement extérieur de parois verticales, composé d'une peau et d'une ossature repris sur le gros œuvre.

La peau du bardage rapporté peut être à base :

- de grands éléments (plaques, panneaux, etc.) ;
- d'éléments de grande longueur (clins, lames, etc.) ;
- de petits éléments (tuiles, ardoises, écailles, plaques, dalles, bardeaux, etc.).

Il n'appartient pas au bardage rapporté de séparer l'intérieur du bâtiment de l'extérieur mais d'être entièrement situé à l'extérieur, rapporté sur le gros œuvre qui assume ladite séparation et auquel l'ouvrage de bardage apporte l'aspect extérieur, contribue à l'étanchéité à la pluie et le plus souvent à l'isolation thermique assurant ainsi la protection de la structure porteuse vis-à-vis des sollicitations climatiques.

Remarque 1 : *Lorsqu'un système, normalement employé en bardage rapporté, est utilisé pour séparer l'intérieur du bâtiment de l'extérieur, il ne constitue plus un bardage rapporté tel que visé dans le présent document, mais un ouvrage différent, où il joue lui-même le rôle de mur et où il doit répondre aux diverses performances exigées d'un mur, notamment du point de vue stabilité, résistance aux sollicitations climatiques, sécurité incendie, confort thermique et acoustique, etc. Il peut en ce cas être appelé : « bardage » tout court, « bardage industriel », « façade légère », etc.*

1.2.2 Structure porteuse

On appelle structure porteuse le gros œuvre le quel doit assurer notamment la stabilité du bâtiment ainsi que l'étanchéité à l'air des murs.

Ne sont visées dans le présent document que les structures porteuses réalisées en maçonneries d'éléments enduits ou en béton.

1.2.3 Ossature

On appelle ossature, l'ensemble du dispositif permettant de rapporter la peau sur la structure porteuse.

Le type d'ossature support de bardage considéré dans le présent document est constitué de profilés disposés en réseau vertical.

Ces profilés verticaux peuvent être solidarisés à la structure porteuse, soit en contact direct, soit le plus souvent à l'aide de pattes de fixation (pattes équerres, étrier en U, etc.) qui permettent de compenser les écarts de planéité du support et ménager l'espace pour l'isolation thermique.

En tout état de cause, l'Avis Technique ou Document Technique d'Application (DTA) du procédé de bardage rapporté précise le mode de mise en œuvre de l'ossature métallique.

Certaines peaux de bardage nécessitent la mise en œuvre de lisses horizontales.

1.2.4 Isolation thermique

Une isolation thermique extérieure est le plus souvent associée pour répondre à la réglementation thermique. Entre isolation et dos de la peau, est toujours ménagée une lame d'air ventilée, qui est en communication avec l'extérieur en rive basse (entrée d'air) et en rive haute (sortie d'air).

1.3 Principes de conception et justifications des dispositions constructives

1.3.1 Stabilité, déformation, résistance

1.3.1.1 Généralités

Le dimensionnement des ossatures de bardage peut être établi à partir des règles de calculs de la « théorie des poutres » dans la limite des hypothèses retenues au § 1.1. Les efforts de vent restent à déterminer dans les textes respectifs de chaque référentiel (Règles NV 65 modifiées ou Eurocode 1 P1-4). Les calculs sont établis dans l'hypothèse que les profilés métalliques ne travaillent que dans le domaine élastique.

1.3.1.2 Dimensionnement aux contraintes admissibles

• Stabilité

La sécurité doit être assurée dans les mêmes conditions que pour n'importe quelle construction vis-à-vis des sollicitations usuelles.

Les sollicitations à prendre en compte sont indiquées dans les Règles NV 65 modifiées (charges climatiques, charges permanentes, etc.).

• Déformation

Les déformations de flexion doivent rester dans des limites admissibles fixées par les conditions d'emploi (flèches admissibles selon Règles NV 65 modifiées) confirmées ou renforcées par l'Avis Technique ou DTA.

En tout état de cause, les déformations acceptées doivent rester compatibles avec celles des éléments de peau de bardage notamment lorsque ces derniers sont rigides et fragiles et maintenus par des dispositifs de fixations rigides ou présentant des emboîtements ou recouvrements de faibles valeurs.

1.3.1.3 Dimensionnement aux états limites

• Stabilité

La sécurité doit être assurée dans les mêmes conditions que pour n'importe quelle construction vis-à-vis des sollicitations usuelles.

Les sollicitations à prendre en compte sont indiquées dans l'Eurocode 1 P1-4 (actions variables, actions permanentes, etc.).

• Déformation

Les déformations en flexion doivent rester dans des limites des « valeurs de calcul » fixées par les conditions d'emploi (flèche à l'état limite au sens des Annexes nationales des Eurocodes 3 et 9 P1-1 (cf. remarque 1 au § 2.1.4) confirmées ou renforcées par l'Avis Technique ou DTA.

En tout état de cause, les déformations acceptées doivent rester compatibles avec celles des éléments de peau de bardage notamment lorsque ces derniers sont rigides et fragiles et maintenus par des dispositifs de fixations rigides ou présentant des emboîtements ou recouvrements de faibles valeurs.

1.3.2 Justification par essais des pattes de fixation et assemblage

Les annexes 1 et 2 du présent document précisent, par ailleurs, les modalités des essais relatifs aux attaches, fixations et assemblages des pattes de fixation.

1.3.3 Variations dimensionnelles

1.3.3.1 Généralités

La prise en compte des lois physiques appliquées aux phénomènes de dilatation doit conduire à une conception permettant d'assurer une libre dilatation des profilés ou tout au moins de limiter convenablement les contraintes et/ou déformations résultant d'un montage dans lequel les mouvements seraient plus ou moins bridés.

Dans le cas des dispositions des § 1.3.3.4 et § 1.3.3.5 (du fait de leur limitation de longueur) ces contraintes sont réputées négligeables.

1.3.3.2 Plage de température

Compte tenu d'une part de leur situation en arrière des éléments de revêtement (peau de bardage) et d'autre part de la présence d'une lame d'air ventilée, les valeurs de température susceptibles d'être atteintes par les profilés d'ossature sont forfaitairement fixées à $-20\text{ °C}/+60\text{ °C}$.

Remarque : Il existe des méthodes générales permettant de déterminer le régime thermique des parois en fonction de leurs caractéristiques et de leurs conditions d'environnement : températures d'ambiance extérieure et intérieure, flux solaire, régimes d'échange intérieur et extérieur, coefficient d'absorption des revêtements de surface, etc. Cependant, ces méthodes générales sont souvent lourdes à exploiter et nécessitent une définition rigoureuse des divers paramètres. Elles ne seront donc utilisées que pour justifier la prise en compte des valeurs de températures différentes de celles définies forfaitairement ci-dessus.

1.3.3.3 Coefficients de dilatation

Les coefficients de dilatation retenus sont :

- pour l'acier 12.10^{-6} m/m.K
- pour les alliages d'aluminium 23.10^{-6} m/m.K

Remarque : La pratique montre qu'une prévision de variation dimensionnelle respectivement de $+1\text{ mm}$ par mètre pour l'aluminium et de $+0,5\text{ mm}$ par mètre pour l'acier est suffisante.

1.3.3.4 Conception d'ossature librement dilatable

Le fonctionnement en libre dilatation de l'ossature repose sur un principe d'assujettissement au gros œuvre par point fixe et points coulissants (glissants).

Le point fixe, qui peut être disposé en tête de profilé, reprend les charges verticales de poids propre ainsi qu'une partie des efforts dus aux effets du vent, alors que les points coulissants, répartis le long du profilé, ne reprennent en principe que les efforts dus aux effets du vent.

Remarque 1 : Certaines considérations peuvent conduire à disposer la patte de point fixe ailleurs qu'en tête des profilés.

Remarque 2 : Les conditions de montage (défaut d'alignement, etc.) ou d'assemblage (serrage excessif, etc.) ne doivent pas contrarier le schéma mécanique retenu pour l'ossature.

1.3.3.5 Conception d'ossature bridée

Le fonctionnement d'une telle ossature repose sur un assujettissement pseudo-rigide au gros œuvre au moyen de pattes de fixation réparties le long du profilé et reprenant chacune une part des efforts résultant :

- des charges de poids propre ;
- des effets du vent ;
- des effets de la dilatation.

Cette conception n'est envisageable que dans l'hypothèse de mouvements de faible amplitude pouvant être absorbés par les organes de fixation dans la limite de contraintes admises et de déformations élastiques ou plastiques (adaptation) vérifiées compatibles avec les éléments de revêtements prévus.

Remarque : Dans une telle conception, il est difficile d'évaluer les efforts transmis aux organes de liaison, notamment pour ceux situés en extrémités des profilés qui, outre les charges de poids propre et de vent, supporteront les effets dus à la dilatation en majoration ou minoration des charges de poids propre selon le sens des variations (dilatation ou retrait).

Les contraintes résultant de ces différents efforts sont reprises tant par les fixations entre profilés et patte (vis ou rivets) que par les fixations entre patte et gros œuvre (ancrage), et sont plus ou moins atténuées en fonction de la déformabilité des pattes (dans le domaine élastique) et de l'adaptation de plasticité de l'assemblage (constitution de « rotules » locales).

Cette conception est envisageable pour des profilés de faible longueur (distance entre fixations extrêmes < 3 m) ancrés dans un gros œuvre en béton (maçonneries d'éléments exclues) par des chevilles métalliques dans la mesure où les déformations localisées évoquées en remarque ci-dessus permettent de créer, dès la mise en service ou à court terme, les jeux nécessaires à une réduction sensible des contraintes initiales.

La pose en conception bridée est possible sur support béton (conforme au DTU 23.1) ou maçonné (conforme au NF DTU 20.1) avec une longueur de montants limitée à 3 m lorsque ossature aluminium et à 6 m lorsque ossature acier.

Les longueurs maximales des montants, en fonction de la nature des ossatures et du mur support, sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 1 – Longueur maximale des ossatures en conception bridée

Ossature de conception bridée		
	Acier	Aluminium
Support béton	6 m	3 m
Support maçonné	6 m	3 m

L'emploi des profilés en acier dans une conception de montage bridé est possible dans la mesure où :

- d'une part, le coefficient de dilatation de l'acier est de moitié inférieur à celui des alliages d'aluminium et que,
- d'autre part, la géométrie des pattes est étudiée pour permettre des déformations « élastiques » suffisantes pour absorber les contraintes additionnelles induites par la dilatation des profilés.

Remarque : Dans de tels systèmes d'ossature acier, dont certains sont commercialisés depuis plus de 30 ans sans qu'il ait été constaté de désordres apparents, on retrouve :

- des profilés de longueur maximale 6 m ;
- des éclisses de raccordement en extrémités des profilés qui bien que montées assez serrées ne s'opposent que partiellement aux variations de longueur des profilés qui sont limités à 6 m de long ;
- des pattes-équerres de fixation au gros œuvre présentant sous charge verticale une bonne déformabilité, voire une pseudo-articulation au niveau des pattes avec rallonge à coulisse.

Il est à noter également que les déformations observées au-delà de la limite d'élasticité sont encore d'une grande amplitude avant qu'elles ne conduisent à la ruine des pattes ou à une perte significative de leur résistance.

Concernant les risques d'affaiblissement dus à d'éventuels phénomènes de fatigue, ceux-ci ne paraissent pas à craindre pour ces pattes en acier, dans la mesure où les fréquences des alternances retrait-dilatation sont faibles (cycle journalier), et que par ailleurs les vitesses de variation sont assez lentes.

2. Description des constituants de l'ossature et de l'isolation complémentaire

Les constituants utilisés pour la réalisation de l'ossature et de l'isolation complémentaire concernent : les profilés, les pattes de fixation, les éventuelles lisses, les isolants et les diverses fixations.

2.1 Profilés d'ossature

2.1.1 Rappel des exigences

Compte tenu des dispositions prises à la mise en œuvre (cf. chapitre III) et des conditions d'emploi, les profilés doivent présenter :

- une durabilité suffisante ;
- une section assurant :
 - une déformabilité négligeable ou peu gênante sous l'action des agents climatiques (hygrothermie, vent),
 - des dimensions suffisantes (pincées...) pour permettre les assemblages corrects entre éléments ou avec la paroi support.

2.1.2 Durabilité

2.1.2.1 Nature du métal

Les profilés sont réalisés à partir des produits ou demi-produits ci-après.

2.1.2.1.1 Profilés en acier

La nuance minimale de l'acier S 220 GD conformément à la norme NF EN 10 346.

L'épaisseur minimale est de 15/10.

2.1.2.1.2 Profilés en aluminium ou alliages d'aluminium

Les alliages d'aluminium utilisés sont caractérisés par l'absence de cuivre ou par une teneur en cuivre inférieure à 1 %.

Les épaisseurs minimales à considérer sont de 20/10 pour une fixation par rivet et 25/10 avec une fixation par vis.

Les alliages d'aluminium sont issus de la série 3 000 au minimum et présentent une limite d'élasticité R_p 0,2 supérieure à 180 MPa.

• Profilés filés

Les caractéristiques de ces produits sont conformes aux normes NF EN 1301-1 et NF EN 755-2 et les tolérances sur dimensions sont conformes à la norme NF EN 755-9.

• Profilés formés à partir de laminés

Les caractéristiques de ces produits sont issues de la série 3 000 au minimum et présentent une limite d'élasticité R_p 0,2 supérieure à 180 Mpa.

2.1.2.1.3 Profilés en acier inoxydable

L'épaisseur minimale est de 15/10.

Les nuances d'acier inoxydable, selon NF EN 10088-2, à utiliser conformément aux spécifications de la norme NF P 24-351 (reprises dans l'annexe 3 du présent document) et NF EN 10088-2 sont les suivantes :

- acier austénitique au chrome nickel de désignation 1.4301 (X5 Cr Ni 18-10) ;
- acier inoxydable au chrome-nickel-molybdène de désignation 1.4401 à 6 (X5 Cr Ni Mo 17- 12-2).

2.1.3 Protection

La protection doit être adaptée en fonction de la nature du métal et de la sévérité de l'exposition, selon qu'il y aura ou non nécessité de conserver l'aspect des profilés restant en parties visibles après pose de la peau de bardage.

Dans le cas d'ossature entièrement située derrière une peau de bardage de type IV ou XIV, les protections seront celles prévues pour les emplois en « atmosphère extérieure protégée et ventilée » telle que définie en annexe 3 du présent document.

Cette même atmosphère peut être également retenue dans le cas des bardages permettant de réaliser des murs de type III ou XIII dès lors que :

- l'ouvrage n'est pas situé en zone littorale (distance > à 10 km du bord de mer) ;
- toutes dispositions auront été prises pour assurer un drainage évitant d'éventuelles stagnations d'eau d'infiltration ou de condensation ;
- et, par ailleurs, il n'y ait pas modification de l'aspect, tant vis-à-vis des parties de profilés partiellement vues, que des risques de coulures sur les parements. Lorsque ce risque existe, il est mentionné dans l'Avis Technique ou Document Technique d'Application du bardage rapporté.

Dans tous les autres cas d'ossature y compris ceux dans lesquels les profilés restent apparents et contribuent à l'esthétique d'ensemble, on se référera aux protections requises pour les emplois en « atmosphères extérieures » telles que définies en annexe 3.

En dehors des exigences relatives à la conservation de l'aspect, les profilés réalisés en acier inoxydable ou en alliages d'aluminium ne nécessitent pas de protection, hormis le cas d'exposition en atmosphères particulièrement corrosives pour lequel une étude spécifique est nécessaire (cf. annexe 3).

2.1.3.1 Traitement de protection de l'acier

2.1.3.1.1 Galvanisation à chaud

Les revêtements obtenus par galvanisation, par immersion dans le zinc fondu (galvanisation à chaud) sur produits finis ou semi-finis doivent satisfaire à la norme NF EN ISO 1461.

Les épaisseurs minimales des revêtements selon les atmosphères doivent satisfaire au tableau 3.1 de l'annexe 3.

Les formages ultérieurs sur produits semi-finis, par exemple par profilage aux galets ou pliage à la presse, ne doivent pas détériorer la protection.

2.1.3.1.2 Revêtements de zinc (galvanisation) par immersion à chaud en continu (tôles et bandes) sans peinture de finition

Les produits obtenus par galvanisation à chaud en continu de tôles et bandes doivent satisfaire à l'une des normes suivantes : NF EN 10346 ou NF P 34-310.

Les épaisseurs minimales des revêtements selon les atmosphères doivent satisfaire au tableau 3.2 de l'annexe 3.

Nota : La norme NF P 34-310 donne des informations utiles sur ce point.

2.1.3.1.3 Autres revêtements métalliques en continu

Des revêtements éprouvés assurant une protection des surfaces reconnue équivalente, pour l'application visée, aux procédés définis peuvent être utilisés. Le revêtement spécifique peut être justifié dans le cadre de l'Avis Technique (ou DTA) du procédé. Ils font l'objet d'ETPM délivrées par le CSTB.

Les produits obtenus doivent satisfaire à l'une des normes NF EN 10327, NF EN 10346 ou NF P 34-310.

Dans ce cas, les épaisseurs minimales des revêtements selon les atmosphères doivent satisfaire au tableau 3.2 ou au tableau 3.3 de l'annexe 3.

Les formages ultérieurs sur produits semi-finis, par exemple par profilage aux galets ou pliage à la presse, ne doivent pas détériorer la protection.

Nota : La norme NF P 34-310 donne des informations utiles sur ce point.

2.1.4 Section des profilés

La forme sera choisie en fonction de la facilité avec laquelle elle permettra l'adaptation des revêtements ou du réseau de lisses horizontales.

Les sections courantes sont les suivantes :

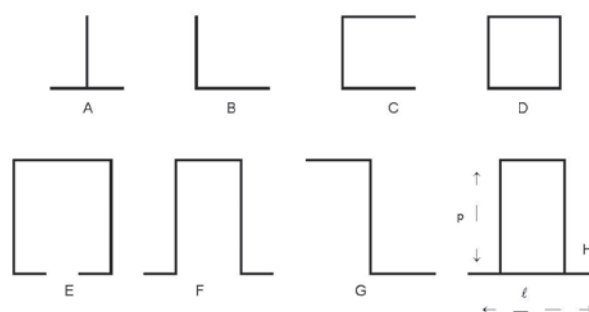


Figure 1 – Sections de profilés

Ces dimensions minimales n'excluent pas de déterminer les calculs de vérifications des déformées.

Les profilés symétriques fermés (D ou H) ne font pas l'objet de vérifications à la torsion.

Les profilés type B (en forme de « L ») sont limités à 600 mm d'entraxe et 1 m de distance entre les pattes équerres. Au-delà de 600 mm d'entraxe entre profilés, (sans toutefois dépasser la limite de 900 mm) ou jusqu'à 1,35 m de distance entre pattes équerres, les profilés doivent faire l'objet d'une vérification de la déformée et de la contrainte selon la théorie des poutres.

Tableau 2 – Dispositions retenues pour les profilés en forme de « L »

Types de profilés (cf. fig. 1)	Entraxe maxi entre profilés	Entraxe maxi entre pattes-équerres / étriers	Vérifications
B	600 mm	1 000 mm	Vérification de la déformée
B	600 mm < X ≤ 900 mm	≤ 1350 mm	Vérification de la déformée et de la contrainte

Pour les autres profils dans la limite de 900 mm d'entraxe et d'une distance entre pattes-équerres de 1,35 m uniquement, seule la déformée est à vérifier.

Lorsque la peau extérieure du bardage rapporté est montée sur des lisses fixées sans jeu sur des profilés de forme ouverte tels que E et F, leur section est considérée comme déformable vis-à-vis des sollicitations transversales et des vérifications spécifiques détaillées au § 3.5.2.4 sont à effectuer.

Remarque : L'Avis Technique ou DTA du procédé de bardage rapporté indiquera les dispositions prises lorsque les configurations présentées dans ce paragraphe sont différentes.

La section caractérisée par la largeur vue « ℓ » et la profondeur « P » doit répondre à un certain nombre de conditions.

- En ce qui concerne la largeur vue « ℓ », celle-ci, dans le cas où le joint vertical entre deux éléments est prévu au droit d'un profilé porteur, doit permettre :
 - l'ouverture « j » du joint entre éléments ;
 - une distance « d » suffisante entre l'axe des fixations de l'élément et le bord de l'élément (prise en compte deux fois). Cette distance, fonction de la nature de l'élément, est précisée dans l'Avis Technique (ou DTA) du procédé de bardage rapporté ;
 - une garde « g » suffisante entre axe des fixations de l'élément et le bord du profilé (prise en compte deux fois). Cette garde minimale est au moins égale à deux fois le diamètre nominal de la fixation.

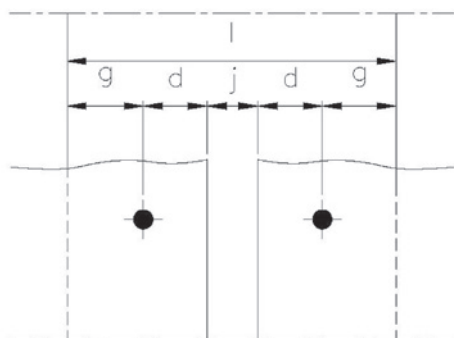


Figure 2 – Distances des fixations vis-à-vis des bords

Remarque 1 : Si la dimension horizontale des éléments de peau appelle un profilé intermédiaire (avec un seul alignement vertical de fixations), les dimensions de celui-ci peuvent rester, pour des raisons de facilité, identiques à celles du profilé au droit du joint.

- Compte-tenu de la largeur « ℓ » vue retenue, l'inertie du profilé doit être choisie telle que la flèche prise tant en pression qu'en dépression soit inférieure au :
 - 1/200 de la portée entre fixations du profilé à la structure porteuse sous vent normal (tel qu'il est défini par les Règles NV 65 modifiées),
 - 1/167 de la portée au sens de l'Eurocode 1991-1-4 + AN (+ amendements).
- En tout état de cause, il sera vérifié en tant que de besoin, notamment dans le cadre de l'instruction des Avis Techniques ou DTA, que ce rapport flèche sur portée de 1/200 (selon Règles NV 65 modifiées) ou 1/167 (selon l'Eurocode 1991-1-4 + AN + amendements) est compatible avec les déformations des éléments de peau, compte-tenu de l'éventuelle interaction entre peau et ossature, liée au mode de pose.

Remarque 1 : Il est retenu un rapport flèche sur portée de 1/167 et non au 1/150 comme indiqué dans les tableaux 2 de la NF EN 1993-1-1/NA (Eurocode 3 d'août 2013) et 2a de la NF EN 1999-1-1/NA (Eurocode 9 de juillet 2016).

Remarque 2 : Lorsque la nature de la structure porteuse impose l'entraxe des fixations, l'inertie du profilé est fonction de cet entraxe. Inversement lorsque la section du profilé est imposée, l'entraxe des fixations est fonction de l'inertie de cette section et de la résistance de l'ancrage dans le gros œuvre.

2.2 Pattes de fixation des profilés

Les pattes de fixation, également désignées attaches, ont un double rôle :

- d'une part, participer à la création d'un nouveau plan de façade recevant la peau du bardage, et ce en intégrant d'éventuels défauts du gros œuvre support (planéité, verticalité), saillies locales (bandeaux en nez de plancher ou refend) et/ou décalage de nus (défoncés en allèges par exemple) ;
- d'autre part, de permettre la création d'un espace suffisant entre gros œuvre support et sous-face de la peau pour disposer un isolant thermique d'épaisseur variable et ménager une lame d'air ventilée.

Ce faisant, elles ont à assurer la reprise des charges de poids propre du bardage (peau et ossature), les efforts dus aux effets du vent, et éventuellement ceux dus aux phénomènes de dilatation selon la conception de l'ossature.

2.2.1 Rappel des exigences

Compte-tenu des dispositions prises à la mise en œuvre (cf. chapitre 3) et des conditions d'emploi, les pattes de fixation doivent présenter :

- une géométrie assurant une déformation limitée sous l'action des charges transmises en œuvre (poids propre, vent, dilatation) ;
- une conception permettant d'absorber d'une part la dilatation des profilés porteurs et d'autre part de les rendre coplanaires ;
- un préperçage de trous de diamètre adapté aux fixations prévues pour le gros œuvre support et éventuellement pour la fixation des profilés porteurs ;
- une durabilité suffisante.

2.2.2 Géométrie des pattes

Pour les profilés de section ouverte en T ou L, les pattes sont du type cornière en « L », obtenu par pliage et peuvent, en cas d'emploi de métal relativement mince, être renforcées par estampage d'une ou deux nervures en angle, ou par un gousset rapporté.

La petite branche de « L » constitue une aile d'appui sur la structure porteuse, et la grande branche une aile d'appui sur le profilé porteur. Cette aile peut être fixe ou réglable, auquel cas elle est alors en deux parties coulissant l'une sur l'autre selon une course guidée, et associées par boulonnage (fig. 3b).

Certains modèles de ces pattes cornières peuvent également être associés en forme U ou Z (fig. 3c) par boulonnage ; d'autres sont réversibles ; la petite aile de l'équerre étant disposée soit côté gros œuvre, soit côté profilé porteur (fig. 3d).

Remarque : Les assemblages par boulonnage doivent être rendus indesserrables.

Pour des profilés porteurs tubulaires □ ou U, des pattes en forme d'étrier peuvent être utilisées également. Ces pattes peuvent être façonnées par pliage lorsqu'elles sont en acier (inoxydable ou galvanisé), mais le plus souvent elles sont débitées dans des profilés en alliage d'aluminium (fig. 3e à 3g).

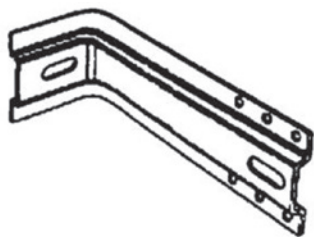


Figure 3a – Exemple de patte

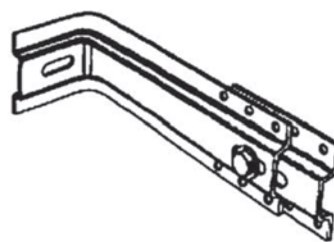


Figure 3b – Exemple de patte

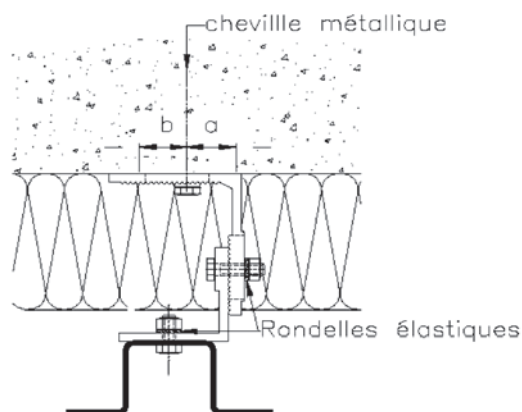


Figure 3c – Variante de la fig. 3b
(appuis crantés au droit des trous oblongs)

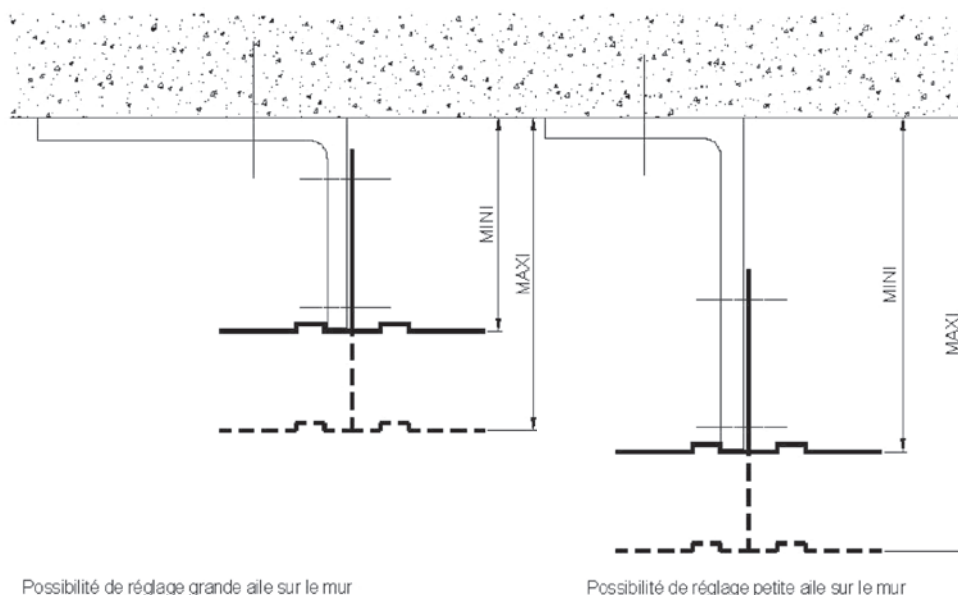


Figure 3d – Patte-équerre réversible

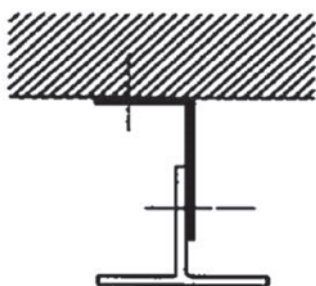


Figure 3e – Exemple de disposition

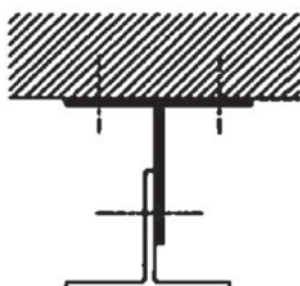


Figure 3f – Exemple de disposition

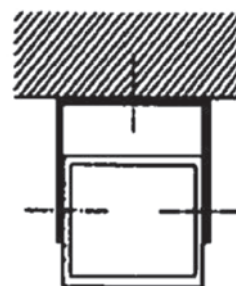


Figure 3g – Exemple de disposition



Figure 3h – Exemple de disposition

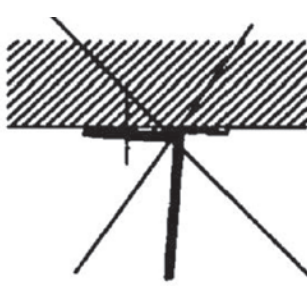


Figure 3i – Disposition interdite



Figure 3j – Rattrapage de planéité

Figures 3i et 3j : Rattrapage de planéité par cale-fourche. La cale doit être enfourchée sur la fixation. Ces cales seront définies dans l'Avis Technique ou Document Technique d'Application du procédé de bardage rapporté.

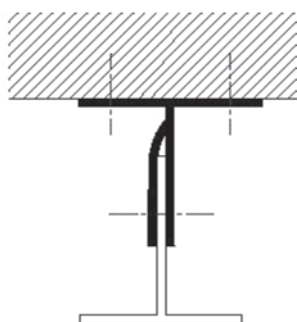


Figure 3k – Exemple de disposition

2.2.2.1 Rigidité des pattes

La convenance d'une patte de fixation, du point de vue rigidité, s'apprécie en fonction de la résistance qu'elle oppose aux trois types de charge ci-après :

2.2.2.1.1 Charge verticale due au poids propre du bardage rapporté

La performance à la charge verticale due au poids propre du bardage rapporté est déterminée selon l'essai défini en annexe 1, première partie. Cette détermination tient compte de deux critères :

1. non dépassement de la limite élastique du métal sous la charge F_r ;
2. non dépassement d'une déformation donnée (mesurée en nez de patte) sous une charge F_d .

Remarque 1 : Le plus souvent $F_d \leq F_r$, avec une déformation en nez de patte proportionnelle à la longueur de la patte. Cette déformation est spécifiée dans l'Avis Technique (ou DTA) du procédé de bardage rapporté.

Dans le cas des ossatures librement dilatables, les charges de poids propre correspondent pour l'essentiel à la masse du parement associé à un profilé donné, et repris par un seul point de fixation, situé le plus souvent en tête du profilé (extrémité haute). Les pattes-équerres pourront être doublées au niveau du point fixe afin d'améliorer la reprise de poids, toutefois les chevilles d'ancrage restent à justifier par ailleurs.

La convenance de la patte s'apprécie par comparaison de cette performance à la charge maximale estimée supportée en œuvre et prise égale à la charge déterminée géométriquement en fonction de la masse surfacique du bardage rapporté, de l'entraxe entre profilés et de la longueur de ces derniers.

Remarque 2 : Pour des parements de masse surfacique élevée et fixés sur une ossature comportant des montants de grande longueur disposés selon des entraxes importants, la reprise des charges verticales concentrée sur le point fixe peut être élevée ($> 200 \text{ daN}$) et de ce fait nécessiter le renforcement des ancrages selon les caractéristiques des chevilles et du support.

Dans ce cas, on veillera d'une part à respecter les prescriptions de distances minimales entre les chevilles (cf. Agréments ou Evaluations Techniques Européennes établies selon les ETAG 001, 020 ou 029 concernés ou DEE correspondant) et d'autre part à éviter les excentrement relatifs à l'axe de symétrie verticale des profilés.

Sur ce dernier point, on choisira des pattes présentant des préperçages de fixation disposés symétriquement ou en alignement vertical avec l'axe des profilés porteurs (cf. fig. 3f et 3g) ou à défaut en établissant cette symétrie dans le cas des pattes-équerres disposées en vis-à-vis (cf. fig. 3h). Tout ceci est précisé dans l'Avis Technique (ou DTA) du procédé de bardage rapporté.

