

avril 2000

## **règles NV 65**

### **règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions et annexes**

**La présente édition des Règles NV 65 incorpore :**

- **le modificatif n° 2 de décembre 1999, relatif à la nouvelle carte « vent » (qui annule et remplace le modificatif n° 1 paru en janvier 1987) ;**
- **le modificatif n° 3 d'avril 2000, relatif à la partie « neige ».**

**Par ailleurs, pour les constructions qui ne sont pas calculées aux états limites, il était devenu nécessaire d'utiliser simultanément la partie « neige » de l'édition originelle des Règles NV 65 et les Règles N 84 « Actions de la neige sur les constructions ».**

**Pour supprimer cette difficulté, et avec l'accord de la Commission Générale de Normalisation du Bâtiment- DTU et de la Commission de normalisation P 06 A « Bases de calcul des structures », le chapitre II « Effets de la neige » du présent document intègre les dispositions du modificatif n° 3 et les dispositions correspondantes des Règles N 84.**

© CSTB 2000

Commission des Règles Neige et Vent 1965

Président :

M. Esquillan Directeur Technique des Entreprises Boussiron

Rapporteurs :

M. Guérin Secrétaire Général de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics

Mme Luschévici Ingénieur à l'Union Technique Interprofessionnelle des Fédérations du Bâtiment et des Travaux Publics

M. Cloet <sup>(1)</sup> Ingénieur à l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics

Commission de rédaction :

M. Blévot Directeur Adjoint de la SOCOTEC

Guillerault Ingénieur en Chef au Bureau Veritas

M. Pris <sup>(1)</sup> Docteur-Ingénieur

Vallette Ingénieur Principal Honoraire à la S.N.C.F.

Membres :

Ministère de la Défense Nationale. Section Technique des Bâtiments, Travaux et Fortifications.

Ministère des Finances. Commission des Marchés de l'Etat.

Ministère des Postes et Télécommunications. Directions des Bâtiments et Travaux.

Ministère des Travaux Publics, des Transports et du Tourisme. Service Technique des Bases Aériennes.

Association Française de Normalisation.

Ordre des Architectes.

Direction de la Météorologie Nationale.

Electricité de France. Service des Etudes et Recherches.

Electricité de France. Division Energie du Vent.  
Société Nationale des Chemins de Fer. Division des Ouvrages d'Art.  
Société Nationale des Chemins de Fer. Division des Bâtiments.  
Bureau Securitas.  
Bureau Veritas. Service de Contrôle des Constructions Immobilières.  
Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.  
Centre Technique du Bois.  
Fédération des Fabricants de Tuiles et Briques.  
Union Interprofessionnelle des Matériaux de Construction et Produits de Carrière.  
Chambre Syndicale des Constructeurs en Ciment armé et Béton précontraint.  
Chambre Syndicale des Entrepreneurs de Constructions métalliques de France.  
Chambre Syndicale des Entrepreneurs de Maçonnerie.  
Union Nationale des Chambres Syndicales de Charpente, Menuiserie, Parquets.  
Chambre Syndicale des Ingénieurs-Conseils de France.  
Syndicat National de la Chaudronnerie.  
Omnium Technique de l'Habitation.  
Société Centrale Immobilière de la Caisse des Dépôts et Consignations.

#### NOTE

(1) Au cours de la rédaction des présents documents, la Commission a eu à déplorer les décès de MM. Cloet et Pris dont l'importante collaboration lui a été très précieuse.

## Sommaire

### Note explicative

#### Introduction

- 1 faciliter l'utilisation des règles
- 2 étendre le champ d'utilisation des règles
- 3 tenir compte de l'évolution des types et modes de constructions
- 4 tenir compte de l'évolution des méthodes de calcul et de détermination de la sécurité
- 5 tenir compte de l'évolution des idées sur la détermination de la vitesse de calcul du vent

#### Chapitre I préambule

- 1 objet des règles
- 2 domaine des règles
- 3 vérification des conditions de résistance et de stabilité
  - 3,1
  - 3,2

#### Chapitre II effets de la neige

##### Préambule

- 1 charge normale, charge extrême et charge accidentelle
- 2 valeur des charges
  - 2,1 régions (ou zones)
  - 2,2 altitude
  - 2,3 dispositions simplifiées pour la prise en compte des charges accidentelles
  - 2,9 valeurs fixées par le cahier des charges
- 3 influence des caractéristiques de la toiture
  - 3,1 pente des versants
  - 3,2 autres caractéristiques
  - 3,3 accumulations de la neige - cas courants
- 4 combinaison des effets de la neige et du vent
  - 4,1 répartition sensiblement uniforme de la neige sur toute la toiture
  - 4,2 possibilité de répartition non uniforme de la neige sous l'action du vent
  - 4,3 dispositions de la toiture rendant impossible l'enlèvement de la neige par le vent (sheds, noues obturées à une extrémité, terrasse avec acrotère)

#### Chapitre III effets du vent

- 1 généralités
  - 1,1 définitions et principes généraux
  - 1,2 pression dynamique
  - 1,3 disposition des constructions
  - 1,4 actions statiques exercées par le vent
  - 1,5 actions dynamiques exercées par le vent
- 2 constructions prismatiques à base quadrangulaire
  - 2,0 prescriptions communes
  - 2,1 constructions prismatiques à base rectangulaire reposant sur le sol
  - 2,2 constructions prismatiques à base rectangulaire éloignées du sol
  - 2,3 constructions prismatiques à base quadrangulaire ou assimilées, de caractéristiques spéciales, reposant ou non sur le sol
  - 2,4 constructions à décrochements

- 2,9 constructions courantes à base rectangulaire méthode simplifiée
- 3 constructions prismatiques à base polygonale régulière ou circulaire
  - 3,0 prescriptions communes
  - 3,1 caractéristiques
  - 3,2 coefficient global de traînée  $c$
  - 3,3 coefficients  $[\gamma]$
  - 3,4 actions extérieures
  - 3,5 actions intérieures
  - 3,6 actions résultantes unitaires sur les parois
  - 3,7 actions d'ensemble
- 4 panneaux pleins et toitures isolées
  - 4,0 prescriptions communes
  - 4,1 panneaux pleins
  - 4,2 toitures isolées
- 5 constructions ajourées et constructions en treillis
  - 5,0 prescriptions communes
  - 5,1 éléments plans
  - 5,2 ensembles prismatiques
- 6 constructions diverses
  - 6,0 prescriptions communes
  - 6,1 constructions de forme particulière
  - 6,2 constructions provisoires
  - 6,3 constructions en cours d'exécution
  - 6,4 constructions hors règlement
- Annexe 1 (pour mémoire)
- Annexe 2 constructions situées sur un terrain présentant des dénivellations importantes
  - 2,1 données de base
  - 2,2 différents cas envisagés
    - 2,21 premier cas :  $p \leq 0,3$  (figure A-2-1)
    - 2,22 deuxième cas :  $0,3 < p < 2$  (figure A-2-2)
    - 2,23 troisième cas :  $p \geq 2$  (figure A-2-3)
- Annexe 3 effet des dimensions
  - 3,1 éléments n'intervenant pas dans la vérification de la stabilité
    - 3,11 file de poteaux
    - 3,12 poutre continue de grandes dimensions
  - 3,2 stabilité d'ensemble d'une construction
    - 3,21 bâtiment courant
    - 3,22 bâtiment tour
    - 3,23 cheminée
    - 3,24 réservoir sur poteaux
- Annexe 4 détermination de la période propre  $T$  du mode fondamental d'oscillation d'une construction
  - 4,1 domaine de validité
  - 4,2 schématisation de la structure
  - 4,3 applications
  - 4,4 masse répartie sur la hauteur ou supposée concentrée au sommet du support
    - 4,41 formules théoriques applicables au cas de certains systèmes de forme simple

4,42 formule approchée applicable au cas d'une masse concentrée reposant sur un support de masse non négligeable

4,5 masse supposée concentrée en divers niveaux

4,51 méthode par approximations successives de Vianello-Stodola

4,52 formules de Rayleigh

4,53 formules forfaitaires applicables aux bâtiments d'habitation

Annexe 5 exemples de détermination des actions intérieures unitaires pour des constructions comportant des parois partiellement ouvertes

5,1 remarque

5,2 rappel des actions intérieures unitaires à retenir pour les constructions ne comportant pas de parois essentiellement ouvertes

5,21 constructions fermées

5,22 constructions ouvertes comportant une paroi ouverte

5,23 constructions ouvertes comportant deux parois opposées ouvertes

5,3 exemples de déterminations des actions intérieures unitaires pour des constructions comportant une ou plusieurs parois partiellement ouvertes

5,31 méthode de calcul

5,32 exemple 1

5,33 exemple 2

5,34 exemple 3

Annexe 6 exemples de détermination des actions extérieures, intérieures et résultantes unitaires pour des constructions relevant de l'article 2 du chapitre III

6,1 constructions fermées

6,11 constructions reposant sur le sol

6,12 construction fermée éloignée du sol de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ; toiture-terrasse

6,2 constructions comportant des parois ouvertes

6,21 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions compris entre 0,5 et 2,5 ; une des parois verticales est ouverte ; les autres parois existantes sont fermées

6,22 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions vérifiant les inégalités suivantes :  $0,5 \leq [\lambda]a \leq 2,5$  ;  $1 \leq [\lambda]b \leq 2,5$  ; les deux pignons sont complètement ouverts ; les façades et les versants de toiture sont fermés ; toiture à deux versants plans symétriques

6,23 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions vérifiant les inégalités suivantes :  $0,5 \leq [\lambda]a \leq 2,5$  ;  $1 \leq [\lambda]b \leq 2,5$  ;  $b/a \geq 0,5$  ; trois parois verticales sont ouvertes en totalité ; une paroi verticale est fermée ; toiture à deux versants plans symétriques

6,24 double auvent sur mur continu

6,3 constructions comportant des parois partiellement ouvertes reposant sur le sol

6,31 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ; ayant trois parois fermées et une paroi partiellement ouverte (perméabilité  $\mu = 25$ ) ; toiture à deux versants plans symétriques

6,32 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions inférieures à 2,5 ; ayant deux parois fermées, une paroi partiellement ouverte (perméabilité  $\mu = 20$ ) et une paroi ouverte, toiture à deux versants plans symétriques

6,33 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ayant deux parois fermées et deux parois opposées partiellement ouvertes (perméabilité  $\mu = 15$  et  $\mu' = 25$ ) ; toiture à deux versants plans symétriques

Annexe 7 actions résultantes unitaires sur les parois de constructions ouvertes traversées par le vent

7,1 tableau

Annexe 8 actions dynamiques exercées par le vent

8,1 prise en compte des actions dynamiques

- 8,2 actions parallèles à la direction du vent
- 8,3 actions perpendiculaires à la direction du vent
  - 8,31 détermination de la vitesse critique
  - 8,32 valeur à adopter pour  $[\Delta]$
  - 8,33 valeur à adopter pour  $c_L$
  - 8,34 valeur à adopter pour  $\beta'$
- 8,4 calcul à la résonance
  - 8,41 actions perpendiculaires à la direction du vent
  - 8,42 actions parallèles à la direction du vent
  - 8,43 actions résultantes
- 8,5 exemples de prise en compte des actions dynamiques
  - 8,51 tour carrée
  - 8,52 cheminée en béton armé
  - 8,53 cheminée en acier
- Annexe 9 détermination des actions du vent sur les éléments plans des constructions en treillis
  - 9,1 caractéristiques d'une barre
  - 9,2 définition du rapport de dimensions  $[\lambda]$  d'une barre constitutive
  - 9,3 détermination des actions du vent sur une barre
  - 9,4 détermination de l'action du vent sur un élément plan
- Annexe 10 influence du rapport de dimensions  $[\lambda]$  des éléments plans uniques ajourés ou en treillis sur le coefficient global de traînée  $c_t$
- Annexe 11 exemples de détermination des actions d'ensemble pour les constructions relevant de l'article 2 du chapitre III
  - 11,1 construction fermée à toiture-terrasse et à base rectangulaire
    - 11,11 caractéristiques
    - 11,12 vent sur la face  $S_a$  (figure A-11-1)
    - 11,13 vent sur la face  $S_b$  (figure A-11-2)
  - 11,2 construction fermée à base rectangulaire - toiture à versants plans - faîtage parallèle au grand côté
    - 11,21 caractéristiques
    - 11,22 vent sur la face  $S_a$  (figure A-11-3)
    - 11,23 vent sur la face  $S_b$  (figure A-11-4)
  - 11,3 construction à base rectangulaire dont une face est entièrement ouverte - toiture à versants plans - faîtage parallèle au grand côté
    - 11,31 caractéristiques
    - 11,32 vent sur la surface ouverte (figure A-11-5)
    - 11,33 vent sur la face fermée (figure A-11-6)
    - 11,34 vent parallèle à la face ouverte (figure A-11-7)
  - 11,4 construction fermée à base rectangulaire et à toiture multiple - faîtages perpendiculaires au grand côté
    - 11,41 caractéristiques
    - 11,42 vent sur la face  $S_b$  - vent normal aux faîtages
    - 11,43 vent sur la face  $S'b$  - vent normal aux faîtages
    - 11,44 vent sur la face  $S_a$  - vent parallèle aux faîtages (figure A-11-10)
  - 11,5 construction fermée à base rectangulaire formée de quatre blocs égaux - toiture à versants plans - faîtage parallèle au grand côté
    - 11,51 caractéristiques

- 11,52 construction considérée dans son ensemble
- 11,53 blocs considérés isolément
- 11,54 actions à retenir sur chacun des blocs
- 11,6 construction fermée à base rectangulaire formée de trois blocs égaux - toiture multiple à versants plans - faîtages perpendiculaires au grand côté - joints entre blocs parallèles aux faîtages
- 11,61 caractéristiques
- 11,62 construction considérée dans son ensemble
- 11,63 blocs considérés isolément
- 11,64 actions à retenir sur chaque bloc
- 11,7 construction fermée à base rectangulaire formée de trois blocs égaux - toiture multiple à versants plans - faîtages parallèles au grand côté - joints entre blocs perpendiculaires aux faîtages
- 11,71 caractéristiques
- 11,72 construction considérée dans son ensemble
- 11,73 blocs considérés isolément
- 11,74 actions à retenir sur chaque bloc
- 11,8 construction fermée à base rectangulaire formée de cinq files accolées de quatre blocs accolés - toiture-terrasse
- 11,81 caractéristiques (figure A-11-16)
- 11,82 construction considérée dans son ensemble
- 11,83 blocs considérés isolément
- 11,84 actions à retenir sur chaque bloc

#### Annexe 12 exemples de détermination des actions unitaires sur des toitures isolées à un ou plusieurs versants

- 12,1 toiture-terrasse
  - 12,11 caractéristiques
  - 12,12 actions résultantes unitaires (R-III-4,223)
  - 12,13 force horizontale d'entraînement (R-III-4,02)
- 12,2 série de toitures à un versant de rapport de dimensions supérieur ou égal à 5
  - 12,21 vent normal aux bords horizontaux
  - 12,22 vent parallèle aux bords horizontaux
- 12,3 toitures à un versant de rapport de dimensions inférieur à 5
  - 12,31 toiture carrée
  - 12,32 toiture dont la longueur est de vingt fois la dimension selon la ligne de plus grande pente
- 12,4 série de toitures à deux versants de rapport de dimensions supérieur ou égal à 0,20
  - 12,41 caractéristiques
  - 12,42 vent normal au bord horizontal (R-III-4,233-1)
  - 12,43 vent oblique au bord horizontal (R-III-4,233-2)
  - 12,44 vent parallèle au bord horizontal
- 12,5 toitures à deux versants de rapport de dimensions inférieur à 0,20
  - 12,51 caractéristiques
  - 12,52 détermination du coefficient  $[\gamma]$
  - 12,53 vent normal au bord horizontal (R-III-4,233-1)
  - 12,54 vent oblique au bord horizontal (R-III-4,233-2)
  - 12,55 vent parallèle au bord horizontal
- 12,6 toiture en voute
  - 12,61 caractéristiques
  - 12,62 rapport de dimensions  $[\lambda]$  (R-III-4,232)

12,63 vent normal au bord horizontal (R-III-4,233-1)

12,64 vent oblique au bord horizontal (R-III-4,233-2)

12,65 vent parallèle au bord horizontal

12,7 toiture multiple à versants symétriques

12,71 caractéristiques

12,72 rapport de dimensions de chaque toiture

12,73 vent normal au bord horizontal (R-III-4,241)

12,74 vent oblique au bord horizontal (R-III-4,241)

12,75 vent parallèle au bord horizontal

Annexe informative aux règles NV 65

principales notations employées dans les règles NV 65



### **Note explicative**

Les divisions et subdivisions des différents articles sont notées sous forme décimale avec les deux particularités suivantes :

- le zéro indique un paragraphe général ou une partie préliminaire ;
- le neuf indique une conclusion relative à la subdivision dont il dépend.

Les figures sont numérotées séparément pour les règles et pour les commentaires. Chaque numéro de figure comporte trois indications :

- une lettre R ou C indiquant que la figure se rapporte aux règles ou aux commentaires ;
- un chiffre romain I, II ou III indiquant le chapitre auquel se rapporte la figure ;
- et un nombre arabe indiquant le numéro propre de la figure.

Par exemple la figure C-III-21 est la 21<sup>e</sup> figure des commentaires du chapitre III.

Les grandeurs mécaniques sont exprimées avec les unités du système SI (mètre, kilogramme-masse, seconde) dont l'emploi a été rendu obligatoire à la date du 1<sup>er</sup> janvier 1962.

### **Introduction**

Jusqu'en 1944, les règlements officiels français fixaient une pression uniforme du vent sur les constructions quelles que soient leur forme, leur hauteur ou leur situation. Hormis le règlement du Ministère de l'Air, ils n'envisageaient pas l'existence des dépressions. Ils traduisaient ainsi très incorrectement les effets réels du vent sur les bâtiments et structures, et conduisaient à une sécurité insuffisante ou excessive suivant les cas. A la demande du Ministère de la Reconstruction, une Commission fut créée pour établir un règlement tenant compte des données scientifiques et statistiques connues à l'époque. Malheureusement, pour les bâtiments, ces données étaient, à des rares exceptions près, limitées à des essais aérodynamiques étrangers, et pour les vitesses du vent à l'expérience des techniciens de la Météorologie Nationale en l'absence d'archives détruites pendant la guerre. Néanmoins, les Règles NV 46 furent rédigées d'après ces renseignements incomplets, pour répondre au souci de mettre rapidement entre les mains des constructeurs un document leur permettant de faire face, sans gaspillage de matériaux et avec sécurité, à la tâche de la reconstruction.

Dès ce moment, il avait été prévu que ces Règles devraient être révisées après un certain nombre d'années. Pour préparer leur révision une enquête fut lancée auprès des utilisateurs en février 1956. Cette enquête ne signala aucune lacune grave et montra que pendant dix ans l'application des Règles n'avait jamais donné lieu à de réelles difficultés tout en ayant conduit à des économies appréciables. Une nouvelle Commission de rédaction fut alors créée. Consciente des améliorations nécessaires, son travail a été orienté par un certain nombre d'idées directrices :

#### **1 faciliter l'utilisation des règles**

Pour répondre aux desiderata de l'enquête, la Commission a établi un meilleur plan pour le chapitre « Effets du vent ». Le premier article constitue une sorte de guide. Il indique en particulier l'ordre dans lequel se présentent les déterminations successives permettant d'aboutir au calcul des sollicitations. Chacun des cinq autres articles traite un type de construction caractéristique au point de vue aérodynamique.

En outre, la Commission a introduit un texte III - 2,9 concernant les cas courants de constructions parallélépipédiques qui, en pratique, représentent la majeure partie des bâtiments. La simplicité d'emploi de ces prescriptions, fondée sur la notion d'enveloppe, est parfois acquise au prix d'une légère majoration des sollicitations.

#### **2 étendre le champ d'utilisation des règles**

Pour permettre aux utilisateurs de trouver les coefficients aérodynamiques répondant au plus grand nombre de cas possibles, la Commission a dépouillé les principaux résultats d'essais exécutés à l'étranger et a fait exécuter en France une série importante d'essais<sup>(2)</sup> pour combler certaines lacunes. Elle a également tenu compte des études que leurs auteurs ont bien voulu lui communiquer. Ainsi, de nombreux paragraphes des Règles ont pu être complétés et des paragraphes nouveaux ont été ajoutés.

### **NOTE**

(2) Ann I.T.B.T.P., Novembre 1960, Juillet-Août 1961, Janvier 1963, Juin 1963, Octobre 1964

### **3 tenir compte de l'évolution des types et modes de constructions**

Les tendances déjà amorcées en 1946 se sont accusées et développées au cours des dernières années, à savoir :

- nombre toujours plus grand d'immeubles ou de structures de grande hauteur, dont beaucoup sont exécutés en éléments préfabriqués,
- recours de plus en plus fréquent à des matériaux légers en particuliers pour les toitures et les revêtements de façades.

La destruction complète par le vent de constructions du type classique s'est révélée assez rare dans le passé. Mais il pourrait ne pas en être de même pour certaines structures élevées, légères, à faible coefficient d'amortissement qui sont très sensibles aux rafales et aux tourbillons de Bénard-Karman. Par ailleurs en ce qui concerne les revêtements de toitures et de façades, il semble que depuis une vingtaine d'années, des dégâts plus ou moins importants aient été constatés.

Ces considérations ont conduit la Commission à se pencher sur le problème des actions locales et des actions dynamiques et à rédiger des Règles concernant ces actions dans un sens propre à assurer la sécurité.

### **4 tenir compte de l'évolution des méthodes de calcul et de détermination de la sécurité**

Le recours à deux types de surcharges, déjà envisagé dans les Règles NV 46, paraît s'imposer avec les méthodes de calcul suivant la théorie des états limites qui se développent en France et à l'étranger. La Commission a essayé de définir des surcharges normales correspondant à l'état de service et des surcharges extrêmes correspondant à la mise « hors service ». Les cartes des surcharges climatiques de neige et de vent ont été revues dans cette optique. Elles tiennent compte des plus fortes chutes de neige et des plus grandes vitesses de vent observées au 31 décembre 1964.

Bien entendu, les Règles NV 65 ayant pour seul but de fournir des bases permettant de déterminer les efforts exercés par la neige et par le vent sur les constructions, la Commission s'est abstenue d'indiquer les conditions de vérification de la sécurité, laissant ce soin aux règlements particuliers à chaque matériau.

### **5 tenir compte de l'évolution des idées sur la détermination de la vitesse de calcul du vent**

Deux tendances se manifestent pour estimer la valeur de calcul du vent : l'une utilise le gradient de vent, compte tenu du type de terrain (mers et lacs - prairies dénudées - plaines avec haies et bouquets d'arbres - agglomérations), l'autre est basée sur la vitesse du vent à la hauteur météorologique standard à 10 m.

Quel que soit le critère retenu, l'estimation du vent maximal auquel une structure aura résister au cours de sa vie présentera toujours un degré considérable d'incertitude :

- correspondance des enregistrements sur une durée donnée antérieure et de ceux de la durée future de la construction,
- durée et dimensions des rafales,
- variation de leurs vitesses en fonction de la hauteur,
- conditions de la topographie locale,
- transposition de résultats d'essais sur maquettes au tunnel aérodynamique à des structures placées dans un vent naturel et soumises à tous les effets de l'environnement (interaction - sillage - Venturi).

La Commission a estimé qu'elle manquait d'éléments suffisants et certains d'appréciation pour changer les bases des Règles NV 46 :

- pression dynamique à 10 m,
- loi moyenne de variation avec la hauteur,
- classement en régions,
- coefficients mesurés au tunnel dans un courant de vitesse uniforme.

Toutefois elle a cherché à traduire la variation de l'effort moyen global du vent en fonction de la plus

grande dimension de la pièce, du panneau ou de la structure considéré dans le calcul. En conséquence la pression dynamique de base des présentes Règles est définie comme celle s'exerçant sur un élément dont la plus grande dimension est de 0,50 m. Elle est donc plus élevée que celle des Règles NV 46 qui correspondait à un élément de surface égale ou supérieure à 15 m<sup>2</sup> (avec majoration des actions locales pour les surfaces comprises entre 15 et 5m<sup>2</sup>). Mais il serait intéressant de les comparer entre elles, puisque la détermination des pressions dynamiques de calcul à partir des pressions dynamiques de base tient compte de l'effet des dimensions par l'intermédiaire d'un coefficient réducteur qui ne figurait pas dans les Règles NV 46.

L'application des Règles NV 46 pendant plus d'un an a suscité de nombreuses demandes de renseignements et quelques observations motivées. La Commission de rédaction a estimé qu'il convenait d'aménager les règles correspondant à ces remarques. En même temps la rédaction définitive des Annexes a été terminée compte tenu de cette mise au point.

En conclusion, la Commission a utilisé au mieux les connaissances actuellement disponibles pour essayer de parvenir à une meilleure évaluation des sollicitations réellement appliquées aux structures, et par suite à une appréciation plus adéquate de la résistance de celles pour lesquelles les effets du vent sont un facteur important et parfois déterminant. Bien que ces Règles constituent un progrès par rapport aux précédentes, la Commission considère qu'il convient d'intensifier les recherches météorologiques et aérodynamiques, de procéder à des essais directs sur des structures réelles et de développer les liaisons internationales afin de disposer d'éléments plus complets et plus certains en vue d'une future révision.

N. Esquillan

## **Chapitre I préambule**

Note préliminaire : Compte tenu de l'évolution intervenue dans la terminologie relative aux actions sur les constructions, le terme « surcharge » utilisé dans la rédaction initiale des Règles a été systématiquement remplacé par le terme « charge ».

### **1 objet des règles**

Les présentes Règles ont pour objet de fixer les valeurs des charges climatiques (neige et vent) et de donner les méthodes d'évaluation des efforts correspondants sur l'ensemble d'une construction ou sur ses différentes parties.

## **COMMENTAIRE**

### **Commentaires**

- Les Règles doivent conduire de façon relativement simple à des résultats se rapprochant des effets réels des charges climatiques sur les constructions, malgré la complexité de ces effets. Au point de vue aérodynamique, les Règles utilisent les résultats les plus récents des recherches entreprises tant en France qu'à l'étranger. Elles tiennent compte notamment de faits généraux bien confirmés :
  - influence de la forme de la construction ;
  - existence de suctions importantes en particulier sur les surfaces courbes et sur les toitures ;
  - coexistence d'actions extérieures et intérieures dont la combinaison donne l'action réelle du vent sur les parois ;
  - aggravation des actions (surpressions ou dépressions) intérieures d'un édifice lorsque la paroi comporte des ouvertures ;
  - aggravation des dépressions sur certaines zones, en particulier sur les bords de toiture et dans les zones de sillage ;
  - accroissement ou diminution de l'effet du vent en fonction des rapports des côtés à la hauteur de la construction.

Au point de vue aérologique, les Règles tentent de traduire les effets de phénomènes connus tels que :

- variation de la vitesse du vent avec la situation géographique (effet de région) et avec

les conditions topographiques locales (effet de site) ;

- augmentation de la vitesse du vent avec la hauteur au-dessus du sol et freinage du vent au voisinage du sol ;
- augmentation de la turbulence au voisinage des obstacles ;
- réduction de l'effet global des vents turbulents sur des constructions de grandes dimensions.

Les conditions à respecter, en plus ou moins grand nombre, suivant les combinaisons des effets qui viennent d'être énumérés, ont fait l'objet de compromis pour établir des règles simples qui permettent l'interpolation et précisent au mieux tous les cas en évitant des interprétations différentes.

Toutefois il importe de souligner que les Règles sont basées sur les effets statiques d'un vent supposé stable en vitesse et en direction avec l'hypothèse que la turbulence et les fluctuations des vents naturels sont si irréguliers en valeur et en direction, que la réponse de la structure ne diffère pas de celle due à un vent régulier de même vitesse moyenne.

Pour certaines constructions modernes légères, à faible amortissement et à longue période d'oscillation, il sera nécessaire d'étudier l'influence des effets dynamiques (R-III-1,5) qui, même avec des vents de faible vitesse, peuvent se révéler plus dangereux que les effets statiques.

- Il convient de remarquer que les prescriptions s'appliquant à la majorité des bâtiments à usage d'habitation ou de bureaux et à la plupart des bâtiments industriels, se trouvent toutes dans le seul paragraphe 2,9 du chapitre III des Règles.

## **2 domaine des règles**

Sauf exception prévue par le cahier des charges, notamment pour des constructions de dimensions exceptionnelles ou de type spécial, le domaine des Règles s'étend à toutes les constructions de la France métropolitaine.

Il peut s'étendre aux constructions de la France d'Outre-Mer<sup>(3)</sup> et à celles d'autres pays à condition de connaître les charges climatiques de calcul à prendre en compte dans chaque région.

### **COMMENTAIRE**

#### **Commentaire**

Le domaine des Règles est général. Toutefois, les règlements particuliers sont applicables à certaines constructions. Dans ce cas, il convient de se rapporter au cahier des charges particulier de l'ouvrage.

### **NOTE**

(3)NdE : La rédaction de cet alinéa a été conservé sous sa forme originelle mais la nouvelle carte « vent qui donne les charges propres à certains DOM étendu, de fait, le domaine d'application à ces DOM.

## **3 vérification des conditions de résistance et de stabilité**

### **3,1**

La vérification des conditions de résistance et de stabilité d'une construction sous l'action des charges climatiques doit être faite obligatoirement dans les deux hypothèses suivantes :

- sous l'action de charges normales,
- sous l'action de charges extrêmes.

### **COMMENTAIRE**

#### **Commentaire**

La vérification dans les deux hypothèses envisagées par les Règles est indispensable en raison du

caractère aléatoire des valeurs adoptées pour les charges climatiques et du mode d'action de ces charges

- a) Dans la première hypothèse, les sollicitations engendrées ne doivent pas causer de dommages aux constructions (état de service). Les charges à prendre en compte sont celles qui ont une probabilité convenablement fixée d'être atteintes une ou plusieurs fois dans une année.
- b) Dans la seconde hypothèse, les sollicitations engendrées ne doivent pas mettre la construction ou une partie de celle-ci « hors service »<sup>1</sup>. Les charges à prendre en compte sont celles qui ont une probabilité convenablement fixée d'être atteintes une seule fois pendant la durée de la construction.

1. Une construction ou une partie de construction est mise hors service » lorsqu'elle cesse de remplir la fonction pour laquelle elle a été conçue La mise « hors service » peut être due à l'une des causes suivantes : rupture ou déformation plastique excessive, flambement par instabilité élastique ou instabilité plastique, équilibre statique non assuré par un déplacement anormal de l'ensemble ou d'une partie seulement de la construction, instabilité dynamique, déformation élastique excessive, fissuration excessive.

A chacune de ces causes correspond pour la construction ou pour la partie considérée un état particulier, dit « état limite ».

L'objet du calcul de la sécurité est de maintenir la probabilité d'atteindre l'état limite en deçà d'une certaine valeur préalablement établie pour le type de structure considéré.

### **3,2**

Cette vérification de l'ensemble de la construction ou d'un élément quelconque doit être conduite conformément aux règles concernant le matériau utilisé.

## **COMMENTAIRE**

### **Commentaire**

Le cas échéant, il pourra être tenu compte de la probabilité de non-simultanéité de plusieurs charges, charges ou autres actions réduisant la marge de sécurité.

## **Chapitre II effets de la neige**

Note préliminaire : Compte tenu de l'évolution intervenue dans la terminologie relative aux actions sur les constructions, le terme « surcharge » utilisé dans la rédaction initiale des Règles a été systématiquement remplacé par le terme « charge ».

### **Préambule**

Malgré la parution des règles N 84, le chapitre II des règles NV 65 relatif aux charges de neige continue à être utilisé pour les constructions dont le matériau constitutif ne dispose pas de règles de dimensionnement aux états limites.

A l'usage, il est apparu nécessaire de procéder à une harmonisation des deux textes pour ce qui concerne les schémas d'accumulation de neige à prévoir en fonction de la configuration des toitures. C'est l'objet du modificatif paru en avril 2000 dont les dispositions ont été introduites dans le présent chapitre.

Les principes adoptés dans le modificatif sont les suivants :

L'article R-II-3,3 reproduit - autant que faire se peut dans le contexte propre aux règles NV 65 - les schémas d'accumulation retenus par les règles N 84. Les adaptations introduites sont motivées par le respect des principes suivants :

- conserver le seuil de 25° fixé par l'article R-II-3,1 pour l'intervention du glissement de la neige sur les versants, ainsi que le taux de réduction de la charge au-delà de ce seuil ;
- éviter d'introduire la distinction entre les cas I, II et III prévus par les règles N 84 pour graduer l'importance des effets du vent sur la distribution de la neige.

Dans le même esprit que dans les règles N 84, les accumulations de la neige accidentelle ont été limitées aux cas où interviennent les phénomènes de glissement.

Dans le cas particulier des toitures à plusieurs niveaux, ces orientations ont conduit à envisager deux modes d'évaluation de la charge maximale en pied de décrochement lorsque le versant supérieur présente un angle d'inclinaison supérieur à 25° :

- une première formule correspond simplement au report sur la toiture basse de la neige glissant du versant supérieur ;
- une deuxième formule correspond au cumul de 50 % de la charge de neige affectant le versant supérieur et d'une accumulation due aux effets du vent (cette deuxième formule ne s'applique donc pas à la charge accidentelle).

### 1 charge normale, charge extrême et charge accidentelle

Conformément à la règle I-3,1, on doit envisager dans les calculs une charge normale et une charge extrême.

Il y a lieu également de procéder à une vérification supplémentaire sous charge accidentelle si sa valeur, qui ne dépend pas de l'altitude, excède la charge extrême, qui en dépend.

### COMMENTAIRE

#### Commentaire

L'introduction d'une charge accidentelle a pour objet de réduire les risques de sinistre, résultant de fortes chutes à basse altitude telles celles de décembre 1990 en région Rhône-Alpes ou de janvier 1992 en Languedoc-Roussillon.

### 2 valeur des charges

Elles sont fixées en fonction de la région et de l'altitude.

#### 2,1 régions<sup>(4)</sup> (ou zones)

Jusqu'à 200 m d'altitude, les charges verticales normales  $p_{no}$  et extrêmes  $p'_{no}$  uniformément réparties dues à la neige, ont pour valeurs en projection horizontale celles indiquées par le tableau 1.

La France métropolitaine est divisée en quatre zones définies par la carte ci-après et, plus précisément, selon les limites administratives départementales et cantonales données ci-après.

Unité en daN/m <sup>2</sup>	Zones					
	1A	1B	2A	2B	3	4
« Charge normale » $p_{no}$	35	35	45	45	55	80
« Charge extrême » $p'_{no}$	60	60	75	75	90	130
Charge accidentelle		80	80	108	108	144

Tableau 1

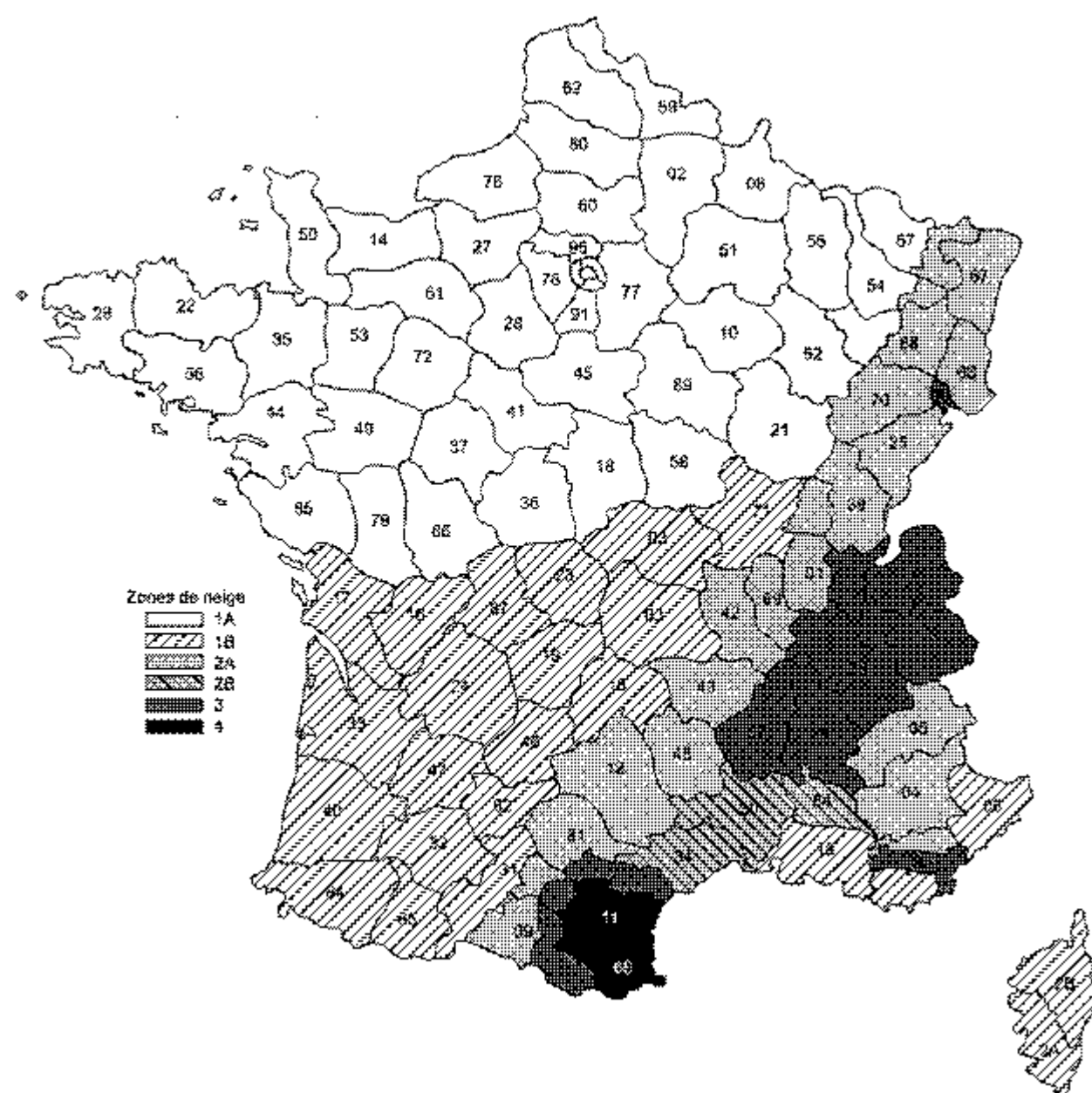


Figure R-II-1

Les zones 1 et 2 sont, en outre, subdivisées, en ce qui concerne la charge accidentelle :

Département	Zone(s)	Département	Zone(s)	Département	Zone(s)
Ain	2A/3	Gers	1B	Pyrénées-Atlantiques	1B
Aisne	1A	Gironde	1B	Hautes-Pyrénées	1B
Allier	1B	Hérault	2B/3	Pyrénées-Orientales	3/4
Alpes-de-Haute-Provence	2A	Ille-et-Vilaine	1A	Bas-Rhin	2A
Hautes-Alpes	2A	Indre	1A	Haut-Rhin	2A
Alpes-Maritimes	1B	Indre-et-Loire	1A	Rhône	2A
Ardèche	3	Isère	3	Haute-Saône	2A
Ardenne	1A	Jura	2A	Saône-et-Loire	1B/2A
Ariège	2A/3	Landes	1B	Sarthe	1A
Aube	1A	Loir-et-Cher	1A	Savoie	3
Aude	3/4	Loire	2A	Haute-Savoie	3
Aveyron	2A	Haute-Loire	2A	Paris	1A
Bouches-du-Rhône	1B	Loire-Atlantique	1A	Seine-Maritime	1A
Calvados	1A	Loiret	1A	Seine-et-Marne	1A
Cantal	1B	Lot	1B	Yvelines	1A
Charente	1B	Lot-et-Garonne	1B	Deux-Sèvres	1A
Charente-Maritime	1B	Lozère	2A	Somme	1A
Cher	1A	Maine-et-Loire	1A	Tarn	2A/3
Corrèze	1B	Manche	1A	Tarn-et-Garonne	1B
Haute-Corse	1B	Marne	1A	Var	1B/2A/3
Corse-du-Sud	1B	Haute-Marne	1A	Vaucluse	2B
Côte-d'Or	1A	Mayenne	1A	Vendée	1A
Côtes-d'Armor	1A	Meurthe-et-Moselle	1A/2A	Vienne	1A
Creuse	1B	Meuse	1A	Haute-Vienne	1B
Dordogne	1B	Morbihan	1A	Vosges	1A/2A
Doubs	2A	Moselle	1A/2A	Yonne	1A
Drôme	3	Nièvre	1A	Territoire-de-Belfort	3
Eure	1A	Nord	1A	Essonne	1A
Eure-et-Loir	1A	Oise	1A	Hauts-de-Seine	1A
Finistère	1A	Orne	1A	Seine-Saint-Denis	1A
Gard	2B	Pas-de-Calais	1A	Val-de-Marne	1A
Haute-Garonne	1B/2A/3	Puy-de-Dôme	1B	Val-d'Oise	1A

Tableau 2

- en zone 1, il n'est pas prévu de vérification sous charge accidentelle dans la partie Nord, notée 1A ; dans la partie Sud, notée 1B, y compris Alpes-Maritimes, Bouches-du-Rhône et Corse, la charge accidentelle est fixée à 80 daN/m<sup>2</sup> ;
- en zone 2, la charge accidentelle est fixée à 80 daN/m<sup>2</sup> également (zone 2A), à l'exception du Gard, de l'Hérault (en partie) et du Vaucluse (zone 2B) où la charge accidentelle est portée à 108 daN/m<sup>2</sup> comme en zone 3.

Cas de Saint-Pierre-et-Miquelon



Département	Zone	Cantons
Ain	2A	Bâgé-le-Châtel, Bourg-en-Bresse (tous cantons), Chalamont, Châtillon-sur-Chalaronne, Coligny, Meximieux, Miribel, Montluel, Montrevel-en-Bresse, Péronnas, Pont-d'Ain, Pont-de-Vaux, Ponte-de-Veyle, Reyrieux, Saint-Trivier-de-Courtes, Saint-Trivier-sur-Moignans, Thoissey, Trévoux, Villars-les-Dombes, Viriat
	3	Tous les autres cantons
Ariège	3	Ax-les-Thermes, Cabannes (Les), Lavelanet, Mirepoix, Quérigut
	2A	Tous les autres cantons
Aude	3	Belpèch, Castelnaudary (tous cantons), Fanjeaux, Salles-sur-l'Hers
	4	Tous les autres cantons
Haute-Garonne	2A	Caraman, Cintegabelle, Lanta, Montgiscard, Nailloux, Villefranche-du-Lauragais
	3	Revel
	1B	Tous les autres cantons
Hérault	3	Béziers (tous cantons), Capestang, Olonzac, Saint-Chinian, Saint-Pons-de-Thomières
	2B	Tous les autres cantons

Tableau 3 départements appartenant à plusieurs zones : découpage selon les cantons.

Meurthe-et-Moselle	2A	Arracourt, Baccarat, Badonviller, Bayon, Blâmont, Cirey-sur-Vezouze, Gerbéviller, Haroué, Lunéville (tous cantons)
	1A	Tous les autres cantons
Moselle	2A	Albestroff, Behren-lès-Forbach, Bitche, Château-Salins, Dieuze, Fénétrange, Forbach, Freyming-Merlebach, Grostenquin, Lorquin, Phalsbourg, Réchicourt-le-Château, Rohrbach-lès-Bitche, Saint-Avold (tous cantons), Sarralbe, Sarrebourg, Sarreguemines, Sarreguemines-Campagne, Stiring-Wendel, Vic-sur-Seille, Volmuster
	1A	Tous les autres cantons
Pyrénées-Orientales	3	Mont-Louis, Olette, Sallégouse
	4	Tous les autres cantons
Saône-et-Loire	2A	Beaurepaire-en-Bresse, Cuiseaux, Cuisery, Louhans, Montpont-en-Bresse, Montret, Pierre-de-Bresse, Saint-Germain-du-Bois, Tournus
	1B	Tous les autres cantons
Tarn	3	Dourgne, Labruguière, Mazamet (tous cantons), Saint-Amans-Soult
	2A	Tous les autres cantons
Var	2A	Aups, Callas, Comps-sur-Artuby, Draguignan, Fayence, Rians, Salernes, Tavernes
	3	Barjols, Besse-sur-Issole, Brignoles, Cotignac, Fréjus, Grimaud, Lorgues, Luc (Le), Saint-Maximin-la-Sainte-Baume, Saint-Raphaël, Saint-Tropez
	1B	Tous les autres cantons
Vosges	1A	Bulgnéville, Châtenois, Coussey, Lamarche, Mirecourt, Neufchâteau, Vittel
	2A	Tous les autres cantons

tableau sans légende dans: 2,1 régions (ou zones)

La charge normale  $p_{n0}$  est prise égale à 190 daN/m<sup>2</sup> ; La charge extrême  $p'_{n0}$  est prise égale à 310 daN/m<sup>2</sup>.

Il n'y a pas lieu de procéder à une vérification sous charge accidentelle de neige.

#### NOTE

(4)NdE : A désigner par « Zones » suivant la nouvelle carte.

## 2,2 altitude

Au-delà de 200 m d'altitude et quelle que soit la région considérée, la loi de variation des charges en fonction de  $p_{no}$  ou de  $p'_{no}$  (R-II-2,1) et de l'altitude  $A$  est donnée par le tableau 4 .

Altitude	$p_n$ (daN/m <sup>2</sup> )	$p'_n$ (daN/m <sup>2</sup> )
$200 \text{ m} \leq A \leq 500 \text{ m}$	$p_{no} + (A - 200)/10$	$p'_{no} + (A - 200)/6$
$500 \text{ m} \leq A \leq 1\,500 \text{ m}$	$p_{no} + 30 + (A - 500)/4$	$p'_{no} + 50 + (A - 500)/2,4$
$1\,500 \text{ m} \leq A \leq 2\,000 \text{ m}$	$p_{no} + 280 + (A - 1\,500)/2,5$	$p'_{no} + 467 + (A - 1\,500)/1,5$
NdE : Les charges normales et extrêmes majorées de l'effet de l'altitude, sont respectivement notées $p_n$ et $p'_n$		

Tableau 4

Toutefois, il importe en montagne que les maîtres d'oeuvre se renseignent sur les conditions locales qui peuvent conduire à des charges de beaucoup supérieures à celles indiquées dans le tableau 4 ; au-delà de 2 000 m, notamment, le cahier des charges doit obligatoirement prescrire les charges de neige à prendre en compte dans les calculs.

Altitude	$p_n$ (daN/m <sup>2</sup> )	$p'_n$ (daN/m <sup>2</sup> )
$200 \text{ m} \leq A \leq 500 \text{ m}$	$p_{no} + (A - 200)/10$	$p'_{no} + (A - 200)/6$
$500 \text{ m} \leq A \leq 1\,500 \text{ m}$	$p_{no} + 30 + (A - 500)/4$	$p'_{no} + 50 + (A - 500)/2,4$
$1\,500 \text{ m} \leq A \leq 2\,000 \text{ m}$	$p_{no} + 280 + (A - 1\,500)/2,5$	$p'_{no} + 467 + (A - 1\,500)/1,5$
NdE : Les charges normales et extrêmes majorées de l'effet de l'altitude, sont respectivement notées $p_n$ et $p'_n$		

Tableau 4

**Note :** L'altitude n'a pas d'influence sur la détermination de la charge accidentelle.

## 2,3 dispositions simplifiées pour la prise en compte des charges accidentelles

Lorsque les performances des constructions ou des produits ne sont pas vérifiées aux « états limites » mais basées sur le principe des « charges admissibles » à comparer aux « charges normales », la notion de charge accidentelle est implicitement vérifiée lorsque la « charge normale » de neige  $p_n$  est supérieure ou égale à :

- 50 daN/m<sup>2</sup> pour les zones 1B et 2A ;
- 70 daN/m<sup>2</sup> pour les zones 2B et 3 ;
- 90 daN/m<sup>2</sup> pour la zone 4.

$p_n$  est la charge normale de base déterminée à partir des valeurs  $p_{no}$  définies à l'article R-II-2,1 en tenant compte des effets de l'altitude selon l'article R-II-2,2. Pour une zone donnée, lorsque  $p_n$  est inférieure à la valeur indiquée ci-dessus, la notion de charge accidentelle est vérifiée en remplaçant  $p_n$  par la valeur indiquée.

Lorsque des vérifications spécifiques des effets de la charge accidentelle sont réalisées, les dispositions de l'article R-II-4 ne sont pas appliquées.

## 2,9 valeurs fixées par le cahier des charges

Le cahier des charges peut prescrire des charges normale et extrême supérieures à celles des Règles suivant les résultats des observations, les conditions locales et la destination du bâtiment, en particulier lorsque sa pérennité doit être assurée avec un large coefficient de sécurité.

## 3 influence des caractéristiques de la toiture

### 3,1 pente des versants

Les charges de neige par mètre carré de projection horizontale restent égales aux valeurs fixées en R-II-2,1 et R-II-2,2 quand l'inclinaison de la surface du toit sur l'horizontale ne dépasse pas 25°.

Ces charges sont réduites de 2 % par degré d'inclinaison supplémentaire sur toute autre partie de couverture dont l'inclinaison dépasse 25°, lorsque rien ne s'oppose au glissement de la neige sur le versant considéré.

## COMMENTAIRE

### Commentaires

- Sur les toitures d'inclinaison modérée la neige subsiste en totalité. Sur les toitures à très forte pente, telles qu'elles sont réalisées dans les pays à chutes de neige fréquentes et abondantes, où aucun dispositif n'est prévu pour retenir la neige, suivant la nature de la couverture, les conditions d'enneigement, les effets du gel et certaines particularités de la construction, une partie de la neige peut être évacuée et le toit s'en trouver soulagé. La règle donnée tient compte de façon approximative de ces constatations.

Mais si des dispositifs spéciaux (barres à neige) sont prévus pour éviter des chutes en masse au moment du dégel, on les suppose parfaitement efficaces et on n'admet aucune réduction de charge sur le versant qui en est muni.

- Si  $\alpha$ , exprimé en degrés, est l'angle formé par la ligne de plus grande pente de la surface considérée avec l'horizontale, les charges réduites  $p_{ne}$  et  $p'_{ne}$  se déduisent des charges normale et extrême, en les multipliant par  $1,5 - 0,02 \alpha$ .

