GUIDE

Guide d'application des exigences réglementaires

Prise en compte du risque de vents cycloniques dans la conception et la construction des bâtiments appartenant aux catégories d'importance III et IV à La Réunion et à Mayotte

GOUVERNEMENT
Liberté
Égalité
Fraternité

Illustrations : Laubywane, DHUP, AQC

Ce guide a été rédigé par des spécialistes du Réseau Scientifique et Technique du ministère chargé du logement et du ministère chargé de la prévention des risques (CSTB) avec l'appui d'un réseau d'acteurs locaux d'Outre-mer basé en Guadeloupe, en Martinique et à La Réunion dont des groupes de travail locaux organisés par les DEAL de Guadeloupe, Martinique et de La Réunion.

Membres de l'équipe technique du CSTB :

– Philippe LEBLOND
– Réda OUSSENNAN
– Lucie WIATT
– Tamara BOULLON
– Youcef MOKRANI
– Adrien MARTIN
– Stéphane SANQUER
– Armando CARUSONE

Octobre 2026

SOMMAIRE

7 **INTRODUCTION**

9 **1. DOMAINE D'APPLICATION**

11 **2. CHARGE DE VENT CYCLONIQUE**
11 2.1 Méthodes de calcul
12 2.2 Vitesse de référence du vent
13 2.3 Méthode 1 : calcul de q_p *via* les coefficients d'exposition cartographiés
14 2.4 Méthode 2 : calcul de q_p *via* la méthode standard de la NF EN 1991-1-4
15 2.5 Méthodes avancées pour le calcul des coefficients d'exposition

17 **3. EXIGENCES POUR LES STRUCTURES**
17 3.1 Cas général
18 3.2 Balcon et coursive
21 3.3 Auvent, varangue

23 **4. EXIGENCES POUR LES ÉLÉMENTS NON STRUCTURAUX**
23 4.1 Cas général
24 4.2 Couverture en tôle
25 4.3 Fenêtre et porte avec leurs éventuels protection et renfort
29 4.4 Façade légère
29 4.5 Garde-corps
29 4.6 Bardage
30 4.7 Système ETICS, isolation extérieure sous enduit
32 4.8 Panneau et chauffe-eau solaires
36 4.9 Auvent, varangue

37 **5. EXIGENCES POUR LES ASSEMBLAGES**
39 5.1 Coefficient de sur-résistance γ_{SR}

41 **6. EXIGENCES POUR LES BÂTIMENTS DE CATÉGORIE IV**

43 **7. PRINCIPALES RÉFÉRENCES**

45 **Annexe A : Tableaux de pression P3 cyclonique pour les fenêtres/portes**

49 **Annexe B : Notice d'utilisation *GÉORISQUES***

55 **Annexe C : Notice explicative *GÉORISQUES***

Tables de concordance entre les chapitres du guide et les articles de l'arrêté

Guide d'application des exigences réglementaires	Arrêté
1. Domaine d'application	Chapitre I
2. Charge de vent cyclonique	Chapitre II
2.1. Méthodes de calcul	Article 3
2.2. Vitesse de référence du vent	Article 4
2.3. Méthode 1 : calcul de q_p via les coefficients d'exposition cartographiés	Articles 3, 5-I et 5-II
2.4. Méthode 2 : calcul de q_p via la méthode standard de la NF EN 1991-1-4	Articles 3 et 5-III
2.5. Méthodes avancées pour le calcul des coefficients d'exposition	Articles 3 et 5-IV
3. Exigences pour les structures	Chapitre III
3.1. Cas général	Article 6
3.2. Balcon et coursive	Article 6
3.3. Auvent, varangue	Articles 7 et 8
4. Exigences pour les éléments non structuraux	Chapitre IV
4.1. Cas général	Article 7
4.2. Couverture en tôle	Article 8
4.3. Fenêtre et porte avec leurs éventuels protection et renfort	Article 9
4.4. Façade légère	Article 7
4.5. Garde-corps	Article 7
4.6. Bardage	Article 7
4.7. Système ETICS	Article 7
4.8. Panneau et chauffe-eau solaires	Article 7
4.9. Auvent, varangue	Article 8
5. Exigences pour les assemblages	Articles 6 et 7
6. Exigences pour les bâtiments de catégorie IV	Article 3

Arrêté	Guide d'application des exigences réglementaires
Chapitre I	1. Domaine d'application
Chapitre II	2. Charge de vent cyclonique
Article 3	2.1. Méthodes de calcul 2.3. Méthode 1 : calcul de qp via les coefficients d'exposition cartographiés 2.4. Méthode 2 : calcul de q_p via la méthode standard de la NF EN 1991-1-4 2.5. Méthodes avancées pour le calcul des coefficients d'exposition 6. Exigences pour les bâtiments de catégorie IV
Article 4	2.2. Vitesse de référence du vent
Articles 5-I et 5-II Article 5-III Article 5-IV	2.3. Méthode 1 : calcul de qp via les coefficients d'exposition cartographiés 2.4. Méthode 2 : calcul de qp via la méthode standard de la NF EN 1991-1-4 2.5. Méthodes avancées pour le calcul des coefficients d'exposition
Chapitre III	3. Exigences pour les structures 5. Exigences pour les assemblages
Chapitre IV	4. Exigences pour les éléments non structuraux
Article 7	3.3. Auvent, varangue 4. Exigences pour les éléments non structuraux 5. Exigences pour les assemblages
Article 8	4.2. Couverture en tôle 4.9. Auvent, varangue
Article 9	4.3. Fenêtre et porte avec leurs éventuels protection et renfort

INTRODUCTION

La prise en compte de **l'aléa cyclonique dans la conception et la construction des bâtiments dans les territoires d'Outre-mer** est une réalité de longue date. Plusieurs documents de référence ont été rédigés à la fin du XX^{e} siècle pour apporter une première pierre à la formalisation de pratiques communes. La mise en place d'une réglementation nationale relative au risque cyclonique, les profondes évolutions normatives (Eurocodes, bureaux de normalisation locaux) ainsi que les modifications des modes constructifs nécessitent de prolonger ce travail.

Depuis la survenue du cyclone Irma à l'automne 2017 et en réaction aux cyclones Chido et Garance, ayant respectivement frappé Mayotte le 14 décembre 2024 et La Réunion le 28 février 2025, le ministère chargé du logement, le ministère chargé de la prévention des risques et le ministère chargé des Outre-mer mènent conjointement, et en étroite association avec le CSTB, des études afin d'améliorer la prise en compte des risques liés aux vents cycloniques dans la construction des bâtiments situés dans les départements et régions d'outre-mer exposés à cet aléa. Les conclusions de ces travaux permettent désormais de préciser les règles techniques relatives à la conception et la construction des bâtiments dans les zones exposées aux cyclones.

Pour répondre à cet objectif, **un guide réglementaire** et deux guides complémentaires sont mis à disposition des acteurs de la construction afin de favoriser l'application correcte de la réglementation paracyclonique en vigueur. Le *guide d'application des exigences réglementaires* est cité dans **l'arrêté du 2 novembre 2026 relatif à la classification et à la prise en compte du risque de vents cycloniques dans la conception et la construction des bâtiments situés à La Réunion et à Mayotte** aux articles 3, 5, 6, 7, 8, 9.

Guides réglementaires	Guides complémentaires
Guide d'application des exigences réglementaires	**Guide pédagogique** d'approfondissement des guides réglementaires
	Fiches pratiques d'application

Le présent guide rassemble l'ensemble des exigences techniques réglementaires à satisfaire pour la conception des éléments structuraux ainsi que les dispositions réglementaires concernant les éléments non structuraux. L'utilisation du présent document nécessite par ailleurs le respect des règles de l'art qu'elles soient de conception, de calcul et de réalisation qui s'appliquent en situation courante. Les règles en situation courante stipulées par les normes françaises (dont les DTU), les normes européennes ainsi que les Avis Techniques et Appréciation Techniques d'Expérimentation sont considérées comme compatibles avec le présent guide[1].

Pour les territoires concernés par ce guide, il est rappelé que les bâtiments sont également soumis à la réglementation parasismique.

Au-delà d'une conception fondée sur ces exigences et les règles de l'art, les objectifs plus généraux d'un projet de construction doivent être pris en compte, à savoir notamment la sécurité, la qualité sanitaire, la qualité d'usage, l'accessibilité, la performance énergétique et tout ce qui a trait aux besoins des occupants.

1 Certains paramètres de ces normes seront néanmoins à adapter pour respecter la réglementation, notamment du fait de la révision des vitesses de référence du vent.

CHAPITRE 1

DOMAINE D'APPLICATION

Le domaine d'application du présent guide correspond *stricto sensu* à celui défini dans le **chapitre Ier « champ d'application » de l'arrêté du 2 novembre 2026 relatif à la classification et à la prise en compte du risque de vents cycloniques dans la conception et la construction des bâtiments situés à La Réunion et à Mayotte**, dans la mesure où il traduit les objectifs de la réglementation en exigences techniques.

Pour rappel, le domaine d'application de l'arrêté couvre les Départements et Régions d'Outre-mer de La Réunion et Mayotte pour les bâtiments appartenant aux catégories d'importance III et IV :

- **les bâtiments nouveaux** soumis à l'obligation d'une demande de permis de construire ou d'une déclaration préalable de travaux, y compris en cas de reconstruction après la destruction ou la démolition, totale ou partielle, d'un bâtiment préexistant ;
- **les bâtiments existants** à l'occasion d'une modification soumise à l'obligation d'une demande de permis de construire ou d'une déclaration préalable de travaux consistant à juxtaposer, surélever ou créer des surfaces nouvelles de plus de 20 % des surfaces de plancher initiales telle que définie à l'article R. 111-22 du code de l'urbanisme ou entraînant une augmentation de plus de 20 % de l'emprise au sol initiale telle que définie à l'article R.*420-1 du code précité ;
- **les autres bâtiments existants** à l'occasion d'une modification importante de leur structure soumise à l'obligation d'une demande de permis de construire ou d'une déclaration préalable de travaux et tendant :
  - soit à supprimer plus de 30 % de surface de planchers à un niveau donné ;
  - soit à supprimer plus de 20 % du contreventement vertical ;
  - soit à adjoindre au bâtiment existant, lorsqu'il a été initialement construit en conformité avec les dispositions du présent arrêté, des éléments non structuraux supplémentaires susceptibles de créer un risque pour les occupants du bâtiment sous l'effet des vents cycloniques par la destruction ou l'endommagement grave du bâtiment ou de porter atteinte gravement à l'intégrité des bâtiments voisins.

L'article 2 de l'arrêté fournit les catégories d'importance des bâtiments qui servent à la détermination de la valeur de base de la vitesse de référence de vent (se référer au § 2.2 de ce guide).

Catégorie d'importance de bâtiment	Description
I	**NON VISÉ** Tous les bâtiments non visés par les autres catégories (inclus les dépendances des bâtiments de catégorie II)
II	**NON VISÉ** **Bâtiments d'habitation individuelle et bâtiments assimilés**[2] à l'exclusion de leurs dépendances qui peuvent relever seulement de la catégorie I **Établissements recevant du public relevant des 4e et 5e catégories** mentionnées à l'article R. 143-19 du code de la construction et de l'habitation, à l'exception des établissements scolaires Lorsqu'ils ne relèvent pas des catégories III et IV : • les bâtiments dont la hauteur est inférieure ou égale à 28 mètres à usage **d'habitation collective et à usage commercial, de bureaux ou destinés à une activité industrielle** • les bâtiments abritant les **parcs de stationnement** ouverts au public
III	**Établissements scolaires ;** **Établissements recevant du public relevant des 1re, 2e et 3e catégories** mentionnées à l'article R. 143-19 du code de la construction et de l'habitation Lorsqu'ils ne relèvent pas de la catégorie IV : • les bâtiments dont la hauteur dépasse 28 mètres à **usage d'habitation collective et à usage commercial, de bureaux ou destinés à l'exercice d'une activité industrielle** • les bâtiments des **établissements sanitaires et sociaux** • les bâtiments pouvant **accueillir plus de 300 personnes**, en comptant, pour les bâtiments à usage de bureaux, une personne pour une surface de plancher de 12 mètres carrés, ou, pour les autres catégories de bâtiments, sur déclaration du maître d'ouvrage • les bâtiments des **centres de production collective d'énergie** répondant au moins à l'un des trois critères suivants, quelle que soit leur capacité d'accueil : – la production électrique est supérieure au seuil de 40 MW électrique – la production thermique est supérieure au seuil de 20 MW thermique – le débit d'injection dans le réseau de gaz est supérieur à 2 000 Nm^3/ h
IV	Bâtiments dont la protection est primordiale pour les besoins de la **sécurité civile ou de la défense nationale** ainsi que pour le **maintien de l'ordre public** et comprenant notamment : • les bâtiments abritant les moyens de secours en personnels et matériels et présentant un caractère opérationnel • les bâtiments définis par le ministre chargé de la défense, abritant le personnel et le matériel de la défense et présentant un caractère opérationnel • les bâtiments conçus ou de nature à servir de lieu de refuge pour la population lors de l'épisode cyclonique et désignés comme tel par l'autorité compétente de l'État ou par une collectivité Bâtiments contribuant au **maintien des communications**, et comprenant notamment ceux : • des centres principaux vitaux des réseaux de télécommunications ouverts au public • des centres de diffusion et de réception de l'information • des tours hertziennes stratégiques Bâtiments et toutes leurs dépendances fonctionnelles assurant le **contrôle de la circulation aérienne** des aérodromes classés dans les catégories A, B et C2 suivant les instructions techniques pour les aérodromes civils (ITAC) édictées par la direction générale de l'aviation civile, dénommées respectivement 4 C, 4 D et 4 E suivant l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI) Bâtiments des **établissements de santé** qui dispensent des soins de courte durée ou concernant des affections graves pendant leur phase aiguë en médecine, chirurgie et obstétrique Bâtiments de **production ou de stockage d'eau potable** Bâtiments des **centres de distribution publique de l'énergie** Bâtiments des **centres météorologiques**

Tableau 1 : Catégorie d'importance de bâtiment

2 On entend par bâtiment assimilé à un bâtiment d'habitation individuelle un bâtiment de forme simple ayant pour fonction principale l'habitation, et une surface au sol inférieure ou égale à 200 m^2.

CHARGE DE VENT CYCLONIQUE

2.1 Méthodes de calcul

La charge de vent **soumise à la structure et aux éléments non structuraux (ENS)** est calculée selon une des méthodes suivantes, fondées sur l'Eurocode 1 partie 1-4 (NF EN 1991-1-4) et son annexe nationale française.

La méthode à utiliser est fonction des dimensions du bâtiment considéré et de la disponibilité des coefficients d'exposition à l'endroit où le bâtiment est implanté :

Dimensions du bâtiment / Localisation du bâtiment	**Hauteur ≤ 50 m et Plus grande dimension en plan ≤ 250 m**	**Hauteur ≥ 50 m ou Plus grande dimension en plan > 250 m**
Zone couverte par les coefficients d'exposition	Méthode 1 ou méthodes avancées de l'Eurocode NF EN 1991-1-4	Méthodes avancées de l'Eurocode NF EN 1991-1-4
Zone non couverte par les coefficients d'exposition	Méthode 2 ou méthodes avancées de l'Eurocode NF EN 1991-1-4	

Tableau 2 : Méthodes de calcul à utiliser en fonction de la disponibilité des coefficients d'exposition et des dimensions du bâtiment

MÉTHODE 1

La démarche est fondée sur celle de l'Eurocode NF EN 1991-1-4, à la différence du calcul des coefficients d'exposition qui s'appuie sur un jeu de cartes disponibles sur le site internet *Géorisques* pour les territoires visés, et à l'exception des vitesses de référence du vent dont les valeurs de base sont indiquées au § 2.2.

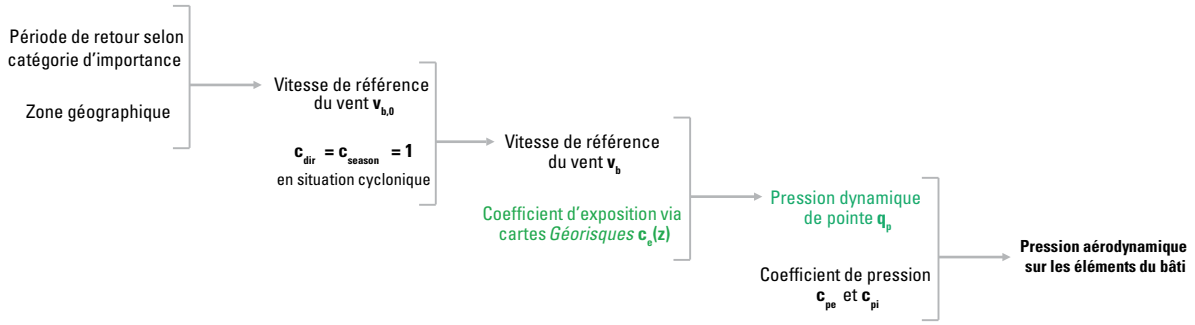


Figure 1 : Diagramme de calcul de la charge de vent via la méthode 1

La méthode 1 nécessite d'exploiter **des cartes de coefficients d'exposition $c_e(z)$** spécifiquement dédiées aux Départements et Régions d'outre-mer. Cette méthode permet de simplifier l'application de la réglementation pour les constructions – dont la hauteur est inférieure ou égale à 50 m et leur plus grande dimension en plan inférieure ou égale à 250 m – situées sur des terrains de topographie courante (hors zone au relief abrupt) dans les départements et régions d'Outre-Mer et de mieux tenir

compte de la végétation en place. La définition des paramètres clés – coefficient d'exposition et pression dynamique de pointe – reste néanmoins cohérente avec celle donnée dans les Eurocodes.