La convenance vis-à-vis des charges de poids propre n'a normalement pas à être vérifiée pour les pattes dites de points glissants lesquelles ne reprennent que les efforts dus aux effets du vent.

Dans le cas des ossatures en montage bridé, les charges de poids propre se répartissent sur l'ensemble des pattes et la convenance de la patte s'apprécie par comparaison de cette résistance à la charge maximale estimée supportée en œuvre et prise égale à la charge déterminée géométriquement en fonction du poids en m² du bardage rapporté et du taux minimal de pattes par m².

Remarque 3 : L'ordre de la mise en œuvre, les jeux et tolérances de montage ainsi que les effets de dilatation peuvent conduire l'une des pattes à supporter une charge largement supérieure à celle résultant de la seule charge moyenne de poids propre.

En effet, outre les charges de poids propres, il y a également lieu de considérer pour ce cas de montage, les effets de la dilatation des profilés tant du point de vue des efforts développés que des déplacements imposés. Le point d'ancrage de la patte doit être situé sur l'axe de symétrie horizontal de son aile d'appui au gros œuvre support, dans le cas contraire, pour les profilés non symétriques, les pattes-équerrées devront être vérifiées selon l'annexe 1 du présent document (vérification de la contrainte admissible de la patte-équerrée au vent et au poids du procédé de bardage).

Compte tenu de l'expérience et des dispositions technologiques adoptées (limitation des longueurs de profilés à 3 m en alu et 6 m en acier notamment) l'emploi d'ossatures en montage bridé est acceptable sur parois supports en béton et maçonnerie.

2.2.2.1.2 Charge orthogonale de dépression due aux actions du vent

a) Dans le cas d'un dimensionnement aux contraintes admissibles :

La résistance admissible selon les Règles NV 65 modifiées à la charge orthogonale de dépression due aux actions du vent est déterminée selon l'essai défini en annexe 1, deuxième partie.

La convenance de la patte s'apprécie par la comparaison de cette résistance admissible selon les Règles NV 65 modifiées à la charge maximale estimée supportée en œuvre et prise égale à la charge déterminée géométriquement en fonction de la dépression sous VENT NORMAL selon les Règles NV 65 modifiées et du nombre de pattes le long des profilés porteurs et de l'entraxe de ces derniers.

Remarque : Considérant que chaque profilé porteur reprend les efforts de la bande verticale de bardage de largeur égale à l'entraxe « x » des profilés, la charge (Q) s'exerçant sur un profilé de longueur « l » sera égale à :

$$Q = \alpha \cdot qH \cdot x$$

avec

qH = pression (ou dépression) en Pascal calculée selon les Règles NV 65 modifiées.

Le coefficient α tient compte de la continuité globale de la façade sur n travées (α selon le nombre d'appui de pattes-équerrées par profilé).

b) Dans le cas d'un dimensionnement aux états limites

La valeur de calcul à l'état limite de service au sens de l'Eurocode 1991-1-4 et de son Annexe nationale (AN) à la charge orthogonale de dépression due aux actions du vent est déterminée selon l'essai défini en annexe 1, deuxième partie.

La convenance de la patte s'apprécie par la comparaison de cette valeur de calcul à l'état limite de service au sens de l'Eurocode 1991-1-4 + AN (et ses amendements) à la charge maximale estimée supportée en œuvre et prise égale à la charge déterminée géométriquement en fonction de la dépression sous vent W_{50} selon l'Eurocode 1991-1-4 + AN (et ses amendements) et du nombre de pattes le long des profilés porteurs et de l'entraxe de ces derniers.

Remarque : Considérant que chaque profilé porteur reprend les efforts de la bande verticale de bardage de largeur égale à l'entraxe « x » des profilés, la charge $C_{p,net}W_{50}$ (en fonction de la position dans le bâtiment) s'exerçant sur un profilé de longueur « l » sera égale à :

$$Q = \alpha \cdot C_{p,net} W_{50} \cdot x$$

avec

$C_{p,ne. t.} W_{50}$ = pression (ou dépression) en Pascal calculée selon Eurocode 1 P1-4.

Le coefficient de α tient compte de continuité globale de la façade sur n travées (α selon le nombre d'appui de pattes-équerrées par profilé).

2.2.2.1.3 Charges latérales

Le bardage rapporté ne participant pas aux fonctions de transmission des charges de contreventement, les pattes ne reprennent pas en œuvre de charges latérales. Les seules charges latérales éventuellement reprises, peuvent résulter de la dilatation des lisses horizontales. Néanmoins, les dispositions technologiques prises dans le présent document permettent de considérer que les charges latérales sont négligeables.

Cependant, dans le cas de sollicitations sismiques le e-Cahiers du CSTB n° 3725 s'applique. En tout état de cause, l'Avis Technique (ou DTA) du procédé de bardage rapporté précise si des dispositions spécifiques sont à prendre vis-à-vis des charges latérales à reprendre par les pattes.

Les pattes satisfaisant aux deux précédentes exigences (cf. § 2.2.2.1.1 et § 2.2.2.1.2), satisfont à la présente.

2.2.3 Conception vis-à-vis de la dilatation

La plupart des fournisseurs de systèmes complets d'ossature en alliages d'aluminium ont opté pour le principe deux modèles distincts de pattes :

- l'un reprenant la totalité des charges de poids propre du bardage et une partie des charges de vent constitue le point fixe du profilé (fig. 4a) ;
- l'autre ne reprenant que les efforts dus aux effets du vent constitue un « point coulissant » vis-à-vis des variations dimensionnelles du profilé porteur (fig. 4b).

Certaines pattes peuvent être conçues pour remplir indifféremment l'une ou l'autre de ces fonctions soit comme « point fixe » soit comme « point glissant » (ou coulissant), voire ces deux fonctions au droit de la jonction de deux profilés porteurs (fig. 4c) en assurant en outre la fonction d'éclissage coulissant.

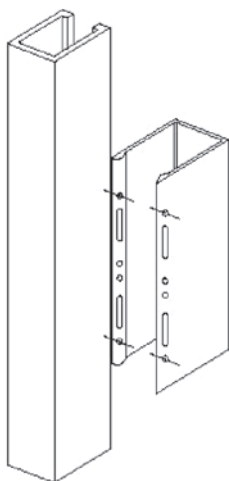


Figure 4a – Point de fixation

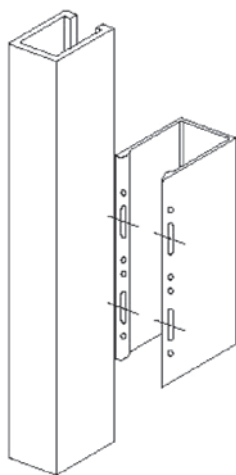


Figure 4b – Point glissant

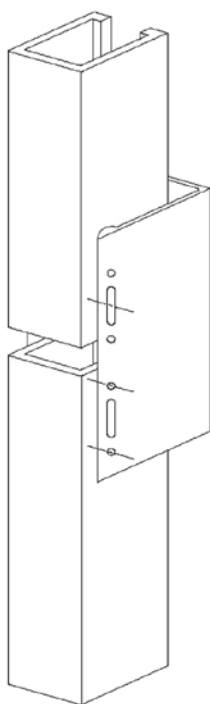


Figure 4c – Raccordement des profilés avec patte-étrier à double fonction - Point fixe et point coulissant

Pour obtenir en œuvre le libre coulisement entre patte de point glissant et profilé, les deux conditions suivantes doivent être réunies :

- les plans de contact des pattes et du profilé doivent être parallèles entre eux au moment de l'accostage ;
- l'accostage doit se faire sans effort et l'assemblage doit être réalisé au moyen de la fixation prévue sous serrage initial nul ou très modéré.

Sur des supports présentant des défauts de planéité locale, le parallélisme nécessaire ne peut être obtenu que par des pattes avec embase articulée latéralement (cf. fig. 4d) ou par un façonnage particulier de l'aile d'appui (« bossage » cf. fig. 4c) ou encore par emploi de cale (cf. fig. n° 3j) définie dans l'Avis Technique (ou DTA) du procédé de bardage rapporté.

Remarque 1 : Les pattes-équerres les plus simples dans leur conception (cf. fig. 5) ne peuvent satisfaire cette exigence de parallélisme des faces d'appui, que si elles sont « travaillées » en place (en fait plus ou moins redressées en force) ce qui n'est pas de bonne pratique.

En outre, de par leur tendance à la rotation autour de l'unique cheville de fixation, les pattes en équerre risquent d'accroître les frottements par effet de coin avec comme conséquence des reprises d'efforts non prévus :

- d'une part sur la patte dans le sens vertical ;
- d'autre part sur les organes de fixation (vis ou rivets) dans le sens axial.

Remarque 2 : Il est à noter que cette tendance à la rotation n'existe pas pour les pattes étriers (cf. fig. 3g) dont la cheville de fixation au support est disposée dans leur axe vertical de symétrie, et que pour d'autres types de pattes symétriques (cf. fig. 3f) ou non, cette tendance peut être empêchée par une double fixation.

D'autres ossatures sont cependant conçues pour fonctionner en montage bridé vis-à-vis de la dilatation ; dans ce cas, les pattes proposées sont d'un modèle unique, et se répartissent l'ensemble des charges : poids propre, effets du vent et efforts dus aux phénomènes de dilatation (cf. § 1.3.2.4).

2.2.4 Trous pré-perçés en ailes d'appui des pattes

2.2.4.1 En aile d'appui côté structure porteuse

L'aile d'appui sur la structure porteuse est préperçée d'un ou plusieurs trous destiné(s) au passage de la fixation de la patte, sur la structure porteuse.

Les pattes de point coulissant ne comportent le plus souvent qu'un trou, les pattes de point fixe peuvent en comporter plusieurs, de façon à multiplier le nombre des ancrages en fonction de la résistance du support notamment pour la reprise des charges verticales.

La forme oblongue du trou par rapport à l'horizontale est imposée par la nécessité de réaliser un ajustement latéral nécessaire à l'obtention du bon alignement vertical des pattes de fixation.

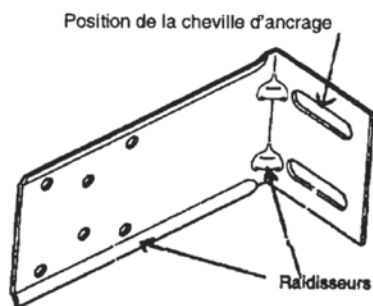


Figure 5a – Raidisseur

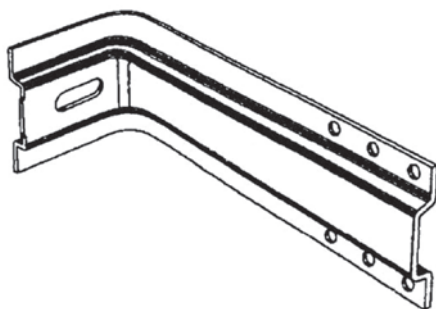


Figure 5b – Raidisseur

Remarque 1 : La patte de la fig. 5 ci-dessus comporte deux trous oblongs, de façon à pouvoir être fixée indifféremment à droite ou à gauche du profilé porteur, mais l'unique cheville de fixation doit être impérativement positionnée dans le trou supérieur. À cet égard, les pattes ne comportant qu'un trou oblong sur l'axe de symétrie horizontal (cf. fig. 6) évitent toute erreur d'exécution.

Remarque 2 : La rigidité de l'aile, souvent amoindrie par la présence du trou oblong, peut être rétablie, voire augmentée par l'emploi d'une platine disposée sous tête de fixation (cf. fig. 6). Le rapport d'essais réalisés conformément aux prescriptions de l'annexe 1 doit mentionner le cas échéant la présence de cette platine de répartition et en préciser les caractéristiques.

Remarque 3 : En raison de sa forme, la patte risque d'introduire un effet de levier intéressant les charges momentanées en dépression dues aux actions du vent (cf. § 2.6.1).

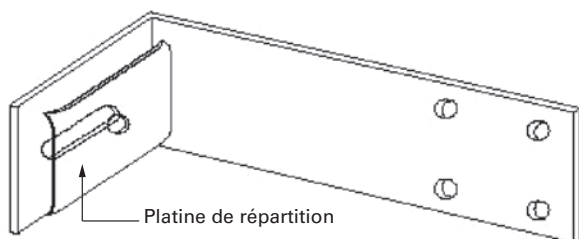


Figure 6 – Patte-équerre avec platine de répartition

2.2.4.2 En aile d'appui sur profilé porteur

Selon qu'il s'agisse de patte de point fixe ou de point glissant, le principe de fixation sera différent.

Les fixations usuelles sont principalement des vis auto-perçuses ou autotaraudeuses, des rivets aveugles ou des boulons.

2.2.4.2.1 Pattes de point fixe

L'aile d'appui côté profilés porteurs peut être préperçée deux trous au minimum.

Remarque 1 : De par sa forme et la position de la fixation, la patte peut introduire également un effet de levier concernant les charges permanentes dues au poids propre de l'ouvrage.

Pour être assuré que les sollicitations permanentes, dues au poids propre du bardage rapporté et reprises par la patte, ne se traduisent sur la cheville que par des efforts de cisaillement, il convient d'interdire à la fixation de la patte sur le profilé la tendance à la rotation qui est illustrée en fig. 7 ci-après, en réalisant un encastrement par fixations en plusieurs points.

Le moment qui s'exerçait sur la cheville de fixation est alors supprimé, mais l'encastrement ainsi obtenu donne naissance à un effort de cisaillement appliqué sur les deux fixations du profilé (vis ou rivets) dans un rapport PL/ℓ .

Selon la longueur d'aile des pattes pour partie dépendante de l'épaisseur d'isolant prévue et la géométrie de la patte, ces efforts de cisaillement peuvent majorer considérablement les efforts résultant des charges verticales.

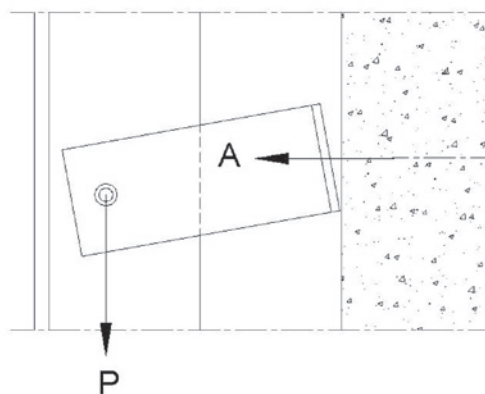


Figure 7 – Rotation de la patte équerre possible

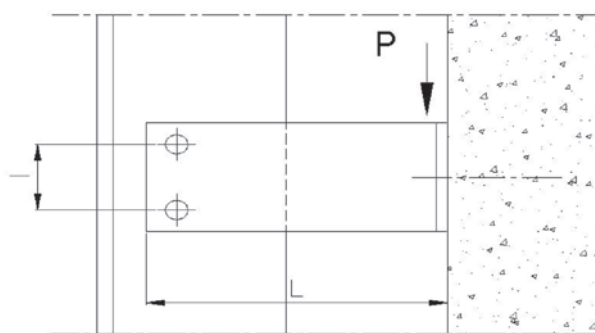
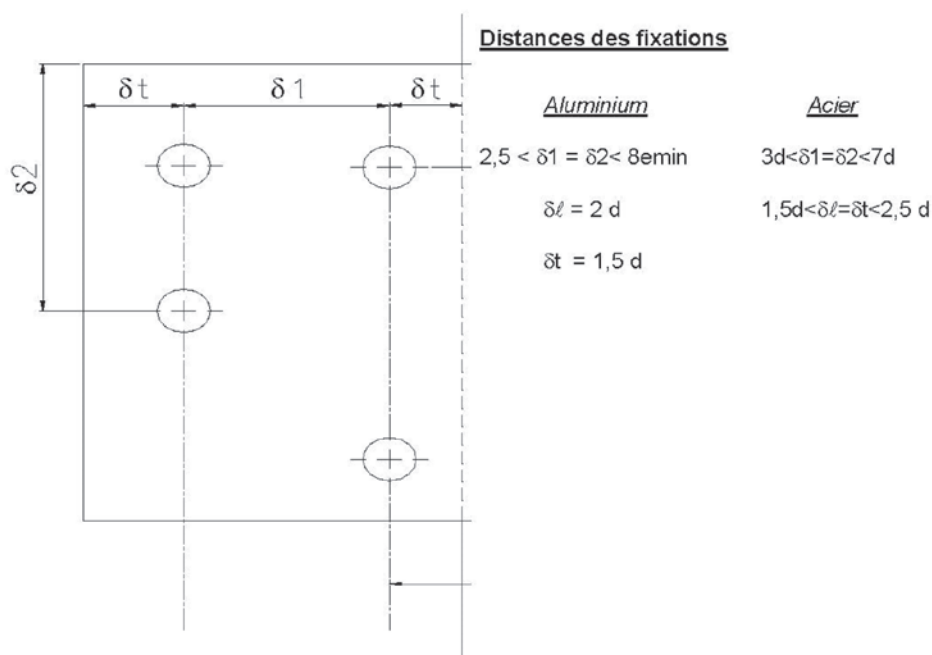


Figure 8 – Réalisation d'un encastrement

Pour que cet encastrement soit réalisé d'emblée, de façon à limiter au minimum le tassement lors de la mise en charge consécutive à la pose des éléments de peau, le diamètre des fixations devra être aussi proche que possible du diamètre des trous préperçés sur l'aile de la patte. On pourra également, après réglage définitif de la position des profilés, disposer les fixations complémentaires de blocage hors des préperçages, ce qui éliminera les jeux.

Remarque 2 : Si la fixation du profilé sur la patte était réalisée sans fixation complémentaire de blocage (cas de certaines conceptions avec profilés « suspendus »), la fixation de la patte sur le support subirait outre l'effort momentané d'arrachement dû à la charge du vent en dépression, un effort permanent d'arrachement dû au poids propre du bardage rapporté. Une cheville métallo-plastique avec un ATE établi selon ETAG 020 (ou DEE correspondant) dont la résistance à l'état limite ultime, déterminée selon les modalités du e-Cahiers du CSTB n° 1661_V2, est égale ou supérieure à la somme des deux efforts, pourrait cependant ne pas convenir.

Pour le positionnement des fixations par rivets aveugles, vis autoperceuses ou autotaraudeuses et boulons, on adoptera les dispositions suivantes tirées respectivement des NF DTU 32.2 pour l'aluminium et NF DTU 32.1 pour l'acier.



d = diamètre des trous de rivets

δ_1 = distance entre lignes longitudinales de rivets (alternés ou non)

δ_2 = distance sur leur ligne de l'entraxe de rivets

δ_1 = distance de l'axe d'un rivet au bord le plus voisin de la pièce assemblée dans le sens de l'effort sollicitant l'assemblage (pince longitudinale)

δ_2 = distance de l'axe d'un rivet au bord le plus voisin de la pièce assemblée dans la direction normale à l'effort sollicitant l'assemblage (pince transversale)

e_{min} = épaisseur de la plus mince des pièces assemblées

Figure 9a – Schémas de positionnement des fixations

2.2.4.2.2 Patte de point coulissant (ou glissant)

Dans sa conception la plus simple, l'aile d'appui sur le profilé porteur comporte un trou oblong vertical au travers duquel passera la fixation prévue, vis ou rivet (pour les vis, cf. ci-dessous). Certains modèles comportent une « pince » permettant un maintien provisoire du profilé durant la phase de réglage (cf. fig. 3k).

• Utilisation d'une vis autoperceuse

Le recours à une vis autoperceuse est possible pour la réalisation d'un point coulissant (ou glissant), dans ce cas la vis sera définie dans l'Avis Technique ou DTA du procédé de bardage rapporté.

2.2.5 Durabilité

La situation protégée des pattes dans l'ouvrage permet de considérer qu'elles sont exposées aux « Atmosphères extérieures protégées et ventilées » telles que définies en annexe 3.

2.2.5.1 Nature du métal

Les pattes sont réalisées dans les mêmes métaux (acier, alliage d'aluminium, acier inoxydable) que ceux utilisés pour les profilés (cf. § 2.1.2.1 à savoir la nuance minimale de l'acier S 220 GD conformément à la norme NF EN 10 346 est à considérer pour les profilés en acier et les alliages d'aluminium sont issus de la série 3 000 au minimum et présentent une limite d'élasticité R_p 0,2 supérieure à 180 MPa).

Le présent document ne vise que les pattes de fixation métalliques en acier et en aluminium, en cas d'utilisation d'un autre matériau, ces pattes sont définies et justifiées vis-à-vis de leur durabilité (comportement au feu, à la fatigue, fluage, UV, cycles de température, etc.) et caractéristiques mécaniques dans le cadre de l'Avis Technique ou DTA du bardage rapporté.

Dans le cas de pièces réalisées en fonderie aluminium, la teneur en cuivre à l'instar des profilés extrudés doit être inférieure à 1 %.

Remarque : Si les pattes ne sont pas associées à des profilés faits du même métal, on vérifiera la compatibilité électrolytique (cf. annexe 1 de la norme NF E 25-032 ou NFE 25-032 de l'annexe 3 du présent document).

2.2.5.2 Traitement de protection

Les pattes en acier sont protégées par galvanisation ou métallisation à l'instar des profilés (cf. § 2.1.3.1).

Les niveaux de protection requis selon la sévérité de l'exposition sont donnés en annexe 3 (tableaux 3.1 à 3.6).

2.3 Cales de rupture de pont thermique

Des cales en matériaux isolants peuvent être disposées sous l'aile d'appui des pattes en contact avec la structure. Ces cales sont définies et justifiées vis-à-vis de leur durabilité (comportement au feu, à la fatigue, fluage, UV, cycles de température, etc.) et caractéristiques mécaniques dans le cadre de l'Avis Technique ou DTA du bardage rapporté.

L'usage de cales nécessite également la vérification de l'ancrage de la patte-équerre à la structure porteuse de la patte à la flexion.

2.4 Lisses

Les lisses peuvent être soit en bois (auquel cas, elles sont alors appelées liteaux), soit en métal.

Remarque : Il existe sur le marché des systèmes d'ossature « mixte » composés de profilés porteurs verticaux en alliages d'aluminium et de lisses horizontales en bois, mais ce cas particulier ne sera pas traité dans le présent document.

2.4.1 Nature du métal

Les lisses métalliques sont à réaliser dans les mêmes métaux que ceux utilisés pour les profilés porteurs. Se reporter au § 2.1.2.1 du présent document.

2.4.2 Traitement de protection du métal

Les lisses en acier sont protégées par galvanisation. La protection est apportée par l'emploi de tôles galvanisées de classe au moins égale à Z 275 selon la norme NF EN 10346.

En tout état de cause, l'Avis Technique ou DTA du bardage rapporté définit les lisses métalliques et leurs conditions d'emploi.

Remarque : Cette protection est suffisante en atmosphère rurale ou urbaine normale dans la mesure où il n'y a pas stagnation d'eau. Pour le cas où la forme de la lisse (rail) favoriserait le recueil des eaux, toute disposition utile doit être prise pour l'évacuation des eaux recueillies. Le perçage d'un trou 6 mm entre chaque profilé porteur et/ou tous les 0,6 m peut être considéré comme une disposition minimale.

Pour le cas des lisses plus exposées (type moulure ou joint large dans certains types de bardage) ou d'emploi en atmosphères agressives, se reporter à l'annexe 3 du présent document, les lisses étant dans ces cas considérées comme situées en atmosphères extérieures directes.

2.4.3 Dimensions

La lisse peut être livrée par le fournisseur des éléments de peau. En effet, le dessin de la section de cette lisse est le plus souvent fonction du mode d'accrochage des éléments de peau.

Compte-tenu d'une part du module d'élasticité du métal retenu et des entraxes de fixation de la lisse d'autre part, les moments d'inertie de cette section doivent être tels que :

- sous la charge permanente due au poids propre des éléments de peau que la lisse supporte, la flèche verticale prise entre fixations sur les profilés porteurs soit au plus égale au 1/300 de la portée entre profilés ;
- sous les charges momentanées dues aux actions du vent, la flèche horizontale prise entre appuis sur profilés tant en pression qu'en dépression soit au plus égale à :
 - 1/100 de la portée entre profilés sous vent normal selon Règles NV 65 modifiées,
 - ou 1/83 de la portée entre profilés sous vent W_{50} selon l'Eurocode 1991-1-4 + AN + amendements.

Il importe de vérifier la stabilité de la lisse sous les précédentes charges appliquées simultanément notamment dans les cas où la portée entre profilés porteurs dépasse sensiblement la valeur usuelle de 60 cm.

La compatibilité de ces déformations avec celles des éléments de peau du bardage est à vérifier lors de l'instruction des dossiers d'Avis Techniques ou DTA.

Remarque 1 : *Lorsqu'en raison d'un changement d'exposition au vent à partir d'une certaine hauteur, l'ossature est renforcée par réduction des entraxes des profilés porteurs et/ou des pattes de fixation de ces derniers, il convient de faire un fractionnement de l'ouvrage (joint) car le comportement sous poids propre sera différent. Ce fractionnement n'est pas systématiquement nécessaire pour les éléments de peau type « écaille » mis en œuvre avec recouvrements (horizontaux et verticaux).*

2.5 L'isolant

L'isolation thermique est réalisée à partir de matériaux bénéficiant d'une certification ACERMI dont le classement ISOLE minimal est : I₁ S₁ O₂ L₂ E₁.

O₂ : isolant non hydrophile ;

L₂ : isolant semi-rigide.

En l'absence de classement ISOLE, il peut être utilisé :

- des panneaux de polystyrène bénéficiant d'une certification ACERMI. Les plastiques alvéolaires étant réputés satisfaire intrinsèquement au niveau L₂ et O₂ ;
- des panneaux ou des rouleaux de laine minérale bénéficiant d'une certification ACERMI attestant des niveaux suivants :
WS, ce qui correspond au critère d'absorption à court terme (24 h) par immersion partielle $W_p < 1,0 \text{ kg/m}^2$ selon la norme EN 1609 – Méthode A ;

Nota : *Le classement WL (P) ne se substitue pas au classement WS.*

- « isolant semi-rigide » pour l'épaisseur concernée ou, à défaut, TR50 ce qui correspond au critère de résistance en traction $\sigma_{mt} > 50 \text{ kPa}$ selon la norme EN 1607.

Les produits les plus couramment utilisés sont des panneaux ou des rouleaux de laine minérale (sans pare-vapeur).

Des isolants en plaques rigides tels que panneaux de polystyrène expansé moulé, panneaux de polystyrène extrudé, panneaux de polyuréthane peuvent être employés à condition que :

- les défauts de planéité du support (désaffleurements, balèvres, bosses et irrégularités diverses) ne soient pas supérieurs à 5 mm sous la règle de 20 cm, et à 10 mm sous la règle de 2 m ;
- la conception de l'ossature et des fixations le permette, compte tenu de la rigidité des panneaux.

D'autres produits ou procédés peuvent être envisagés au cas par cas et sous couvert de l'Avis Technique ou DTA.

Nota : *Les isolants peuvent être soumis à des exigences de réaction au feu et la façade à des seuils de masse combustible mobilisable.*

2.6 Organes de fixation

Les organes de fixation considérés sont ceux permettant la fixation :

- de la patte de fixation sur la structure porteuse ;
- du profilé porteur sur la patte de fixation ;
- de l'isolant sur la structure porteuse ou l'ossature secondaire des lisses sur les profilés porteurs.

2.6.1 Organe de fixation de la patte sur la structure porteuse

2.6.1.1 Référentiels et performances attendues

Il n'est actuellement examiné que le cas le plus général où la fixation s'effectue par des ensembles vis/chevilles soit par chevilles métalliques, soit par chevilles en matière plastique.

Les chevilles utilisées doivent faire l'objet d'un ATE ou ETE selon les ETAG 001, 020 ou 029 ou leurs DEE correspondant.

Commentaire 1 :

- ATE ou ETE = Agrément Technique Européen/Évaluation Technique Européenne/.
- ETAG = European Technical Approval Guidelines/ Guide d'Agrément Technique européen.

Commentaire 2 :

- Correspondance entre ETAG et DEE : ETAG 001 parties 1-4 chevilles mécaniques sur béton : DEE n° 330232-00-0601.
- ETAG 001 partie 5 chevilles chimiques sur béton : transition en cours, DEE n° 330499-00-0601.
- ETAG 001 partie 6 chevilles métalliques ou chimiques redondantes : transition en cours, DEE n° 330499-00-0601.
- ETAG 020 chevilles nylon, aucun numéro de DEE n'est disponible à ce jour.
- ETAG 029 chevilles chimiques sur maçonnerie : transition en cours, DEE n° 330076-00-0601.

Concernant la résistance mécanique et la stabilité des ancrages, ceux-ci doivent être conçus et réalisés de telle façon que les charges auxquelles ils seront soumis durant la vie estimée de l'ouvrage (30 ans minimum) n'entraînent pas l'une des conséquences suivantes :

- a) effondrement de tout ou partie de l'ouvrage ;
- b) déformations majeures atteignant des proportions inadmissibles ;
- c) endommagement d'autres parties des ouvrages ou d'équipements ou d'installations à la suite d'une déformation majeure de la structure porteuse ;
- d) endommagement engendré par un événement et atteignant une ampleur disproportionnée par rapport à la cause d'origine.

Les chevilles en place doivent résister aux charges de calcul en traction, cisaillement et combinaison de traction et de cisaillement auxquelles elles sont soumises pendant la durée de vie prévue en assurant :

1. une résistance à l'état limite ultime ;
2. une résistance adéquate aux déplacements (état limite de service).

Remarque 1 : *Les efforts de vent s'appliquant sur la façade (vent extrême selon les Règles NV 65 modifiées ou WELU selon l'Eurocode 1 P4) sont à comparer avec les valeurs de calcul à l'état limite ultime de traction NRD et de cisaillement VRD ou en traction/cisaillement combiné FRD indiquées dans l'ATE de la fixation (cf. § 3.1.1).*

Remarque 2 : *L'ancrage (ou fixation) est constitué du support (gros œuvre), de la cheville de fixation (ou du groupe de chevilles) et de l'élément fixé au support.*

Remarque 3 : *La fixation dans des blocs creux de maçonnerie impose la réalisation d'un enduit d'étanchéité à l'air côté extérieur.*

2.6.1.2 Chevilles métalliques

Les chevilles peuvent être de différents types décrits dans l'ETAG 001 (ou DEE correspondant) « Chevilles métalliques pour béton » (Guide d'Agrément Technique Européen) et doivent répondre aux spécifications de ce document pour toute utilisation dans les supports en béton.

2.6.1.3 Chevilles chimiques

Les chevilles peuvent être de différents types décrits dans l'ETAG 001 (ou DEE correspondant) et 029 (DEE correspondant) dans le cas d'un scellement chimique et doivent répondre aux spécifications de ce document pour toute utilisation dans les supports en béton ou maçonnerie d'éléments enduits.

2.6.1.4 Chevilles métallo-plastiques

Les chevilles peuvent être de différents types décrits dans l'ETAG 020 « Chevilles plastiques pour usage multiple pour béton et maçonneries, pour applications non structurales » et l'ETAG 001 (ou DEE correspondant) et doivent répondre aux spécifications de ce document pour toute utilisation dans les supports en béton ou maçonnerie d'éléments enduits.

Dans cet emploi, les chevilles réalisées dans des matières plastiques issues le plus souvent de la famille des polyamides PA6 sont les chevilles traversantes qui sont posées après la patte et qui présentent une collerette plate, sous laquelle on associe en œuvre une platine métallique de répartition, cf. figure 9b ci-après :

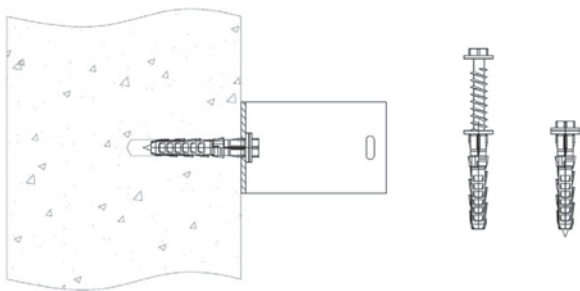


Figure 9b – Chevilles métallo-plastiques

Les chevilles en acier zingué peuvent convenir, lorsqu'elles sont protégées par un isolant, pour les emplois en atmosphères extérieures protégées rurales non polluées, urbaines et industrielles normales ou sévères.

Pour les autres atmosphères, les chevilles en acier inoxydable A4 doivent être utilisées.

Dans tous les cas, on vérifiera la compatibilité électrolytique avec le métal des pattes (cf. tableau 3.6, annexe 3).

2.6.1.5 Résistances à l'état limite ultime

Selon la conception de l'ancrage réalisé, les chevilles sont amenées à reprendre des efforts en traction perpendiculaire ou oblique et/ou en cisaillement avec ou sans effet de levier.

Pour les ancrages par chevilles métalliques dans des supports en béton, les méthodes de « conception-calcul » à appliquer sont celles de l'annexe C du Guide de l'Agrément Technique Européen précité ou EN 1992-4 (ETAG 001, 020 et 029 ou DEE correspondant).