### 3,2 autres caractéristiques

Lorsque l'accumulation de la neige est rendue possible dans certaines zones de la couverture, soit par la présence d'obstacles, soit par les formes du toit, on calcule ces zones pour les valeurs normale, extrême et éventuellement accidentelle de la charge de neige correspondant à l'accumulation possible. L'article R-II-3,3 précise les schémas d'accumulation qu'il convient d'envisager pour les formes et les types de toitures et d'obstacles courants et pour un environnement topographique de la construction considéré comme normal. Si l'environnement permet une protection efficace de la toiture contre les effets du vent, supprimant pratiquement le déplacement de la neige par le vent, les charges de neige (normale, extrême et accidentelle) doivent être majorées de 25 %. Pour les formes inhabituelles, ou non traitées à l'article R-II-3,3, il convient de recourir à l'avis de spécialistes et au besoin à des essais particuliers, ou à défaut et en se plaçant en sécurité à la littérature spécialisée et aux observations locales.

## COMMENTAIRE

Pratiquement, il est impossible de prévoir tous les cas d'accumulation de neige provoquée soit par le vent (congères) soit par des effets d'abri localisés (rideaux d'arbres, constructions accolées à un terrain fortement en pente...), ni tous les cas de dissymétrie de charge provoquée par des déperditions de chaleur inégales sous une toiture ou des effets d'insolation, et par suite de formuler des règles exhaustives.

Dans les cas de formes inhabituelles ou non traitées ainsi que dans les cas où l'environnement topographique ne peut être considéré comme normal et assure une protection efficace de la toiture contre les effets du vent, le marché doit préciser les schémas d'accumulation et les aggravations de charges à retenir.

Les essais particuliers mentionnés sont conduits dans une soufflerie spécialement équipée pour reproduire significativement le phénomène d'accumulation de la neige.

### 3,3 accumulations de la neige - cas courants

#### 3,30

Cet article précise le mode d'évaluation des charges à prendre en compte lorsque la forme de la toiture ou la juxtaposition de plusieurs toitures favorise l'accumulation de la neige (R-II-3,2).

Les références  $p_n$ ,  $p_{ne}$ ,  $p_{n1}$  ... concernent les charges normales, les références  $p'_n$ ,  $p'_{ne}$ ,  $p'_{n1}$  ... les

charges extrêmes et les références  $p''_n$ ,  $p''_{ne}$ ,  $p''_{n1}$  ... les charges accidentelles.

$p_n$ , et  $p'_n$ , sont les charges uniformément réparties, compte tenu éventuellement des majorations en fonction de l'altitude (R-II-2,2).

$p''_n$ , est la charge accidentelle définie à l'annexe 1 des Règles N 84.

$p_{ne}$ ,  $p'_{ne}$  et  $p''_{ne}$  sont les charges réduites en fonction de la pente (C-II-3,1).

$p_{n1}$ ,  $p'_{n1}$  et  $p''_{n1}$  sont définies ci-après.

### 3,31 bords de toitures

Les cas particuliers de charge suivants doivent être explicités dans le marché.

#### 3,311 zones où l'altitude est inférieure à 500 m

Ce cas est à considérer lorsque les deux conditions suivantes se trouvent simultanément réunies :

- $\alpha > 25^\circ$  ;
- présence d'un obstacle gênant le glissement de la neige (un chéneau par exemple).

La partie basse de la toiture est vérifiée pour une charge accumulée normale, extrême ou accidentelle, indiquée figure R-II-2,

avec  $l_1 = 0,02 p_{ne}$  ou  $0,02 p'_{ne}$  ou  $0,02 p''_{ne}$  suivant le cas (charges en daN/m<sup>2</sup> et  $l_1$  en m).

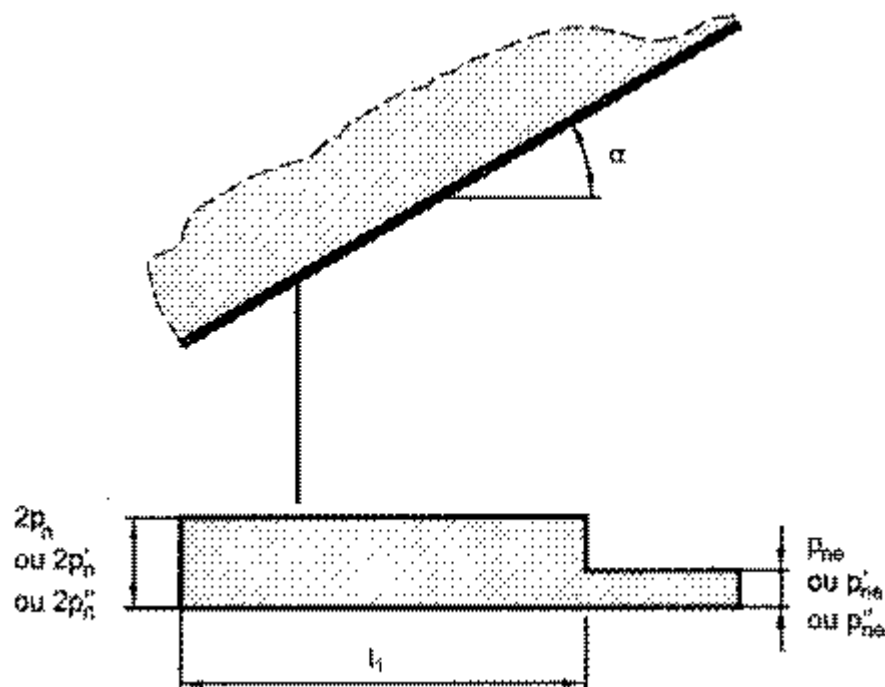


Figure R-II-2

**Nota :** La longueur  $l_1$  vaut 4 fois l'épaisseur courante de la neige sur le toit calculée avec un poids volumique de 200 daN/m<sup>3</sup>.

#### 3,312 zones où l'altitude est supérieure à 500 m

Ce cas est à considérer pour les toitures ne comportant pas de dispositifs de retenue. La partie basse de la toiture est vérifiée pour une charge accumulée normale, extrême ou accidentelle, indiquée figure R-II-3, avec  $l_1 = 0,01 p_{ne}$  ou  $0,01 p'_{ne}$  ou  $0,01 p''_{ne}$  suivant le cas, et  $l_2 = l_1/2$  (charges en daN/m<sup>2</sup>,  $l_1$  et  $l_2$  en m).

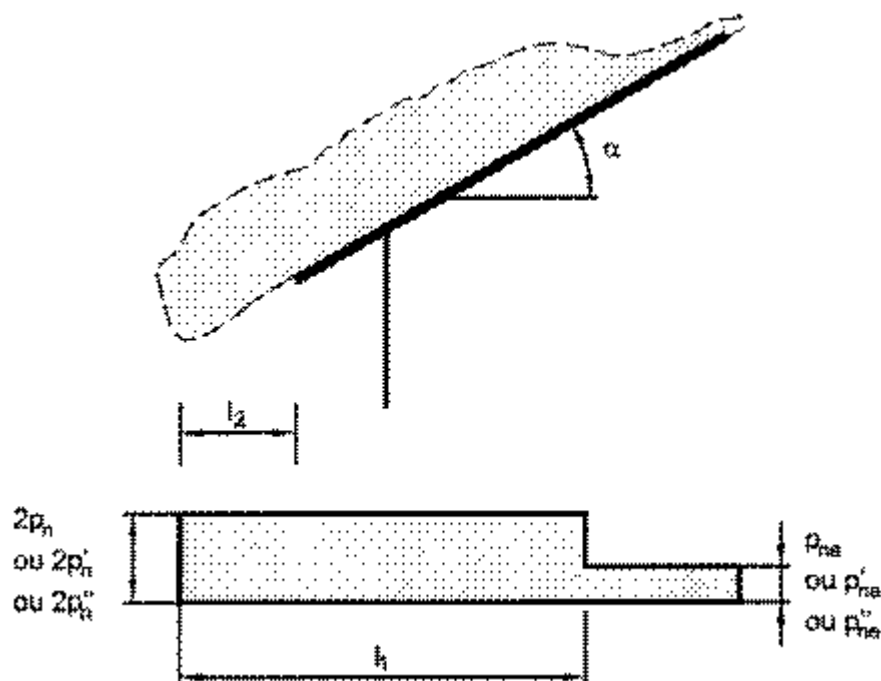


Figure R-II-3

**Nota :** La longueur  $l_1$  vaut 4 fois l'épaisseur courante de la neige sur le toit calculée avec un poids volumique de  $400 \text{ daN/m}^3$ .

### 3,32 saillies et obstacles locaux

Les toitures visées présentent une inclinaison inférieure à  $15^\circ$ . Elle sont calculées pour les charges  $p_n$ ,  $p'_n$  et  $p''_n$  uniformément réparties.

Elles doivent de plus être vérifiées pour la répartition non uniforme des charges indiquée figure R-II-4 où  $l_3$  est prise égale à  $2h$  avec la limitation  $5\text{m} \leq l_3 \leq 15\text{m}$ .

Les charges  $p_{n1}$ ,  $p'_{n1}$  prennent les valeurs suivantes :

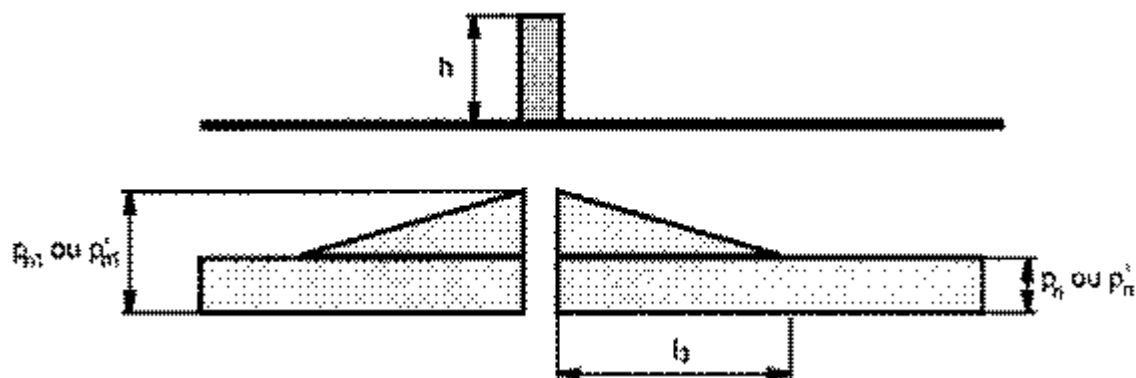


Figure R-II-4

- cas des obstacles locaux
  - $p_{n1} = \min (200 h, 2.5 p_n)$
  - $p'_{n1} = \min (330 h, 2.5 p'_n)$
- cas des acrotères
  - $p_{n1} = \min (200 h, 2 p_n)$

$$p'_{n1} = \min (330 h, 2 p'_n)$$

$p_{n1}$  et  $p'_{n1}$  ne doivent pas être prises inférieures à  $p_n$  et  $p'_n$  respectivement.

La hauteur  $h$  est exprimée en m et les charges en daN/m<sup>2</sup>.

### 3,33 toitures multiples à redans (sheds)

Les charges  $p_{n1}$ ,  $p'_{n1}$  et  $p''_{n1}$  et  $p_{n2}$ ,  $p'_{n2}$  et  $p''_{n2}$  prennent les valeurs suivantes en fonction de la valeur de l'angle  $\alpha$  :

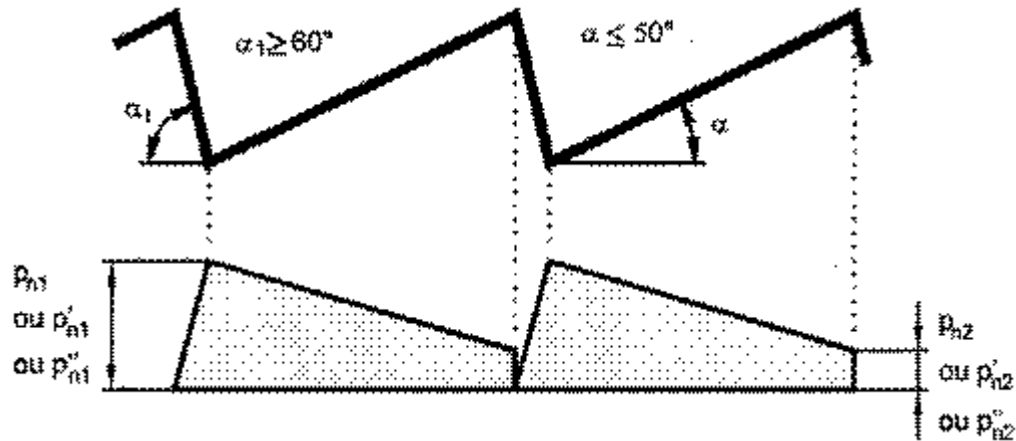


Figure R-II-5

#### - charges normale et extrême

$$\begin{aligned} \text{si } 15^\circ < \alpha \leq 25^\circ \quad & p_{n1} = p_n [1 + (\alpha - 15)/10] \text{ et} \\ & p_{n2} = p_n [1 - 0.5(\alpha - 15)/10] \\ & p'_{n1} = p'_n [1 + (\alpha - 15)/10] \text{ et} \\ & p'_{n2} = p'_n [1 - 0.5(\alpha - 15)/10] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{si } 25^\circ < \alpha \leq 50^\circ \quad & p_{n1} = 2 p_n \text{ et} \\ & p_{n2} = p_n [0.5 - 0.5(\alpha - 25)/50] \\ & p'_{n1} = 2 p'_n \text{ et} \\ & p'_{n2} = p'_n [0.5 - 0.5(\alpha - 25)/50] \end{aligned}$$

#### - charge accidentelle

$$\text{si } \alpha \leq 25^\circ \quad p''_{n1} = p''_{n2} = p''_n \text{ (répartition uniforme)}$$

$$\begin{aligned} \text{si } 25^\circ < \alpha \leq 50^\circ \quad & p''_{n1} = p''_n [1 + (\alpha - 25)/50] \text{ et} \\ & p''_{n2} = p''_n [1 - (\alpha - 25)/50] \end{aligned}$$

Si  $\alpha > 50^\circ$ , une analyse particulière à partir des phénomènes de base (glissement de la neige, redistribution par le vent) est à faire pour la détermination de schémas de répartition de la neige.

### 3,34 noues des toits multiples

#### 3,341 versants symétriques

Les charges  $p_{n1}$ ,  $p'_{n1}$  et  $p''_{n1}$  et  $p_{n2}$ ,  $p'_{n2}$  et  $p''_{n2}$  prennent les valeurs suivantes en fonction de la valeur de l'angle  $\alpha$  :

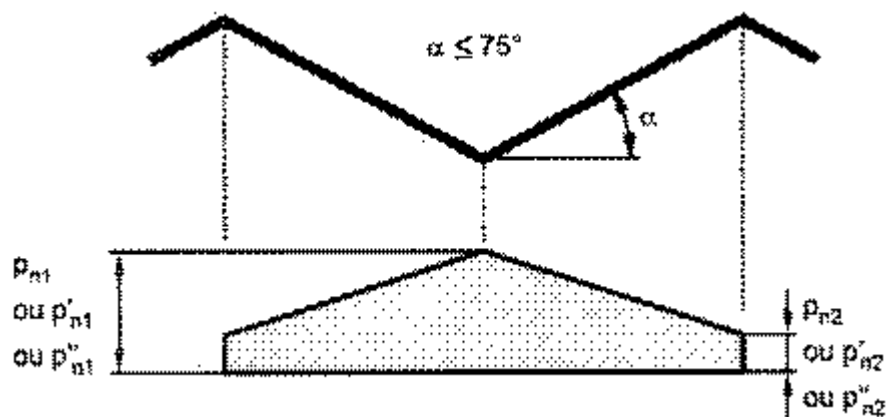


Figure R-II-6

- charges normale et extrême

si  $\alpha \leq 15^\circ$   $p_{n1} = p_{n2} = p_n$  et  $p'_{n1} = p'_{n2} = p'_n$   
(répartitions uniformes)

si  $15^\circ < \alpha \leq 25^\circ$   $p_{n1} = p_n [1 + (\alpha - 15)/10]$  et  
 $p_{n2} = p_n [1 - 0.5(\alpha - 15)/10]$   
 $p'_{n1} = p'_n [1 + (\alpha - 15)/10]$  et  
 $p'_{n2} = p'_n [1 - 0.5(\alpha - 15)/10]$

si  $25^\circ < \alpha \leq 75^\circ$   $p_{n1} = 2 p_n$  et  
 $p_{n2} = p_n [0.5 - 0.5(\alpha - 25)/50]$   
 $p'_{n1} = 2 p'_n$  et  
 $p'_{n2} = p'_n [0.5 - 0.5(\alpha - 25)/50]$

- charge accidentelle

si  $\alpha \leq 25^\circ$   $p''_{n1} = p''_{n2} = p''_n$  (répartition uniforme)

si  $25^\circ < \alpha \leq 75^\circ$   $p''_{n1} = p''_n [1 + (\alpha - 25)/50]$  et  
 $p''_{n2} = p''_n [1 - (\alpha - 25)/50]$

**3,342 versants dissymétriques**

Les charges  $p_{n1}$ ,  $p'_{n1}$  et  $p''_{n1}$  prennent les valeurs définies pour les versants symétriques en fonction de la valeur de l'angle  $\alpha = (\alpha_2 + \alpha_3)/2$ .

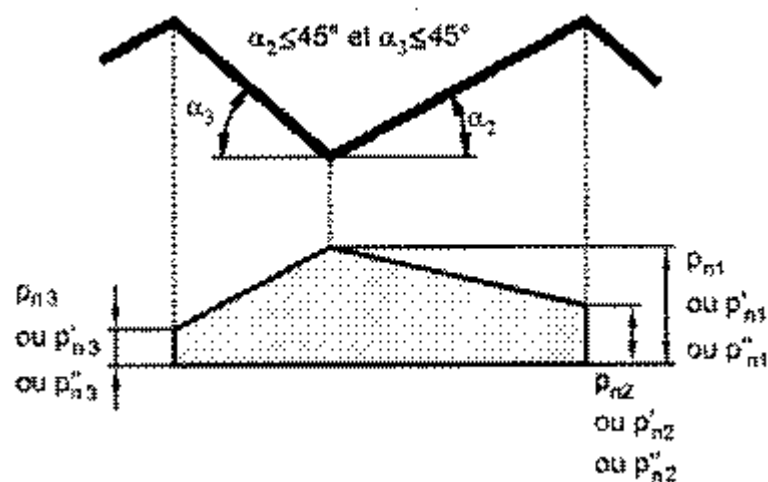


Figure R-II-7

Les charges  $p_{n2}$ ,  $p'_{n2}$  et  $p''_{n2}$ , respectivement  $p_{n3}$ ,  $p'_{n3}$  et  $p''_{n3}$ , prennent les valeurs définies pour les versants symétriques en fonction de la valeur de l'angle  $\alpha_3$ .

### 3.35 toitures à plusieurs niveaux

La toiture supérieure est calculée pour les charges  $p_{ne}$ ,  $p'_{ne}$  et  $p''_{ne}$  et la toiture inférieure pour les charges  $p_n$ ,  $p'_n$  et  $p''_n$ .

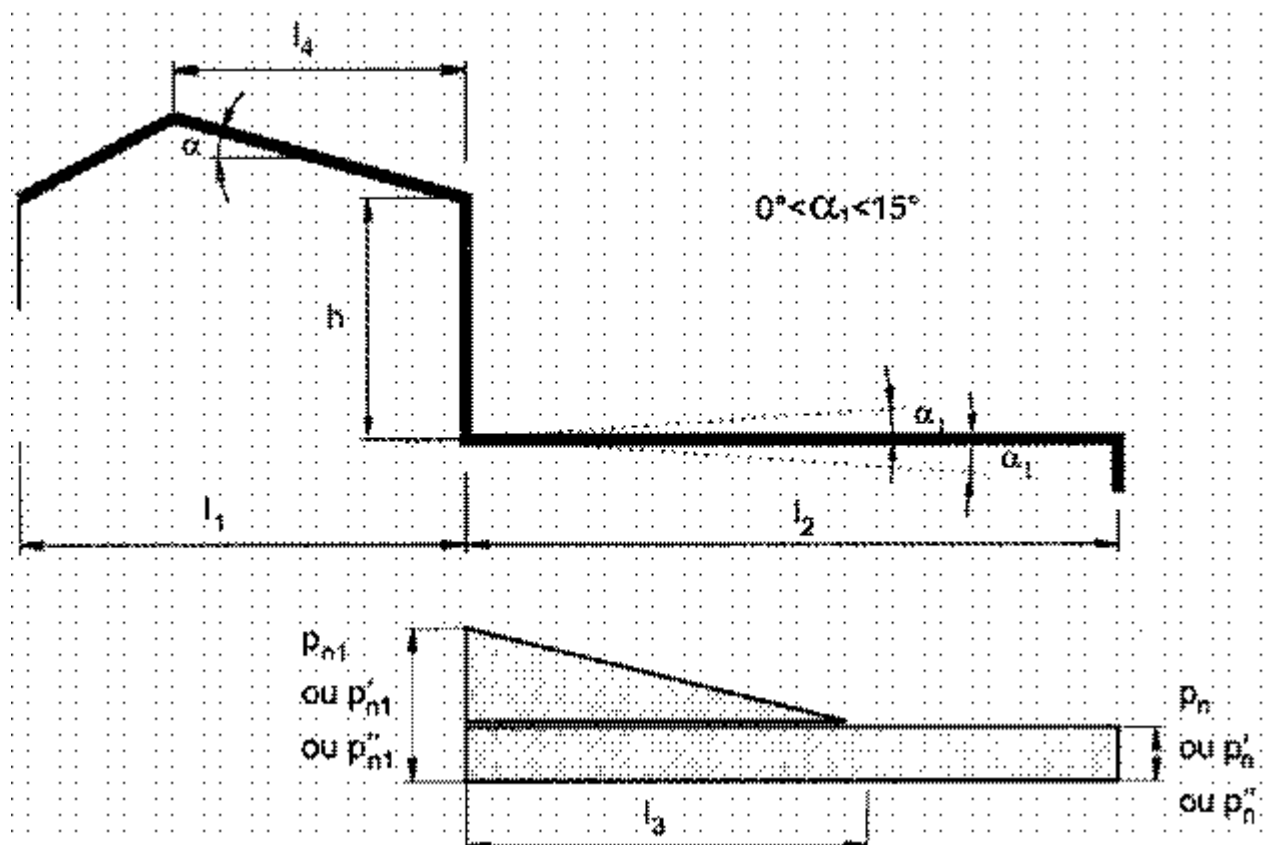


Figure R-II-8

La toiture inférieure est de plus vérifiée pour la répartition non uniforme indiquée figure R-II-8 où  $l_3$  est prise égale à  $2h$  avec la limitation  $5m \leq l_3 \leq 15m$ .

Les charges  $p_{n1}$ ,  $p'_{n1}$  et  $p''_{n1}$  prennent les valeurs suivantes :

- si  $\alpha \leq 25^\circ$

$$p_{n1} = \min(200 h ; 3,5 p_n)$$

$$p'_{n1} = \min(330 h ; 3,5 p'_n)$$

$p''_{n1}$  est sans objet

La hauteur  $h$  est exprimée en m et les charges en  $daN/m^2$ .

- si  $\alpha > 25^\circ$



$p_{n1}$  prend la plus grande des deux valeurs :

$$\begin{aligned} & \left[ 1 + 0.04(\alpha - 25) (l_4 / l_3) \right] p_n \\ & \left[ 1 - 0.02(\alpha - 25) (l_4 / l_3) \right] p_n + \min (200 h ; 3,5 p_n) \end{aligned}$$

$p'_{n1}$  prend la plus grande des deux valeurs :

$$\begin{aligned} & \left[ 1 + 0.04(\alpha - 25) (l_4 / l_3) \right] p'_n \\ & \left[ 1 - 0.02(\alpha - 25) (l_4 / l_3) \right] p'_n + \min (330 h ; 3,5 p'_n) \end{aligned}$$

$$p''_{n1} = \left[ 1 + 0.04(\alpha - 25) (l_4 / l_3) \right] p''_n$$

La hauteur  $h$  est exprimée en mètres, l'angle  $\alpha$  en degrés et les charges en daN/m<sup>2</sup>.

#### 4 combinaison des effets de la neige et du vent (5)

Les effets de la neige et du vent sont considérés simultanément lorsque leur combinaison produit dans la construction des actions plus défavorables que si la neige ou le vent agissait seul.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaires

- On admet par mesure de simplification que les actions (pressions et suctions) dues au vent sur une toiture enneigée sont les mêmes que sur la toiture sans neige, bien que les conditions aérodynamiques changent avec les variations de forme dues aux accumulations plus ou moins régulières de neige.
- Il suffit en général pour tenir compte des dissymétries de charges de neige dues à l'action du vent :
  - dans le cas d'une toiture-terrasse et d'une toiture à un versant, de charger au maximum la moitié de la terrasse ou du versant ;
  - dans le cas d'une toiture à deux versants, de charger au maximum un des versants ;
  - dans le cas d'une voûte, de charger au maximum la moitié de la voûte ; ainsi que le montrent les exemples donnés par la figure C-II-2.

**Figure C-II-2 A** : Répartitions constatées pour la neige sous l'action du vent.

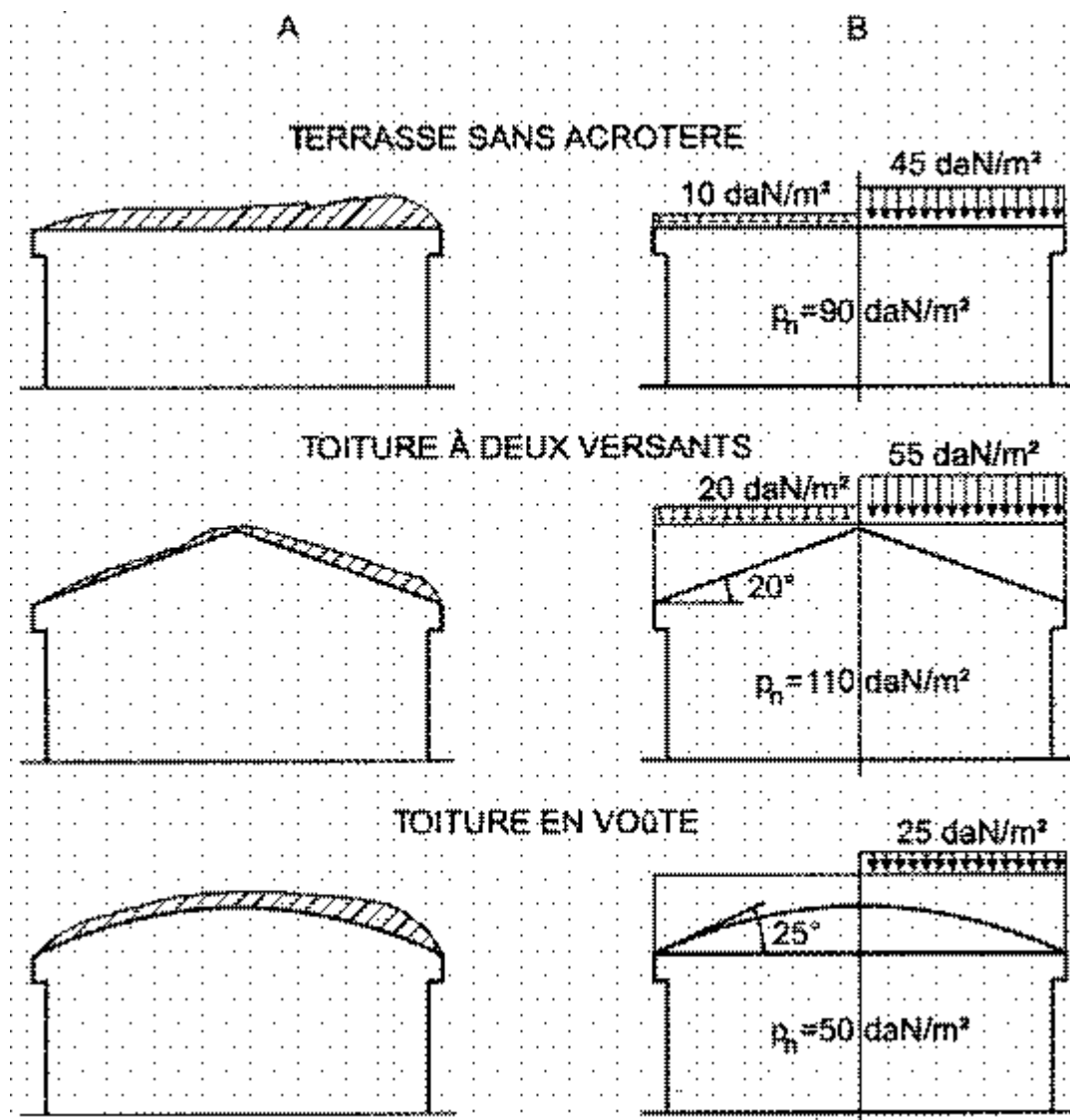


Figure C-II-2

B : Charges de calcul pour une charge normale de neige.

Cependant, pour des voûtes, il peut être utile de considérer les trois répartitions indiquées sur la figure C-II-3 :

**Figure C-II-3** Suivant les dispositions de la toiture, l'un des groupes d'hypothèses suivantes est envisagé :

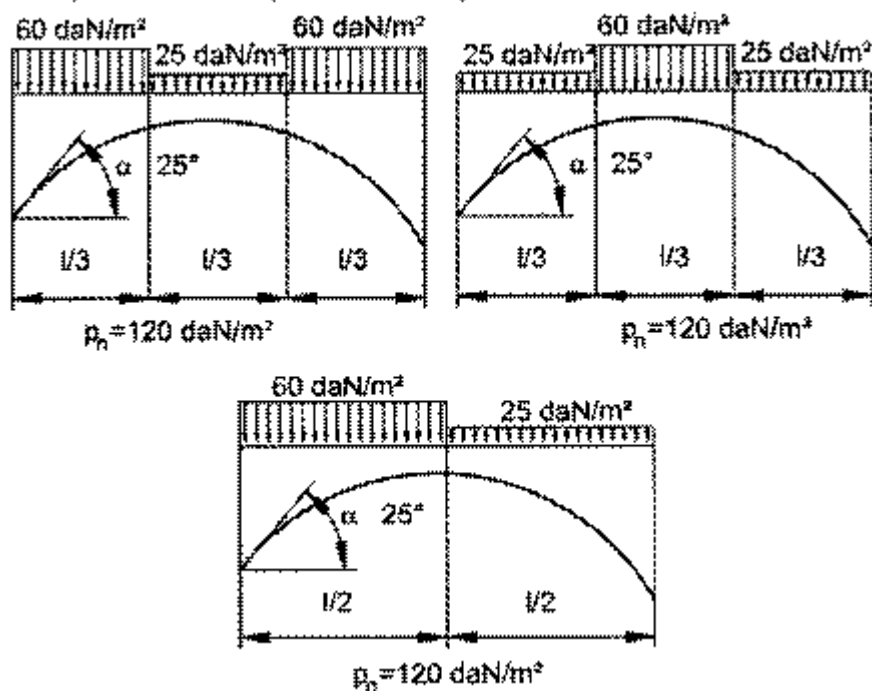


Figure C-II-3

#### NOTE

(5) Voir aussi R-III-6,4 « Constructions hors règlement ».

#### 4,1 répartition sensiblement uniforme de la neige sur toute la toiture

- la charge normale ou extrême du vent soufflant dans les différentes directions est prise en totalité ;
- la charge normale ou extrême de la neige est réduite de moitié.

#### 4,2 possibilité de répartition non uniforme de la neige sous l'action du vent

- la charge normale ou extrême du vent soufflant dans différentes directions est prise en totalité ;
- la charge de neige réduite de moitié est appliquée de la manière la plus défavorable soit totalement, soit partiellement ; dans ce dernier cas, les parties les plus chargées supportent intégralement la charge réduite et les parties les moins chargées 35 daN/m² de moins pour la charge normale et 60 daN/m² de moins pour la charge extrême sans descendre au-dessous de 0.

Conformément à R-II-2,9, les valeurs de 35 et 60 daN/m², peuvent être majorées par le Cahier des Charges.

#### 4,3 dispositions de la toiture rendant impossible l'enlèvement de la neige par le vent (sheds, noues obturées à une extrémité, terrasse avec acrotère)

Dans ces zones, aucune réduction de la charge de neige n'est envisagée, mais on ne tient compte que des deux combinaisons suivantes :

- valeur extrême de la charge de neige et valeur normale de la charge de vent ;
- valeur normale de la charge de neige et valeur extrême de la charge de vent.

### Chapitre III effets du vent

## 1 généralités

### 1,1 définitions et principes généraux

#### 1,11 direction du vent

Pour le calcul des constructions, on suppose que la direction d'ensemble moyenne du vent est horizontale.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaires

• Dans les couches inférieures de l'atmosphère, les grands courants aériens suivent les mouvements du terrain et sont par conséquent parallèles au sol. Mais il est difficile a priori de définir leur direction en un lieu donné pour un bâtiment donné. Ainsi une construction, suivant qu'elle est située à la partie inférieure, sur le versant, ou au sommet d'un terrain en pente, est attaquée suivant des angles différents de celui admis dans les Règles. Pour un règlement général, il est suffisant et plus simple de s'en tenir à la direction horizontale, même dans le cas d'un terrain en pente. • L'attention est cependant attirée sur le fait que, lorsque la pente du terrain est forte ou règne sur une grande longueur, il est alors préférable de procéder à une étude expérimentale sur maquette du terrain et de la construction pour déterminer l'allure générale de l'écoulement de l'air.

#### 1,12 exposition des surfaces

Si on éclaire la construction par un faisceau de rayons lumineux parallèles à la direction d'ensemble du vent :

- les surfaces éclairées (exposées au vent) sont dites « au vent » ;
- les surfaces non éclairées (non exposées au vent) ou sous incidence rasante (parallèles à la direction du vent) sont dites « sous le vent ».

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

En aérodynamique les surfaces « au vent » sont celles soumises à un écoulement régulier du vent sans décollement de la veine.

Celles « sous le vent » sont soumises à un écoulement turbulent. Elles sont séparées l'une de l'autre par une ligne de décollement des filets d'air.

Figure C-III-1

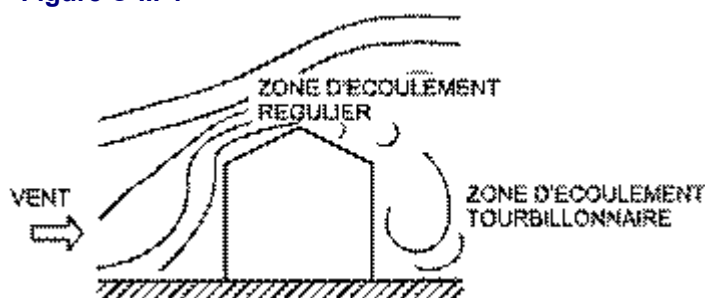


Figure C-III-1

#### 1,13 maître-couple

Le maître-couple est la projection orthogonale de la surface considérée ou de l'ensemble de la construction sur un plan normal à la direction du vent ou, d'après la définition optique (R-III-1,12), la surface de l'ombre portée sur un plan perpendiculaire à la direction des rayons lumineux.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

La notion de maître-couple est introduite dans certains cas :

- pour la détermination des directions de vent les plus défavorables (R-III-3,02) ;
- pour la détermination des actions du vent sur les surfaces courbes (R-III-1,244) ;
- pour la détermination de l'action de renversement (C-III-1,43) ;
- pour donner les dimensions du masque dans la direction du vent (C-III-1,243).

**Figure C-III-2**

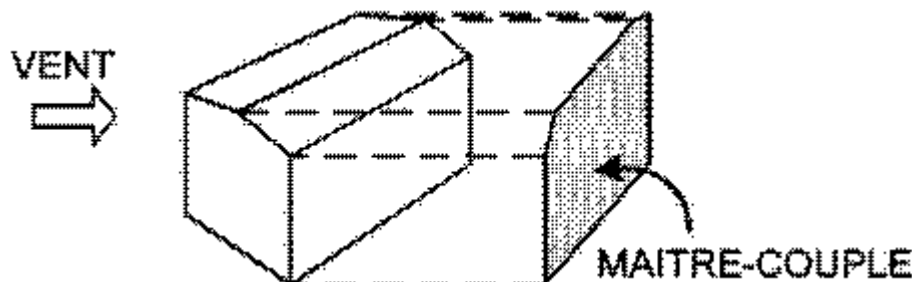


Figure C-III-2

#### **1,14 action exercées par le vent sur une des faces d'un élément de paroi**

L'action exercée par le vent sur une des faces d'un élément de paroi est considérée comme normale à cet élément.

Elle est fonction :

- a) de la vitesse du vent (R-III-1,21) ;
- b) de la catégorie de la construction (R-III-1,31) et de ses proportions d'ensemble (R-III-1,321) ;
- c) de l'emplacement de l'élément considéré dans la construction (R-III-1,322) et de son orientation par rapport au vent (R-III-1,12) ;
- d) des dimensions de l'éléments considéré (R-III-1,244) ;
- e) de la forme de la paroi (plane ou courbe) à laquelle appartient l'élément considéré (C-III-1,421).

#### **COMMENTAIRE**

##### **Commentaire**

L'ensemble des Règles est établi pour permettre une évaluation aussi correcte que possible de l'action du vent sur divers types de constructions. Avant d'aborder le calcul des sollicitations sur un élément, il faut procéder à des déterminations successives : pression dynamique  $q$ , catégorie de la construction, proportions (rapports  $\lambda$  ou  $\vartheta$ ), coefficient  $\gamma$ , coefficient  $c$  et action  $cq$ . D'une manière générale l'article 1 est rédigé suivant l'ordre dans lequel se présentent en pratique ces déterminations. A ce titre il constitue une sorte de guide.

#### **1,15 pression dynamique et coefficient de pression**

L'action élémentaire unitaire exercée par le vent sur une des faces d'un élément de paroi est donnée par un produit  $cq$ , dans lequel :

- $q$  désigne la pression dynamique (R-III-1,21) fonction de la vitesse du vent ;
- $c$  un coefficient de pression (R-III-1,32 et C-III-1,421) fonction des dispositions de la construction définies en R-III-1,14 b, c, d et e.

Une des faces d'un élément appartenant à une construction est dite soumise à une pression (ou à une surpression) lorsque la force normale à cette face est dirigée vers elle. Dans ce cas, par convention,  $c$  est positif.

Elle est dite soumise à une succion (ou à une dépression) lorsque la force est dirigée en sens contraire. Dans ce cas, par convention,  $c$  est négatif.

#### **COMMENTAIRE**

##### **Commentaire**

Des majorations ou des réductions peuvent affecter :

- la pression dynamique  $q$  (R-III-1,24) ;
- le coefficient de pression  $c$  (R-III-1,322) ;
- les actions d'ensemble du vent (R-III-1,5)

**Figure C-III-3**



Figure C-III-3

## 1,2 pression dynamique

### 1,21 définition

La pression dynamique  $q$  en décanewtons par mètre carré (daN/m<sup>2</sup>) est donnée en fonction de la vitesse  $V$  du vent en mètres par seconde par la formule :

$$q = V^2/16,3$$

### COMMENTAIRE

#### Commentaire

Les présentes Règles prennent comme base des calculs non pas la vitesse du vent de laquelle on déduirait son action, mais la pression qu'il exerce sur une surface plane, normale à sa direction au point frappé par le filet d'air dont la vitesse s'annule. Cette pression, dite pression dynamique, est donc indépendante de la nature, de la position et des dispositions de la construction. Elle est donnée par la formule :  $q = \rho V^2/20$  établie par application du théorème de Bernoulli où :

$\rho$  = masse volumique en kg par m<sup>3</sup> de l'air sec débarrassée de gaz carbonique, à 15° C et sous une pression atmosphérique normale<sup>1</sup> = 1,225 kg/m<sup>3</sup> ;

$V$  = vitesse du vent en mètres par seconde (m/s) ;

$q$  = pression dynamique du vent en décanewtons par mètre carré (daN/m<sup>2</sup>), ce qui donne pour  $q$  la valeur

$$q = V^2/16,3$$

1. La pression atmosphérique normale est la pression exercée par une colonne de 76 cm de mercure à 0°C pour la valeur normalisée de l'accélération due à la pesanteur (9,80665 m/s<sup>2</sup>). La pression atmosphérique normale est égale à 101 325 pascals = 1,013 bar

### 1,22 pression dynamique normale et pression dynamique extrême

Conformément à la règle I-3,1, on doit envisager dans les calculs une pression dynamique normale et une pression dynamique extrême ; le rapport de la seconde à la première est pris égal à 1,75.

### 1,23 pressions dynamiques de base

#### 1,231 définition

Par convention, les pressions dynamiques de base normale et extrême sont celles qui s'exercent à une hauteur de 10 m au-dessus du sol, pour un site normal (C-III-1,242), sans effet de masque (C-III-1,243) sur un élément dont la plus grande dimension est égale à 0,50 m.

#### 1,232 valeurs

Elles varient avec les zones (Figure R-III-1) et à une altitude inférieure ou égale à 1 000 m sont données par le tableau 5.

## COMMENTAIRE

### Commentaire

La partie « Actions du vent » de l'Eurocode inclut une carte « vent » établie sur la base de relevés météorologiques plus récents et plus complets que ceux qui étaient disponibles lors de l'établissement des Règles Neige et Vent actuelles. Compte tenu de sa publication prochaine et afin d'éviter les inconvénients qui pourraient naître de la coexistence de deux cartes différentes, il est nécessaire de modifier la carte des Règles NV 65 actuelles.

L'Eurocode définit la vitesse de référence du vent sur une base probabiliste : le vent « cinquantennal », de période de retour égale à 50 ans. C'est sur ce vent de référence que s'appuient, d'ores et déjà, les études de grands projets en France (grands ponts, grands immeubles, stades, etc.) lorsqu'ils font l'objet d'une étude en soufflerie turbulente. Dans l'idéal, il aurait été souhaitable d'introduire cette référence au vent cinquantennal dans les Règles NV 65, dans un souci d'harmonisation.

Cependant, cette référence conduirait globalement à une importante augmentation du niveau des charges. La prise en compte dans l'Eurocode, de l'influence réductrice de la rugosité du sol dans les zones urbaines, compense globalement cette augmentation : son introduction dans les Règles NV 65 a été envisagée, en même temps que celle du vent cinquantennal, pour maintenir un niveau global de sécurité équivalent aux règles actuelles ; mais cette disposition nouvelle rendait plus complexe l'utilisation des règles

Finalement, il a été renoncé à cette double introduction du vent cinquantennal et de la rugosité dans les règles NV 65.

La modification consiste donc à maintenir la même fourchette de valeurs pour la pression dynamique de base normale, soit 50 à 90 daN/m<sup>2</sup> en France métropolitaine, ainsi que le niveau moyen de pression sur l'ensemble du territoire métropolitain. Un autre objectif a été de limiter au maximum les parties du territoire où la variation de la pression est supérieure à 20 %, par rapport à la situation précédente. La nouvelle carte partage le territoire métropolitain en 4 zones au lieu de 3 régions dans la carte précédente.

Entre les extrêmes 50 et 90 daN/m<sup>2</sup>, les valeurs intermédiaires de 60 et 75 daN/m<sup>2</sup> ont été retenues, contre 70 daN/m<sup>2</sup> dans la carte précédente.

#### Notes :

- la nouvelle carte découpe le territoire en « zones », terminologie adoptée pour éviter les confusions avec les « régions » de la carte précédente ;
- la pression dynamique normale pour les DOM « cycloniques » est maintenue à 120 daN/m<sup>2</sup> (zone 5 de la nouvelle carte, région IV de la carte précédente) ;
- il est rappelé que les valeurs des Règles sont données pour un site normal : en région montagneuse, même à une altitude inférieure à 1 000 m, ces valeurs ne doivent être adoptées qu'après examen des conditions topographiques locales ;
- les pressions extrêmes des vents, même en site exposé (R-III-1,242) ne protègent pas à coup sûr contre l'effet des trombes<sup>(1)</sup> ou tornades, phénomènes imprévisibles que la Commission n'a pas retenus pour des règles générales, applicables en métropole. A noter qu'en mai 1961, une trombe s'est déplacée au-dessus de la Normandie, mais que n'ayant affecté aucun appareil enregistreur, les relevés de la Météorologie Nationale n'en font pas état

1. la trombe, tourbillon d'air à axe vertical, est à distinguer nettement du grain, vent violent de courte durée (de l'ordre de quelques minutes) constaté lors d'un passage en un point d'une discontinuité atmosphérique (surface séparant deux masses d'air distinctes). Dans un cas comme dans l'autre, la vitesse du vent est alors très supérieure à celle observée avant et après.

#### Tableau 5

	Pression dynamique de base normale	Pression dynamique de base extrême
Zone 1	50 daN/m <sup>2</sup>	87,5 daN/m <sup>2</sup>
Zone 2	60 daN/m <sup>2</sup>	105,0 daN/m <sup>2</sup>
Zone 3	75 daN/m <sup>2</sup>	131,0 daN/m <sup>2</sup>
Zone 4	90 daN/m <sup>2</sup>	157,5 daN/m <sup>2</sup>
Zone 5	120 daN/m <sup>2</sup>	210,0 daN/m <sup>2</sup>

Tableau 5

## COMMENTAIRE

### Commentaire

Valeur des vitesses du vent correspondant à celles des pressions dynamiques pour les différentes zones données par le tableau 5

Au-delà de 1000 m d'altitude, le cahier des charges doit obligatoirement prescrire les pressions dynamiques de base à prendre en compte dans les calculs.