NOTE 1

Dans le cas d'un cyclone, le vent peut provenir de toutes les directions. Les coefficients de c_{season} et c_{dir} sont pris égaux à 1.

NOTE 2

Les coefficients d'exposition n'ont pas pu être calculés sur certains secteurs, du fait de leur topographie particulière (cf. § 2.4.1) : dans ce cas, il doit être fait application de la méthode 2.

MÉTHODE 2

La démarche est identique à celle de l'Eurocode NF EN 1991-1-4 et son Annexe Nationale à l'exception des vitesses de référence du vent dont les valeurs de base sont indiquées au § 2.2[1].

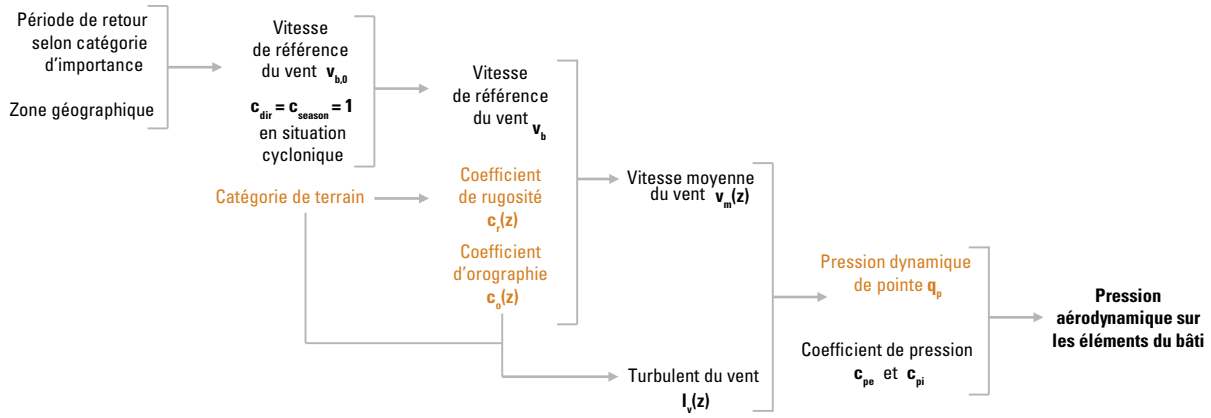


Figure 2 : Diagramme de calcul de la charge de vent via la méthode 2

2.2 Vitesse de référence du vent

Les valeurs de base de la vitesse de référence du $v_{b,0}$ à utiliser pour les vérifications, en fonction du territoire, sont présentées dans le tableau ci-dessous. Elles dépendent de la période de retour du phénomène cyclonique.

Période de retour	La Réunion	Mayotte
50 ans	38 m/s	30 m/s
100 ans	41 m/s	33 m/s

Tableau 3 : Valeurs de base de la vitesse de référence du vent $v_{b,0}$

Pour le calcul de l'action du vent appliquée à la **structure et aux éléments non structuraux** du bâtiment, la période de retour à considérer dépend de la catégorie de bâtiment.

1 Lorsqu'il sera fait référence à l'Annexe Nationale et à son application dans le présent guide, la vitesse de référence du vent à retenir sera celle du § 2.2 de ce guide.

Catégorie d'importance de bâtiment	Période de retour
III	50 ans
IV	100 ans

Tableau 4 : Période de retour en fonction de la catégorie de bâtiment

2.3 Méthode 1 : calcul de q_p *via* les coefficients d'exposition cartographiés

2.3.1 Calcul du coefficient d'exposition $c_e(z)$

Pour un événement cyclonique donné, les caractéristiques topographiques du terrain et la nature de l'environnement atténuent ou accroissent localement la vitesse du vent. **Le coefficient d'exposition** exprime l'influence de l'orographie et de la rugosité du terrain dans le calcul de la pression dynamique de pointe.

Des cartes de **coefficients d'exposition $c_e(z)$** dédiées à chaque territoire concerné par le risque cyclonique sont consultables sur le site internet *Géorisques*. Ces cartes fournissent la valeur du coefficient d'exposition $c_e(z)$ selon un maillage de 250 × 250 m (180 × 180 m pour Mayotte pour s'adapter à la taille et à la morphologie du territoire).

Le calcul des coefficients d'exposition *via* les cartes n'est pas possible dans certains cas :

- pour les bâtiments dont la plus grande dimension en plan excède 250 m ;
- pour les bâtiments dont la hauteur excède 50 m ;
- pour certaines zones des territoires du fait de la singularité de leur topographie. La valeur du coefficient d'exposition n'est pas fournie pour ces zones non couvertes.

Une notice d'utilisation expliquant la démarche d'exploitation des données est disponible sur le site *Géorisques*.

Une notice explicative présentant des méthodes alternatives à l'utilisation des cartes est disponible sur le site *Géorisques*.

Pour les cas non couverts par les cartes, il est nécessaire de se référer à la méthode fournie par l'Eurocode NF EN 1991-1-4 et son Annexe Nationale, correspondant à **la méthode 2** dans le présent guide (à l'exception des valeurs relatives à la vitesse de vent de référence dont la valeur à retenir est définie au § 2.2).

> **NOTE**
>
> Quelle que soit la méthode, il est toujours nécessaire de tenir compte de l'environnement de l'ouvrage à construire. Celui-ci peut influencer localement l'exposition aux vents. Ce phénomène local peut être par exemple généré par des bâtiments dont la hauteur est nettement plus élevée que le bâtiment considéré[2].

2 Selon l'article 4.3.4 de l'Annexe Nationale de la norme NF EN 1991-1-4 (Eurocode 1 partie 1-4) : « Lorsque la construction doit se situer à proximité d'une autre construction dont la hauteur est au moins égale à deux fois la hauteur moyenne des constructions avoisinantes, elle pourrait alors être exposée (selon les caractéristiques de la construction) à des vitesses augmentées pour certaines directions de vent. Il convient de tenir compte de ce type de cas. »

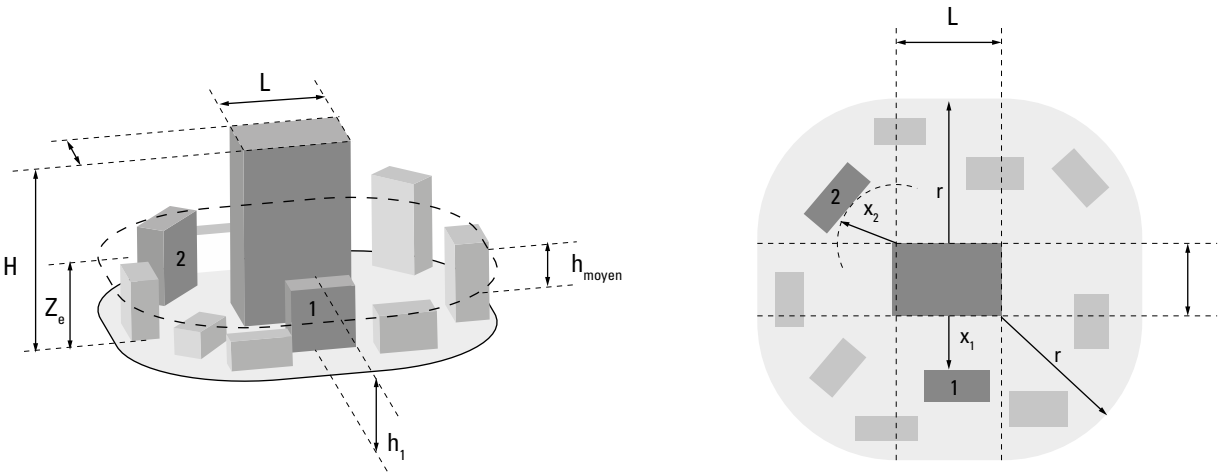


Figure 3 : Extrait de l'Eurocode NF EN 1991-1-4 / NA, figure 4.19 (NA)
influence d'une construction de grande hauteur sur deux constructions voisines différentes (1 et 2)

2.3.2 Calcul de la pression dynamique de pointe q_p

Les coefficients d'exposition permettent de calculer la pression dynamique de pointe q_p localement, corrigée des effets de rugosité et d'orographie, à partir de la vitesse de référence du vent v_b telle que définie au § 2.2 selon la formule suivante :

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

Avec :

- q_p : pression dynamique de pointe (en Pa ou N/m^2) ;
- $c_e(z)$: coefficient d'exposition, déterminé en fonction de la localisation de la construction et de sa hauteur par rapport au sol naturel ;
- ρ : masse volumique de l'air (en kg/m^3), égale à 1,225 kg/m^3 ;
- v_b : vitesse de référence du vent (en m/s).

> **NOTE**
>
> La pression dynamique de pointe q_p est une valeur qui dépend du lieu où est implantée la construction. Il ne s'agit pas de la pression appliquée aux différentes parois de la construction considérée. Elle ne dépend donc pas de la morphologie de la construction ; à l'exception de sa hauteur puisque la valeur de la pression dynamique de pointe est calculée à une hauteur correspondant au sommet de la construction.

2.4 Méthode 2 : calcul de q_p *via* la méthode standard de la NF EN 1991-1-4

La méthode 2 de calcul de la pression dynamique de pointe q_p est fournie par l'Eurocode NF EN 1991-1-4 et son Annexe Nationale. Les vitesses de référence du vent pour les différents territoires sont celles indiquées au § 2.2.

Le coefficient d'exposition n'est pas directement exploité *via* cette méthode pour le calcul de la pression sur les constructions.

La pression dynamique de pointe q_p est calculée *via* son expression (4.8) :

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

Où :

$I_v(z)$: intensité de la turbulence

ρ : masse volumique de l'air : ρ = 1,225 kg/m^3

$v_m(z)$: vitesse moyenne du vent : $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$

$c_r(z)$: coefficient de rugosité

$c_o(z)$: coefficient d'orographie

$c_e(z)$: coefficient d'exposition

q_b : pression dynamique de référence du vent

La pression dynamique de pointe q_p est ensuite exploitée dans le calcul des actions du vent soumises à une construction (§5 de l'Eurocode NF EN 1991-1-4). Elle permet de calculer d'une part la pression aérodynamique sur les surfaces et d'autre part les forces exercées par le vent sur l'ensemble de la construction ou un composant.

2.5 Méthodes avancées pour le calcul des coefficients d'exposition

On entend par méthodes avancées les essais en soufflerie et les simulations numériques de type CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

Il est possible de faire appel à un spécialiste ou un laboratoire spécialisé **pour calculer les coefficients d'exposition dans les zones non couvertes par les cartes *via* des essais en soufflerie[3] ou des simulations numériques[4] en mécanique des fluides** (dites simulations CFD pour Computational Fluid Dynamics).

Les deux méthodes – simulation et essai – permettent d'évaluer les effets d'orographie et de rugosité nécessaires au calcul des coefficients d'exposition. Il conviendra notamment de reproduire correctement les caractéristiques spécifiques des écoulements de vent au sein de la couche limite atmosphérique.

Conformément au tableau 2, les méthodes avancées sont une option dans le cas des bâtiments dont la hauteur est inférieure ou égale à 50 m et la plus grande dimension en plan inférieure ou égale à 250 m (que la zone soit couverte ou non par les cartes de coefficient d'exposition disponibles sur *Géorisques*). Pour les bâtiments dont la hauteur est supérieure à 50 m ou la plus grande dimension en plan est supérieure à 250 m, le recours aux méthodes avancées pour le calcul des coefficients d'exposition est requis.

3 Les essais en soufflerie sont réalisés à échelle réduite et se doivent de respecter au mieux les similitudes associées à la problématique. Etant données les échelles de réduction utilisées pour cette approche (particulièrement dans le cas de topographie marquée), la modélisation des effets de rugosité peut s'avérer particulièrement délicate, voire impossible à proximité du sol.

4 Concernant l'approche numérique par simulation CFD, le modèle utilisé doit reposer sur une méthodologie préalablement validée. La pertinence des résultats et leur fiabilité requièrent une maîtrise des nombreux choix de paramétrisation : modèle de turbulence, conditions initiales, conditions aux limites, méthode de discrétisation, domaine de calcul, schémas numériques, solveur…

EXIGENCES POUR LES STRUCTURES

Les objectifs généraux de la réglementation paracyclonique ont pour finalité de :

- préserver les vies humaines ;
- permettre une reprise rapide de l'activité économique et des services publics en cas d'épisodes cycloniques ;
- limiter les dommages sur le bâti.

3.1 Cas général

Dans le cadre d'une conception paracyclonique, les éléments structuraux doivent être **dimensionnés à l'État Limite Ultime (ELU) sous combinaisons fondamentales** en prenant l'action du vent de référence comme action variable dominante au sens des Eurocodes. Cette obligation ne dispense pas de vérifier le bâtiment vis-à-vis des autres combinaisons aux Etats Limites Ultime et de Service.

Par ailleurs, **un coefficient de sur-résistance, noté γ_{SR}**, est appliqué au calcul de certains assemblages structuraux conformément au § 5.1.1, de façon à assurer leur résistance à l'arrachement du fait des vents cycloniques.

NOTE

La vitesse de référence du vent est donnée dans le tableau suivant en fonction de la catégorie d'importance du bâtiment.

Catégorie d'importance du bâtiment	La Réunion	Mayotte
III	38 m/s	30 m/s
IV	41 m/s	33 m/s

Tableau 5 : Valeurs de base de la vitesse de référence du vent $v_{b,0}$

3.2 Balcon et coursive

Cette partie concerne les **coursives et les balcons** qu'ils soient en porte-à-faux, suspendus, en appui, autoportants ou portés selon d'autres moyens (***via*** des bracons ou des cadres encastrés par exemple).



(a) balcons en porte à faux (b) balcons suspendus (c) balcons en appui (d) balcons autoportés

Figure 4 : Typologie de balcon en fonction de leur mode de support

Les **éléments structuraux** des balcons et des coursives sont dimensionnés conformément aux Eurocodes en suivant la méthode décrite au § 2 pour le cas de la charge de vent et celle décrite ci-après pour le calcul des coefficients de pression $c_{p,net}$.

3.2.1 Cas de charge pour le calcul des coefficients de pression $c_{p,net}$

Selon l'Eurocode NF EN 1991-1-4, la définition des **zones de façade** dépend de la direction du vent. Les cas de charge doivent être calculés pour chaque direction de vent considérée.

Les balcons et coursives sont découpés en zones conformément aux zones de façade. Dans le cas où le balcon ou la coursive est situé à cheval sur plusieurs zones, les surfaces du balcon ou de la coursive sont découpées conformément au découpage de la façade.