Les valeurs de résistances caractéristiques des chevilles et des différents coefficients de sécurité à prendre en compte sont données dans l'Agrément Technique européen selon les ETAG 001, 020 ou 029 ou DEE correspondant.

Dans le cas de supports de caractéristiques non connues, la résistance à l'état limite ultime des chevilles sera déterminée par une reconnaissance préalable, conformément au document « Détermination sur chantier de la résistance à l'état limite ultime d'une fixation mécanique sur supports de bardage rapporté » (e-Cahiers du CSTB n° 1661_V2).

Remarque 1 : Dans le cas des systèmes d'ossature où les pattes distribuées le long du profilé se répartissent les charges de poids propre, l'expérience enseigne en général que la satisfaction de la fixation vis-à-vis des efforts axiaux (traction) entraîne sa convenance par rapport aux charges verticales (cisaillement) ce qui implique que la résistance en cisaillement des supports (et des vis) est au moins équivalente à la résistance en traction.

Remarque 2 : Dans le cas des systèmes où les charges correspondant à un profilé sont reprises en un seul point (patte de point fixe), les efforts en cisaillement sous l'effet des charges de poids propres peuvent être beaucoup plus importants que les charges de vent en dépression.

Remarque 3 : Comme indiqué en § 2.2.4.1 (Remarque 2), la géométrie de la patte peut introduire un effet de levier appliqué à la fixation sous les sollicitations de vent en dépression, comme illustré ci-après :

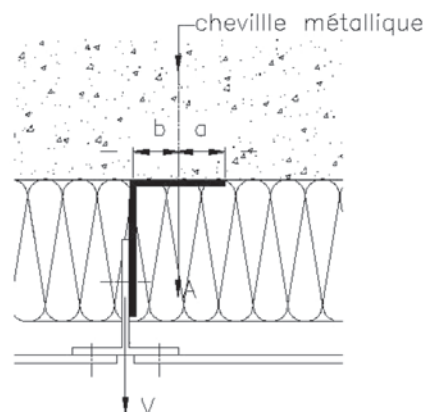


Figure 9c – Effet levier aux efforts de vent induit par la géométrie de la patte

L'effet de levier conduit à considérer que l'effort d'arrachement A est égal à :

$$A = \alpha V \frac{a+b}{a}$$

où

V est la charge due au vent et reprise par la patte,

α un coefficient dépendant du type de fixation et donné dans l'Avis Technique (ou DTA) s'il diffère de 1.

De par la position moyenne de la fixation en milieu de trou oblong, et partant en milieu d'aille, on peut estimer que :

$$a = b \text{ d'où } A = 2V$$

Dans une approche plus sévère, considérant une répartition d'efforts en réaction triangulaire dans la zone d'appui « a », la longueur « a » serait à réduire d'un tiers et conduirait alors à retenir $A = 2,5 V$.

Cependant, la rigidité de la patte-équerre – tant au niveau de l'ouverture du dièdre que de la rigidité en flexion de l'aille d'appui au support – peut modifier la valeur d'arrachement résultant de la géométrie.

En l'absence de justification spécifique et en pratique, le choix de la cheville s'effectuera en considérant qu'elle aura à transmettre une charge égale au double de celle reprise par la patte.

2.6.2 Organes de fixation du profilé porteur sur la patte

La fixation s'effectue le plus souvent par vis autoperceuses ou autotaraudeuses, par rivets à rupture de tige et plus rarement par boulonnage.

Les caractéristiques principales sont données dans l'annexe 2.1 du présent document.

2.6.2.1 Compatibilité électro-chimique et protection contre la corrosion

Les matériaux utilisés pour des fixations et leur revêtement de protection doivent être adaptés à la nature de matériaux à assembler, de manière qu'aucun couple électrolytique incompatible ne puisse s'établir entre eux.

Compte tenu de l'expérience acquise, il est admis d'associer en atmosphère rurale non polluée et urbaine ou industrielle normale :

- les fixations à corps en acier inoxydable aux éléments en acier inoxydable ou en acier galvanisé et en alliages d'aluminium ;
- les fixations en acier galvanisé aux éléments en acier galvanisé ;
- les rivets à corps en alliage d'aluminium aux seuls éléments en alliage d'aluminium, zinc et aciers revêtus des protections à base de zinc ;
- les rivets à corps en alliage cupro-zinc aux seuls éléments en acier revêtu des protections à base de zinc (cf. § 2.1.3.1.1 et 2.1.3.1.2).

Dans le cas d'associations différentes de celles ci-dessus ou d'emploi des mêmes en atmosphères différentes, on devra justifier la compatibilité au moyen d'une étude spécifique.

Remarque : On pourra se référer à la norme E 25.032, annexe 1 : Corrosion due aux couples électrochimiques entre les matériaux et/ou revêtements d'un assemblage, et au tableau 3.6 de l'annexe 3 du présent document.

La résistance à la corrosion des fixations sera au moins équivalente à celle des éléments qu'elles assemblent.

2.6.2.2 Vis autoperceuses ou autotaraudeuses

Ces vis sont réalisées :

- soit en acier inoxydable (austénitique A2) selon la norme NF EN 10088-3 ;
- soit en acier de cémentation selon NF EN 10263-3, avec revêtement métallique renforcé + revêtement superficiel complémentaire permettant d'obtenir une résistance minimale à la corrosion de 12 cycles Kesternich selon NF EN ISO 3231 (à 2 litres de SO₂ sans apparition de rouille rouge).

Le diamètre minimal (en sommet de filetage) est respectivement de 5,5 mm pour les vis autoperceuses et de 6,3 mm pour les vis autotaraudeuses.

La longueur de la pointe-foret devra être suffisamment longue pour ne pas commencer à tarauder la première pièce avant d'avoir achevé le perçage de l'élément sous-jacent.

Le diamètre de la tête de vis doit être adapté au diamètre du perçage pour éviter le « déboutonnage ».

Remarque 1 : Les vis autoperceuses entièrement en acier inoxydable ne peuvent convenir que pour assembler les éléments en alliage d'aluminium. Pour l'assemblage d'éléments en acier, les vis autoperceuses sont bi-métal : corps en acier inoxydable et pointe-foret en acier cémenté, l'ensemble de la vis pouvant être revêtu d'une couche de zinc.

Remarque 2 : La plupart des vis à têtes hexagonales comportent une embase de diamètre suffisant pour éviter les risques de déboutonnage évoqués ci-dessus.

Les vis sont proposées soit avec tête hexagonale (H), soit avec tête cylindrique à empreintes creuses diverses (cruciforme, hexagonale, Torx, etc.).

Les vis à tête fraisée seront obligatoirement logées dans des perçages (circulaires ou oblongs) à bords fraisés, en tenant compte de l'affaiblissement résultant en particulier pour les trous oblongs.

Remarque 3 : Le choix de la forme de tête hexagonale ou cylindrique à empreinte creuse peut-être, pour partie, conditionné par les dimensions des pièces à assembler, au regard du passage nécessaire à l'outil de vissage et de l'obligation d'engager et de maintenir les vis parfaitement perpendiculaires au plan d'assemblage.

2.6.2.3 Rivets

Les seuls rivets considérés ici sont les rivets à rupture de tige (également appelés rivets aveugles) composés le plus souvent des matériaux ci-après :

- acier inoxydable, alliage d'aluminium/magnésium, alliage cupro-zinc pour le corps des rivets, et
- acier au carbone revêtu pour la tige.

Le diamètre du corps est au minimum de 4,8 mm.

Le diamètre de la tête d'une valeur minimale de 8 mm doit être adapté au diamètre de perçage.

L'épaisseur de la tête est au minimum de 1,2 mm.

Remarque : Dans le cas des assemblages coulissants, on utilise des rivets à tête large $\varnothing > 12$ mm mis en place sans serrage axial de façon à limiter convenablement les risques de coincement lors de la manifestation des phénomènes de dilatation des profilés.

2.6.2.4 Résistance des fixations

Pour les vis, les γ_M appliqués aux P_k sont de 1,35 pour une épaisseur d'acier de 1,5 mm et 1,7 pour une épaisseur d'aluminium de 2,5 mm.

Pour les rivets, les γ_M appliqués aux P_k sont de 1,35 pour une épaisseur d'acier de 1,5 mm et 1,7 pour une épaisseur d'aluminium de 2 mm minimum.

Dans la mesure où la résistance de la fixation intrinsèque (vis ou rivet) n'est qu'une composante des performances de l'assemblage, il est nécessaire de réaliser des essais représentatifs des pièces à assembler selon la procédure donnée en annexe 3.

Remarque : Seuls de tels essais permettent d'apprécier les performances des dispositions particulières de l'assemblage (fixations sans serrage, trous oblongs à bords droits ou fraisés, etc.).

2.6.3 Organes de fixation de l'isolant sur la structure porteuse

La fixation de l'isolant sur la structure porteuse doit s'effectuer conformément aux prescriptions du fabricant d'isolant. Les organes de fixation peuvent être spécifiques à la nature de l'isolant à fixer. Les plus couramment utilisés sont décrits ci-après.

2.6.3.1 Cheilles-étoile ou à rosace

Il s'agit de fixations moulées en matière plastique (superpolyamide ou polypropylène) présentant une collerette large étant étoilée ou ajourée soit venue de moulage, soit rapportée (matière plastique ou métal).

Le diamètre de cette collerette est égal ou supérieur à 90 mm pour la fixation des laines minérales semi-rigides et égal ou supérieur à 50 mm pour les panneaux rigides (mousse alvéolaire ou laine minérale).

Ces fixations se présentent avec ou sans clou d'expansion.

2.6.3.2 Attaches spéciales à dents (voir fig.10a et b)

2.6.3.2.1 Matériau

Les attaches spéciales à dents peuvent être classées en deux catégories en fonction de leur mise en œuvre : les attaches clipsées sur les pattes-équerrés directement et les attaches fixées mécaniquement à l'ossature secondaire.

Les attaches spéciales à dents à clipser sont constituées d'acier de nuance minimale S350GD revêtu d'une protection contre la corrosion minimale Z275 selon la NF EN 10346.

Les attaches spéciales à dents à fixer mécaniquement sont constituées d'acier de nuance minimale DX51D avec une limite d'élasticité minimale de 140 N/mm² revêtu d'une protection contre la corrosion minimale Z275 selon NF EN 10346.

Les attaches spéciales sont considérées au même titre que l'ossature secondaire en atmosphères extérieures protégées et ventilées définies en annexe 3. Le tableau 3 donne le domaine d'emploi des matériaux des attaches spéciales.

Tableau 3 – Guide de choix des matériaux des attaches spéciales à dents

Atmosphères extérieures protégées et ventilées ⁽¹⁾								
E ₂₁	E ₂₂	E ₂₃	E ₂₄	E ₂₅	E ₂₆	E ₂₇	E ₂₈	E ₂₉
Rurale	Urbaine ou industrielle		Marine			Mixte		Agressive
	Normale	Sévère	10 < d < 20 km	3 < d < 10 km	D < 3 km	Normale	Sévère	
Z275	Z275	(2)	Z275	Z275	(2)	(2)	(2)	(2)
1. Définies en Annexe 3. 2. Matériau dont le choix définitif ainsi que les caractéristiques particulières doivent être arrêtés après consultation et accord du fabricant de l'attache spéciale à dents.								

2.6.3.2.2 Caractéristiques géométriques et dimensionnelles

Les attaches spéciales à dents peuvent se présenter sous des formes très variées qui sont étroitement liées à leur mise en œuvre. Les formes les plus courantes sont l'équerre et le râteau.

Ces attaches spéciales doivent présenter les caractéristiques géométriques et dimensionnelles suivantes :

- épaisseur minimale de 0,50 mm ;
- dent triangulaire de longueur minimale 20 mm ;
- longueur minimale d'accroche à l'isolant de 120 mm ;
- un système auto-bloquant à la patte-équerre pour les attaches clipsables ;
- au moins deux trous \varnothing 4 mm minimum pour les attaches fixées mécaniquement.

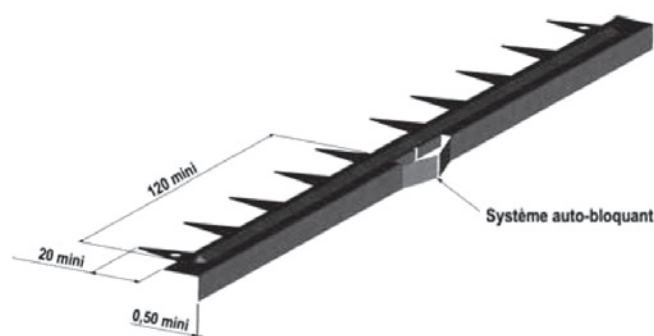


Figure 10a – Exemple de géométrie d'une attache spéciale à dents clipsable

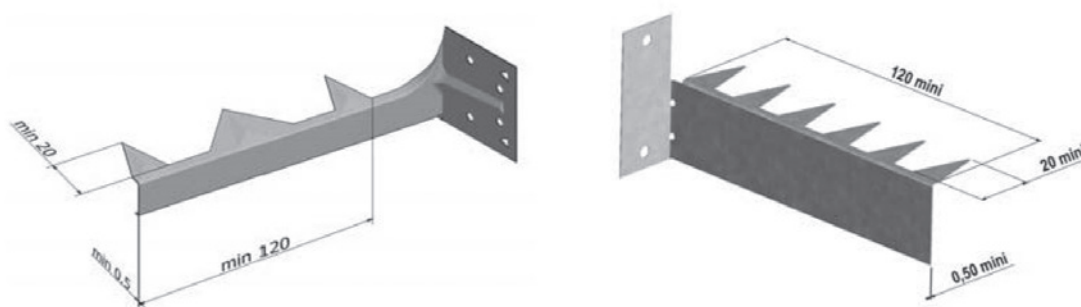


Figure 10b – Exemple de géométrie d'une attache spéciale à dents fixée mécaniquement

2.6.3.2.3 Mise en œuvre

2.6.3.2.3.1 Généralités

Ces attaches spéciales à dents sont adaptées à la mise en œuvre d'isolants non-rigides à base de laines minérales.

Les attaches spéciales à dents doivent être réparties de manière uniforme tout au long de l'ossature secondaire quelle que soit son type de mise en œuvre. L'entraxe maximal entre deux attaches successives ne peut excéder 1,35 m. L'attache spéciale ne doit pas être disposée à plus de 150 mm des bords horizontaux de l'isolant.

L'intégralité des dents doit pénétrer dans l'isolant d'au moins 20 mm de leur longueur. La pénétration est réalisée en appliquant une légère pression sur l'isolant.

Dans le cadre de la mise en œuvre de deux lits d'isolants ou plus, il est impératif que chaque lit soit fixé par des attaches indépendantes.

2.6.3.2.3.2 Attaches spéciales à dents clipsables

Ces attaches spéciales à dents sont clipsées sur le dessus de la grande aile de la patte-équerre. Elles sont positionnées le long de la patte-équerre par coulissement afin d'atteindre la pénétration adaptée dans l'isolant des dents. Le système auto-bloquant permet de maintenir cette position dans le temps.

La compatibilité de l'attache spéciale à dents avec les pattes-équerres doit être renseignée dans la fiche technique de l'attache.



Figure 10c – Exemple d'assemblage par attache spéciale à dents clipsable

2.6.3.2.3.3 Attaches spéciales à dents fixées mécaniquement

Ces attaches spéciales à dents sont fixées mécaniquement par des vis de diamètre minimal Ø 3,5 avec une tête munie d'une collerette de diamètre minimal Ø 9,5 mm. Elles sont généralement mise en œuvre dans le profilé vertical de l'ossature secondaire pouvant être de nature métallique ou bois. Les vis présentent une longueur nominale minimale de 38 mm.



Figure 10d – Exemple d'assemblage par attache spéciale à dents fixée mécaniquement

2.6.3.2.4 Vérification

Les attaches spéciales à dents doivent permettre de reprendre le poids propre de l'isolant mis en œuvre.

Les performances mécaniques de l'attache assemblée à son support sont évaluées en appliquant un effort de compression à l'attache seule. Les résistances caractéristiques sont données dans la fiche technique du fabricant de l'attache spéciale. Il convient d'appliquer à ces résistances caractéristiques un coefficient de sécurité.

Le tableau 4 donne les reprises de charges admissibles de poids propre d'isolant en fonction de la résistance caractéristique de l'attache spéciale à dents.

Tableau 4 – Reprise de charge admissible de poids propre d'isolant par les attaches spéciales à dents

Reprise de charge admissible de poids propre d'isolant (daN/m ²)												
Pk/coeff. sécu (daN)	Entraxe longitudinal entraxe transversal (m)											
	1,35			1			0,6			0,3		
	0,9	0,6	0,3	0,9	0,6	0,3	0,9	0,6	0,3	0,9	0,6	0,3
5	4,12	6,17	12,35	5,56	8,33	16,67	9,26	13,89	27,78	18,52	27,78	55,56
10	8,23	10,16	24,69	11,11	16,67	33,33	18,52	27,78	55,56	37,04	55,56	111,11
15	12,35	15,24	37,04	16,67	25,00	50,00	27,78	41,67	83,33	55,56	83,33	166,67
20	16,46	20,32	49,38	22,22	33,33	66,67	37,04	55,56	111,11	74,07	111,11	222,22
25	20,58	25,40	61,73	27,78	41,67	83,33	46,30	69,44	138,89	92,59	138,89	277,78

2.6.4 Organes de fixation des lisses sur les profilés porteurs

La fixation des lisses métalliques dans les profilés métalliques s'effectue par vis autotaraudeuses ou par vis autoperceuses. La fixation par rivets à rupture de tige est possible si l'Avis Technique ou DTA du procédé de bardage rapporté l'envisage explicitement. La vérification des assemblages s'effectue vis-à-vis de l'arrachement à l'aide de la résistance caractéristique déterminée selon la NF P 30-310.

Dans ces conditions le cisaillement et le déboutonnage sont implicitement vérifiés.

Les γ_M appliqués aux Pk sont de 1,35 pour une épaisseur d'acier de 1,5 mm et de 1,7 pour une épaisseur d'aluminium de 2,5 mm

3. Conception et mise en œuvre

L'un des avantages du bardage rapporté est de pouvoir se poser sur structure porteuse accusant des défauts de planéité et de verticalité, le réseau de profilés porteurs offrant un nouveau plan vertical de référence pour accueillir la peau. À cette fin, les profilés porteurs sont solidarisés au gros œuvre support au moyen d'ancrages comportant des pattes de longueurs fixes ou ajustables (pattes-équerres à coulisses).

Cependant, lorsque la verticalité et la planéité de la surface d'appui le permettent, les profilés porteurs peuvent être fixés en appui direct à l'aide de fixations traversantes. Une telle pose n'est le plus souvent utilisée qu'en bardage sans isolation thermique.

Remarque : Ce mode de fixation nécessitera donc l'emploi de cales faites d'un matériau résistant et durable (imputrescible ou non corrodable selon sa nature).

La mise en œuvre ci-après décrite et relative à la pose normale des profilés porteurs d'une ossature dilatable, suit sensiblement l'ordre des opérations de pose, à savoir :

- traçage du trait bleu horizontal matérialisant le niveau bas du revêtement (départ d'ouvrage). Selon les spécificités de la façade, on peut cependant choisir un autre point de départ : appuis de baies ou linteaux par exemple ;
- traçage des axes verticaux des profilés porteurs ;
- report sur ces axes des positions des pattes de « point fixe » et des « points coulissants » ;
- perçage pour les chevilles de fixation ;

- mise en place des pattes de points fixes ;
- mise en place de l'isolant thermique éventuel ;
- fixation du premier profilé porteur sur la patte de point fixe après réglage en hauteur et profondeur ;
- mise en place des pattes de points coulissants ;
- fixation du profilé porteur sur la patte de point coulissant en extrémité basse du profilé après réglage de l'aplomb ;
- fixation du même profilé sur les points coulissants intermédiaires ;
- mise en place d'un second profilé porteur le plus éloigné possible du premier en fonction de la longueur de règle dont on dispose ;
- mise en place des profilés intermédiaires réglés dans le plan à l'aide de règle posée en appui sur les deux premiers profilés déjà fixés ;
- selon le cas, pose des lisses horizontales ou directement du revêtement.

Remarque : Dans le cas d'ossature de conception bridée, l'ordre des opérations est sensiblement le même. Les profilés peuvent être d'abord fixés en tête, puis en pied après réglage de la verticalité et enfin sur les pattes intermédiaires.

3.1 Pose des pattes

3.1.1 Disposition et répartition des pattes

Les pattes sont mises en position selon un alignement vertical parallèle correspondant à l'axe du profilé porteur à poser.

La patte de point fixe reprenant la totalité des charges de poids propres inhérente à une longueur de profilé porteur est peut être placée en tête de ce profilé.

Les paramètres à prendre en compte sont les performances de l'ancrage dans le support considéré, la masse surfacique du revêtement, l'écartement entre profilés porteurs, la longueur de ces profilés, le nombre de pattes et les efforts de vent.

Les efforts de vent et la masse surfacique du revêtement sont imposés, l'écartement entre profilés porteurs et leur longueur sont plus ou moins imposés selon le type de revêtement choisi, les critères ajustables seront donc le choix de la cheville d'ancrage et/ou le nombre de chevilles groupées constituant l'ancrage de point fixe.

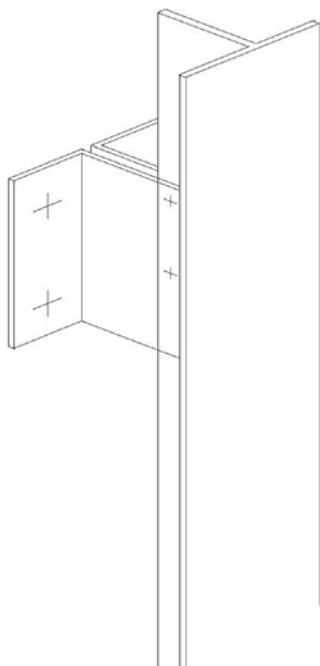


Figure 11a – Exemple d’ancrage de point fixe (avec pattes-équerres en vis-à-vis)

Le porte à faux en extrémité de profilé n’excédera pas le quart de la portée entre deux pattes successives, avec un maximum de 25 cm. Des valeurs supérieures peuvent cependant être admises sur justifications (calcul ou essais).

Cas d’un dimensionnement aux états limites :

- dans le cas d’ancrage dans un support existant dont les caractéristiques ne seraient pas connues, le lien entre la détermination par essai sur chantier de la résistance des chevilles et la sollicitation à l’état limite ultime selon EC1 P1-4, est effectué dans le *e-Cahiers du CSTB* n° 1661_V2. Les valeurs N_{Rd} et V_{Rd} ainsi définies devront ensuite être utilisées selon la méthode définie pour les travaux neufs ;
- en travaux neufs, les vérifications, en fonction de la nature du support, sont à effectuer :
 - sur support béton pour des ancrages métalliques :

$$N_{Rd} > 1,5Q_k \text{ et } V_{Rd} > 1,35G_k$$

$$1,5Q_k/N_{Rd} + 1,35G_k/V_{Rd} < 1,2$$

Nota : Pour les fixations dans le support béton, la vérification de la composante F_{Rd} (résistance de calcul à l’état limite ultime en traction/cisaillement combiné) n’est pas nécessaire.

- sur support maçonné avec tous types de chevilles ou sur support béton avec chevilles métallo-plastiques, la valeur combinée retenue correspond à la valeur donnée par la formule suivante :

$$F_{Rd} > \sqrt{(1,35G_k)^2 + (1,5Q_k)^2}$$

Nota : Pour les fixations dans le maçonnerie avec tous types de chevilles ou sur support béton avec chevilles métallo-plastiques, la vérification des composantes N_{Rd} (résistance de calcul à l’état limite ultime en traction) et V_{Rd} (résistance de calcul à l’état limite ultime en cisaillement) n’est pas nécessaire.

avec :

Q_k : charge sur cheville(s) calculée à partir de la valeur de charge de vent ELS déterminée selon l’EC1 P1-4 ramené à une surface reprise par la patte-équerre (cf. § 2.2.2.1.2) et prenant en compte un éventuel bras de levier rapporté (patte-équerre) ;

G_k : charge sur cheville(s) calculée à partir de la valeur de poids caractéristique ramené à une surface reprise par la patte-équerre (cf. § 2.2.2.1.1) ;

N_{Rd} : résistance de calcul à l’état limite ultime en traction de l’ATE ou ETE de la cheville ou du groupe de chevilles servant à fixer la patte-équerre ;

V_{Rd} : résistance de calcul à l’état limite ultime en cisaillement de l’ATE ou ETE de la cheville ou du groupe de chevilles servant à fixer la patte-équerre ;

F_{Rd} : résistance de calcul à l’état limite ultime en traction/cisaillement combiné de l’ATE ou ETE de la cheville ou du groupe de chevilles servant à fixer la patte-équerre.

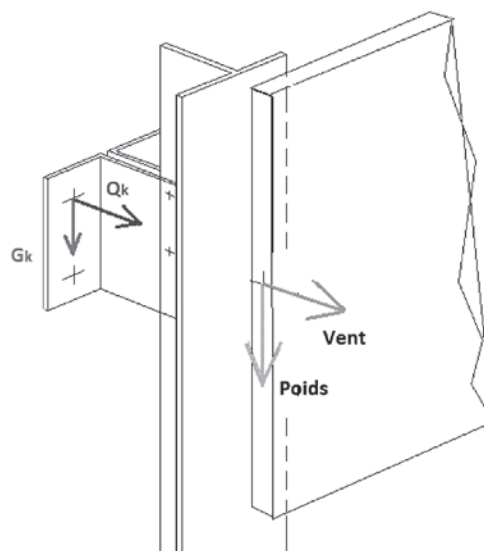


Figure 11b – Efforts vent et poids appliqués

Cas d’un dimensionnement aux contraintes admissibles :

- dans le cas d’ancrage dans l’existant, le lien entre la détermination par essai de la résistance des chevilles et la sollicitation au vent normal au sens des Règles NV 65 modifiées, est effectué dans le *e-Cahiers du CSTB* n° 1661_V2. Les valeurs N_{Rd} et V_{Rd} ainsi définies devront ensuite être utilisées selon la méthode définie pour les travaux neufs ;
- en travaux neufs, les vérifications, en fonction de la nature du support, sont à effectuer :
 - sur support béton pour des ancrages métalliques :

$$N_{Rd} > 1,75Q \text{ et } V_{Rd} > G$$

$$1,75Q/N_{Rd} + G/V_{Rd} < 1,2$$

Nota : Pour les fixations dans le support béton la vérification de la composante F_{Rd} (résistance de calcul à l’état limite ultime en traction/cisaillement combiné) n’est pas nécessaire.

- sur support maçonné avec tous types de chevilles ou sur support béton avec chevilles métallo-plastiques, la valeur combinée retenue correspond à la valeur maximale donnée par la formule suivante :

$$F_{Rd} > \text{Max} [\sqrt{(1,35G)^2 + (1,5Q)^2}; \sqrt{G^2 + (1,75Q)^2}]$$

Nota : Pour les fixations dans le maçonnerie avec tous types de chevilles ou sur support béton avec chevilles métallo-plastiques, la vérification des composantes N_{Rd} (résistance de calcul à l'état limite ultime en traction) et V_{Rd} (résistance de calcul à l'état limite ultime en cisaillement) n'est pas nécessaire.

avec :

Q_k : charge sur cheville(s) calculée à partir de la valeur de charge de vent ELS déterminée selon l'EC1 P1-4 ramené à une surface reprise par la patte-équerre (cf. § 2.2.2.1.2) et prenant en compte un éventuel bras de levier rapporté (patte-équerre) ;

G : charge sur cheville(s) calculée à partir de la valeur de poids ramené à une surface reprise par ramené à une surface reprise par la patte-équerre ;

N_{Rd} : résistance de calcul à l'état limite ultime en traction de l'ATE ou ETE de la cheville ou du groupe de chevilles servant à fixer la patte-équerre ;

V_{Rd} : résistance de calcul à l'état limite ultime en cisaillement de l'ATE ou ETE de la cheville ou du groupe de chevilles servant à fixer la patte-équerre ;

F_{Rd} : résistance de calcul à l'état limite ultime en traction/cisaillement combiné de l'ATE ou ETE de la cheville ou du groupe de chevilles servant à fixer la patte-équerre.

3.1.2 Fixations des pattes sur la structure porteuse

Le logement de la cheville est normalement foré au milieu du trou ovalisé de l'aile d'appui de la patte et qui est lui-même situé au milieu de l'aile d'appui.

En conséquence et pour tenir compte de l'effet de levier introduit par la forme de la patte (cf. § 2.2.1), chaque cheville sera supposée devoir transmettre une charge double de celle appliquée à la fixation correspondante et résultant de l'action en dépression.

Remarque : Pour des pattes de configuration géométrique différente, le moment appliqué à la fixation devra être déterminé par calcul ou par essai.

Les pattes-attaches du type étrier, fixées de façon symétrique au profilé porteur ne produisent pas d'effet de levier pour les efforts dus aux effets du vent.

Concernant la reprise des charges de poids propre, il peut y avoir effet de levier si la liaison de la patte avec le profilé ne constitue pas un « encastrement ». C'est le cas de certains systèmes où le profilé porteur est suspendu à la patte de point fixe.

3.2 Pose de l'isolant

3.2.1 Disposition de l'isolant

L'isolant est posé sur la structure porteuse derrière les profilés porteurs :

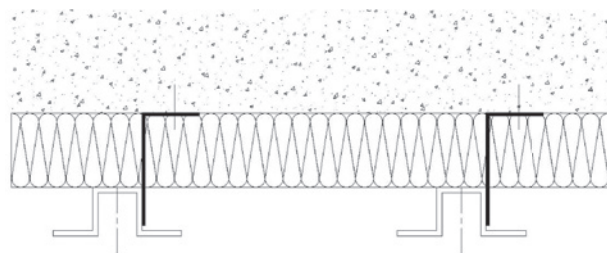


Figure 12 – Isolation derrière le profilé

Cas particulier : l'isolant peut être également posé :

- entre profilés lorsque ceux-ci sont fixés contre la structure porteuse ;

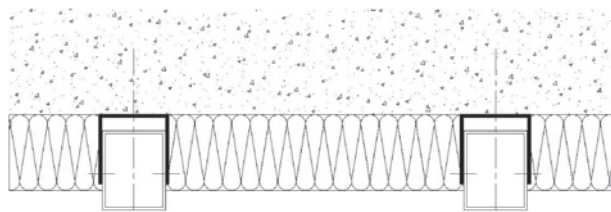


Figure 13 – Isolation entre profilés

- en deux lits successifs, l'un derrière les profilés, l'autre entre les profilés.

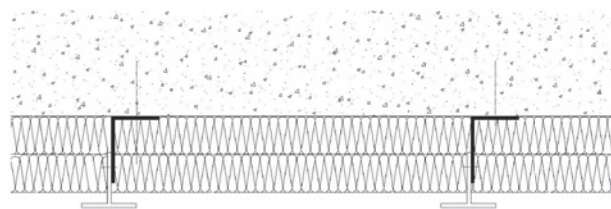


Figure 14 – Double lit d'isolant

Remarque : À titre d'information, les formules permettant de calculer le coefficient U_c d'un mur en partie courante sont données en annexe 4.

3.2.2 Fixation de l'isolant sur la structure porteuse

Quel que soit l'isolant, les panneaux doivent être bien jointifs et en cas de deux couches superposées, les joints respectifs doivent être décalés. En aucun cas, il ne doit être laissé d'espace d'air (communiquant avec l'extérieur) entre l'isolant et la structure porteuse.

3.2.2.1 Fixation des panneaux de laine minérale

Les panneaux sont posés horizontalement ou verticalement. Ils peuvent être (fig. 12), embrochés sur les pattes de fixations des profilés avant mise en place de ces derniers. Lorsque les profilés participent en outre au maintien de l'isolant, prévoir une fixation au moins par panneau (0,60 x 1,35 m le plus souvent). Dans le cas contraire (pas de maintien par l'ossature), prévoir au minimum deux fixations par panneau, dont au moins une traversante s'il s'agit de chevilles-étoile, et une densité minimale de deux fixations par m². Pour les éléments découpés, on peut admettre une seule fixation lorsque la plus grande dimension n'excède pas 35 cm.

Remarque : Concernant la fixation des panneaux semi-rigides à l'aide de chevilles, il a été observé qu'un enfoncement trop important de ces dernières provoquait le relèvement des bords libres du panneau (par mise en tension des fibres de surface).

L'isolant n'étant plus de ce fait parfaitement plaqué au support, il en résultera d'une part :

- une diminution de la performance thermique escomptée et d'autre part ;
- une obturation partielle ou totale de la lame d'air dont la ventilation ne sera plus assurée.

3.2.2.2 Fixation des panneaux de laine minérale à dérouler

Les panneaux à dérouler (dimensions habituelles : largeur 0,60 m x longueur) sont le plus souvent posés verticalement. Dans ce cas de pose (à la verticale), prévoir au moins deux fixations en partie haute et une densité minimale de deux fixations par m² en partie courante. Les fixations traversantes sont disposées soit dans l'axe vertical du panneau, soit de préférence en quinconce, l'objectif étant d'assurer le meilleur contact possible entre isolant et gros œuvre support.