	Valeurs normales		Valeurs extrêmes	
	m/s	km/h	m/s	km/h
Zone 1	28,6	103,0	37,8	136,1
Zone 2	31,3	112,7	41,4	149,1
Zone 3	35,0	126,0	46,3	166,6
Zone 4	38,3	137,9	50,7	182,5
Zone 5	44,2	159,2	58,5	210,6

tableau sans légende dans: 1,232 valeurs

Zone	Définition des zones, par départements
1	Côte-d'Or*, Doubs, Jura, Loire, Bas-Rhin*, Haut-Rhin, Rhône, Haute-Saône, Saône-et-Loire, Vosges, Belfort (Territoire) Guyane
2	Ain, Aisne, Allier, Alpes-de-Haute-Provence, Hautes-Alpes, Alpes-Maritimes, Ardèche, Ardennes, Ariège, Aube, Aude*, Aveyron, Cantal, Charente, Charente-Maritime, Cher, Corrèze, Côte-d'Or*, Creuse, Dordogne, Drôme, Eure*, Eure-et-Loir, Gard, Haute-Garonne, Gers, Gironde, Hérault*, Ille-et-Vilaine*, Indre, Indre-et-Loire, Isère, Landes, Loir-et-Cher, Haute-Loire, Loire-Atlantique*, Loiret, Lot, Lot-et-Garonne, Lozère, Maine-et-Loire, Marne, Haute-Marne, Mayenne, Meurthe-et-Moselle, Meuse, Moselle, Nièvre, Nord*, Oise, Orne, Pas-de-Calais*, Puy-de-Dôme, Pyrénées-Atlantiques, Hautes-Pyrénées, Pyrénées-Orientales*, Bas-Rhin*, Sarthe, Savoie, Haute-Savoie, Seine-Maritime*, Deux-Sèvres, Somme*, Tarn, Tarn-et-Garonne, Var*, Vaucluse*, Vendée*, Vienne, Haute-Vienne, Yonne Région Ile-de-France : Ville de Paris, Seine-et-Marne, Yvelines, Essonne, Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis, Val-de-Marne, Val-d'Oise
3	Aude*, Bouches-du-Rhône, Calvados, Corse-du-Sud*, Haute-Corse*, Côtes-d'Armor*, Eure*, Hérault*, Ille-et-Vilaine*, Loire-Atlantique*, Manche*, Morbihan*, Nord*, Pas-de-Calais*, Pyrénées-Orientales*, Seine-Maritime*, Somme*, Var*, Vaucluse*, Vendée*
4	Aude*, Bouches-du-Rhône, Corse-du-Sud*, Haute-Corse*, Côtes-d'Armor*, Finistère, Manche*, Morbihan*, Pyrénées-Orientales*, Var*, Vaucluse* Saint-Pierre-et-Miquelon
5	Guadeloupe, Martinique, Réunion, Mayotte
* pour une partie du département	

Tableau 6



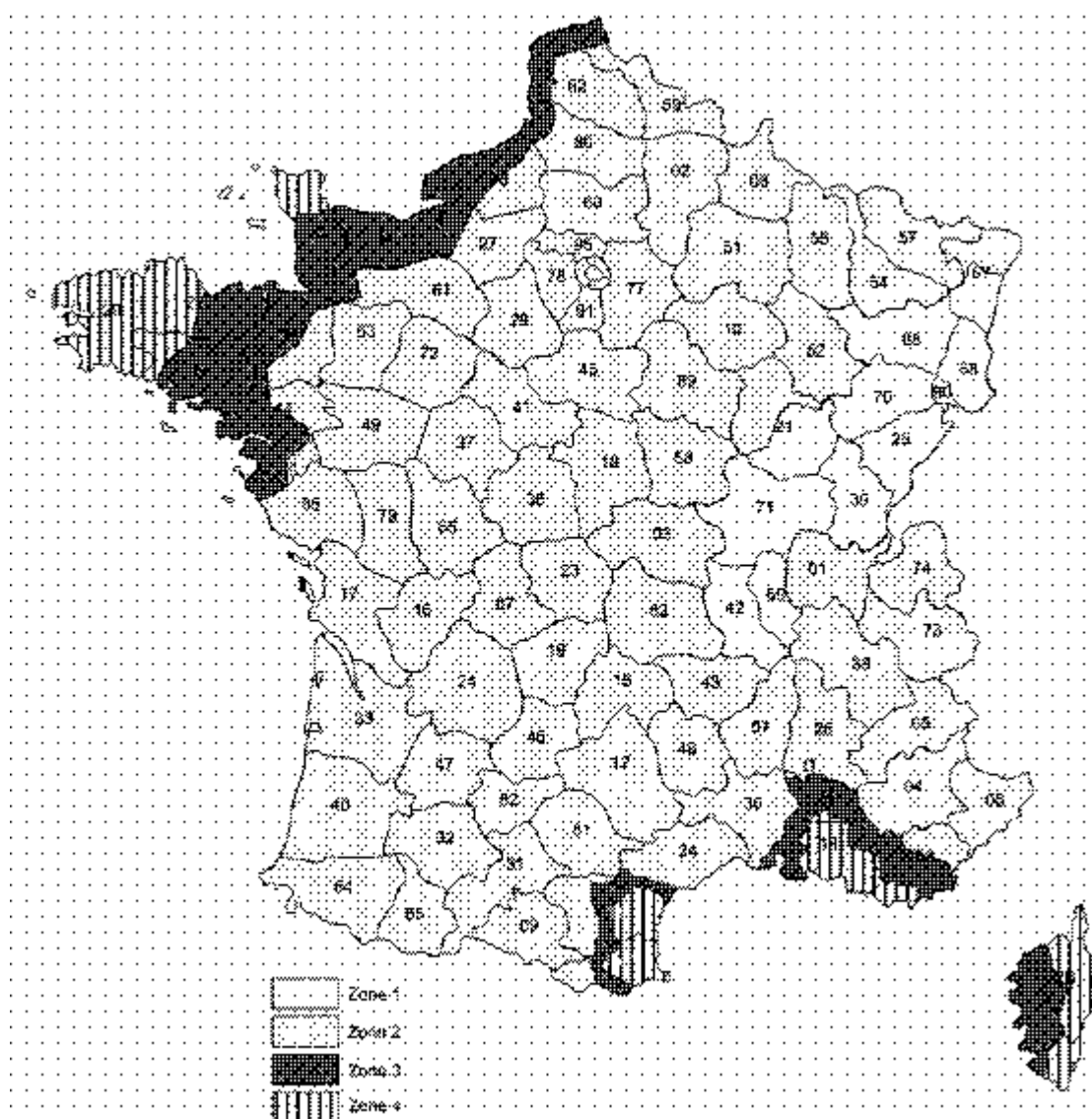


Figure R-III-1 France métropolitaine : carte des zones de vent

Départements appartenant à plusieurs zones : découpage selon les cantons <sup>**</sup>			
Aude		Bouches-du-Rhône	
Zone 4	Coursan, Durban-Corbières, Ginestas, Lézignan-Corbières, Narbonne (tous cantons), Sigean	Zone 3	Arles (tous cantons), Châteaurenard, Peyrolles-en-Provence, Saintes-Maries-de-la-Mer, Saint-Rémy-de-Provence, Tarascon
Zone 3	Capendu, Lagrasse, Mouthoumet, Peyriac-Minervois, Tuchan		
Zone 2	Autres cantons	Zone 4	Autres cantons
Corse-du-Sud		Haute-Corse	
Zone 4	Bonifacio, Figari, Levie, Porto-Vecchio	Belgodère, Calenzana, Calvi, Castifao-Morosaglia, Corte, L'Île-Rousse, Niolu-Omessa, Venaco	
Zone 3	Autres cantons	Autres cantons	
<sup>**</sup> selon le découpage administratif de la France au 1 <sup>er</sup> janvier 1999 - INSEE - Code officiel géographique 1999, 13 <sup>e</sup> édition			

Tableau 7

Départements appartenant à plusieurs zones : découpage selon les cantons <sup>44</sup>			
Côte-d'Or		Côtes-d'Armor	
Zone 2	Aignay-le-Duc, Baigneux-les-Juifs, Châtillon-sur-Seine, Laignes, Montbard, Montigny-sur-Aube, Précy-sous-Thil, Recey-sur-Ource, Saulieu, Semur-en-Auxois, Venarey-les-Laumes, Vitteaux	Zone 4	Bégard, Belle-Isle-en-Terre, Bourbriac, Callac, Gouarec, Guingamp, Lannion, Lanvollon, Lézardrieux, Maël-Carhaix, Paimpol, Perros-Guirec, Plestin-les-Grèves, Plouagat, Plouaret, Plouha, Pontrieux, La Roche-Derrien, Rostrenen, Saint-Nicolas-du-Pélem, Tréguier
Zone 1	Autres cantons	Zone 3	Autres cantons
Eure		Hérault	
Zone 3	Beuzeville, Corneilles, Pont-Audemer, Quillebeuf-sur-Seine, Saint-Georges-du-Vivier, Thiberville	Zone 3	Béziers (tous cantons), Capetang, Olonzac, Saint-Chinian, Saint-Pons-de-Thomières
Zone 2	Autres cantons	Zone 2	Autres cantons
Ille-et-Vilaine		Loire-Atlantique	
Zone 2	Argentré-du-Plessis, Bain-de-Bretagne, Châteaubourg, Grand-Fougeray, La Guerche-de-Bretagne, Janzé, Retiers, Le Sel-de-Bretagne, Vitré (tous cantons)	Zone 2	Aigrefeuille-sur-Maine, Ancenis, Châteaubriant, Clisson, Derval, Ligné, Moisdon-la-Rivière, Nort-sur-Erdre, Nozay, Riaillé, Rougé, Saint-Julien-de-Vouvantes, Saint-Mars-la-Jaille, Vallet, Varades
Zone 3	Autres cantons	Zone 3	Autres cantons
Manche		Morbihan	
Zone 4	Barneville-Carteret, Beaumont-Hague, Bricquebec, Cherbourg (tous cantons), Equeurdreville-Hainneville, Montebourg, Octeville, Les Pieux, Quettehou, Sainte-Mère-Eglise, Saint-Pierre-Eglise, Saint-Sauveur-le-Vicomte, Tourlaville, Valognes	Zone 4	Le Faouët ; Gourin, Guémené-sur-Scorff
Zone 3	Autres cantons	Zone 3	Autres cantons
Nord		Pas-de-Calais	
Zone 3	Bergues, Bourbourg, Coudekerque-Branche, Dunkerque (tous cantons), Grande-Synthe, Gravelines, Hondschoote, Wormhout	Zone 3	Ardres, Audruicq, Berck, Boulogne-sur-Mer (tous cantons), Calais (tous cantons), Campagne-lès-Hesdin, Desvres, Etaples, Guînes, Hucqueliers, Marquise, Montreuil, Outreau, Le Portel, Samer
Zone 2	Autres cantons	Zone 2	Autres cantons

Tableau 7 (suite)

<b>Pyrénées-Orientales</b>		<b>Bas-Rhin</b>	
Zone 2	Mont-Louis, Olette, Saillagouse	Zone 2	Bischwiller, Bouxwiller, Drulingen, Haguenau, Lauterbourg, Marmoutier, Niederbronn-les-Bains, La Petite-Pierre, Sarre-Union, Saverne, Seltz, Soultz-sous-Forêts, Wissembourg, Woerth
Zone 3	Arles-sur-Tech, Céret, Prades, Prats-de-Mollo-la-Preste, Saint-Paul-de-Fenouillet, Sournia, Vinça		
Zone 4	Autres cantons	Zone 1	Autres cantons
<b>Seine-Maritime</b>		<b>Somme</b>	
Zone 3	Bacqueville-en-Caux, Bellencombre, Blangy-sur-Bresle, Bolbec, Cany-Barville, Caudebec-en-Caux, Criquetot-l'Esneval, Dieppe (tous cantons), Doudeville, Envermeu, Eu, Fauville-en-Caux, Fécamp, Fontaine-le-Dun, Goderville, Gonfreville-l'Orcher, Le Havre (tous cantons), Lillebonne, Londinières, Longueville-sur-Scie, Montivilliers, Offranville, Ourville-en-Caux, Pavilly, Saint-Romain-de-Colbosc, Saint-Valery-en-Caux, Tôtes, Valmont, Yerville, Yvetot	Zone 3	Abbeville (tous cantons), Ailly-le-Haut-Clocher, Ault, Crécy-en-Ponthieu, Friville-Escarbotin, Gamaches, Hallencourt, Moyenneville, Nouvion, Rue, Saint-Valery-sur-Somme
Zone 2	Autres cantons	Zone 2	Autres cantons
<b>Var</b>		<b>Vaucluse</b>	
Zone 2	Aups, Callas, Comps-sur-Artuby, Draguignan, Fayence, Fréjus, Le Muy, Saint-Raphaël, Salernes, Tavernes	Zone 2	Bollène, Valréas
Zone 3	Barjols, Besse-sur-Issole, Brignoles, Collobrières, Cotignac, Cuers, Grimaud, Lorgues, Le Luc, Rians, La Roquebrussanne, Saint-Tropez	Zone 4	Bonnieux, Cadenet, Cavaillon, L'Isle-sur-la-Sorgue, Pernes-les-Fontaines
Zone 4	Autres cantons	Zone 3	Autres cantons
<b>Vendée</b>			
Zone 3	Beauvoir-sur-Mer, Challans, L'Île-d'Yeu, Noirmoutier-en-l'Île, Palluau, Saint-Gilles-Croix-de-Vie, Saint-Jean-de-Monts		
Zone 2	Autres cantons		
** selon le découpage administratif de la France au 1 <sup>er</sup> janvier 1999 - INSEE - Code officiel géographique 1999, 13 <sup>e</sup> édition			

tableau sans légende dans: 1,232 valeurs

### 1,239 valeurs fixées par le cahier des charges

Le cahier des charges peut prescrire des pressions dynamiques de base normale et extrême supérieures à celles des Règles et modifier leur rapport suivant les résultats des observations, les conditions locales, et la destination du bâtiment, en particulier lorsque sa pérennité doit être assurée avec un large coefficient de sécurité.

### 1,24 modification des pressions dynamiques de base

#### 1,241 effet de la hauteur au-dessus du sol

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

La variation de la vitesse du vent avec la hauteur H dépend de plusieurs facteurs : le site, la vitesse maximale du vent et le freinage dû au sol.

Soit  $q_H$  la pression dynamique agissant à la hauteur H au-dessus du sol exprimée en mètres,  $q_{10}$  la pression dynamique de base à 10 m de hauteur.

Pour H compris entre 0 et 500 m, le rapport entre  $q_H$  et  $q_{10}$  est défini par la formule :

$$\frac{q_H}{q_{10}} = 2,5 \frac{H + 18}{H + 60}$$

La hauteur H est comptée à partir du sol environnant supposé sensiblement horizontal dans un grand

périmètre en plaine autour de la construction.

Pour les constructions en bordure immédiate du littoral, on adopte une pression constante entre 0 et 10 m égale à celle régnant à 10 m.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaires

- Le freinage dû au sol est fonction de la rugosité de celui-ci ; ainsi la mer freine moins qu'une prairie plate et dénudée, cette dernière moins qu'une contrée boisée et une telle contrée moins qu'une agglomération urbaine.

Des formules de la forme  $V_H = V_{10} \left( \frac{H}{10} \right)^{\frac{1}{n}}$  sont couramment utilisées ; elles correspondent assez bien pour des vents réguliers avec les données météorologiques.

$$\frac{V_H}{V_{10}} = \left( \frac{H}{10} \right)^{\frac{1}{n}}$$

- La formule donnée dans les Règles a été choisie pour tenir compte de l'effet de rafale dont la loi d'accroissement avec la hauteur au-dessus du sol est atténuée par rapport à celle d'un vent régulier et pour faciliter les calculs.

Lorsque le sol environnant la construction présente des dénivellations avec fortes pentes, la hauteur H est comptée à partir d'un niveau inférieur à celui du pied de la construction.

#### COMMENTAIRE

L'annexe 2 indique, à titre d'exemple, un mode d'évaluation du niveau fictif à partir duquel peut être comptée la hauteur H, lorsque le sol environnant la construction n'est pas horizontal.

Les cas extrêmes figurant dans cette annexe sont rappelés ci-après :

Si la pente est inférieure ou égale à 0,3, la hauteur H peut être comptée à partir du pied de la construction. **Figure C-III-5 Figure C-III-6**

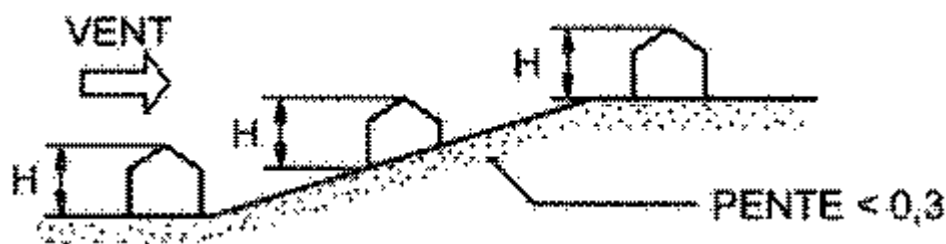


Figure C-III-5

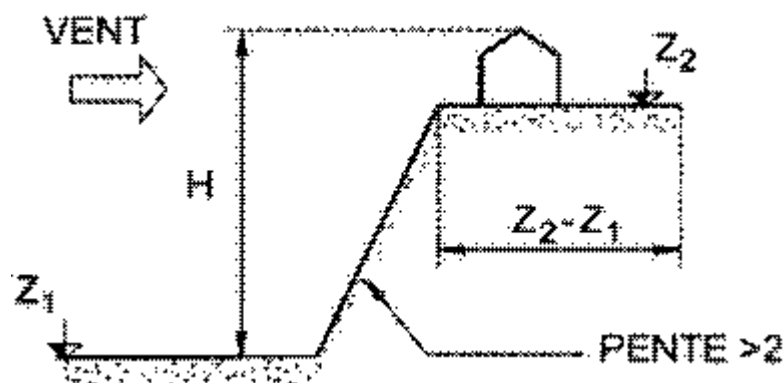


Figure C-III-6

Si la pente est égale ou supérieure à 2, la hauteur  $H$  pour des constructions situées dans une zone de largeur égale à la différence de niveau  $z_2 - z_1$ , à partir de la ligne de crête, doit être comptée à partir du niveau du terrain au pied de la dénivellation.

Le diagramme des pressions en fonction de la hauteur  $H$ , qui est utilisé pour le calcul des constructions, peut être simplifié sous réserve de donner des résultats supérieurs ou équivalents pour les sollicitations maximales tant pour les réactions d'appui que pour les moments de flexion ou de renversement.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaires

- En particulier le diagramme simplifié doit être tel qu'à tous les niveaux de la construction la pression dynamique correspondant à ce diagramme soit au moins égale à celle du diagramme défini par les Règles. **Figure C-III-7 Exemples de diagrammes simplifiés valables dans tous les cas**

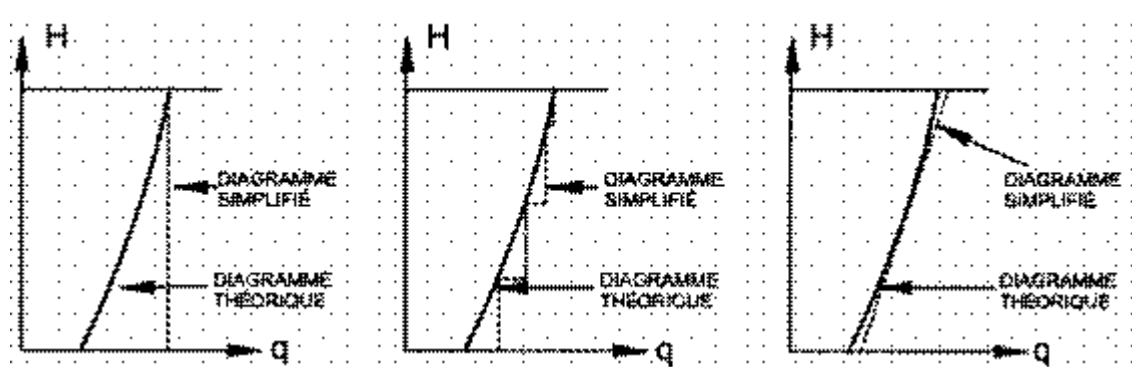


Figure C-III-7 Exemples de diagrammes simplifiés valables dans tous les cas

- La simplification qui consiste à prendre en compte une pression dynamique constante égale à celle régnant au sommet de la construction, peut être notamment adoptée pour les constructions de faible hauteur. Elle a été transformée en règle pour les constructions courantes (R-III-2,92).

#### 1,242 effet de site

A l'intérieur d'une région à laquelle correspondent des valeurs déterminées par des pressions dynamiques de base (R-III-1,23), il convient de tenir compte de la nature du site d'implantation de la construction.

Les valeurs des pressions dynamiques de base normale et extrême définies en 1,23 doivent être multipliées par un coefficient de site  $k_s$  égal à :

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
Site protégé	0,80	0,80	0,80	0,80	(1)
Site normal	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Site exposé	1,35	1,30	1,25	1,20	1,20

1. La notion de site protégé n'est pas prise en compte dans cette zone

Tableau 8

## COMMENTAIRE

### Commentaires

- Les Règles considèrent trois types de sites :
  - Site protégé. Exemple. Fond de cuvette bordé de collines sur tout son pourtour et protégé ainsi pour toutes les directions du vent
  - Site normal. Exemple. Plaine ou plateau de grande étendue pouvant présenter des dénivellations peu importantes, de pente inférieure à 10 % (vallonnements, ondulations).
  - Site exposé. Exemples. Au voisinage de la mer : le littoral en général (sur une profondeur d'environ 6 km) ; le sommet des falaises ; les îles ou presqu'îles étroites. A l'intérieur du pays : les vallées étroites où le vent s'engouffre ; les montagnes isolées ou élevées (par exemple Mont Saint-Vincent) et certains cols. C'est ainsi que les stations comme Angoulême, Langres, Millau, Mont Saint-Vincent, sont considérées en site exposé.
- Les sites correspondent à des surfaces localisées de faible étendue par rapport aux zones.

La nature du site doit être définie par le cahier des charges d'après les données locales, et des coefficients intermédiaires entre les valeurs extrêmes peuvent être adoptés pour tenir compte des atténuations de protection ou d'exposition existant en réalité par rapport aux cas limites.

## COMMENTAIRE

Commentaire La possibilité donnée par les Règles de choisir des coefficients  $k_s$  ayant des valeurs comprises entre les valeurs extrêmes, s'explique par l'existence de toute une gamme de sites intermédiaires entre ceux définis ci-dessus

L'application du coefficient de site protégé aux constructions de grande hauteur doit être expressément justifiée.

## COMMENTAIRE

### Commentaire

Par construction de grande hauteur, au-delà de 30 m environ, on entend aussi bien les bâtiments tours à usage d'habitation que les cheminées, tours, réservoirs sur pylônes, grands hangars, etc.

### **1,243 effet de masque**

Il y a effet de masque lorsqu'une construction est masquée partiellement ou totalement par d'autres constructions ayant une grande probabilité de durée.

L'effet de masque peut se traduire :

- soit par une aggravation des actions du vent, lorsque la construction située derrière le masque se trouve dans une zone de sillage turbulent. Dans ce cas, il n'est pas possible de formuler de règles ; seuls des essais en soufflerie peuvent donner des renseignements précis.
- soit par une réduction des actions du vent dans les autres cas. Les pressions dynamiques de base peuvent alors être réduites de 25 % sous réserve de la règle III-1,245.

Les surfaces intéressées doivent remplir simultanément les deux conditions suivantes :

- être abritées entièrement par le masque pour toutes les directions du vent dans le plan horizontal ;
- être situées au-dessous de la surface décrite par une génératrice ayant une pente de 20 % vers le sol, dirigée vers l'intérieur du masque et prenant appui sur le contour apparent des constructions protectrices.

## COMMENTAIRE

### Commentaires

- Peuvent être considérés comme présentant la probabilité de durée requise, des ensembles de bâtiments de caractère définitif conçus et construits simultanément ou des bâtiments à l'intérieur d'une agglomération.
- La localisation de l'effet de masque est encore plus accentuée que celle de l'effet de site
- On entend par masque, le maître-couple de la construction protégeant la surface abritée pour la direction du vent considérée
- Chaque cas étant un cas particulier, il est difficile de donner des règles générales et la réduction pour effet de masque ne doit être utilisée qu'avec prudence en raison des effets de sillage **Figure C-III-8 Exemples de constructions abritées totalement ou en partie.**

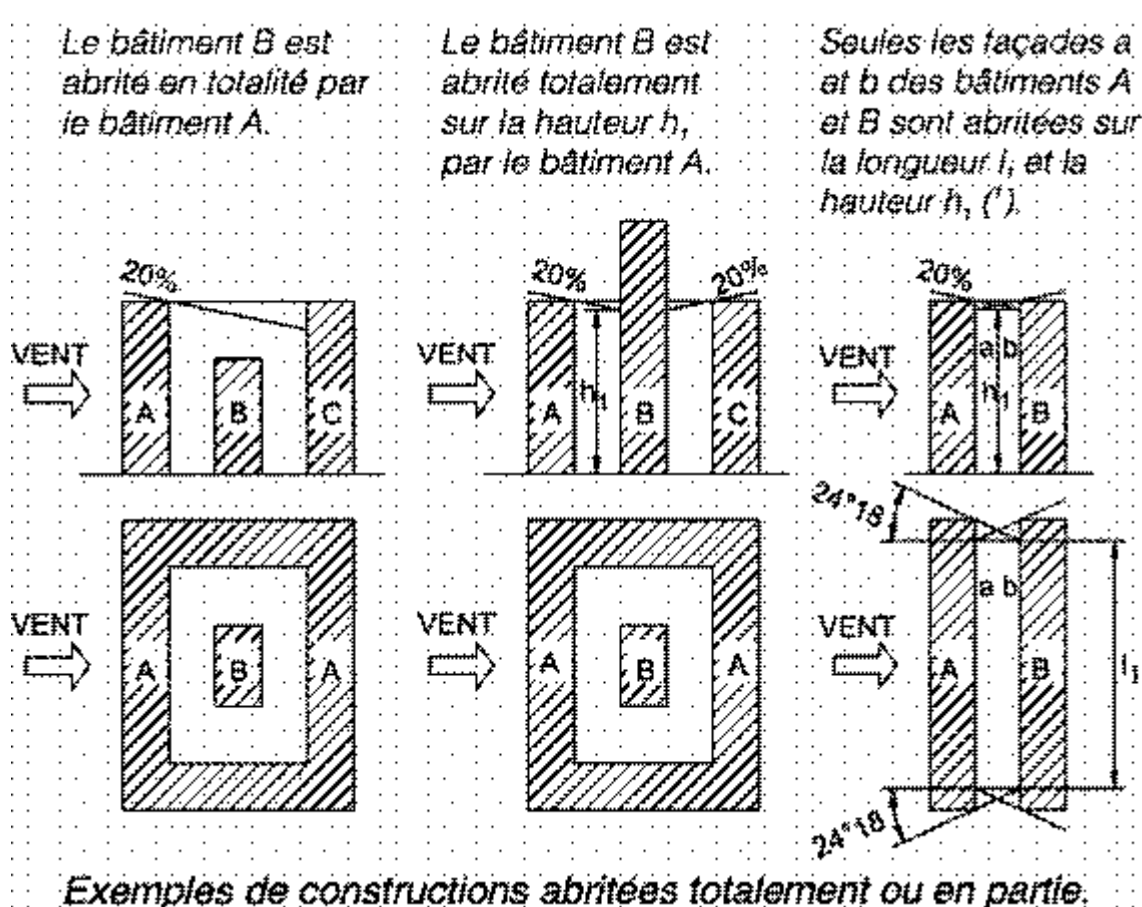


Figure C-III-8 Exemples de constructions abritées totalement ou en partie.

1. La valeur  $24^{\circ}18'$  de l'angle d'attaque découle de l'application du diagramme de la figure C-III-43,  $\gamma$  étant supposé égal à 1.1, **244 effet des dimensions**

#### COMMENTAIRE

##### Commentaires

- Le coefficient de réduction  $\delta$  tient compte de la variation de la pression dynamique moyenne du vent en fonction de la dimension de la surface frappée ; en effet la structure du vent n'étant pas uniforme, les tourbillons locaux influencent les pressions dynamiques moyennes qui, toutes choses égales par ailleurs, sont plus faibles sur les grandes surfaces que sur des surfaces réduites. Il est rapporté à une seule dimension pour ne pas compliquer les règles et parce qu'on ne dispose d'aucune donnée concernant la simultanéité et la superposition de



tourbillons d'axe horizontal et d'axe vertical.

- L'effet perturbateur du sol, qui engendre des tourbillons, s'atténuant au fur et à mesure qu'on s'élève, la réduction de l'effet du vent a été limitée à 10 % à partir d'une hauteur de 50 m au-dessus du sol, pour des surfaces dont la plus grande dimension est égale ou supérieure à 7 m.

Le sol environnant la construction est supposé sensiblement horizontal dans un grand périmètre (R-III-1,241). Dans le cas de constructions situées sur un terrain présentant des dénivellations importantes, la cote H est comptée à partir d'un niveau fictif (annexe 2). **1,244-1 éléments d'une construction n'intervenant pas dans la vérification de la stabilité d'ensemble au vent.**

Les pressions dynamiques s'exerçant sur les éléments constitutifs d'une construction (panneaux, potelets, lisses, poutres, poteaux, etc.) doivent être affectées d'un coefficient de réduction fonction de la plus grande dimension (horizontale ou verticale) de la surface offerte au vent (maître-couple R-III-1,13) intéressant l'élément considéré, et de la cote H du point le plus haut de cette surface.

#### COMMENTAIRE Commentaires

- Dans le cas de surfaces courbes, la plus grande dimension à considérer est celle du maître-couple correspondant (R-III-1,13).
- Le coefficient  $\delta$  correspondant à une moyenne entre une pression élevée en certains points et une pression réduite en d'autres points, la surcharge devrait varier de la façon la plus défavorable tout le long de la pièce
- Toutefois, pour simplifier, les Règles supposent cette surcharge constante pour des éléments sur deux appuis ou pour chacune des travées d'éléments continus de dimensions courantes tels que ceux appartenant à des ossatures de bâtiments d'habitation, et une variation arbitraire de la surcharge par travées entières pour des éléments continus de dimensions importantes (annexe 3).
- Pour chaque valeur de H, la courbe donnant  $\delta$  est obtenue par interpolation en fonction de H, entre les courbes extrêmes (H = 30 et H = 50). La figure C-III-9 donne un exemple d'interpolation pour H = 42 m. **Figure C-III-9**

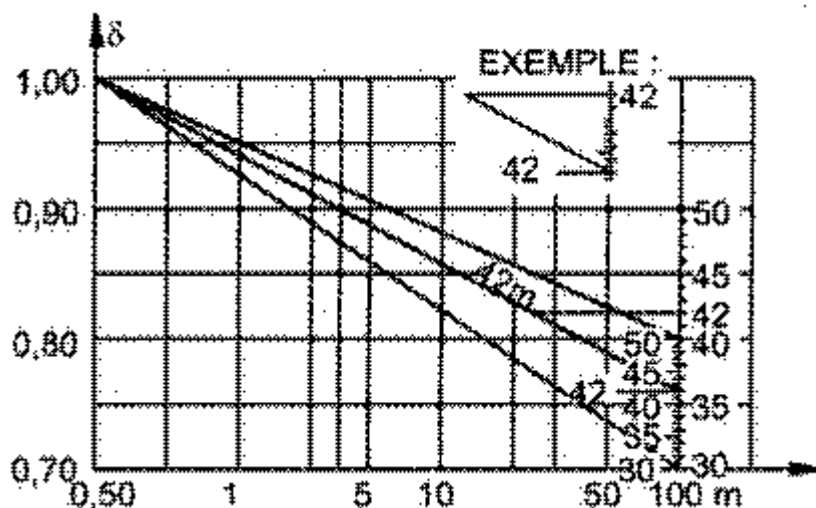


Figure C-III-9

Les éléments isolés (poutres reposant sur deux appuis et poutres consoles) sont calculés en affectant les pressions dynamiques du coefficient  $\delta$  (fig. R-III-2).

Les éléments continus de dimensions courantes tels que ceux appartenant à des ossatures de bâtiments d'habitation sont calculés en affectant la pression dynamique sur chaque travée du coefficient  $\delta$  correspondant à la travée considérée supposée isolée.

Les éléments continus de dimensions importantes (grandes poutre continues, mâts haubanés, etc.) éventuellement avec porte-à-faux aux extrémités, sont calculés en affectant les pressions dynamiques appliquées sur les différentes travées, de coefficients égaux à  $0,90 \delta$  ou à  $1,10 \delta$  de la façon la plus défavorable pour réaliser les moments maximaux soit en travée, soit sur appui, les coefficients  $\delta$  étant déterminés pour chaque travée supposée isolée.

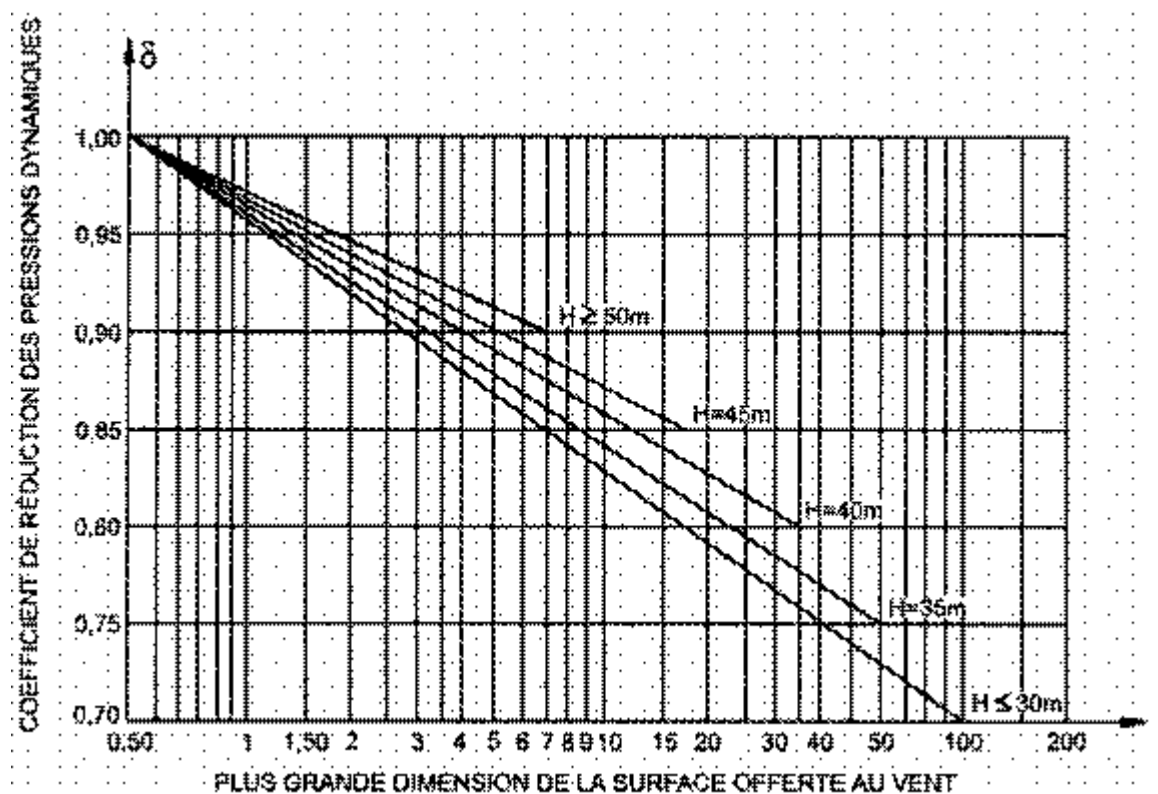


Figure R-III-2 Coefficient de réduction  $\delta$  des pressions dynamiques pour les grandes surfaces.

#### 1,244-2 éléments d'une construction intervenant dans la vérification de la stabilité d'ensemble au vent.

Les pressions dynamiques correspondant à chaque niveau d'une construction doivent être affectées d'un coefficient de réduction  $\delta$  (fig. R-III-2) déterminé en fonction de la plus grande dimension (horizontale ou verticale) de la surface offerte au vent (maître-couple R-III-1,13) intéressant l'élément de stabilité considéré. Ce coefficient garde, entre les cotes 0 et 30 m, une valeur constante correspondant à celle de la cote  $H_b$  de la base de la construction. Il varie ensuite linéairement jusqu'à une valeur correspondant, soit à celle de la cote  $H_s$  du sommet de la construction, soit à celle de la cote  $H_s = 50$  m au-dessus de laquelle il reste constant et égal à cette dernière valeur.

#### COMMENTAIRE Commentaires

- La figure C-III-9 bis donne un exemple de détermination de la courbe de variation du coefficient  $\delta$  pour deux constructions :
  - l'une éloignée du sol d'une distance  $e$  ( $H_b = e$ ) et telle que la cote de son sommet soit comprise entre 30 et 50 m ;
  - l'autre reposant sur le sol ( $H_b = 0$ ) et telle que la cote de son sommet soit supérieure à

50 m

Dans les deux cas la plus grande dimension de la construction est par hypothèse la largeur  $a$  du maître-couple.

- Dans le cas de constructions dont le maître-couple a une largeur variable, la plus grande dimension à considérer est soit la hauteur, soit la largeur maximale du maître-couple (ex : réfrigérants).
- Dans certains éléments les sollicitations calculées suivant III-1,244-1 se cumulent avec celles calculées suivant le présent paragraphe **Figure C-III-9 bis**

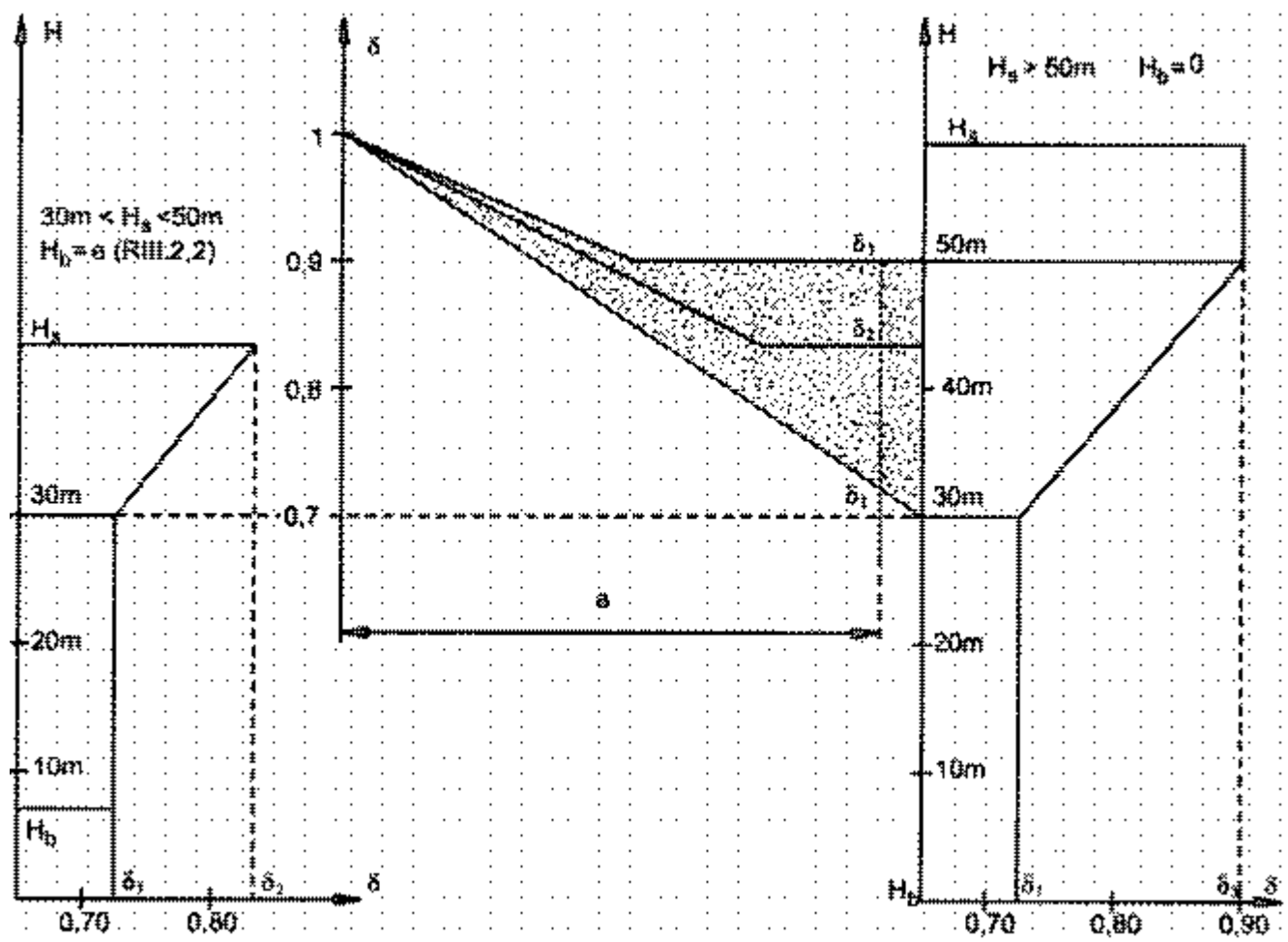


Figure C-III-9 bis

### 1,245 réduction maximale des pressions dynamiques de base

Pour les constructions définitives, la totalité des réductions autorisées par les règles III-1,243 « Effet de masque » et III-1,244 « Effet des dimensions » ne doit, en aucun cas, dépasser 33 %.

### 1,246 valeurs limites des pressions dynamiques corrigées

Les valeurs limites maximales ne sont pas applicables en zone 5.

Quels que soient la hauteur  $H$  au-dessus du sol (R-III-1,241), le site (R-III-1,242), l'effet de masque (R-III-1,243) et l'effet des dimensions (R-III-1,244), les valeurs de la pression dynamique corrigée sont limitées comme ci-dessous (tableau 9) .

	Valeurs maximales	Valeurs minimales
Pression dynamique normale corrigée	170 daN/m <sup>2</sup>	30 daN/m <sup>2</sup>
Pression dynamique extrême corrigée	297,5 daN/m <sup>2</sup>	52,5 daN/m <sup>2</sup>

Tableau 9

## COMMENTAIRE

### Commentaires

- Sauf de très rares exceptions (par exemple : Mont Aigoual, Mont Ventoux), il n'est pas nécessaire de prévoir sur des surfaces dont la plus grande dimension horizontale est égale à 0,50 m des vitesses normales de vent supérieures à 52,6 m/s (190km/h), correspondant à une pression normale de 170 daN/m<sup>2</sup>. En effet, cette valeur multipliée par le coefficient de forme 1,6 (treillis - R-III-5,122) et un coefficient de réduction des pressions de 0,90 (R-III-1,244) donne 245 daN/m<sup>2</sup>, soit 250 kg/m<sup>2</sup>. Or, on n'a jamais eu de mécompte, sous les effets statiques du vent, pour les constructions en treillis de très grande hauteur (plus de 50m) telles que les pylônes de T.S.F., calculées avec cette pression réglementaire de 250 kg/m<sup>2</sup> (Cahier des prescriptions communes applicables aux travaux de l'Administration des Ponts et Chaussées. Fascicule 61).

D'autre part, il convient de ne pas perdre de vue que la sécurité de ces constructions est également vérifiées (R-I-3,1) pour une pression extrême de 287,5 daN/m<sup>2</sup> ; la vitesse extrême correspondante du vent est alors de 69,6 m/s, vitesse jamais enregistrée en France au 31 décembre 1964, même à 1912 m au Mont Ventoux (68 m/s) et à 2 860 m au Pic du Midi (69 m/s) qui disposent d'anémomètres spéciaux donnant une meilleure définition des grandes vitesses.

- La pression dynamique minimale de 30 daN/m<sup>2</sup> correspond à une vitesse de 22,1 m/s soit 78,7 km/h, qui est déjà considérée comme celle d'un coup de vent en plaine.

### 1,3 disposition des constructions

#### 1,31 classement des constructions en catégories

Les Règles définissent les constructions d'après :

- leur forme d'ensemble,
- leur position dans l'espace,
- la perméabilité de leurs parois.

##### 1,311 forme d'ensemble

Les Règles distinguent :

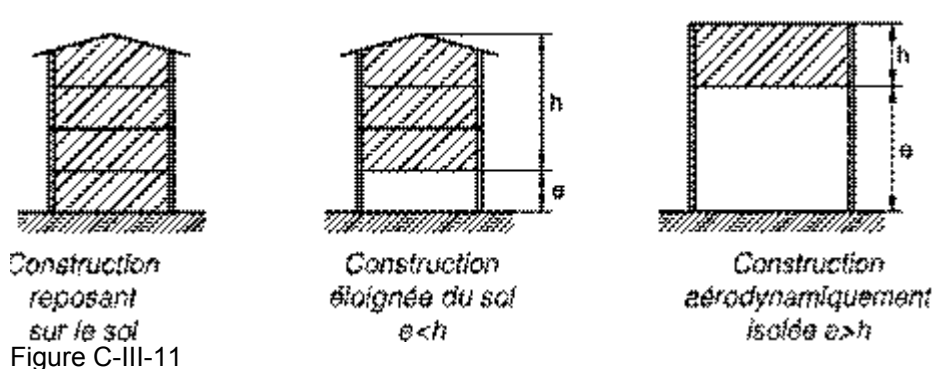
- les constructions prismatiques à base quadrangulaire (R-III-2) ;
- les constructions prismatiques à base polygonale régulière ou circulaire (R-III-3) ;
- les panneaux pleins et les toitures isolées (R-III-4) ;
- les constructions ajourées et les constructions en treillis (R-III-5) ;
- les constructions diverses (R-III-6) ne rentrant pas dans les catégories précédentes.

##### 1,312 position dans l'espace

Les Règles envisagent :

- les constructions reposant sur le sol ou accolées à un plan de grandes dimensions (immeuble ou mur) ;
- les constructions aérodynamiquement isolées dans l'espace, pour lesquelles les distances au sol et à une paroi voisine sont respectivement supérieures ou égales à leur dimension suivant la verticale ou suivant une perpendiculaire à cette paroi ;
- les cas intermédiaires entre le cas a et le cas b ;
- les constructions comprises entre deux plans parallèles de grandes dimensions (immeubles

ou murs).



### 1,313 perméabilité des parois

Une paroi a une perméabilité au vent de  $\mu$  % si elle comporte des ouvertures de dimensions quelconques dont la somme des aires représente  $\mu$  % de son aire totale.

D'après le degré de perméabilité des parois, les Règles considèrent trois types de constructions. Une construction est dite :

- fermée, si ses parois présentent des fuites et des petites ouvertures uniformément réparties, la perméabilité moyenne de ces parois étant inférieure ou égale à 5 %. Si toutes les parois ont une perméabilité nulle, c'est-à-dire si elles ne laissent absolument pas passer l'air même de façon accidentelle, la construction est dite fermée étanche ;
- partiellement ouverte, si l'une des parois au moins présente ou peut présenter à certains moments une perméabilité moyenne comprise entre 5 et 35 % ;
- ouverte, si l'une des parois au moins présente ou peut présenter à certains moments une perméabilité égale ou supérieure à 35 %.

### COMMENTAIRE

#### Commentaires

- La pression due au vent régnant à l'intérieur d'une construction (R-III-1,41) dépend du degré de possibilité de passage de l'air à travers ses parois extérieures, fonction lui-même de la perméabilité de ces parois

Pour en tenir compte d'une façon aussi approchée que possible sans compliquer les Règles, les constructions (ou leurs compartiments) ont été classées en trois catégories en fonction du degré de perméabilité de leurs parois.

- Les constructions fermées sont en pratique tous les bâtiments à usage d'habitation ou de bureaux : dans ces constructions l'existence de cheminées et de bouches d'aération, les joints de tuiles ou d'ardoises, le jeu même minime existant sur la périphérie des fenêtres et des portes closes, constituent suffisamment de fuites pour donner à la perméabilité une valeur non nulle. Le cas des constructions fermées étanches se rencontre très rarement : il s'agit de constructions spéciales pour des besoins scientifiques et de type particulier de réservoirs.
- Dans les constructions partiellement ouvertes ou ouvertes, certaines parois et la toiture comportent seulement de petites ouvertures, comme dans le cas précédent, et font obstacle à l'écoulement de l'air, mais contrairement à ce qui se passe dans les constructions fermées, une ou plusieurs parois sont ouvertes en partie ou en totalité :
  - ces parois peuvent manquer ; par exemple : halles de gare ayant une façade ou un pignon ouvert, auvents adossés à un mur ou à un bâtiment ;
  - ou bien peuvent comporter des panneaux mobiles ; exemple : hangars pour avions avec une façade entière en porte.

De nombreuses constructions industrielles ou des halles appartiennent à cette catégorie.

- Il convient de noter que certaines constructions en cours d'exécution peuvent avoir des perméabilités très différentes de celles de la construction terminée. On doit, le cas échéant, en tenir compte dans les calculs, car assez souvent, pendant les phases provisoires (par exemple façades non montées), les actions du vent sont supérieures à celles s'exerçant sur la construction définitive.

## **1,32 configuration des constructions**

### **1,321 proportions d'ensemble**

Les actions exercées par le vent sur deux constructions de même catégorie, même position dans l'espace et même perméabilité des parois, mais non semblables au sens géométrique du mot, dépendent essentiellement des proportions propres à chacune de ces constructions.

Les rapports :

- $\lambda$  entre deux dimensions (constructions prismatiques à base polygonale régulière ou circulaire, panneaux pleins et toitures isolées) ou entre trois dimensions prises deux à deux (constructions prismatiques à base quadrangulaire),

- $\vartheta$  entre deux surfaces (constructions ajourées et constructions en treillis),

définis pour chaque catégorie à l'article correspondant, permettent de déterminer les coefficients de pression  $c$  applicables à chaque face des différentes parois (R-III-1,421), toitures comprises, et les coefficients globaux  $c_t$  et  $c_u$  (R-III-1,43) :

- soit par l'intermédiaire d'un coefficient  $\gamma$  fonction notamment des rapports de grandeurs précités,
- soit directement.

## **COMMENTAIRE**

### **Commentaires**

- Les coefficients donnés dans les Règles proviennent de résultats d'essais en soufflerie sur modèles réduits, à vitesse uniforme constante, sans représentation du gradient de vitesse vertical et avec la faible turbulence habituelle en soufflerie. Les dispositions prises étaient en général telles que les coefficients correspondent à ceux obtenus par des essais avec maquette image.

Les résultats ont été aménagés pour ne pas compliquer la tâche des calculateurs et limiter le nombre de cas figurant dans les Règles.

- La détermination des coefficients de pression  $c$  s'effectue,
  - soit par l'intermédiaire d'un coefficient  $\gamma$  à l'aide de diagrammes et de formules (R-III-2), ou à l'aide d'échelles fonctionnelles combinées avec des tableaux (R-III-3) ou avec des diagrammes (R-III-4,2) ;
  - soit directement à l'aide d'échelles fonctionnelles (R-III-4,1) ou de formules (R-III-5).
- Le coefficient  $\gamma$  permet de tenir compte de facteurs aérodynamiques fonction des proportions et de l'orientation de certains types de construction, ainsi que d'autres facteurs relatifs par exemple aux toitures (R-III-2, 131-2).

Dans certains cas et suivant la distance de la construction au sol, il comporte des indices et s'écrit :

- $\gamma_o$  pour les constructions dont la base repose sur le sol (R-III-2,12) ;
- $\gamma_h$  pour les constructions dont la base est éloignée du sol d'une distance égale ou supérieure à la hauteur totale de la construction (R-III-2,22 et R-III-3,3) ;
- $\gamma_e$  pour les constructions éloignées du sol d'une distance inférieure à la hauteur totale de la construction (R-III-2,22).

### **1,322 discontinuités des formes extérieures (actions locales)**



Les actions exercées par le vent peuvent être notablement augmentées dans certaines zones :

- a) le long des arêtes, rives, appartenant à des constructions quadrangulaires à faces planes ou à des constructions à base polygonale régulière ;
- b) autour des appuis ou des attaches d'un élément extérieur à la construction (mât, pylône, console...) ou aux endroits de discontinuité marquée dans les formes extérieures de la construction (cheminées, corniches, lanterneaux...).

Elles prennent alors le nom d'actions locales

Dans ces zones les coefficients de pression relatifs aux actions extérieures doivent être convenablement majorés, conformément aux règles particulières à chaque type de construction.

## COMMENTAIRE

### Commentaire

Les constatations faites après les tempêtes et les études faites en tunnel aérodynamique font manifestement apparaître qu'un très grand nombre de dégâts, et souvent des plus importants, causés aux bâtiments et aux constructions diverses par le vent, sont dus à des effets de succion ou à des effets combinés de pression et de succion.

Certains éléments de couverture de petites dimensions (vitres, tuiles, éléments de zinguerie, etc.), non accrochés ou insuffisamment accrochés, sont souvent en danger d'être soulevés et même arrachés sous l'effet de l'action de surpressions intérieures et de succions extérieures.

De tels effets sont aggravés localement le long des arêtes, rives, aux bords des pignons, saillies de corniches ou de toits, sillage des cheminées, etc., et à tous endroits où se produisent de grandes vitesses locales dues aux caractères particuliers de l'écoulement, souvent très instable d'ailleurs dans ces parties d'une construction. (La figure C-III-12, inspirée du règlement belge, indique les zones d'aggravation d'efforts).

Ces effets locaux produisent souvent des actions saccadées, des battements qui préparent l'arrachement d'éléments plus ou moins légers.

L'étude des agrafages et autres moyens d'attache de ces éléments de couverture doit être faite avec grand soin, impliquant une grande expérience technologique.

**Figure C-III-12**

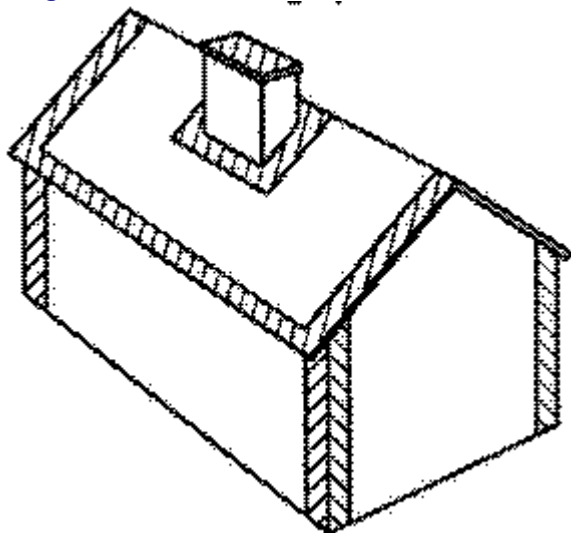


Figure C-III-12

### **1,4 actions statiques exercées par le vent**

#### **1,41 actions extérieures et actions intérieures**

Quelle que soit la construction, la face extérieure de ses parois est soumise :

- à des succions, si les parois sont « sous le vent » ;

- à des pressions ou à des suctions, si elles sont « au vent ».

Ces actions sont dites actions extérieures.

Dans les constructions fermées, ouvertes ou partiellement ouvertes (R-III-1,313), les volumes intérieurs compris entre les parois peuvent être dans un état de surpression ou de dépression suivant l'orientation des ouvertures par rapport au vent et leur importance relative. Il en résulte sur les faces intérieures des actions dites actions intérieures.

Les actions extérieures sont caractérisées par un coefficient  $c_e$ , les actions intérieures par un coefficient  $c_i$ .

## COMMENTAIRE

### Commentaire

Les actions intérieures sont essentiellement fonction de la perméabilité.

C'est ainsi que si toutes les parois et la toiture sont étanches et constituent une enceinte complètement close, il n'existe pas d'action intérieure du fait de l'écoulement du vent et la construction se comporte comme si elle était pleine.