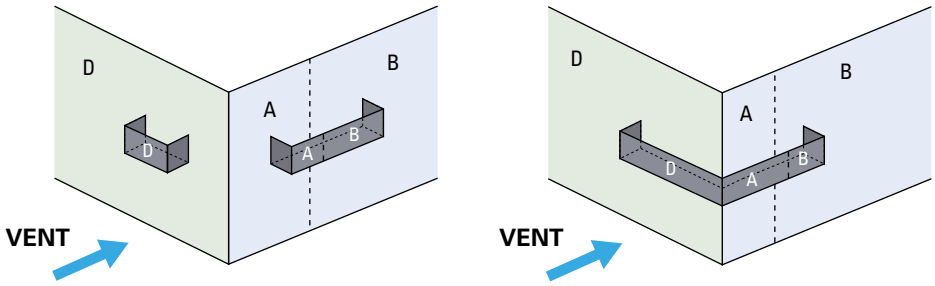
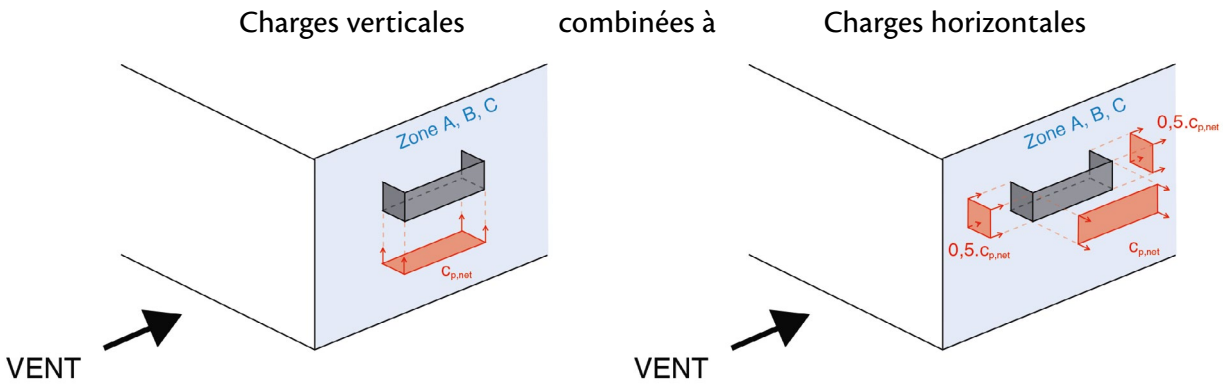


Figure 5 : Découpage des surfaces verticales du balcon ou de la coursive en fonction des zones de la façade

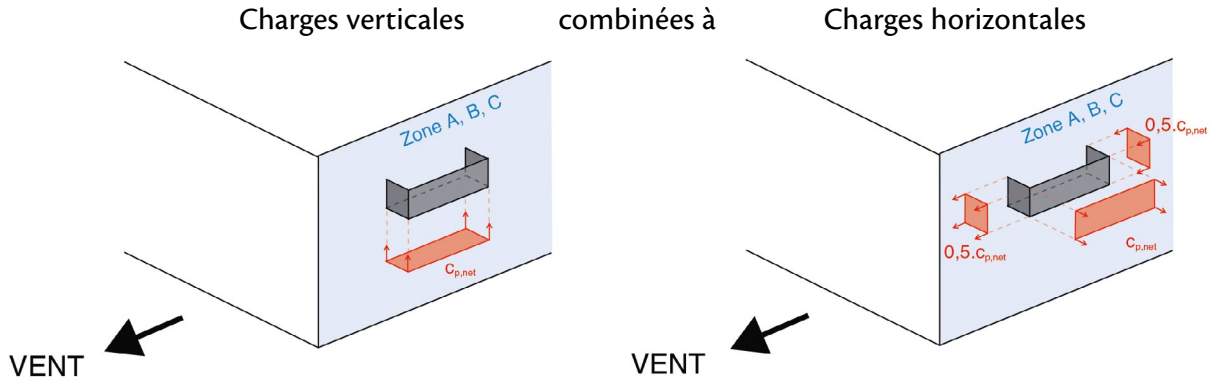
Les charges horizontales et verticales décrites ci-après sont combinées selon des cas de charges dépendant de la zone de façade dans laquelle se situe le balcon ou la coursive.

Cas de charge 1 : le balcon ou la coursive est situé dans la **zone A, B, C**[1] ou à cheval entre ces zones

Cas 1.a

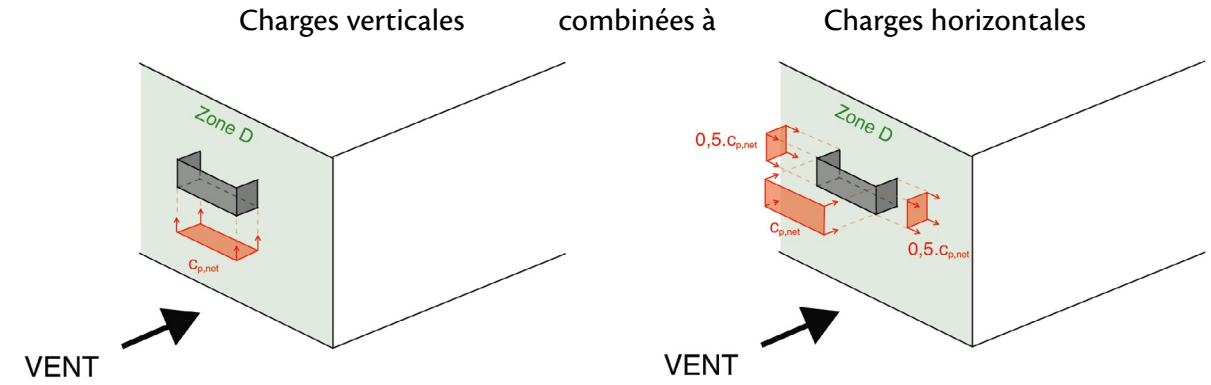


Cas 1.b

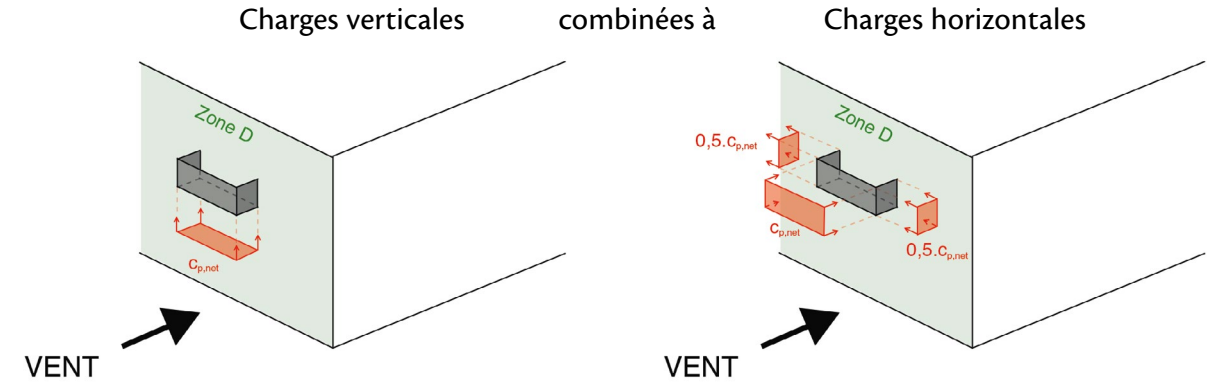


Cas de charge 2 : le balcon ou la coursive est situé dans la **zone D**[2]

Cas 2.a



Cas 2.b



1 Les zones A, B et C sont définies dans l'Eurocode NF EN 1991-1-4, figure 7.5

2 La zone D est définie dans l'Eurocode NF EN 1991-1-4, figure 7.5

3.2.2 $c_{p,net}$ pour les charges horizontales de vent

Les charges horizontales sont appliquées sur le balcon, la coursive, leurs garde-corps et leurs éventuels brise-soleil.

Dans le cas de **garde-corps ajouré**, la surface à considérer dans le calcul de la charge horizontale est uniquement l'aire « solide » du garde-corps. Dans le cas de **brise-soleil**, la surface à considérer est celle des lames.

Le coefficient de pression $c_{p,net}$ est fourni dans le tableau de la figure 6 en fonction de la profondeur d_1 du balcon. Les zones A, B, C et D sont définies ci-avant sur les figures du § 3.2.1.

Zone de façade	A	B et C	D
$d_1 \leq 1{,}5$ m	1,8	1,3	0,9
$d_1 \geq 2{,}5$ m	2,5	2,0	1,3

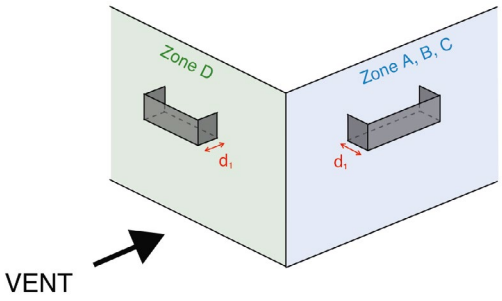


Figure 6 : $c_{p,net}$ pour les charges horizontales de vent

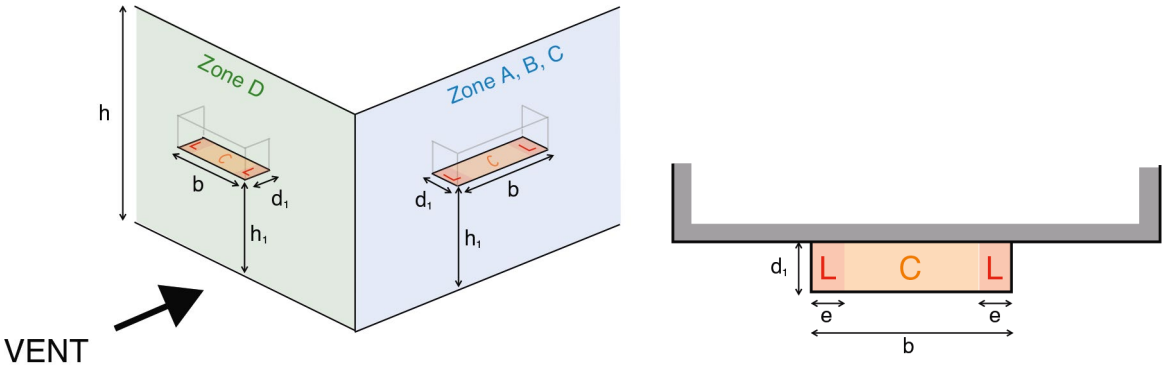
Les valeurs du tableau sont valables pour une profondeur d_1 inférieure à 10 m.

Pour des valeurs intermédiaires de d_1, il est possible d'interpoler les valeurs du tableau.

3.2.3 $c_{p,net}$ pour les charges verticales de vent

La charge verticale appliquée sur le balcon est ascendante.

Le coefficient de pression $c_{p,net}$ est fourni dans le tableau ci-après en fonction des paramètres géométriques décrits dans la figure ci-dessous..



e = minimum de d_1/4 et b/2

L : zones latérales

C : zone centrale

Figure 7 : Zones latérales et centrales de la surface horizontale du balcon ou de la coursive

Dans le cas d'un bâtiment pourvu d'une toiture non plate, h est défini comme la moyenne entre la hauteur du point le plus haut et celle du point le plus bas de la toiture.

Rapport h_1/h	Zones L (latérales)		Zone C (centrale)	
	$h_1/d_1 \leq 1{,}0$	$h_1/d_1 \geq 3{,}5$	$h_1/d_1 \leq 1{,}0$	$h_1/d_1 \geq 3{,}5$
≤ 0,1	0,9	1,4	0,2	0,5
0,2	0,9	1,4	0,2	0,5
0,3	0,9	1,4	0,2	0,5
0,4	1,0	1,5	0,2	0,5
0,5	1,0	1,5	0,2	0,5
0,6	1,1	1,6	0,4	0,7
0,7	1,2	1,7	0,7	1,0
0,8	1,4	1,9	1,0	1,3
0,9	1,7	2,2	1,3	1,6
1,0	2,0	2,5	1,6	1,9

Tableau 6 : $c_{p,net}$ pour les charges verticales de vent

Pour des valeurs intermédiaires de h_1/d_1 (comprises entre 1 et 3,5) et des valeurs intermédiaires de h_1/h, il est possible d'interpoler les valeurs du tableau.

3.3 Auvent, varangue

Cette partie concerne **les éléments structuraux d'un auvent** : la charpente, les éléments porteurs et les fondations. Deux cas d'auvent sont à distinguer en fonction de la relation mécanique de l'auvent avec la structure et la couverture de la toiture principale du bâtiment.



Figure 8 : Cas d'un auvent solidaire de la toiture principale

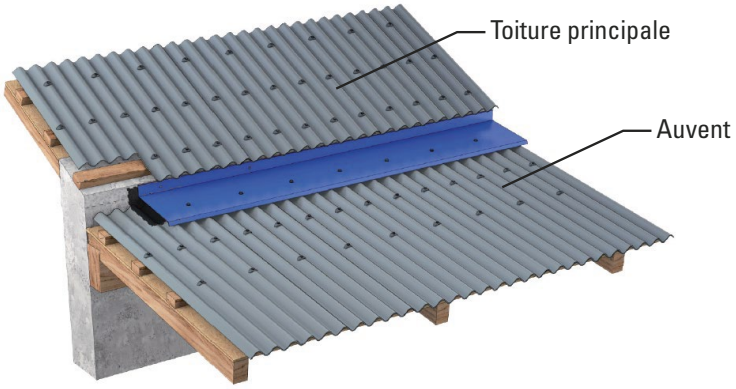


Figure 9 : Cas d'un auvent désolidarisé de la toiture principale

3.3.1 Cas des auvents solidaires de la toiture du bâtiment

On entend par « auvent solidaire » les situations où la charpente et/ou la couverture de l'auvent sont mécaniquement continues avec celles de la toiture. Autrement dit, ni la couverture, ni la charpente ne sont interrompues à la jonction entre toiture et auvent. Dans ce cas, l'endommagement de l'auvent peut entraîner l'endommagement de la toiture.

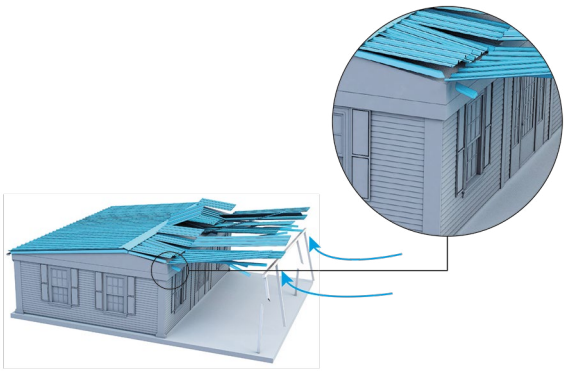


Figure 10 : Cas d'un auvent solidaire

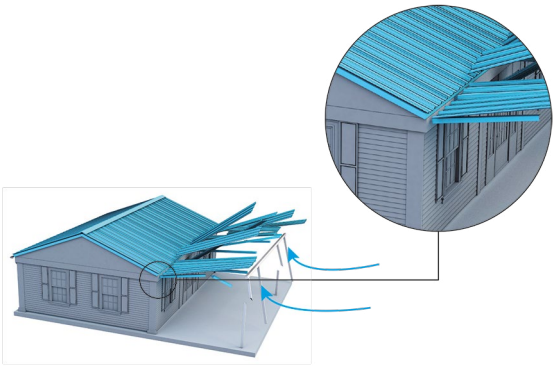


Figure 11 : Cas d'un auvent désolidarisé

Dans le cas d'un auvent solidaire, **la charpente, la couverture, les éléments porteurs et les fondations** sont soumis aux mêmes exigences que celles imposées au bâtiment auquel l'auvent est adossé.

3.3.2 Cas des autres auvents

Pour tous les autres auvents considérés comme désolidarisés de la structure, **un coefficient de réduction** est appliqué à la charge de vent.

Le tableau ci-après précise les coefficients de réduction à prendre en compte :

Catégorie d'importance du bâtiment	Coefficient de réduction	
	La Réunion	Mayotte
III	0,85	0,85
IV	0,90	0,85

Tableau 7 : Coefficient de réduction en fonction de la catégorie d'importance du bâtiment et de la zone géographique

La rupture des auvents désolidarisés ne doit pas provoquer d'endommagement de la structure de l'ouvrage : l'auvent bien qu'endommagé doit rester fixé à son support pour ne pas se transformer en projectile. Les assemblages de l'auvent à la structure du bâtiment principal et aux fondations sont soumis à l'application du coefficient de sur-résistance explicité au § 5.1.1.

EXIGENCES POUR LES ÉLÉMENTS NON STRUCTURAUX

On distingue deux catégories d'éléments non structuraux (ENS) :

- **les ENS d'enveloppe** qui doivent permettre d'assurer la fonction de clos et de couvert ;
- **les ENS rapportés** qui ne doivent pas devenir des projectiles dangereux pour les personnes, les bâtiments et les équipements.

Les **ENS d'enveloppe** et les **ENS rapportés** visés par le présent document sont listés dans le tableau suivant :

ENS d'enveloppe	ENS rapportés
Couverture en tôles Fenêtres et portes en façade Façade participant au clos couvert[1]	Bardage[2] Système ETICS[3] Panneau et chauffe-eau solaires Autres ENS rapportés[4]
Note : les façades lourdes sont réputées suffisamment résistantes pour assurer la fonction de clos et de couvert en cas de cyclone.	
[1] : Correspond au complexe de façade assurant le clos couvert : par exemple mur-rideau, façade ossature bois, façade préfabriquée en béton… [2] : Les bardages visés par le présent guide sont ceux dont les éléments de bardage respectent les critères de poids et de surface définis ci-après. [3] : Système d'isolation extérieure sous enduit [4] : Les éléments rapportés de taille plus réduite de type protection solaire, parabole et groupe de climatisation sont visés par le présent guide s'ils respectent les critères de poids et de surface définis ci-après.	

Tableau 8 : ENS d'enveloppe et ENS rapportés

Les exigences du présent document s'appliquent aux ENS rapportés (dont les bardages) dépassant les limites suivantes :

- le poids de l'ENS rapporté est supérieur à 4 kg ;
- la plus grande surface de l'ENS rapporté soumise au vent est supérieure à 0,5 m^2.

4.1 Cas général

Les ENS d'enveloppe dont l'arrachement ou l'endommagement sous l'effet des vents cycloniques est susceptible de créer un danger pour les occupants du bâtiment sont dimensionnés à **l'État Limite Ultime (ELU) sous combinaisons fondamentales** en prenant l'action du vent de référence comme action variable dominante et cela sous des **charges de vent identiques à la structure**. Cette obligation ne dispense pas de considérer les autres combinaisons d'actions soumises aux ENS.