La fixation par équerres métalliques ou par attaches « râteau » est possible et suppose un entraxe de profilés au plus égal à 0,60 m. L'entraxe entre équerres fixées le long d'un même profilé est de 1,35 m maximum.

Les équerres sont disposées en quinconce travée par travée.

Pour la pose horizontale, mettre en partie courante au moins une fixation tous les 1,20 m maxi, c'est-à-dire une fixation tous les deux profilés quand l'écartement de ceux-ci ne dépasse pas 0,60 m.

3.2.2.3 Fixation des plaques en polystyrène expansé

Leur fixation s'effectue soit par chevilles-étoile à raison de deux au minimum par m² et par plaque, soit par collage au moyen d'un mortier-colle conformément à ceux visés dans les Avis Techniques ou Document Technique d'Application relatifs aux enduits sur isolant PSE (cf. § 2.6.3.3.).

3.2.2.4 Fixation des isolants en points singuliers

• Cas d'un dimensionnement aux états limites

En points singuliers et pour des éléments découpés, la densité des fixations est augmentée, de même que pour les bâtiments de hauteur supérieure à 40 m. En catégorie de terrain 0 ou II et en zone A du vent telles que décrites par l'Eurocode 1991-1-4 de son Annexe nationale (AN) et ses amendements, le nombre de fixations sera porté à quatre par panneau ou plaque et une tous les 0,5 m pour les panneaux à dérouler de largeur maximale 0,60 m.

- Cas d'un dimensionnement aux contraintes admissibles

En points singuliers et pour des éléments découpés, la densité des fixations est augmentée, de même que pour les bâtiments de hauteur supérieure à 40 m. En sites exposés et dans les zones d'arêtes verticales du vent telles que décrites par les « Règles NV 65 modifiées », le nombre de fixations sera porté à quatre par panneau ou plaque et une tous les 0,5 m pour les panneaux à dérouler de largeur maximale 0,60 m.

Panneaux à dérouler entre profilés

Panneaux 0,60 x 1,35

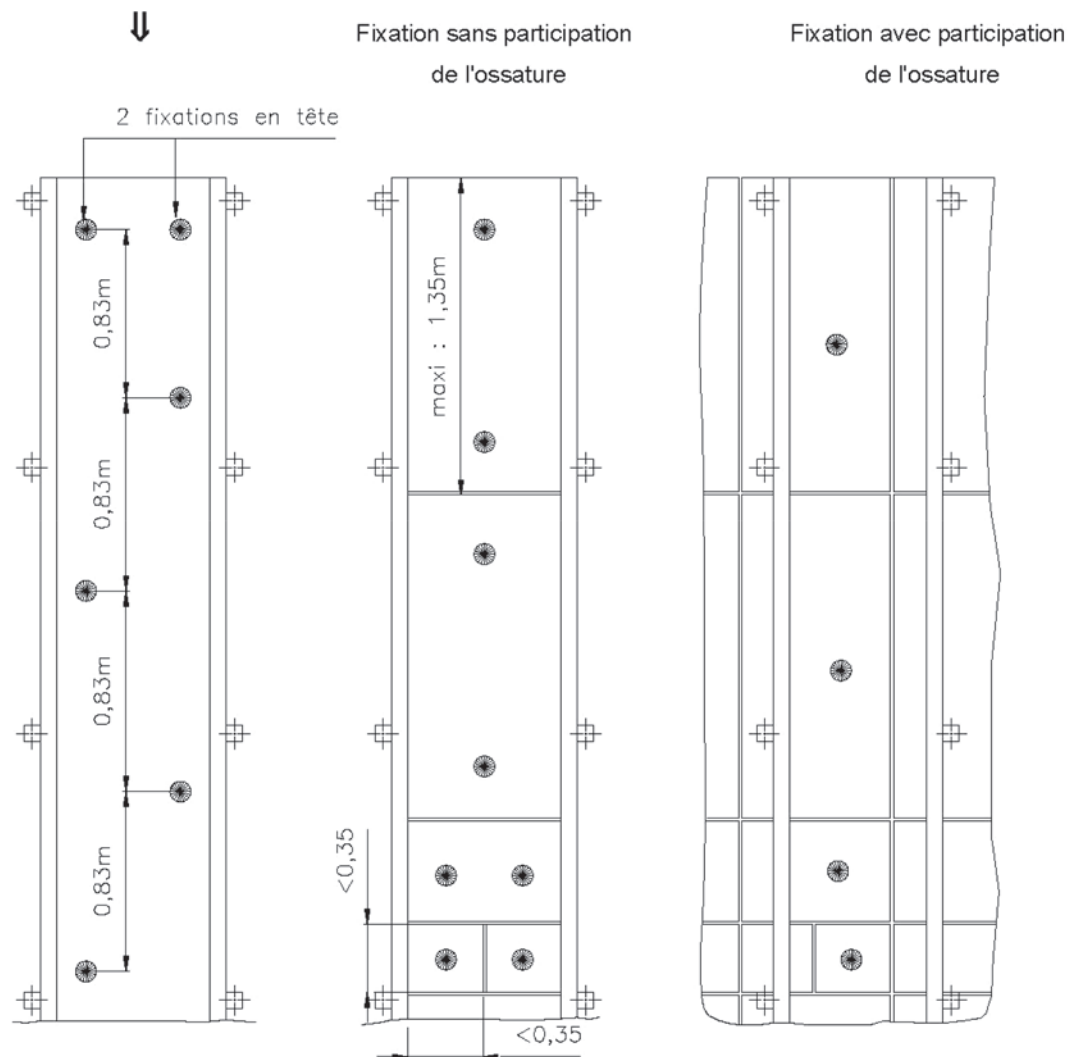


Figure 15 – Fixation de l'isolant

3.3 Pose des profilés porteurs

3.3.1 Entraxe des profilés porteurs

L'entraxe des profilés dépend d'un certain nombre de facteurs dont en particulier la nature de la peau.

En effet, il est d'usage pour des raisons d'aspect, de limiter conventionnellement la flèche prise sous vent normal au sens des Règles NV 65 modifiées par la paroi entre profilés porteurs au 1/100 de la portée entre profilés. Cette flèche est limitée au 1/83 du vent à l'ELS en cas de vérification avec l'EC 1 P1-4.

Pratiquement, pour l'ensemble des bardages rapportés traditionnels et une bonne partie des bardages rapportés non traditionnels (voir Avis Techniques ou DTA les concernant), l'entraxe usuel est égal à 60 cm (cf. § 2.1.4). Il peut être ramené à 45 ou 30 cm en rives de la façade pour différentes raisons :

- augmenter la résistance au vent en angles de façade et en acrotère ;
- augmenter la résistance aux chocs : à rez-de-chaussée non protégé.

À l'inverse, l'entraxe peut être augmenté dans la mesure où la section des profilés (et des lisses éventuelles), la densité de fixations dans la structure porteuse, la flèche de la paroi entre profilés et la résistance au vent ont été vérifiés le permettre. Cette possibilité d'augmentation des entraxes est visée par l'Avis Technique (ou DTA) du système.

Remarque 1 : Selon les Règles NV 65 modifiées

Bien que la majoration en arrête verticale de façade, de la valeur de la charge en dépression, au regard de la valeur en partie courante, puisse être importante (facteur 2), la nécessité de réduire l'entraxe des profilés en rives de façade ne s'impose pas forcément ; c'est le cas général des systèmes dont la résistance « admissible » selon NV 65 modifiées en dépression qui le caractérise en pose sur entraxe normal (60 cm) reste supérieure à la dépression telle qu'elle est calculée en arêtes verticales d'un bâtiment donné, compte-tenu de sa hauteur, de la région et du site.

Remarque 1 (bis) : Selon l'Eurocode 1991-1-4 + son AN + ses amendements

L'Eurocode 1991-1-4 définit, pour certaines formes de bâtiment courant, les coefficients aérodynamiques appropriés aux différentes zones des constructions. Par simplification, pour le calcul des coefficients aérodynamiques de pression extérieure, la surface des éléments de bardage considérée est de 1 m². Seule la dépression est prise en compte dans le reste du document car elle correspond au cas dimensionnant des procédés de bardage rapporté, courants. Néanmoins, les systèmes de bardage dont le schéma mécanique serait non symétrique devront être vérifiés également en pression et les modalités de vérification à cet égard sont précisées dans l'Avis Technique ou DTA.

Les coefficients de dépression à considérer sont (zones au sens de la NF EN 1991-1-4 + AN + amendements) :

- dépression en rive : $C_{pe} = -1,4$ (zone A) ;
- dépression en zone courante de bâtiment : $C_{pe} = -1,1$ (zone B).

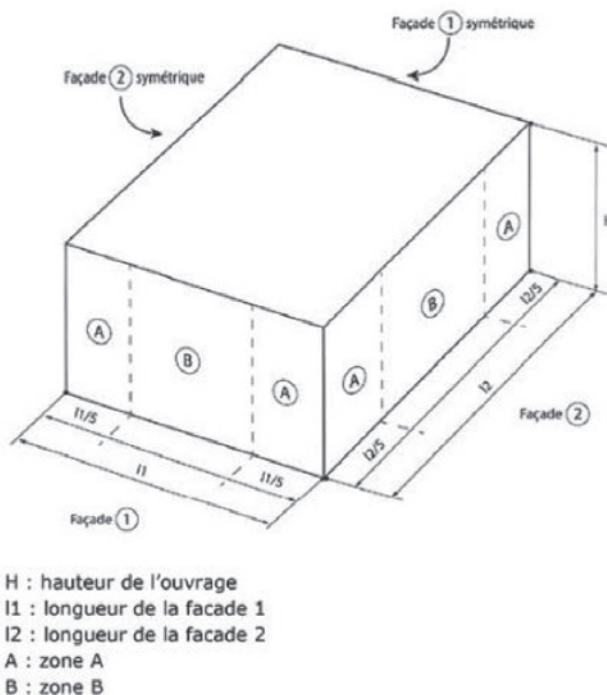


Figure 16a – Localisation des zones A et B relatives au coefficient C_{pe}

Nota : La valeur C_{pe} s'applique aux constructions de type courant (murs verticaux ou à fruit négatif $\leq 15^\circ$ des bâtiments à plan rectangulaire). Lorsque le bâtiment a une forme non courante, les DPM doivent préciser les charges à prendre en compte.

La surface de l'élément de bardage est prise par simplification égale à 1 m^2 , mais peut être calculée selon le § 7.2 de l'Eurocode 1. Pour le dimensionnement du bardage, du fait du domaine d'emploi et des cloisonnements dans les angles sortants, le coefficient de pression intérieur est $C_{pi} = 0$.

Remarque 2 : Il est à noter que ce renforcement de l'ossature, tant en arêtes verticales en cas de vérification selon les NV 65 modifiées et, en cas de vérifications selon l'EC 1 P1-4 en zone A au sens du § 7.2.2 de l'EC 1 P1-4 (cf. ci-dessus) qu'en partie courante au-delà d'une certaine hauteur de la façade, risque de conduire à terme à des tassements différentiels sous charge de poids propre, compte-tenu de ce que les pattes seront plus ou moins chargées différemment en fonction de leur densité (nombre/m²).

Il pourrait en résulter selon les cas, pour les éléments de peau fixés « à cheval » sur deux zones d'ossature de configurations différentes, des contraintes de compression ou de traction pouvant conduire à la rupture des plaques ou à leur échappement dans le cas de dalles posées en enfourchement sur des lisses.

Toutes dispositions seront donc prises pour éviter ces phénomènes, soit par mise en œuvre d'une ossature avec trame unique éventuellement redondante (vis-à-vis des sollicitations dues au vent) en partie courante et en partie basse, soit en prévoyant le fractionnement de l'ouvrage ossature/peau en fonction des reprises de charges différentes.

Ces dispositions ne visent pas les peaux type « écailles » qui, du fait des recouvrements tant latéraux qu'horizontaux, peuvent absorber sans contrainte ces éventuelles variations dimensionnelles différentielles.

Remarque 3 : En ce qui concerne la résistance aux chocs, la réduction de l'entraxe des profilés à rez-de-chaussée n'est susceptible d'améliorer que la résistance aux chocs de grands corps mous lesquels entraînent des effets d'ensemble. La résistance aux chocs de petits corps durs lesquels conduisent à des effets locaux, ne s'en trouve pas améliorée. Il est possible d'éviter cette diminution de performance sous chocs de corps dur en laissant un espace entre le dos de la paroi et la face avant des éventuels profilés intermédiaires supplémentaires.

3.3.2 Fixation des profilés porteurs sur les pattes

C'est dans cette phase de la mise en œuvre que l'on cherchera à obtenir la nécessaire coplanéité des montants d'ossature au regard :

- d'une part des exigences découlant du mode de fixation des parements sur l'ossature et
- d'autre part de l'exigence d'aspect de l'ouvrage fini.

Concernant les exigences de planéité propres aux éléments de peau et à leur mode de fixation, celles-ci sont normalement à préciser dans les Avis Techniques ou DTA.

Concernant l'exigence d'aspect, il est rappelé (cf. norme NF DTU 33.1 P1-1) « que les façades doivent présenter un aspect régulier, sans hétérogénéité anormale visible autre que celle éventuellement demandée lors de l'appel d'offres. Les lignes continues doivent avoir une rectitude ou une courbure convenable ».

Remarque : On ne peut fixer a priori un critère de planéité unique et contraignant, en raison de la grande diversité des parements proposés et des tolérances de planéité qu'ils peuvent accepter selon leurs caractéristiques :

- Finition : mate ou brillante.
- Relief : lisse ou structuré.
- Arêtes : vives ou abattues (ou arrondies).
- Joints : bord à bord (étroits ou larges) ou à recouvrement, filants ou décalés.

En cas d'exigences de planéité spécifiques, celles-ci seront à préciser dans l'Avis Technique ou DTA.

3.3.2.1 Mise en place des fixations

Les vis autotaraudeuses et autoperceuses doivent être posées avec une visseuse professionnelle munis de dispositifs de serrage contrôlé faisant appel à un limiteur de couple et/ou dotés d'une butée de profondeur. Ces dispositifs doivent être régulièrement vérifiés pendant la mise en œuvre.

Les diamètres de préperçage préconisés tant par le fournisseur des vis autotaraudeuses que par celui des rivets doivent être respectés notamment par un choix rigoureux du foret correspondant.

Dans le cas des liaisons avec jeux (points « glissants »), le serrage des fixations sera adapté et devra être rendu indesserrable. Les nez de riveteuses seront équipés d'une cale de réglage appropriée.

Remarque 1 : Le serrage des fixations doit être indiqué par le fournisseur de l'ossature. En tout état de cause, le serrage, et partant l'effort de frottement entre patte et profilé qui en résulte, doit être compatible avec l'aptitude de la patte à reprendre des charges verticales. Cette aptitude doit être vérifiée tant en charge ascendante que descendante selon les modalités de l'annexe 1, troisième partie.

Remarque 2 : Sont considérés comme indesserrables, les assemblages réalisés par vis autoperceuse ou autotaraudeuse et par rivet.

Pour les assemblages par vis et écrous, se reporter au § 3.5.3.3.

3.3.2.2 Patte en point fixe

Selon la section des profilés porteurs, le réglage en profondeur autorisé par des pattes de longueur non réglable est de l'ordre de 2 à 4 cm.

Il pourra donc être nécessaire en fonction des inégalités du support de disposer de pattes de différentes longueurs d'aile. Certaines pattes de forme asymétrique sont prévues réversibles ce qui augmente la capacité de réglage.

Après réglage de la tête du profilé porteur en hauteur et profondeur, un premier point de fixation (vis, rivet ou boulon) est mis en place.

Les points de fixations supplémentaires nécessaires à la réalisation de l'encastrement seront réalisés ultérieurement après réglage d'aplomb du profilé et fixation sur la patte d'extrémité basse.

Dans le cas d'emploi de pattes réglables, on réalisera comme précédemment le premier point de fixation sur le profilé porteur après réglage en hauteur, puis on bloquera la patte une fois le réglage en profondeur effectué et enfin on réalisera l'encastrement par les points de fixation complémentaires.

Remarque : Chaque fois que la géométrie des profilés le permettra, on utilisera des pattes de fixation pour lesquelles les points de fixation au gros œuvre sont soit alignés dans l'axe de symétrie des profilés (forme U), soit répartis de part et d'autre de cet axe (forme T).

Dans le cas d'emploi de pattes-équerres présentant un excentrement, le point fixe sera réalisé par deux pattes disposées en vis-à-vis de part et d'autre du profilé support (cf. fig. 3h).

3.3.2.3 Pattes en points coulissants

Afin de permettre un « glissement » sans effort lors des variations dimensionnelles des profilés porteurs, on devra obtenir un alignement et un parallélisme satisfaisant des plans de contact entre l'aile de la patte et le « flanc » du profilé afin de ne pas augmenter de façon incontrôlée le frottement initial qui doit rester aussi faible que possible.

Remarque :

- L'obtention d'un serrage initial à faible valeur ne pose normalement pas de problème si l'on utilise les fixations et l'outillage prévu.
- L'alignement des pattes le long du profilé ne présente pas non plus de difficulté si le « trait bleu » est correctement tracé, compte tenu de la présence du trou oblong horizontal sur l'aile d'appui au support.
- L'obtention d'un bon parallélisme entre plans de contact est conditionnée par la planéité du support et l'aptitude des pattes à absorber les éventuels défauts de planéité locaux de par leur conception.

3.3.2.4 Pattes de fixation des ossatures bridées

Les pattes de fixation les mieux adaptées sont de types symétriques tels que représentés en figures 3f et 3g, et qui peuvent être disposées indifféremment en extrémités des profilés ou en position intermédiaire.

Dans le cas des systèmes utilisant des pattes équerres, la symétrie recherchée, en particulier en extrémités des profilés, est obtenue en doublant les pattes-équerres dans un montage en opposition (cf. fig. 3h).

En cas de fixations intermédiaires, le montage des pattes-équerres selon une disposition en quinconce est admis.

3.3.3 Raccordement des profilés porteurs

Le raccordement suivant un alignement vertical s'effectue en laissant un joint ouvert dont la largeur est fonction du matériau (acier ou alu) de la température lors de la mise en œuvre et de la longueur de profilé rendu continu entre deux joints.

En pratique, l'ouverture minimale du joint entre deux extrémités de profilés successifs est à prévoir à la pose avec une amplitude par mètre linéaire de profilés égale à de 2 mm pour ceux en alliage d'aluminium et à 1 mm pour ceux en acier.

Par commodité de réglage d'alignement, un éclissage coulissant peut être prévu.

3.3.3.1 Particularités des ossatures librement dilatables

L'éclissage coulissant est le plus souvent réalisé au niveau d'une patte spéciale reprenant les charges verticales du profilé inférieur en point fixe, et les charges de vent du profilé supérieur en point coulissant (cf. fig. 4c).

3.3.3.2 Joints de fractionnement

À l'exception de revêtements posés avec un recouvrement ou des jeux au droit de leurs fixations, suffisants pour absorber les mouvements différentiels entre profilés porteurs, les éléments de peau ne devront jamais être posés « à cheval » et fixés sur deux profilés porteurs indépendants, posés en alignement vertical.

En conséquence, l'aboutage des profilés doit s'effectuer sur une même ligne horizontale par ailleurs en coïncidence avec les joints horizontaux des éléments de parois.

La coïncidence entre joint horizontal des plaques ou dalles de revêtement et joint ouvert entre profilés porteurs doit être prévue lors du calepinage de la façade. De ce point de vue, il peut être préférable de limiter la longueur des profilés porteurs de façon à réduire l'amplitude des variations dimensionnelles et de s'affranchir éventuellement de la nécessité de protéger le joint horizontal entre plaques de paroi vis-à-vis des risques d'entrée d'eau (bavette par exemple).

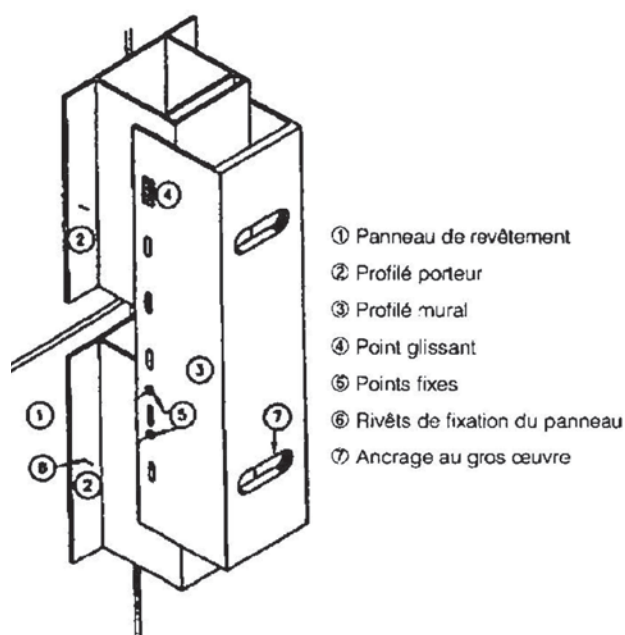


Figure 16b – Raccordement des profilés porteurs

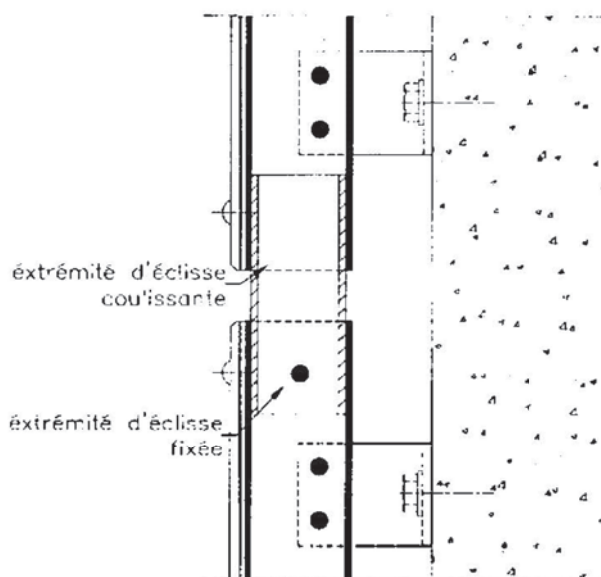


Figure 16c – Éclissage rigide des profilés

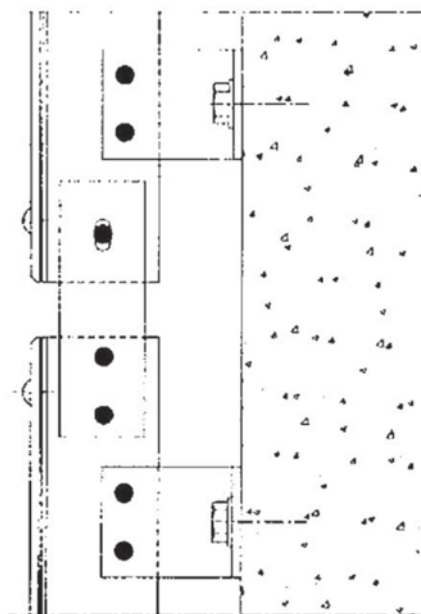


Figure 17 – Sur points coulissants
(fixation sur trous oblongs pour dilatation)

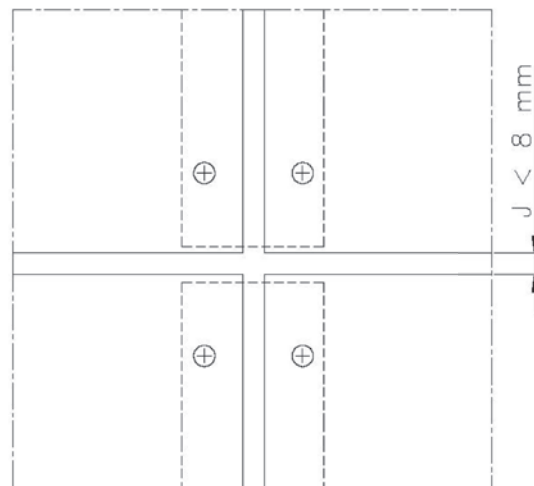


Figure 18a – Joint de fractionnement (sans bavette)

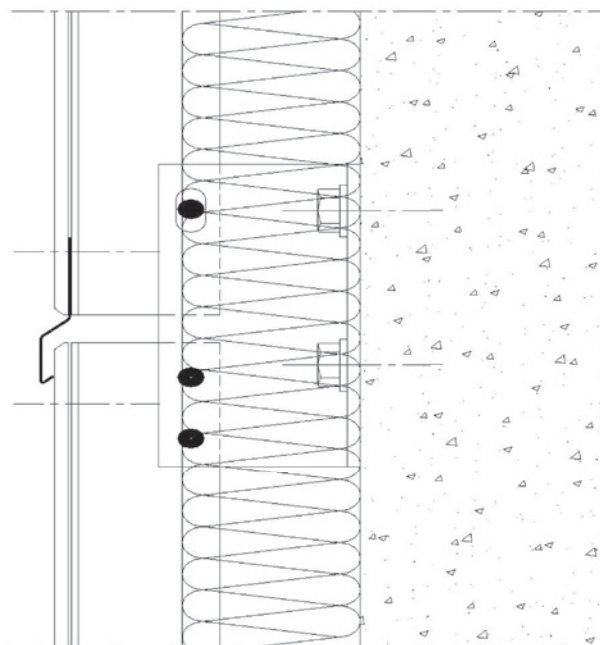


Figure 18b – Joint de fractionnement (avec bavette)

3.4 Aménagement de la lame d'air

3.4.1 Dispositions générales

Une lame d'air est toujours ménagée entre nu externe de la paroi support ou de l'isolant et face arrière de la peau.

L'essentielle raison de la lame d'air est une raison de durabilité. Ventilée à partir d'ouvertures en rives basse et haute d'ouvrage, elle a pour mission d'évacuer l'humidité provenant :

- des infiltrations éventuelles d'eau de pluie ;
- des condensations de la vapeur d'eau ayant transféré de l'intérieur vers l'extérieur au travers de la structure porteuse.

En effet, cette humidité peut être préjudiciable aux matériaux sensibles à l'eau.

Pour que cette lame d'air soit efficacement ventilée, il convient d'éviter les pertes de charge, et pour cela de vérifier :

- d'une part que la section en partie courante est suffisante, c'est-à-dire de largeur au moins égale à 2 cm au niveau des parties les plus étranglées, à savoir les éventuelles lisses horizontales ;
- d'autre part que les entrée et sortie de ventilation sont également de section suffisante, celle-ci étant donnée par la formule :

$$S = \left(\frac{H}{3}\right)^{0,4} \times 50$$

où :

H est la hauteur du bardage exprimée en mètres ;

S est la surface des orifices de ventilation haut et bas, exprimée en cm² par mètre linéaire de largeur de bardage.

Ce qui correspond à :

- 50 cm² pour une hauteur au plus égale à 3 m ;
- 65 cm² pour une hauteur de 3 à 6 m ;
- 80 cm² pour une hauteur de 6 à 10 m ;
- 100 cm² pour une hauteur de 10 à 18 m.

Remarque : L'origine de cette limitation à 18 m tient au fait que des vitesses excessives de circulation dans la lame d'air sont susceptibles d'engendrer des vibrations et bruissement des revêtements dans l'ouvrage de bardage.

En départ de bardage, l'ouverture est protégée par un profilé à âme perforée constituant barrière anti-intrusion.

En arrêt haut, l'ouverture est protégée par une avancée (par exemple bavette rapportée) munie d'un larmier.

Remarque 1 : Lorsque la peau du bardage rapporté est très perméable à l'air (de par la présence de joints ouverts entre éléments, par exemple) cf. AT du bardage rapporté – la section des entrée et sortie de ventilation peut être réduite par application de la formule

$$S = \left(\frac{H}{3}\right)^{0,4} \times 17,5$$

la largeur minimale de la lame d'air (> 20 mm) restant inchangée.

Remarque 2 : Dans le cas d'ouvrages de couvertures très perméables à l'air (cas des tuiles et des ardoises par exemple), il est parfois disposé en sous-face de celles-ci, un écran de sous-toiture souple pour interdire, les jours de vent, l'infiltration d'eau de pluie et surtout de neige poudreuse. En effet, de par le volume souvent important des combles, l'équilibrage des pressions extérieure et intérieure provoque un débit d'air à travers la couverture entraînant eau de pluie et neige poudreuse.

Certains poseurs appliquant cette technique de pare-pluie aux bardages rapportés, il convient de préciser que du fait du très faible volume de la lame d'air (et de l'étanchéité à l'air de la structure porteuse), l'équilibrage des pressions est quasi-instantané, pratiquement sans débit d'air et donc sans entraînement d'eau ou de neige susceptible de venir humidifier la paroi support.

Dans ces conditions, la présence d'un pare-pluie est sans objet et peut même être néfaste, car :

- ce film étanche augmente la valeur des charges dues aux actions du vent et appliquées sur la peau du bardage rapporté ;
- se déchirant, le film risque d'obstruer la lame d'air ;
- même classé M1, le film risque de favoriser la propagation verticale d'un incendie par la lame d'air.

En tout état de cause, il appartiendra à l'Avis Technique ou DTA de préciser si tel système de bardage en raison de sa conception et/ou de son domaine d'emploi nécessite la présence d'un film pare-pluie. Le cas échéant, le dossier technique dudit Avis précisera les caractéristiques de ce film ainsi que ses modalités de mise en œuvre.

3.4.2 Compartimentage horizontal de la lame d'air

Lorsque la façade traitée présente une hauteur supérieure à 18 m, celle-ci est partagée en modules de hauteur maximale 18 m, par un compartimentage de la lame d'air avec reprise sur nouvelle entrée d'air. Au niveau de ce joint horizontal de fractionnement, il est prévu un habillage par profilé bavette, les lames d'air inférieure et supérieure débouchant avec les sections minimales d'ouverture indiquées ci-avant.

Remarque 1 : La présence d'un joint de fractionnement de l'ossature du bardage peut être mise à profit pour réaliser le compartimentage de la lame d'air nécessité tant par la ventilation que par des prescriptions de sécurité incendie (cf. IT n° 249).

3.4.3 Compartimentage vertical de la lame d'air (fig. 19a)

Il doit être également prévu un compartimentage vertical en angle de façade dans le cas où le dos de la peau de bardage n'est pas au contact du nu des profilés porteurs et/ou que ces derniers ne sont pas au contact de l'isolant thermique ou du gros œuvre support.

C'est notamment le cas lorsque la peau est accrochée non pas directement aux profilés mais à un réseau de lisses. Entre dos de la paroi de bardage et nu des profilés circule une lame d'air horizontale continue de l'épaisseur des lisses et qui fait le tour du bâtiment. Pour s'opposer à un appel d'air latéral entre façade au vent et façade sous le vent, il convient de prévoir en angles tant entrant que sortant, et sur toute la hauteur de façade, un cloisonnement réalisé en matériau durable (tôle d'aluminium ou acier galvanisé Z 275 par exemple).

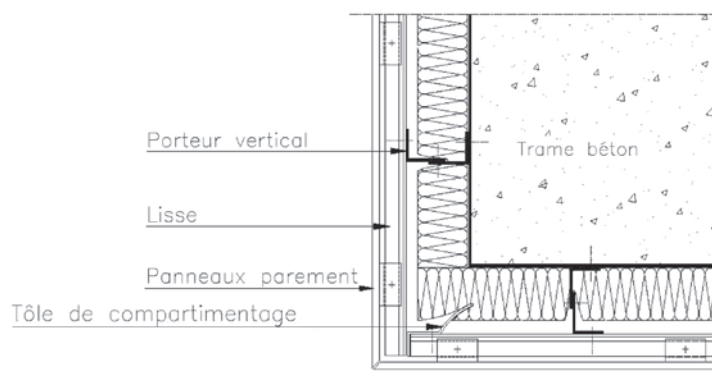


Figure 19 – Compartimentage vertical de la lame d'air

3.5 Pose des lisses

3.5.1 Entraxes des lisses

L'entraxe des lisses dépend du type d'élément de peau qu'elle doit supporter.

Dans le cas où la pose du réseau de lisse précède la pose des éléments de peau, l'entraxe des lisses, préalablement défini en fonction de la hauteur des éléments et des jeux nécessaires au montage et à la dilatation, est respecté à l'aide d'un gabarit ou d'une pige.

Dans le cas où les lisses sont posées à l'avancement en même temps que les éléments de paroi (cas des dalles rainurées « enfourchant » les lisses), elles sont le plus souvent équipées d'ergots déformables ou d'un joint mousse compressible. Ces dispositifs permettent de positionner les lisses en appui sur la rive haute des éléments de paroi, tout en ménageant le jeu nécessaire à la dilatation verticale de ces derniers, et constitue alors un « gabarit perdu ».

3.5.2 Dispositions vis-à-vis de la dilatation

Les lisses doivent pouvoir se dilater librement sans contraintes et/ou déformations dommageables tant pour les éléments assemblés (lisses, équerres, etc.) que pour les éléments de paroi qu'elles supportent.