Par ailleurs on a constaté, pour des bâtiments isolés de formes et de proportions normales, une dépression intérieure comprise entre  $-0,2 q$  et  $-0,4 q$  lorsque le pourcentage  $\mu$  des ouvertures par rapport à la surface totale des parois varie entre 0,03 et 5. Dans ces constructions l'ouverture ou le bris d'une fenêtre ou d'une porte, si elle peut influencer notablement sur l'état intérieur du compartiment auquel elle appartient en portant brusquement sa pression à la valeur maximale correspondant au cas des constructions ouvertes, n'influe pratiquement pas sur l'état intérieur moyen de la construction. Par contre, dans les constructions ouvertes, la pression intérieure est notablement modifiée par l'ouverture d'un panneau. L'intérieur de la construction se trouve en surpression si l'ouverture est située du côté du vent, en dépression si l'ouverture est du côté opposé au vent ou sur une paroi parallèle au vent ou dans certains cas sur le versant de la toiture exposé au vent (faibles inclinaisons).

### 1,42 actions sur les parois

#### 1,421 action élémentaire unitaire sur une face

L'action élémentaire unitaire  $p$  du vent sur une face est donnée par l'expression  $p = c q$  (R-III-1,15).

## COMMENTAIRE

### Commentaire

On doit distinguer :

- l'action élémentaire unitaire donnée par un coefficient ponctuel réel  $c$  variant en chaque point suivant une courbe continue [action du vent sur les surfaces courbes (fig C-III-13)], **Figure C-III-13**

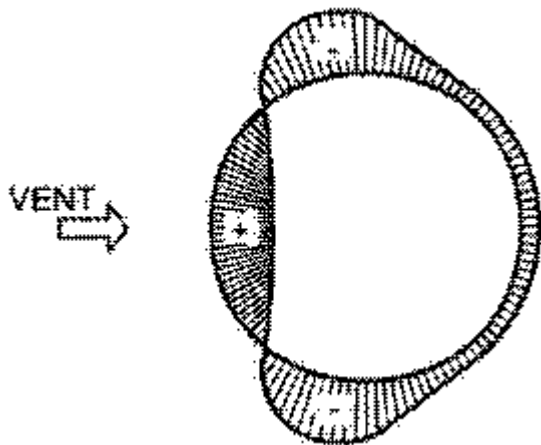


Figure C-III-13



- et l'action élémentaire unitaire donnée par un coefficient  $c$  moyen, constant sur la surface [action du vent sur les surfaces planes (fig. C-III-14)]. **Figure C-III-14**

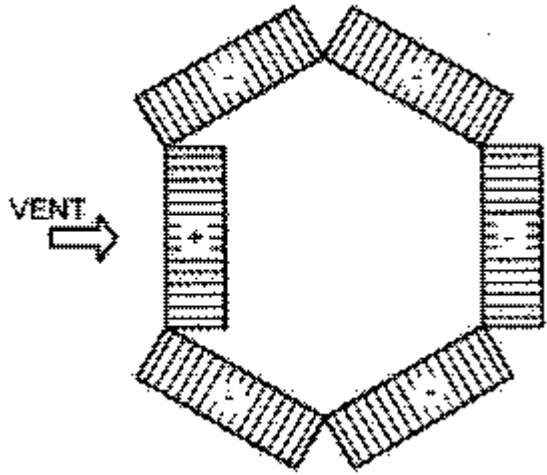
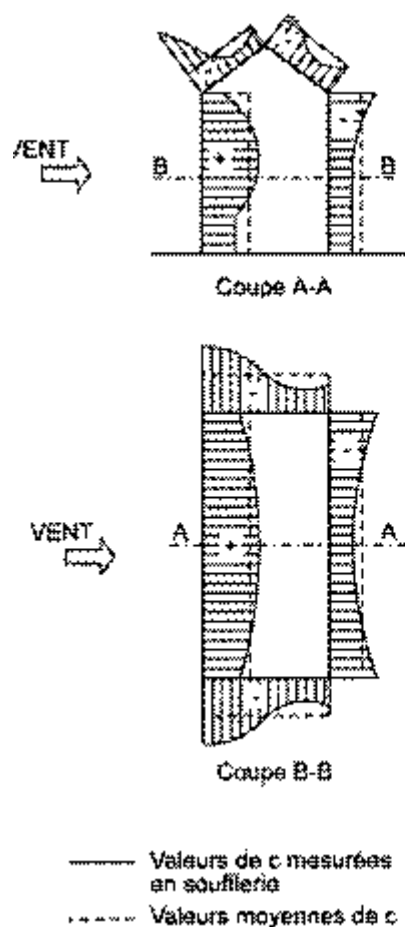


Figure C-III-14

**Figure C-III-15** En réalité, sur des surfaces planes appartenant à une construction, l'action élémentaire unitaire varie d'un point à un autre, comme sur une surface courbe (fig. C-III-15), mais pour simplifier les calculs il a paru préférable d'adopter, pour chaque surface, une valeur moyenne et constante de la pression et par suite du coefficient  $c$  correspondant.



En réalité, sur des surfaces planes appartenant à une construction, l'action élémentaire unitaire varie d'un point à un autre, comme sur une surface courbe (fig. C-III-15), mais pour simplifier les calculs il a paru préférable d'adopter, pour chaque surface, une valeur moyenne et constante de la pression et par suite du coefficient  $c$  correspondant.

Figure C-III-15

#### 1,422 action résultante unitaire sur une paroi

L'action résultante unitaire sur une paroi est la combinaison des actions élémentaires unitaires sur chacune des faces de la paroi. Elle est donnée par l'expression algébrique :  $p_r = (c_1 - c_2) q_r$ , avec les conventions de signe définies en R-III-1,15, où  $q_r$  est la valeur moyenne, au sens analytique, de la pression dynamique entre le niveau inférieur  $H_1$  de la paroi et son niveau supérieur  $H_2$ . Pour les constructions fermées étanches (R-III-1,313) ou pour les constructions constituées de plans uniques ou multiples (R-III-4 et 5)  $c_1$  et  $c_2$  caractérisent respectivement les actions sur la face au vent et les actions sur la face sous le vent, et pour les constructions présentant un volume intérieur (R-III-2 et 3)  $c_1 = c_e$  et  $c_2 = c_i$  ( $c_e$  et  $c_i$  étant définis en R-III-1,41).

Dans ce dernier cas l'action résultante unitaire est dite pression lorsqu'elle agit de l'extérieur vers l'intérieur de la construction, et succion lorsqu'elle agit en sens contraire.

COMMENTAIRE  
Commentaire

Figure C-III-15 bis Figure C-III-15 bis

# PAROI ISOLÉE

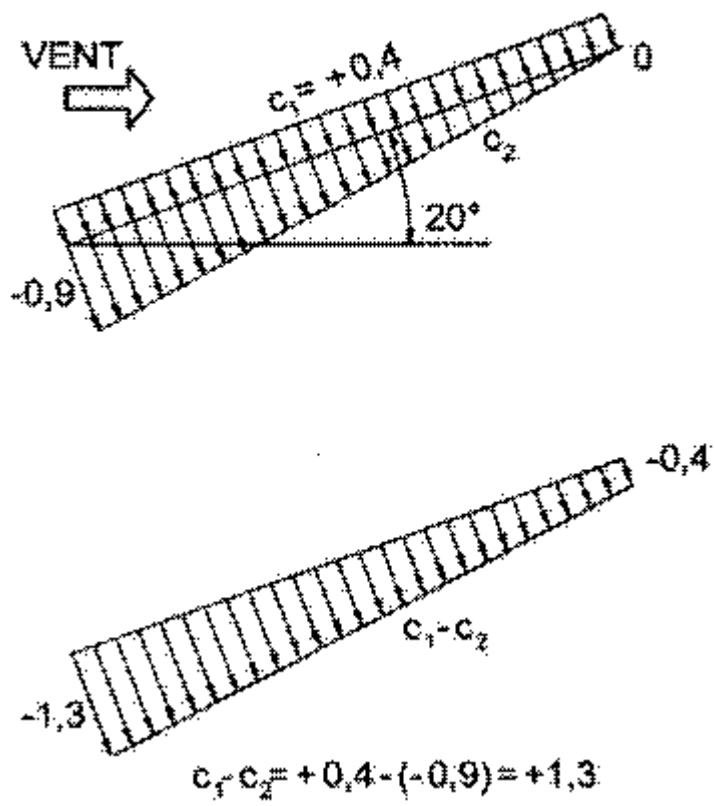


Figure C-III-15 bis

## BÂTIMENT AVEC VOLUME INTÉRIEUR

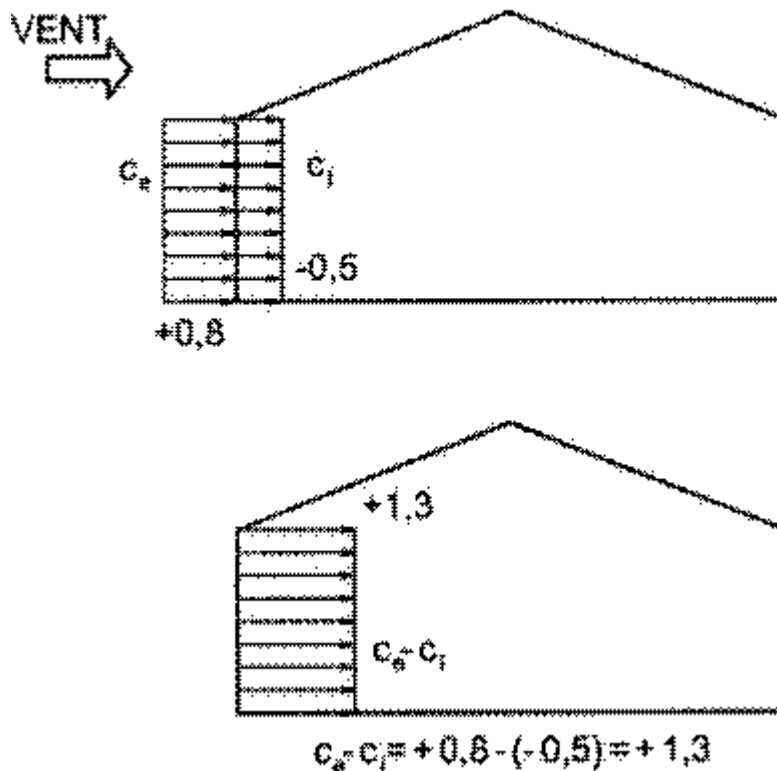


Figure C-III-15 bis

### 1,423 action résultante totale sur une paroi

L'action résultante totale exercée sur une paroi plane de surface  $S$  est donnée par l'expression  $P = p \cdot S$ .

L'action résultante totale exercée sur une paroi courbe s'obtient en décomposant cette dernière en éléments assimilables à des parois planes et en faisant la somme géométrique des actions qui s'exercent perpendiculairement sur chacun des éléments ainsi déterminés.

### 1,43 action d'ensemble sur une construction

L'action d'ensemble du vent soufflant dans une direction donnée sur une construction, est la résultante géométrique  $R$  de toutes les actions  $P$  sur les différentes parois de la construction, à l'exclusion des majorations apportées par les actions extérieures locales.

La direction de cette résultante diffère généralement de celle du vent. Pour certains ensembles elle peut se décomposer :

- ° suivant la direction horizontale du vent en une composante  $T$  (traînée) produisant un effet d'entraînement et de renversement ;
- ° suivant une verticale ascendante en une composante  $U$  (portance) produisant un effet de soulèvement et éventuellement de renversement.

Dans quelques cas particuliers ces deux composantes peuvent être calculées directement à l'aide de coefficients globaux de traînée  $c_t$  et de portance  $c_u$ .

## COMMENTAIRE

### Commentaires

- La composante  $U$  diminue en général la stabilité au renversement car elle réduit l'action du

poids. Elle peut produire un effet de renversement lorsqu'elle n'est pas appliquée au centre de gravité de la construction, elle est alors équivalente à une force appliquée au centre de gravité, plus un couple.

**Figure C-III-16** - La notation habituelle adoptée dans les cours d'aérodynamique pour les coefficients globaux est la suivante :

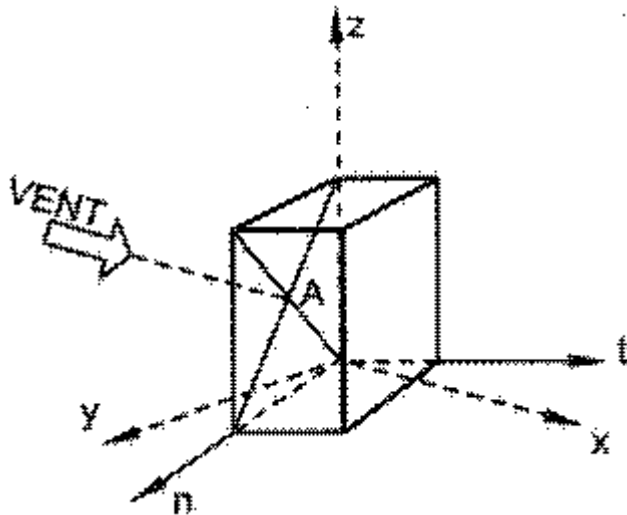


Figure C-III-16

$c_x$  : coefficient de traînée

$c_y$  : coefficient de dérive

$c_z$  : coefficient de portance

la traînée étant dirigée suivant la direction de l'écoulement, quelle qu'en soit l'orientation par rapport à la surface frappée. Le coefficient  $c_t$  adopté par les Règles représente le coefficient global de traînée lorsque l'écoulement est normal à la surface frappée. Cette convention conduit à adopter, pour les constructions prismatiques à base rectangulaire et à toiture-terrasse, deux coefficients  $c_t$ .

Le coefficient global de portance a été appelée  $c_u$  par raison d'homogénéité.

Le coefficient global de dérive  $c_y$  n'a pas d'application pratique pour les bâtiments. Il est seulement utilisé dans le cas des tours et pylônes à section en forme de triangle équilatéral soumis à un vent parallèle à une des faces (R-III-5,241) et dans le cas des profilés, traité dans l'annexe 9 où un tableau donne les valeurs des coefficients  $c_x$  et  $c_y$ , ainsi que celles des coefficients  $c_T$  et  $c_N$  liés au profil.

- Les ensembles pour lesquels les composantes T et U de la résultante R sont calculées directement à l'aide des coefficients  $c_t$  et  $c_u$  sont en nombre restreint. Ils présentent en particulier un ou plusieurs plans de symétrie, et la direction du vent doit être contenue dans un de ces plans.

Ces ensembles sont les suivants :

- les constructions prismatiques à base rectangulaire et à toiture-terrasse (C-III-2, 161 1 et C-III-2,96) ;
- les prismes réguliers et les solides de révolution (R-III-3,2 et 3,7) ;
- les murs et les panneaux (R-III-4, 14 et 4,15) ;
- les poutres en treillis et les panneaux ajourés (R-III-5,122 et 5,123) ;

- les tours et les pylônes (R-III-5,22 5,231 5,241 et C-III-5,25).

On a alors  $T = c_t S_t q_r$  et  $U = c_u S_u q_H$  où :

$S_t$  est l'aire de la projection verticale de la construction (maître-couple) normale à la direction du vent considérée ;

$S_u$  est l'aire de la projection horizontale de la construction ;

$q_r$  est la valeur moyenne de la pression dynamique ;

$q_H$  est la pression dynamique au niveau H.

**Figure C-III-17** Dans le cas particulier où la pression dynamique  $q$  est considérée comme constante sur toute la hauteur de la construction, ces formules deviennent :

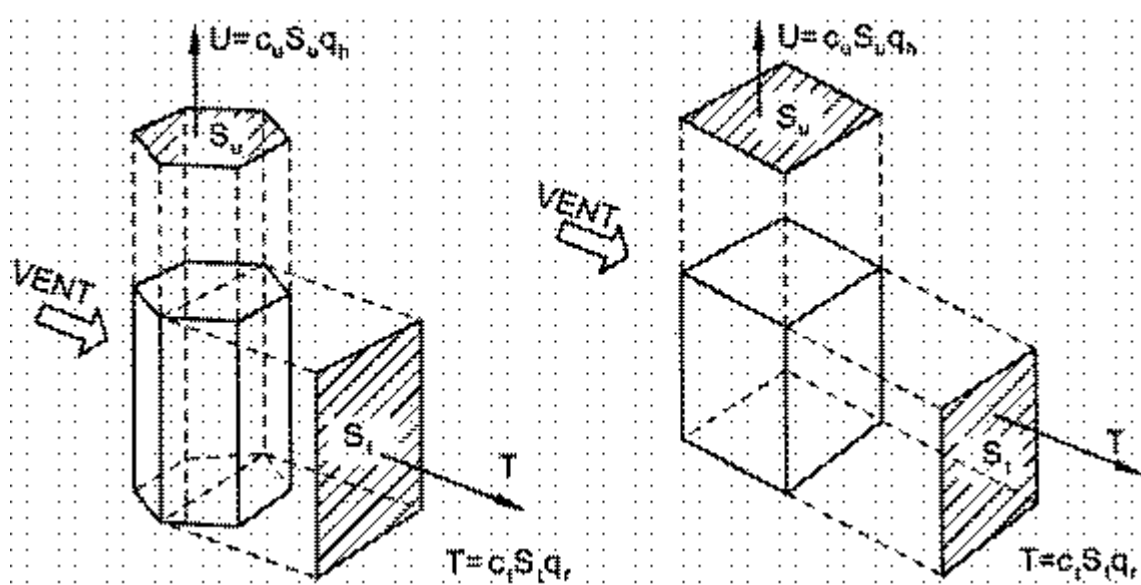


Figure C-III-17

$$T = c_t S_t q \text{ et } U = c_u S_u q$$

En raison du nombre illimité de cas pouvant se présenter pour les constructions prismatiques à base rectangulaire, surmontées d'une toiture à versants ou en voûte, les règles ne donnent pas de coefficient global  $c_t$  directement utilisable pour ce type de constructions. Dans ce cas l'intensité et la position de  $T$  et  $U$  doivent être déterminées d'après la méthode générale, en composant les diverses forces agissant sur la construction (action d'ensemble : R-III-2,16).

### 1,5 actions dynamiques exercées par le vent

Aux effets statiques précédemment définis, s'ajoutent des effets dynamiques qui dépendent des caractéristiques mécaniques et aérodynamiques de la construction.

Cependant les calculs d'actions dynamiques exercées par le vent, dont il sera question ci-après aux paragraphes R-III-1,51 et R-III-1,52, ne sont pas applicables aux actions locales définies en R-III-1,322.

### COMMENTAIRE

#### Commentaire

Au nombre des caractéristiques mécaniques qui interviennent dans ces problèmes, figure en tout premier lieu la période du mode fondamental d'oscillation de la structure dans la direction étudiée.

L'annexe 4 donne des formules et méthodes pratiques de détermination de cette période.

## 1,51 actions parallèles à la direction du vent

### COMMENTAIRE

#### Commentaires

- Les dispositions prévues complètent celles figurant déjà dans les Règles N.V. 46 (C et R-5,23). Elles sont d'autant plus justifiées que les constructions visées (tours, clochers, beffrois, bâtiments-tours pouvant leur être assimilés, cheminées, phares, réservoirs sur tours ou pylônes, mâts) tendent vers des hauteurs de plus en plus grandes. Par ailleurs, ces constructions flexibles et de grande hauteur n'existent que depuis peu d'années et l'expérience de leur comportement dans des vents violents est pratiquement nulle.
- Les oscillations parallèles à la direction du vent se produisent sous l'action des rafales. Il existe une interaction dynamique entre les forces engendrées par les accélérations et décélérations, irrégulières, répétées et variables en durée, des masses d'air agissant sur la structure et la structure elle-même. Il en résulte une aggravation des déformations et par suite des oscillations et de leurs effets dont tient compte le coefficient  $\beta$  déterminé en s'inspirant d'études dans ce domaine parues depuis 1946.

En conformité de la règle III-6,4 visant les constructions de dimensions exceptionnelles, il est toujours possible de justifier des dispositions différentes de celles des Règles à la suite d'essais statiques et dynamiques en soufflerie correctement conduits et interprétés. tenant compte de l'ensemble des bâtiments réalisés et de leur environnement

Pour les autres constructions, l'expérience acquise depuis de nombreuses années et sur une grande quantité de bâtiments ne paraît pas justifier une majoration sensible des actions du vent. **1,511 cas des surcharges normales**

Pour tenir compte de l'effet des actions parallèles à la direction du vent, les pressions dynamiques normales servant au calcul de l'action d'ensemble, sont multipliées à chaque niveau par un coefficient de majoration au moins égal à l'unité. Ce coefficient  $\beta$  est donné par la formule  $\beta = 0 (1 + \xi \tau)$  dans laquelle :

$\xi$ , coefficient de réponse, est donné en fonction de la période  $T$  du mode fondamental d'oscillation et pour des ouvrages de divers degrés d'amortissement, par l'un des diagrammes de la figure R-III-3.

$\tau$  coefficient de pulsation, est déterminé à chaque niveau considéré en fonction de sa cote  $H$  au-dessus du sol par l'échelle fonctionnelle de la figure R-III-4.

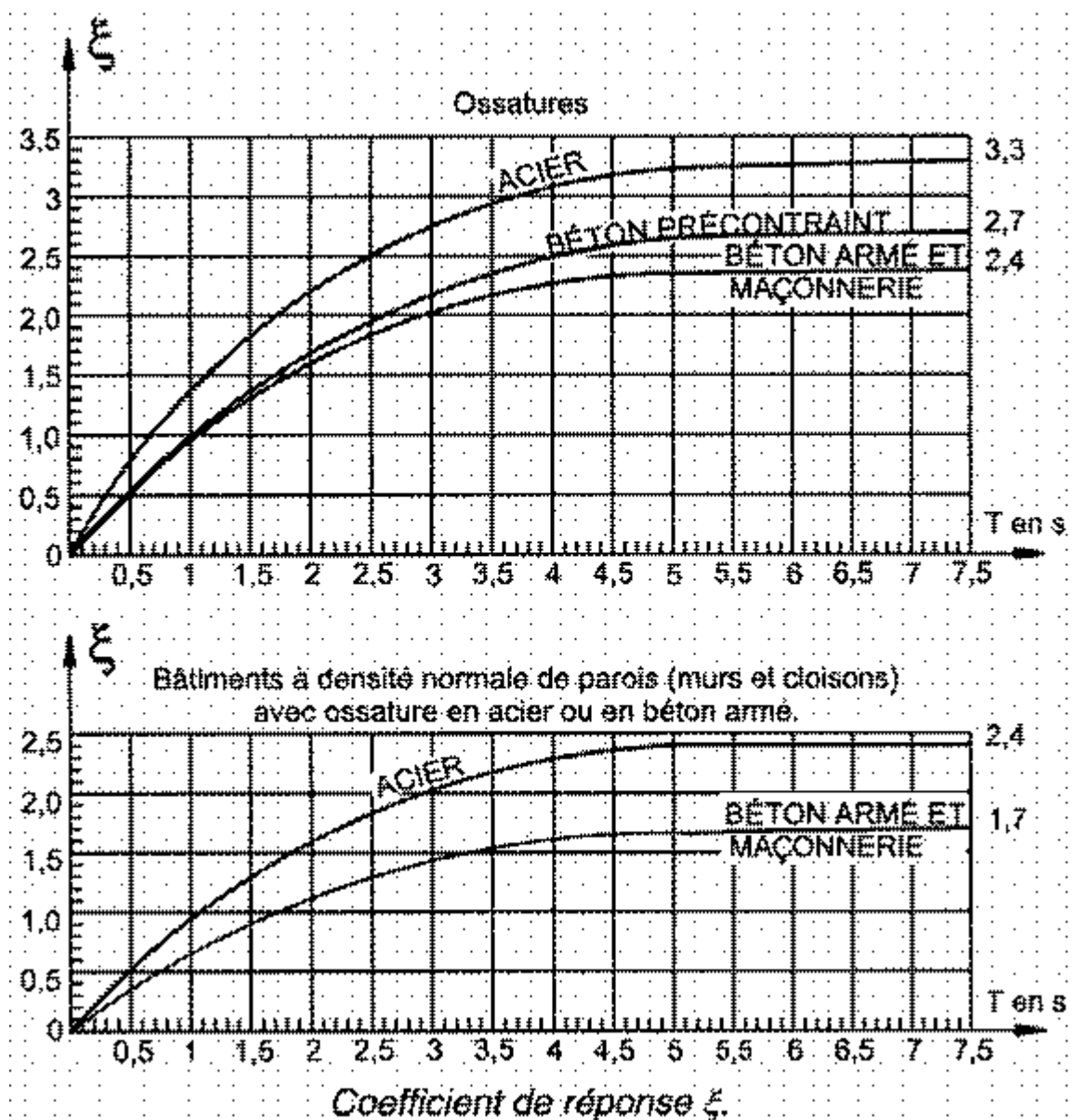


Figure R-III-3

$\theta$  coefficient global dépendant du type de construction, est défini ci-après :

- pour les constructions prismatiques à base polygonale régulière ou circulaire dont les caractéristiques sont données en R-III-3,1 à l'exception des constructions à usage d'habitation ou de bureau et pour les ensembles prismatiques des constructions ajourées et des constructions en treillis dont les caractéristiques sont données en R-III-5,21,  $\theta$  est pris égal à 1 ;
- pour les autres constructions,  $\theta$  est donné en fonction de la cote  $H_s$  de leur sommet par
  - 0,70 pour  $H_s \leq 30$  m
  - $0,70 + 0,01 (H_s - 30)$  pour  $30 \text{ m} < H_s < 60 \text{ m}$
  - 1 pour  $H_s \geq 60 \text{ m}$



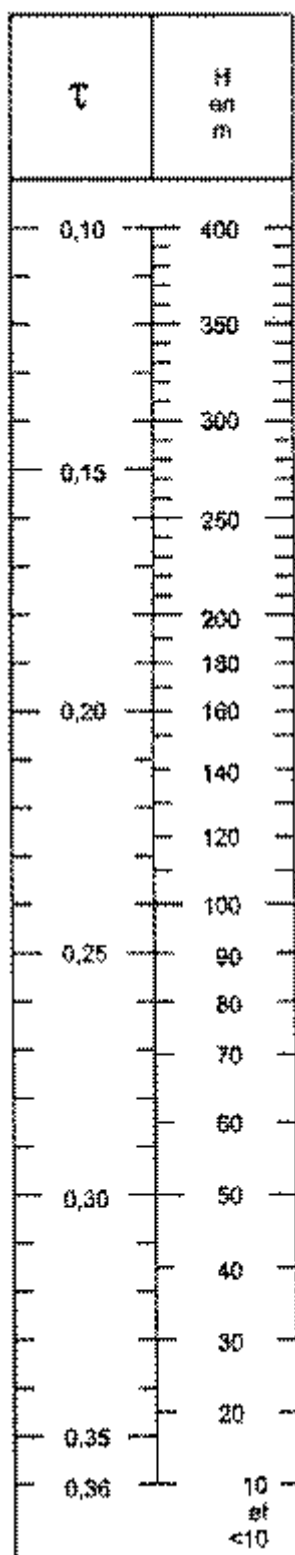


Figure R-III-4 coefficient de pulsation  $\tau$ .

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Peuvent être considérés comme présentant une densité normale de parois, les bâtiments à usage

d'habitation ou de bureaux à un ou plusieurs étages dans lesquels :

- les murs et cloisons présentent une rigidité au moins égale à celle d'une paroi de brique creuse de 5 cm d'épaisseur enduits compris et restent fixes définitivement ;
- le quotient de la longueur totale des murs et cloisons exprimée en mètres (supposée sensiblement constante à tous les étages) par la somme des surfaces de tous les étages exprimées en mètres carrés n'est pas inférieur à 0,05.

### **1,512 cas des surcharges extrêmes**

Pour tenir compte de l'effet des actions parallèles à la direction du vent, les pressions dynamiques extrêmes servant au calcul de l'action d'ensemble sont multipliées par l'expression au moins égale à l'unité où  $\theta$  et  $\beta$  sont les coefficients définis en 1,511.

$$\left[ 0,5 + \frac{\theta}{2} \right] \beta$$

### **1,52 actions perpendiculaires à la direction du vent**

Ces actions sont engendrées par des pressions qui doivent être considérées comme normales.

Les phénomènes correspondants doivent être étudiés soit par analyse mathématique, soit expérimentalement, et des dispositions convenables doivent être prises pour éliminer les risques de destruction par instabilité dynamique.

## **COMMENTAIRE**

### **Commentaires**

- En dehors des actions dynamiques à la direction du vent, les structures hautes et élancées placées dans un vent même régulier peuvent être soumises à des sollicitations dynamiques qui agissent perpendiculairement à la direction du vent, et les mettent en état d'oscillations forcées.

Parmi ces actions, il convient de distinguer :

- les tourbillons dits de « Bénard-Karman » qui impriment à la structure des impulsions latérales alternées, rythmées, dont la fréquence dépend de la vitesse du vent et des propriétés aérodynamiques de la structure.

Les tourbillons alternés de Bénard-Karman affectent, en particulier, les cheminées, phares, tours de télévision, clochers, constructions relevant de l'article R-III-3. Ils peuvent devenir dangereux lorsque leurs fréquences avoisinent l'une des fréquences propres de la structure. Une méthode de calcul de ces ouvrages élancés de forme cylindrique, inspirée du Règlement soviétique (SNI P II-A-11-62) est donnée en annexe 8

- les phénomènes de galop qui sont des oscillations auto-entretenues tirant leur origine d'une instabilité aérodynamique du profil de la structure ; la fréquence des oscillations de galop dépend des propriétés dynamiques de cette dernière et leur amplitude à la fois de ces propriétés dynamiques et aérodynamiques.
- les phénomènes de battement qui sont des oscillations auto-entretenues tirant leur origine d'un couplage mécanique entre des oscillations latérales de la structure et des oscillations de torsion ; ces phénomènes se manifestent en dehors de toute instabilité aérodynamique du profil ; leur amplitude et aussi leur fréquence dépendent des propriétés dynamiques et aérodynamiques de la structure<sup>1</sup>.

Les phénomènes de galop et de battement peuvent se produire pour n'importe quelle vitesse de vent ; ils deviennent dangereux lorsque, les capacités de dissipation d'énergie de la structure étant excédées, ils se maintiennent suffisamment longtemps pour que l'amplitude des oscillations croisse au-delà des limites compatibles avec la stabilité de l'ouvrage.

Les phénomènes de galop et de battement sont spécialement à redouter dans le cas de

profils plus ou moins allongés. Il est signalé que certaines formes particulières, comme le demi-cercle, sont des formes aérodynamiquement très instables. Dans les cas douteux, il y aura lieu de procéder à des études spéciales.

- Dans certains cas extrêmement rares, on a constaté que les oscillations perpendiculaires à la direction du vent étaient précédées d'une déformation (ovalisation) pour les parois cylindriques très minces (cheminées en tôles non raidies), se produisant pour des vitesses de vent suffisamment grandes.

1. Le phénomène peut amener une catastrophe si cette fréquence est voisine de celle des tourbillons de Bénard-Karman (Accident du pont suspendu de Tacoma aux U.S.A. en 1940).

## **2 constructions prismatiques à base quadrangulaire**

Les constructions courantes font l'objet des règles simplifiées 2,9.

### **2,0 prescriptions communes**

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Les essais en soufflerie ont été conduits seulement sur des constructions à base rectangulaire. L'extrapolation à des constructions à base quadrangulaire est possible dans les limites définies dans le texte des Règles (R-III-2,3).

#### **2,01 pression dynamique**

La pression dynamique à prendre en compte est définie en R-III-1,2.

#### **2,02 direction du vent**

D'une manière générale la direction du vent est supposée normale aux parois verticales de la construction.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Sur un bâtiment quadrangulaire, l'action résultante maximale moyenne sur les parois et la toiture, et l'action maximale d'ensemble sont en général produites par le vent normal aux parois verticales. Dans les cas exceptionnels, en particulier pour les bâtiments à toitures multiples et pour les bâtiments ouverts complètement sur plusieurs façades, il est nécessaire d'examiner l'action du vent attaquant les parois verticales sous des angles variables.

#### **2,03 rapport des dimensions $\lambda$**

Pour une direction de vent donnée, le rapport de dimensions  $\lambda$  (R-III-1,321) est le rapport de la hauteur  $h$  de la construction à la dimension horizontale de la face frappée :

$$\lambda_a = \frac{h}{a} \text{ et } \lambda_b = \frac{h}{b}$$

### **2,1 constructions prismatiques à base rectangulaire reposant sur le sol**

#### **2,11 caractéristiques**

- leur forme générale en plan est un rectangle de dimensions  $a$  et  $b$  ( $a \leq b$ ) ;
- leur hauteur totale est désignée par  $h$  et la flèche de leur toiture par  $f$  ;
- leur couverture est :
  - soit une toiture-terrasse,
  - soit une toiture à un, deux ou plusieurs versants plans,
  - soit une toiture en voûte,
  - soit unique,
  - soit multiple ;
- toutes leurs parois verticales sont sensiblement planes et reposent sur le sol ;

- leurs parois verticales peuvent être fermées ou bien partiellement ouvertes ou ouvertes (R-III-1,313) sous réserve qu'une paroi au moins sur les quatre soit fermée.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaires

- $h$  représente la différence entre le niveau du sol sur lequel repose la construction et le niveau de la crête de la toiture. **Figure. C-III-18**

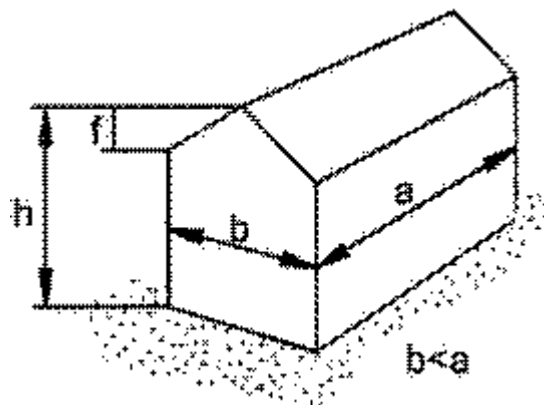


Figure. C-III-18

- Une toiture est dite multiple lorsqu'elle est constituée d'éléments identiques et répétés (par exemple sheds, conoïdes...).
- Les saillies des balcons ou les renforcements divers (loggias) rencontrés couramment sur les parois verticales des bâtiments d'habitation ne sont pas considérés comme modifiant de façon sensible la planéité des parois.
- Pour les constructions éloignées du sol, se reporter aux règles III-2,2.
- Pour les constructions ayant quatre parois ouvertes, se reporter aux règles III-4,2.

#### 2,12 coefficient $\gamma_o$

La valeur du coefficient  $\gamma_o$  (C-III-1,321) est donnée par le diagramme de la figure R-III-5 :

VENT NORMAL À LA GRANDE FACE  $S_a$

VENT NORMAL À LA PETITE FACE  $S_b$

$$\lambda_a = \frac{h}{a} \geq 0,5$$

$$\lambda_b = \frac{h}{b} \geq 1$$

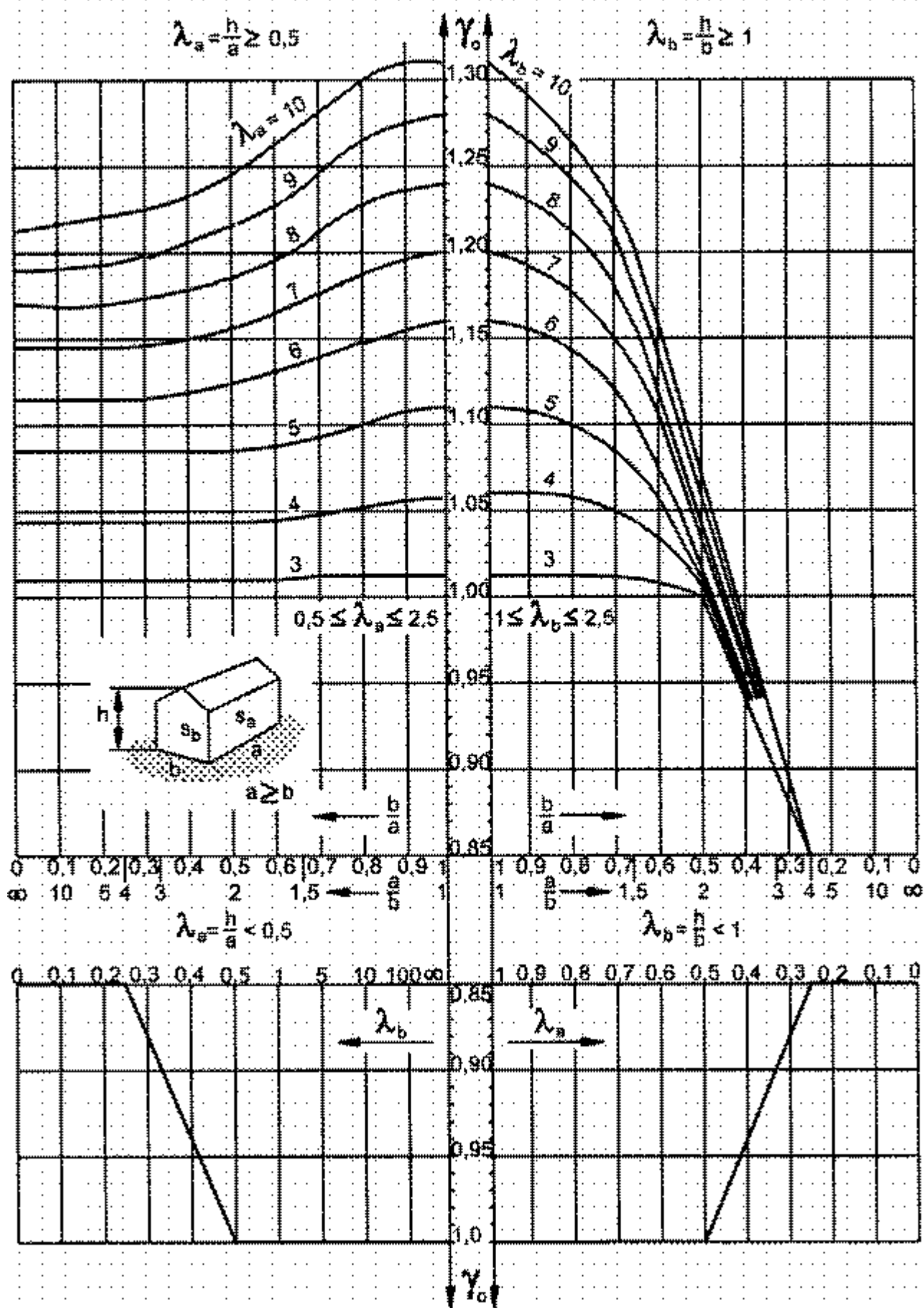


Figure R-III-5 constructions prismatiques à base quadrangulaire reposant sur le sol, coefficient  $\gamma_0$ .

- ° pour un vent normal à la grande face  $S_a$  :
  - si  $\lambda_a \geq 0,5$  par le quadrant supérieur gauche en fonction de  $\lambda_a$  et de  $b/a$  ;
  - si  $\lambda_a < 0,5$  par le quadrant inférieur gauche en fonction de  $\lambda_b$  ;
- ° pour un vent normal à la petite face  $S_b$  :
  - si  $\lambda_b \geq 1$  par le quadrant supérieur droit en fonction de  $\lambda_b$  et de  $a/b$  ;
  - si  $\lambda_b < 1$  par le quadrant inférieur droit en fonction de  $\lambda_a$ .

#### COMMENTAIRE

##### Commentaires

- Cas particuliers :
  - Constructions reposant sur le sol et accolées à un plan de grandes dimensions (immeuble ou mur).

Ce type de construction réagit aérodynamiquement comme une construction de longueur  $2a$ .

**Figure C-III-19** Pour le vent normal à la face  $S_a$ , le rapport de dimensions  $\lambda_a$  est donc pris égal à  $h/2a$  et la détermination de  $\gamma_0$  se fait alors

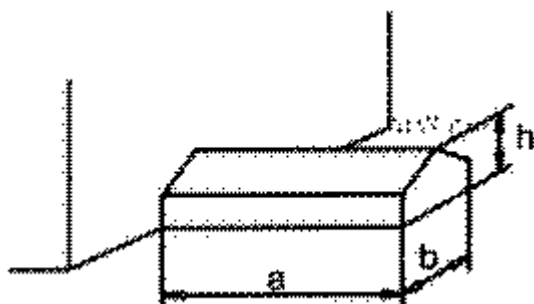


Figure C-III-19

comme dans le cas général (fig. R-III-5).

- Constructions reposant sur le sol et comprises entre deux plans parallèles de grandes dimensions (immeubles ou murs). Ce type de construction réagit aérodynamiquement comme une construction de longueur  $a$  infini.  $\lambda_a$  est donc très petit et inférieur à 0,5.

Pour le vent normal à la face  $S_a$ , la valeur du coefficient  $\gamma_0$  est donc lue sur le quadrant inférieur gauche en fonction de  $\lambda_b$  (fig. R-III-5).

**Figure C-III-20 -** La méthode employée pour déterminer les efforts du vent sur les constructions, basée sur l'emploi des diagrammes des figures R-III-5, R-III-6, R-III-7, se justifie par le fait que pour des constructions de même base et de même hauteur totale, on a constaté que le coefficient  $\gamma_0$  était le même quelle que soit la forme de la toiture.

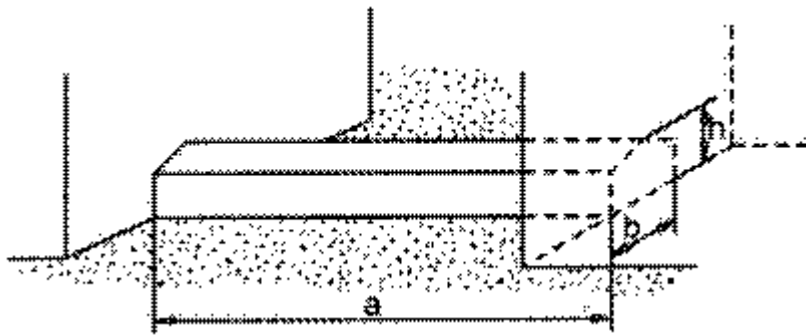


Figure C-III-20

- Sur le diagramme de la figure R-III-5 (partie supérieure) et pour  $\lambda_a$  et  $\lambda_b$  supérieurs à 2,5 les valeurs de  $\gamma_o$  lues pour  $b/a = 1$  correspondent à celles du prisme à base carrée, et celles lues pour  $b/a = 0$  (quadrant supérieur gauche) correspondent à celles de la plaque plane.
- Pour le prisme à base carrée, dont le rapport de dimensions  $\lambda$  est inférieur à 2,5, il est possible d'appliquer les coefficients donnés par l'échelle fonctionnelle de la figure R-III-10, plus favorables que ceux lus sur le diagramme de la figure R-III-5 ; le prisme à base carrée constitue en effet pour des rapports  $\lambda$  assez petits, un cas particulier intraduisible sur un diagramme général comme le diagramme de la figure R-III-5.

## 2,13 actions extérieures

### 2,131 actions moyennes

Les coefficients de pression  $c_o$  donnés ci-après correspondent à un vent ne traversant pas la construction.

Lorsqu'il la traverse, certains coefficients peuvent ne peuvent plus être valables (R-III-2, 152 et annexe 7).

#### COMMENTAIRE

Commentaire Les essais permettant de définir les coefficients de pression sur les différentes parois de la construction ont été effectués uniquement sur des constructions fermées. Ces coefficients restent valables pour des constructions partiellement ouvertes ou ouvertes à condition toutefois que les ouvertures ne perturbent pas l'écoulement de l'air : ouverture de petites dimensions ou ouvertures parallèles au vent ou encore ouvertures sur une seule face de la construction.

Par contre lorsque le vent traverse la construction, il est difficile de formuler des règles, chaque cas étant un cas particulier. Il est conseillé, à défaut d'essais, d'étudier l'action du vent sur la construction fermée de même forme que la construction considérée, puis d'étudier l'action du vent sur la construction complètement ouverte et de retenir les actions les plus défavorables (R-III-2, 152 et annexe 7).

#### 2,131-1 parois verticales

##### 2,131-11 vent normal

Face au vent  $c_e = + 0,8$  (quel que soit  $\gamma_o$ )

Face sous le vent  $c_e = - (1,3 \gamma_o - 0,8)$

##### 2,131-12 vent oblique

Dans certains cas particuliers où il serait nécessaire d'avoir une indication sur l'action d'un vent oblique sur une paroi verticale, on pourra utiliser le diagramme donné en C-III-3, 411 1 (fig. C-III-43).

#### COMMENTAIRE

Commentaires

- Cette règle concerne l'action du vent sur la face extérieure des parois qui, en appliquant la règle III-2,02, sont abritées. Elle sera utilisée par exemple pour la détermination des actions du vent sur les toitures multiples (R-III-2,131-33).
- Pour l'action d'un vent oblique sur la face intérieure d'une paroi on se reportera à la règle III-2,143-2.

## 2,131-2 toitures uniques

### COMMENTAIRE

Commentaire Les Règles NV 65 étaient basées sur des études aérodynamiques de toitures dont les proportions n'excédaient pas les valeurs indiquées sur les diagrammes des figures R-III-6 et R-III-7. De nouvelles études aérodynamiques ont permis de compléter partiellement ces Règles et dans des limites bien définies. Au-delà de ces limites les valeurs calculées peuvent s'écarter sensiblement des coefficients réels.

Les coefficients de pression  $c_e$  applicables à la toiture seule sont déterminés comme suit :

### 2,131-21 vent normal aux génératrices

Dans le cas de toitures à versants plans dont la flèche  $f$  est inférieure à la moitié de la hauteur  $h$ , de la construction, les coefficients de pression  $c_e$  sont déterminés par le diagramme de la figure R-III-6 en fonction de l'angle d'inclinaison,  $\alpha$  (en degrés) du versant considéré sur la direction du vent et du coefficient  $\gamma_o$  relevé sur le diagramme de la figure R-III-5.

### COMMENTAIRE

#### Commentaire

Pour faciliter le travail des utilisateurs des présentes Règles, le tableau ci-après résume les différentes possibilités qui peuvent se présenter :

Vent normal aux génératrices

- Toitures à versants plans
- Toitures en voûtes

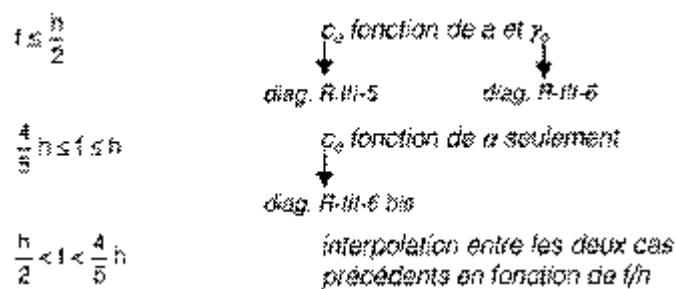


figure sans légende dans: 2,131-21 vent normal aux génératrices

Vent parallèle aux génératrices



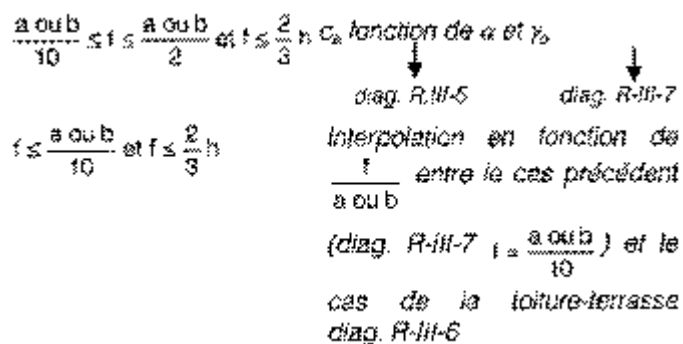


figure sans légende dans: 2,131-21 vent normal aux génératrices

- Toitures à versants plans
- Toitures en voûtes

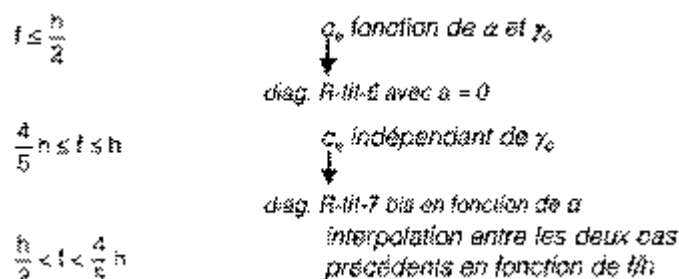


figure sans légende dans: 2,131-21 vent normal aux génératrices

Dans le cas de toitures à versants plans dont la flèche  $f$  est comprise entre la hauteur  $h$  de la construction et les  $4/5$  de celle-ci, les coefficients de pression  $c_e$  sont considérés comme indépendants des coefficients  $\gamma_0$  de la construction et sont déterminés par le diagramme de la figure R-III-6 bis, en fonction de l'angle d'inclinaison  $\alpha$  (en degrés) du versant considéré sur la direction du vent.

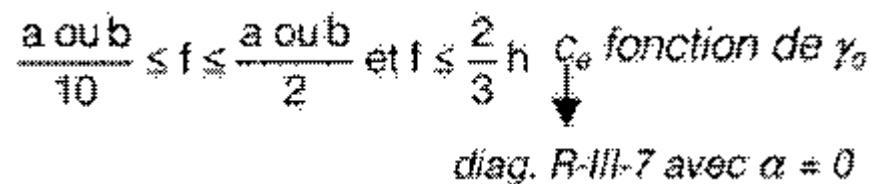


figure sans légende dans: 2,131-21 vent normal aux génératrices

Dans le cas de toitures à versants plans dont la flèche  $f$  est comprise entre la moitié de la hauteur  $h$  de la construction et les  $4/5$  de celle-ci, les coefficients de pression  $c_e$  sont déterminés par interpolation linéaire en fonction du rapport  $f/h$  entre les valeurs lues sur le diagramme de la figure R-III-6, en fonction du coefficient  $\gamma_0$  et les valeurs sur le diagramme de la figure R-III-6 bis, indépendantes du coefficient  $\gamma_0$ .