Par ailleurs, **un coefficient de sur-résistance, noté γ_{SR}**, est appliqué au calcul de certains assemblages entre éléments non structuraux et leur support conformément au § 5.1.2.

Les ENS rapportés dont le domaine d'application respecte les critères énoncés au § 4 représentent un danger au cours du cyclone pour les bâtiments avoisinants et doivent donc rester fixés à leur support pour éviter de devenir un projectile. Tout comme les ENS d'enveloppe, les assemblages à leur support sont soumis à l'application du **coefficient de sur-résistance γ_{SR}**. De plus, les ENS rapportés doivent être fixés dans la charpente ou la structure du bâtiment.

> **NOTE**
>
> **Dans le cas des fenêtres, des portes et de certains auvents,** une réduction des charges de vent peut être appliquée à certaines conditions. Ces conditions sont précisées dans le § 3.2 pour les auvents et dans le § 4.4 pour les fenêtres et les portes.

Les critères de conception à respecter sont résumés dans le tableau suivant. Certaines exigences particulières spécifiques à un élément ne sont pas consignées dans le tableau. Il est nécessaire de se référer aux **paragraphes du chapitre 4 dédiés à chaque élément pour consulter l'ensemble des critères imposés à chaque élément.**

ENS		Résistance des éléments au vent ELU combinaisons fondamentales	Déformation des éléments au vent ELS combinaisons caractéristiques	Résistance des éléments aux chocs Essais d'impact	Résistance de l'assemblage ELU combinaisons fondamentales
ENS d'enveloppe	Couverture en tôle	x	x	-	x
	Fenêtres et portes en façade[1]	x	x	x	x
	Façade participant au clos couvert	x	x	o	o
	Garde-corps[2]	x	o	o	x
ENS rapportés	Bardage[3]	o	o	o	x
	ETICS[3]	o	-	o	o
	Panneau et chauffe-eau solaires	x	-	-	x
	Autres ENS rapportés supérieurs à 0,5 m² et 4 kg[3]	o	-	-	x

o : se référer aux règles de l'art
x : se référer aux règles de l'art et aux critères spécifiques à la réglementation paracyclonique décrits dans le présent document
- : pas d'exigence

[1] : Pour les fenêtres et portes en façade, les pressions utilisées pour le calcul et les essais sont non pondérées (cf NF DTU 36.5). Alternativement, ces éléments peuvent être dimensionnés à partir de la pression aérodynamique au sens de la NF EN 1991-1-4.
[2] : Pour les garde-corps, les normes NF 01-012 et NF 01-013 fournissent les règles de dimensionnement et les essais de résistance pour des garde-corps traditionnels.
[3] : Pour les bardages et les systèmes ETICS, les sollicitations de vent peuvent être déterminées soit par l'Eurocode NF EN 1991-1-4, soit par les Règles NV 65.
[4] : Pour les ENS rapportés autres que bardage, ETICS, panneau et chauffe-eau solaires, la résistance au vent est exigée au cas par cas selon l'ENS considéré.

Tableau 9 : Résumé des exigences par ENS

4.2 Couverture en tôle

Une couverture **doit résister au vent** sous combinaisons fondamentales à **l'État Limite Ultime (ELU)** en prenant l'action du vent de référence comme action variable dominante au sens des Eurocodes.

Une couverture **ne doit pas présenter une flèche instantanée sous charge ascendante** supérieure à la limite fixée dans le tableau suivant. Cette flèche correspond à la déformation maximale vers le haut subie par les toitures sous combinaison de charge à **l'État Limite de Service (ELS)** où le vent est l'unique action variable.

Cette limite est fixée selon la catégorie d'importance du bâtiment :

Catégorie d'importance du bâtiment	Limite de flèche sous charge ascendante [fraction de la portée de la couverture]
III	1/100^{e}
IV	1/200^{e}

Tableau 10 : Limites de flèche instantanée sous charge ascendante en fonction de la catégorie d'importance

4.3 Fenêtre et porte avec leurs éventuels protection et renfort

Le système composé d'une fenêtre ou d'une porte et de ses éventuels protections et renforts **doit résister à une charge de vent** définie comme la pression nette sur la paroi P_{net} **non pondérée et non combinée à d'autres charges** conformément au § 4.4.1. Cette exigence porte sur les fenêtres/portes vitrées et/ou opaques.

Le système **doit également résister aux chocs** conformément au § 4.4.2.

> **NOTE**
>
> Il est possible de recourir à des protections (volets, panneaux provisoires…) ou des renforts pour protéger la fenêtre/porte. Dans ce cas, la résistance aux pressions de vent et aux chocs engendrés par les projectiles peut être assurée par l'ensemble composé de la fenêtre/porte équipée des protections ou renforts.

4.3.1 Résistance au vent de la fenêtre/porte

La pression de vent à prendre en compte est la pression nette P_{net} sur la paroi contenant la fenêtre/porte sans pondération et non combinée à d'autres charges.

La pression nette P_{net} est calculée selon une des deux méthodes suivantes :

- **Méthode 1 :** calcul de la pression par assimilation à la **pression P3 au sens de la norme NF EN 12211 et du DTU 36.5** *via* les tableaux disponibles en Annexe 1 ;
- **Méthode 2 :** calcul de la pression par assimilation à la **pression aérodynamique de l'Eurocode NF EN 1991-1-4** *via* la démarche du § 2.

> **NOTE**
>
> **Une réduction** peut être appliquée à la pression nette en fonction des éventuels protections et renforts associés à la fenêtre/porte. Pour la méthode 1, les pressions disponibles dans les tableaux intègrent cette réduction. Pour la méthode 2, il est possible d'appliquer un coefficient de réduction identique à celui de la méthode 1.

4.3.1.1 Pression cyclonique réduite avec protections et renforts

La charge de vent sur la fenêtre/porte peut être réduite en fonction du niveau de porosité de la protection et de la présence éventuelle d'un renfort. Les protections des fenêtres/portes sont classées selon les trois niveaux suivants :

- **protections « non poreuses » :** les protections sont distantes des fenêtres/portes d'au moins 5 cm et leur porosité doit être inférieure à la moitié de celle de la fenêtre/porte ;
- **protections « faiblement poreuses » :** les protections sont distantes des fenêtres/portes d'au moins 15 cm et leur porosité ne doit pas être supérieure au double de celle de la fenêtre/porte sans que la porosité de la fenêtre/porte ne dépasse 0,14 % ;
- **protections « poreuses » :** toutes les protections ne respectant pas les critères énoncées ci-avant.

NOTE

Pour définir la porosité, deux cas peuvent se présenter en Outre-mer : les fenêtres/portes sont classées par essai pour leur perméabilité à l'air comme au niveau national[1] ou bien elles peuvent être dispensées d'essai. Le DTU 36.5 indique : « *Particulièrement dans les DOM, il peut être utilisé des fenêtres/portes n'ayant aucune exigence vis-à-vis de la perméabilité à l'air.* »

Dans le cas des fenêtres/portes non classées, les protections sont considérées comme poreuses[2].

Dans le cas des fenêtres/portes classées, les fenêtres/portes sont réparties en quatre classes correspondant à des perméabilités allant de 50 $m^3/(h.m^2)$ sous 100 Pa à 3 $m^3/(h.m^2)$.

De manière simplifiée, nous pouvons établir l'équivalence[3] suivante qui fonctionne tant que la porosité de la fenêtre/porte est de nature équivalente à celle de la protection.

Classe perméabilité (EN 12207)	Perméabilité à l'air Q $m^3/h.m^2$	Porosité maximale de la fenêtre/porte mm^2/m^2 (%)	Porosité maximale de la protection mm^2/m^2 (%)
1	50	1 268 (0.14)	2 535 (0.28)
2	27	685 (0.07)	1 369 (0.14)
3	9	228 (0.023)	456 (0.046)
4	3	76 (0.008)	152 (0.015)

Tableau 11 : Équivalence perméabilité – porosité pour les fenêtres/portes

Une alternative est d'estimer par calcul la porosité de volets existants sur le marché. Cela n'est cependant possible que lorsque la dimension des orifices laissant passer l'air peut être estimée de manière fiable.

La nature de la pression – pression cyclonique ou pression cyclonique réduite – à considérer pour le dimensionnement de la fenêtre/porte est synthétisée dans le tableau suivant.

	Protection mécanique (volets, plaques provisoires…)	Dimensionnement de la fenêtre/porte au vent
Cas 1	Pas de protection (+ résistance aux chocs de la fenêtre/porte)	Pression cyclonique
Cas 2a	Protection faiblement poreuse (– 22 % sur la charge de vent)	Pression cyclonique – 22 %
Cas 2b	Protection non poreuse	Pression cyclonique réduite
Cas 3a	Protection poreuse	Pression cyclonique
Cas 3b	Protection poreuse (+ renfort de la fenêtre/porte)	Pression cyclonique réduite

Tableau 12 : Dimensionnement de la fenêtre/porte en fonction de la protection et des renforts

Si la fenêtre/porte n'a pas de protection (cas 1) ou dispose d'une protection dite « poreuse » (cas 3a), celle-ci doit résister à la charge de vent calculée *via* les tableaux de l'Annexe 1 qui permet d'obtenir **la pression nette de dimensionnement dite « pression cyclonique ».**

Si la fenêtre/porte est protégée par une protection dite « faiblement poreuse » (cas 2a) , **la pression cyclonique est diminuée de 22 %.**

1 La méthode d'essai et la classification de la perméabilité à l'air sont définies respectivement dans les normes NF EN 1026 et NF EN 12207.

2 La porosité (équivalent de l'étanchéité) n'étant pas maîtrisée, il n'est pas possible d'utiliser l'hypothèse des protections faiblement poreuse en l'état des connaissances.

3 La traduction de ce classement en termes de porosité dépend de la forme des espaces laissant passer l'air (ponctuels, linéaires) et des pertes de charge.

Si la fenêtre/porte est protégée par une protection dite « non poreuse » (cas 2b) ou si elle dispose d'un renfort (cas 3b), **la pression cyclonique appliquée est réduite**.

Les valeurs de pression cyclonique réduite sont également fournies en Annexe 1.

Dans tous les cas, la fenêtre/porte doit justifier d'une résistance de **1 200 Pa minimum**.

Alternativement, la pression utilisée pour le dimensionnement peut être la **pression aérodynamique de l'Eurocode NF EN 1991-1-4** appliquée à la fenêtre/porte. Le cas échéant, la pression est réduite si la fenêtre/porte dispose de protection et/ou de renfort.

4.3.1.2 Calcul de la pression nette P_{net} par la méthode 1

Pour la méthode 1, P_{net} est assimilée à la pression P3 au sens de la norme NF EN 12211 et du DTU 36.5.

On parle alors de P3 cyclonique.

Le calcul de la pression P3 cyclonique s'appuie sur les **tableaux de l'Annexe 1** et dépend des paramètres suivants :

- la catégorie d'importance du bâtiment ;
- la zone géographique ;
- le coefficient d'exposition à 10 m du lieu d'implantation du bâtiment ;
- la hauteur du bâtiment.

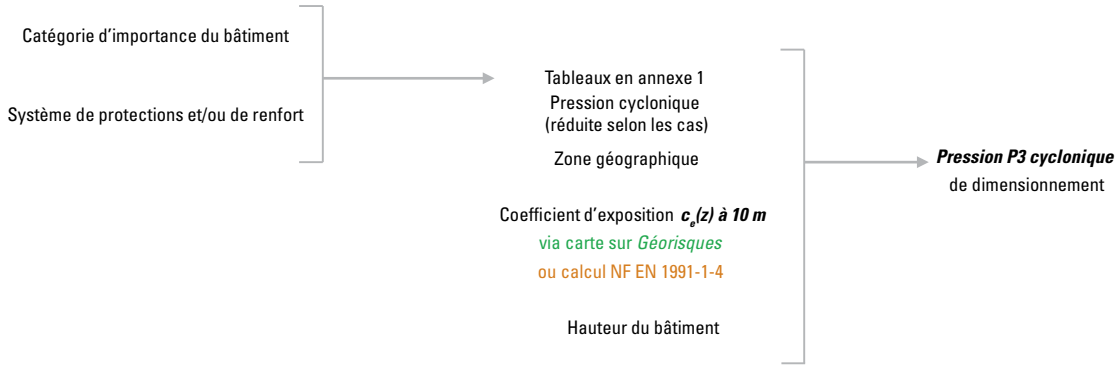


Figure 12 : Diagramme de calcul de la pression nette P3 cyclonique de dimensionnement de la fenêtre/porte

4.3.1.3 Calcul de la pression nette P_{net} par la méthode 2

Pour la méthode 2, P_{net} est assimilée à la pression aérodynamique de l'Eurocode NF EN 1991-1-4 .

Le calcul de la pression s'appuie sur les deux méthodes du § 2 pour le calcul de la pression dynamique de pointe q_p.

Le calcul des coefficients de pression extérieure est conforme à l'Eurocode NF EN 1991-1-4, § 7 *Coefficients de pression et de force*. La pression nette est ensuite calculée selon le § 5.2 *Pression aérodynamique sur les surfaces* de la NF EN 1991-1-4.

4.3.2 Résistance aux chocs de la fenêtre/porte ou de la protection

Toute fenêtre/porte, éventuellement équipée d'une protection, doit **résister aux chocs**. Le cas échéant, la protection peut être **un dispositif pérenne** de type volet ou peut être seulement constituée par **un dispositif amovible** pouvant être facilement mis en place avant le début de l'épisode cyclonique.

> **NOTE**
>
> Un dispositif amovible correspond à un élément mis en place temporairement (panneau bois ou dérivé du bois par exemple). Les dispositifs permanents (volets, persiennes) sont dits pérennes.

Lorsque les fenêtres/portes ne sont pas protégées par des protections résistantes aux chocs, elles doivent y résister intrinsèquement. Lorsque les fenêtres/portes sont protégées, c'est la protection qui doit résister aux chocs.

Afin de vérifier la résistance aux chocs des fenêtres/portes ou des protections, celles-ci sont soumises à **des essais réalisés** avec un élément en bois de pin scié de masse volumique 540 kg/m³ (± 50 kg/m³) de 4 kg (- 0 ; + 0,1 kg), de section 4 cm (± 0,2 cm) par 9 cm (± 0,2 cm).

La vitesse de l'impact dépend de la catégorie d'importance du bâtiment.

Catégorie d'importance du bâtiment	Vitesse de l'impact (m/s)
III	15 (± 1,5)
IV	24 (± 2,5)

Tableau 13 : Vitesse de l'impact pour l'essai de résistance aux chocs[4]

Pour les fenêtres/portes comportant un vitrage, deux impacts ont lieu sur le vitrage et deux impacts sur les profilés. Pour les fenêtres/portes comportant un panneau de remplissage, les essais ont lieu sur la partie la plus fine du procédé une fois à l'endroit le plus souple et une fois à l'endroit le plus rigide, généralement au milieu et dans un angle du panneau le plus fin.

Les critères de réussite aux tests de résistance aux chocs sont :

- une absence de perforation des éléments testés par l'objet impactant ;
- une absence de chute de matière à l'arrière de la maquette testée ;
- les éléments de protection doivent présenter une déformation lors de l'impact inférieure à l'espace prévu entre la protection et la fenêtre/porte protégée ;
- pour les éléments de protection : une intégrité suffisante pour reprendre les efforts de pression nette P_{net} ;
- pour les fenêtres/portes : une intégrité suffisante ne présentant pas chute en cas d'ouverture.

Les équipements suivants sont réputés satisfaire aux critères précités s'ils cumulent l'ensemble des conditions :

- **Volets à persienne :**
  - une épaisseur minimale de bois de 30 mm en périphérie et de 20 mm en persienne ;
  - des parties en persienne de 1 m de hauteur et 0,5 m de largeur maximum et munies de protections provisoires ;
  - une fixation au gros œuvre avec 4 éléments minimum pouvant reprendre chacun un effort de traction de 150 kg minimum ;
- **Volets opaques :**
  - une épaisseur de bois en partie courante de 20 mm minimum ;
  - des renforts intérieurs en bois de 20 mm d'épaisseur minimum ;
  - des renforts extérieurs métalliques de 2 mm minimum en acier inoxydable ou galvanisé avec une peinture antirouille ;
  - un espacement des renforts de 1 m maximum, les renforts aux extrémités étant à 30 cm maximum des bords ;
  - au minimum 4 fixations du volet dans le gros œuvre pouvant reprendre chacune un effort de traction de 150 kg minimum ;
- **Volets roulants acier ou aluminium pour baies vitrées :**
  - de dimensions maximales égales à :
    - 2,2 m de hauteur et 2 m de largeur avec une ligne de renfort ;
    - 2,2 m de hauteur et 4 m de largeur avec deux lignes de renforts ;
  - présence de crochets anti-tempête.

4 Les vitesses d'impact sont inspirées des références internationales suivantes : ICC Hurricane (Guidelines for hurricane resistant residential construction – 2005, ASTM E1996 ; FBC/TAS 201 (Florida building code) : juillet 2020 pour la description des essais.