Règle : Quelles que soient les dispositions prises pour la fixation des lisses (avec ou sans jeu), la jonction entre deux segments de lisses devra toujours laisser un joint ouvert au moins égal à celui de la dilatation correspondant à la longueur L du profilé.

L'ouverture minimale du joint entre deux extrémités de lisse à prévoir à la pose est donnée ci-dessous pour une longueur de profilé d'un mètre.

Tableau 5 – Ouverture de joint entre lisses en fonction de la température de pose

Température de pose (°C)	Ouverture du joint (mm/m)	
	Alu	Acier
5	1,5	0,8
15	1,2	0,6
20	1	0,5
25	0,8	0,4

En fonction de l'amplitude de la dilatation en extrémités des profilés de lisses et de la géométrie de la section des profilés porteurs, les dispositions ci-après pourront être adoptées :

- lisses avec trous oblongs à chaque intersection lisse-profilé porteur ;
- lisses sans jeu de fixation au droit des profilés porteurs intermédiaires et :
 - avec trous oblongs en extrémité ou
 - avec aboutage par éclissage coulissant ;
- lisses sans jeu de fixation et :
 - avec jonction sur porteurs présentant une section transversale « déformable »,
 - avec jonction sur porteurs séparés.

Remarque : Certaines dispositions (par exemple aboutage sur éclisse non supportée) nécessitent une vérification préalable par calcul et/ou par essais. Les dispositions ci-après ne s'appliquent qu'à des profilés de longueurs maximales égales à 6 m.

3.5.2.1 Lisses avec trous oblongs (fig. 19 et 20)

Les trous peuvent être préperçés en usine ou percés sur chantier.

Dans le premier cas, ils peuvent être préperçés selon un entraxe sous-multiple de 0,60 m, et l'on devra tenir compte de l'affaiblissement de la résistance des lisses résultant de ces perçages, cet affaiblissement sera d'autant plus grand que les entraxes seront réduits et que les perçages seront plus oblongs.

Remarque 1 : Cet affaiblissement pris en compte lors de la conception des profilés de lisses pourra être compensé par une surépaisseur de l'aile d'appui (fig. 19).

Dans le cas de perçages sur chantier (par fraisage ou emboutissage), ceux-ci seront réalisés selon l'entraxe des profilés porteurs (fig. 20).

La perte de résistance sera moins importante et pourra être compensée si nécessaire au droit de la fixation par une cale de répartition sous tête de fixation.

Concernant la longueur du trou oblong et compte tenu de la réalisation d'un point fixe en milieu du segment de lisse, elle sera égale à :

- ℓ (mm) : $L + \varnothing$ pour les lisses en alliage aluminium ;
- ℓ (mm) : $0,5 L + \varnothing$ pour les lisses en acier ;

avec

L : longueur de la lisse exprimée en mètres,

\varnothing : diamètre de la fixation exprimé en mm.

Remarque 2 : Cette valeur minimale de ℓ serait normalement à majorer de la tolérance de positionnement des profilés porteurs, il a cependant été admis que, notamment dans le cas de fixation par pattes équerres, ces dernières n'opposaient que peu de résistance aux sollicitations latérales.

3.5.2.2 Lisses sans jeu sur fixations intermédiaires et avec trous oblongs en extrémité (fig. 21)

La jonction des lisses se fait sur un profilé porteur commun, chaque extrémité de lisse ayant sa propre fixation par trous oblongs (fig. 21).

Ce type de montage peut être admis dans le cas des profilés porteurs dont les fixations au gros œuvre support autorisent des déplacements latéraux sous faibles efforts.

Remarque 1 : La dilatation se répartira de façon sensiblement égale aux extrémités de la lisse. Si l'on considère le cas d'une lisse en alliage d'aluminium de longueur 3,6 m, l'avant-dernier point de fixation aura des déplacements d'amplitude maximale

$$23.10^{-3} \times 80 \left(\frac{3,6-2,0,6}{2} \right) = 2,2 \text{ mm}$$

pour des profilés porteurs posés en entraxes de 0,6 m.

Cette amplitude correspond à un débattement de l'ordre de + 2 mm, de part et d'autre de la fixation du porteur considéré (mis en œuvre sous une température d'environ 20 °C).

Dans le cas d'une lisse de longueur 3,6 m en alliage léger (ou d'une lisse en acier de longueur 6 m) ce débattement sera réduit de moitié soit environ + 1 mm et sera absorbé par la plupart des pattes de fixation dans le cas d'ouvrages où la paroi de bardage sera déportée de 80 à 100 mm de la paroi support.

Remarque 2 : Dans le cas de liaisons avec pattes rigides et/ou de faible élanement, il sera nécessaire de justifier leur aptitude à la déformation.

3.5.2.3 Lisse sans jeu sur fixations intermédiaires avec aboutage par éclissage coulissant

Mêmes considérations que précédemment (cf. § 3.5.2.2) mais au lieu que les mouvements en extrémité de lisses soient permis par le joint ouvert entre lisses et les fixations en trous oblongs, on utilise une éclisse adaptée au profil des lisses.

• Eclisse supportée (fig. 21)

L'éclisse est fixée sur le profilé porteur de jonction et les deux extrémités de lisses sont coulissantes.

• Eclisse non supportée (fig. 21)

L'éclisse est disposée entre les profilés porteurs et fixée à une extrémité de lisse. Il sera nécessaire de vérifier que la rigidité de la lisse, ainsi éclissée, répond aux exigences de flèches définies en § 2.4.3.

Remarque : La forme la plus pratique pour la pose de cette éclisse, notamment dans le cas des systèmes avec dalles mises en œuvre en « empilement » est une section oméga C qui a cependant l'inconvénient de provoquer un décalage des nus de par l'épaisseur de sa paroi d'appui sur le profilé porteur.

Ce décalage peut être compensé par le réglage préalable en profondeur du profilé porteur concerné. Cette disposition implique cependant que tous les aboutages soient en alignement vertical sur la hauteur de ce profilé porteur (calepinage nécessaire).

Des platines spécifiques peuvent être conçues pour éviter ce décalage, en permettant par exemple la fixation de cette platine sur les flancs des profilés porteurs ou à l'intérieur des profilés de lisses.

3.5.2.4 Lisses montées sans jeu aux fixations et avec jonction sur porteurs à section déformable

Les profilés porteurs sont de type ouvert (repères E et F § 2.1.4) et comportent deux plages de fixation séparées.

Leur déformabilité est à apprécier par calcul ou de préférence par essai dans le cadre de l'instruction de l'Avis Technique (ou DTA) du bardage rapporté.

Remarque : L'essai doit être réalisé sur un segment d'une longueur égale à la moitié de l'entraxe de fixation des lisses.

Il devra permettre d'apprécier la déformabilité dans le domaine élastique.

Les déformations au-delà du domaine élastique peuvent être éventuellement acceptées, dans la mesure où elles resteront de faible amplitude sachant, par ailleurs, que la fréquence des mouvements est faible et que le nombre de cycles dans la durée de vie de l'ouvrage (104 sur 30 à 50 ans) est également relativement faible vis-à-vis des phénomènes de fatigue.

3.5.2.5 Lisses montées sans jeu de fixations et avec jonction sur porteurs séparés

Cette disposition implique le doublement des profilés porteurs à chaque raccordement de lisses, chaque extrémité de lisse étant fixée sans jeu sur son profilé porteur propre.

L'ouverture minimale J du joint entre extrémité des lisses doit être de 10 mm.

L'écartement entre les deux profilés porteurs d'extrémité sera compris entre 10 et 50 mm.

Sur la base des considérations précédemment développées sur la « flexibilité » (cf. § 3.5.2.1 remarque 2 et § 3.5.2.2) latérale des pattes de fixation des profilés porteurs, ces dispositions de montage peuvent convenir pour des longueurs de profilés de 3 à 3,6 m en alliage d'aluminium et jusqu'à 6 m pour des profilés en acier.

Remarque 1 : Cette disposition nécessite que toutes les jonctions de lisses se situent dans le même alignement vertical sur la hauteur d'un profilé porteur.

Remarque 2 : Le fait que les profilés ainsi « doublés » ne reprennent que la moitié des charges (vent et poids propre) n'autorise pas une réduction du nombre de pattes support dans le même rapport.

Le respect d'une flèche équivalente entre profilés « doublés » et profilés intermédiaires ne permet de réduire le nombre des pattes support que d'environ 20 %.

3.5.3 Fixation des lisses

Les lisses sont fixées aux profilés porteurs à chaque intersection selon les dispositions admissibles vis-à-vis de la dilatation telles que précisées ci-avant. La fixation peut s'effectuer par rivetage, par vissage ou par boulonnage.

3.5.3.1 Fixation par rivets

La fixation par rivets à rupture de tige est possible si l'Avis Technique ou le DTA du procédé de bardage rapporté l'envisage explicitement. La valeur du γ_M sera indiquée dans l'Avis Technique (ou DTA) du procédé.

3.5.3.2 Fixation par vissage

Les dispositions prises pour la fixation par rivets (cf. § 3.5.3.1 ci-dessus) sont applicables aux vis, notamment en ce qui concerne le serrage au droit des points coulissants (trous oblongs).

La fixation des lisses métalliques dans les profilés métalliques s'effectue par vis autotaraudeuses ou par vis autoperceuses.

Les γ_M appliqués aux pk sont de 1,35 pour une épaisseur d'acier de 1,5 mm et 1,7 pour une épaisseur d'aluminium de 2,5 mm.

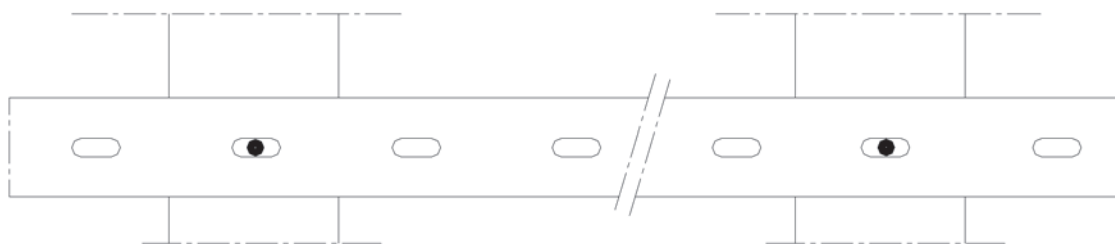


Figure 20a – Lisses avec trous oblongs prépercés en usine

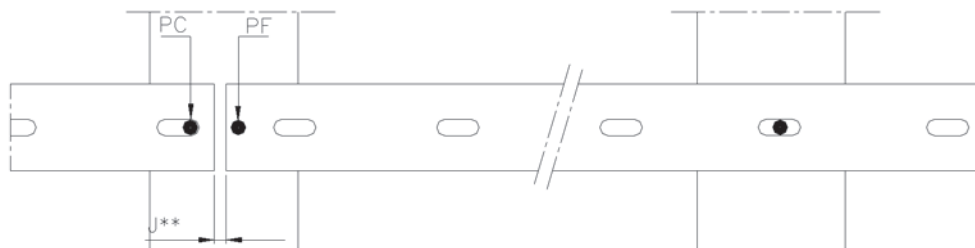


Figure 20b – Lisses avec trous oblongs prépercés en usine

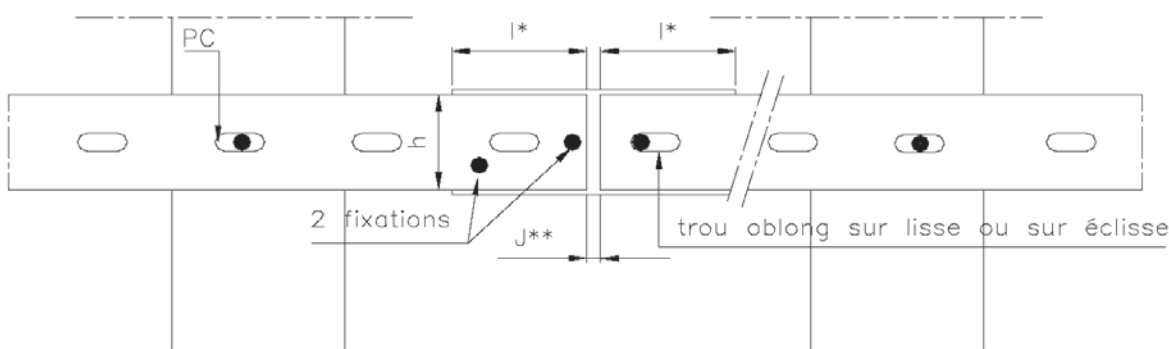


Figure 20c – Lisses avec trous oblongs prépercés en usine

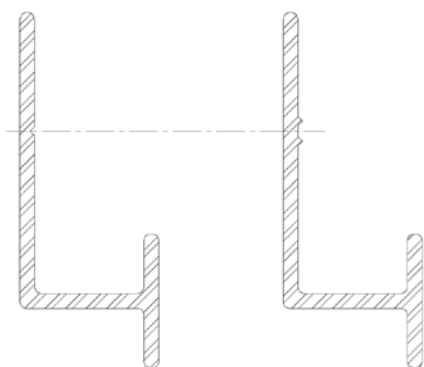


Figure 20d – Lisses courantes



Figure 20e – Exemple de renforcement possible

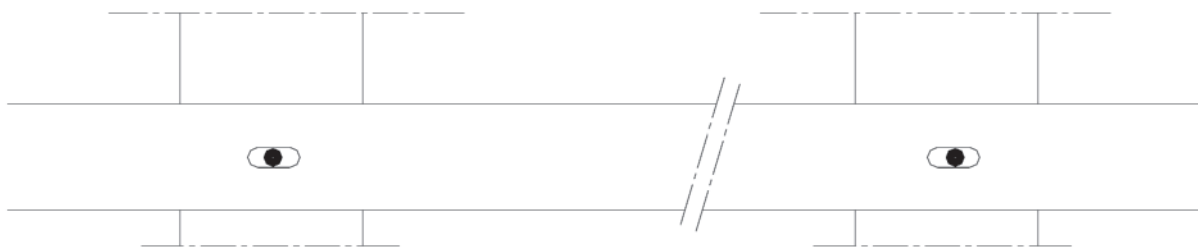


Figure 21a – Lisses avec trous oblongs emboutis in situ



PC : point coulissant

PF : point fixe

*** l'autre extrémité de lisse compte obligatoirement un trou oblong

Figure 21b – Lisses avec trous oblongs emboutis in situ

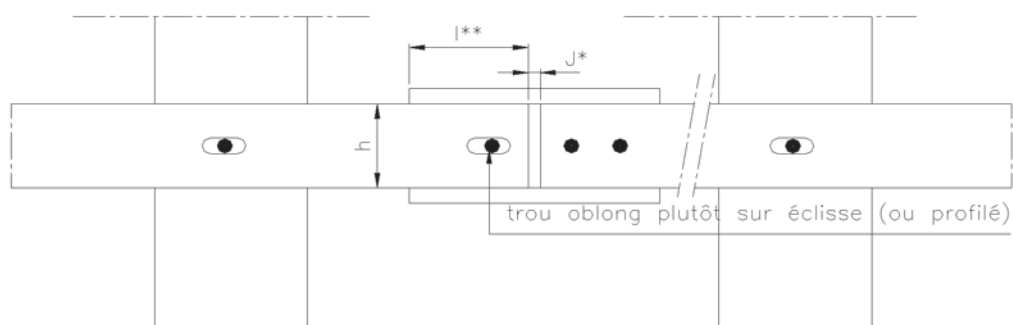
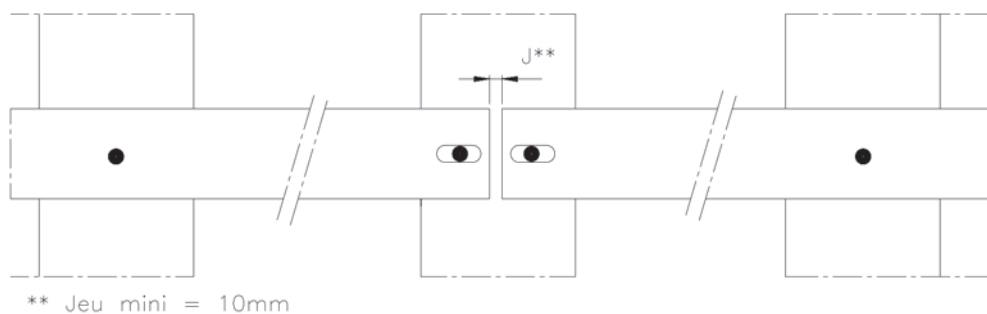
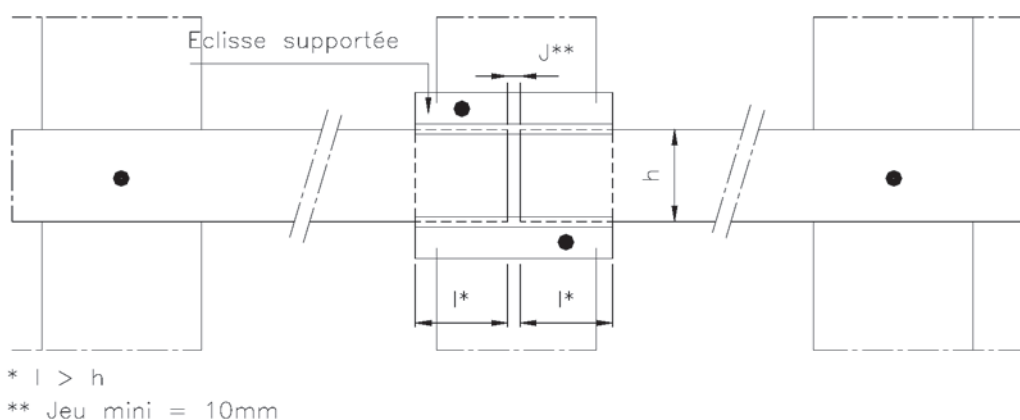


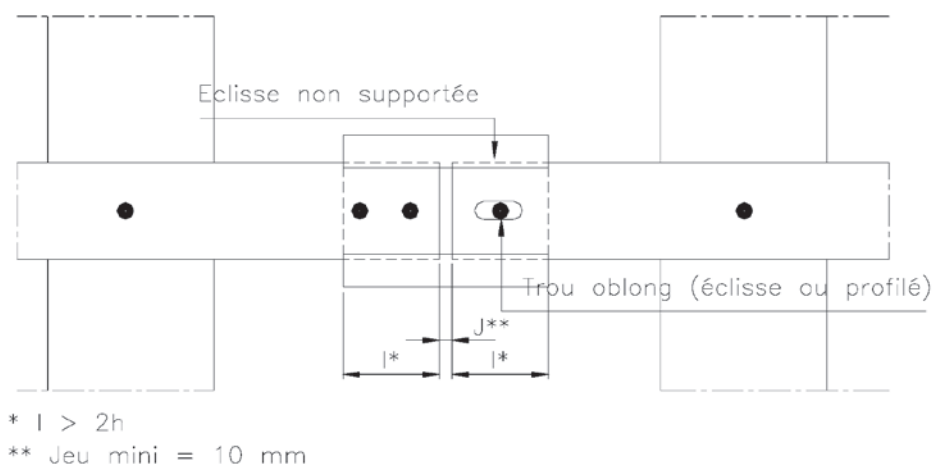
Figure 21c – Lisses avec trous oblongs emboutis in situ



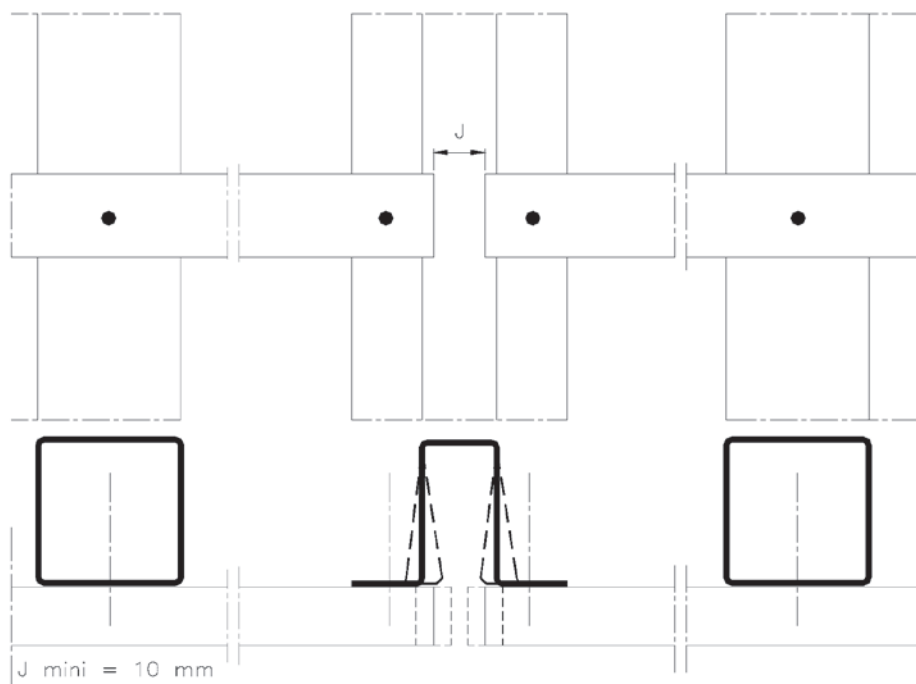
**Figure 22a – Lisses sans trou oblong embouti en fixations intermédiaires –
Aboutage sur porteur avec trous oblongs obligatoires en extrémité de lisses**



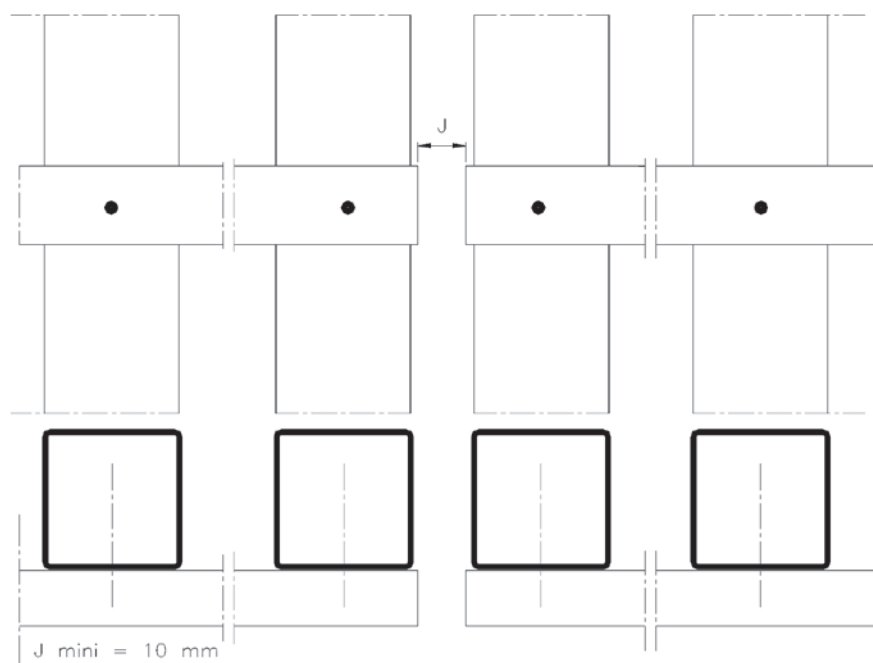
**Figure 22b – Lisses sans trou oblong embouti en fixations intermédiaires –
Aboutage sur porteur, par éclisse coulissante supportée**



**Figure 22c – Lisses sans trou oblong embouti en fixations intermédiaires –
Aboutage entre porteurs sur éclisse non supportée**



**Figure 22d – Lisses sans trou oblong embouti en fixations intermédiaires –
Aboutage sur profilé à section déformable**



**Figure 22e – Lisses sans trou oblong embouti en fixations intermédiaires –
Aboutage sur profilés porteurs doublés**

Annexe 1

Détermination des caractéristiques mécaniques des attaches destinées à la fixation des profilés sur la structure porteuse

La convenance d'une attache, du point de vue rigidité, s'apprécie en fonction de la performance des pattes (etc.) qu'elle offre :

- d'une part aux charges permanentes dues au poids propre du bardage rapporté ;
- d'autre part aux charges momentanées dues aux effets du vent (pression et dépression).

Les charges latérales (dans le plan du bardage) dynamiques (à la pose et sous sollicitation sismique) et statiques (en œuvre) ne sont pas prises en considération.

Première partie – Résistance admise aux charges verticales permanentes dues à la masse du bardage rapporté

Cette déformation admissible sous charge verticale est indiquée dans l'Avis Technique ou Document Technique d'Application du bardage rapporté.

1. Appareillage

1.1 Généralités

L'appareillage se compose pour l'essentiel d'une machine d'essai de traction de classe 1 conformément à la norme NF EN 10002-2, de capacité minimale 1 000 daN, à axe vertical, dont les éléments principaux sont les suivants :

- une partie inférieure permettant de fixer en situation les attaches supportant le profilé ;
- une partie supérieure mobile permettant l'accrochage du profilé.

L'une ou les deux parties doivent permettre, de par leur conception, un alignement des dispositifs par rapport à l'axe de chargement.

1.2 Description du dispositif d'essai

La partie inférieure du dispositif se compose d'un bâti rigide fixé sur le plateau inférieur de la machine d'essai et dont le retour vertical permet la fixation des attaches (pattes-équerres ou étrier).

Des trous oblongs permettent de régler l'écartement entre pattes-équerres ainsi que la position des fixations des équerres dans leur propre trou de fixation oblong.

Des platines en acier, d'épaisseur minimale 5 mm et de surface au moins égale à la surface de l'aile d'appui des pattes équerres, percées d'un trou de diamètre égal à celui de la fixation, sont disposées sous les pattes pour obtenir une surface d'appui continue.

Un trou vertical dans l'axe du bâti permet la fixation d'attaches en forme de U (étrier).

La partie supérieure comprend un adaptateur de traction approprié à la section du profilé.

Les déformations peuvent être prises égales aux déplacements de la traverse mobile, mais il est préférable de disposer des capteurs de déplacement :

- soit dans l'axe du profilé (montage avec étrier) ;
- soit sur l'extrémité de chaque équerre.

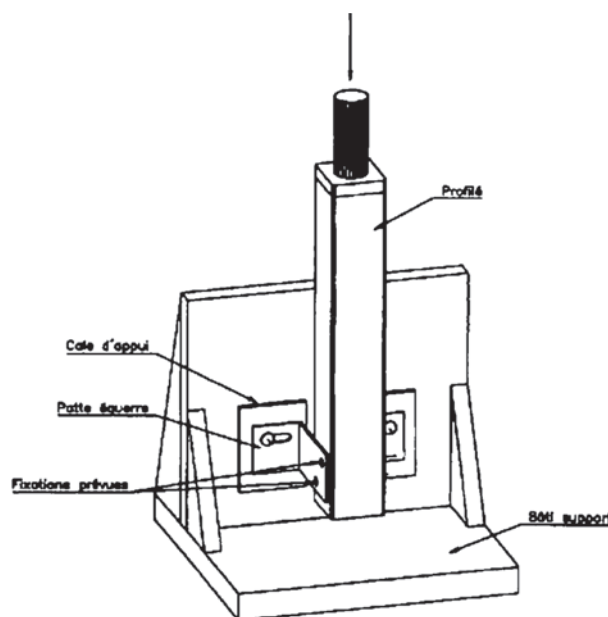


Figure 1.1 – Dispositif d'essai

1.3 Attaches

La nature et les caractéristiques géométriques des attaches sont relevés. Un schéma est joint au rapport d'essai.

1.4 Profilé

Les attaches (pattes-équerres ou étrier) sont fixées au bâti support à l'aide de boulons de diamètre adapté au préperçage (\varnothing 6 mm minimum) en utilisant les rondelles prévues.

Le profilé est celui prévu être associé aux attaches spécifiques (cas des systèmes d'ossature complets).

Dans le cas d'attaches d'usage plus général, non prévues être associées à un profilé spécifique, le profilé pourra être constitué d'un tube en acier d'épaisseur minimale 15/10 de section carrée ou rectangulaire.

1.5 Fixation

Le type de fixation des attaches sur le profilé doit correspondre à la fixation réellement utilisée dans la pratique.

Le fournisseur des fixations doit en indiquer la marque, le type et les caractéristiques géométriques et mécaniques qui doivent figurer dans le rapport d'essai.

La fixation est montée selon les spécifications du fournisseur de la fixation avec les outils et le couple préconisé ainsi que les diamètres des trous de perçages et préperçages éventuels.

1.6 Assemblage

Les attaches asymétriques type patte-équerre sont disposées par groupe de deux en opposition de part et d'autre du profilé pour annuler leur tendance à la rotation.

En fonction du type de fixation, relever le cas échéant :

- les caractéristiques de réglage des matériels utilisés pour la mise en œuvre des fixations [outil de pose, couple de serrage (vis et boulons), limiteur de serrage (rivet), etc.] ;
- le diamètre des trous de préperçage.

2. Nombre d'éprouvettes

L'essai est réalisé sur trois assemblages du même type.

3. Mode opératoire

Réaliser le montage d'essai conformément à la figure 1.1.

Dans le cas des pattes équerres, le boulon de fixation sur le bâti sera disposé en extrémité du trou oblong la plus éloignée du profilé.

L'attache du mors mobile de la machine de traction, le profilé sur lequel sont fixées les deux pattes-équerres opposées (ou l'étrier) et le (ou les) capteur(s) de déplacement sont disposés en alignement droit sur le bâti rigide et indéformable.

Les capteurs sont reliés à un enregistreur graphique permettant de tracer la courbe effort-déformation dont l'allure est donnée ci-après.

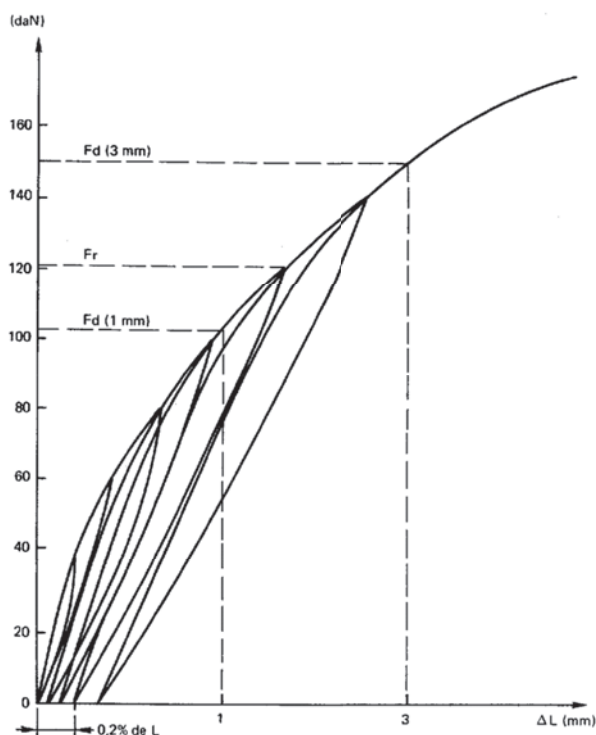


Figure 1.2 – Courbe effort-déformation

Le profilé est soumis à une succession de cycles « aller-retour », la charge en traction croissant de 10 daN en 10 daN avec retour à zéro (charge) entre chaque cycle. Appliquer la charge en réglant la vitesse de chargement de façon à respecter la condition : vitesse constante de charge < 500 daN/minute, de façon que la ruine de l'assemblage intervienne sous effort statique et non par effet dynamique.

Nota : Il n'est pas possible dans un essai de chargement continu de déterminer sur la courbe charge-déplacement, la charge correspondant à la limite de déformation élastique. C'est pourquoi l'essai est réalisé par seuils de charge successivement croissants, avec retours intermédiaires au zéro charge, pour apprécier la valeur de déformation résiduelle caractérisant le dépassement de la limite élastique.

4. Expression des résultats

Les attaches sont qualifiées par deux critères, l'un relatif à la contrainte admissible dans le métal, le second relatif à la déformation sous charge.

• Premier critère

On note la charge F_r pour laquelle on obtient une déformation résiduelle $\Delta\ell$ mesurée en nez de patte, égale à :

$$\Delta\ell = \frac{0,2 \times L_x}{100}$$

L_x étant la longueur de la patte

• Deuxième critère

On note les charges F_d qui correspondent à des déformations sous charges de 1 mm et 3 mm.

L'essai est effectué sur au minimum trois montages d'où les deux séries de résultats F_{r1} , F_{r2} , F_{r3} et F_{d1} , F_{d2} et F_{d3} .

On appellera résistance caractéristique de la patte, la plus faible des deux valeurs ci-après :

$$R_{cr} = \frac{F_{mr}}{n} \text{ ou } R_{cd} = \frac{F_{md}}{n}$$

F_{mr} est la plus faible des trois valeurs F_{r1} , F_{r2} , F_{r3} .

F_r Force correspondant à la déformation résiduelle de 0,2 % en nez de patte.

F_{md} est la plus faible des 3 valeurs d'essais F_{d1} , F_{d2} , F_{d3} .

F_d Force correspondant à une déformation sous charge choisie égale à 1 mm ou 3 mm selon la nature du bardage.

Le facteur n correspond au nombre d'attaches essayées dans le montage considéré soit 2 pour les attaches asymétriques (équerres) et 1 pour les attaches symétriques (étriers).