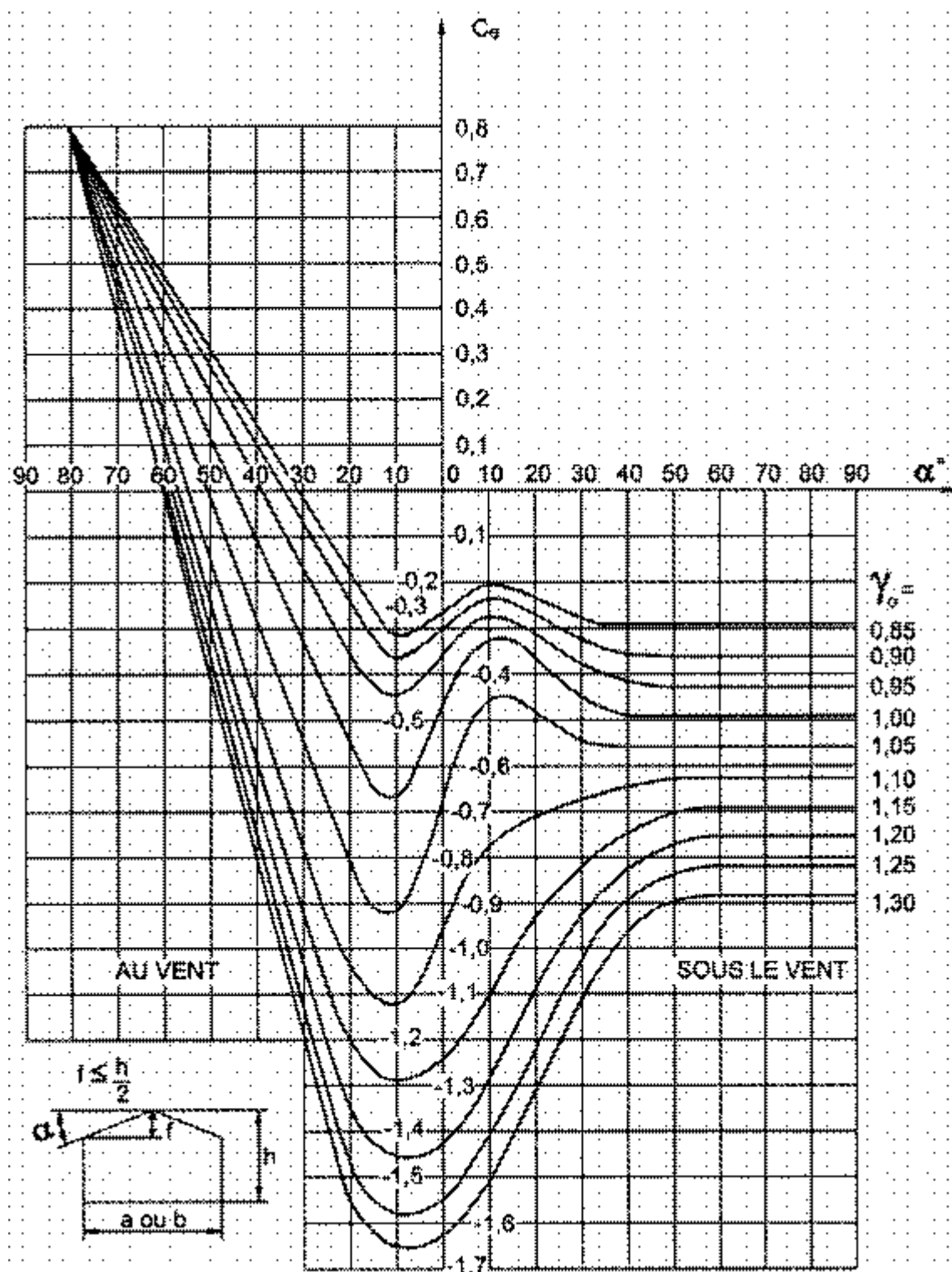


Figure R-III-6 toitures à un ou plusieurs versants plans. Coefficient  $c_e$

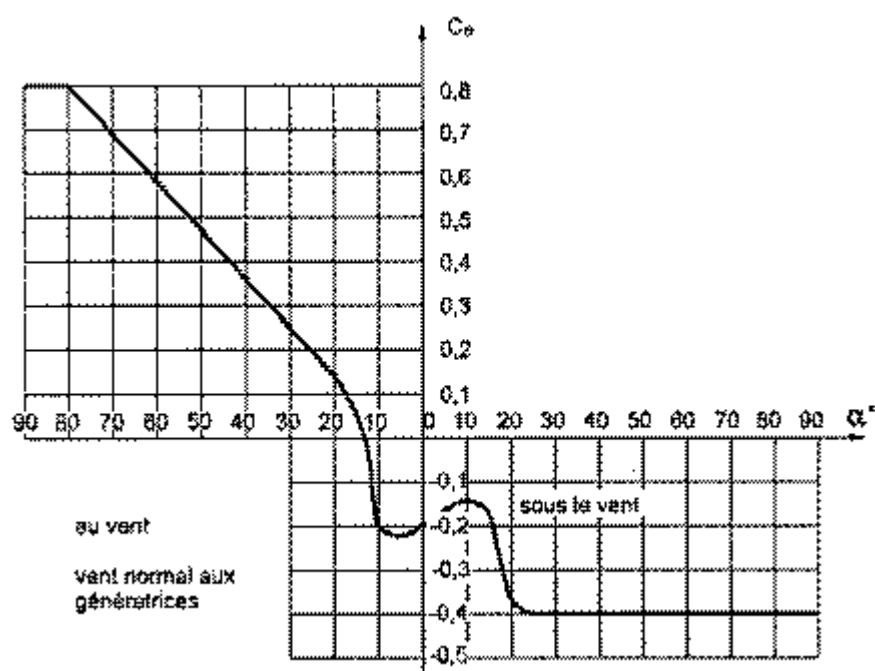


Figure R-III-6 bis toitures à un ou plusieurs versants plans. Coefficient  $c_e$

Dans le cas de toitures en voûte à directrice circulaire parabolique ou en chaînette dont la flèche  $f$  est comprise entre le dixième et la moitié de la corde  $a$  ou  $b$  (plein cintre) et inférieure aux  $2/3$  de la hauteur  $h$  de la construction, les coefficients de pression  $c_e$  sont déterminés par le diagramme de la figure R-III-7 en chaque point de la voûte, en fonction de l'angle d'inclinaison  $\alpha$  (en degrés) de la tangente en ce point sur la direction du vent, et du coefficient  $\gamma_0$  relevé sur la diagramme de la figure R-III-5.

Lorsque la flèche  $f$  est inférieure au dixième de la corde  $a$  ou  $b$  et aux  $2/3$  de la hauteur  $h$ , les coefficients de pression  $c_e$  sont déterminés par interpolation linéaire entre les coefficients de la voûte de la flèche égale à un dixième de  $a$  ou  $b$  lus sur le diagramme de la figure R-III-7 et ceux de la toiture-terrasse d'une construction de même base et de même hauteur de façade lus sur le diagramme de la figure R-III-6.

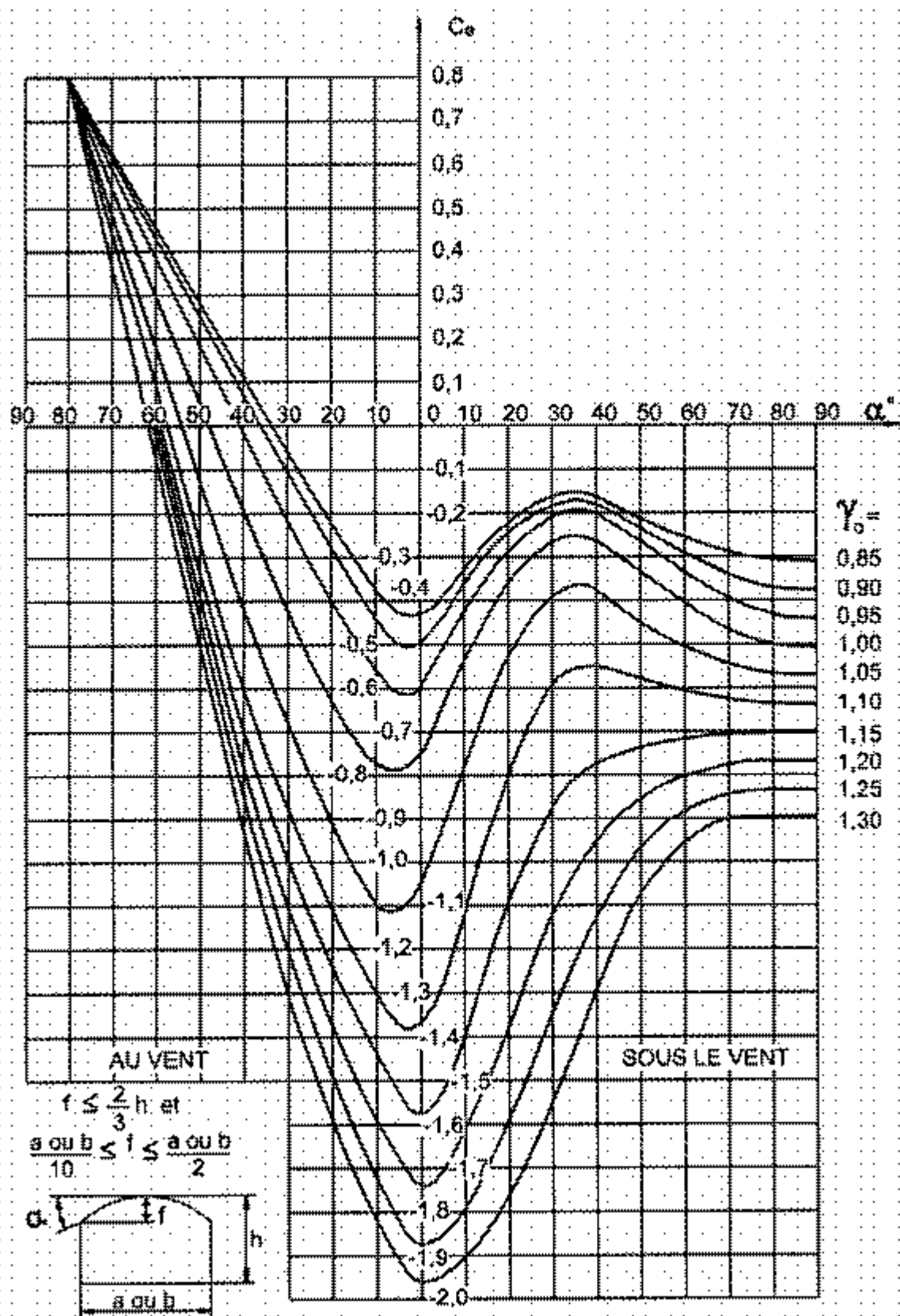


Figure R-III-7 toitures en voûte. Coefficient  $c_e$ .

## COMMENTAIRE

### Commentaire

Les valeurs lues sur le diagramme de la figure R-III-7 ne sont valables que pour la surface convexe des toitures en voûte. Pour des toitures suspendues dont la convexité est du côté de l'intérieur du bâtiment, ce sont les règles III-6,09 et 6,4 qui sont applicables.

#### 2,131-22 vent parallèle aux génératrices

Lorsque la flèche  $f$  d'une toiture à versants plans ou en voûte répond aux limitations précisées sur le diagramme des figures R-III-6 et R-III-7, on adopte pour  $c_e$  la valeur lue sur le diagramme de la figure R-III-6 pour  $\alpha = 0$ , en fonction du coefficient  $\gamma_0$  de la construction.

Lorsque la flèche  $f$  d'une toiture à versants plans est comprise entre la hauteur  $h$  de la construction et les 4/5 de celle-ci, les coefficients de pression  $c_e$  sont considérés comme indépendants des coefficients  $\gamma_0$  de la construction et sont déterminés par le diagramme de la figure R-III-7 bis, en fonction de l'angle d'inclinaison  $\alpha$  (en degrés) du versant considéré sur le plan horizontal.

Lorsque la flèche d'une toiture à versants plans est comprise entre la moitié de la hauteur  $h$  de la construction et les 4/5 de celle-ci, les coefficients de pression  $c_e$  sont déterminés par interpolation linéaire en fonction du rapport  $f/h$  entre :

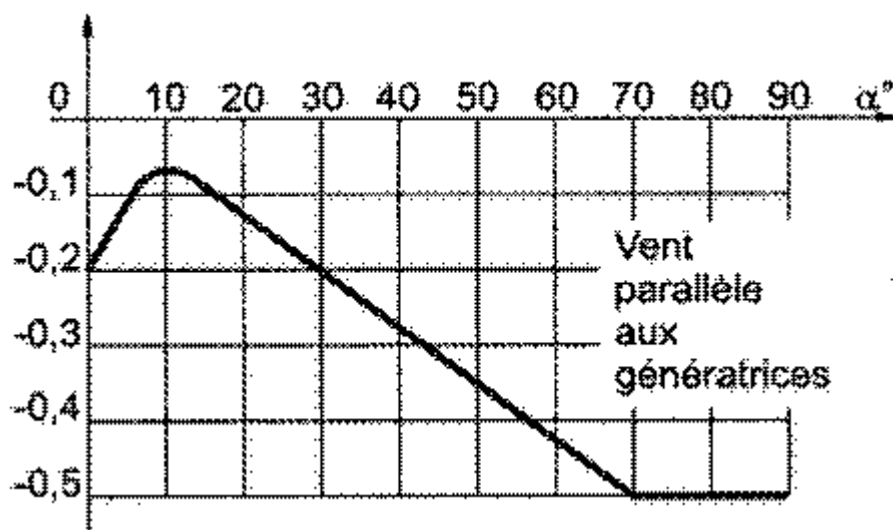


Figure R-III-7 bis toitures à un ou plusieurs versants plans. Coefficient  $c_e$ .

- les valeurs lues sur le diagramme de la figure R-III-6 pour  $\alpha = 0$ , en fonction du coefficient  $\gamma_0$  de la construction,
- et les valeurs lues sur le diagramme de la figure R-III-7 bis, en fonction de l'angle d'inclinaison  $\alpha$  (en degrés) du versant considéré sur le plan horizontal.

#### 2,131-3 toitures multiples

##### 2,131-31 vent normal aux génératrices

Pour la première toiture au vent, et pour le dernier versant sous le vent, le coefficient  $c_e$  correspondant à celui d'une toiture unique.

Pour les toitures intermédiaires et l'avant-dernier versant, le coefficient  $c_e$  dans les parties abritées est le coefficient précédent réduit de 25 %.

## COMMENTAIRE

### Commentaire

La règle est une extension de celle (R-III-1,243) concernant l'effet de masque.

Il est rappelé que les surfaces abritées sont celles situées au-dessous de la surface décrite par une génératrice ayant une pente de 20 % vers le sol et prenant appui sur le contour apparent des constructions protectrices. En fait dans les parties abritées c'est la pression dynamique qui devrait être réduite de 25 % ; la réduction porte sur le coefficient  $c_e$  pour que la totalité du bâtiment soit calculée avec la même pression dynamique.

A partir de la deuxième toiture le vent s'écoule à peu près horizontalement au-dessus des crêtes, le sillage étant d'autant plus important que la forme des versants au vent est plus abrupte. L'effet d'abri créé par le mur de façade et par la première toiture s'atténue avec la distance : les actions résultantes sur chaque toiture deviennent positives dès la troisième toiture, mais leur valeur augmente faiblement avec la profondeur sauf pour les toitures ayant un versant vertical. Il a paru néanmoins prudent d'envisager des destructions ou des démontages momentanés de parties de la toiture formant abri et par suite de prévoir sur toutes les toitures à partir de la seconde des actions de même signe que celles s'exerçant sur la première toiture.

**Figure C-III-21 toitures en shed à 30°. Actions extérieures pour  $\gamma_o = 1$ .**

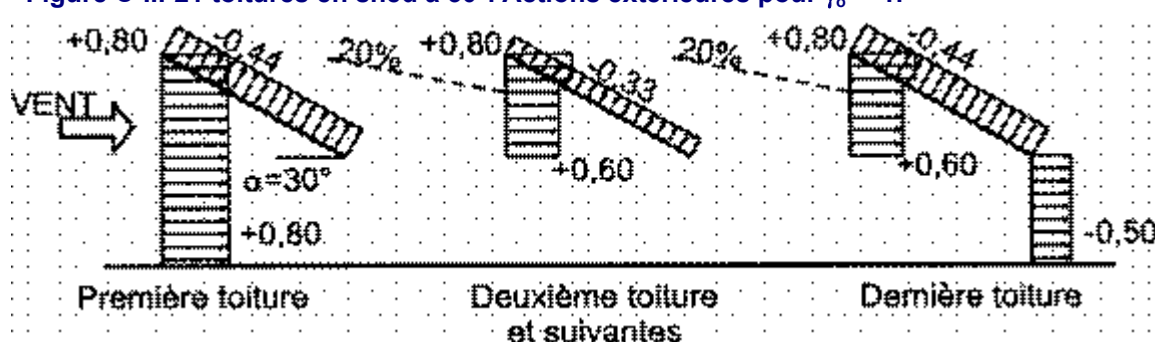


Figure C-III-21 toitures en shed à 30°. Actions extérieures pour  $\gamma_o = 1$ .

## 2,131-32 vent parallèle aux génératrices

On adopte pour ce la valeur lue sur la diagramme de la figure R-III-6 pour  $\alpha = 0$ .

### COMMENTAIRE

Commentaire

La valeur de  $c_e$  ainsi obtenue est applicable au cas du vent parallèle aux génératrices des toitures en voûte.

## 2,131-33 vent oblique aux génératrices

Aux extrémités de chaque toiture, dans le cas où aucun masque n'empêcherait l'action du vent, il doit être tenu compte de l'action d'un vent oblique.

### COMMENTAIRE

Commentaire

On ne doit pas omettre de tenir compte du cas où la direction du vent serait oblique par rapport aux façades ; d'après le diagramme de la figure C-III-43, la pression conserve sa valeur maximale lorsque l'angle  $\alpha$  varie entre 80° et 90°, et décroît ensuite régulièrement. On admet de prendre en compte sur chaque toiture autre que la première le diagramme enveloppe des efforts du vent donné par la figure C-III-22 c.

**Figure C-III-22 toitures en shed à 30°. Actions du vent sur les zones abritées des parois verticales.**

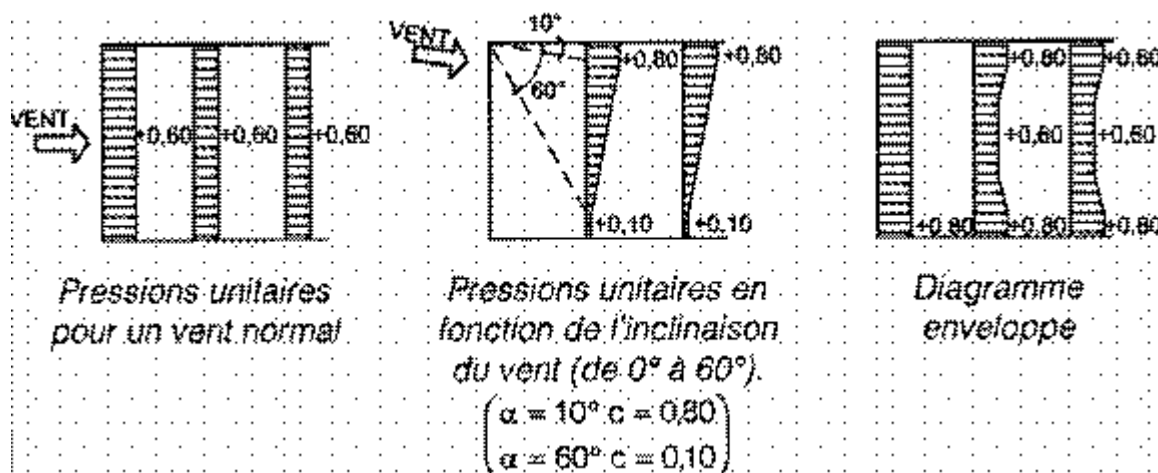


Figure C-III-22 toitures en shed à 30°. Actions du vent sur les zones abritées des parois verticales.

## 2,132 actions locales

Les actions locales déterminées selon les règles ci-après ne sont pas superposables aux actions générales sur les parois et par conséquent n'entrent pas en compte dans le calcul de l'ossature principale.

### COMMENTAIRE

#### Commentaire

Les actions locales intéressent particulièrement les panneaux de remplissage, les revêtements muraux, les éléments de couvertures, les pièces secondaires de charpente (chevrons, etc.) ainsi que leurs attaches et scellements.

### 2,132-1 arêtes verticales

Les actions locales à prendre en compte à partir de l'arête des dièdres formés par deux façades consécutives sur une profondeur égale au 1/10 de la plus petite dimension horizontale  $b$ . Le coefficient à adopter pour déterminer la succion dans cette zone est le double du coefficient moyen  $c_e$  applicable aux faces parallèles au vent ( $c = 2 c_e$ ).

### 2,132-2 rives de toiture

Lorsque le vent est normal aux génératrices, les actions locales sont à prendre en compte le long des bords de toiture à partir de la rive sur une profondeur égale au 1/10 de la hauteur  $h$  sans toutefois dépasser  $b/10$ .

Le coefficient à adopter pour déterminer la succion dans cette zone est le double du coefficient moyen  $c_e$  applicable au versant considéré ( $c = 2 c_e$ ) pour des angles inférieurs ou égaux à 45°.

Cette succion supplémentaire cesse d'exister pour  $\alpha = 60^\circ$ . Pour  $45^\circ < \alpha < 60^\circ$ , on interpole entre les valeurs précédentes. Dans le cas d'un bâtiment à toiture en voûte, l'angle  $\alpha$  est l'angle de la tangente à la naissance de la voûte avec l'horizontale.

Lorsque le vent est parallèle aux génératrices, les actions locales sont à prendre en compte tout le long des bords de toiture sur une profondeur égale :

- au quart de la dimension de la construction parallèle aux génératrices pour  $\alpha \leq 30^\circ$  ;
- à la moitié de cette dimension pour  $\alpha \geq 45^\circ$  ;
- à une fraction de cette dimension, déterminée par interpolation linéaire pour  $30^\circ < \alpha < 45^\circ$ .

Le coefficient à adopter pour déterminer la succion dans cette zone est égal aux 3/2 du coefficient moyen  $c_e$  applicable au versant considéré ( $c = 1,5 c_e$ ) quel que soit l'angle  $\alpha$ .

### COMMENTAIRE

#### Commentaires

- Action locale sur une rive de toiture. Exemple d'application pour  $\gamma_0 = 1$ . **Figure C-III-23**

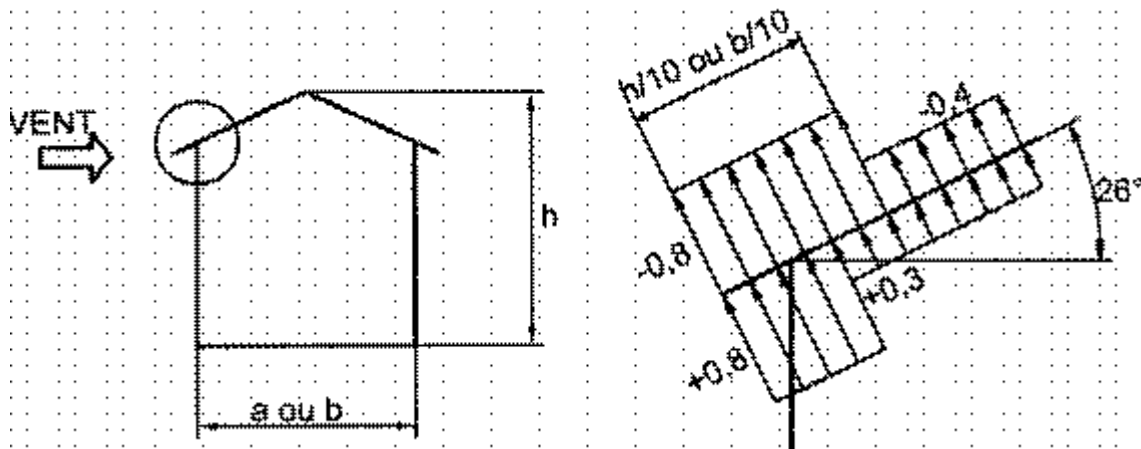


Figure C-III-23

- Si la toiture d'une construction est abritée par un mur ou une autre construction, il n'y a pas d'actions locales à considérer pour la direction du vent venant du côté du masque. **Figure C-III-24**

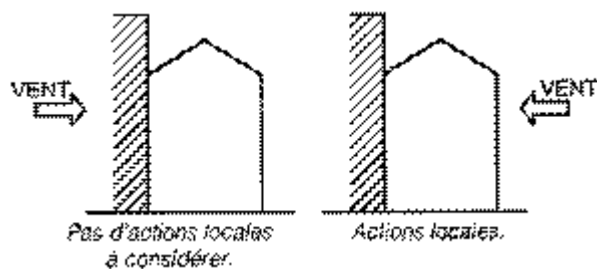


Figure C-III-24

### 2,132-3 angles de toitures

Aux angles, dans les parties communes des zones concernant les rives de toitures, le coefficient à adopter pour déterminer la succion est le triple du coefficient moyen ce applicable au versant considéré pour des angles  $\alpha$  inférieurs ou égaux à  $30^\circ$ . Cette succion supplémentaire cesse d'exister pour  $\alpha = 40^\circ$ . Pour  $30^\circ < \alpha < 40^\circ$  on interpole entre les valeurs précédentes.

#### COMMENTAIRE

Commentaire Les règles pour les angles de toitures sont particulièrement importantes pour les éléments légers.

### 2,132-4 valeurs limites

A ces actions locales s'ajoutent soit les autres actions extérieures telles que les actions moyennes sur les faces inférieures des débords de toiture, soit les actions intérieures, sans que le coefficient résultant puisse dépasser respectivement - 2 ou - 3.

### 2,132-5 autres actions locales

Les éléments situés dans les zones définies en R-III-1,322 b sont calculés avec un coefficient résultant de - 2.

#### COMMENTAIRE



## Commentaire

Il est rappelé que ces actions locales concernent notamment les zones autour des appuis ou attaches d'un élément extérieur à la construction, et les zones de discontinuité marquée dans les formes extérieures de la construction.

### 2,14 actions intérieures

La pression dynamique à prendre en compte pour la détermination des actions intérieures dans un volume déterminé est, pour chaque direction du vent, égale à la pression dynamique définie en R-III-1,2, s'exerçant sur la face extérieure correspondante du volume considéré.

Les actions intérieures sont déterminées par des coefficients  $c_i$  calculés au moyen de formules variables pour chaque cas (R-III-2,141 2,142 2-143 et 2,144). Lorsque ces déterminations conduisent à des coefficients compris entre - 0,20 et 0, on prend - 0,20, et lorsqu'ils sont compris entre 0 et + 0,15, on prend + 0,15.

## COMMENTAIRE

### Commentaires

- Les coefficients de pression sont ainsi toujours compris
  - entre - 0,90 et - 0,20
  - ou entre + 0,80 et + 0,15

ce qui dans le calcul des surpressions intérieures conduit à plafonner la valeur de  $\gamma_o$  (ou celles de  $\gamma_h$  ou de  $\gamma_e$ ) à 1,19 environ.- Pour les constructions dans lesquelles la grandeur des ouvertures varie très sensiblement dans une ou plusieurs façades créant ainsi des zones de perméabilité différente, il convient de déterminer la valeur des pressions intérieures dans chaque volume correspondant, suivant la valeur de la perméabilité et l'orientation du vent.

### 2,141 constructions fermées

Les parois ont une perméabilité  $\mu \leq 5$ . (R-III-1,313).

On applique simultanément sur les faces intérieures de tous les compartiments :

- soit une surpression avec  $c_i = + 0,6 (1,8 - 1,3 \gamma_o)$ ,
- soit une dépression avec  $c_i = - 0,6 (1,3 \gamma_o - 0,8)$ .

Par mesure de simplification, on ne tient pas compte des pressions différentielles sur les planchers pour le calcul de ceux-ci, mais on tient compte de la pression intérieure pour le calcul des planchers-terrasses et des toitures.

## COMMENTAIRE

CommentairesLes Règles ne visent pas le cas particulier des constructions fermées étanches, pour lequel aucune action intérieure n'est à prendre en compte. Ce type de construction ne se rencontre qu'exceptionnellement en pratique et dans ce cas tout se passe au point de vue aérodynamique comme si la construction était pleine.

- Pour ne pas rompre avec les habitudes et ne pas introduire de surcharges supplémentaires, ni sur les planchers, ni sur les cloisons, les surpressions ou dépressions intérieures peuvent être supposées uniformes dans tout l'ensemble d'une construction à usage d'habitation ou de bureaux, alors qu'elles peuvent varier d'un compartiment à l'autre.
- Dans ce cas de constructions à conditionnement d'air, les faces intérieures sont toujours soumises à une légère surpression. Cependant pour plus de sécurité, en particulier en cas de bris de vitre, à titre indicatif on pourra prendre :
  - soit une surpression avec  $c_i = + 0,6 (1,8 - 1,3 \gamma_o)$ ,
  - soit une dépression avec  $c_i = - 0,3 (1,3 \gamma_o - 0,8)$ .

## **2,142 constructions ouvertes comportant une paroi ouverte**

La paroi ouverte a une perméabilité  $\mu \geq 35$ , les autres parois y compris les versants de toiture ont des perméabilités  $\mu \leq 5$  (R-III-1,313).

On applique :

- lorsque la partie ouverte est au vent :
  - une surpression avec  $c_i = + 0,8$  sur la face intérieure des parois de perméabilité  $\mu \leq 5$  y compris les versants de toiture ;
  - et une dépression avec  $c_i = - 0,6 (1,3 \gamma_o - 0,8)$  sur la face intérieure de la paroi de perméabilité  $\mu \geq 35$ .
- lorsque la partie est sous le vent :
  - une dépression avec  $c_i = - (1,3 \gamma_o - 0,8)$  sur la face intérieure des parois de perméabilité  $\mu \leq 5$  y compris les versants de toiture ;
  - et une surpression avec  $c_i = + 0,6 (1,8 - 1,3 \gamma_o)$  sur la face intérieure de la paroi de perméabilité  $\mu \geq 35$ .

## **2,143 constructions ouvertes comportant deux parois opposées ouvertes**

Les parois ouvertes ont une perméabilité  $\mu \geq 35$ , les autres parois ont des perméabilités  $\mu \leq 5$  (R-III-1,313).

### **2,143-1 vent normal aux parois**

#### **2,143-11 parois situées dans le courant d'air**

On calcule les parties de parois ou de constructions intérieures situées dans le courant d'air (qui sont éclairées dans la définition optique), comme si elles étaient isolées dans l'espace, abstraction faite des autres parties de la construction.

#### **2,143-12 parois situées hors du courant d'air**

On applique à toutes les parties de parois ou de constructions intérieures, situées hors du courant d'air (non éclairées) :

- lorsque les parois de perméabilité  $\mu \geq 35$  sont normales au vent :
  - soit une surpression avec  $c_i = + 0,6 (1,8 - 1,3 \gamma_o)$  ;
  - soit une dépression avec  $c_i = - 0,6 (1,3 \gamma_o - 0,8)$
- lorsque les parois de perméabilité  $\mu \geq 35$  sont parallèles au vent :
  - soit une surpression avec  $c_i = + 0,6 (1,8 - 1,3 \gamma_o)$  ;
  - soit une dépression avec  $c_i = - (1,3 \gamma_o - 0,8)$ .

### **2,143-2 vent oblique aux parois**

Il y a lieu de tenir compte d'un vent oblique pour les constructions pouvant être traversées sur toute leur largeur ou sur toute leur longueur.

On applique sur la face intérieure frappée par le vent oblique une surpression définie par  $c_i = 0,02 \alpha - 0,5$  avec un minimum de 0 et un maximum de + 0,8 en fonction de l'angle  $\alpha$  exprimé en degrés de la direction du vent avec la face frappée.

On applique sur chaque tranche du versant de la toiture la surpression intérieure régnant sur la tranche adjacente de façade.

## **COMMENTAIRE** **Commentaires**

- La loi donnée se rattache à l'action du vent sur une plaque plane où comme dans le cas d'une plaque ajourée ou en treillis, l'action du vent donne un effort maximal jusqu'à une incidence de  $65^\circ$  (C-III-5,121) Elle diffère donc de celle donnée en C-III-3,411 1 qui a trait à l'action du vent oblique sur un volume.

- Le vent en s'appuyant sur le contour de la partie ouverte peut attaquer la face intérieure des parois sous un angle variable. **Figure C-III-25**



Figure C-III-25

### 2,144 constructions comportant des parois partiellement ouvertes

Une ou plusieurs parois ont une perméabilité  $\mu$  comprise entre 5 et 35 (R-III-1,313).

On applique sur les faces intérieures des différentes parois soit des surpressions soit des dépressions déterminées par simple (ou double) interpolation linéaire en fonction des perméabilités  $\mu$  entre les coefficients des constructions fermées et les coefficients des constructions ouvertes (ou de perméabilité intermédiaire).

#### COMMENTAIRE

Commentaires

- Les différents cas visés peuvent être considérés comme intermédiaires entre celui où la perméabilité  $\mu = 5$  et celui où  $\mu = 35$  (Figure C-III-26).

Dans le cas d'une construction comportant une seule paroi partiellement ouverte, les interpolations doivent se faire entre des actions de même signe ; en aucun cas, on ne doit interpoler entre des actions de signes contraires (surpression et dépression).

**Figure C-III-26** Dans le cas d'une construction comportant plusieurs parois partiellement ouvertes, les premières interpolations doivent se faire entre des actions de même signe, les interpolations suivantes peuvent se faire entre des actions de même signe ou de signes contraires ; dans le second cas lorsque ces déterminations conduisent à des coefficients compris entre  $-0,6 (1,3 \gamma_o - 0,8)$  et 0 on prend  $-0,6 (1,3 \gamma_o - 0,8)$ , et lorsqu'ils sont compris entre 0 et  $+0,6(1,8 - 1,3 \gamma_o)$  on prend  $+0,6(1,8 - 1,3 \gamma_o)$ .

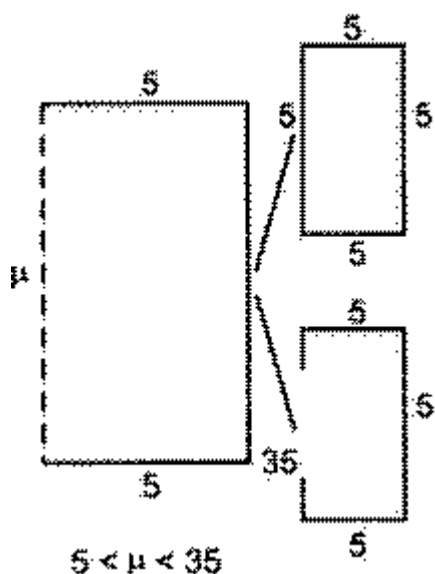


Figure C-III-26

L'annexe 5 donne des exemples d'application.

- Pour simplifier les calculs, il est possible pour chaque paroi de s'en tenir aux cas extrêmes les plus défavorables qui encadrent alors les efforts réels.

## 2,145 constructions à parois fermées dont la toiture comporte un lanterneau ou un shed ouvert d'un seul côté

On applique :

- soit une dépression intérieure

$$c_i = -0,6 \left( 1 + \frac{a'}{a} \right) (1,3 \gamma_o - 0,8) ;$$

- soit une dépression avec  $a'$  étant la longueur de l'ouverture du lanterneau ou du shed et  $a$  la longueur du bâtiment.

$$c_i = 1,2 \frac{a'}{a} + 0,6 (1,8 - 1,3 \gamma_o) \left( 1 - \frac{3}{2} \frac{a'}{a} \right) ;$$

### COMMENTAIRE

Commentaire La règle ne s'applique pas :

- si une ou plusieurs parois présentent une perméabilité supérieure à 5 % ;
- si  $a' \geq 2/3 a$ , la construction pouvant alors être considérée comme ouverte.

Figure C-III-27

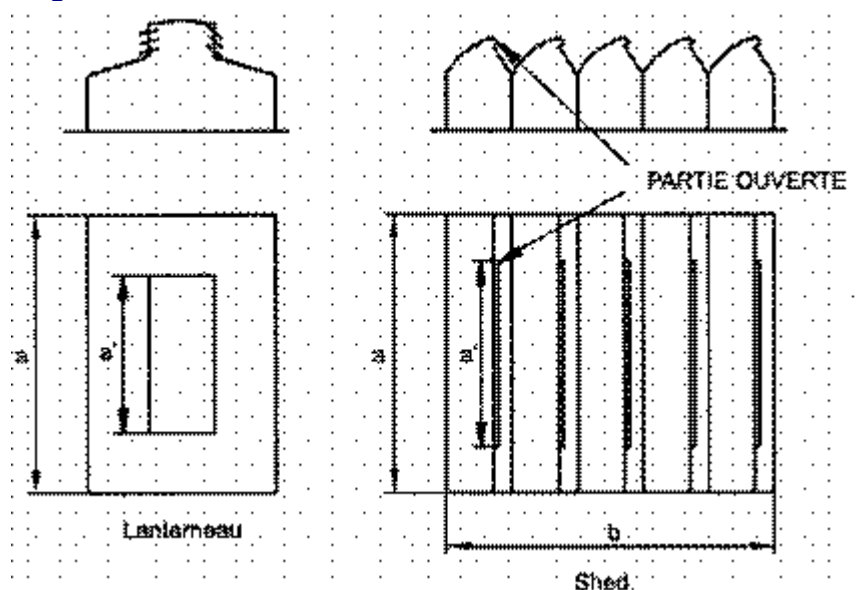


Figure C-III-27

## 2,15 actions résultantes unitaires sur les parois

### 2,151 le vent ne traverse pas la construction

Pour chaque élément, on combine de la façon la plus défavorable les actions extérieures moyennes (R-III-2,131) et les actions intérieures (R-III-2,14).

Dans le cas où le vent oblique intervient on doit prendre en compte l'enveloppe des actions les plus défavorables en chaque point (C-III-2,131 33).

### COMMENTAIRE

## Commentaires

- L'annexe 6 donne des exemples d'application.
- Cet article concerne les constructions fermées et les constructions ayant une seule paroi ouverte ou partiellement ouverte. Il concerne également les constructions ayant plusieurs parois ouvertes ou partiellement ouvertes. Le vent étant parallèle aux ouvertures.

### **2,152 le vent traverse la construction**

Il convient d'appliquer à chaque élément les dispositions de la règle III-2,151 et pour certaines directions du vent définies par la disposition des ouvertures, celles relatives aux toitures isolées (R-III-4,2) et de retenir dans chaque cas les actions les plus défavorables.

#### COMMENTAIRE

Commentaire L'annexe 7 donne des exemples d'application.

### **2,153 valeurs limites**

Lorsque la combinaison la plus défavorable des actions extérieures moyennes et des actions intérieures a conduit à des coefficients compris entre - 0,30 et 0, on prend - 0,30, et lorsqu'ils sont compris entre 0 et + 0,30, on prend + 0,30.

### **2,16 actions d'ensemble**

Quelle que soit la construction, elles produisent simultanément (R-III-1,43) un effet de renversement et un effet de soulèvement. Elles sont déterminées selon les cas, suivant les règles III-2,161 2,162 2,163 2,164 et 2,165.

Les actions extérieures locales (R-III-2,132) et les actions intérieures locales (R-III-2,142) ne sont pas à retenir pour l'évaluation des actions d'ensemble ; il en est de même des valeurs limites fixées en III-2,159. Les actions d'ensemble sont susceptibles de l'application de la règle III-1,5 relative aux actions dynamiques.

#### COMMENTAIRE

Commentaire

Les actions intérieures à prendre en compte sur les parois de perméabilité  $\mu \geq 35$ , ont été arbitrairement choisies pour que ces parois soient calculées avec des actions résultantes non nulles. Elles ne correspondent pas à la réalité et par suite n'ont pas à être retenues pour la détermination des actions d'ensemble III-2,16.

Les actions intérieures s'exerçant sur les parois de perméabilité  $\mu \leq 5$ , qui peuvent en réalité régner à l'intérieur de la construction, doivent seules être retenues pour la détermination des actions d'ensemble.

### **2,161 bloc unique à toiture unique (toitures à un ou deux versants plans, en voûte ou en terrasse)**

#### COMMENTAIRE

Commentaire

Par définition une telle construction ne comporte pas de joint de dilatation.

### **2,161-1 vent normal aux génératrices de la toiture**

L'action d'ensemble est obtenue par la composition géométrique des actions résultantes totales sur les différentes parties de la construction.

#### COMMENTAIRE

Commentaires

- Pour un vent normal aux génératrices de la toiture
  - la force de renversement  $T$  est la résultante des forces horizontales agissant sur les parois verticales et de la composante horizontale des forces appliquées à la toiture ;
  - la force de soulèvement  $U$  est la composante verticale des forces appliquées à la toiture ; si cette force  $U$  n'est pas centrée elle produit un effet plus ou moins défavorable à la stabilité selon qu'elle est placée du côté de la face au vent ou du côté de la face sous le vent.

**Figure C-III-28** - Dans le cas d'une construction à toiture-terrasse, la résultante horizontale des actions extérieures et intérieures, non compris éventuellement la force d'entraînement, peut être calculée directement par l'intermédiaire du coefficient global de traînée (règle III-1,43) qui a pour valeur :  $c_t = 1,3 \gamma_0$ .

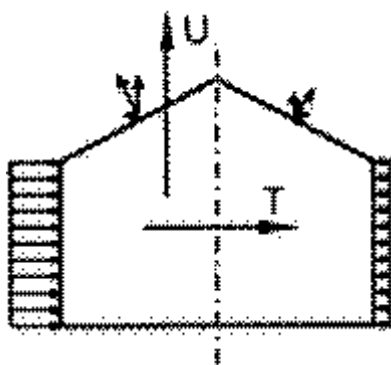


Figure C-III-28

## 2,161-2 vent parallèle aux génératrices de la toiture

L'action d'ensemble est obtenue par la composition géométrique des actions résultantes totales sur les différentes parties de la construction et éventuellement d'une force horizontale définie ci-après.

Lorsque la dimension parallèle au faîtage ou à la génératrice de clé dépasse quatre fois la hauteur, la force unitaire d'entraînement, applicable à la surface développée de la toiture au-delà d'une distance égale à  $4h$  à partir de la surface frappée, est prise égale à :

0,010  $q$  si la surface est plane ou comporte des ondes ou des plis parallèles à la direction du vent,

0,020  $q$  si la surface comporte des ondes ou des plis normaux à la direction du vent,

0,040  $q$  si la surface comporte des nervures normales à la direction du vent,  $q$  étant la pression dynamique au niveau de la crête de la toiture.

Dans le cas d'une construction à toiture-terrasse, la règle III-2,1612 s'applique pour les deux directions de vent normales aux façades

## COMMENTAIRE

Commentaire Valeur de la force d'entraînement dans le cas d'une construction avec toiture à deux versants à surface plane ou plissée ou ondulée à génératrices parallèles à la direction du vent :

0,010  $q$  (longueur ABC) ( $a - 4h$ )

**Figure C-III-29**

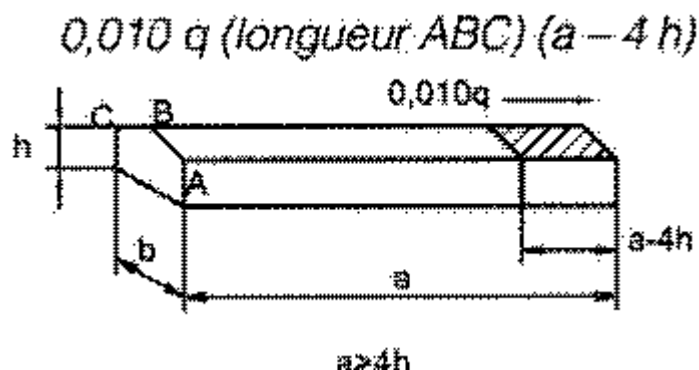


Figure C-III-29

## 2,162 bloc unique à toiture multiple

### COMMENTAIRE Commentaire

Dans ce cas toutes les toitures intermédiaires entre la première et la dernière sont supposées sans pression, ni succion extérieures.

### Figure C-III-30 Action d'ensemble dans le cas d'une construction fermée ( $\gamma_0 = 1$ ).

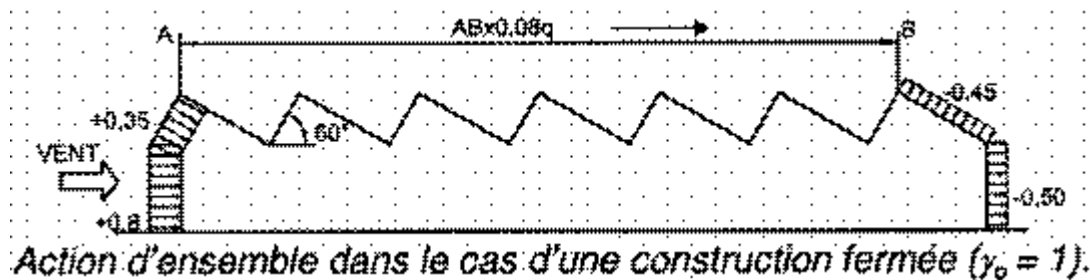


Figure C-III-30 Action d'ensemble dans le cas d'une construction fermée ( $\gamma_0 = 1$ ).

## 2,162-1 vent normal aux génératrices de la toiture

L'action d'ensemble se détermine en appliquant :

- à la première et à la dernière façades et aux deux versants adjacents, les actions calculées avec les coefficients résultant des règles III-2,131 et 2,14 ;
- à la surface projetée en plan de toutes les parties de la toiture autres que le premier et le dernier versant, une force horizontale d'entraînement appliquée au niveau des crêtes de la toiture par parties égales à chacune d'elles.

La force unitaire est prise égale à :

$[0,001 \alpha + 0,02] q$ , pour les toitures à versants plans dont les versants au vent font un angle  $\alpha$  avec l'horizontale, avec un maximum de  $0,10 q$  et un minimum de  $0,03 q$  ;  
 $0,02 q$  pour les toitures en voûtes ;

## q étant la pression dynamique au niveau des crêtes de la toiture. 2,162-2 vent parallèle aux génératrices de la toiture

L'action d'ensemble se détermine selon la règle III-2,161-2.

## 2,163 blocs accolés à toiture unique

Les actions d'ensemble sont déterminées selon la règle III-2,161.

Tous les blocs se succédant dans la direction du vent doivent être considérés comme fermés et isolés et vérifiés pour résister à des actions d'ensemble égales à celles qui s'exercent sur le bloc directement frappé par le vent, celui-ci soufflant normalement au plan des joints.

## COMMENTAIRE

### Commentaires

- Le mode de calcul imposé pour les blocs accolés admet implicitement l'éventualité de la destruction accidentelle d'un ou plusieurs d'entre eux. On a considéré que l'application de la règle III-2,161 aux blocs extrêmes pour une direction de vent perpendiculaire au plan des joints (le vent les attaquant soit dans une direction soit dans la direction opposée), permet à chacun de ces blocs de résister seul, en cours de construction ou en cas d'effondrement des autres blocs. Mais il a paru prudent que les blocs intermédiaires susceptibles de subsister soient calculés avec une certaine marge de sécurité ; chacun d'eux doit résister à l'effet de la surpression seule, exercée sur la face au vent. On notera que ce mode de calcul diffère peu de celui préconisé à l'origine, lequel prévoyait la vérification des blocs intermédiaires sous une action égale à 6/10 de la combinaison surpression avant + dépression arrière.
- On suppose plein le plan passant par le joint pour tenir compte soit d'un bardage provisoire, soit de la présence d'aménagements intérieurs (cloisons, cage d'escaliers...). Par ailleurs le vent étant en général la seule force horizontale appliquée aux bâtiments, la règle énoncée conduit à adopter les dispositions constructives convenables dans deux directions orthogonales et non dans une seule.
- Pour le calcul des actions d'ensemble, au cas où il n'existe pas de cloisons à chacun des joints extrêmes, l'effet de la surpression ou de la dépression intérieure dans les blocs extrêmes s'ajoute à celui des forces extérieures.

#### **2,164 blocs accolés à toiture multiple**

Les actions d'ensemble sont déterminées selon la règle III-2,162.

Tous les blocs se succédant dans la direction du vent doivent être considérés comme fermés et isolés et vérifiés pour résister à des actions d'ensemble égales à celles qui s'exercent sur le bloc directement frappé par le vent, celui-ci soufflant normalement au plan des joints.

#### **2,165 files accolées de blocs accolés à toiture unique ou multiple**

Les actions d'ensemble sont déterminées selon la règle III-2,161 ou 2,162.

Tous les blocs se succédant dans la direction du vent doivent être considérés comme fermés et isolés et vérifiés pour résister à des actions d'ensemble égales à celles qui s'exercent sur le bloc directement frappé par le vent, celui-ci soufflant normalement à chacune des deux directions des plans des joints.

#### **2,2 constructions prismatiques à base rectangulaire éloignées du sol**

Les règles III-2,1 restent applicables avec les adaptations précisées ci-après.

## COMMENTAIRE

Commentaire Les Règles supposent la construction éloignée de toute paroi de grandes dimensions. Elles ne seraient plus applicables à une construction éloignée du sol mais adossée à une paroi de grandes dimensions, cas pour lequel il n'a pas été effectué d'essais systématiques.

#### **2,21 caractéristiques**

Ce sont celles fixées en R-III-2,11 mais les quatre parois verticales reposent par l'intermédiaire de poteaux sur le sol dont elles sont éloignées d'une distance  $e$ .

## COMMENTAIRE

### Commentaires

- Le cas où  $e < h$  est celui qui se présente généralement en pratique. Il y correspond un coefficient  $\gamma_e$ .
- Dans le cas où  $e$  est égal ou supérieur à  $h$ , le coefficient est appelé  $\gamma_h$ . Il est constant, sauf exception (R-III-2,222).



**Figure C-III-32 -**  $h$  représente la hauteur totale de la construction, toiture comprise.

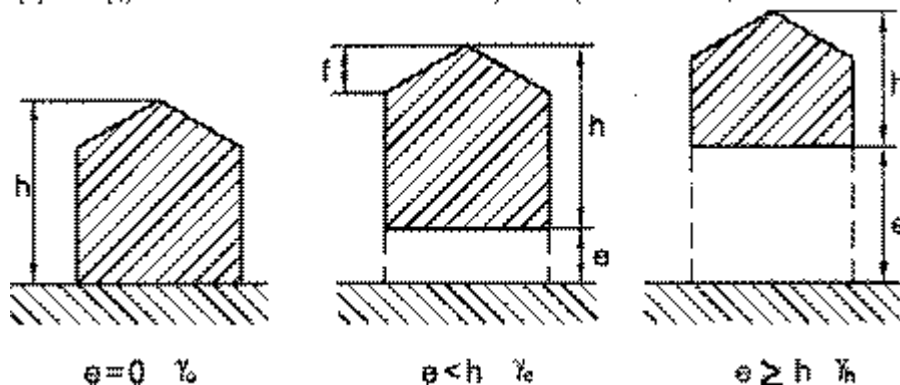


Figure C-III-32

## 2,22 coefficients $\gamma_h$ et $\gamma_e$

Les coefficients  $\gamma_h$  et  $\gamma_e$  (C-III-1,321) sont fonction du rapport de dimensions  $\gamma$  de la face considérée (R-III-2,03).

### COMMENTAIRE

Commentaire Les coefficients  $\gamma_h$  et  $\gamma_e$  jouent un rôle identique à celui joué par le coefficient  $\gamma_0$  dans le cas des constructions reposant sur le sol.