4.3.3 Autres exigences

En cas de protections ou renforts **amovibles**, ceux-ci respectent les conditions suivantes :

- l'installation doit être assez simple pour qu'elle puisse être réalisée par l'occupant lui-même ;
- La mise en œuvre doit pouvoir être réalisée à partir de l'intérieur pour toutes les fenêtres/portes inaccessibles de l'extérieur et réalisable par une personne à mobilité réduite dans le cas de logements respectant les obligations réglementaires d'accessibilité ;
- la mise en œuvre ne doit pas mettre en danger les occupants par du travail en hauteur ;
- le choix des renforts doit tenir compte de la flèche maximale acceptable de 1/100^{e} et de la masse maximale raisonnable de chaque élément à manutentionner (10 kg).

4.4 Façade légère

Le dimensionnement des éléments de façade légère se fait conformément aux règles de l'art (résistance mécanique, résistance au feu, compatibilité des déformations entre façade et structure, limite de déplacement imposée par le produit…).

Une façade légère doit résister au vent sous combinaisons fondamentales à **l'État Limite Ultime (ELU)** en prenant l'action du vent de référence comme action variable dominante au sens des Eurocodes. Les charges de vent utilisées sont calculées selon la méthode décrite au § 2.

Également, les déformations maximales de la façade légère (ossature et remplissage) doivent être vérifiées sous l'action des combinaisons les plus défavorables des charges de vent à **l'État Limite de Service (ELS)** en prenant l'action du vent de référence comme action variable dominante au sens des Eurocodes.

Les fixations à l'ossature primaire des façades légères doivent être freinées pour la durée de vie de l'ouvrage, après réglage, tout en tenant compte du ou des degrés de liberté éventuels. Par frein, il faut entendre tout dispositif empêchant le desserrage autrement que par une action volontaire, comme des freins filets, des rondelles de blocage ou des contre-écrous.

Il est nécessaire de **vérifier le bon serrage des fixations** après un épisode cyclonique.

4.5 Garde-corps

Cette partie concerne les garde-corps traditionnels visés par la norme NF P 01-012.

Le dimensionnement des garde-corps se fait conformément aux règles de l'art (vérification de la résistance mécanique et limitation des déplacements sous charge d'exploitation horizontale à 1 m de hauteur, vérification des charges sismiques, chocs, etc.)

Les garde-corps doivent être **vérifiés aux charges de vent**. Les charges de vent utilisées sont calculées selon la méthode décrite au § 2.

Pour les garde-corps de balcons et de coursives, la méthode de calcul du coefficient de pression $c_{p,net}$ est fournie au § 3.2.

Les garde-corps étant considérés comme des **éléments de sécurité**, le coefficient de sur-résistance $\gamma_{SR} = 1{,}5$ s'applique au calcul de la résistance au vent de **l'ensemble de l'élément, y compris l'assemblage à sa structure support**.

Le coefficient s'applique aux efforts résultant des combinaisons de charge à l'ELU pour lesquelles l'action du vent de référence est l'action variable dominante au sens des Eurocodes.

4.6 Bardage

Le coefficient de sur-résistance $\gamma_{SR} = 1{,}5$ s'applique à l'assemblage entre le parement d'un bardage et son support (soit l'ossature secondaire, soit la structure du bâtiment si le bardage est directement fixé sur la structure sans ossature secondaire).

4.7 Système ETICS, isolation extérieure sous enduit

Cette partie concerne les systèmes ETICS fixés mécaniquement.

Le dimensionnement des systèmes ETICS collés est néanmoins soumis aux règles de l'art, sans être soumis à des exigences spécifiques à l'action du vent cyclonique[5].

Le système ETICS, ainsi que son support, doit résister au vent sous combinaisons fondamentales à **l'État Limite Ultime (ELU)** en prenant l'action du vent de référence comme action variable dominante au sens des Eurocodes.

Les charges de vent utilisées sont calculées selon la méthode décrite au § 2, en prenant $c_{pi} = 0$ et c_{pe} conformément à l'Eurocode NF EN 1991-1-4.

La jonction entre les lés d'armature de la couche de base armée doit **assurer la continuité** de celle-ci, que la jonction soit effectuée en partie courante ou au niveau des angles.

En partie courante et au niveau des angles rentrants et sortants, il est nécessaire de prévoir un chevauchement de 10 cm minimum aux joints des lés.

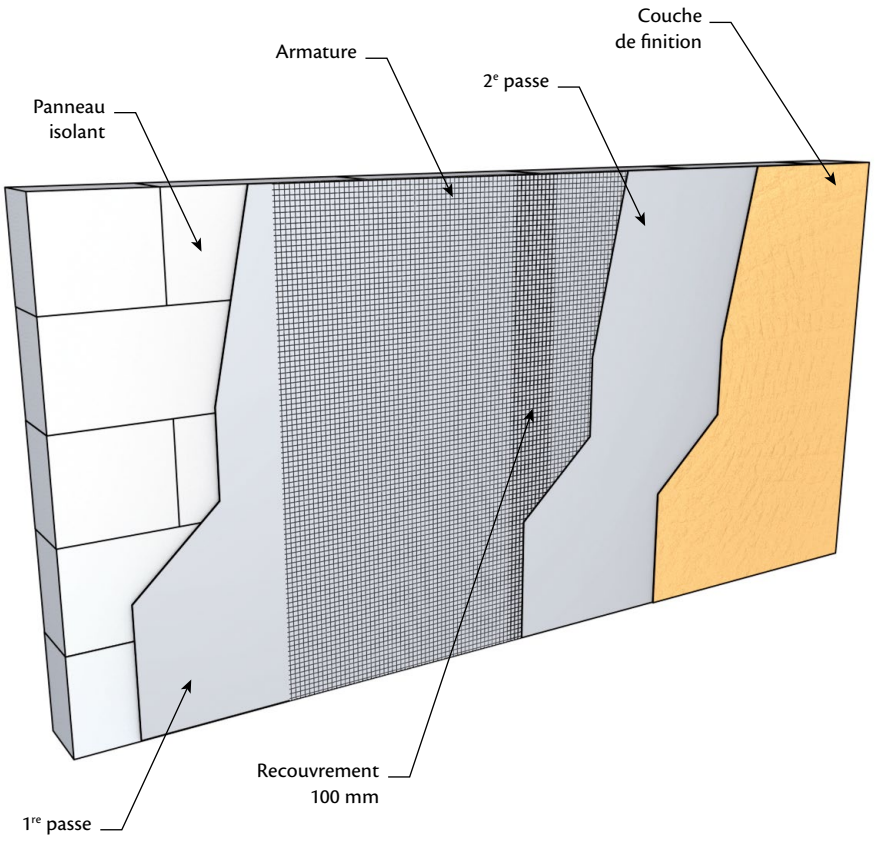


Figure 13 : Recouvrement entre lés d'armature en partie courante

5 Les systèmes ETICS collés sont réputés suffisamment résistants aux charges de vent cyclonique.

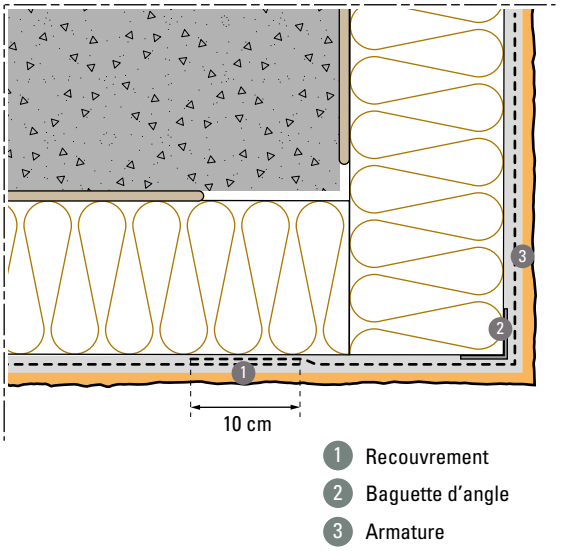


Figure 14 : Recouvrement entre lés d'armature en angle sortant

Au niveau des angles sortants, une alternative au recouvrement consiste à utiliser des profilés d'angles entoilés.

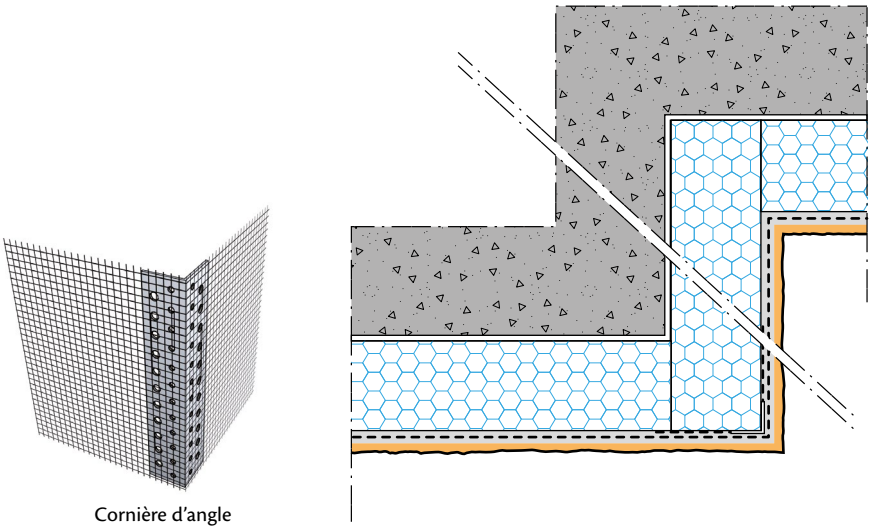


Figure 15 : Angle sortant avec baguette d'angle entoilée

Dans le cas de menuiseries posées au nu intérieur, les panneaux isolants éventuellement installés en tableau ou en linteau doivent impérativement être fixés mécaniquement. Si ces panneaux sont en polystyrène expansé, ils peuvent alternativement être uniquement collés selon les mêmes dispositions qu'en partie courante.

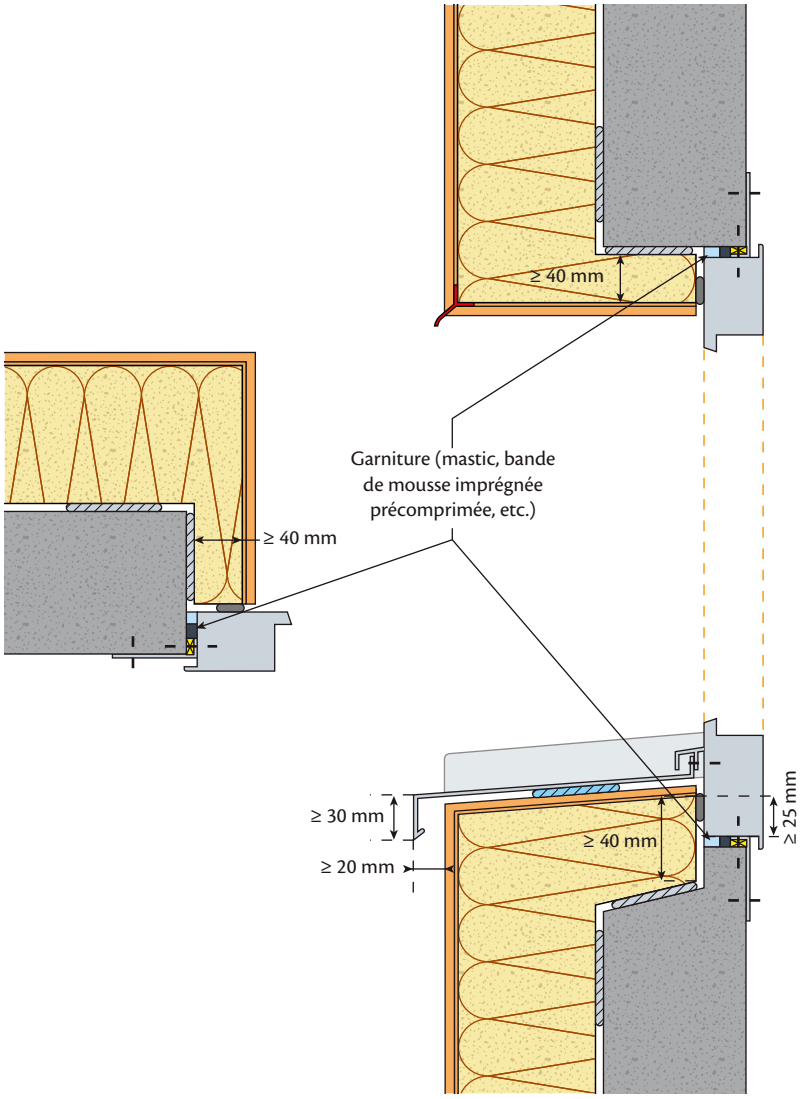


Figure 16 : Encadrement d'une menuiserie posée au nu intérieur

4.8 Panneau et chauffe-eau solaires

Cette partie concerne les éléments de production d'énergie de type solaire thermique ou photovoltaïque installés en sur-toiture. L'élément peut être constitué uniquement d'un panneau ou d'un panneau associé à un ballon chauffe-eau solaire.

Dans les cas où le panneau solaire et son éventuel ballon **sont installés sur une toiture terrasse**, les charges de vent doivent être calculées selon l'Eurocode NF EN 1991-1-4 en considérant le panneau comme une « toiture isolée à un seul versant » (§ 7.3 de la NF EN 1991-1-4).

Dans les cas où le panneau solaire et son éventuel ballon **sont installés sur une toiture inclinée**, les parties suivantes fournissent les hypothèses et la méthode de calcul à utiliser.

4.8.1 Domaine d'application des panneaux et chauffe-eau solaires sur toiture inclinée

Le présent document ne traite **que des panneaux surimposés parallèles à la toiture**.

Les situations suivantes sont **exclues du domaine d'application** du présent document :

- les panneaux intégrés à la toiture ;
- les panneaux sur châssis non parallèles à la toiture ;
- les panneaux positionnés à plus de 20 cm au-dessus de la surface de toiture[6] ;
- les panneaux installés sur des toitures dont la pente est inférieure à 15° et supérieure à 60°.

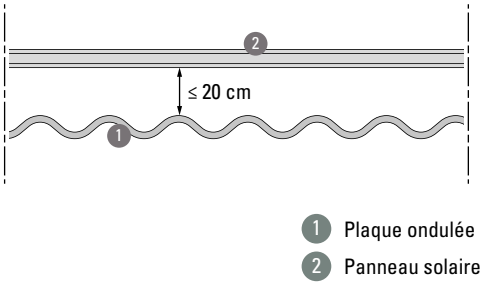


Figure 17 : Distance entre panneau et plaque ondulée

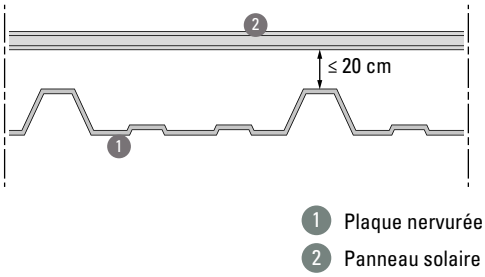
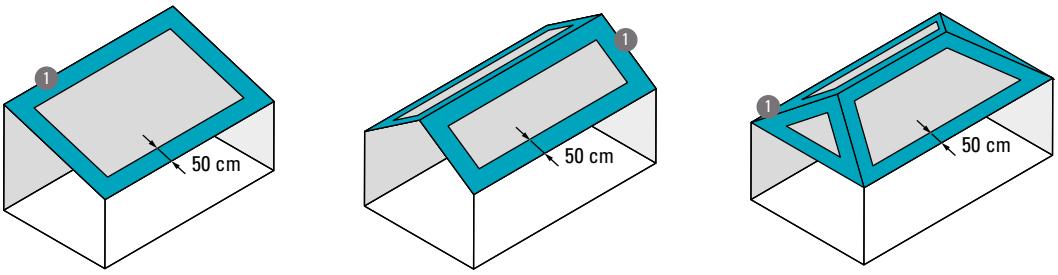


Figure 18 : Distance entre panneau et plaque nervurée

6 Calculée comme la distance la plus courte entre la sous-face du panneau et la surface de la couverture. Par exemple, la distance entre la sous-face du panneau et le sommet de nervure ou d'onde pour les couvertures en tôle.

La zone périphérique de 50 cm de large bordant chaque versant de toiture (rive basse, rive haute, rive latérale, arêtier) n'est pas couverte par le présent document. Dans le cas d'une installation du panneau dans cette zone, une étude doit être menée pour justifier la fixation du panneau sous des sollicitations de vent plus élevées que proposées au § 4.8.2 et § 4.8.3.



1 Zone périphérique

Figure 19 : Zone périphérique pour une toiture à 1, 2 et 4 versants

Les noues ne sont pas incluses dans la zone périphérique et sont donc couvertes par le présent document. Les éléments en saillie de type chien assis, cheminée ou autre n'ont pas d'influence sur la géométrie de la zone périphérique.