On appellera résistance admissible de la patte, la plus faible des deux valeurs critiques affectées d'un coefficient de sécurité α variable selon la conception de l'ossature.

$$R_{\alpha r} = \frac{R_{cr}}{\alpha} \text{ et } R_{\alpha d} = \frac{R_{cd}}{\alpha}$$

Système d'ossature dans lequel les attaches fixées le long d'un profilé porteur se répartissent la charge reprise par ce dernier :

$$\alpha = 2,25$$

Système d'ossature dans lequel la charge reprise par un profilé est supportée par une seule attache :

$$\alpha = 2,25$$

Dans le cas d'une vérification :

- aux contraintes admissibles, cette performance est une résistance admissible ;
- aux états limites, cette performance est une valeur de calcul à l'état limite de service.

Commentaires :

1. Sous réserve d'effectuer un plus grand nombre d'essais (7 minimum et 12 de préférence), les résistances caractéristiques pourront être calculées comme suit :

À partir des n valeurs individuelles F_r et F_d obtenues, on détermine les valeurs moyennes.

F_{mr} et F_{md} et un écart-type estimé s :

$$F_{mr} = \frac{\sum F_r}{n} \text{ et } s_r = \sqrt{\frac{\sum (F_r - F_{mr})^2}{n-1}}$$

$$F_{md} = \frac{\sum F_d}{n} \text{ et } s_d = \sqrt{\frac{\sum (F_d - F_{md})^2}{n-1}}$$

La résistance caractéristique est déterminée par :

$$R_{cr} = F_{mr} - 2s_r \text{ et } R_{cd} = F_{md} - 2s_d$$

2. Le coefficient de sécurité retenu est justifié par le fait que l'essai est réalisé en position de fixation défavorable, que l'on retient la plus faible des trois paires de pattes essayées, et qu'en œuvre, les pattes sont associées sur une longueur de profilé ce qui a pour effet de répartir les efforts.

Nota : Le coefficient de sécurité retenu de 2,25 se décompose en deux parties. Premièrement, du fait que l'essai est réalisé en position de fixation défavorable, que l'on retient la plus faible des 3 paires de pattes essayées, et qu'en œuvre, les pattes sont associées sur une longueur de profilé ce qui a pour effet de répartir les efforts (premier coefficient de 1,5). Deuxièmement, pour tenir compte de ce que les pattes risquent de supporter des charges différentes selon leur position, la charge maximale estimée pouvant être reprise en œuvre par la patte la plus défavorisée est majorée par application d'un coefficient supplémentaire de 1,5.

3. Une déformation sous charge de 1 mm correspond à des ouvrages de bardage avec éclissage fixe (non coulissant) des profilés dans le cas notamment des peaux à faible emboîtement (dalles rainurées). Cette déformation admissible sous charge verticale est indiquée dans l'Avis Technique (ou DTA) du bardage rapporté.
4. Pour les ouvrages traditionnels de bardages à recouvrement, qu'il est souhaitable de poser sur profilés de longueurs usuelles non éclissés (ou avec éclissage coulissant), une déformation sous charge de 3 mm des pattes peut être acceptée.
5. L'essai décrit ci-avant ne s'applique pas a priori aux attaches de points glissants (coulissants) supposées ne reprendre que les efforts dus aux effets du vent. Cependant, si la liaison prévue entre l'attache et le profilé porteur n'apparaît pas suffisamment libre, on pourra par un essai reprenant un montage similaire, caractériser la résistance au glissement de la liaison ainsi que l'éventuelle déformation de la patte sous les efforts correspondants. Il sera nécessaire, dans ce cas, de disposer les capteurs de déplacement sur le nez de la patte et sur le profilé.

Deuxième partie – Résistance admissible selon NV 65 modifiées (sous VENT NORMAL) ou valeur de calcul à l'état limite de service au sens de l'Eurocode 1991-1-4 et de son Annexe nationale (AN) aux charges horizontales momentanées dues à la dépression

1. Appareillage

Les prescriptions du chapitre 1 de la première partie sont également applicables à cet essai réalisé à l'aide du dispositif représenté en figure 1.3.

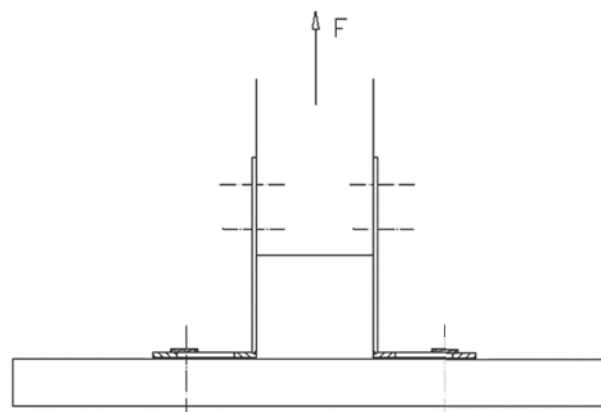


Figure 1.3 – Dispositif d'essai

2. Nombre d'éprouvettes

L'essai est réalisé sur 3 assemblages du même type.

3. Mode opératoire

3.1 Protocole

Sur l'embase fixe de la machine d'essai de traction, on dispose le bâti permettant la fixation des pattes sur leur aile d'appui côté structure porteuse conformément à la figure 1.3

Cette fixation est constituée par un boulon du diamètre (généralement Ø 6) correspondant à la largeur du trou ovalisé prévu en aile d'appui de la patte et disposé en l'extrémité la plus éloignée de l'autre aile.

L'aile d'appui de la patte sur la structure porteuse est fixée au bâti fixe et indéformable par boulonnage traversant (Ø 6), le boulon étant disposé en extrémité du trou ovalisé, la plus éloignée de l'aile.

L'autre aile d'appui de la patte est fixée sur un tube métallique (ou profilé spécifique) solidaire du mors mobile, lequel mors doit être monté sur rotule. Un capteur de force et un capteur de déplacement sont associés au mors mobile.

Après éventuelle mise en place et remise à zéro, on soumet les pattes à une succession de 150 cycles « aller-retour », de charge constante F , un cycle « aller-retour » s'effectuant en respectant une vitesse de mise en charge ≤ 500 daN/mn.

On vérifie sur l'enregistrement graphique qu'après les 150 cycles, la déformation résiduelle, entraînée par la charge F , est inférieure ou égale à 1 mm.

La valeur la plus exacte de la charge F se détermine par deux ou trois essais d'encadrement. En l'absence d'informations sur la résistance de la patte, on pourra procéder à un essai préalable de chargement progressif avec retour à zéro et prendre comme première valeur de chargement en fatigue une charge égale à $a \times j$, j étant défini ci-après.

Cet essai préalable correspond à une succession de cycles « aller-retour », la charge croissant de 20 en 20 daN avec retour à zéro entre deux chargements, chaque cycle chargement-déchargement s'effectuant à la vitesse de 10 mm/minute.

Les capteurs sont reliés à un enregistreur graphique permettant de tracer la courbe effort-déformation dont l'allure est donnée en figure 1.4.

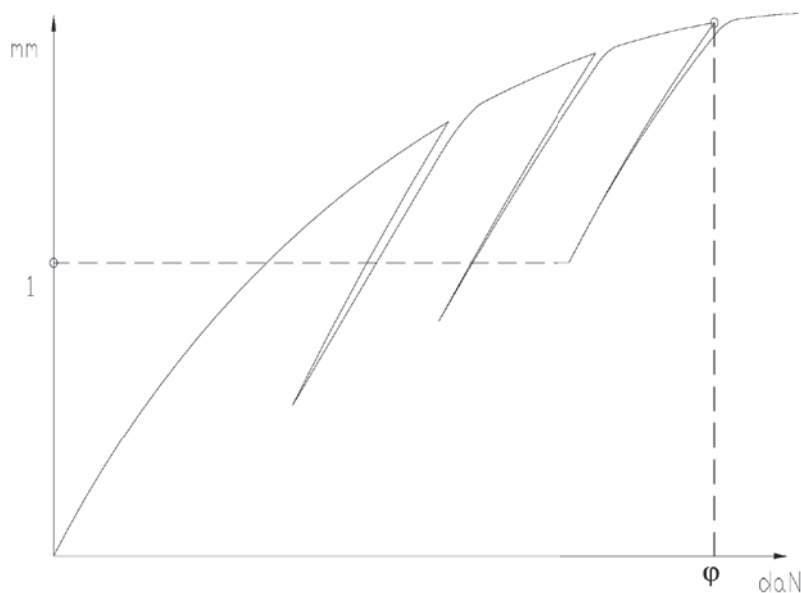


Figure 1.4 – Courbe effort-déformation

On appelle ϕ la charge pour laquelle on obtient une déformation résiduelle de 1 mm.

On considère qu'en raison de la géométrie des pattes et la nature de l'assemblage réalisé, le sens de l'effort le plus défavorable correspond aux effets de dépression. On admettra donc, bien que les coefficients de pression soient plus élevés en partie courante de façade (cf. *Règles NV 65 modifiées ou Eurocode 1991-1-4*), que les pattes sont qualifiées pour supporter les effets de dépression et pression correspondantes.

3.2 Expression des résultats

À partir des premiers cycles de fatigue effectués à la force

$$F = \alpha \cdot \varphi$$

en prenant comme première valeur $\alpha = 0,8$, complétés par ajustements successifs (en faisant varier α), on détermine la charge F pour laquelle on obtient, à l'issue des 150 cycles, une déformation résiduelle de 1 mm au plus.

L'essai est effectué successivement sur un lot de trois montages identiques d'où les trois résultats F_1 , F_2 et F_3

On appellera « résistance caractéristique » de la patte, la valeur :

$$R_c = \frac{F_m}{n}$$

où F_m est la plus faible des trois valeurs F_1 , F_2 et F_3 .

Le facteur n correspond au nombre d'attaches essayées dans le montage considéré, soit 2 pour les attaches asymétriques (équerres) et 1 pour les attaches symétriques (étriers).

On appellera « résistance admissible selon NV 65 modifiées » (sous VENT NORMAL) ou valeur de calcul à l'état limite de service au sens de l'Eurocode 1991-1-4 et de son Annexe nationale (AN) de la patte, la valeur :

$$R_a = \frac{R_c}{\gamma_M}$$

où le facteur γ_M correspond à un coefficient de sécurité (la valeur modérée de ce coefficient provient de la prise en compte de la fatigue, de la répartition des efforts entre pattes et du rééquilibrage potentiel des pressions de part et d'autre de la peau de bardage). γ_M vaut 2 en cas de vérification avec les NV 65 modifiées et 1,67 en cas de vérification à l'ELS selon l'EC1 P1-4.

Remarque :

1. Les essais en cycles peuvent être :

- soit entrepris à la suite sur le même montage ayant permis de déterminer la charge j ;
- soit réalisés sur un second montage avec des pattes neuves.

2. La recherche de la valeur de F la plus exacte par ajustement du coefficient α doit être faite au cours des 75 premiers cycles de la série, la valeur F à retenir étant validée par les 75 derniers cycles.

Annexe 2.1

Fixations - Caractéristiques

Les principales caractéristiques des fixations sont données dans les tableaux 2.1 et 2.2.

On distingue :

- les vis ;
- les rivets.

Les emballages de conditionnement des fixations doivent posséder une étiquette d'identification rappelant le type de fixation, sa nature et son revêtement.

Tableau 2.1 : Caractéristiques des fixations sur profilés en acier

Type	Dimensions et caractéristiques ⁽¹⁾	Matériau ⁽²⁾ , protection contre la corrosion ⁽³⁾
Vis + écrou	Diamètre minimal : 6 mm Longueur en fonction des épaisseurs à assembler	Acier de résistance ultime minimale 500 N/mm ² , galvanisé à chaud en continu selon NF EN ISO 1461 (classe B) masse de zinc de 150 g/m ² minimum Acier selon NF EN 10263-2, avec revêtement de zinc selon NF EN ISO 4042 (5 µm min.), chromatisation selon NF A 91-472 (classe C-D) Acier inoxydable (austénitique A2) selon NF EN10088-3
Vis autoperceuse Vis autotaraudeuse	Vis autoperceuse : – diamètre minimal : 5,5 mm – longueur telle que le filetage de la vis soit visible sous le support après pose Vis autotaraudeuse : – diamètre minimal : 6,3 mm – longueur telle que le dépassement après pose soit au moins égal au diamètre de la vis	Acier de cémentation selon NF EN 10263-3 (A35-551), avec revêtement métallique renforcé + revêtement superficiel complémentaire permettant d'obtenir une résistance minimale à la corrosion de 12 cycles Kesternich selon NF EN ISO 3231 (à 2 l de SO ₂ sans apparition de rouille rouge) Acier inoxydable (austénitique A2) selon NF EN 10088-3
Rivet	Diamètre minimal du corps : 4,8 mm Diamètre minimal de collerette : 9 mm	Acier inoxydable (austénitique A2) selon NF EN 10088-3 pour les rivets inox (corps et tige) : Acier zingué (mandrin) – cuivre (corps) Acier zingué (mandrin) – Alliage d'aluminium 1 200 selon NF EN 1301-1 (corps)
<p>1. Le diamètre correspond au diamètre extérieur de filetage.</p> <p>2. Les nuances indiquées sont des nuances minimales.</p> <p>3. La protection contre la corrosion est réalisée à la fabrication des fixations.</p>		

Tableau 2.2 : Caractéristiques des fixations sur profilés en alliage d'aluminium

Type	Dimensions et caractéristiques ⁽¹⁾	Matériau ⁽²⁾ , protection contre la corrosion ⁽³⁾
Vis + écrou	Diamètre minimal : 6 mm Longueur en fonction des épaisseurs à assembler	Acier inoxydable (austénitique A2) selon NF EN 10088-3 et NF EN ISO 3506-1
Vis autoperceuse Vis autotaraudeuse	Vis autoperceuse : – diamètre minimal : 5,5 mm – longueur telle que le filetage de la vis soit visible sous le support après pose Vis autotaraudeuse : – diamètre minimal : 6,3 mm – longueur telle que le dépassement après pose soit au moins égal au diamètre de la vis	Acier inoxydable (austénitique A2) selon NF EN 10088-3
Rivet	Diamètre minimal du corps : 4,8 mm Diamètre minimal de collerette : 9 mm	Alliage d'aluminium 1200 selon NF EN 1301-1 (mandrin) Acier inoxydable (austénitique A2) selon NF EN 10088-3 (corps)
<p>1. Le diamètre correspond au diamètre extérieur de filetage.</p> <p>2. Les nuances indiquées sont des nuances minimales.</p> <p>3. La protection contre la corrosion est réalisée à la fabrication des fixations.</p>		

Annexe 2.2

Détermination de la résistance caractéristique des assemblages

- sollicités en traction : partie A ;
- sollicités en cisaillement : partie B.

1. Domaine d'application

Le présent document définit les méthodes d'essais applicables aux fixations des composants d'ossatures métalliques dans le cas des assemblages suivants :

- pattes équerre/profilés porteurs ;
- profilés porteurs/lisse intermédiaire ;
- profilés porteurs/platine (ou attache) d'accrochage des éléments de peau du bardage.

À l'exclusion de la fixation des éléments de peau, évaluée par ailleurs dans le cadre de l'instruction du dossier d'Avis Technique ou DTA du système.

Le présent document s'applique aux fixations conformes à l'annexe 2.1 ou lorsqu'il y est fait explicitement référence :

- vis autoperceuse ;
- vis autotaraudeuse ;
- rivet à rupture de tige ;
- boulon (vis + écrou).

2. Références normatives

Le présent document reprend certaines prescriptions et dispositions d'essais contenues dans les normes NF P 30-310 et NF P 30-314 en les étendant aux rivets et boulons.

Ces références normatives sont citées aux endroits appropriés dans le texte, et les publications sont énumérées ci-après. Pour les références datées, les amendements ou révisions ultérieurs de l'une quelconque de ces publications ne s'appliquent à cette norme que s'ils y ont été incorporés par amendement ou révision. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence s'applique.

NF EN ISO 7500-1	Matériaux métalliques - Vérification des machines pour essais statiques uniaxiaux – Partie 1 : Machines d'essai de traction/compression - Vérification et étalonnage du système de mesure de charge.
NF EN 10025	Produits laminés à chaud en aciers de construction non alliés - Conditions techniques de livraison.
NF P 30-310	Travaux de couverture et de bardage - Détermination de la résistance caractéristique d'assemblage – Méthode d'essai d'arrachement des fixations de leur support.
NF P 30-314	Travaux de couverture et de bardage – Détermination de la résistance caractéristique d'assemblage - Méthode d'essai d'arrachement de l'assemblage des plaques en tôle d'acier ou d'aluminium au support.

Annexe 2.3

Partie A : Résistance en traction

Remarque préliminaire :

Le premier essai caractérise la résistance à l'arrachement de la fixation dans son support et non pas la résistance de l'assemblage complet constitué des deux pièces assemblées par la fixation considérée.

En cas de nécessité, la résistance au « déboutonnage » de la pièce rapportée sous tête de fixation pourra être déterminée selon les dispositions définies ci-dessous après adaptation du montage d'essai.

1. Appareillage

1.1 Généralités

L'appareillage se compose pour l'essentiel d'une machine d'essai de traction de classe 1 conformément à la norme NF EN ISO 7500-1, de capacité minimale 1 000 daN, à axe vertical, dont les éléments principaux sont les suivants :

- une partie inférieure portant un dispositif d'attache ;
- une partie supérieure portant le second dispositif d'attache.

L'une ou les deux parties doivent permettre, de par leur conception, un alignement des dispositifs et de l'axe de chargement.

1.2 Description du dispositif d'essai

Le dispositif d'essai comporte :

- une pince à fixer dans le mors supérieur et destinée au maintien soit de la tête du rivet ou de la vis, soit de l'écrou ou de la tête du boulon ;
- un montage simulant le support à fixer dans les mors inférieurs de la machine.

Voir figure 2.1 et tableau 2.1.

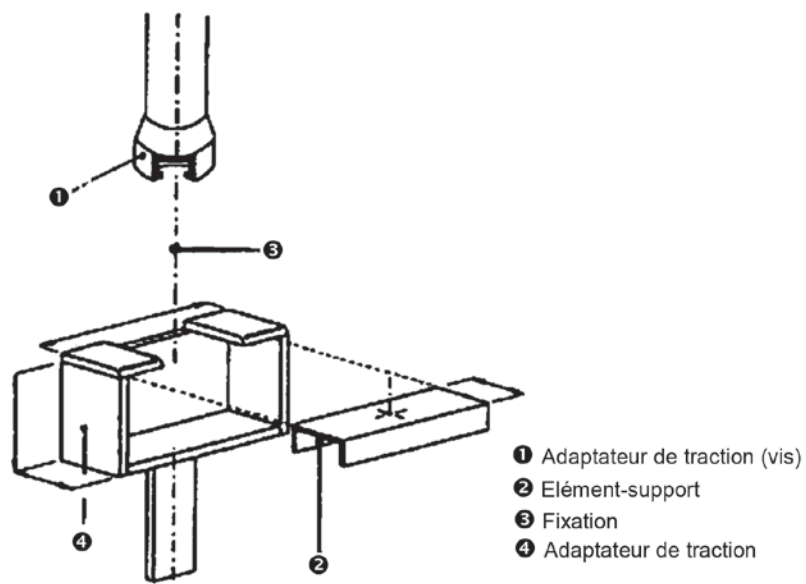
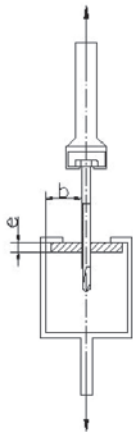
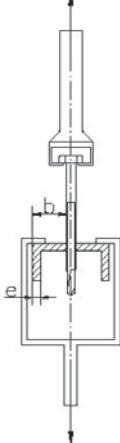
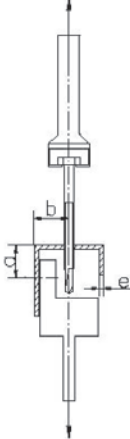
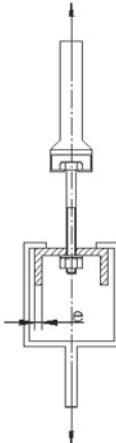
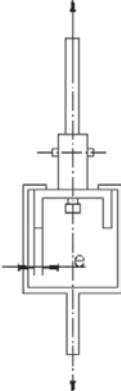


Figure 2.1 – Adaptateur de traction

Tableau 2.1 – Montages d'essai les plus courants : vis autotaraudeuse et autoperceuse pour supports métalliques (cf. NF P 30-310)

		
<p>Figure 1 – Supports épais ($e > 6$)</p>	<p>Figure 2 – Supports minces ($3 \leq e \leq 6$)</p>	<p>Figure 3 – Supports minces ($e < 3$)</p>
		
<p>Figure 4 – Adaptation boulon</p>	<p>Figure 5 – Adaptation rivet</p>	

Cotes à respecter pour l'élément ❹ adaptateur de traction pour les supports définis en figures 4 et 5 du tableau 2.1 :

- largeur utile intérieure de 150 mm + jeu nécessaire ;
- largeur d'ouverture supérieure de 80 mm + 1 mm ;
- hauteur utile de 80 mm + jeu nécessaire ;
- profondeur utile de 60 mm.

L'adaptateur de traction pour les rivets sera réalisé dans de l'acier de dureté supérieure à 700 HV 30 et percé d'un trou lisse de diamètre D défini dans le tableau ci-après :

Tableau 2.2 – Diamètre de pré-perçage dans la lisse

Diamètre nominal du rivet (d)		4,8	6,4
Diamètre du préperçage (D)	Nominal	4,9	6,5
	Tolérances	+ 0,1 0	+ 0,2 0

Nota : La valeur de D peut être choisie différente, dans le cas notamment où un jeu est prévu pour l'assemblage (dilatation par exemple).

Les épaisseurs sont égales aux épaisseurs nominales + 5 %. Les dimensions autres que l'épaisseur ont une tolérance de + 1 mm pour les éléments-supports métalliques.

1.3 Élément-support

L'élément-support est choisi compte tenu des conditions réelles d'utilisation et doit être identifié et caractérisé mécaniquement (essais en traction selon NF EN ISO 6892-1 (A03-001-1)) dans le rapport d'essai.

La nature et les caractéristiques mécaniques (rupture en traction et limite élastique) ainsi que les caractéristiques géométriques de l'élément-support sont relevées. Un schéma est joint au rapport d'essai.

1.4 Fixation

Le type de fixation doit correspondre à la fixation réellement utilisée dans la pratique.

Le fournisseur des fixations doit en indiquer la marque, le type et les caractéristiques géométriques et mécaniques qui doivent figurer dans le rapport d'essai.

La fixation est montée selon les spécifications du fournisseur de la fixation avec les outils et le couple préconisé ainsi que les diamètres des trous de perçages et préperçages éventuels.

1.5 Assemblage

En fonction du type de fixation, relever le cas échéant :

- les caractéristiques de réglage des matériels utilisés pour la mise en œuvre des fixations [outil de pose, couple de serrage (vis et boulons), limiteur de serrage (rivet), etc.] ;
- le diamètre du trou de préperçage ;
- nombre d'éprouvettes.

L'essai est réalisé pour 12 fixations du même type.

2. Mode opératoire

Réaliser le montage d'essai conformément à la figure 2.1 et au tableau 2.1.

Mettre en place cet ensemble dans les mors de la machine d'essai en s'assurant du bon centrage du chargement.

Appliquer la charge en réglant la vitesse de chargement de façon à respecter la condition : vitesse constante de charge < 500 daN/minute de façon que la ruine de l'assemblage intervienne sous effort statique et non par effet dynamique.

Noter les déformations éventuelles en cours d'essai.

Continuer jusqu'à la ruine de l'assemblage (désolidarisation arrachement de la fixation, etc.).

Noter le maximum d'effort P (en daN) enregistré par la machine.

3. Expression des résultats

Le rapport d'essai doit comporter :

- l'ensemble des données demandées à l'article 1 ;
- les charges maximales P (en daN) ayant entraîné la ruine des assemblages et les déformations correspondantes ;
- le mode de ruine de chacun des montages d'essai ;
- les courbes « charges/déformations » (en daN/mm). La déformation correspond au déplacement entre les deux plateaux de la machine ;
- la valeur de la résistance caractéristique à l'arrachement P_k d'une fixation, calculée selon les modalités suivantes :

À partir des douze valeurs des charges maximales mesurées P, on détermine la charge moyenne P_m et un écart-type estimé s :

$$P_m = \frac{\sum P}{12}$$

et

$$s = \sqrt{\frac{\sum (P - P_m)^2}{11}}$$

La résistance caractéristique à l'arrachement d'une fixation dans l'élément support testé est déterminée par :

$$P_k = P_m - 2s$$

Annexe 2.3

Partie B : Résistance en cisaillement

Remarque préliminaire :

Le présent essai caractérise la résistance de l'assemblage complet constitué de l'élément-support rapporté et de la fixation considérée.

Pour des raisons de commodité, les éléments-support et les éléments rapportés peuvent être constitués de plats réalisés dans les mêmes nuances de métal et en mêmes épaisseurs.

1. Appareillage

1.1 Généralités

L'appareillage se compose pour l'essentiel d'une machine d'essai de traction de classe 1 conformément à la norme NF EN ISO 7500-1, de capacité minimale 1 000 daN, à axe vertical, dont les éléments principaux sont les suivants :

- une partie inférieure portant un dispositif d'attache ;
- une partie supérieure portant le second dispositif d'attache.

L'une ou les deux parties doivent permettre, de par leur conception, un alignement des dispositifs et de l'axe de chargement.

1.2 Description du dispositif d'essai (cf. figures 2.2 et 2.3)

Dans sa forme la plus simple, le dispositif ne comporte que les mors inférieurs et supérieurs de la machine d'essai.

1.3 Éprouvette

L'éprouvette la plus simple est constituée de deux plats assemblés par la (ou les) fixation(s).

La largeur des plats est de 40 mm et leur longueur est d'au moins 200 mm.

L'éprouvette peut également être réalisée dans des segments de profilés des sections prévues, si en extrémité ils peuvent être façonnés pour être pris dans les mors de la machine en respectant l'alignement prescrit ci-dessous.

La nature et les caractéristiques géométriques des éléments assemblés sont relevées. Un schéma est joint au rapport d'essai.

Pour d'autres types de support, l'élément-support est choisi compte tenu des conditions réelles d'utilisation et doit être identifié et caractérisé (essais en traction) dans le rapport d'essai.

1.4 Fixation

Le type de fixation doit correspondre à la fixation réellement utilisée dans la pratique.

Le fournisseur des fixations doit en indiquer la marque, le type et les caractéristiques géométriques et mécaniques qui doivent figurer dans le rapport d'essai.

La fixation est montée selon les spécifications du fournisseur de la fixation avec les outils et le couple préconisé ainsi que les diamètres des trous de perçages et préperçages éventuels.

1.5 Assemblage

En fonction du type de fixation, relever le cas échéant :

- les caractéristiques de réglage des matériels utilisés pour la mise en œuvre des fixations [outil de pose, couple de serrage (vis et boulons), limiteur de serrage (rivet), etc.] ;
- le diamètre du trou de perçage et/ou de préperçage éventuel ;
- la distance aux bords des éléments-supports (δl et δt) ;
- la distance entre fixations s'il s'agit d'un montage à fixations multiples ;
- la présence de rondelles (d'appui et/ou de blocage).

Nota : Concernant les pré-perçages des éléments assemblés par rivets et à défaut de prescriptions particulières¹, on adoptera celles ci-après :

Tableau 2.3 – ...

Diamètre nominal du rivet (d)		4,8	6,4
Diamètre du préperçage (D)	Nominal	4,9	6,5
	Tolérances	+ 0,1 0	+ 0,2 0

2. Nombre d'éprouvettes

L'essai est réalisé sur 12 assemblages du même type.

3. Mode opératoire

Réaliser le montage d'essai conformément aux figures 2.3 et 2.4.

Mettre en place cet ensemble dans les mors de la machine d'essai en s'assurant du bon centrage du chargement.

Appliquer la charge en réglant la vitesse de chargement de façon à respecter la condition : vitesse constante de charge < 500 daN/minute, de façon que la ruine de l'assemblage intervienne sous effort statique et non par effet dynamique.

Noter les déformations éventuelles en cours d'essai.

Continuer jusqu'à la ruine de l'assemblage (désolidarisation, arrachement de la fixation, etc.).

Noter le maximum d'effort P (en daN) enregistré par la machine.

1. La valeur de D peut être choisie différente, dans le cas notamment où un jeu est prévu pour l'assemblage (dilatation par exemple).

4. Expression des résultats

Le rapport d'essai doit comporter :

- l'ensemble des données demandées à l'article 1 ;
- les charges maximales P (en daN) ayant entraîné la ruine des assemblages et les déformations correspondantes ;
- le mode de ruine de chacun des montages d'essai ;
- les courbes « charges/déformations » (en daN/mm). La déformation correspond au déplacement entre les deux plateaux de la machine ;
- la valeur de la résistance caractéristique au cisaillement P_k d'un assemblage, calculée selon les modalités suivantes :
à partir des douze valeurs des charges maximales mesurées P , on détermine la charge moyenne P_m et un écart-type estimé s :

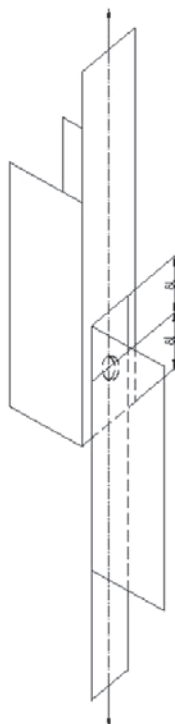
$$P_m = \frac{\sum P}{12}$$

et

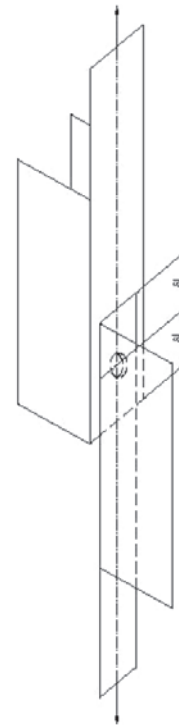
$$s = \sqrt{\frac{\sum (P - P_m)^2}{11}}$$

La résistance caractéristique au cisaillement d'un assemblage d'une fixation est déterminée par :

$$P_k = P_m - 2s$$



**Figure 2.3 – Dispositif d'essai –
Éprouvette réalisée avec des plats**



**Figure 2.4 – Dispositif d'essai –
Éprouvette réalisée dans des profilés**

Nota :

- Sauf indication contraire, les valeurs de δl et δt seront prises égales à celles de dl et dt correspondant aux valeurs de prince minimales (cf. § 2.2.4.2.1).
- Dans le cas de mâchoires équipées de mors auto-centreurs, on utilisera des cales pour obtenir l'alignement du plan d'assemblage sur l'axe des mâchoires.

Annexe 3

Définition des atmosphères extérieures – Protection contre la corrosion

1. Objet

Cette annexe a pour objet de définir les atmosphères extérieures et les protections correspondantes selon la nature des matériaux exposés en se basant sur les indications de la norme NF P 24-351. Elle renseigne également sur la compatibilité électrochimique.

2. Atmosphères extérieures directes (E₁₁ à E₁₉)

2.1 Atmosphère rurale non polluée : E₁₁

Milieu correspondant à l'extérieur des constructions situées à la campagne en l'absence de source de corrosion particulière, par exemple : retombées de fumée contenant des vapeurs sulfureuses.

2.2 Atmosphère normale urbaine ou industrielle : E₁₂

Milieu correspondant à l'extérieur des constructions situées dans des agglomérations petites ou moyennes et/ou dans un environnement industriel comportant une ou plusieurs usines produisant des gaz et des fumées créant un accroissement de la pollution atmosphérique sans être source de corrosion due à la forte teneur en composés chimiques.

2.3 Atmosphère sévère urbaine ou industrielle : E₁₃

Milieu correspondant à l'extérieur des constructions situées dans des agglomérations importantes et/ou dans un environnement industriel.

Par rapport à l'atmosphère décrite au § A.2.2, l'accroissement de l'agressivité est dû à la présence de composés chimiques, continue ou intermittente sans être à forte teneur et sans être source de corrosion importante.

2.4 Atmosphères marines

2.4.1 Atmosphère des constructions situées entre 10 et 20 km du littoral : E₁₄

2.4.2 Atmosphère des constructions situées entre 3 et 10 km du littoral : E₁₅

2.4.3 Bord de mer : E₁₆

Moins de 3 km du littoral, à l'exclusion des conditions d'attaque directe par l'eau de mer et les embruns (front de mer).

2.5 Atmosphères mixtes

2.5.1 Atmosphère mixte normale : E₁₇

Milieu correspondant à la concomitance de l'atmosphère marine de bord de mer E₁₆ et de l'atmosphère normale urbaine ou industrielle E₁₂.

2.5.2 Atmosphère mixte sévère : E₁₈

Milieu correspondant à la concomitance de l'atmosphère marine de bord de mer E₁₆ et de l'atmosphère sévère urbaine ou industrielle E₁₃.