### 2,221 constructions pour lesquelles

$\lambda_a \leq 1$  et  $\lambda_b \geq 2,5$  ou  $\lambda_a > 1$  et  $\lambda_b > 1$

Pour chacune des faces le coefficient  $\gamma_e$  est déterminé par la formule : où le coefficient  $\gamma_0$  est celui de la construction reposant sur le sol, et le coefficient  $\gamma_h$  celui de la même construction éloignée du sol d'une valeur  $e \geq h$  (lequel  $\gamma_h$  est égal à celui de la construction de même base et de hauteur moitié reposant sur le sol).

$$\gamma_e = \gamma_0 - \frac{e}{h} (\gamma_0 - \gamma_h)$$

Ces coefficients sont lus sur le diagramme de la figure R-III-5.

### COMMENTAIRE

#### Commentaires

- La notion d'élancement aérodynamique présentant des difficultés d'interprétation, la Commission a jugé préférable de lui substituer la notion de rapport de dimensions  $\lambda$  (R-III-2,03).

Les rapports de dimensions  $\lambda_a$  et  $\lambda_b$  mentionnés en R-III-2,12 sur la figure R-III-5 ont trait au cas d'une construction reposant sur le sol. On en déduit la valeur de  $\gamma_0$ . Si la base de la construction est éloignée du sol d'une distance  $e \geq h$ , les valeurs des rapports  $\lambda_a$  et  $\lambda_b$  à prendre en compte sont calculées comme si la hauteur  $h$  était divisée par deux. On en déduit la valeur de  $\gamma_h$ .

- Lorsque  $e$  varie de 0 à  $h$ ,  $\gamma_e$  est compris entre  $\gamma_0$  et  $\gamma_h$ . Pour simplifier les calculs, on admet que la variation de  $\gamma_e$  est linéaire en fonction de  $e/h$ . Le tableau 10 (page suivante) donne les valeurs de l'expression  $e/h (\gamma_0 - \gamma_h)$ . **Tableau 10**

$\gamma_0 - \gamma_h$	$e/h$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,01		0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010
0,02		0,002	0,004	0,006	0,008	0,010	0,012	0,014	0,016	0,018	0,020
0,03		0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,021	0,024	0,027	0,030
0,04		0,004	0,008	0,012	0,016	0,020	0,024	0,028	0,032	0,036	0,040
0,05		0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050
0,06		0,006	0,012	0,018	0,024	0,030	0,036	0,042	0,048	0,054	0,060
0,07		0,007	0,014	0,021	0,028	0,035	0,042	0,049	0,056	0,063	0,070
0,08		0,008	0,016	0,024	0,032	0,040	0,048	0,056	0,064	0,072	0,080
0,09		0,009	0,018	0,027	0,036	0,045	0,054	0,063	0,072	0,081	0,090
0,10		0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	0,060	0,070	0,080	0,090	0,100
0,11		0,011	0,022	0,033	0,044	0,055	0,066	0,077	0,088	0,099	0,110
0,12		0,012	0,024	0,036	0,048	0,060	0,072	0,084	0,096	0,108	0,120
0,13		0,013	0,026	0,039	0,052	0,065	0,078	0,091	0,104	0,117	0,130
0,14		0,014	0,028	0,042	0,056	0,070	0,084	0,098	0,112	0,126	0,140
0,15		0,015	0,030	0,045	0,060	0,075	0,090	0,105	0,120	0,135	0,150
0,16		0,016	0,032	0,048	0,064	0,080	0,096	0,112	0,128	0,144	0,160
0,17		0,017	0,034	0,051	0,068	0,085	0,102	0,119	0,136	0,153	0,170
0,18		0,018	0,036	0,054	0,072	0,090	0,108	0,126	0,144	0,162	0,180
0,19		0,019	0,038	0,057	0,076	0,095	0,114	0,133	0,152	0,171	0,190
0,20		0,020	0,040	0,060	0,080	0,100	0,120	0,140	0,160	0,180	0,200

Tableau 10

## 2,222 constructions pour lesquelles $\lambda_a \leq 1$ et $\lambda_b < 2,5$

Pour un vent normal à la face  $S_a$ , le coefficient  $\gamma_e$  (qui correspond au cas où  $e < h$ ) est lu sur le diagramme de la figure R-III-8, en fonction de  $\lambda_b$  et du rapport  $ae/h^2$ . Le coefficient  $\gamma_h$  (qui correspond au cas où  $e \geq h$ ) est lu sur le même diagramme, en fonction de  $\lambda_b$  et du rapport  $a/h$ .

Pour un vent normal à la face  $S_b$ , les coefficients  $\gamma_h$  ou  $\gamma_e$  sont égaux au coefficient  $\gamma_0$  de la construction reposant sur le sol.

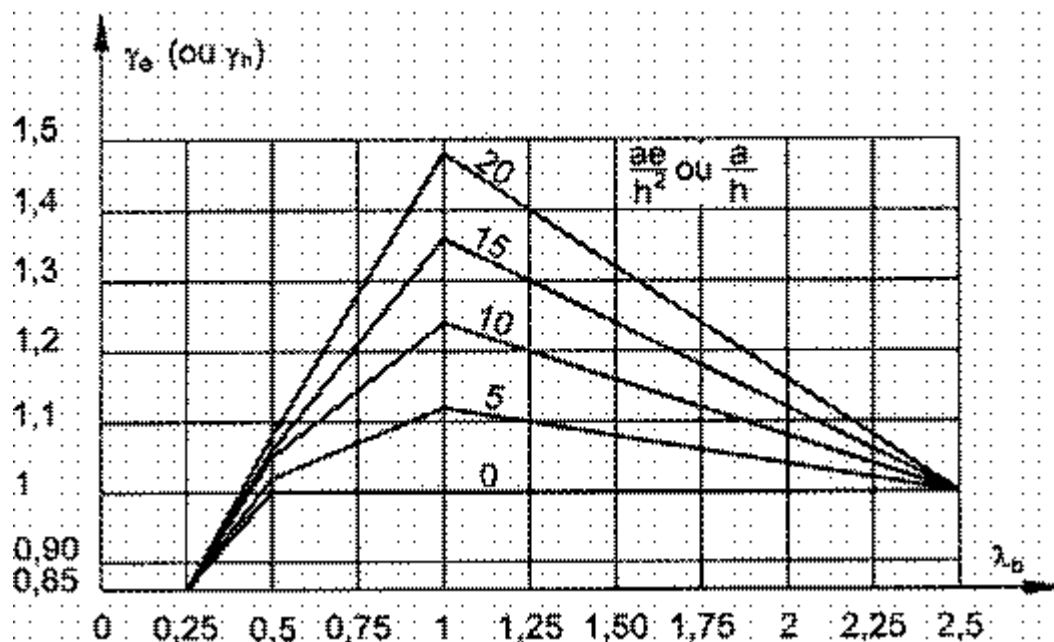


Figure R-III-8 constructions prismatiques à base quadrangulaire éloignées du sol.  $\lambda_a \leq 1$  et  $\lambda_b < 2,5$ . Vent normal à  $S_a$ .

#### COMMENTAIRE

Commentaire Une construction est dite aérodynamiquement allongée si  $\gamma_a$  est très petit. Lorsqu'une telle construction est éloignée du sol d'une distance suffisamment grande au moins égale à  $a$ , elle se comporte pour le vent normal à la face  $S_a$  comme une construction élancée dont la hauteur serait  $a$  et la largeur  $h$ , ce qui explique pourquoi  $\gamma_h$  (pour  $e = a$ , par exemple) est supérieur à  $\gamma_o$ . Lorsque cette même construction est éloignée du sol d'une distance  $e$  voisine de  $h$ , des essais ont montré que le coefficient  $\gamma_h$  passait par une valeur maximale (pour  $e = h$ ) supérieure à  $\gamma_h$  (pour  $e = a$ ). Le diagramme de la figure R-III-8 qui découle uniquement de valeurs déterminées expérimentalement, traduit ce phénomène.

#### 2,223 constructions comprises entre deux plans parallèles de grandes dimensions (immeubles ou murs)

Le coefficient  $\gamma$  est pris égal au coefficient  $\gamma_o$  dont la base serait l'une des faces  $ab$  en contact avec les plans parallèles, la hauteur  $h$  la distance entre les plans parallèles et le rapport de dimensions  $\lambda_a$  ou  $\lambda_b = 10$ .

#### COMMENTAIRE

Commentaire

C'est le cas d'une construction formant passerelle entre deux autres constructions. Le rapport de dimensions  $\lambda$  de la face verticale d'une telle construction devrait être considéré comme infini ; on se contente de prendre sur le diagramme de la figure R-III-5 les coefficients correspondants à  $\lambda = 10$  en considérant comme base  $ba$ .

#### Figure C-III-33

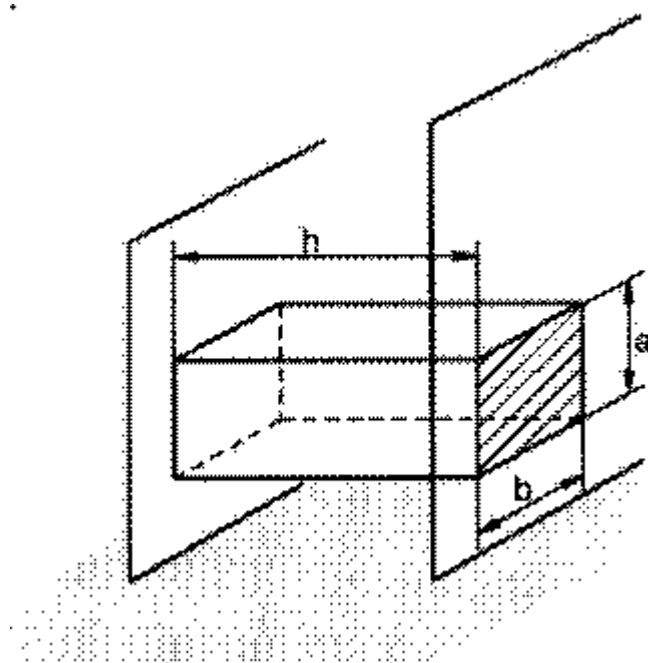


Figure C-III-33

## 2,23 actions extérieures moyennes

- Faces verticales et toiture.  
Elle sont déterminées par les formules et diagrammes de la règle III-2,131 où le coefficient  $\gamma_o$  est remplacé par le coefficient  $\gamma_h$  ou par le coefficient  $\gamma_e$ .
- Face inférieure.  
Dans tous les cas, on prend  $c_e = -0,8$ , à l'exception de la construction comprise entre deux plans parallèles (R-III-2,223) pour laquelle on prend :  
 $c_e = -(1,3 \gamma_e - 0,8)$  (R-III-2,131 1).

### COMMENTAIRE

#### Commentaire

La succion existant sur la face inférieure se cumule le cas échéant avec la surpression intérieure.

## 2,24 actions intérieures

Elle sont déterminées par les formules de la règle III-2,14 où le coefficient  $\gamma_o$  est remplacé par le coefficient  $\gamma_h$  ou par le coefficient  $\gamma_e$ .

## 2,3 constructions prismatiques à base quadrangulaire ou assimilées, de caractéristiques spéciales, reposant ou non sur le sol

On applique les règles énoncées en R-III-2,1 et 2,2, sous réserve des points particuliers précisés ci-dessous.

Dans chaque cas particulier la direction du vent à considérer est celle qui donne soit les actions maximales sur les parois, soit les actions d'ensemble maximales sur les plans de contreventement éventuels.

## 2,31 constructions ayant deux façades parallèles

### 2,311 caractéristiques

Leur forme générale en plan est un trapèze ou un parallélogramme, deux côtés consécutifs formant toujours un angle supérieur à  $75^\circ$  et inférieur à  $105^\circ$ .

### 2,312 coefficient $\gamma_o$

Il est lu sur le diagramme de la figure R-III-5 en fonction du rapport de dimensions  $\lambda$  (R-III-2,03) et du rapport  $b/a$  des côtés du rectangle de surface égale à la surface de base de la construction, l'une des dimensions  $a$  ou  $b$  de ce rectangle étant la distance entre les faces parallèles de la construction.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Exemples de détermination du rapport  $b/a$  (Figure C-III-34)

**Figure C-III-34**

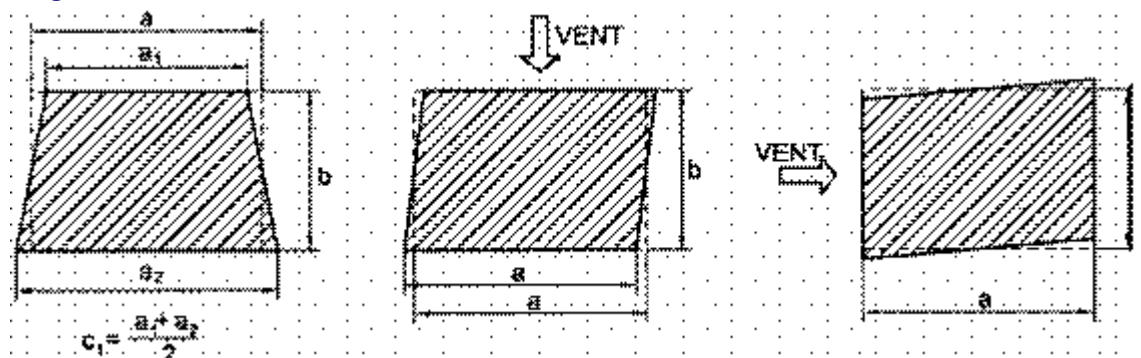


Figure C-III-34

#### 2,32 constructions à base quadrangulaire dissymétrique

##### 2,321 caractéristiques

Aucun angle ne doit être inférieur à  $45^\circ$  ni supérieur à  $135^\circ$ .

##### 2,322 coefficient $\gamma_0$

Il est lu sur le diagramme de la figure R-III-5 en fonction du rapport de dimensions  $\gamma$  (R-III-2,03) et d'un rapport supposé égal à 1.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

L'emploi d'un rapport  $b/a = 1$  est défavorable dans la presque totalité des cas.

#### 2,33 constructions à base rectangulaire dont une des façades est remplacée par une surface courbe symétrique convexe ou concave (de flèche relative inférieure à 0,20)

Le coefficient  $\gamma_0$  relatif à l'une des façades est lu sur le diagramme de la figure R-III-5 en fonction du rapport de dimensions  $\lambda$  correspondant à cette façade et du rapport  $b/a$  du rectangle circonscrit.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

**Figure C-III-35**

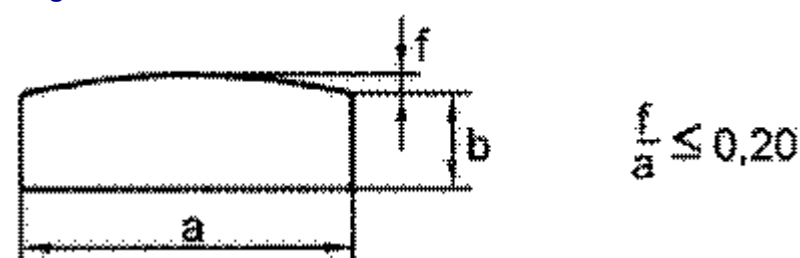


Figure C-III-35

#### 2,33 bis constructions à façades parallèles présentant des décrochements en plan

Le coefficient  $\gamma_0$  relatif à l'une des façades est lu sur le diagramme de la figure R-III-5 en fonction du rapport de dimensions correspondant à cette façade et du rapport  $b/a$  équivalent (l'une des dimensions étant la dimension normale au vent du rectangle circonscrit et l'autre le quotient par cette valeur de la surface en plan).

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

**Figure C-III-35 bis Exemple de détermination du rapport  $b/a$ .**

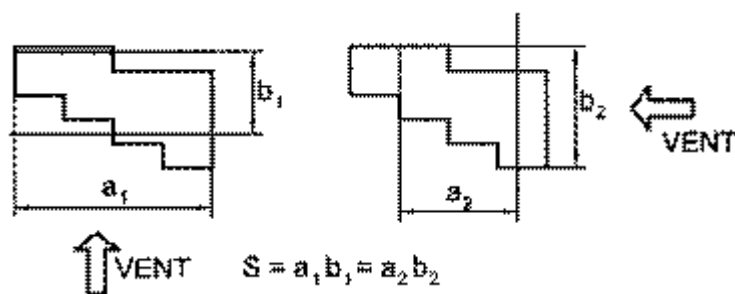


Figure C-III-35 bis Exemple de détermination du rapport  $b/a$ .

#### **2,34 constructions à façades parallèles de grande longueur en ligne brisée ou courbe**

Ces constructions sont considérées comme une extension des blocs accolés (R-III-2,163) et on leur applique des règles semblables. Chaque bloc compris entre deux joints de dilatation est calculé isolément selon les règles suivantes :

- pour le vent normal aux façades, les coefficients  $c$  sont ceux d'une construction de rapport de dimensions  $\lambda_a$  infiniment petit ;
- pour le vent normal aux plans des joints, les coefficients sont ceux du bloc directement frappé par le vent et les actions d'ensemble celles définies en R-III-2,161.

#### **2,35 constructions à façades parallèles présentant un décrochement en élévation**

##### **2,351 caractéristiques**

La partie haute du bâtiment comporte un faîtage régnant horizontalement sur au moins la moitié de la dimension parallèle à ce faîtage.

##### **2,352 coefficient $\gamma_0$**

Il est lu sur le diagramme de la figure R-III-5 en fonction du rapport  $b/a$  de la construction et d'un rapport de dimensions  $\lambda$  fonction de la hauteur totale.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

**Figure C-III-35 ter exemple de détermination de la hauteur  $h$  d'une construction à décrochements.** Si la partie haute du bâtiment est plus réduite en plan, chaque cas est un cas particulier et il est plus difficile de donner des règles.

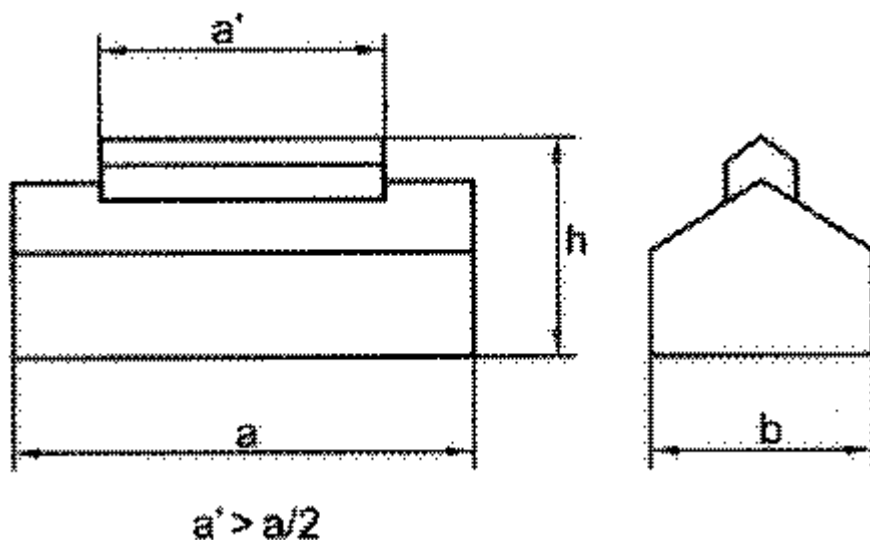


Figure C-III-35 ter exemple de détermination de la hauteur  $h$  d'une construction à décrochements.

## 2,4 constructions à décrochements

### 2,41 décrochements en élévation

Pour une direction du vent normale aux parties verticales des décrochements, les parties horizontales sont soumises aux mêmes actions extérieures que les parties verticales sur une longueur égale à la hauteur du décrochement supérieur. Le raccordement avec la dépression se fait s'il y a lieu sur une longueur égale à la demi-hauteur.

Pour une direction du vent parallèle aux parties verticales des décrochements, les surfaces horizontales doivent être calculées avec la valeur  $c_e$  lue sur le diagramme de la figure R-III-6 pour  $\alpha = 0$ , et les surfaces verticales avec une valeur de  $c_e = - (1,3 \gamma_o - 0,8)$ .

### 2,42 décrochements en plan

Pour les deux directions du vent envisagées dans les Règles, le côté sous le vent de chaque angle rentrant est soumis à la pression s'exerçant sur le côté au vent sur une longueur égale à celle de ce dernier côté. Le raccordement avec la dépression se fait, s'il y a lieu, sur la demi-longueur précédente.

## COMMENTAIRE

### Commentaire

Les figures C-III-36 et 37 donnent une application des règles 2,41 et 2,42 pour  $\gamma = 1$ .

**Figure C-III-36 décrochements en élévation. Figure C-III-37 décrochement en plan.**

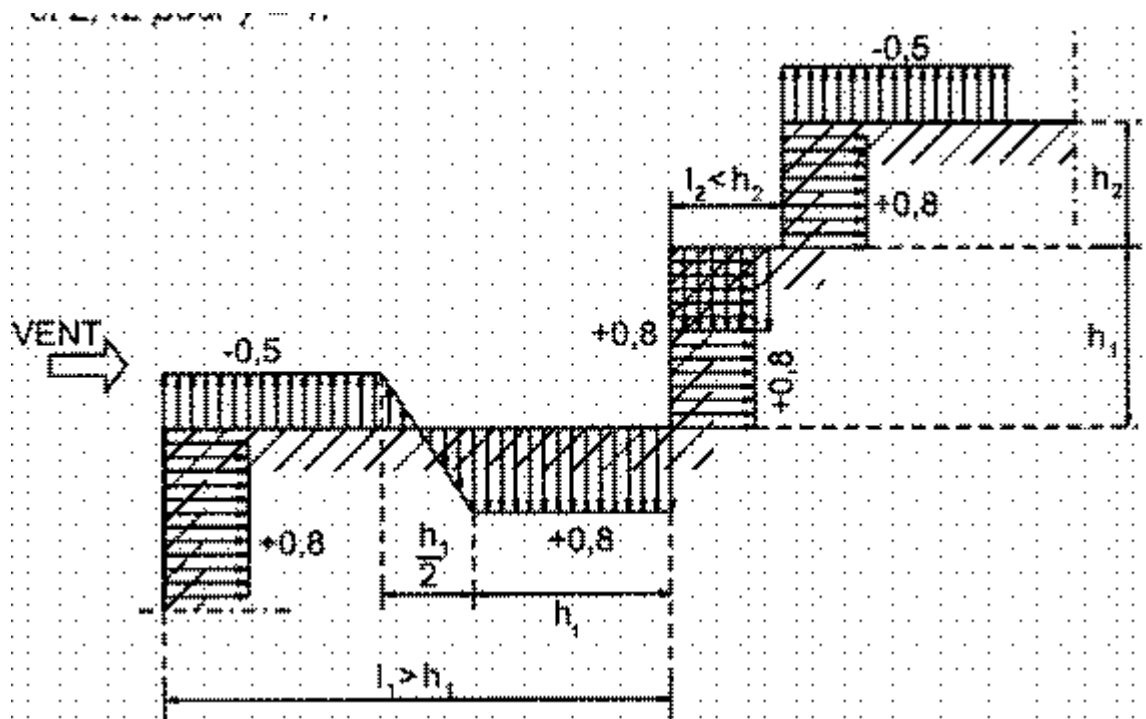


Figure C-III-36 décrochements en élévation.

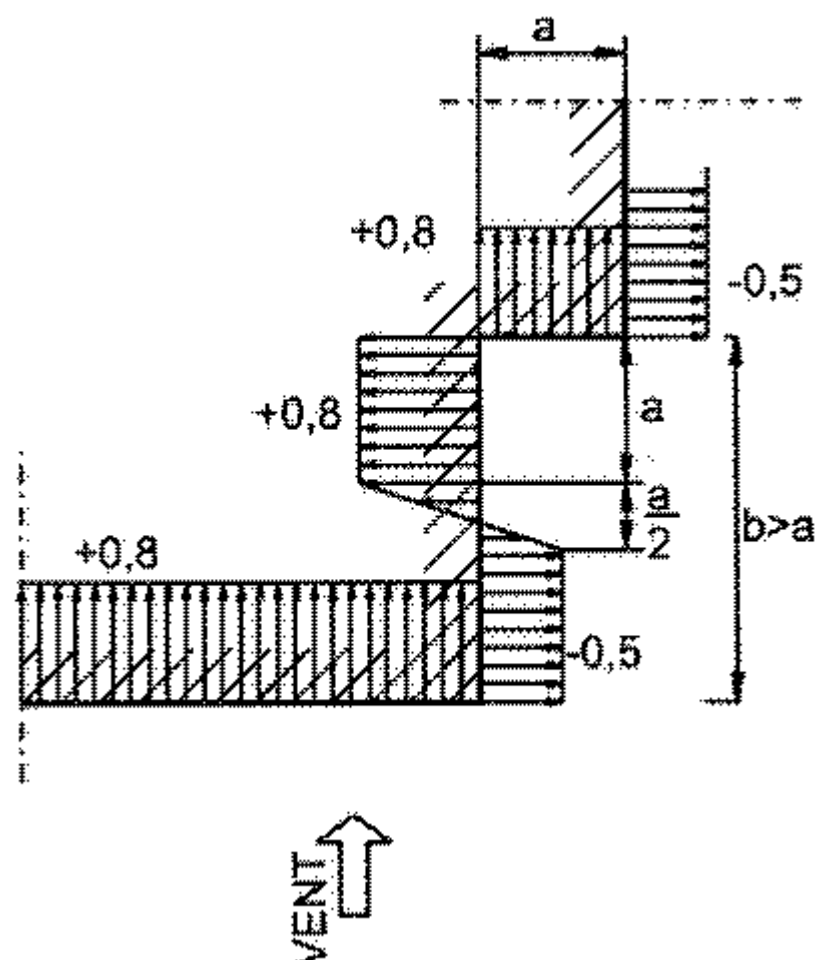


Figure C-III-37 décrochement en plan.



## 2,9 constructions courantes à base rectangulaire méthode simplifiée

Dans le cas où les constructions prismatiques à base rectangulaire présenteraient les caractéristiques définies en R-III-2,91, les règles simplifiées ci-après peuvent être appliquées.

### COMMENTAIRE

#### Commentaire

Les Règles simplifiées concernent plus spécialement les bâtiments à usage d'habitation ou de bureaux, constitués par des blocs parallélépipédiques composés en principe d'étages identiques, de hauteur normale, avec murs et cloisons en maçonnerie. Elles peuvent être étendues (III-2,923) à des bâtiments à usage industriel ne présentant que certaines des caractéristiques précitées.

Les simplifications ne devant pas conduire à des résultats inférieurs à ceux découlant des Règles générales, ces Règles simplifiées constituent une enveloppe défavorable. Chacun de ces deux ensembles de Règles - simplifiées ou générales - forme un tout et, sous aucun prétexte, ils ne peuvent être combinés.

### 2,91 caractéristiques

- La construction est constituée par un bloc unique, ou des blocs accolés à toiture unique.
- La base au niveau du sol est un rectangle de longueur  $a$  et de largeur  $b$ .
- La hauteur  $h$ , différence entre le niveau de la base de la construction et le niveau de la crête de la toiture, est inférieure ou égale à 30 m.
- Les dimensions doivent obligatoirement respecter les conditions suivantes :

$$\frac{h}{a} \geq 0,25$$

$$\frac{h}{a} \leq 2,5 \quad \text{avec la condition supplémentaire}$$

$$\frac{b}{a} \leq 0,4 \quad \text{si} \quad \frac{h}{b} > 2,5$$

$$f \leq \frac{h}{2} \quad \text{pour les toitures à deux versants plans}$$

$$\text{et } f \leq \frac{2}{3} h \quad \text{pour les toitures en voûte.}$$

- La couverture est :
  - soit une toiture-terrasse ;
  - soit une toiture unique de hauteur  $f$  à un ou deux versants plans inclinés au plus de  $40^\circ$  sur l'horizontale ;
  - soit une voûte dont le plan tangent à la naissance des directrices de la voûte est incliné au plus de  $40^\circ$  et au moins de  $22^\circ$  sur l'horizontale.

### COMMENTAIRE

#### Commentaire

**Figure C-III-38 1.** La condition donnée pour  $\alpha$  correspond, pour une voûte à directrice parabolique ou en chaînette, à une flèche comprise entre le dixième et le cinquième de la corde  $a$  ou  $b$ .

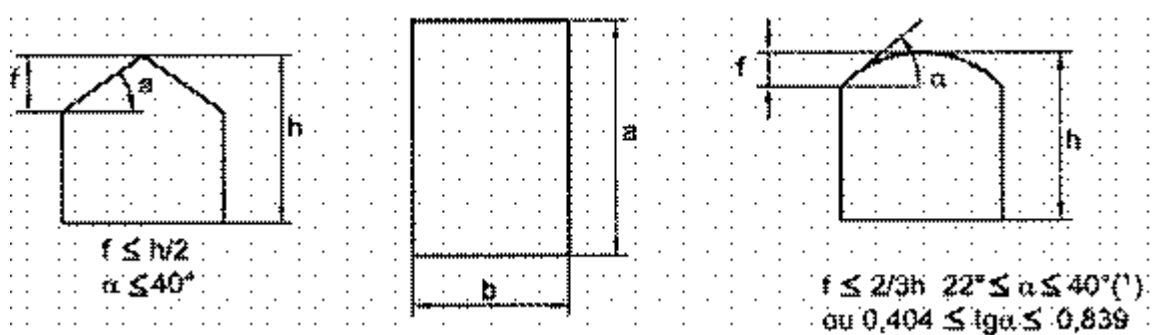


Figure C-III-38

- Les parois verticales doivent :
  - reposer directement sur le sol ;
  - être planes sans décrochements ;
  - présenter une perméabilité  $\mu$  (R-III-1,313) inférieure ou égale à 5 ou pour une seule d'entre elles égale ou supérieure à 35.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

La perméabilité moyenne de 5 % correspond en pratique à la perméabilité des bâtiments d'habitation ; la perméabilité de 35 % correspond à celle d'une paroi de la construction ou d'un compartiment de celle-ci, munie d'une grande baie libre ou de parties ouvrantes pouvant découvrir simultanément plus du tiers de la surface de cette paroi

La construction doit être située sur un terrain sensiblement horizontal dans un grand périmètre (R-III-1,241). **2,92 pressions dynamiques**

#### 2,921 valeurs

Les pressions dynamiques sont constantes sur toute la hauteur de la construction et sont données par la formule :

$$q = (46 + 0,7 h) k_r k_s \text{ daN/m}^2 ;$$

$k_r$  coefficient de zone, ayant pour valeur :

	Pression normale	Pression extrême
Zone 1	1,00	1,75
Zone 2	1,20	2,10
Zone 3	1,50	2,63
Zone 4	1,80	3,15
Zone 5	2,40	4,20

Tableau 11

$k_s$  coefficient de site (R-III-1,242) ayant pour valeur :

	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5
Site protégé	0,80	0,80	0,80	0,80	(1)
Site normal	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Site exposé	1,35	1,30	1,25	1,20	1,20

1. La notion de site protégé n'est pas prise en compte dans cette zone

Tableau 12

### 2,922 réductions

- ° Les pressions dynamiques relatives aux surfaces abritées (R-III-1,243) peuvent être réduites de 25 %.
- ° Les pressions dynamiques déterminées suivant la règle R-III-2,921, doivent être affectées d'un coefficient de réduction  $\delta$  donné par le diagramme de la figure R-III-9, en fonction de la plus grande dimension horizontale ou verticale de la surface offerte au vent (maître-couple R-III-1,13) afférente à l'élément considéré dans le calcul.

Pour les éléments continus, le coefficient  $\delta$  à adopter est celui correspondant à la plus grande dimension de la surface offerte au vent afférente à chaque travée considérée comme librement appuyée. La totalité des réductions (R-III-2,922-1 et 2) ne doit en aucun cas dépasser 33 %, et compte tenu de ces réductions et de l'effet de site, la pression dynamique normale corrigée ne doit jamais descendre au-dessous de 30 daN/m<sup>2</sup> et la pression dynamique extrême corrigée au-dessous de 52,5 daN/m<sup>2</sup>.

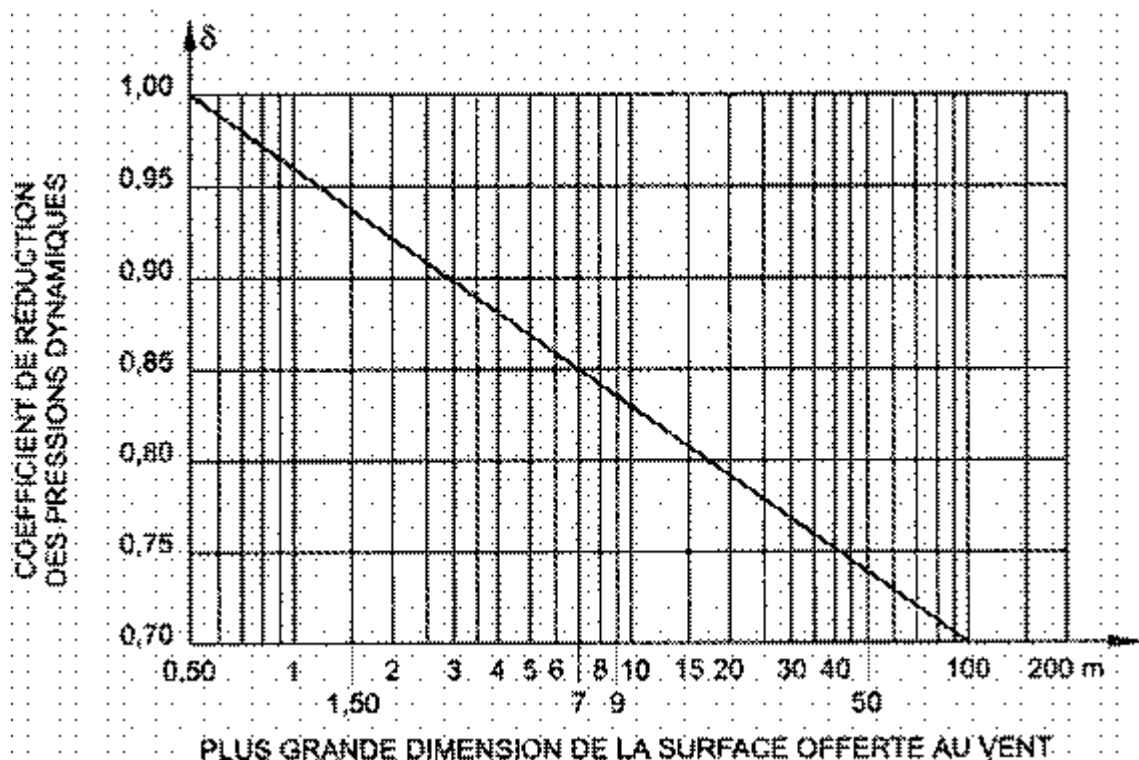


Figure R-III-9 plus grande dimension de la surface offerte au vent coefficient de réduction  $\delta$  des pressions dynamiques pour les grandes surfaces.

### 2,923 majorations

Dans le cas de bâtiments à usage industriel, pour tenir compte de l'effet des actions dynamiques parallèles à la direction du vent, il convient de multiplier les pressions dynamiques servant au calcul de l'action d'ensemble par un coefficient de majoration  $\beta_s$  au moins égal à l'unité, donné par :

T étant la période en secondes du mode fondamental d'oscillation du bâtiment.

	Pression normale	Pression extrême
Ossature en béton armé	$0,7 + 0,3 \sqrt{T}$ sans excéder 1,27	$0,85 (0,7 + 0,3 \sqrt{T})$ sans excéder 1,08
Ossature en acier	$0,5 + 0,5 \sqrt{T}$ sans excéder 1,47	$0,85 (0,5 + 0,5 \sqrt{T})$ sans excéder 1,25

Tableau 13

## 2,93 actions extérieures

La direction du vent étant supposée normale aux parois verticales de la construction, les coefficients à prendre en compte sont les suivants :

### 2,931 actions moyennes

#### 2,931-1 parois verticales

au vent :  $c_e = + 0,8$  ;

sous le vent :  $c_e = - 0,5$ .

#### 2,931-2 toiture

##### 2,931-21 vent normal aux génératrices

$C_e$  désignant le coefficient de pression moyen (versants plans) ou le coefficient de pression ponctuel (voûte) est donné par le tableau 14 où  $\alpha$  désigne l'angle en degrés du versant avec le plan horizontale ou de la tangente à la voûte avec l'horizontale.

	$ \alpha $	Au vent $c_e$	Sous le vent $c_e$
Versants plans	$0^\circ \leq  \alpha  \leq 10^\circ$	$- 2 \left( 0,25 + \frac{ \alpha }{100} \right)$	$1,5 \left( 0,333 - \frac{ \alpha }{100} \right)$
	$10^\circ \leq  \alpha  \leq 40^\circ$	$- 2 \left( 0,45 - \frac{ \alpha }{100} \right)$	$- 0,5 \left( 0,60 + \frac{ \alpha }{100} \right)$
Voûte	$0^\circ \leq  \alpha  \leq 10^\circ$	$1,8 \left( 0,40 + \frac{ \alpha }{100} \right)$	$- 1,8 \left( 0,40 + \frac{ \alpha }{100} \right)$
	$10^\circ \leq  \alpha  \leq 40^\circ$	avec minimum = - 0,8 $- 2 \left( 0,50 - \frac{ \alpha }{100} \right)$	$- 1,8 \left( 0,40 - \frac{ \alpha }{100} \right)$ avec maximum = - 0,27

Tableau 14

## COMMENTAIRE

### Commentaire

**Figure C-III-39 toitures à versants plans ou en voûte. Coefficient  $c_e$ .** Voir aussi commentaire au 2-94.

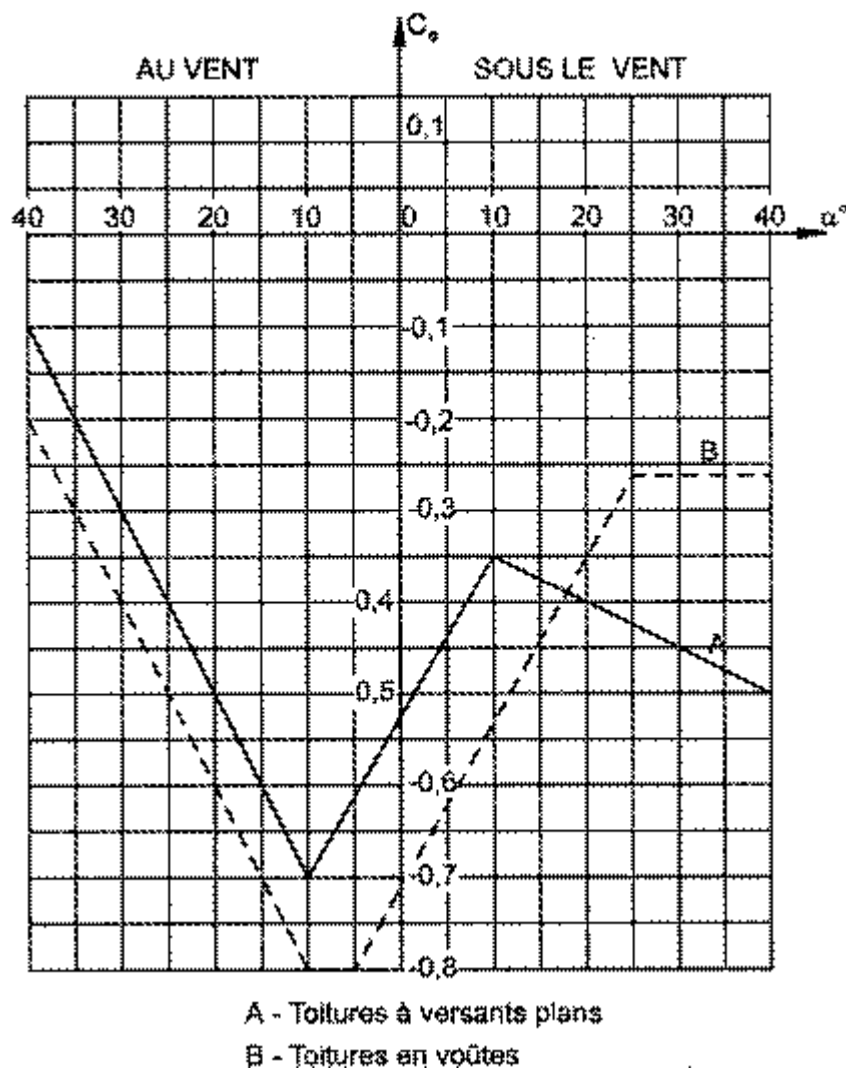


Figure C-III-39 toitures à versants plans ou en voûte. Coefficient  $c_e$ .

### 2,931-22 vent parallèle aux génératrices

On adopte pour  $c_e$  la valeur du tableau 14 correspondant à  $\alpha = 0$  pour les versants plans.

### 2,932 actions locales

Le long des rives de toitures et des arêtes verticales, à partir de la rive ou de l'arête verticale sur une profondeur égale au dixième de la plus petite dimension horizontale  $b$  de la construction :  $c = 2 c_e$  (suction).

Aux angles dans les parties communes des zones précédentes concernant les rives de toiture :  $c = 3 c_e$  (suction).

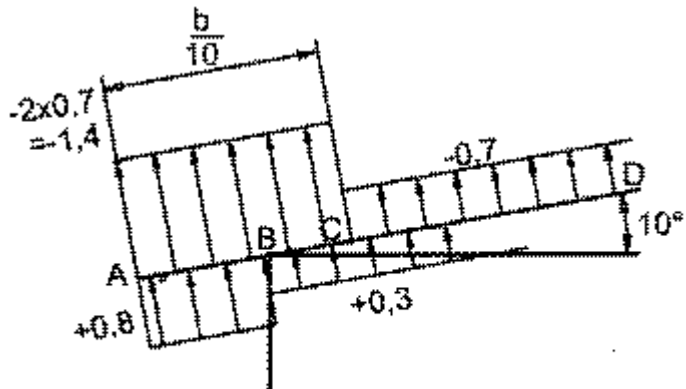
A ces actions locales s'ajoutent soit d'autres actions extérieures telles que les actions moyennes sur les faces inférieures des débords de toiture, soit les actions intérieures, sans que le coefficient résultant puisse dépasser respectivement - 2 ou - 3.

### COMMENTAIRE

#### Commentaire

Ces actions locales ne sont applicables qu'au calcul des éléments de couverture (tuiles, ardoises, plaques), de revêtement ou de zinguerie des constructions et à leurs attaches et appuis dans les zones définies en R-III-1,322.

Figure C-III-40 exemple de limitation du coefficient résultant.



Dans la zone AB coefficient résultant de  $-2,2$  limité à  $-2$ .  
 Dans la zone BC coefficient résultant de  $-1,7$ .  
 Dans la zone CD coefficient résultant de  $-1,0$ .

Figure C-III-40 exemple de limitation du coefficient résultant.

## 2,94 actions intérieures

Constructions fermées :  $c_i = \pm 0,3$

Constructions ouvertes :

ouverture au vent :  $c_i = + 0,8$  ;

ouverture sous le vent :  $c_i = - 0,5$ .

## COMMENTAIRE

Commentaire

Figure C-III-41 exemples d'application.

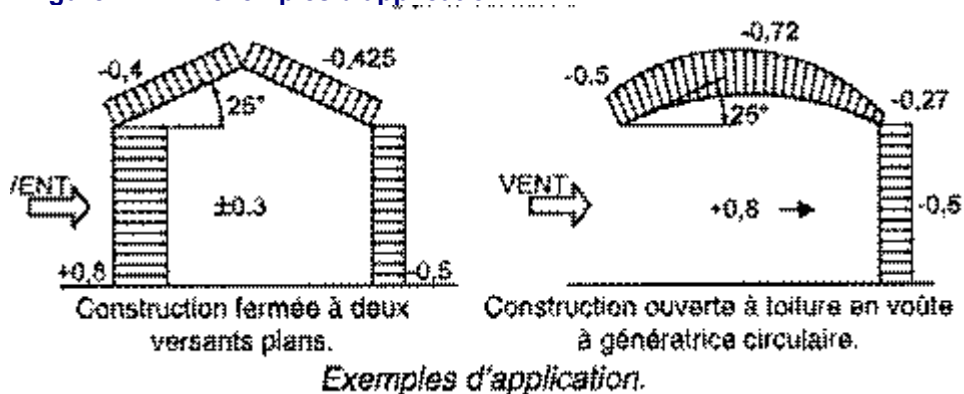


Figure C-III-41 exemples d'application.

## 2,95 actions résultantes unitaires sur les parois et les versants

Elles sont déterminées en combinant de la façon la plus défavorable pour chaque élément, les actions extérieures moyennes et les actions intérieures (R-III-2,931-2,94). Elles sont exprimées par  $(c_e - c_i) q$ .

## COMMENTAIRE

Commentaires

- Par exemple pour les parois verticales, les actions extérieures moyennes combinées aux actions intérieures, donnent comme actions résultantes unitaires :

Constructions fermées :

$$+ 1,1 q$$

$$- 0,8 q$$

Constructions ouvertes :

$$\pm 1,3q$$

- Le vent pouvant tourner autour de la construction, il est possible dans de nombreux cas de se limiter pour les toitures aux seules valeurs maximales des actions sur les versants (par exemple : pour une toiture à  $30^\circ$  appartenant à une construction ouverte, on calcule les deux versants avec une succion  $(- 0,45 - 0,48) q = - 1,25 q$ ). Mais les deux valeurs (versant au vent, versant sous le vent) doivent être envisagées dans les structures (par exemple : fermes triangulées, etc.) pour lesquelles la combinaison d'actions différentes sur les deux versants de la toiture conduirait à des résultats plus défavorables dans certains éléments (treillis de ferme...).

## **2,96 actions d'ensemble**

Elles sont obtenues par la composition géométrique des actions résultantes totales sur les différentes parois de la construction.

Elles sont susceptibles de l'application de la règle III-2,923 relative aux actions dynamiques.

Les actions extérieures locales (R-III-2,932) ne sont pas à retenir pour l'évaluation des actions d'ensemble.

### **COMMENTAIRE**

Commentaire Par exemple, pour une construction à base rectangulaire et à toiture-terrasse, la force de renversement est exprimée par  $T = 1,3 q h$  a (ou b) que la construction soit fermée ou ouverte, et la force de soulèvement centrée est exprimée par :

- constructions fermées  $U = 0,8 q S_u$
- constructions ouvertes  $U = 1,3 q S_u$

$S_u$  étant l'aire de la projection horizontale de la construction. **2,97 blocs accolés en une seule file à toiture unique**

La méthode simplifiée peut être étendue au cas de plusieurs blocs accolés en une seule file à toiture unique sous réserve que l'ensemble des blocs et chaque bloc pris séparément répondent aux conditions énoncées en R-III-2,91.

Indépendamment du calcul d'ensemble, tous les blocs intermédiaires doivent être considérés comme fermés et isolés, et vérifiés pour résister à des actions d'ensemble égales aux 6/10 de celles calculées selon la règle III-2,96, le vent soufflant normalement au plan des joints.

## **3 constructions prismatiques à base polygonale régulière ou circulaire**

### **3,0 prescriptions communes**

#### **3,01 pression dynamique**

La pression dynamique à prendre en compte est définie en R-III-1,2.

#### **3,02 direction du vent**

Pour le calcul des actions d'ensemble, la direction du vent est supposée :

- normale à une face pour les prismes de trois et quatre côtés (R-III-3,1-catégorie I) ;
- normale au maître-couple maximal (dont la largeur d est égale au diamètre du cercle circonscrit, nervures comprises le cas échéant) pour les prismes de plus de quatre côtés et les cylindres (R-III-3,1-catégories II à VI).

Dans le cas des prismes et des cylindres à axe horizontal on doit considérer également l'action du vent soufflant parallèlement aux génératrices.

#### **3,03 rapport de dimensions $\lambda$**

$\lambda$  est le rapport de la hauteur h (toiture comprise) ou de la longueur totale l à la largeur d du maître-

couple défini en R-III-3,02.

$$\lambda = \frac{h \text{ ou } l}{d}$$

Pour les constructions dont le maître-couple n'a pas une largeur constante sur toute la hauteur, et qui peuvent être assimilées aux constructions prismatiques à base polygonale régulière ou circulaire (R-III-3,1),  $\lambda$  est donné par l'expression :

$$\lambda = \frac{h^2 \text{ ou } l^2}{S_t}$$

$S_t$  étant la surface du maître-couple.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Exemples de détermination du rapport  $\lambda$

**Figure C-III-42 Figure C-III-42**

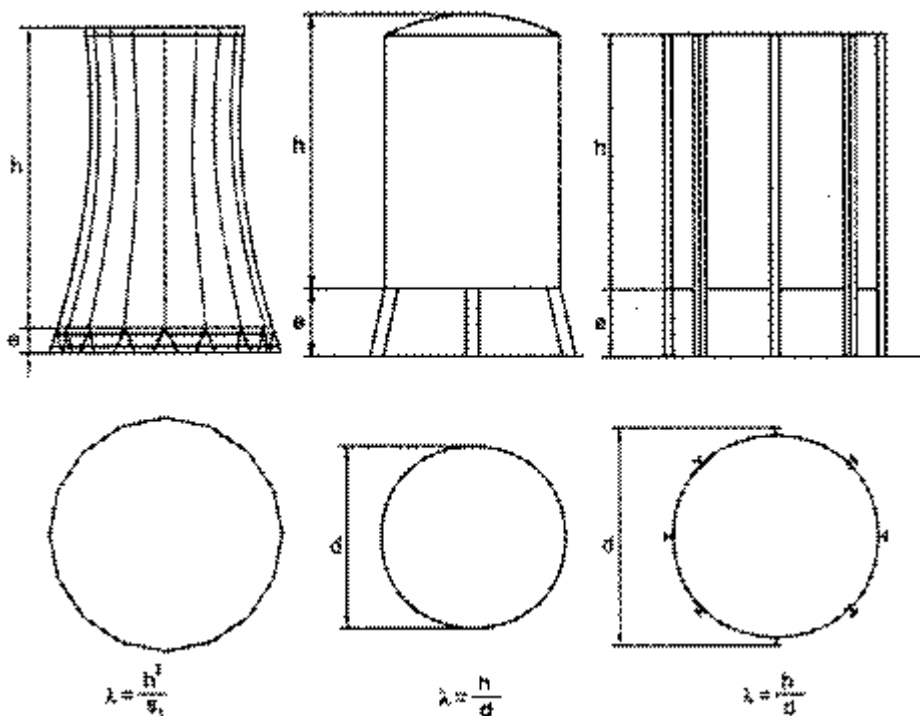


Figure C-III-42



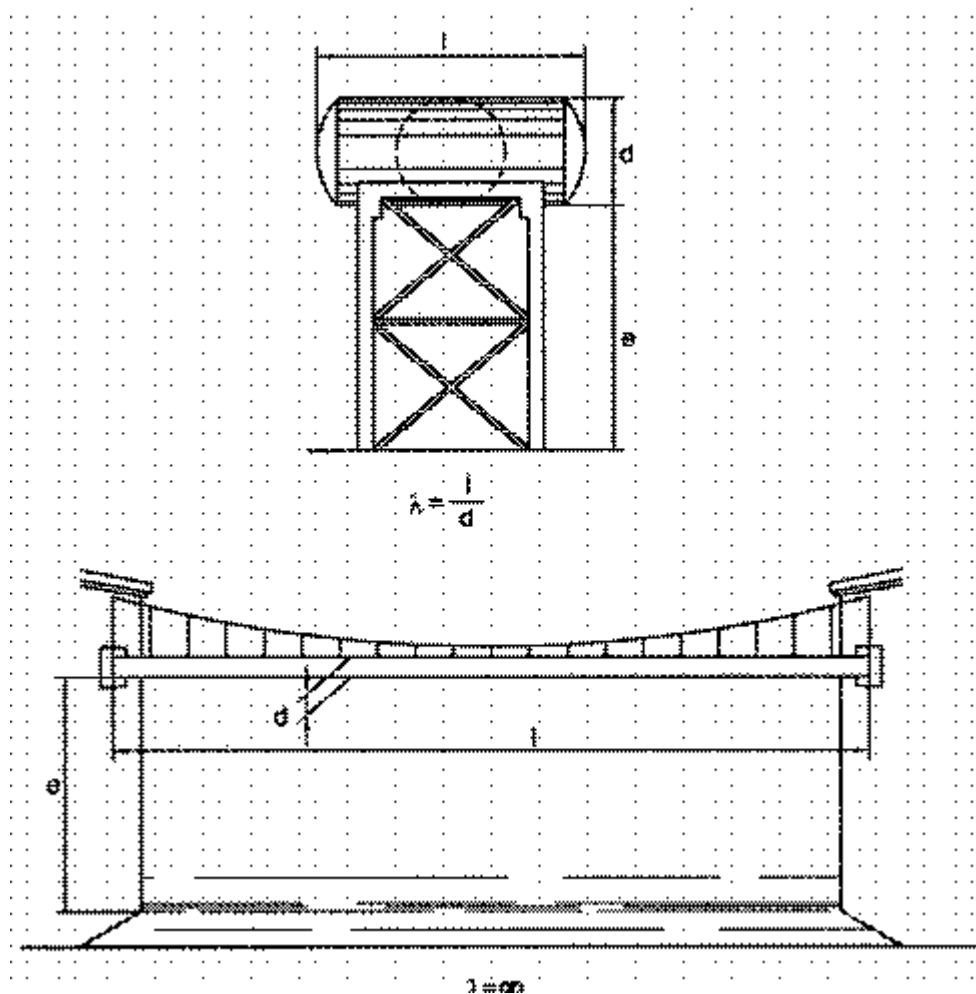


Figure C-III-42

### 3,1 caractéristiques

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

En pratique cet article concerne principalement les cheminées, les réfrigérants, les tours à usage industriel ou à usage d'habitation, les réservoirs horizontaux ou verticaux sur tour ou sur pylône.