La partie supérieure du panneau, ballon inclus le cas échéant, ne doit pas être située plus haut que le faîtage. Dans le cas contraire, une étude doit être menée pour justifier la fixation du panneau (et du ballon le cas échéant) sous des sollicitations de vent plus élevées que proposées au § 4.8.2 et § 4.8.3.

4.8.2 Calcul de l'action du vent sur un panneau

Seule **la charge de vent d'arrachement** du panneau est considérée car les exigences réglementaires portent uniquement sur les assemblages du panneau sur la charpente ou la structure du bâtiment. Il convient d'appliquer les règles de l'art pour le dimensionnement du panneau en dehors de ce cas de charge réglementaire.

La charge de vent d'arrachement perpendiculaire au panneau est calculée selon la formule suivante :

$$F_V = q_p(z) \cdot c_{p,net} \cdot A$$

Avec :

- $q_p(z)$ calculée selon la méthode décrite au §2
- $c_{p,net} = c_{pe} - c_{pi}$ au sens de l'Eurocode NF EN 1991-1-4 avec $\mathbf{c_{pi} = 0}$
- A : surface du panneau

Le calcul de c_{pe} se fait selon l'Eurocode NF EN 1991-1-4 en utilisant la valeur de $c_{pe,10}$.

Alternativement, il est possible d'utiliser les valeurs de $c_{p,net}$ suivantes **pour les toitures à 1, 2 ou 4 versants**.

	$c_{p,net}$	
Zone de toiture	**Panneau seul**	**Panneau + ballon**
A (centre)	– 0,7	
B (coin)	– 2	
C (Rives basse et latérale)	– 1,4	
D (Rive haute)	– 1,4	-2
Note : aucune valeur $c_{p,net}$ positive n'est fournie car ces valeurs sont uniquement utilisées pour le dimensionnement des fixations dans le présent document.		

Tableau 14 : $c_{p,net}$ pour une toiture à 1, 2 ou 4 versants

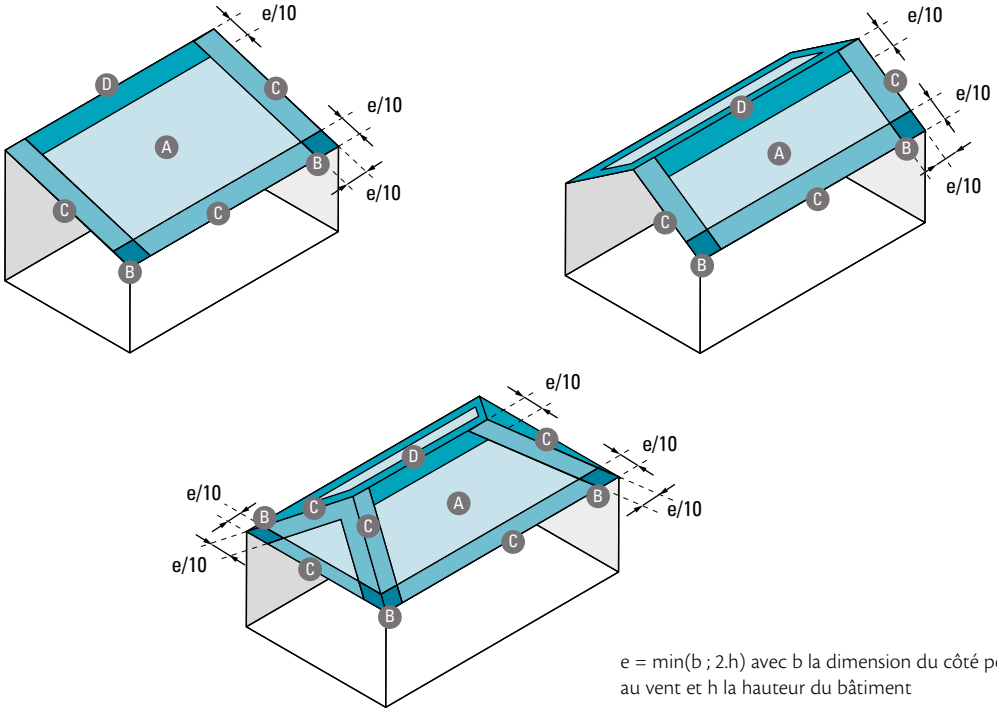


Figure 20 : Zone de toiture pour une toiture à 1, 2 et 4 versants

NOTE

Pour rappel, la zone périphérique de 50 cm située sur le pourtour du versant nécessite une étude particulière. Les valeurs du tableau ci-dessus sont applicables uniquement hors de cette zone périphérique.

4.8.3 Calcul de l'action du vent sur le ballon

La charge de vent appliquée au ballon est calculée comme suit :

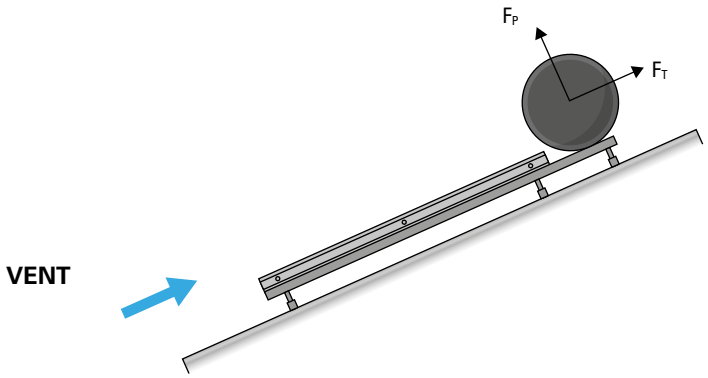


Figure 21 : Force de traînée et force de portance

Force de traînée	Force de portance
$F_T = q_p(z) \cdot c_T \cdot A$ (dans le sens du vent)	$F_P = q_p(z) \cdot c_P \cdot A$ (perpendiculaire à la toiture)

Avec :

- $q_p(z)$ calculée selon la méthode décrite au § 2 ;
- $c_T = 0,7$: coefficient de traînée ;
- $c_P = 1,0$: coefficient de portance ;
- $A = L \cdot \varnothing$: surface projetée du ballon avec L longueur du ballon et $\varnothing$ diamètre du ballon

Le ballon étant solidaire de la structure support du panneau, la charge de vent sur le ballon est transmise aux assemblages de la structure support du panneau sur la charpente/structure du bâtiment. Les forces résultantes sont à ajouter aux forces générées par l'action du vent sur le panneau lui-même (§ 4.8.2) comme suit :

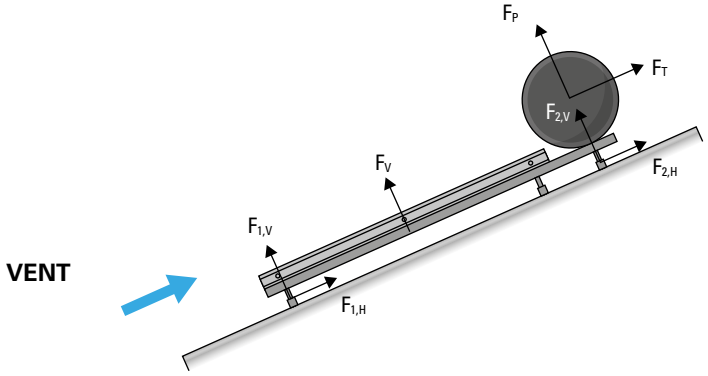


Figure 22 : Force de calcul des fixations basses (F_1) et fixations hautes (F_2)

Forces fixations basses	Forces fixations hautes
$F_{1,H} = F_T / 2$ $F_{1,V} = F_V / 2$	$F_{2,H} = F_T / 2$ $F_{2,V} = F_V / 2 + F_P$

Avec :

- F_V : force d'arrachement du vent appliquée au panneau ;
- F_T : force de traînée du vent appliquée au ballon ;
- F_P : force de portance du vent appliquée au ballon ;
- $F_{1,H}$ et $F_{1,V}$: composantes horizontale et verticale de la force au niveau des fixations basses ;
- $F_{2,H}$ et $F_{2,V}$: composantes horizontale et verticale de la force au niveau des fixations hautes.

> **NOTE**
>
> Outre la charge de vent, le poids propre du ballon doit également être pris en compte selon les règles de l'art (cas de charge avec ballon plein et ballon à vide).

4.8.4 Fixations du panneau

La structure support du panneau doit être fixée sur la charpente ou la structure du bâtiment.

Le coefficient de sur-résistance $\gamma_{SR} = 1,5$ s'applique aux assemblages entre la structure support du panneau et la charpente/structure du bâtiment.

4.8.5 Charpente et/ou structure support du panneau et de son éventuel ballon

La charpente ou la structure support du panneau et de son éventuel ballon doit être apte à reprendre les efforts transmis via les assemblages. Les efforts transmis résultent de l'action combinée du vent et du poids du panneau associé à son éventuel ballon.

4.9 Auvent, varangue

Cette partie concerne **les éléments non structuraux d'un auvent** : la couverture et les éventuels ENS rapportés (brise-soleil, panneau solaire, chauffe-eau solaire, lambrequin…) qui composent l'auvent.

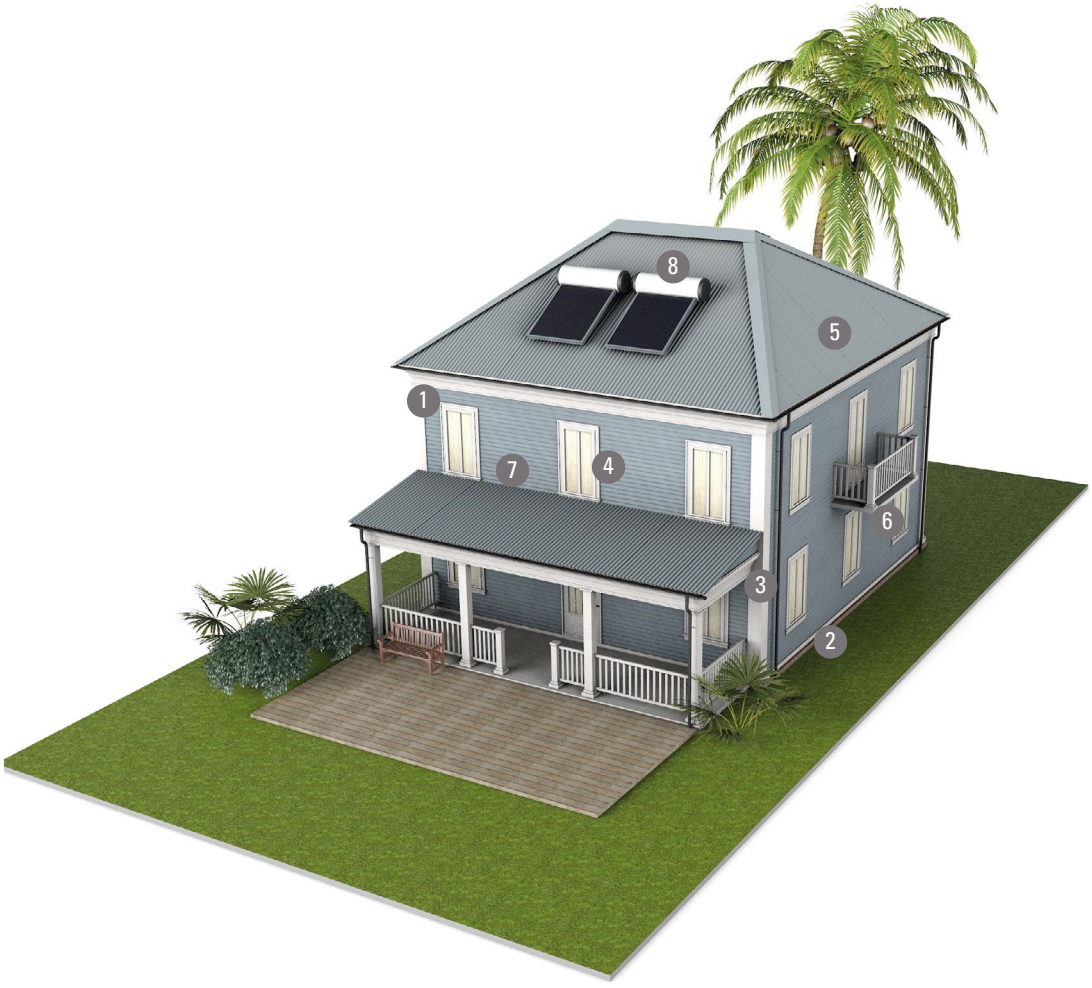
La méthode de calcul des charges de vent est identique à celle s'appliquant à la structure de l'auvent.

Les exigences sont ensuite déclinées par élément pour la couverture et les éventuels autres ENS qui composent l'auvent. Les critères à respecter sont définis dans les § 4.1 à 4.8.

EXIGENCES POUR LES ASSEMBLAGES

Les précédents épisodes cycloniques ont montré que les sinistres majeurs ont pour origine **une rupture au niveau d'un assemblage**. La conception et l'exécution des assemblages dans les zones cycloniques exigent donc une attention particulière et doivent prendre en compte **les spécificités des territoires d'outre-mer** que sont l'agressivité des embruns marins, les épisodes de fortes précipitations et un taux d'humidité globalement élevé.

Dans le cas d'une conception paracyclonique, on s'intéresse aux assemblages qui permettent de transmettre les charges de vent de l'enveloppe jusqu'aux fondations et dont la rupture peut provoquer un sinistre généralisé. Tous les assemblages ne sont donc pas concernés : les assemblages pour lesquels le coefficient de sur-résistance s'applique sont listés ci-après aux § 5.1.1 et § 5.1.2.



Légende
① Assemblage entre structure et charpente
② Assemblage entre structure légère et fondations
③ Assemblage entre structure/charpente d'un auvent et structure/charpente du bâtiment
④ Assemblage entre menuiserie d'une fenêtre/porte et support structural
⑤ Assemblage entre charpente et tôle de couverture
⑥ Assemblage entre garde-corps et son support
⑦ Assemblage entre parement d'un bardage et son support (ossature secondaire ou structure)
⑧ Assemblage entre structure support d'un panneau solaire et structure/charpente du bâtiment

Figure 23 : Types d'assemblage

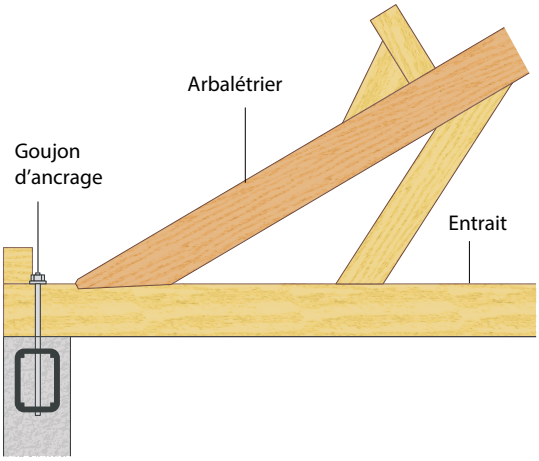


Figure 24 : Exemple d'assemblage entre structure et charpente (1)

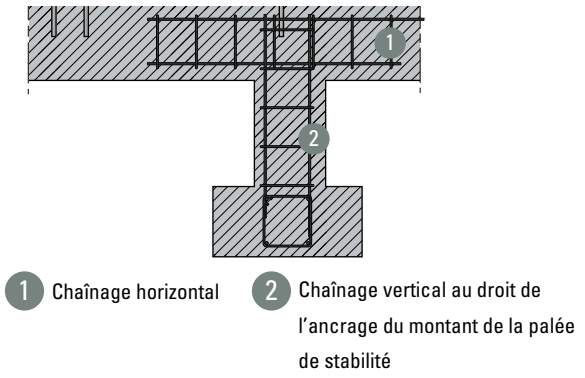


Figure 25 : Exemple d'assemblage entre structure légère et fondations (2)

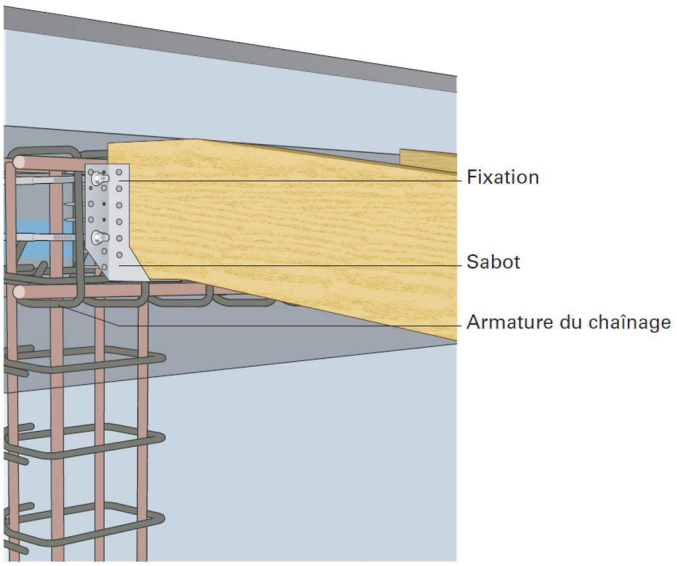


Figure 26 : Exemple structure/charpente d'un auvent et structure/charpente du bâtiment (3)

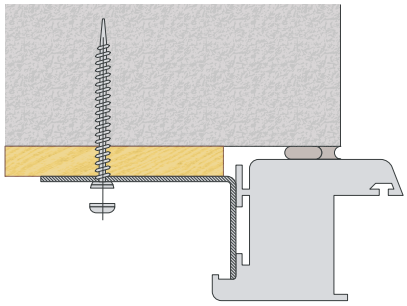


Figure 27 : Exemple d'assemblage entre menuiserie et son support structural (4)

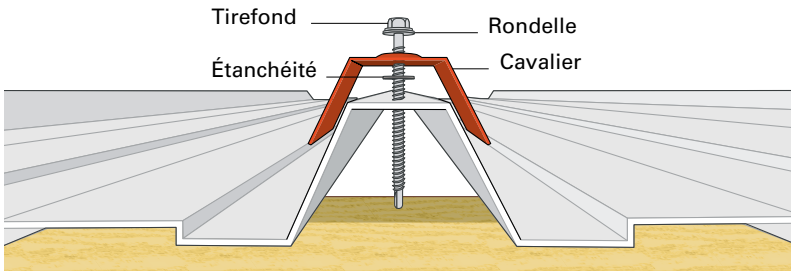


Figure 28 : Exemple d'assemblage entre charpente et tôle de couverture (5)

5.1 Coefficient de sur-résistance γ_{SR}

Afin de limiter les ruptures brutales au niveau d'une liaison et de mieux maitriser les lieux d'apparition de défaillances, **un coefficient de sur-résistance, noté γ_{SR}**, est appliqué à certains assemblages d'éléments structuraux et non structuraux. Ces assemblages sont précisés ci-après aux § 5.1.1 et § 5.1.2.