2.5.3 Atmosphère agressive : E₁₉

Milieu où la sévérité des expositions décrites précédemment est accrue par certains effets tels que :

- corrosivité très importante ;
- l'abrasion ;
- les températures élevées ;
- les hygrométries élevées ;
- les dépôts de poussière importants ;
- les embruns en front de mer ;
- etc.

3. Atmosphères extérieures protégées et ventilées (E₂₁ à E₂₉)

Milieus correspondants à celui d'une lame d'air (ou volume d'air) ventilée, selon définition de la norme P 28-002 (NF DTU 33.1) à l'intérieur d'un bardage de type IV ou XIV, en excluant l'intérieur d'un profilé tubulaire même ventilé. Le comportement esthétique des surfaces considérées en elles-mêmes, dans un tel milieu, n'est pas pris en compte puisque non vu de l'extérieur des constructions.

Nota : Il est rappelé que dans un mur de type IV ou XIV, la paroi extérieure assure l'étanchéité à la pluie.

Remarque 1 : Selon le classement du bardage vis-à-vis de l'étanchéité à la pluie (types XIII et III ou types XIV et IV) et en fonction de leur disposition dans l'ouvrage de bardage, les profilés (porteurs verticaux ou lisses horizontales) pourront être considérés exposés en atmosphère extérieure directe (A.2) ou en atmosphère extérieure protégée et ventilée (A.3). Cette dernière atmosphère sera toujours celle considérée pour les pattes de fixation des profilés porteurs au gros œuvre (cf. § 2.1.3 du document de base).

Remarque 2 : Dans les différents tableaux de cette annexe, donnant les gammes de traitements utilisables, le symbole E.S. : Etude Spécifique indique que dans ce cas, l'appréciation définitive ou le choix d'un revêtement plus performant ou la définition de dispositions particulières doivent être arrêtés après consultation et accord de l'ensemble des parties concernées. Une telle étude est du ressort du fabricant.

Tableau 3.1 – Acier - Galvanisation à chaud (par trempage) sur produits finis ou semi-finis

Atmosphères extérieures directes ⁽¹⁾								
E ₁₁	E ₁₂	E ₁₃	E ₁₄	E ₁₅	E ₁₆	E ₁₇	E ₁₈	E ₁₉
Rurale	Urbaine ou industrielle		Marine			Mixte		Agressive
	Normale	Sévère	10 < d < 20 km	3 < d < 10 km	d < 3 km	Normale	Sévère	
(2)	(2)	395 g/m ²	(2)	(2)	395 g/m ²	395 g/m ²	395 g/m ²	E.S.
Atmosphères extérieures protégées et ventilées ⁽¹⁾								
E ₂₁	E ₂₂	E ₂₃	E ₂₄	E ₂₅	E ₂₆	E ₂₇	E ₂₈	E ₂₉
Idem E ₁₁	Idem E ₁₂	Idem E ₁₃	Idem E ₁₄	Idem E ₁₅	Idem E ₁₆	Idem E ₁₇	Idem E ₁₈	Idem E ₁₉

d = distance de la construction au littoral en km
E.S. Etude Spécifique
Spécifications du traitement de galvanisation en § 5.1.1.2 de la norme NF P 24-351 (en référence à la norme NF EN ISO 1461).
1. Définies aux § 2 et 3 de la présente annexe.
2. Masses locales minimales de revêtement.

	250 g/ m ²	(35 µm)	pour acier →	< 1,5 mm
Simple face	325 g/m ²	(45 µm)	pour acier →	≥ 1,5 mm < 3,0 mm
	395 g/ m ²	(55 µm)	pour acier →	≥ 3,0 mm < 6,0 mm

Tableau 3.2 – Acier de construction revêtu en continu par immersion à chaud

Atmosphères extérieures directes								
Rurale non polluée	Urbaine ou industrielle		Marine				Spéciale	
	Normale	Sévère	20 à 10 km	10 à 3 km	Bord de mer (< 3 km)	Mixte	Fort UV	Particulière
Z 350 ou ZM 175* ou ZA 300 ou AZ 185*	Z 350 ou ZM 175* ou ZA 300 ou AZ 185*	E.S	Z 450 ou ZM 200* ou AZ 185*	AZ 185* ou E.S	E.S	E.S	–	E.S
Atmosphères extérieures protégées et ventilées								
Rurale non polluée	Urbaine ou industrielle		Marine				Spéciale	
	Normale	Sévère	20 à 10 km	10 à 3 km	Bord de mer (< 3 km)	Mixte	Fort UV	Particulière
Z 275 ou ZM 120* ou ZA 255 ou AZ 185*	Z 275 ou ZM120* ou ZA 255 ou AZ 185*	E.S	Z 275 ou ZM 120* ou ZA 255 ou AZ 185*	Z 350 ou ZM175* ou ZA 300 ou AZ 185*	Z 450 ou ZM 200* ou AZ 185*	E.S	–	E.S

E.S. = Etude Spécifique.
1. Définies aux § 2 et 3 de la présente annexe.
Z 275 = 275 g/m² double face @ 20 µm/face
Z 350 = 350 g/ m² double face @ 25 µm/face
Z 450 = 450 g/ m² double face @ 32 µm/face

* Les revêtements « ZM » et « AZ » doivent faire l'objet d'une ETPM en cours de validité.

Tableau 3.3 – Acier – Revêtements prélaqués

Catégorie de revêtement selon norme XP P 34-301	Atmosphères extérieures directes								
	Rurale non polluée	Urbaine ou industrielle		Marine				Spéciale	
		Normale	Sévère	20 à 10 km	10 à 3 km	Bord de mer (< 3 km)	Mixte	Fort UV	Particulière
Face recto*	III	III	E.S	III	IV	V	E.S	VI	E.S
Face verso**	III	III	E.S	III	IV	V	E.S	E.S	E.S
Catégorie de revêtement selon norme XP P 34-301	Atmosphères extérieures protégées et ventilées								
	Rurale non polluée	Urbaine ou industrielle		Marine				Spéciale	
		Normale	Sévère	20 à 10 km	10 à 3 km	Bord de mer (< 3 km)	Mixte	Fort UV	Particulière
Face recto*	III	III	E.S	III	III	IV	E.S	IV	E.S
Face verso**	II	II	E.S	II	IV	V	E.S	E.S	E.S
(*) : Correspond à la face directement en contact avec l'élément de bardage.									
(**) : Correspond à la face côté lame d'air ventilée.									
E.S. = Etude Spécifique.									

Tableau 3.4 – Aluminium – Brut ou anodisé (*)

Atmosphères extérieures directes ⁽¹⁾								
E ₁₁	E ₁₂	E ₁₃	E ₁₄	E ₁₅	E ₁₆	E ₁₇	E ₁₈	E ₁₉
Rurale	Urbaine ou industrielle		Marine			Mixte		Agressive
	Normale	Sévère	10 < d < 20 km	3 < d < 10 km	d < 3 km	Normale	Sévère	
AA15	AA15	AA15	AA15	AA15	AA15	AA20	AA20	E.S.
Atmosphères extérieures protégées et ventilées ⁽¹⁾								
E ₂₁	E ₂₂	E ₂₃	E ₂₄	E ₂₅	E ₂₆	E ₂₇	E ₂₈	E ₂₉
Pas de nécessité de protection particulière								E.S.
d = distance de la construction au littoral en km. E.S. = Etude Spécifique. 1. Définies aux § 2 et 3 de la présente annexe. (*) Conservation d'aspect uniquement. Les symboles des classes d'épaisseur d'anodisation sont ceux de l'ancienne norme NF A 91-450 : AA 15 = 15 µm d'épaisseur moyenne minimale AA 20 = 20 µm d'épaisseur moyenne minimale								

Tableau 3.5 – Acier inoxydable

Atmosphères extérieures directes ⁽¹⁾									
Nuance d'acier	E ₁₁	E ₁₂	E ₁₃	E ₁₄	E ₁₅	E ₁₆	E ₁₇	E ₁₈	E ₁₉
	Rurale	Urbaine ou industrielle	Marine			Mixte		Agressive	
		Normale	Sévère	10 < d < 20 km	3 < d < 10 km	d < 3 km	Normale	Sévère	
(3)	■	■	○	■	■	○	○	–	–
(5)	■	■	○	■	■	■	■	○	○
Atmosphères extérieures protégées et ventilées ⁽¹⁾									
	E ₂₁	E ₂₂	E ₂₃	E ₂₄	E ₂₅	E ₂₆	E ₂₇	E ₂₈	E ₂₉
(3)	■	■	■	■	■	■	■	○	○
(5)	■	■	■	■	■	■	■	■	○

d = distance de la construction au littoral en km.
 * Ce tableau est établi pour les aspects à rugosité du type 2D, 2B, 2R, 2K, 2P définis dans la norme NF EN 10088-2.
 ■ Nuance adaptée ○ Étude spécifique – Non adapté.
 1. Définies aux § 2 et 3 de la présente annexe.
 3. Nuance 1.4301_ X5 Cr Ni 18-10 (ancienne CN 18-09 / 304).
 5. Nuance 1.4404_X2 Cr Ni Mo 17-12-2 (ancienne Z3 CND 17-12-02 / 316L).

Tableau 3.6 – Compatibilités électrochimiques

		Matériaux de fixation (vis, rivets ...)				
Matériaux Constituants de l'ossature	Atmosphères types	Alliages d'aluminium	Acier revêtu de zinc	Acier inox	Alliages de cuivre-zinc	Alliages Nickel-cuivre
Aluminium Alliages d'aluminium (Cu < 1 %)	E 21 E 22 E 24 - E 25	■ ■ ■	– – –	■ ■ ○	○ ○ –	■ ■ ■
Aluminium et Alliages d'aluminium anodisés	E 21 E 22 E 24 - E 25	■ ■ ○	○ – –	■ ■ ■	○ ○ –	■ ■ ■
Acier zingué	E 21 E 22 E 24 - E 25	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ○	■ ■ ■
Acier inoxydable	E 21 E 22 E 24 - E 25	○ – –	– – –	■ ■ ■	○ ○ –	■ ■ ■

1. ■ Compatible.
 2. ○ Étude Spécifique.
 3. – Non adapté.

Annexe 4 Éléments de calcul thermique

Le calcul du coefficient de transmission thermique surfacique U_p s'effectue selon le fascicule 4 (Parois Opaques) des règles Th-U, édition sept.2015, d'après la formule suivante :

$$U_p = U_c + \sum_i \frac{\psi_i}{E_i} + n \cdot \chi_j$$

Avec :

U_c est le coefficient de transmission thermique surfacique en partie courante, exprimé en $W/(m^2.K)$ et calculé à partir de la formule suivante :

$$U_c = \frac{1}{\sum \frac{e_i}{\lambda_i} + 2R_{si}}$$

Où

$\sum \frac{e_i}{\lambda_i}$ la somme des résistances thermiques des couches de matériaux homogènes situées en partie courante.

Note : Dans le cas d'un bardage ventilé, la résistance thermique du bardage n'est pas prise en compte et la résistance thermique superficielle extérieure est remplacée par la résistance thermique superficielle intérieure. $R_{se} = R_{si} = 0,13 m^2.K/W$.

ψ_i est le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique intégré i , en $W/(m.K)$.

E_i est l'entraxe du pont thermique linéique i , en m.

n est le nombre de ponts thermiques ponctuels par m^2 de paroi.

χ_j est le coefficient de transmission thermique ponctuel du pont thermique intégré j , en W/K .

Les coefficients ψ et c doivent être déterminés par simulation numérique conformément à la méthode donnée dans les règles Th-Bât, fascicule Ponts thermiques. En absence de valeurs calculées numériquement, les valeurs par défaut données ci-dessous, peuvent être utilisées.

1. Hypothèses

Les valeurs par défaut des coefficients de déperdition linéique Ψ ($W/(m.K)$) et ponctuelle χ (W/K) données ci-après, sont valables dans le cadre des hypothèses suivantes :

- Mur support : Béton, maçonnerie courante
- Isolants thermiques : $0,029 \leq \lambda \leq 0,05 W/(m.K)$
- Patte équerre : acier ou alliage d'aluminium selon le type de montant
- Montant : en acier (profilé en Ω d'épaisseur 2 mm) ou en alliage d'aluminium (profilé en T d'épaisseur 2,5 mm)
- Épaisseur d'isolant traversée par le montant : Ossature métallique $e \leq 30$ mm
- Isolant fixé ponctuellement par des fixations synthétiques (ex. : plastique) sans éléments métalliques

2. Valeurs par défaut

	Coefficient χ des pattes équerres en W/K			
	Montant et patte en alliage d'aluminium		Montant en Ω et patte en acier	
Épaisseur isolation	Section transversale des pattes équerres au niveau de l'isolant			
	100 mm ²	450 mm ²	100 mm ²	450 mm ²
50 mm	0,093	0,230	0,050	0,116
100 mm	0,083	0,212	0,035	0,089
200 mm	0,057	0,174	0,021	0,057
250 mm	0,049	0,157	0,017	0,048
300 mm	0,043	0,140	0,015	0,041
Valeurs calculées pour e = 30 mm				

Interpolations linéaires possibles

Extrapolations linéaires possibles pour des sections de pattes équerres ≤ 600 mm² et pour des épaisseurs d'isolant ≤ 400 mm.

Toutes épaisseurs d'isolant	Coefficient χ des chevilles synthétiques en W/K
	0,0

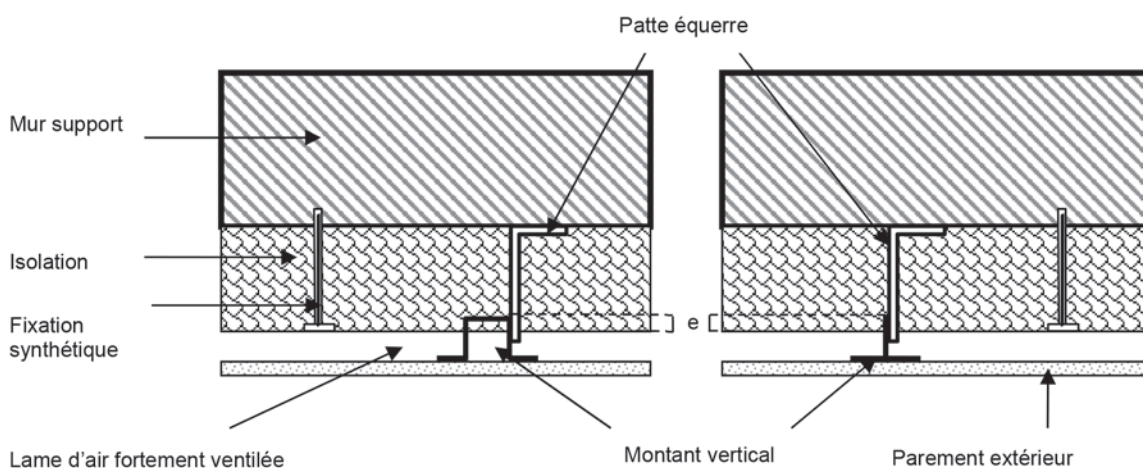


Figure 4.1 – Principe du bardage rapporté (coupe horizontale)

Coefficient Ψ des ponts thermiques linéaires en W/m.K			
Epaisseur isolation	Montant et patte en aluminium	Montant en Ω en acier	Profilé métallique de fractionnement
50 mm	0,004	0,075	1,06
100 mm	0,003	0,020	1,00
200 mm	0,002	0,005	0,85
250 mm	0,001	0,003	0,80
300 mm	0,0	0,002	0,75

Interpolations et extrapolations linéaires possibles pour des épaisseurs d'isolant comprises entre 50 et 400 mm.

3. Exemple du calcul du coefficient U_p pour un bardage métallique.

Description de la paroi :

- Mur en béton d'épaisseur = 180 mm
- Montant aluminium
- Entraxe horizontal des montants = 600 mm
- Entraxe vertical des pattes équerres = 1350 mm
- Patte équerre en aluminium, section = 100 mm²
- Première couche d'isolant derrière montants :
e₁ = 90 mm, λ_1 = 0,04 W/(m.K)
- Deuxième couche d'isolant entre montants :
e₂ = 60 mm, λ_2 = 0,04 W/(m.K)
- Pas de profilé de fractionnement de la lame d'air

Calcul du coefficient de transmission U_p :

$$U_p = U_c + \sum_i \frac{\Psi_i}{E_i} + n \cdot \chi_j$$

$$U_c = 1/(0,26 + (0,15/0,04) + (0,18/2)) = 0,244 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$\Psi \text{ (montant alu)} = 0,0025 \text{ W/(m.K)}$$

$$\chi \text{ (patte équerre alu)} = 0,07 \text{ W/K}$$

$$n = 1/(0,6 \times 1,35) = 1,2 \text{ patte/m}^2$$

$$U_p = 0,244 + \frac{0,0025}{0,6} + 1,2 \times 0,07 = 0,33 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Annexe 5

Éléments à prendre en compte dans le dimensionnement d'une ossature de bardage rapporté

La présente annexe n'a pas pour objet de donner les moyens d'effectuer des calculs fins en vue d'optimiser la conception d'une ossature métallique : ces moyens (méthode de calcul, analyse) sont développés dans des ouvrages techniques dont disposent les spécialistes (résistance des matériaux, charpentes métalliques, etc.).

L'objet est de montrer, à travers quelques cas de configurations simples et courantes, l'influence de la répartition des charges sur un profilé, en particulier vis-à-vis des déformations entre appuis (flèche) et d'indiquer les valeurs maximales :

- de la flèche ;
- de contrainte en flexion (moment fléchissant) ;
- de la réaction de l'appui le plus sollicité.

en vue de rendre compréhensible au lecteur la démarche de vérification dans l'application proposée en exemple.

Cas A : Ossature simple constituée d'un réseau de profilés porteurs verticaux sur lesquels viennent se fixer directement les éléments de paroi

Données à prendre en compte

- calepinage des éléments de paroi ;
- masse surfacique du bardage (parement + ossature) ;
- effets du vent ;
- efforts repris par les fixations dans le gros œuvre support sous les charges de poids propre et/ou de vent ;
- flèche admissible des profilés porteurs (la flèche admissible des éléments de paroi précisée dans l'Avis Technique est supposée avoir été vérifiée lors du calepinage) ;
- inertie des profilés porteurs. Elle peut être imposée ou à déterminer ;
- performance(*) des pattes de fixations des profilés porteurs au support pour les diverses sollicitations attendues en œuvre ;
- performance(*) des assemblages des pattes sur les profilés ;
- performance(*) des ancrages dans le gros œuvre (chevilles). Elle dépend du type de fixation et de la nature du support considéré.

(*) suivant le référentiel vent choisi, il s'agit d'une :

- résistance admissible dans le cas d'une vérification aux contraintes admissibles lorsque sont utilisées les NV 65 modifiées
- valeur de calcul dans le cas d'une vérification aux états limites lorsqu'est utilisé l'EC 1 P1-4.

Validation

• Effets du vent

Ils doivent être calculés soit d'après les Règles NV 65 modifiées soit d'après l'Eurocode 1991-1-4 et son Annexe nationale (AN).

• Calepinage des éléments de paroi

Sur ce type d'ossature, il s'agit le plus souvent de grandes plaques en disposition verticale ou horizontale ou de lames ou planches posées à l'horizontale.

Ce calepinage prend en compte la résistance admissible ou à l'état limite de service des éléments de peau par rapport aux flèches à prendre à compte et à la résistance des fixations, ces deux critères vont imposer un écartement maximum entre les profilés porteurs.

La masse surfacique du bardage est à considérer vis-à-vis des charges de poids propre reprises par les pattes de point fixe (attache-poids). Elle peut conditionner la longueur des profilés et/ou leur écartement ou conduire à l'augmentation du nombre d'attaches (doublement ponctuel) ou du nombre des chevilles par attache (platine élargie).

• Flèche des profilés

Elle est fonction de l'inertie du profilé et de la distance entre pattes de fixation le long de ce dernier et de la charge de vent reprise par ce profilé, laquelle dépend pour une pression (ou dépression) donnée de l'écartement entre les profilés. Elle est à vérifier par calcul.

• Inertie des profilés

Elle peut être imposée par la section d'un profilé unique, à choisir dans une gamme ou être à déterminer en vue d'une fabrication à façon.

À l'inertie donnée d'un profilé, correspondra un entraxe maximum des pattes le long de ce profilé, de façon à respecter l'exigence de flèche maximale.

• Performance(*) des pattes de fixation

Celle-ci déterminée conformément aux modalités de l'annexe 1 sera comparée :

- aux efforts repris par l'attache de point fixe vis-à-vis du poids propre (masse du parement et de l'ossature) et des effets du vent ;
- aux efforts résultant des effets du vent en pression et dépression pour les attaches des points « glissants ».

Remarque : il est interdit de panacher les Règles NV 65 modifiées et l'EC1 P1-4 et son AN, pour la vérification d'un ouvrage complet : patte-équerre, profilés, lisses éventuelles, éléments de peau du bardage et tous les assemblages liaisonnant ces éléments.

Les efforts dus aux effets du vent (sur le site considéré) et repris par un profilé porteur ont pour valeur :

$$F_1 = P \times L \times e \times kr$$

Avec :

- F_1 en newtons
- P en pression (dépression) en Pa
- L longueur du profilé en mètre
- e écartement entre profilés en mètre
- kr coefficient dépendant du nombre de profilés intéressés par les fixations d'un élément de peau (coefficient de « continuité »).

(*) suivant le référentiel vent choisi, il s'agit d'une :

- résistance admissible dans le cas d'une vérification aux contraintes admissibles lorsque sont utilisées les NV 65 modifiées
- valeur de calcul dans le cas d'une vérification aux états limites lorsqu'est utilisé l'EC 1 P1-4.

L'effort repris par une patte de fixation donnée, le long du profilé est égal à :

$$F_2 = q \times \ell \cdot k_r$$

Avec :

F_2 Force en newtons

$q = \frac{F_1}{L}$ Force unitaire reprise par le profilé en newton/mètre

L Entraxe des pattes le long du profilé en mètre

k_r Coefficient de réaction d'appui dépendant du nombre de pattes le long du profilé, de la position de la patte et de la répartition des efforts.

Cas B : Ossature croisée constituée d'un réseau de profilés porteurs verticaux sur lesquels viennent se fixer des lisses horizontales supportant les éléments de paroi

Données à prendre compte

Aux données du cas A précédent, s'ajoutent :

- les flèches à prendre en compte des profilés de lisses,
- l'inertie des profilés de lisses,
- la performance(*) des assemblages lisses/profilés.

Validation

On ne reprend que les points spécifiques (nouveaux ou traités différemment) au cas B.

• Calepinage des éléments de paroi

Sur ce type d'ossature, l'association éléments de peau et lisses horizontales support est généralement définie dans l'Avis Technique ou cahier des charges.

• Flèche et inertie des profilés de lisse horizontale

Ces données sont le plus souvent indiquées dans l'Avis Technique.

• Résistance des assemblages lisse/profilé porteur

Celle-ci, déterminée conformément aux modalités de l'annexe 2.2, sera comparée :

- aux efforts de vent en dépression en tenant compte de l'éventuel effet de levier résultant de la géométrie de la lisse ;
- aux efforts dus aux charges de poids propre.

Remarque : Dans ce cas, on devra considérer que les profilés supportant les lisses sont chargés ponctuellement au droit de la fixation des lisses et non pas de façon linéaire.

1. Flèche et moments fléchissants maximaux, réaction aux appuis

1.1 Profilés porteurs verticaux

1.1.1 Rappel de l'exigence

Vérification de la flèche sous les effets du vent $f < \frac{\ell}{200}$, selon NV 65 modifiées et $f < \frac{\ell}{167}$, au sens Eurocode 1991-1-4 et son Annexe nationale l'étant la portée entre deux pattes de fixations au gros œuvre support.

1.1.2 Hypothèses de chargement

Les calculs seront effectués en tenant compte des points d'application des charges transmises par les éléments de paroi aux profilés verticaux et matérialisés soit directement par les fixations de ces éléments, soit par l'intermédiaire du réseau de lisses horizontales.

Remarque : Seules les grandes plaques et/ou lames en disposition horizontale fixées directement par vis ou rivets sur les profilés verticaux sont assimilables à un chargement uniformément réparti sous les effets du vent et **seulement en pression**.

1.1.3 Cas des profilés fixés en deux points

Profilés de faible longueur utilisés en allège de fenêtre ou profilés de hauteur d'étage fixés en nez de plancher.

On utilisera les formules des poutres isostatiques pour les profilés dont la section ne laisse pas de doute quant à son comportement sous charge vis-à-vis des phénomènes de déformation localisée (déversement, voilement, etc.).

Les formules ci-après montrent l'influence des points d'application répartissant une même charge P le long du profilé vis-à-vis de la flèche, du moment fléchissant et de la réaction aux appuis.

(*) suivant le référentiel vent choisi, il s'agit d'une :

- résistance admissible dans le cas d'une vérification aux contraintes admissibles lorsque sont utilisées les NV 65 modifiées
- valeur de calcul dans le cas d'une vérification aux états limites lorsqu'est utilisé l'EC 1 P1-4.

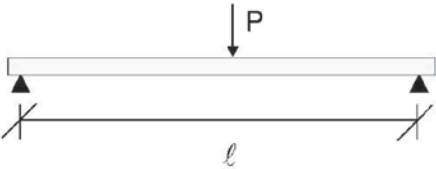
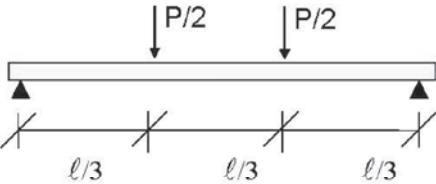
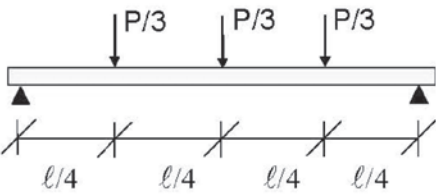
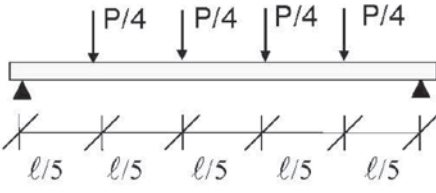
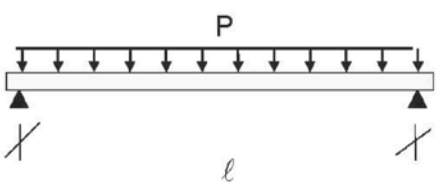
	Flèche	Moment maximum	Réaction aux appuis
	$f \approx \frac{P \ell^3}{48 EI}$	$\frac{P \ell}{4}$	$\frac{P}{2}$
	$f \approx \frac{P \ell^3}{56 EI}$	$\frac{P \ell}{6}$	$\frac{P}{2}$
	$f \approx \frac{P \ell^3}{60 EI}$	$\frac{P \ell}{6}$	$\frac{P}{2}$
	$f \approx \frac{P \ell^3}{63 EI}$	$\frac{P \ell}{67}$	$\frac{P}{2}$
	$f \approx \frac{P \ell^3}{77 EI}$	$\frac{P \ell}{8}$	$\frac{P}{2}$

Figure 5.1 – Différents cas de charges

ou

$$f = \frac{5}{8} \cdot \frac{P \ell^3}{48 EI}$$

Avec

- P = effort appliqué sur la travée ;
 l = distance entre appuis (fixations) ;
 E = module d'élasticité du métal ;
 I = inertie de la section de profilé.

Remarques : À travers les divers cas de chargement ci-dessus (tous symétriques), on observe que :

- les points d'attaches (ou appuis) reprennent chacun, toujours la moitié de la charge totale P ;
- le moment fléchissant maximum du profilé est diminué de moitié lorsque la charge est uniformément répartie ;
- la valeur de flèche sous charge uniformément répartie n'atteint que les $\frac{5}{8}$ de la flèche résultant d'une même charge concentrée en milieu de portée.

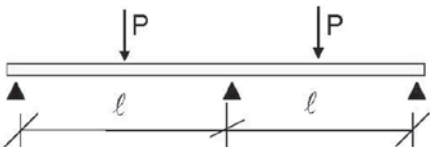
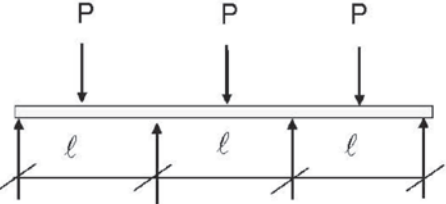
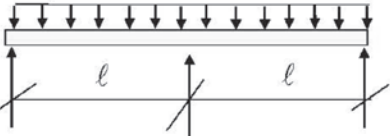
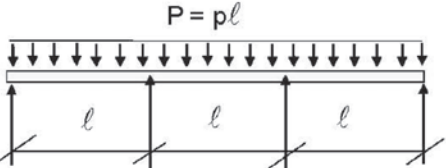
1.1.4 Cas des profilés fixés en plusieurs points

Avec les mêmes réserves que dans le cas précédent, on utilisera les formules relatives aux poutres continues.

Lorsque les appuis sont choisis équidistants, les travées les plus déformables sont celles situées en extrémité des montants.

On peut cependant choisir d'avoir des déformations égales sur chaque travée, et donc de déterminer par le calcul les entraxes correspondants.

Pour les différents cas de charge ci-après, on donne les valeurs maximales de flèche, de moment fléchissant et de réaction aux appuis.

Charge centrée	Flèche	Moment maximum	Réaction aux appuis
	$\frac{P\ell^3}{110 EI}$	$\frac{P\ell}{64}$	1,37 P
	$\frac{P\ell^3}{87 EI}$	$\frac{P\ell}{57}$	1,15 P
Charge répartie : $P = p\ell$			
	$\frac{P\ell^3}{185 EI}$	$\frac{P\ell}{14,2}$	1,25 P
	$\frac{P\ell^3}{148 EI}$	$\frac{P\ell}{12,5}$	1,10 P

Avec $P =$ effort appliqué par travée (en charge répartie $P = p\ell$, p étant la charge par unité de longueur)

$\ell =$ distance entre fixations

$E =$ module d'élasticité

$I =$ Inertie de la section de profilé

Figure 5.2 – Différents cas de charges

Remarque : On observe que pour une même charge, la flèche localisée sous charge ponctuelle centrée est environ 1,7 fois plus importante que sous charge uniformément répartie.

De même pour le moment fléchissant maximum qui est environ 2,2 fois plus élevé.

Les écarts sur les réactions d'appuis sont plus faibles. La réaction d'appui minimale est celle des pattes d'extrémité et vaut 0,375 PI pour 3 appuis et 0,4 PI pour 4 appuis et plus.

Toutes choses égales par ailleurs, on observe que les valeurs maximales de flèche sont à peu près divisées par un facteur 2 en passant de 2 à n fixations par profilé ($n > 3$).

1.2 Lisses horizontales

1.2.1 Rappel de l'exigence de flèche (f)

$f \leq 1/300$ de la portée dans le plan vertical (charge de poids propre).

$f \leq 1/100$ de la portée dans le plan horizontal (effets du vent) selon NV 65 modifiées ou 1/83 selon l'Eurocode 1991-1-4 et de son Annexe nationale (AN).

1.2.2 Hypothèses de chargement

Les calculs seront effectués en tenant compte des points d'application des charges transmises par les éléments de paroi et les formules données pour les profilés porteurs verticaux peuvent être utilisés avec les mêmes réserves.

Cependant à de rares exceptions près, les profilés de lisses sont spécifiques aux éléments de paroi et dessinés en fonction du mode d'assujettissement de ces éléments aux lisses (rainures, clips, crochets, etc.).

Il en résulte que pour ces systèmes non isostatiques tant pour les charges de poids propre que pour celles résultant de l'action du vent, un essai sur grande maquette sera le plus souvent nécessaire pour établir les performances du bardage. La confection des maquettes et la réalisation des essais permettront de vérifier les exigences de flèche plus sûrement que par le calcul.

2. Exemples de vérification de dimensionnement selon Règles NV 65 modifiées

a) Données de l'opération à réaliser

• Bâtiment à revêtir

Immeuble à base rectangulaire, de forme parallélépipédique, de hauteur 20 mètres, situé en zone 2, site exposé.

• Système de bardage proposé

Grandes plaques de stratifié (HPL) rivetées sur ossature aluminium, librement dilatable (cas A)

• Format des plaques : $H \times L = 1,8 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$

• Masse surfacique : 9 kg/m^2

Les plaques ne devant pas « ponter » 2 profilés successifs et la longueur de ces derniers étant limitée à 6 mètres, la longueur des montants d'ossature aluminium de 2 mm d'épaisseur minimale sera un multiple de la hauteur des panneaux soit $1,8 \times 3 = 5,4 \text{ m}$.

b) Validation

2.1 Effets du vent

On utilise les Règles NV 65 modifiées, soit pour un bâtiment de hauteur $< 30 \text{ m}$: dépression sous vent normal.

• Partie courante = 470 Pa

• Zones de rive = 940 Pa

Remarque : La pression en partie courante peut aussi, dans certaines configurations, être un facteur dimensionnant.

L'Avis Technique indique que des plaques de ce format, fixées tous les $0,5 \text{ m}$ le long des profilés eux-mêmes posés en entraxe de $0,6 \text{ m}$, peuvent supporter ces dépressions, y compris en rives du bâtiment.