Ces constructions ont pour base un polygone régulier ou un cercle.

Elles comprennent les catégories suivants :

- Catégorie I : Prismes de trois ou quatre côtés.
- Catégorie II : Prismes de plus de quatre côtés et de dix côtés au plus avec ou sans nervures arrondies.
- Catégorie III : Prismes de plus de dix côtés et de vingt côtés au plus, avec ou sans nervures arrondies.
- Catégorie IV : Cylindres à base circulaire avec nervures minces ou épaisses à arêtes vives.
- Chapitre V : Prismes de vingt côtés et plus avec ou sans nervures arrondies et cylindres rugueux à base circulaire sans nervure.
- Catégorie VI : Cylindres lisses à base circulaire sans nervure et possédant un poli spéculaire et durable.

## COMMENTAIRE

### Commentaire

Le classement en six catégories découle des résultats des essais aérodynamiques qui ont été effectués ; ce classement est fonction du nombre de côtés et de l'existence ou non de nervures vives ou arrondies. Toutefois, les essais n'ont pu couvrir tous les cas et certains types de prismes et de cylindres ne sont pas envisagés, par exemple les prismes de moins de vingt côtés avec nervures vives et les cylindres à base circulaire avec nervures arrondies.

Les tubes ou les fils cylindriques rugueux et les câbles torsadés sont traités en R-III-6,13.

Peuvent être assimilées les constructions tronconiques ou en forme d'hyperboloïde de révolution, à condition toutefois que l'angle à la base ne soit pas inférieur à 70°.

### 3,2 coefficient global de traînée $c$

Pour un rapport de dimensions quelconque, le coefficient global de traînée a pour valeur  $c_t = \gamma c_{t0}$  ;

- le coefficient  $\gamma$  étant pris égal suivant les cas (R-III-3,3) à  $\gamma_o$ ,  $\gamma_h$  ou  $\gamma_e$  ;
- le coefficient  $c_{t0}$ , coefficient global de traînée pour un rapport de dimensions  $\lambda = 2,5$  (constructions à génératrices verticales reposant sur le sol) et  $\lambda = 5$  (constructions à génératrices verticales éloignées du sol et constructions à génératrices horizontales), étant donné par le tableau VII en fonction de la catégorie à laquelle appartient la construction.

Dans le cas particulier de demi-cylindres (catégories V et VI) ouverts sur toute leur hauteur le coefficient  $c_{t0}$  peut être pris égal à :

- concavité au vent  $c_{t0} = 1,45$  ;
- convexité au vent  $c_{t0} = 0,75$ .

## COMMENTAIRE

### Commentaire

Remarques sur le coefficient  $c_{t0}$

#### a) Prismes à base polygonale régulière.

Les valeurs de  $c_{t0}$  sont fonction du nombre de côtés, de l'existence ou non de nervures, de leur espacement, de leur saillie par rapport au diamètre circonscrit  $d$ , du rapport de cette saillie à la largeur de leur embase, et de leur forme même. Il est impossible d'exprimer  $c_{t0}$  sous une forme simple tenant compte de tous ces facteurs et il a été jugé suffisant de donner les valeurs de  $c_{t0}$  correspondant aux cas rencontrés fréquemment dans la pratique.

#### b) Cylindres à base circulaire.

Le coefficient  $c_{t0}$  dépend :

- de la rugosité de la surface :

La rugosité de la surface est un facteur important en particulier pour les grands diamètres.

Les valeurs données pour la catégorie VI sont relatives aux surfaces particulièrement polies et conservant cette propriété dans le temps, telles que celle de l'acier inoxydable, de l'aluminium ou de la peinture laquée parfaitement entretenue.

- du nombre de Reynolds  $R_e = Vd/\nu$ .

Pour les vitesses du vent  $V$  admises dans les calculs  $R_e$  a une influence considérable sur  $c_{t0}$  : mais la vitesse  $V$  n'étant pas utilisée dans les Règles, le nombre de Reynolds a été transformé en utilisant la formule  $q = V^2/16,3$  (R-III-1,21) de telle sorte que l'expression  $\sqrt{q} = 1,5$  correspond en fait à  $Vd = 6$  et à un nombre de Reynolds de  $4,17 \times 10^5$  avec un coefficient de viscosité cinématique  $\nu = 14,4 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Catégorie	Constructions à base polygonale régulière ou circulaire		Coefficients $c_{to}$
I	Prismes de trois ou quatre côtés		1,30
II	Prismes de plus de quatre côtés et de dix côtés au plus avec ou sans nervures arrondies.	cinq côtés.	1,05
		six côtés.	0,95
		huit côtés.	0,85
		dix côtés.	0,80
III	Prismes de plus de dix côtés et de vingt côtés au plus, avec ou sans nervures arrondies <sup>(1)</sup> (n étant le nombre de côtés).		
		$d \geq 0,28$ $d < 0,28$ et $d \sqrt{q} \geq 1,5$	$1,05 - 0,025 n$  $1,05 - 0,025 n$

Tableau 15

III	$0,5 < d \sqrt{q} < 1,5$ $d \sqrt{q} \leq 0,5$		$0,80 - 0,02 d \sqrt{q}$ $- 0,25 n (n - 10)$ $0,85 - 0,005 n$
IV	Cylindres à base circulaire avec nervures minces ou épaisses à arêtes vives (saillies comprises entre 0,01 d et 0,10 d).		0,75
V	Prismes de vingt côtés et plus, avec ou sans nervures arrondies. Cylindres rugueux à base circulaire sans nervure <sup>(1)</sup>		
		$d \geq 0,28$	0,55
		$d < 0,28$	0,55
		et $d \sqrt{q} \geq 1,5$	
		$0,5 < d \sqrt{q} < 1,5$	$0,85 - 0,20 d \sqrt{q}$
		$d \sqrt{q} \leq 0,5$	0,75
VI	Cylindres à base circulaire sans nervure et possédant un poli spéculaire et durable <sup>(1)</sup> .		
		$d \geq 0,28$	0,45
		$d < 0,28$	0,45
		et $d \sqrt{q} \geq 1,5$	
		$0,5 < d \sqrt{q} < 1,5$	$0,90 - 0,30 d \sqrt{q}$
		$d \sqrt{q} \leq 0,5$	0,75

1. Dans les inégalités d est exprimé en mètres et q en décanewtons par mètre carré.

tableau sans légende dans: 3,2 coefficient global de traînée c

COMMENTAIRE  
Commentaires

- Interpolation. - Les cylindres rugueux et lisses à base circulaire sans nervure (catégories V et VI) admettent une valeur minimale de  $c_{to}$  lorsque  $d \sqrt{q} \geq 1,5$  ; or on est assuré d'avoir  $d \sqrt{q} \geq 1,5$  quel que soit  $q$ , dès que  $d \geq 0,28$  m : c'est le cas courant des constructions cylindriques (cheminées, réfrigérants, tours...).
- Par contre lorsque  $d$  est inférieur à 0,28 m, on doit vérifier la valeur de  $d \sqrt{q}$ . Lorsque  $d \sqrt{q} \geq 0,5$ , la valeur de  $c_{to}$  est directement donnée par le tableau ( $c_{to} = 0,75$ ) ; lorsque  $0,5 < d \sqrt{q} < 1,5$ , on interpole linéairement entre les valeurs extrêmes de  $c_{to}$  en fonction de  $d \sqrt{q}$  ; mais les pressions dynamiques normales  $q$  ne pouvant varier qu'entre 30 et 170 daN/m<sup>2</sup>, et les pressions dynamiques extrêmes entre 52,5 et 297,5 daN/m<sup>2</sup> (R-III-1,246), les cas où il faut interpoler sont relativement peu fréquents ; on est assuré d'avoir à adopter les coefficients du tableau 16 lorsque  $d$  a les valeurs suivantes.

**Tableau 16** - Les prismes et cylindres reposant sur une paroi de grandes dimensions normale à leurs génératrices (cheminée reposant sur une toiture-terrasse) sont soumis aux mêmes règles que les prismes et cylindres à génératrices verticales reposant sur le sol

Pression dynamique	$c_{to}$ maximal (0,75)	$c_{to}$ minimal (0,55 ou 0,45)
30 daN/m <sup>2</sup>	$d \leq 0,09$ m	$d = 0,28$ m
52,5 daN/m <sup>2</sup>	$d \leq 0,06$ m	$d \geq 0,21$ m
100 daN/m <sup>2</sup>	$d \leq 0,05$ m	$d \geq 0,15$ m
170 daN/m <sup>2</sup>	$d \leq 0,03$ m	$d \geq 0,12$ m
297,5 daN/m <sup>2</sup>	$d \leq 0,02$ m	$d \geq 0,09$ m

Tableau 16

### 3,3 coefficients $\gamma$

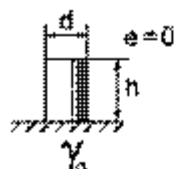
**3,31 prismes et cylindres à génératrices verticales reposant sur le sol ( $\gamma_o$ ), ou éloignés du sol d'une distance  $e \geq h$  ( $\gamma_h$ ) prismes et cylindres à génératrices horizontales reposant ou non sur le sol ( $\gamma_h$ )**

Les coefficients  $\gamma_o$  et  $\gamma_h$  sont lus sur l'échelle fonctionnelle (fig. R-III-10) en fonction du rapport de dimensions  $\lambda$ .

Pour les prismes relevant de la catégorie III,  $\gamma_o$  ou  $\gamma_h$  est obtenu par interpolation linéaire en fonction du nombre  $n$  de côtés entre les coefficients correspondant à  $n = 10$  (catégorie II) et ceux correspondant à  $n = 20$  (catégorie V).

# PRISMES ET CYLINDRES

à génératrices  
verticales  
en contact  
avec le sol.



à génératrices  
verticales  
éloignées  
du sol.



à génératrices  
horizontales  
éloignées  
ou non  
du sol.



CATÉGORIES		$\lambda$	CATÉGORIES	
I II et IV	V et VI		I II et IV	V et VI
1,54	1,33	∞	1,54	1,33
1,53	1,30	50	1,50	1,30
1,52		40	1,45	1,25
1,51		30	1,40	1,20
1,50		25		
	1,25	20	1,30	1,15
1,45		19		
		18		
		17		
1,40		16	1,20	1,10
	1,20	15		
		14		
		13		
1,35		12		
		11		
1,30	1,15	10	1,10	1,05
		9		1,04
1,25		8		1,03
		7	1,05	1,02
1,20	1,10	6		1,01
		5		1,00
1,15			1,00	1,00
1,10	1,05	4		
		3		
1,05		2,5	0,95	0,95
1,00	1,00	2	0,90	0,90
		1,5		
0,95	0,95		0,90	0,90
		1,0		
0,90	0,90	< 1,0		
0,90	0,90			

Figure R-III-10 constructions prismatiques à base polygonale régulière ou circulaire. Coefficients  $\gamma_o$  ou  $\gamma_h$ .

## COMMENTAIRE

### Commentaires

- Des essais ont montré que pour les prismes et cylindres à génératrices horizontales, l'influence du sol était négligeable en ce qui concerne la valeur du coefficient  $\gamma$ . Il n'en est plus de même pour la répartition des pressions le long d'une section diamétrale (R-III-2,411 3).
- Dans le cas des prismes et cylindres à génératrices verticales en contact avec le sol et pour les catégories V et VI, les valeurs de  $\gamma_o$  indiquées ci-contre, entre 1 et 1,05, sont respectivement égales à :  
1,005 1,01 1,02 1,03 et 1,04.

### 3,32 prismes et cylindres à génératrices verticales éloignés du sol d'une distance $e < h$

Le coefficient  $\gamma_e$  tenant compte de la distance au sol  $e$ , est donné par la formule :

$$\gamma_e = \gamma_o - \frac{e}{h} (\gamma_o - \gamma_h)$$

### 3,4 actions extérieures

#### 3,41 actions moyennes

##### 3,411 parois

##### 3,411-1

Prismes de trois et quatre côtés (catégorie I) à génératrices verticales et éloignés ou non du sol ou à génératrices horizontales et éloignés du sol d'une distance  $e \geq d$ .

C'est l'action normale à une face qui donne les plus grands efforts.

Elle est déterminée avec :

$c_e = + 0,8$  pour la face au vent ;

$c_e = - (1,3 \gamma - 0,8)$  pour les faces sous le vent.

## COMMENTAIRE

### Commentaires

- Dans le cas d'une construction en treillis complètement bardée, il peut arriver que l'effort maximal dans les barres ne soit pas donné par le vent normal à une face.
- A titre indicatif, pour une direction quelconque du vent, le coefficient de pression  $c_e$  pour les différentes faces d'un prisme à base carrée, dans une section diamétrale, est donné par le diagramme de la figure C-III-43 pour trois valeurs du coefficient  $\gamma$  (fig. R-III-5)  $\gamma = 0,85$ ,  $\gamma = 1$  et  $\gamma = 1,5$ , en fonction de l'angle d'inclinaison  $\alpha$  de la face considérée sur la direction du vent. L'action  $p_r = c_e q$  est normale à la surface quelle que soit l'orientation du vent.

Pour  $\gamma$  compris entre 0,85 et 1 ou entre 1 et 1,5 on procède par interpolation linéaire en fonction de  $\gamma$ .

- Etabli pour une construction à base carrée, le diagramme (figure C-III-43) ne donne que des valeurs approchées pour une construction à base triangulaire.

**Figure C-III-43 prismes à base carrée. Courbes donnant le coefficient  $c_e$  en fonction de l'angle d'attaque du vent sur une face.**

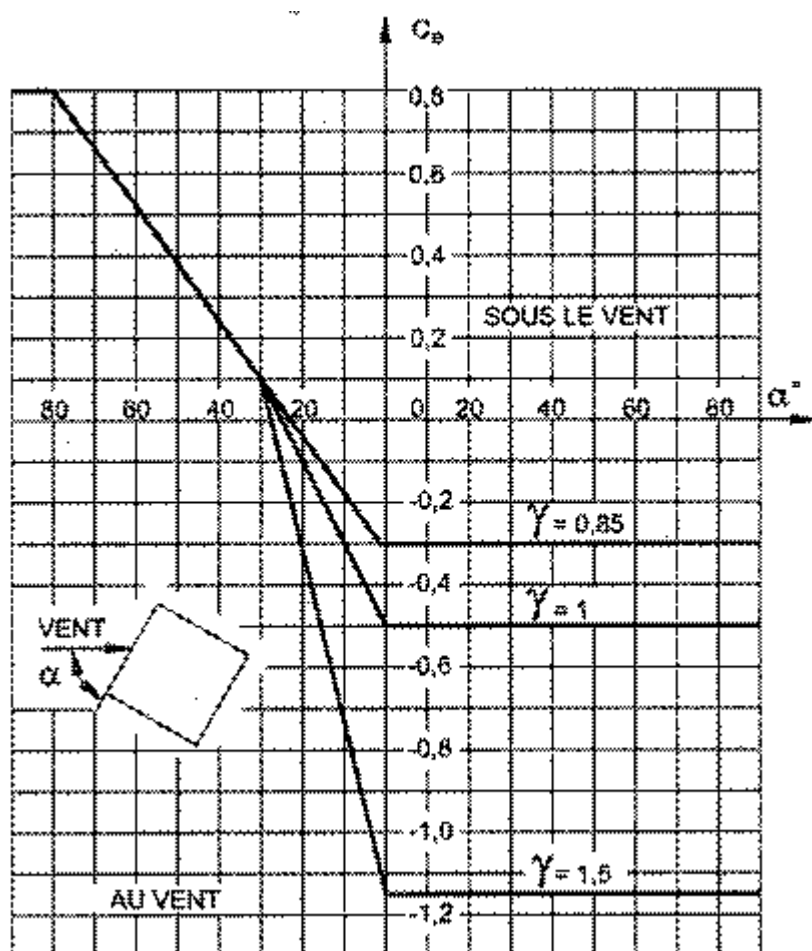


Figure C-III-43 prismes à base carrée. Courbes donnant le coefficient  $c_e$  en fonction de l'angle d'attaque du vent sur une face.

### 3.411-2

Prismes de plus de quatre côtés (catégories II, III et V) et cylindres (catégories IV, V et VI) à génératrices verticales et éloignés ou non du sol ou à génératrices horizontales et éloignés du sol d'une distance  $e \geq d$ .

Le coefficient de pression  $c_e$  à prendre en compte dans une section diamétrale est donné par les diagrammes de la figure R-III-11 en fonction du coefficient  $\gamma$  et de l'angle d'inclinaison  $\alpha$  de la surface plane ou du plan tangent à la surface courbe sur la direction du vent.

Pour les coefficients  $\gamma$  supérieurs à 1, on procède par interpolation linéaire entre les valeurs limites :

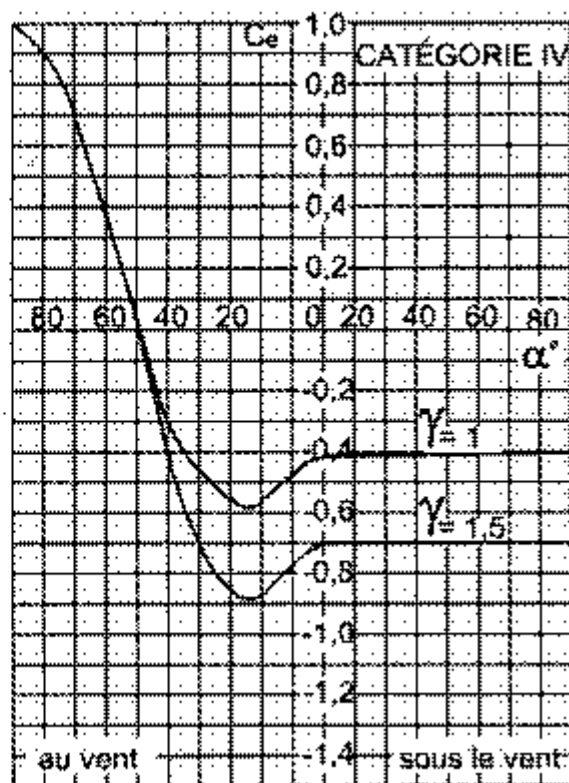
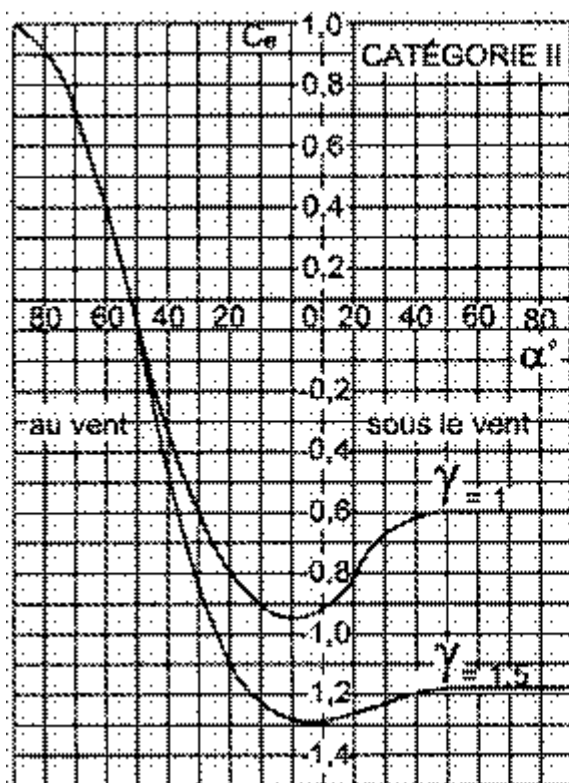


figure sans légende dans: 3,411-2

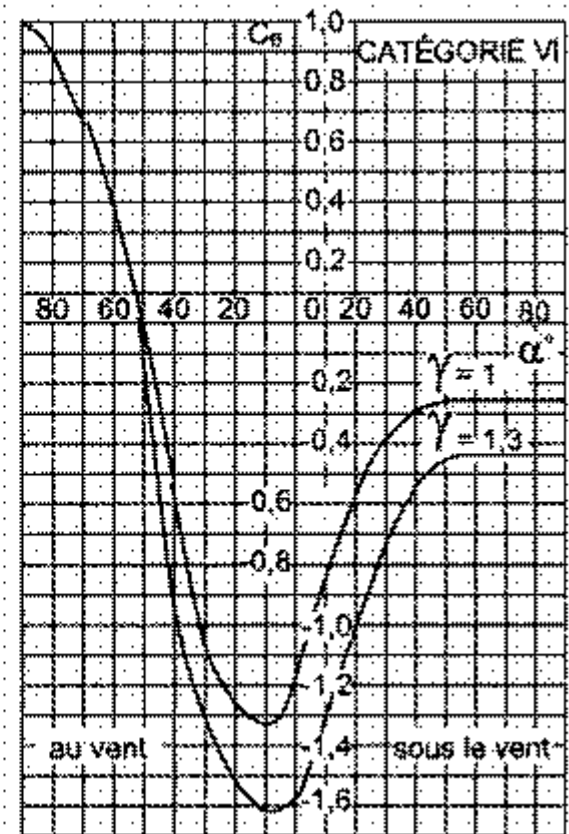
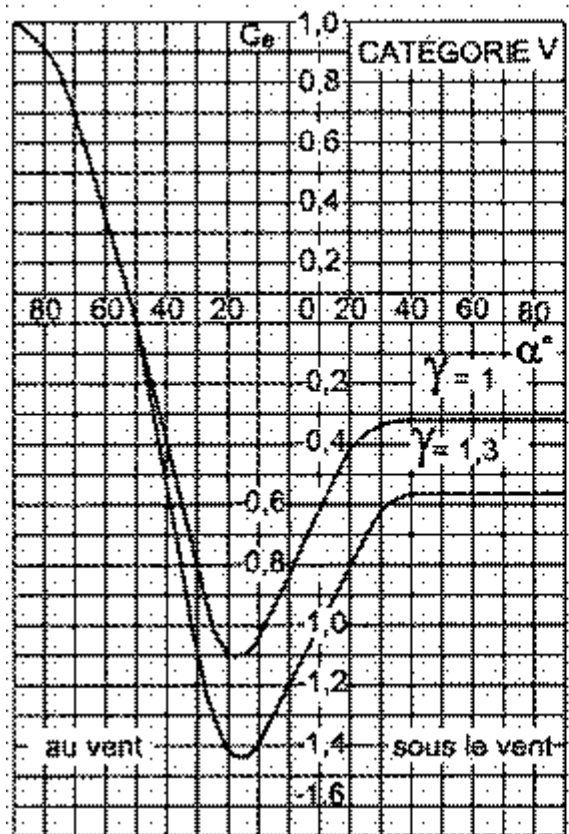


Figure R-III-11



$\gamma = 1$  et  $\gamma = 1,5$  (catégories II et IV) ;

$\gamma = 1$  et  $\gamma = 1,3$  (catégories V et VI)(6).

Pour les prismes relevant de la catégorie III, le coefficient de pression  $c_e$  à prendre en compte dans une section diamétrale est obtenu par interpolation linéaire en fonction du nombre  $n$  de côtés entre les coefficients de pression correspondant à  $n = 10$  (catégorie II) et ceux correspondant à  $n = 20$  (catégorie V).

## COMMENTAIRE

### Commentaires

#### - Catégorie II.

En fait il existe une courbe pour chaque prisme de la catégorie II, suivant le nombre  $n$  de côtés. Cependant pour six et huit côtés, les deux courbes sont pratiquement confondues et restent très peu différentes des courbes pour cinq et dix côtés. C'est donc la courbe six-huit côtés qui est donnée dans les Règles. Elle constitue une bonne approximation pour cinq et dix côtés.

#### - Catégorie IV.

La courbe donnée représente les valeurs moyennes de la pression sur chaque face ou la pression ponctuelle compte non tenu des nervures. L'intégration de cette courbe donne dans chaque cas pour  $c_{to}$  des valeurs inférieures à celles du tableau VII, ces dernières tenant compte, elles, de l'influence de la nervuration.

#### - Catégories V et VI.

Les courbes données pour les catégories V et VI ne correspondent pas à une réalité physique : en effet les valeurs données dans le tableau VII sont des valeurs moyennes entre les résultats d'essais pour diverses rugosités, et de plus le coefficient  $c_e$  n'est pas absolument constant le long d'une génératrice à cause de l'influence des abouts. Les courbes ont été établies en fonction de courbes expérimentales pour donner par intégration les valeurs des coefficients  $c_{to}$  et  $1,3 c_{to}$ .

Les diagrammes des catégories V et VI sont donnés sur la figure C-III-44 sous forme polaire, cette représentation étant souvent utilisée.

## NOTE

(97) Pour les catégories II et IV le coefficient  $\gamma$  ne dépasse pas 1,54 (pour  $\lambda = \infty$ ), et pour les catégories V et VI ne dépasse pas 1,3 (pour  $\lambda = \infty$  ; les courbes sont donc données respectivement :

pour les catégories II et IV pour  $\gamma = 1,0$  et  $\gamma = 1,5$

pour les catégories V et VI pour  $\gamma = 1,0$  et  $\gamma = 1,3$

**Figure C-III-44 -** Interpolation. - Des essais pour des rapports de dimension  $\lambda$  infinis ont permis de déterminer les courbes pour  $\gamma = 1,5$  ou  $\gamma = 1,3$ . La loi de variation des courbes entre  $\gamma = 1$  et  $\gamma = 1,5$  ou  $1,3$  n'a pas encore été déterminée avec assez de précision. Pour ne pas compliquer les calculs on a admis dans les Règles qu'elle était linéaire, et qu'il était possible d'extrapoler pour  $\gamma$  supérieur à 1,5 ou à 1,3 (pour  $\gamma$  infini les valeurs maximales de  $\gamma$  sont respectivement égales à 1,54 et 1,33) et pour  $\gamma$  inférieur à 1.

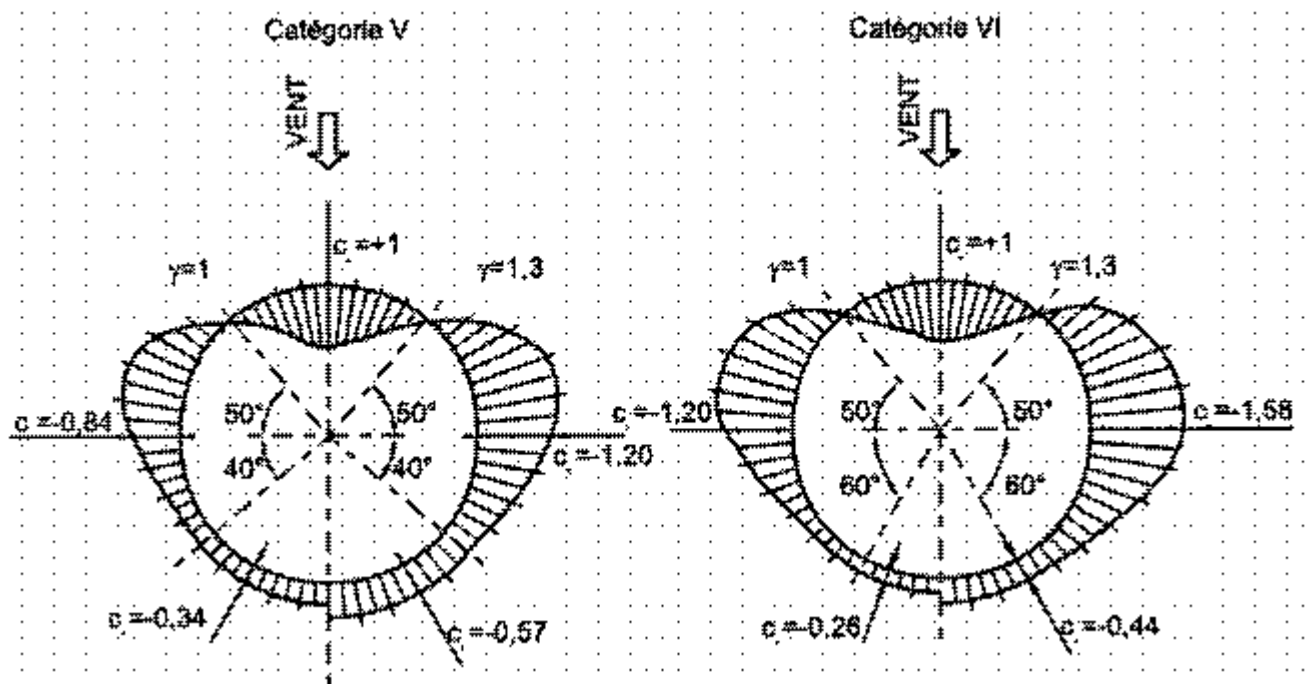


Figure C-III-44

#### NOTE

(6) Pour les catégories II et IV le coefficient  $\gamma$  ne dépasse pas 1,54 (pour  $\lambda = \infty$ ), et pour les catégories V et VI ne dépasse pas 1,3 (pour  $\lambda = \infty$  ; les courbes sont donc données respectivement :

pour les catégories II et IV pour  $\gamma = 1,0$  et  $\gamma = 1,5$

pour les catégories V et VI pour  $\gamma = 1,0$  et  $\gamma = 1,3$

#### 3,411-3

Cylindres (catégories V et VI) à génératrices horizontales et reposant sur le sol ou éloignés du sol d'une distance  $e < d$ .

#### COMMENTAIRE

Commentaire Seules les catégories V et VI ont été étudiées en soufflerie pour une distance  $e < d$ . Il n'est pas possible de donner actuellement des courbes de variation du coefficient  $c_e$  en fonction du rapport  $e/d$  pour les autres catégories.

Le coefficient de pression  $c_e$  à prendre en compte dans une section diamétrale est donné par les diagrammes R-III-12 pour  $\gamma = 1$  et  $\gamma = 1,3$ , en fonction du rapport  $e/d$  et de l'angle d'inclinaison  $90^\circ - \alpha^\circ$  de la normale à la surface courbe sur la direction du vent.

Pour une valeur du rapport  $e/d$  et des coefficients  $\gamma$  supérieurs à 1, on procède par interpolation linéaire entre les courbes correspondant à  $\gamma = 1$  ; et  $\gamma = 1,3$ .

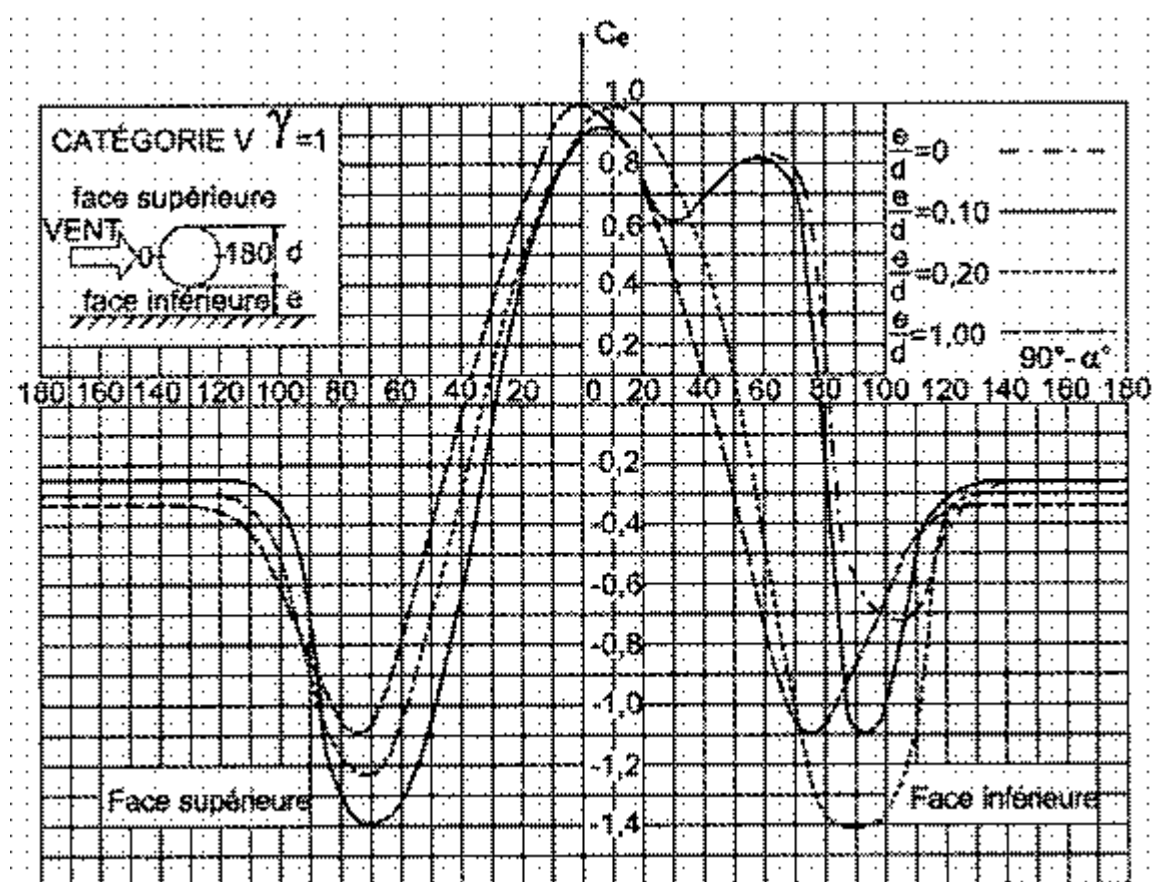


Fig. R-III-12 a

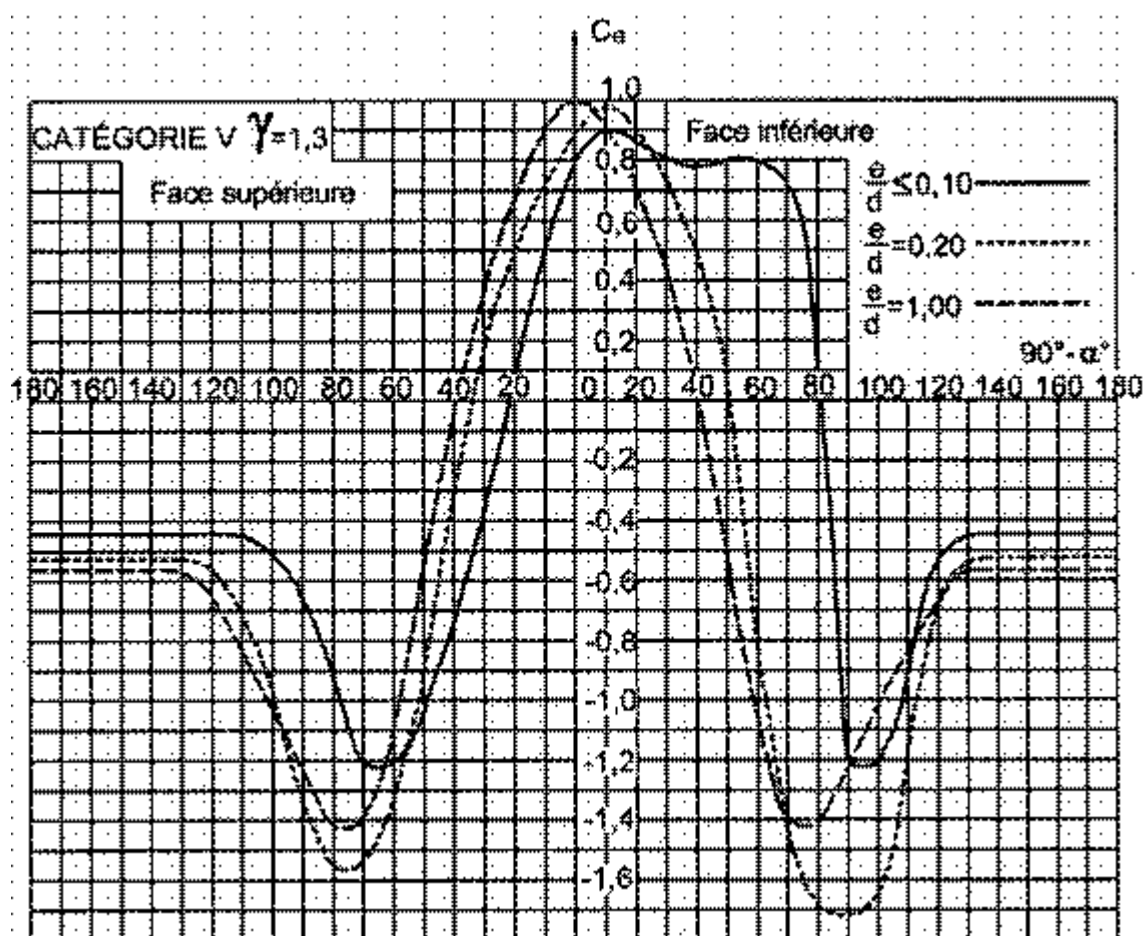


Fig. R-III-12b

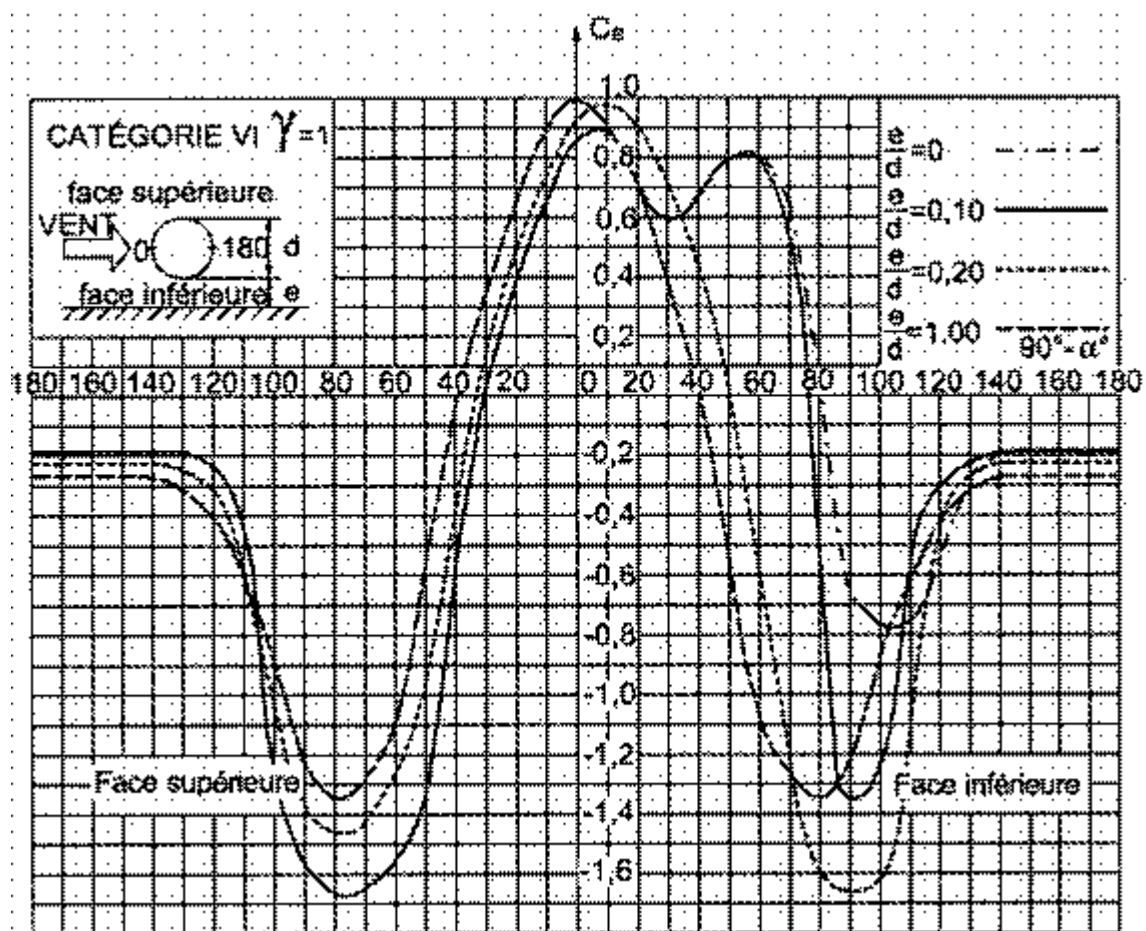


Fig. R-III-12c

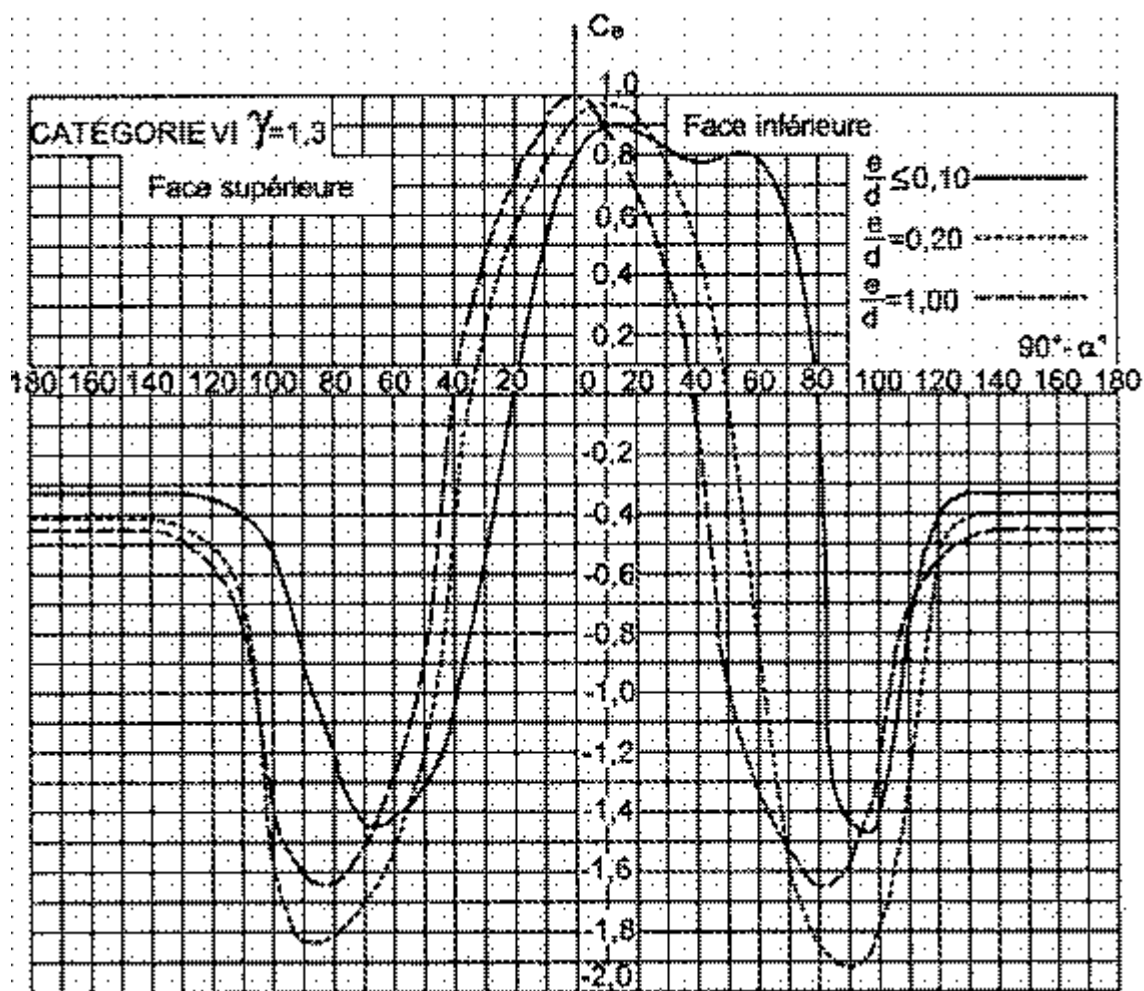


Fig. R-III-12 d

### 3,412 toitures

Toitures-terrasses, à versants ou en voûte : on adopte les coefficients donnés pour les constructions prismatiques à base quadrangulaire en R-III-2,131 2.

Toitures en forme de calotte sphérique, de cône ou de pyramide : on se reporte aux règles III-6,112 - 6,113.

### 3,413 face intérieure d'une construction éloignée du sol

L'action sur cette face est déterminée avec :

$$\begin{aligned}
 c_e &= -0,8 && \text{pour} && \frac{e}{h} \leq 1 ; \\
 c_e &= -1,4 + 0,6 \frac{e}{h} && \text{pour} && 1 < \frac{e}{h} < 1,5 \\
 c_e &= -0,5 && \text{pour} && \frac{e}{h} \geq 1,5 ;
 \end{aligned}$$

### COMMENTAIRE

#### Commentaire

La succion existant sur cette face se cumule le cas échéant avec la surpression intérieure.

### 3,42 actions locales

Les actions locales à prendre en compte dans les zones définies en R-III-1,322 a et b sont celles fixées en R-III-2,132.

## COMMENTAIRE

### Commentaire

Il est rappelé que les zones définies en R-III-1,322a et b concernent :

- les arêtes ou rives de toiture,
- les appuis ou attaches d'un élément extérieur à la construction,
- les discontinuités marquées dans les formes extérieures de la construction.

### 3,5 actions intérieures

## COMMENTAIRE

### Commentaire

Faute d'essais, la Commission n'a pu donner d'indications pour d'autres cas que ceux donnés en Règle.

### 3,51 prismes de quatre côtés (catégorie I)

On applique les actions intérieures définies en R-III-2,14.

### 3,52 prismes de plus de quatre côtés (catégories II et III) et cylindres (catégories IV, V et VI)

#### 3,521 constructions fermées

Les parois ont une perméabilité  $\mu \leq 5$ .

On applique simultanément sur les faces intérieures de tous les compartiments, soit une surpression, soit une dépression, définie suivant la catégorie de la construction par le tableau 17.

$c_i$  étant donné par la règle III-3,2.

Catégorie	Surpression	Dépression
II	$c_i = +0,6 (1,50 - c_e)$	$c_i = -0,6 (1,50 - c_e)$
III	$c_i = \pm 0,6 \left( 1,90 - \frac{4n}{100} - c_e \right)$	$c_i = -0,6 \left( 1,90 - \frac{4n}{100} - c_e \right)$
IV	$c_i = +0,6 (1,40 - c_e)$	$c_i = -0,6 (1,40 - c_e)$
V et VI	$c_i = +0,6 (1,10 - c_e)$	$c_i = -0,6 (1,10 - c_e)$

Tableau 17

### 3,522 constructions ouvertes (catégories V et VI uniquement)

On applique une dépression uniforme égale à :

- 0,3 q pour les constructions ouvertes à leur partie supérieure (cheminées) ;
- 0,4 q pour les constructions ouvertes à la fois à leur partie supérieure et à leur partie inférieure (réfrigérant) ;

q étant la valeur de la pression dynamique au sommet de la construction.

### 3,6 actions résultantes unitaires sur les parois

Pour chaque élément, on combine de la façon la plus défavorable les actions extérieures et les actions intérieures (R-III-3,4 et 3,5).

## COMMENTAIRE

### Commentaires

- La dépression intérieure dans les cylindres ouverts au sommet étant uniforme, ne crée que des contraintes de compression dans les sections annulaires.

- Pour les cylindres ouverts de grand diamètre (tours de réfrigération, citernes, etc.), la face intérieure près du sommet peut être frappée sur une partie de son développement par des rafales plongeantes. (Pour déterminer la hauteur frappée on considère un vent plongeant à 20 % s'appuyant sur le contour supérieur du cylindre.) Dans les parois relativement minces des efforts appréciables en résultent. L'attention des constructeurs est attirée sur ce point.
- Dans une section diamétrale quelconque, la distribution de l'effort tranchant correspondant à l'action des forces extérieures (dans le cas d'une cheminée l'effort du vent au-dessus de cette section) et la répartition périphérique des pressions suivant le diagramme des catégories II, III, IV, V et VI engendrent des flexions transversales déformant l'anneau élémentaire considéré. Cet effet est désigné sous le nom d'ovalisation. A la limite dans le prisme à base carrée il se traduit par la flexion des parois.