Ce coefficient de sur-résistance porte sur **l'ensemble de l'assemblage** qui comprend les ancrages, sa liaison avec l'élément de structure et les organes d'assemblage (type équerre, platine, sabot, étrier à âme…) et s'applique aux efforts que subit l'assemblage.

La résistance R_d à un effort E_d que subit l'assemblage doit ainsi respecter la condition suivante :

$$\gamma_{SR} \cdot E_d \leq R_d$$

où :

- E_d : Valeur de calcul de l'effet des actions
- R_d : Valeur de calcul de la résistance

> **NOTE**
>
> En renforçant certains assemblages, on limite les risques de rupture à la chaîne d'assemblages qui peuvent conduire à l'effondrement général de la structure. Renforcer les assemblages de fixation de l'enveloppe du bâtiment permet également de réduire le risque qu'un élément se transforme en projectile pouvant impacter les personnes, les bâtiments ou les équipements.

5.1.1 Assemblage entre éléments structuraux

Le coefficient de sur-résistance fixé à γ_{SR} = 1,5 s'applique au calcul des assemblages structuraux suivants :

- les assemblages entre structure et charpente ;
- les assemblages entre structure légère (ossature bois ou métallique par exemple) et les fondations ;
- les assemblages entre structure/charpente d'un auvent et structure/charpente du bâtiment.

5.1.2 Assemblage entre éléments non structuraux et leur support

Le coefficient de sur-résistance fixé à γ_{SR} = 1,5 s'applique aux assemblages suivants des ENS avec leur support :

- les assemblages entre les menuiseries d'une fenêtre/porte et le support structural ;
- les assemblages entre charpente et tôle de couverture ;
- les assemblages entre garde-corps et leur support ;
- les assemblages entre parement d'un bardage et son support (ossature secondaire ou structure) ;
- les assemblages entre structure support d'un panneau solaire et structure/charpente du bâtiment ;
- les fixations des ENS rapportés respectant les critères de poids et de surface énoncés au § 4.

EXIGENCES POUR LES BÂTIMENTS DE CATÉGORIE IV

Pour les bâtiments de catégorie IV, des exigences supplémentaires sont à prendre en compte en fonction du type de bâtiment (hôpital, bâtiment refuge, etc.). Ces exigences sont liées à la nécessité d'assurer une continuité de fonctionnement. **Elles doivent être définies dans les documents particuliers du marché.**

La réglementation paracyclonique impose que des mesures préventives spécifiques doivent être appliquées aux bâtiments, équipements et installations de catégorie IV **pour garantir la continuité de leur fonctionnement en cas de cyclones**.

> **NOTE**
>
> En cas d'épisode cyclonique, les équipements et installations intérieures sont peu impactées tant que l'étanchéité de l'enveloppe est assurée.

Les exigences qui résultent de la continuité de fonctionnement **dépendent du type de bâtiment considéré**. Par exemple, un hôpital n'a pas les mêmes besoins qu'un bâtiment abritant un centre de secours.

Des règles spécifiques doivent donc être **établies par la maîtrise d'ouvrage** en fonction du type de bâtiment. Ces règles doivent préciser les performances visées et les implications en termes d'hypothèses de conception, de critères de conception et de dispositions particulières à mettre en œuvre.

PRINCIPALES RÉFÉRENCES

Guide de bonnes pratiques pour la construction et la réhabilitation de l'habitat, points clés pour améliorer la sécurité, Saint-Martin, CSTB, 2018

Conception paracyclonique à l'usage des architectes et ingénieurs, Les grands ateliers de l'Isle d'Abeau, C. Barré, A. de la Foye et S. Moreau, 2011

Cahiers du CSTB n° 3311, *Conception cyclonique, Concepts aérodynamiques et conseils pratiques*, S. Moreau, J. Gandemer et G. Barnaud, janvier-février 2001

Règles Antilles, Direction Départementale de l'Équipement Martinique et Direction Départementale de l'Équipement Guadeloupe, 1996

Cyclones… Environnement Constructions désordres remèdes, Jean POTHIN, SOCOTEC, DDE La Réunion, mai 1992

Guide de construction en région cyclonique, Chambre des Métiers de La Réunion, 2012

Guide de construction parasismique et paracyclonique de maisons individuelles à structure en bois aux Antilles, Règles de construction et annexes techniques, Association Française du génie Parasismique (AFPS), Chapitres de Guadeloupe et de Martinique, décembre 2011

Guide de construction parasismique des maisons individuelles, DHUP, CPMI-EC8, Zone 5, 2020

Guide de construction parasismique des maisons individuelles, DHUP, CPMI-EC8, Zones 3 et 4, août 2021

Recommandations professionnelles : Couverture en plaques nervurées issues de tôles d'acier revêtues en climat tropical ou équatorial humide et conditions cycloniques, PACTE, décembre 2021

Recommandations professionnelles : Couverture en plaques ondulées issues de tôles d'acier revêtues en climat tropical ou équatorial humide et conditions cycloniques, PACTE, décembre 2021

Tableaux de pression P3 cyclonique pour les fenêtres/portes

Pression cyclonique (cas 1, 2a* et 3a) pour les bâtiments de catégories III

* Pour le **cas 2a**, la pression cyclonique est diminuée de 22 %.

Région	Coef expo C_e(10 m)	Pression P3 cyclonique pour une hauteur H de bâtiment [Pa]				
		H ≤ 9	9 < H ≤ 18	18 < H ≤ 28	28 < H ≤ 50	50 < H ≤ 100
La Réunion	0 à 1,28	1 500	1 500	1 800	2 250	2 800
	1,29 à 1,40	1 500	1 900	2 250	2 750	3 300
	1,41 à 1,83	1 900	2 400	2 750	3 200	3 750
	1,84 à 2,34	2 450	2 950	3 300	3 700	4 300
	2,35 à 2,90	3 000	3 500	3 750	4 150	4 700
	> 2,90	Calcul selon EN 1991-1-4				
Mayotte	0 à 1,28	1 500	1 500	1 500	1 500	1 500
	1,29 à 1,40	1 500	1 500	1 500	1 700	2 050
	1,41 à 1,83	1 500	1 500	1 700	2 000	2 350
	1,84 à 2,34	1 550	1 850	2 000	2 350	2 700
	2,35 à 2,90	1 900	2 200	2 350	2 600	2 950
	> 2,90	Calcul selon EN 1991-1-4				

Pression cyclonique (cas 1, 2a* et 3a) pour les bâtiments de catégorie IV

* Pour le **cas 2a**, la pression cyclonique est diminuée de 22 %.

Région	Coef expo C_e(10 m)	Pression P3 cyclonique pour une hauteur H de bâtiment [Pa]				
		H ≤ 9	9 < H ≤ 18	18 < H ≤ 28	28 < H ≤ 50	50 < H ≤ 100
La Réunion	0 à 1,28	1 800	1 800	2 100	2 600	3 250
	1,29 à 1,40	1 800	2 200	2 600	3 200	3 850
	1,41 à 1,83	2 200	2 750	3 200	3 700	4 350
	1,84 à 2,34	2 850	3 400	3 850	4 300	5 000
	2,35 à 2,90	3 500	4 050	4 350	4 800	5 450
	> 2,90	Calcul selon EN 1991-1-4				
Mayotte	0 à 1,28	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800
	1,29 à 1,40	1 800	1 800	1 800	2 100	2 500
	1,41 à 1,83	1 800	1 800	2 100	2 450	2 850
	1,84 à 2,34	1 900	2 250	2 450	2 850	3 250
	2,35 à 2,90	2 300	2 650	2 850	3 150	3 550
	> 2,90	Calcul selon EN 1991-1-4				

Pression cyclonique réduite (cas 2b et 3b) quelle que soit la catégorie de bâtiment

Région	Coef expo C_e(10 m)	Pression P3 cyclonique réduite pour une hauteur H de bâtiment [Pa]				
		H ≤ 9	9 < H ≤ 18	18 < H ≤ 28	28 < H ≤ 50	50 < H ≤ 100
La Réunion	0 à 1,28	1 200	1 200	1 200	1 400	1 750
	1,29 à 1,40	1 200	1 200	1 400	1 700	2 050
	1,41 à 1,83	1 200	1 500	1 700	2 000	2 350
	1,84 à 2,34	1 500	1 850	2 050	2 300	2 700
	2,35 à 2,90	1 850	2 200	2 350	2 550	2 950
	> 2,90	Calcul selon EN 1991-1-4				
Mayotte	0 à 1,28	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200
	1,29 à 1,40	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200
	1,41 à 1,83	1 200	1 200	1 200	1 200	1 250
	1,84 à 2,34	1 200	1 200	1 200	1 250	1 450
	2,35 à 2,90	1 200	1 200	1 250	1 400	1 600
	> 2,90	Calcul selon EN 1991-1-4				

Notice d'utilisation *GÉORISQUES*

Préambule

Cette notice est à destination des professionnels souhaitant calculer la charge de vent sur les bâtiments dans les territoires concernés par l'aléa cyclonique.

Le coefficient d'exposition $c_e(z)$ permet de calculer **la pression dynamique de pointe q_p** servant à calculer la charge de vent sur les bâtiments.

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

ρ = 1,225 kg/m^3
v_b vitesse du vent de référence

La pression dynamique de pointe q_p est une valeur qui dépend du lieu où est implantée la construction. **Il ne s'agit pas de la pression appliquée aux différentes parois de la construction considérée.** Pour calculer la pression aérodynamique appliquée aux surfaces du bâtiment, il est nécessaire de se référer à l'Eurocode NF EN 1991-1-4 et à son Annexe Nationale (exception faite de la vitesse du vent de référence qui est reprise de la réglementation paracyclonique pour les territoires de La Réunion et de Mayotte pour lesquels les valeurs sont données ci-dessous).

Les vitesses de référence du vent en m/s inscrites au niveau de l'article 4 de l'arrêté du 2 novembre 2026 relatif à la classification et à la prise en compte du risque de vents cycloniques dans la conception et la construction des bâtiments situés à La Réunion et à Mayotte sont :

Période de retour	La Réunion	Mayotte
50 ans	38 m/s	30 m/s
100 ans	41 m/s	33 m/s

La période de retour dépend de la catégorie d'importance du bâtiment définie dans la **réglementation paracyclonique**.

Il est à noter qu'il est toujours nécessaire de tenir compte des éventuels effets locaux autour de l'ouvrage à construire. En effet, un bâtiment de hauteur supérieure à 30 m situé à proximité de l'ouvrage à construire dont la hauteur excède sensiblement celle de l'ouvrage va produire des effets locaux. Ces effets locaux ont une incidence sur l'action du vent soumise à l'ouvrage à construire qu'il est nécessaire de prendre en compte. À cet égard, Il est possible d'appliquer les dispositions de la clause 4.3.4 de l'Annexe Nationale de la norme NF EN 1991-1-4.

Mode d'emploi des coefficients d'exposition $c_e(z)$

❶ Se connecter au site *Géorisques*

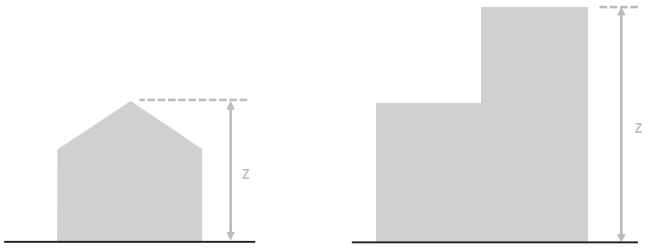
Dossier expert sur les vents cycloniques

Carte interactive de La Réunion

Carte interactive de Mayotte

Données brutes cartographiées *data.gouv.fr*

❷ Identifier la hauteur du bâtiment z par rapport au sol.



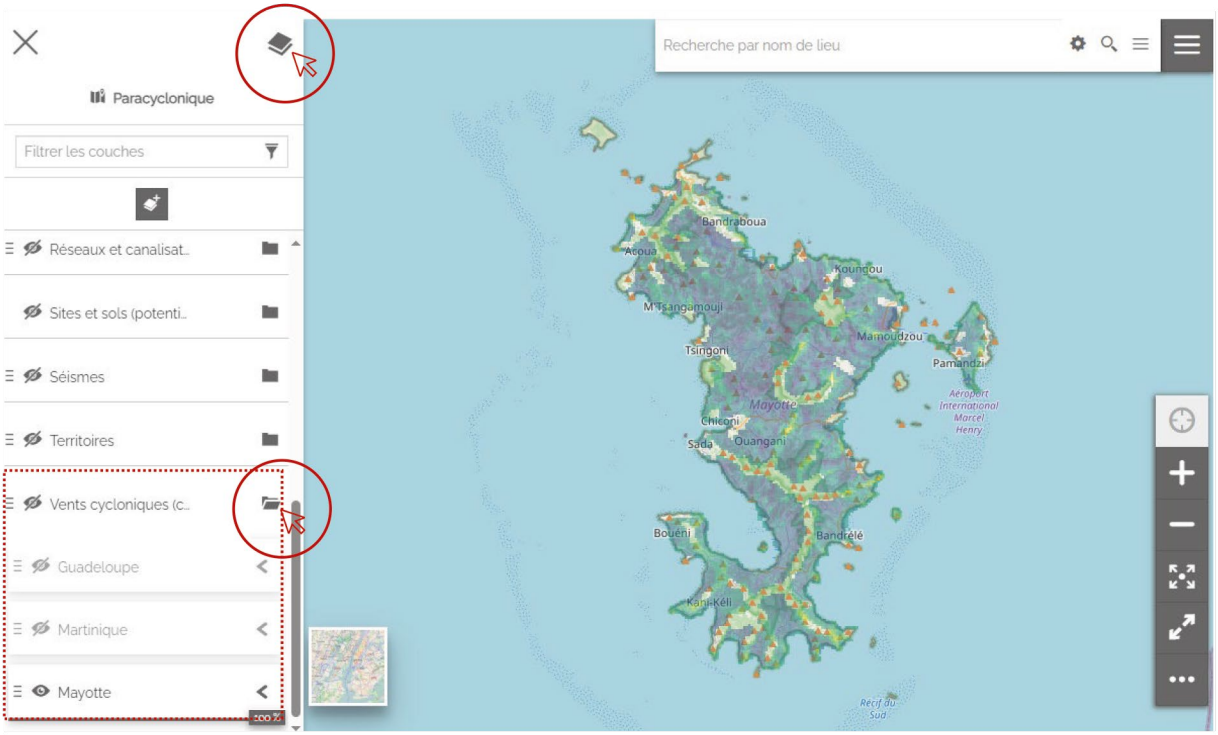
Le calcul n'est valable que pour des hauteurs de bâtiment comprises entre 0 et 50 m.