2.1.1 Efforts sur les profilés

La charge appliquée à un profilé porteur par longueur d'un mètre a pour valeur :

$$p = 940 \times 0,6 \times \text{Pa.m} = 564 \text{ N/m}$$

Pour le profilé intermédiaire situé en milieu de panneau, cette charge est à majorer par le coefficient 1,25 (les panneaux « reposent » sur 3 appuis) soit :

$$564 \text{ N/m} \times 1,25 = 705 \text{ N/m}$$

2.1.1.1 Vérification de la flèche

• Les caractéristiques d'inertie des profilés sont indiquées dans l'Avis Technique ou DTA :

$$I = 20 \text{ cm}^4 \text{ et } I/V = 4 \text{ cm}^3$$

• La flèche admissible selon Règles NV 65 modifiées prise par le profilé entre deux pattes de fixation est :

$$f_{\max} = \frac{\ell}{200}$$

• L'entraxe de fixation des plaques de parement sur les profilés est de 50 cm . Sous dépression du vent, on ne peut pas considérer que c'est une charge uniformément répartie.

En se plaçant du côté de la sécurité, on admettra par excès qu'il s'agit d'une charge ponctuelle, dans ce cas, la formule donnant la flèche est :

$$f_{\max} = \frac{kP\ell^3}{EI}$$

Avec :

k : coefficient dépendant du nombre de pattes

P : charge appliquée entre 2 pattes ($P = p\ell$)

ℓ : distance entre les pattes (portée en mm)

E : module d'élasticité, pour l'alu $E = 71\,000 \text{ N/mm}^2$

I : inertie du profilé : 20 cm^4 ($20 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$)

De l'exigence $f_{\max} = \frac{\ell}{200}$ et $P = p\ell$, la formule s'écrit

$$\frac{\ell}{200} = \frac{kp\ell^3}{EI}$$

d'où l'on tire $\ell =$, en prenant $k = 10^{-2}$ pour simplifier

$$\left(\text{valeur } \frac{1}{87} \right)$$

Tous calculs faits :

$$\ell = \left(\frac{71000 \times 20 \cdot 10^4}{10^{-2} \cdot 200 \cdot 0,705} \right)^{1/3} = 2159 \text{ mm}$$

Cette valeur est inférieure à la demi-longueur du profilé, on prendra donc la valeur du tiers, soit $\frac{5,4}{3} = 1733 \text{ mm}$ pour répartir également les pattes.

2.1.1.2 Vérification des contraintes dans le profilé

σ_{\max} = contrainte admise pour l'alu : 100 N/mm^2 .

$$\text{La contrainte } \sigma_v = \frac{M_f}{I/V}$$

M_f : moment fléchissant maximum

I/V : module d'inertie de la section du profilé selon l'axe sollicité

Pour un profilé avec 4 attaches (appuis) :

$$M_f = \frac{P\ell}{5,7} = \frac{p\ell^2}{5,7} \text{ d'où } \sigma_v = \frac{p\ell^2}{5,7 I/V}$$

$$\sigma_v = \frac{0,705 \times (1,733)^2 \cdot 10^6}{5,7 \cdot 4 \cdot 10^3} = 93 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_v < \sigma_{\max}$$

2.1.2 Effort transmis aux pattes de fixation

Cette reprise d'effort a pour valeur $F = k_r p \ell$, k_r étant un coefficient dépendant du nombre de patte et de leur situation le long du profilé.

2.1.2.1 Patte de point fixe (en tête du profilé)

Pour le profilé maintenu par 4 attaches $k_r = 0,4$ et $\ell = 1,73$, $F_f = 0,4 \times 705 \times 1,73 = 488 \text{ N}$.

2.1.2.2 Patte de point coulissant (intermédiaire et pied de profilé)

Pour les pattes les plus sollicitées $k_r = 1,15$ et $F_c = 1,15 \times 705 \times 1,73 = 1\,402 \text{ N}$.

Ces valeurs sont à comparer d'une part à la résistance caractéristique (P_k) des assemblages, déterminée selon les modalités de l'annexe 2.2, affectée du coefficient de sécurité correspondant au type de fixation pour obtenir la valeur de résistance admissible (R_a), et d'autre part aux performances des pattes établies selon les modalités de l'annexe 1, première partie.

2.1.3 Résistance de l'assemblage

Soit $P_k = 33\,00 \text{ N}$, la résistance caractéristique de l'assemblage patte/profilé réalisé par un seul rivet. L'application d'un coefficient de sécurité de 3 (en considérant un λM de 1,7) conduit à une résistance admissible R_a de $1\,100 \text{ N}$ d'où il résulte que $R_a < F_c$, il faut donc soit augmenter R_a ou diminuer F_c .

Pour augmenter R_a , il faut réaliser l'assemblage (patte-équerre sur profilé en T) avec 2 rivets au moins.

Pour diminuer la valeur de F_c , il convient de réduire la portée (ℓ) et donc d'ajouter une patte supplémentaire. La nouvelle valeur de ℓ devient alors :

$$\frac{5400}{n-1} = \frac{5400}{4} = 1350 \text{ mm ou } 1,35 \text{ m}$$

et $F_c = k_r p \ell$ avec $k_r = 1,15$

d'où $F_c = 1,15 \times 705 \times 1,35 = 1\,094 \text{ N}$ et $F_c < R_a$

2.1.4 Résistance des pattes-équerres

Il a été établi que la patte la plus sollicitée était une patte de point coulissant avec $F_c = 1\,402 \text{ N}$.

La valeur de résistance caractéristique R_c établie expérimentalement (cf. Annexe 1, 2^e partie) devra être au moins égale à $2\,804 \text{ N}$ pour que la valeur de résistance admissible $R_a > 1\,402 \text{ N}$ compte tenu du coefficient de sécurité de 2.

Pour la patte de point fixe, la reprise d'effort en traction (effet du vent en dépression) est plus faible car $K_r = 0,4$ d'où $F_p = 0,4 \times 705 \times 1,73 = 488 \text{ N}$.

2.2 Charge de poids propre

Dans le concept ossature librement dilatable, seule la patte de point fixe reprend ces charges :

$$Q_p = (L \times e \times m_s) + (m_p \times L)$$

Avec :

L : longueur du profilé = $5,4 \text{ m}$

E : entraxe des profilés = $0,6 \text{ m}$

m_s : masse surfacique du parement = 90 N/m^2

m_p : masse du profilé = 11 N/m^2
(ramenée au m^2 de parement)

Soit dans cet exemple :

$$Q_p = (5,4 \times 0,6 \times 90) + (11 \times 5,4) = 350 \text{ N}$$

2.2.1 Résistance de l'assemblage

Pour réaliser l'encastrement nécessaire entre patte de point fixe et profilé, il est nécessaire de fixer en au moins deux points (vis ou rivet).

Dans le cas de patte-équerre de longueur d'aile $\approx 100 \text{ mm}$, deux points de fixation distants entre eux de 30 mm subissent un moment (bras de levier) d'environ 3 (cf. § 2.2.4.1 du document). L'effort de cisaillement appliqué aux rivets sera donc de $F_c = 350 \times 3 = 1\,050 \text{ N}$.

Si la valeur caractéristique (P_k) de ruine d'un tel assemblage (cf. annexe 2.2) n'est pas au moins 3 fois supérieure à F_c , il sera nécessaire d'ajouter des fixations.

2.2.2 Résistance des pattes-équerres

L'annexe 1 « Détermination des caractéristiques mécaniques des attaches destinées à la fixation des profilés sur la structure porteuse » précise que le coefficient de sécurité à prendre dans ce cas de figure (1 seule patte chargée) est de 2,25. La patte devra donc être qualifiée pour une résistance critique $R_C \approx 790 \text{ N}$.

Remarque : Compte-tenu du type de bardage avec un joint de fractionnement horizontal tous les 5,40 mètres, la déformation sous charge en nez de patte peut être acceptée $> 1 \text{ mm}$.

2.3 Effort sur les ancrages

2.3.1 Patte de point fixe

Comme établi ci-avant (cf. § 2.2), cette patte reprend l'ensemble des charges verticales (cisaillement) soit $F_p = 350 \text{ N}$.

Cette patte reprend les efforts de vent (traction cf. § 2.1.4) pour $F_v = 488 \times 2 = 976 \text{ N}$, 2 étant le coefficient « forfaitaire » d'excentrement des pattes-équerres, vis-à-vis de la position de la cheville d'ancrage sur leur aile d'appui au support.

Les efforts à reprendre par la cheville de fixation en point fixe seront donc :

Traction : 976 N (100 daN)

Cisaillement : 350 N (35 daN)

Effort combiné : $1\,037 \text{ N}$ (104 daN) (traction oblique)

2.3.2 Patte de point coulissant

Pour ces pattes, il n'y a que les efforts de vent à considérer, soit $F_v = 1\,402 \text{ N}$ (cf. § 2.1.2.2). Il y a lieu aussi de pondérer cette valeur par un coefficient 2 pour l'excentrement de la cheville d'ancrage, soit

$$F_v = 1\,402 \times 2 = 2\,804 \text{ N}$$

Les efforts à reprendre par la cheville de fixation en points coulissants seront donc :

Traction : $2\,804 \text{ N}$ (280 daN)

Cisaillement : négligeable

2.3.3 Vérifications

En fonction du support (existant/neuf) et de sa nature (maçonnerie/béton), il faudra vérifier dans les ATE des chevilles que :

- dans le cas d'ancrage dans l'existant, le lien entre la détermination par essai de la résistance des chevilles et la sollicitation au vent normal au sens des Règles NV 65 modifiées, est effectué dans le *e-Cahiers du CSTB* n° 1661_V2. Les valeurs N_{Rd} et V_{Rd} ainsi définies devront

ensuite être utilisée selon la méthode définie pour les travaux neufs ;

- en travaux neufs, les vérifications, en fonction de la nature du support, sont à effectuer :
 - sur support béton pour des ancrages métalliques :

$$N_{Rd} > 1,75Q \text{ et } V_{Rd} > G$$

$$1,75Q/N_{Rd} + G/V_{Rd} < 1,2$$

Nota : Pour les fixation dans le supports béton la vérification de la composante F_{Rd} (résistance de calcul à l'état limite ultime en traction/cisaillement combiné) n'est pas nécessaire.

- sur support maçonné avec tous types de chevilles ou sur support béton avec chevilles métal-plastiques, la valeur combinée retenue correspond à la valeur maximale donnée par la formule suivante :

$$F_{Rd} > \text{Max} [\sqrt{(1,35G)^2 + (1,5Q)^2}; \sqrt{G^2 + (1,75Q)^2}]$$

Nota : Pour les fixation dans le maçonné avec tous types de chevilles ou sur support béton avec chevilles métal-plastiques, la vérification des composantes N_{Rd} (résistance de calcul à l'état limite ultime en traction) et V_{Rd} (résistance de calcul à l'état limite ultime en cisaillement) n'est pas nécessaire.

avec :

Q_k : charge sur cheville(s) calculée à partir de la valeur de charge de vent ELS déterminée selon l'EC1 P1-4 ramené à une surface reprise par la patte-équerre (cf. § 2.2.2.1.2) et prenant en compte un éventuel bras de levier rapporté (patte-équerre).

G : charge sur cheville(s) calculée à partir de la valeur de poids ramené à une surface reprise par ramené à une surface reprise par la patte-équerre ;

N_{Rd} : résistance de calcul à l'état limite ultime en traction de l'ATE ou ETE de la cheville ou du groupe de chevilles servant à fixer la patte-équerre ;

V_{Rd} : résistance de calcul à l'état limite ultime en cisaillement de l'ATE ou ETE de la cheville ou du groupe de chevilles servant à fixer la patte-équerre ;

F_{Rd} : résistance de calcul à l'état limite ultime en traction/cisaillement combiné de l'ATE ou ETE de la cheville ou du groupe de chevilles servant à fixer la patte-équerre.

La vérification de la stabilité du bardage et de son ossature en zone sismique concernée par la réglementation est à réaliser conformément aux prescriptions de l'Avis Technique (ou DTA) du bardage rapporté.

3. Exemples de vérification de dimensionnement selon Eurocode 1991-1-4

a) Données de l'opération à réaliser

- Bâtiment à revêtir

Immeuble à base rectangulaire, de forme parallélépipédique, de hauteur 20 mètres, situé en région 2, catégorie de terrain II.

- Système de bardage proposé

Grandes plaques de stratifié (HPL) rivetées sur ossature aluminium, librement dilatable (cas A).

- Format des plaques : $H \times L = 1,8 \text{ m} \times 1,2 \text{ m}$

- Masse surfacique : 9 kg/m^2

Les plaques ne devant pas « ponter » 2 profilés successifs et la longueur de ces derniers étant limitée à 6 mètres, la longueur des montants d'ossature en aluminium de 2 mm d'épaisseur sera un multiple de la hauteur des panneaux soit $1,8 \times 3 = 5,4 \text{ m}$.

b) Validation

3.1 Effets du vent

On utilise l'Eurocode 1991-1-4, soit pour un bâtiment de hauteur $< 30 \text{ m}$: dépression sous vent W_{50} .

- Partie courante = 786 Pa
- Zones de rive = $1\,000 \text{ Pa}$

Remarque : La pression en partie courante peut aussi, dans certaines configurations, être un facteur dimensionnant.

L'Avis Technique indique que des plaques de ce format, fixées tous les 0,5 m le long des profilés eux-mêmes posés en entraxe de 0,6 m, peuvent supporter ces dépressions, y compris en rives du bâtiment.

3.1.1 Efforts sur les profilés

La charge appliquée à un profilé porteur par longueur d'un mètre a pour valeur :

$$p = 1\,000 \times 0,6 \times \text{Pa.m} = 600 \text{ N/m}$$

Pour le profilé intermédiaire situé en milieu de panneau, cette charge est à majorer par le coefficient 1,25 (les panneaux « reposent » sur 3 appuis) soit :

$$600 \text{ N/m} \times 1,25 = 750 \text{ N/m}.$$

3.1.1.1 Vérification de la flèche

Les caractéristiques d'inertie des profilés sont indiquées dans l'Avis Technique ou DTA :

$$I = 20 \text{ cm}^4 \text{ et } I/V = 4 \text{ cm}^3$$

La flèche admissible selon EC 1-4 prise par le profilé entre deux pattes de fixation est :

$$f_{\text{max}} = \frac{\ell}{167}$$

L'entraxe de fixation des plaques de parement sur les profilés est de 50 cm. Sous dépression du vent, on ne peut pas considérer que c'est une charge uniformément répartie.

En se plaçant du côté de la sécurité, on admettra par excès qu'il s'agit d'une charge ponctuelle, dans ce cas, la formule donnant la flèche est :

$$f_{\text{max}} = \frac{kP\ell^3}{EI}$$

Avec :

K : coefficient dépendant du nombre de pattes

P : charge appliquée entre 2 pattes ($P = p\ell$)

ℓ : distance entre les pattes (portée en mm)

E : module d'élasticité, pour l'alu $E = 71\,000 \text{ N/mm}^2$

I : inertie du profilé : 20 cm^4 (20.104 mm^2)

De l'exigence $f_{\text{max}} = \frac{\ell}{167}$ et $P = p\ell$, la formule s'écrit :

$$\frac{\ell}{167} = \frac{k p \ell^3}{EI}$$

$$\text{d'où l'on tire } \ell = \left(\frac{EI}{k \cdot 167 \cdot p} \right)^{1/3},$$

en prenant $k = 10^{-2}$ pour simplifier

$$\left(\text{valeur} \frac{1}{87} \right)$$

Tous calculs faits :

$$\ell = \left(\frac{71000 \times 20 \cdot 10^4}{10^{-2} \cdot 167 \cdot 0,750} \right)^{1/3} = 2229 \text{ mm}$$

Cette valeur est inférieure à la demi-longueur du profilé, on prendra donc la valeur du tiers, soit

$$\frac{5,4}{3} = 1733 \text{ mm}$$

pour répartir également les pattes.

3.1.1.2 Vérification des contraintes dans le profilé

σ_{\max} = contrainte admise pour l'alu : 100 N/mm².

La contrainte $\sigma_v = \frac{M_f}{I/V}$

M_f : moment fléchissant maximum ;

I/V : module d'inertie de la section du profilé selon l'axe sollicité.

Pour un profilé avec 4 attaches (appuis) :

$$M_f = \frac{P\ell}{5,7} = \frac{p\ell^2}{5,7} \text{ d'où } \sigma_v = \frac{p\ell^2}{5,7 I/V}$$

$$\sigma_v = \frac{0,75 \times (1,733)^2 \cdot 10^6}{5,7 \cdot 4 \cdot 10^3} = 99 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_v < \sigma_{\max}$$

3.1.2 Effort transmis aux pattes de fixation

Cette reprise d'effort a pour valeur $F = k_r p \ell$, k_r étant un coefficient dépendant du nombre de patte et de leur situation le long du profilé.

3.1.2.1 Patte de point fixe (en tête du profilé)

Pour le profilé maintenu par 4 attaches $k_r = 0,4$ et $\ell = 1,73$, $F_f = 0,4 \times 750 \times 1,73 = 519 \text{ N}$.

3.1.2.2 Patte de point coulissant (intermédiaire et pied de profilé)

Pour les pattes les plus sollicitées $k_r = 1,15$ et $F_c = 1,15 \times 750 \times 1,73 = 1492 \text{ N}$.

Ces valeurs sont à comparer d'une part à la résistance caractéristique (P_k) des assemblages, déterminée selon les modalités de l'annexe 2.2, affectée du coefficient de sécurité correspondant au type de fixation pour obtenir la valeur de résistance admissible (R_a), et d'autre part aux performances des pattes établies selon les modalités de l'annexe 1, première partie.

3.1.3 Résistance de l'assemblage

Soit $P_k = 3300 \text{ N}$, la résistance caractéristique de l'assemblage patte/profilé réalisé par un seul rivet. L'application d'un coefficient de sécurité de 2,55 (en considérant un λM de 1,7) conduit à une résistance caractéristique R_a de 1294 N d'où il résulte que $R_a < F_c$, il faut donc soit augmenter R_a ou diminuer F_c .

Pour augmenter R_a , il faut réaliser l'assemblage (patte-équerre sur profilé en T) avec 2 rivets au moins.

Pour diminuer la valeur de F_c , il convient de réduire la portée (ℓ) et donc d'ajouter une patte supplémentaire. La nouvelle valeur de ℓ devient alors :

$$\frac{5400}{n-1} = \frac{5400}{4} = 1350 \text{ mm ou } 1,35 \text{ m}$$

et $F_c = k_r p \ell$ avec $k_r = 1,15$

d'où $F_c = 1,15 \times 750 \times 1,35 = 1164 \text{ N}$ et $F_c < R_a$

3.1.4 Résistance des pattes-équerres

Il a été établi que la patte la plus sollicitée était une patte de point coulissant avec $F_c = 1492 \text{ N}$.

La valeur de résistance caractéristique R_C établie expérimentalement (cf. annexe 1, 2^e partie) devra être au moins égale à 2984 N pour que la valeur de résistance admissible $R_a > 1492 \text{ N}$ compte tenu du coefficient de sécurité de 2.

Pour la patte de point fixe, la reprise d'effort en traction (effet du vent en dépression) est plus faible car $K_r = 0,4$ d'où $F_p = 0,4 \times 750 \times 1,73 = 519 \text{ N}$.

3.2 Charge de poids propre

Dans le concept ossature librement dilatable, seule la patte de point fixe reprend ces charges :

$$Q_p = (L \times e \times m_s) + (m_p \times L)$$

Avec :

L : longueur du profilé = 5,4 m

E : entraxe des profilés = 0,6 m

m_s : masse surfacique du parement = 90 N/m²

m_p : masse du profilé = 11 N/m²

(ramenée au m² de parement)

Soit dans cet exemple :

$$Q_p = (5,4 \times 0,6 \times 90) + (11 \times 5,4) = 350 \text{ N}$$

3.2.1 Résistance de l'assemblage

Pour réaliser l'encastrement nécessaire entre patte de point fixe et profilé, il est nécessaire de fixer en au moins deux points (vis ou rivet).

Dans le cas de patte-équerre de longueur d'aile $\approx 100 \text{ mm}$, deux points de fixation distants entre eux de 30 mm subissent un moment (bras de levier) d'environ 3 (cf. § 2.2.4.1 du document). L'effort de cisaillement appliqué aux rivets sera donc de $F_c = 350 \times 3 = 1050 \text{ N}$.

Si la valeur caractéristique (P_k) de ruine d'un tel assemblage (cf. annexe 2.2) n'est pas au moins 3 fois supérieure à F_c , il sera nécessaire d'ajouter des fixations.

3.2.2 Résistance des pattes-équerres

L'annexe 1 « Détermination des caractéristiques mécaniques des attaches destinées à la fixation des profilés sur la structure porteuse » précise que le coefficient de sécurité à prendre dans ce cas de figure (1 seule patte chargée) est de 2,25. La patte devra donc être qualifiée pour une résistance critique $R_C \approx 790 \text{ N}$.

Remarque : Compte-tenu du type de bardage avec un joint de fractionnement horizontal tous les 5,40 mètres, la déformation sous charge en nez de patte peut être acceptée $> 1 \text{ mm}$.

3.3 Effort sur les ancrages

3.3.1 Patte de point fixe

Comme établi ci-avant (cf. § 3.2), cette patte reprend l'ensemble des charges verticales (cisaillement) soit $F_p = 350 \text{ N}$.

Cette patte reprend les efforts de vent (traction cf. § 3.1.4) pour $F_v = 519 \times 2 = 1\,038 \text{ N}$, 2 étant le coefficient « forfaitaire » d'excentrement des pattes-équerres, vis-à-vis de la position de la cheville d'ancrage sur leur aile d'appui au support.

Les efforts à reprendre par la cheville de fixation en point fixe seront donc :

Traction : $1\,038 \text{ N}$ (104 daN)

Cisaillement : 350 N (35 daN)

Effort combiné : $1\,095 \text{ N}$ (110 daN) (traction oblique)

3.3.2 Patte de point coulissant

Pour ces pattes, il n'y a que les efforts de vent à considérer, soit $F_v = 1\,492 \text{ N}$ (cf. § 3.1.2.2). Il y a lieu aussi de pondérer cette valeur par un coefficient 2 pour l'excentrement de la cheville d'ancrage, soit $F_v = 1\,492 \times 2 = 2\,984 \text{ N}$.

Les efforts à reprendre par la cheville de fixation en points coulissants seront donc :

Traction : $2\,984 \text{ N}$ (298 daN)

Cisaillement : négligeable.

3.3.3 Vérifications

En fonction du support (existant/neuf) et de sa nature (maçonnerie/béton), il faudra vérifier dans les ATE des chevilles que :

Dans le cas d'ancrage dans un support existant dont les caractéristiques ne seraient pas connues, le lien entre la détermination par essai sur chantier de la résistance des chevilles et la sollicitation à l'état limite ultime selon EC 1 P1-4, est effectué dans le *e-Cahiers du CSTB* n° 1661_V2. Les valeurs N_{Rd} et V_{Rd} ainsi définies devront ensuite être utilisées selon la méthode définie pour les travaux neufs.

En travaux neufs, les vérifications, en fonction de la nature du support, sont à effectuer :

Sur support béton pour des ancrages métalliques :

$$N_{Rd} > 1,5Q_k \text{ et } V_{Rd} > 1,35G_k$$

$$1,5Q_k/N_{Rd} + 1,35G_k/V_{Rd} < 1,2$$

Nota : Pour les fixations dans le supports béton la vérification de la composante FRd (résistance de calcul à l'état limite ultime en traction/cisaillement combiné) n'est pas nécessaire.

Sur support maçonné avec tous types de chevilles ou sur support béton avec chevilles métallo-plastiques, la valeur combinée retenue correspond à la valeur donnée par la formule suivante :

$$F_{Rd} > \sqrt{(1,35G_k)^2 + (1,5Q_k)^2}$$

Nota : Pour les fixations dans le maçonné avec tous types de chevilles ou sur support béton avec chevilles métallo-plastiques, la vérification des composantes N_{Rd} (résistance de calcul à l'état limite ultime en traction) et V_{Rd} (résistance de calcul à l'état limite ultime en cisaillement) n'est pas nécessaire.

avec :

Q_k : charge sur cheville(s) calculée à partir de la valeur de charge de vent ELS déterminée selon l'EC1 P1-4 ramené à une surface reprise par la patte-équerre (cf. § 2.2.2.1.2) et prenant en compte un éventuel bras de levier rapporté (patte-équerre).

G_k : charge sur cheville(s) calculée à partir de la valeur de poids caractéristique ramené à une surface reprise par la patte-équerre (cf. § 2.2.2.1.1) ;

N_{Rd} : résistance de calcul à l'état limite ultime en traction de l'ATE ou ETE de la cheville ou du groupe de chevilles servant à fixer la patte-équerre ;

V_{Rd} : résistance de calcul à l'état limite ultime en cisaillement de l'ATE ou ETE de la cheville ou du groupe de chevilles servant à fixer la patte-équerre ;

F_{Rd} : résistance de calcul à l'état limite ultime en traction/cisaillement combiné de l'ATE ou ETE de la cheville ou du groupe de chevilles servant à fixer la patte-équerre.

La vérification de la stabilité du bardage et de son ossature en zone sismique concernée par la Réglementation est à réaliser conformément aux prescriptions de l'Avis Technique (ou DTA) du bardage rapporté.

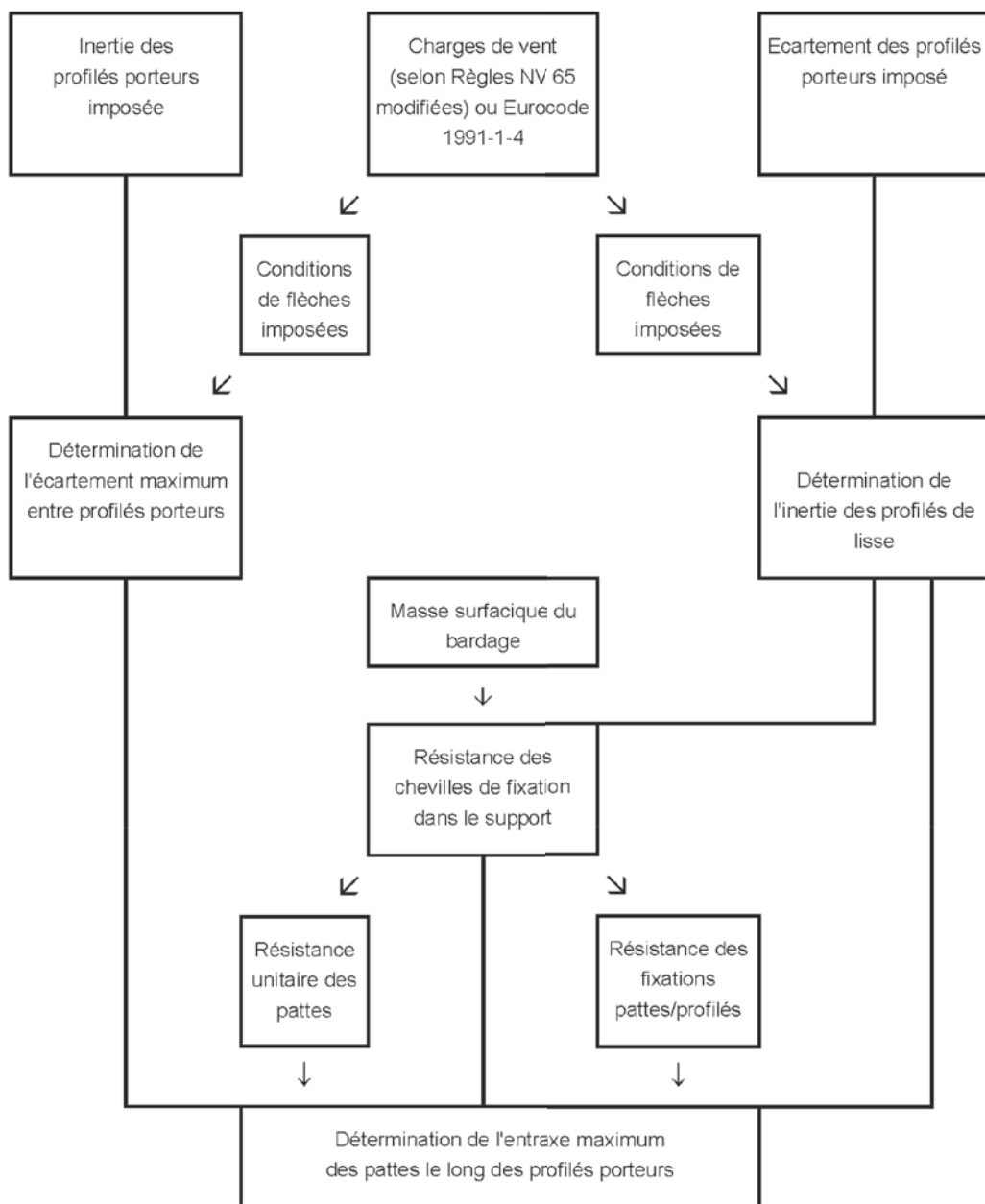


Figure 5.3 – Dimensionnement de l'ossature (simple réseau)

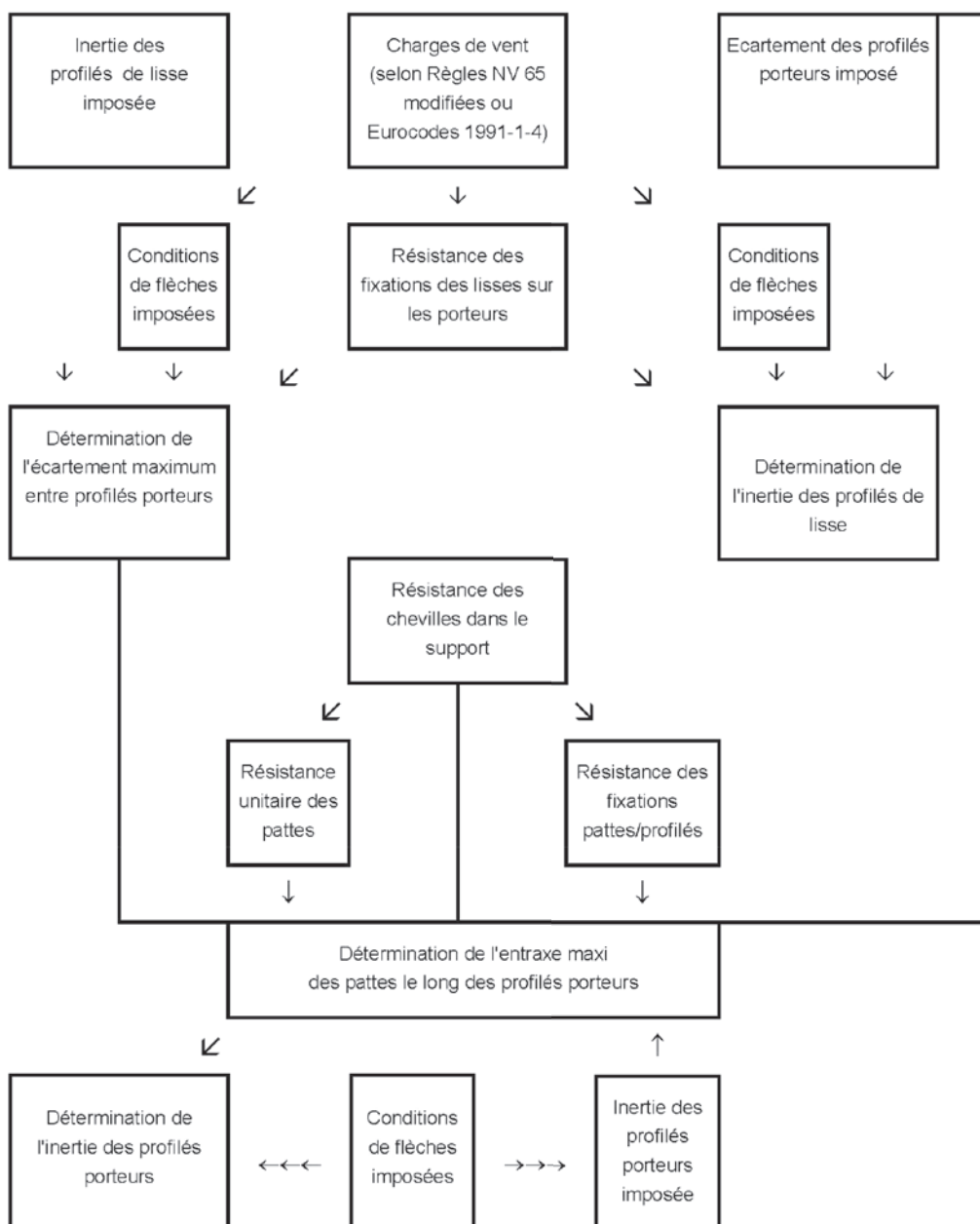


Figure 5.4 – Dimensionnement de l'ossature croisée (double réseau)

SIÈGE SOCIAL

84, AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX (33) 01 60 05 70 37 | www.cstb.fr

CSTB
le futur en construction

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT | MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA ANTIPOLIS