Dans les étapes suivantes, il conviendra de relever :

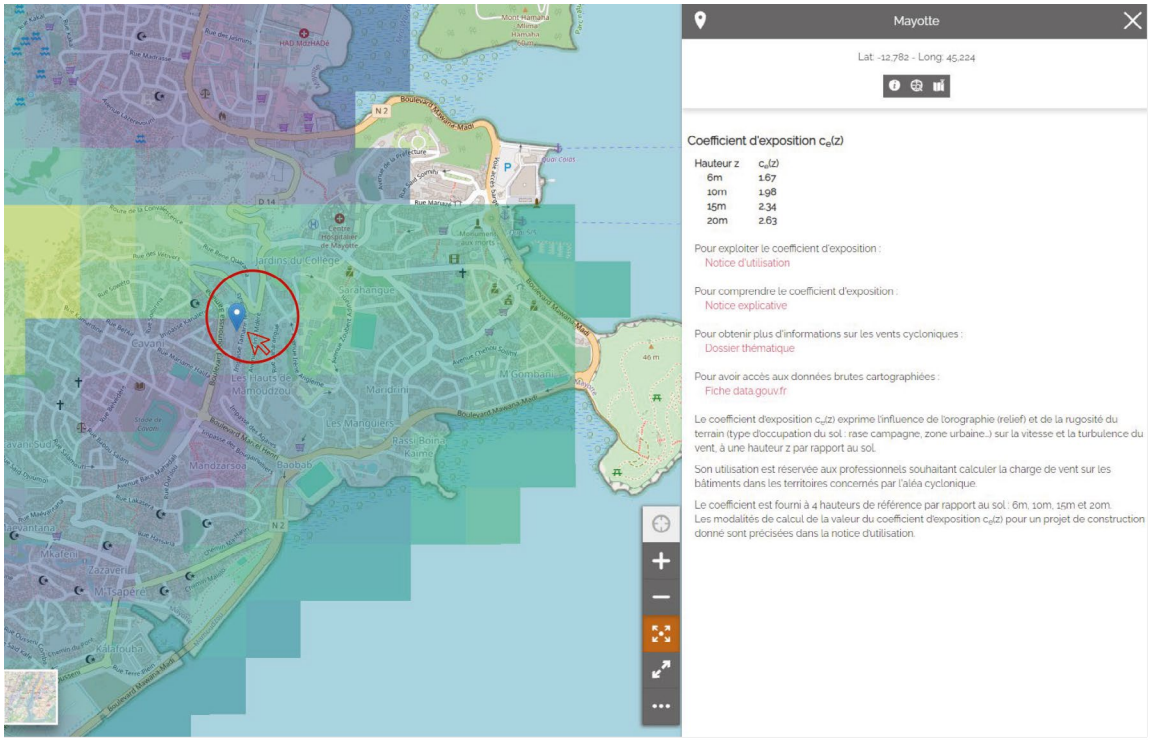
- La valeur de $c_e(z)$ à 6 m pour les bâtiments dont la hauteur z est inférieure ou égale à 6 m ;
- Les valeurs de $c_e(z)$ encadrant la hauteur z pour les bâtiments dont la hauteur est comprise entre 6 et 20 m ;
- Les valeurs de $c_e(z)$ à 15 et 20 m pour les bâtiments dont la hauteur est comprise entre 20 et 50 m.

Se référer à la notice explicative pour les bâtiments de hauteur supérieure à 50 m.

❸ Afficher la couche « vents cycloniques » relative au territoire concerné



❹ Cliquer sur la carte où se trouve le bâtiment



Si le bâtiment est situé sur plusieurs zones, veuillez retenir la zone pour laquelle les valeurs de $c_e(z)$ sont les plus élevées.

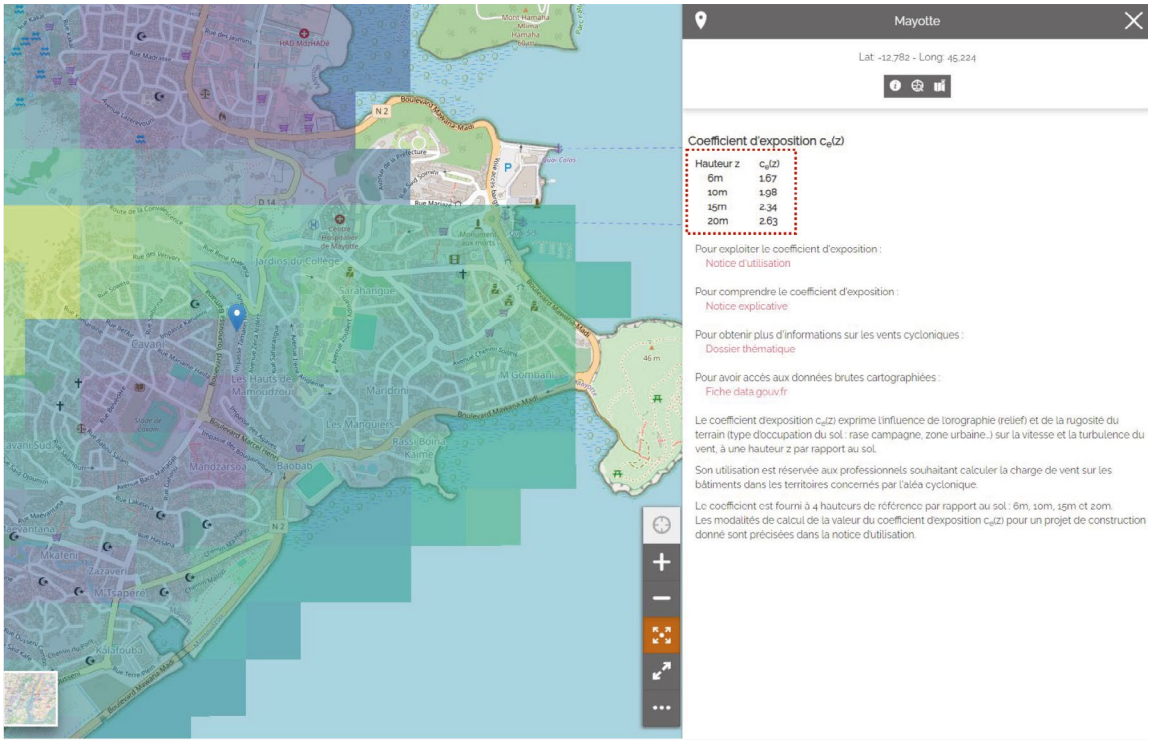
Si le bâtiment n'est pas dans une zone couverte par la carte, des méthodes alternatives de calcul de la pression dynamique de pointe q_p sont présentées dans la notice explicative associée aux cartes.

❺ Retrouver les valeurs de coefficient d'exposition utiles pour la hauteur du bâtiment

Pour les bâtiments inférieurs à 6 m de hauteur, relever la valeur de $c_e(z)$ sur la carte à 6 m.

Pour les bâtiments entre 6 et 20 m, relever les valeurs de $c_e(z)$ des deux hauteurs encadrant la hauteur du bâtiment.

Pour les bâtiments supérieurs à 20 m de hauteur, relever les valeurs de $c_e(z)$ sur les cartes à 15 m et 20 m.



Par exemple, pour une hauteur de bâtiment z = 9 m, les hauteurs de référence sont 6 m et 10 m. Les valeurs affichées sur les cartes correspondantes sont nommées c_e(6 m) et c_e(10 m) et valent par exemple :

$$c_e(6\ m) = 1{,}67 \text{ et } c_e(10\ m) = 1{,}98$$

❻ Calculer la valeur de $c_e(z)$

- **Si la hauteur z est inférieure à 6 m**, prendre la valeur de $c_e(z)$ à 6 m.
- **Si la hauteur z est comprise entre 6 et 20 m**, procéder à une interpolation linéaire des deux valeurs de $c_e(z)$ relevées dans l'étape 5 :

$$c_e(z) = c_e(6\ m) + \frac{z-6}{10-6}\left(c_e(10\ m) - c_e(6\ m)\right) \qquad \text{pour } 6\ m \le z < 10\ m$$

$$c_e(z) = c_e(10\ m) + \frac{z-10}{15-10}\left(c_e(15\ m) - c_e(10\ m)\right) \qquad \text{pour } 10\ m \le z < 15\ m$$

$$c_e(z) = c_e(15\ m) + \frac{z-15}{20-15}\left(c_e(20\ m) - c_e(15\ m)\right) \qquad \text{pour } 15\ m \le z < 20\ m$$

- **Si la hauteur z est comprise entre 20 et 50 m**, procéder à une extrapolation linéaire des deux valeurs $c_e(z)$ relevées dans l'étape 5 :

$$c_e(z) = c_e(20\ m) + \frac{z-20}{20-15}\left(c_e(20\ m) - c_e(15\ m)\right) \qquad \text{pour } 20\ m \le z < 50\ m$$

- Si la hauteur z est supérieure à 50 m, **le cas n'est pas couvert**. Se référer à la notice explicative.

Par exemple, pour une hauteur de bâtiment z = 9 m et des coefficients d'exposition c_e(6 m) = 1,70 et c_e(10 m) = 2,05 :

$$c_e(z) = 1{,}70 + \frac{9-6}{10-6}(1{,}98 - 1{,}67) = 1{,}90.$$

Zones non couvertes par les coefficients d'exposition $c_e(z)$

Les coefficients d'exposition ne sont pas fournis pour certaines zones. Ces **zones dites « non couvertes »** sont définies comme les zones où les conditions de simulation aéraulique n'ont pas permis d'assurer une fiabilité suffisante pour que les résultats soient considérés comme applicables. Ces zones ont été repérées à dire d'experts par une équipe formée d'experts métiers en géomatique, aéraulique et structure du bâtiment.

Pour ces zones, les résultats obtenus *via* un modèle de simulation CFD (*Computational Fluid Dynamics*) sont jugés non valides dans le sens où le relief est trop abrupt pour être correctement pris en compte par la maille du modèle définie au pas de 250 m.

L'exemple typique est celui de la présence d'une falaise pour lequel il est impossible de retranscrire l'effet d'une paroi verticale ; cette dernière étant modélisée par deux points distants de 250 m. De fait, seul un effet de pente plus ou moins marqué sera représenté. Or l'impact de la présence d'une falaise sur l'écoulement de vent est particulier. Le phénomène ne pouvant être retranscrit convenablement par la simulation, il convient donc de ne pas considérer les résultats autour de la zone de crête qui est dès lors définie comme une zone non couverte.

Pour les zones non couvertes, des méthodes alternatives de calcul sont présentées dans la notice explicative associée aux cartes.

Bâtiments de grande dimension

Pour les bâtiments dont la hauteur est strictement supérieure à 50 mètres ou dont la plus grande dimension en plan est strictement supérieure à 250 mètres, des méthodes alternatives de calcul sont présentées dans la notice explicative associée aux cartes.

Production des données

Les données qui ont servi de base à la cartographie sont produites *via* le logiciel *QGis*. Les données d'entrée sont issues de modèles de simulation type CFD fournissant un point tous les 250 m (180 m pour Mayotte).

Ces données sont transformées en format raster tif pour un affichage et une interrogation de tout point du territoire. Les données ne sont pas interpolées à une maille plus fine que la résolution de la modélisation d'origine. Le raster résultant est expurgé des mailles concernées par les zones non couvertes identifiées par des experts métiers. Les raster sont produits dans la projection de référence de chaque territoire et également fournis en projection pseudo mercator (EPSG : 3857). Les données sont disponibles sur data.gouv.fr.

Notice explicative *GÉORISQUES*

Cette notice est à destination des professionnels souhaitant calculer la charge de vent sur les bâtiments dans les territoires concernés par l'aléa cyclonique. Elle fournit des méthodes alternatives au calcul du coefficient d'exposition $c_e(z)$ et de la pression dynamique de pointe q_p *via* les cartes disponibles sur *Géorisques*. Pour rappel, q_p et $c_e(z)$ sont respectivement définis par les équations (4.8) et (4.9) de la NF EN 1991-1-4.

Trois cas de figures sont possibles pour le calcul du coefficient d'exposition :

- **Cas 1 :** Le bâtiment est situé en zone couverte par les coefficients d'exposition sur les cartes du site *Géorisques* et possède les dimensions suivantes : hauteur ≤ 50 m **et** plus grande dimension en plan ≤ 250 m
  ➜ Il est possible de recourir aux coefficients d'exposition fournis par *Géorisques* ou bien d'utiliser les méthodes avancées de l'Eurocode NF EN 1991-1-4 (§1.5 et clause 1.5(2) de l'Annexe Nationale correspondante) ;
- **Cas 2 :** Le bâtiment est situé en zone **non** couverte par les coefficients d'exposition sur les cartes du site *Géorisques* et possède les dimensions suivantes : hauteur ≤ 50 m **et** plus grande dimension en plan ≤ 250 m
  ➜ Il est possible de recourir à la méthode standard de l'Eurocode NF EN 1991-1-4 ou aux méthodes avancées de l'Eurocode NF EN 1991-1-4 (§1.5 et clause 1.5(2) de l'Annexe Nationale correspondante) ;
- **Cas 3 :** Le bâtiment est de grande dimension : hauteur > 50 m **ou** plus grande dimension en plan > 250 m.
  ➜ Il est nécessaire de recourir aux méthodes avancées de l'Eurocode NF EN 1991-1-4 (§1.5 et clause 1.5(2) de l'Annexe Nationale correspondante).

Dans le cas des zones non couvertes et lorsque les dimensions du bâtiment sont conformes au **cas 2**, la pression dynamique de pointe q_p peut être obtenue à partir de la méthode de calcul standard fournie par la norme Eurocode NF EN 1991-1-4 et son Annexe Nationale (exception faite de la vitesse du vent de référence qui est reprise de la réglementation paracyclonique pour les territoires de La Réunion et de Mayotte pour lesquels les valeurs sont données ci-dessous).

Période de retour	La Réunion	Mayotte
50 ans	38 m/s	30 m/s
100 ans	41 m/s	33 m/s

La période de retour dépend de la catégorie d'importance du bâtiment définie dans la **réglementation paracyclonique**.

Si la zone n'est pas couverte (cas 2), il est possible de faire appel à un spécialiste ou un laboratoire spécialisé pour **calculer les coefficients d'exposition dans les zones non couvertes** *via* des essais en soufflerie[1] ou des simulations numériques[2] en mécanique des fluides (dites simulations CFD). Les coefficients d'exposition ainsi calculés permettent de se retrouver dans le **cas 1**.

Les deux méthodes peuvent permettre d'évaluer les effets d'orographie et de rugosité nécessaires au calcul des coefficients d'exposition. Il conviendra notamment de reproduire correctement les caractéristiques spécifiques des écoulements de vent au sein de la couche limite atmosphérique.

Pour le cas particulier des projets complexes, il est recommandé d'avoir recours aux méthodes avancées proposées dans les Eurocodes : §1.5 de l'Eurocode NF EN 1991-1-4 et clause 1.5(2) de l'Annexe Nationale correspondante. Dans ce cas, une étude spécifique doit être menée et appuyée par une combinaison de simulations numériques type CFD (*Computational Fluid Dynamics*) et/ou d'essais en soufflerie.

Dans les cas suivants, le recours aux méthodes avancées est recommandé :

- les IGH (immeubles de grande hauteur) ;
- les bâtiments à la forme ou l'enveloppe complexe ;
- les composants ou bâtiments pour lesquels on souhaite optimiser la conception.

Ces simulations et essais doivent être fondés sur une modélisation appropriée et suffisamment précise du vent naturel, de l'environnement (bâti et nature) et de l'objet étudié (élément, structure, bâtiment…).

1 Les essais en soufflerie sont réalisés à échelle réduite et se doivent de respecter au mieux les similitudes associées à la problématique. Étant données les échelles de réduction utilisées pour cette approche (particulièrement dans le cas de topographie marquée), la modélisation des effets de rugosité peut s'avérer particulièrement délicate, voire impossible à proximité du sol.

2 Concernant l'approche numérique par simulation CFD, le modèle utilisé doit reposer sur une méthodologie préalablement validée. La pertinence des résultats et leur fiabilité requièrent une maitrise des nombreux choix de paramétrisation : modèle de turbulence, conditions initiales, conditions aux limites, méthode de discrétisation, domaine de calcul, schémas numériques, solveur...

Depuis la survenue du cyclone Irma à l'automne 2017 et en réaction aux cyclones Chido et Garance, ayant respectivement frappé Mayotte le 14 décembre 2024 et La Réunion le 28 février 2025, le ministère chargé du logement, le ministère chargé de la prévention des risques et le ministère chargé des Outre-mer mènent conjointement, et en étroite association avec le CSTB, des études afin d'améliorer la prise en compte des risques liés aux vents cycloniques dans la construction des bâtiments situés dans les départements et régions d'outre-mer exposés à cet aléa. Les conclusions de ces travaux permettent désormais de préciser les règles techniques relatives à la conception et la construction des bâtiments dans les zones exposées aux cyclones.

Le *guide d'application des exigences réglementaires* rassemble l'ensemble des exigences techniques réglementaires à satisfaire pour la conception des éléments structuraux ainsi que les dispositions réglementaires concernant les éléments non structuraux. L'utilisation du présent document nécessite par ailleurs le respect des règles de l'art qu'elles soient de conception, de calcul et de réalisation qui s'appliquent en situation courante.

Les règles en situation courante stipulées par les normes françaises (dont les DTU), les normes européennes ainsi que les Avis Techniques et Appréciations Techniques d'Expérimentation sont considérés comme compatibles avec le présent guide.