Suivant les dispositions constructives, les sollicitations dues à l'ovalisation peuvent être équilibrées de différentes manières. entre autres :

- par la résistance propre à la flexion transversale de chaque anneau de construction raidi ou non par des nervures ;
- par le fonctionnement en voile mince transmettant les forces extérieures locales à des diaphragmes transversaux indéformables intermédiaires ou extrêmes (cylindres creux de grande hauteur, hyperboloïdes de révolution...) ;
- par flexion longitudinale de la paroi lorsque le sol ou une toiture rigide empêche l'effet d'ovalisation dans leur voisinage (cylindres creux de faible hauteur par rapport au diamètre).

Il est remarqué qu'un cylindre lisse supporte des dépressions latérales plus importantes qu'un cylindre rugueux, et que par suite les efforts dus à l'ovalisation s'en trouvent accrus.

### **3,7 actions d'ensemble**

#### COMMENTAIRE

Commentaire Il est rappelé que le coefficient de traînée  $c_t = \gamma c_{t0}$  (R-III-3,2) ne s'applique qu'au corps de la construction. toiture exclue. Pour la détermination des efforts sur la toiture on doit se reporter à la règle III-3,412.

Quelle que soit la construction, elles produisent simultanément (R-III-1,43) un effet de renversement et un effet de soulèvement.

Elles sont déterminées selon les cas, suivant les règles III-3,71 ou 3,72.

Les actions extérieures locales (R-III-3,42) ne sont pas à retenir pour l'évaluation des actions d'ensemble.

Les actions d'ensemble sont susceptibles de l'application de la règle III-1,5 (plus particulièrement 1,52) relative aux actions dynamiques.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

L'application de la règle III-1,5 comporte :

- la prise en compte des actions dynamiques (R-III-1,51) ;
- la prise en compte de la résonance sous l'action des tourbillons de Karman (R-III-1,52 et Annexe 8).

### **3,71 prismes et cylindres à génératrices verticales**

#### **3,711 constructions fermées**

On considère simultanément l'action de renversement et l'action de soulèvement créées par les actions résultantes totales.

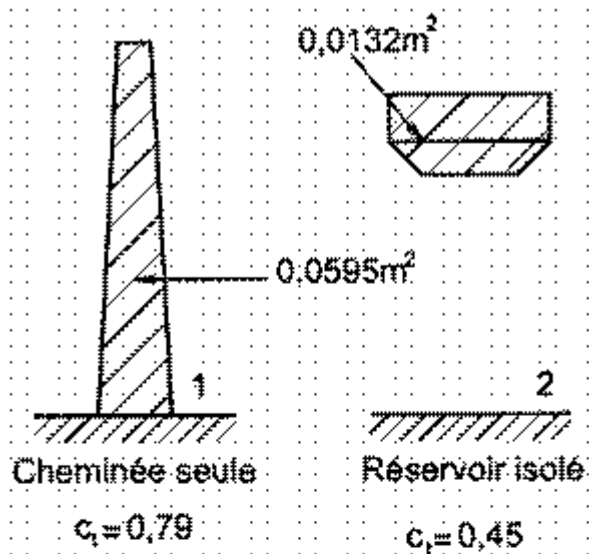
#### COMMENTAIRE



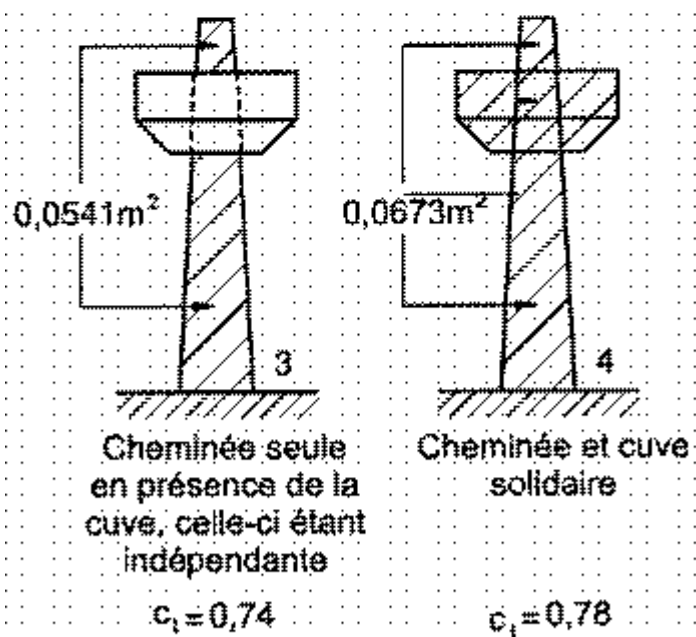
#### Commentaire

Il est signalé que, dans le cas d'un réservoir cylindrique supporté par une cheminée conique, les essais effectués sous la direction du professeur Baes ont donné les résultats indiqués par la figure C-III-45 : **Figure C-III-45 essais sur modèle de cheminées coniques, rapport de dimensions 16,8, avec ou sans réservoir.**

Rapport de dimensions  $\frac{h}{d} = 16,8$



Fruit de la génératrice 2,55%



La comparaison de 3 et 4  
montre que le coefficient de  
trainée de la cuve seule,  
en présence de la cheminée,  
atteint  $c_i = 0,955$

Figure C-III-45 essais sur modèle de cheminées coniques, rapport de dimensions 16,8, avec ou sans réservoir.

Il est difficile d'extrapoler de tels essais au cas général de réservoirs cylindro-coniques posés sur des supports évidés ou non. Cependant à titre indicatif, le coefficient  $c_t$  applicable à la cuve seule en présence de la cheminée peut être pris égal à celui du support majoré de 25 %.

### **3,712 constructions dont les parties inférieures et supérieures sont ouvertes simultanément ou isolément**

On considère uniquement l'action de renversement créée par la traînée  $T$  déterminée directement par l'intermédiaire du coefficient  $c_{t0}$  à laquelle s'ajoute éventuellement pour les constructions de grand diamètre (réfrigérants) l'effet d'un vent plongeant à 20 % (C-III-3,6).

### **3,72 prismes et cylindres à génératrices horizontales**

#### **3,721 vent normal aux génératrices**

##### **3,721-1 cylindres éloignés du sol d'une distance $e \geq d$**

On applique la règle III-3,71.

##### **3,721-2 cylindres reposant sur le sol ou éloignés du sol d'une distance $e < d$**

En plus de l'action de renversement déterminée selon la règle III-3,721-1, on considère pour les cylindres dont le diamètre est inférieur à 1,00 m, l'effet de soulèvement :

$$U = c_u q S_t$$

$S_t$  étant la surface du maître-couple, où

$$c_u = 0,50 \left[ 1 - \sqrt{\frac{e}{d}} \right] \quad \text{pour } d \sqrt{q} \leq 2,5 ;$$

$$c_u = [1 - 0,2 d \sqrt{q}] \left[ 1 - \sqrt{\frac{e}{d}} \right] \quad \text{pour } 2,5 < d \sqrt{q} < 5,0 ;$$

$$c_u = 0 \quad \text{pour } d \sqrt{q} \geq 5.$$

#### **3,722 vent parallèle aux génératrices**

On considère uniquement :

- l'action de renversement créée par la traînée  $T$  qui a pour valeur :
  - $T = 1,00 qS$  dans le cas de cylindres à embouts plans ;
  - $T = 0,40 qS$  dans le cas de cylindres à embouts en forme de calottes hémisphériques.

$S$  étant la surface diamétrale du cylindre.

(Dans le cas de cylindres de diamètre  $d$  à embouts en forme de calottes sphériques de flèche  $f$  quelconque on interpole linéairement en fonction du rapport  $e/d$  entre les valeurs précédentes.)
- et éventuellement la force d'entraînement applicable à la surface latérale au-delà d'une distance égale à  $4 d$  à partir de la surface frappée, et prise égale à  $0,010 q \text{ daN/m}^2$

### **COMMENTAIRE**

#### **Commentaire**

Cette règle ne s'applique pas aux cylindres possédant un poli spéculaire et durable (catégorie VI) pour lesquels il n'existe pas de résultats d'essais.

### **4 panneaux pleins et toitures isolées**

#### **4,0 prescriptions communes**

##### **4,01 pression dynamique**

La pression dynamique à prendre en compte est définie en R-III-1,2.

##### **4,02 force horizontale d'entraînement**

Pour un vent parallèle aux panneaux ou aux versants des toitures, l'action d'ensemble est assimilée à une force horizontale d'entraînement, somme de deux forces de friction appliquées à chaque face.

La valeur par face de chacune des forces unitaires est prise égale à :

0,010 q pour les faces planes et pour les faces comportant des ondes ou des plis parallèles à la direction du vent ;

0,020 q pour les faces comportant des ondes ou des plis normaux à la direction du vent ;

0,040 q pour les faces comportant des nervures normales à la direction du vent.

q étant la pression dynamique au niveau de la crête de la toiture. **4,03 actions locales**

Les éléments situés dans les zones définies en R-III-1,322 b doivent être calculés avec un coefficient résultant de - 2.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

La condition R-III-1,322 a) n'étant pas réalisée, il n'y a pas lieu d'appliquer les coefficients s'y rapportant.

#### **4,1 panneaux pleins**

##### **4,11 caractéristiques**

Entrent dans cette catégorie toutes les plaques planes rectangulaires verticales en contact ou non avec le sol.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaires

- Dans le cas où le panneau n'est pas vertical, on se reporte aux toitures isolées à un versant (R-III-4,22)
- Les murs constituent un cas particulier des panneaux pleins en contact avec le sol.

##### **4,12 direction du vent**

Le vent est supposé avoir la direction qui donne au coefficient global de traînée  $c_t$  sa valeur maximale.

#### COMMENTAIRE

Commentaire Pour les parois planes (murs, panneaux, écrans, signaux ou poutres pleines isolées) et pour les toitures à un versant ne faisant pas partie d'un ensemble et de rapport de dimensions  $\lambda$  compris approximativement entre 0,30 et 4 (éléments en contact avec le sol) ou 0,60 et 8 (éléments éloignés du sol) il advient que pour un vent attaquant la plaque sous une incidence oblique, l'action totale est supérieure à celle donnée par une incidence normale. Le maximum est atteint pour la plaque carrée et pour  $\alpha \cong 35^\circ$ ,  $\alpha$  étant l'angle de la direction du vent avec la plaque considérée (valeur trouvée par Eiffel : 1,57 ; valeur trouvée par Prandtl : 1,75).

Le vent pouvant prendre n'importe quelle direction, on est donc amené à supposer sa direction telle que le  $c_t$  soit maximal pour les différents rapports de dimensions  $\lambda$ , c'est à dire :

- le vent normal à la plaque pour les grandes valeurs de  $\lambda$  ;
- le vent oblique (angle d'attaque voisin de  $35^\circ$ ) pour les petites valeurs de  $\lambda$ .

Ces modes d'action sont pris implicitement en compte par la règle III-4, 14.

##### **4,13 rapport de dimensions $\lambda$**

$\lambda$  est le rapport de la hauteur h à la dimension horizontale l du panneau considéré :  $\lambda = h/l$ .

$\lambda$  est toujours considéré comme infini pour des panneaux éloignés du sol compris entre deux plans.

##### **4,14 coefficient global de traînée $c_t$**

Le coefficient global de traînée  $c_t$ , applicable à la surface réelle S du panneau, soit en contact avec le sol, soit éloigné du sol d'une distance  $e \geq h$ , est donné en fonction de  $\lambda$  par l'échelle fonctionnelle de la figure R-III-13.

Pour les panneaux éloignés du sol d'une distance  $e < h$ , on interpole linéairement en fonction du rapport  $e/h$  entre les valeurs correspondant à :  $e = 0$  et  $e = h$ .

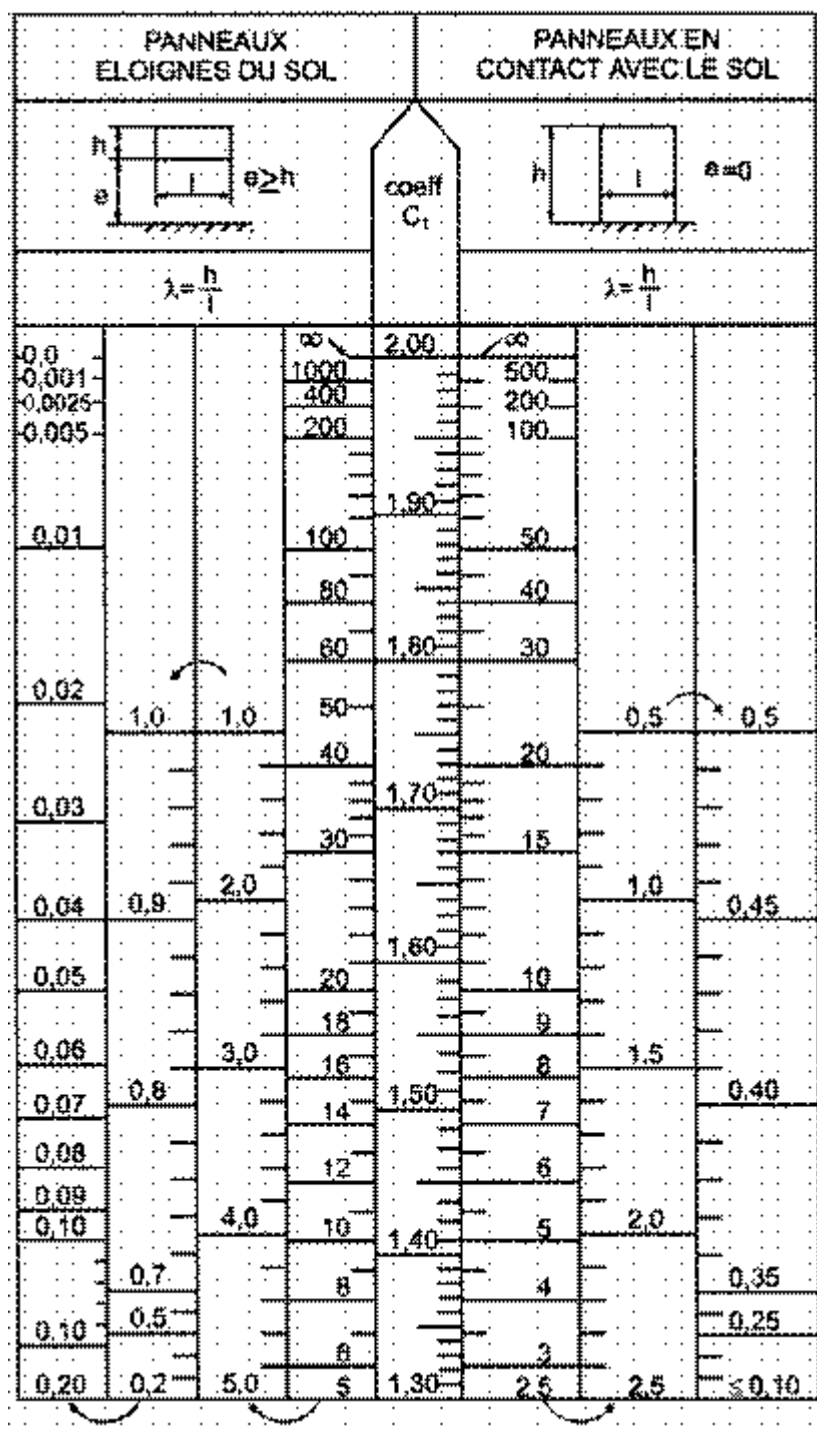


Figure R-III-13 panneaux pleins. Coefficient  $c_t$ .

- sur un panneau, le coefficient  $c$  caractérisant l'action résultante se confond avec le coefficient  $c_t$  caractérisant l'action d'ensemble
- Au cas où il serait nécessaire de décomposer l'action résultante sur chaque face, on peut considérer qu'elle est la somme d'une pression déterminée avec :  $c_1 = + 0,8$  sur la face au vent et d'une succion déterminée avec :  $c_2 = - (c_1 - 0,8)$  sur la face sous le vent.

#### 4,15 actions d'ensemble

Pour une direction du vent donnant au coefficient  $c_t$  sa valeur maximale (C-III-4,12), l'action d'ensemble normale au panneau, est déterminée par l'expression :

$$T = c_t q h l$$

où  $c_t$  est donné par la règle III-4,14 ;

$q$  est la valeur de la pression dynamique ;

$h$  est la hauteur du panneau ;

$l$  est sa dimension horizontale.

Pour une vent parallèle au panneau, l'action d'ensemble est assimilée à une force horizontale d'entraînement dont la valeur unitaire est fixée en R-III-4,02.

#### 4,2 toitures isolées

##### 4,21 caractéristiques

Entrent dans cette catégorie les toitures à un ou plusieurs versants symétriques dont l'arête faîtière et les bords sont horizontaux, que le vent peut attaquer par les bords sur toute la périphérie et dont la hauteur minimale  $e$  au-dessus du sol est supérieure ou égale à :

$$(0,005 \alpha + 0,55) h_\alpha \text{ pour } \alpha \geq 40^\circ$$

$$0,75 h_\alpha \text{ pour } \alpha < 40^\circ$$

où  $h_\alpha$  est la dimension d'un versant suivant la ligne de plus grande pente, et  $\alpha$  l'angle exprimé en degrés, de la toiture avec l'horizontale.

Lorsque du fait de leur utilisation, des toitures isolées se trouvent pendant certaines périodes, dans des conditions aérodynamiques différentes, elles doivent être aussi vérifiées pour ces conditions. On retient finalement les actions les plus défavorables.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaires

- Ces toitures ayant pour caractéristique d'être attaquées sur toute leur périphérie, les règles III-4,2 ne s'appliquent pas aux toitures en auvent accolées à une paroi qui relèvent des constructions prismatiques ouvertes (R-III-2).
- Les règles III-4,2 sont déduites d'essais sur toitures isolées dont la pente est comprise entre  $20^\circ$  et  $40^\circ$  et pour lesquelles  $e$  est égal  $0,75 h_\alpha$ .

**Figure C-III-45 bis** Il a été jugé possible d'étendre les résultats de ces essais jusqu'à  $e = h_\alpha$  pour les panneaux verticaux afin de se raccorder à la définition des panneaux verticaux isolés dans l'espace pour lesquels  $e \geq h$  (R-III-4,14). Par contre, pour les toitures à faible pente, il se produit un effet de Venturi d'autant plus accentué que la toiture est plus rapprochée du sol ; il a donc été jugé utile de limiter la distance  $e$  à  $0,75 h_\alpha$  lorsque  $\alpha < 40^\circ$ . Pour des valeurs plus faibles de  $e$  il est recommandé d'avoir recours aux essais, surtout si les toitures considérées sont de grandes dimensions, ou si les risques en cas d'accident sont élevés **Figure C-III-46**

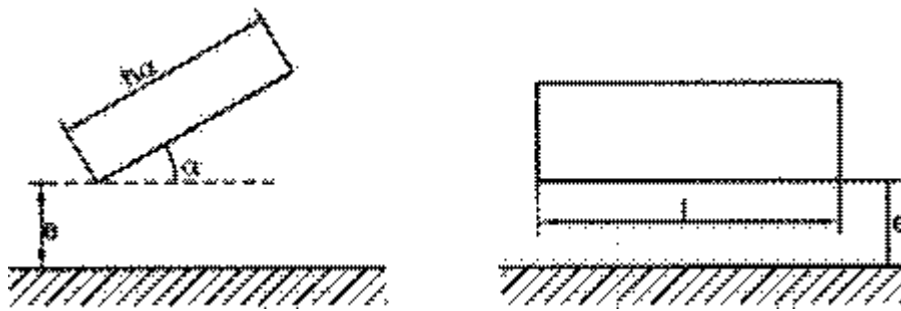


Figure C-III-45 bis

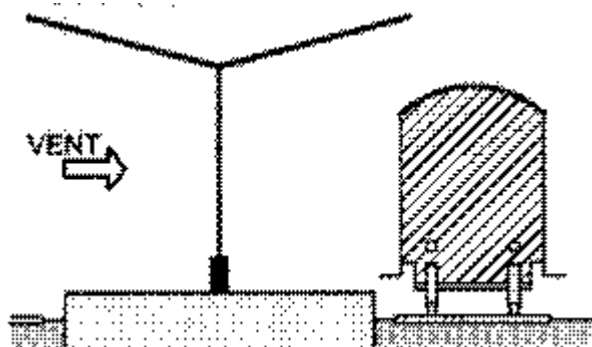


Figure C-III-46

- Le cas particulier visé par les Règles concerne par exemple les abris de quai le long desquels les trains peuvent séjourner un certain temps et réaliser des conditions semblables à celles existant dans les bâtiments ouverts.

Il concerne également l'accumulation de matériaux sous une toiture isolée pouvant donner lieu, soit à un effet de Venturi pour lequel il n'est pas possible de donner des régies générales, soit réaliser des conditions semblables à celles existant dans les bâtiments ouverts.

Figure C-III-47

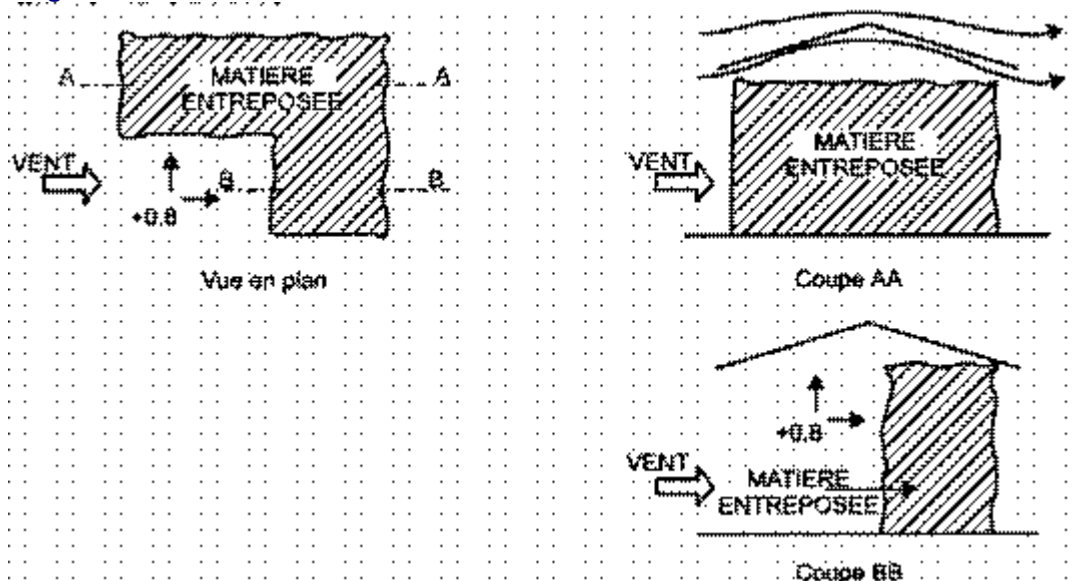


Figure C-III-47

#### 4,22 toitures à un versant

Entrent dans cette catégorie les toitures planes et les toitures en forme de voûte de surbaissement inférieur ou égal à 1/7. Dans ce dernier cas on remplace la voûte par le versant plan formé par la corde.

##### 4,221 direction du vent

Les directions du vent qui donnent les actions résultantes maximales et les actions d'ensemble maximales sont :

- a) une direction normal au bord horizontale de la toiture qui donne l'action résultante sur la toiture (R-III-4,223) et une des actions d'ensemble (R-III-4,224) ;
- b) une direction parallèle au bord horizontale de la toiture qui donne la seconde action d'ensemble (R-III-4,02 et 4,224).

##### 4,222 rapport de dimensions $\lambda$

$\lambda$  est le rapport de la dimension  $h_\alpha$  suivant la ligne de plus grande pente du versant à la dimension horizontale  $l$  parallèle au bord de la toiture :

$$\lambda = h_\alpha / l.$$

##### 4,223 actions résultantes unitaires sur le versant

#### COMMENTAIRE

Commentaire L'annexe 12 donne des exemples d'applications.

Le coefficient  $c$  à prendre en compte varie linéairement du bord d'attaque A au bord de fuite B. Le diagramme de la Ces coefficients  $c$  sont éventuellement multipliés par un coefficient  $\gamma_\alpha$  fonction du rapport  $\lambda$  et de l'angle  $\alpha$  du versant sur la direction du vent (C-III-4,12) et déterminé d'après les valeurs du coefficients  $\gamma$  lues sur l'échelle fonctionnelle de la figure R-III-14.

Pour  $\lambda \geq 0,20$  :

$$\begin{array}{ll} \alpha \leq 25^\circ & \gamma_\alpha = 1 ; \\ 25^\circ < \alpha < 35^\circ & \gamma_\alpha = \frac{\alpha - 25}{10} \gamma + \frac{35 - \alpha}{10} ; \\ 35^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ & \gamma_\alpha = \gamma ; \\ 40^\circ < \alpha < 50^\circ & \gamma_\alpha = \frac{50 - \alpha}{10} \gamma + \frac{\alpha - 40}{10} ; \\ \alpha \geq 50^\circ & \gamma_\alpha = 1. \end{array}$$

Pour  $\lambda < 0,20$  :

quel que soit  $\alpha$ ,  $\gamma_\alpha = \gamma$ .

Lorsque  $\alpha$  est égal à 0, c'est à dire pour une terrasse isolée, la vérification de la stabilité doit être faite en prenant :

$c = \pm 0,7$  au bord d'attaque et 0 au bord de fuite.



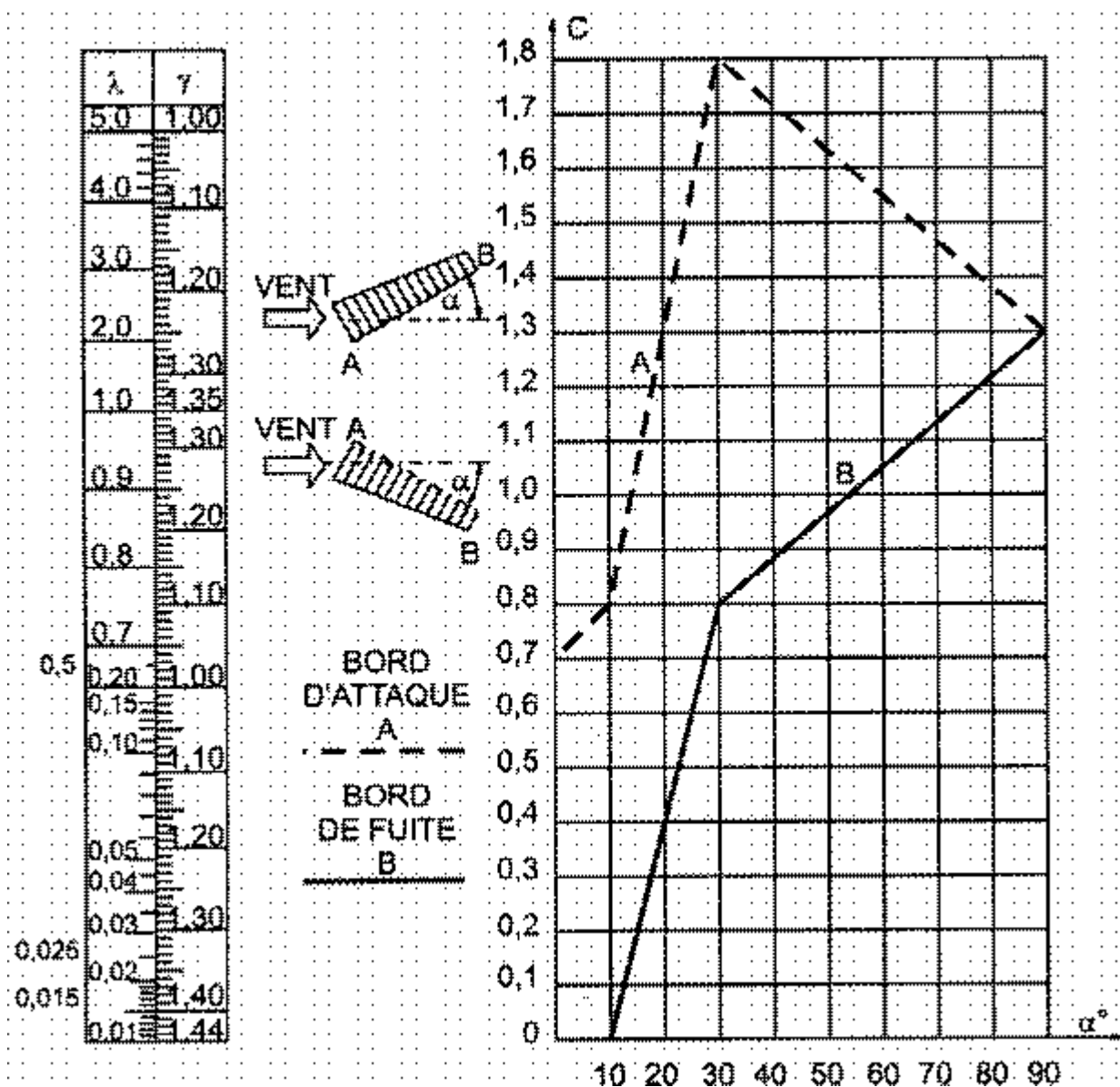


Figure R-III-14 toitures isolées à un versant, vent normal au bord horizontal. Coefficient  $c$ .

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Dans le cas exceptionnel où il est nécessaire de répartir les pressions entre les deux faces, on procède comme il est indiqué ci-dessous.

Cas de  $\gamma = 1$ .

- Face au vent. Le coefficient  $c_1$  à prendre en compte, constant du bord d'attaque A au bord de fuite B a pour valeur : **Figure C-III-48 application au cas de  $\gamma = 1$  et  $\alpha = 20^\circ$ .**

$$0^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ \quad c_1 = 0;$$

$$10^\circ < \alpha < 30^\circ \quad c_1 = +0,8 \frac{\alpha - 10}{20};$$

$$\alpha \geq 30^\circ \quad c_1 = +0,8.$$

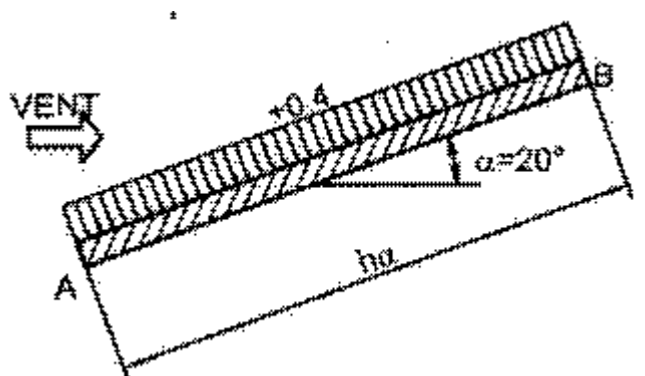


Figure C-III-48 application au cas de  $\gamma = 1$  et  $\alpha = 20^\circ$ .

- Face sous le vent. Le coefficient  $c_2$  à prendre en compte varie linéairement du bord d'attaque A au bord de fuite B. Sa valeur est obtenue par différence entre l'action sur la face au vent et l'action résultante donnée par le diagramme de la figure R-III-14. **Figure C-III-49 application au cas de  $\gamma = 1$  et  $\alpha = 20^\circ$ .**

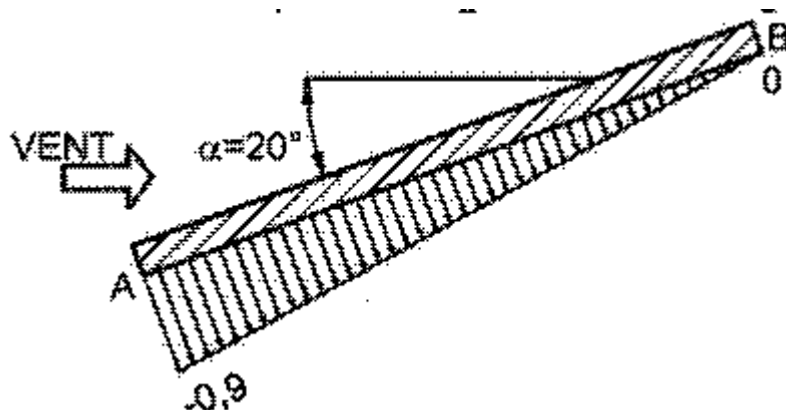


Figure C-III-49 application au cas de  $\gamma = 1$  et  $\alpha = 20^\circ$ .

Cas de  $\gamma \neq 1$ . Les coefficients déterminés selon la méthode indiquée ci-dessus sont multipliés par  $\gamma$ .

#### 4,224 actions d'ensemble

Pour un vent normal au bord horizontal de la toiture, on applique au versant de la toiture la résultante des efforts déterminés suivant la règle III-4,223.

Pour un vent parallèle au bord horizontal de la toiture, c'est à dire lorsque la toiture se trouve dans le lit du vent, l'action d'ensemble est assimilée à une force horizontale d'entraînement dont la valeur unitaire est fixée en R-III-4,02.

#### 4,23 toiture à deux versants symétriques

Entrent dans cette catégorie :

- les toitures à versants plans ;
- les toitures à versants en forme de voûte, de surbaissement inférieur ou égal à 1/7. On remplace dans ce cas chaque voûte par le versant formé par la corde ;
- les toitures en voûte symétrique concave vers le sol, de surbaissement inférieur ou égal à 1/4. On remplace dans ce cas la voûte par les deux versants plans formés par les demi-cordes.

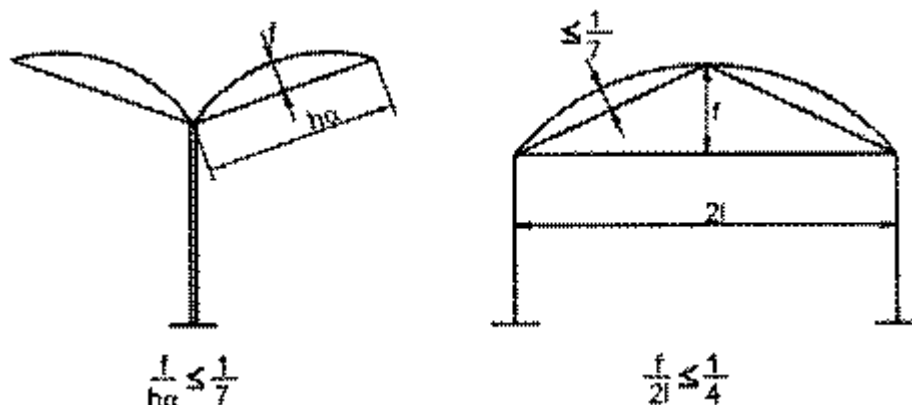


Figure C-III-49 bis

#### 4,231 direction du vent

Les directions du vent qui donnent les actions résultantes maximales et les actions d'ensemble maximales sont :

- une direction normale au bord horizontal qui donne l'action résultante sur la toiture (R-III-4,233 1) et une des actions d'ensemble (R-III-4,234) ;
- une direction oblique au bord horizontal qui donne vers les extrémités de la toiture une action résultante (R-III-4,233 2) et une action d'ensemble (R-III-4,234) qui peuvent être plus défavorables que celles dues à un vent normal ;
- une direction parallèle au bord horizontal qui donne la seconde action d'ensemble (R-III-4,02 et 4,234).

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Lorsque le vent est normal au bord horizontal, les versants lui offrent l'incidence maximale et une dépression règne dans le dièdre.

Lorsque le vent est oblique, il peut attaquer les faces intérieures des versants et donner vers les extrémités une surpression dans le dièdre

#### 4,232 rapport de dimensions $\lambda$

où  $h_\alpha$  = dimension d'un versant suivant la ligne de plus grande pente ;

$$\lambda = \frac{h_\alpha}{l} (1 + \cos 2\alpha) \quad \text{pour } 0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$$

$$\lambda = \frac{h_\alpha}{l} \quad \text{pour } \alpha > 45^\circ$$

$l$  = dimension horizontale d'un versant ;

$\alpha$  = angle de la ligne de plus grande pente d'un versant avec l'horizontale.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Par convention :

- pour  $\alpha \leq 45^\circ$ , la définition du rapport de dimensions  $\lambda$  est la même que pour la plaque plane correspondant au maître-couple pour une direction de vent normale à un des versants ;
- pour  $\alpha > 45^\circ$ , la définition du rapport de dimensions  $\lambda$  de la toiture est la même que pour le versant au vent.

Cette convention a été adoptée pour permettre :

- dans le cas  $\alpha = 0$ , la concordance entre la définition du rapport  $\lambda$  d'une telle toiture et celle du

rapport  $\lambda$  de la plaque plane horizontale correspondante :

$$\lambda = \frac{2 h_{\alpha}}{l} ;$$

- dans le cas  $\alpha = 90^{\circ}$ , la concordance entre la définition du rapport  $\lambda$  d'une telle toiture et celle du rapport  $\lambda$  de la plaque plane verticale correspondante :

$$\lambda = \frac{h_{\alpha}}{l} .$$

#### **4,233 actions résultantes unitaires sur les versants**

##### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Il n'a pas été jugé utile de donner les valeurs de  $c$  au-delà de  $\alpha = 60^{\circ}$ , l'angle  $\alpha$  restant en pratique inférieur à cette valeur

##### **4,233-1 vent normal au bord horizontal**

Le diagramme de la figure R-III-15 donne en fonction de  $\alpha$  variant de 0 à  $60^{\circ}$ , la valeur de  $c$  au bord d'attaque A à l'arête B et au bord de fuite C,  $c$  variant linéairement entre ces points.

Lorsque  $\lambda < 0,20$ , ces coefficients  $c$  sont multipliés par le coefficient  $\gamma$  donné par l'échelle fonctionnelle en fonction de  $\gamma$  (figure R-III-15), quelle que soit l'incidence  $\alpha$ .

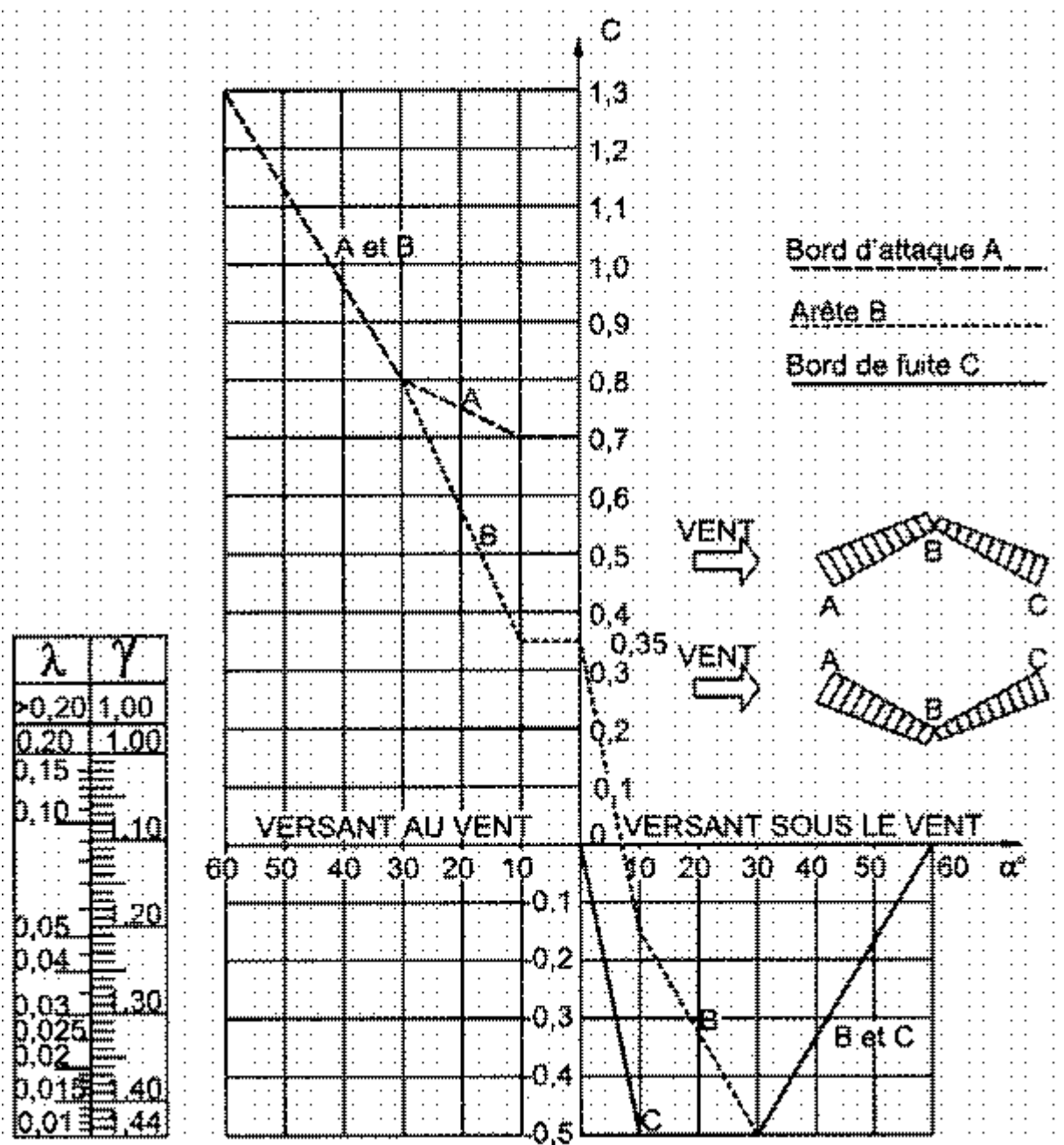


Figure R-III-15 toitures isolées à deux versants, vent normal au bord horizontal. Coefficient c.

#### COMMENTAIRE

Commentaires

- L'annexe 12 donne des exemples d'application.
- Dans le cas exceptionnel où il serait nécessaire de répartir les pressions entre les deux faces, on procède comme il est indiqué ci-dessous :

Cas de  $\gamma = 1$ .

- Faces situées à l'extérieur du dièdre (côté convexe). Les coefficients  $c_1$  à prendre en compte ont des valeurs constantes du bord d'attaque A à l'arête B (face au vent)

et de l'arête B au bord de fuite C (face sous le vent). Ces valeurs sont :

- face au vent (AB) :

$$\begin{aligned} 0^\circ \leq \alpha \leq 10^\circ & \quad c_1 = 0 ; \\ 10^\circ < \alpha < 30^\circ & \quad c_1 = +0,8 \frac{\alpha - 10}{20} ; \\ \alpha \geq 30^\circ & \quad c_1 = +0,8. \end{aligned}$$

- face sous le vent (BC) **Figure C-III-50 application au cas de  $\gamma = 1$  et  $\alpha = 20^\circ$ .**

$$\begin{aligned} 0^\circ \leq \alpha < 10^\circ & \quad c_1 = -0,5 \frac{\alpha}{10} ; \\ \alpha \geq 10^\circ & \quad c_1 = -0,5. \end{aligned}$$

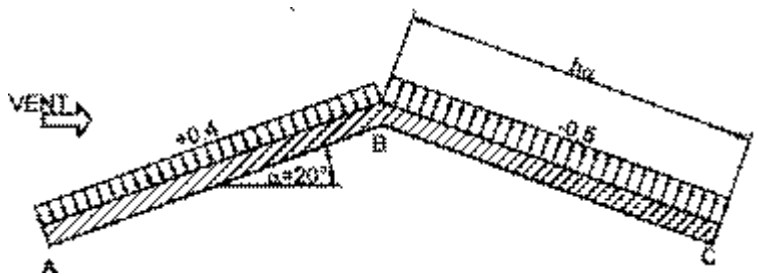


Figure C-III-50 application au cas de  $\gamma = 1$  et  $\alpha = 20^\circ$ .

- Faces situées à l'intérieur du dièdre (côté concave). Le coefficient  $c_2$  à prendre en compte varie linéairement de A en B et de B en C. Sa valeur est obtenue par différence entre le coefficient  $c_1$  sur les faces supérieures et le coefficient résultant donné par le diagramme de la figure R-III-15. **Figure C-III-51 application au cas de  $\gamma = 1$  et  $\alpha = 20^\circ$ .**

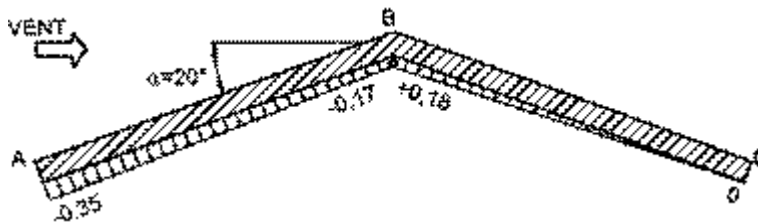


Figure C-III-51 application au cas de  $\gamma = 1$  et  $\alpha = 20^\circ$ .

Cas de  $\gamma \neq 1$ .

Les coefficients déterminés selon la méthode indiquée ci-dessus sont multipliés par  $\gamma$ .

#### 4,233-2 vent oblique au bord horizontal

On ajoute aux valeurs du cas précédent, une surpression uniforme sur la face intérieure du dièdre avec  $c = +0,5$ , soit à une extrémité soit à l'autre dans le sens longitudinal sur une longueur au plus égale à la hauteur  $h_\alpha$  du versant.

Il faut vérifier le cas échéant (R-III-4,21) les toitures isolées se trouvant provisoirement dans des conditions aérodynamiques différentes de celles précisées ci-dessus.

#### COMMENTAIRE

Ainsi que signalé au commentaire III-4,231 un vent oblique peut attaquer les faces intérieures du dièdre et donner une surpression dans tout le dièdre si la longueur  $l$  de la toiture est faible par rapport à la largeur  $h_\alpha$  des versants, et aux extrémités du dièdre si la longueur  $l$  de la toiture est supérieure à deux fois la largeur  $h_\alpha$  des versants. Au point de vue des actions résultantes cette surpression sur la face intérieure est équivalente à une succion de  $-0,5$  sur la face extérieure.

Figure C-III-52

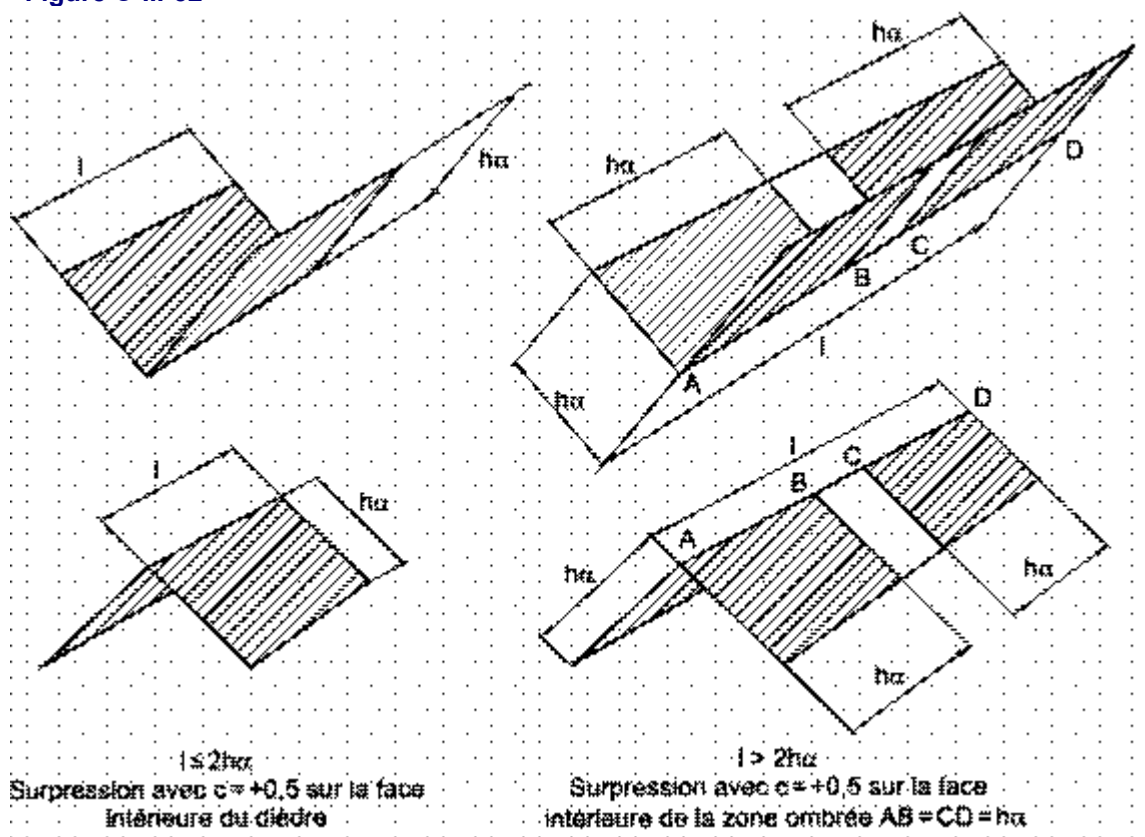


Figure C-III-52

#### 4,234 actions d'ensemble

Pour un vent normal au bord horizontal, on applique aux deux versants de toiture les résultantes des efforts déterminés suivant la règle III-4,233 1.

Pour un vent oblique au bord horizontal, on applique aux deux versants de toiture les résultantes des efforts déterminés suivant la règle III-4,233 2.

Pour un vent parallèle au bord horizontal, c'est à dire lorsque la toiture se trouve dans le lit du vent, l'action d'ensemble est assimilée à une force horizontale d'entraînement dont la valeur unitaire est fixée en R-III-4,02.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Lors de l'étude de l'action d'ensemble pour un vent oblique, la surpression de + 0,5 sur la face intérieure du dièdre n'est appliquée qu'à une seule extrémité à la fois.

#### 4,24 toiture symétriques multiples

Entrent dans cette catégorie :

- les toitures multiples à versants plans ;
- les toitures multiples à versants en forme de voûte, de surbaissement inférieur ou égal à 1/7. On remplace dans ce cas chaque voûte par le versant formé par la corde ;
- les toitures multiples en voûtes symétriques concaves vers le sol, de surbaissement inférieur ou égal à 1/4. On remplace dans ce cas chaque voûte par les deux versants plans formés par les demi-cordes.

#### 4,241 actions résultantes unitaires sur les versants

## COMMENTAIRE

### Commentaire

La règle est une extension de la règle III-2,131-3 relative aux toitures multiples des constructions prismatiques à base quadrangulaire.

Pour un vent normal au bord horizontal, les coefficients  $c$  à prendre en compte sont les suivants :

- première toiture au vent et dernière toiture sous le vent : coefficient  $c$  correspondant à celui d'une toiture unique ;
- toitures intermédiaires : dans les parties abritées coefficient  $c$  réduit de 25 %.

Pour un vent oblique au bord horizontal, dans le cas où aucun masque n'empêcherait l'action du vent, il doit être tenu compte d'une surpression de + 0,5 sur la face intérieure des versants (R-III-4,233 2).

## COMMENTAIRE

### Commentaire

Il est rappelé que les surfaces abritées sont celles situées au-dessous de la surface décrite par une génératrice ayant une pente de 20 % vers le sol et prenant appui sur le contour apparent des constructions protectrices.

Figure C-III-53

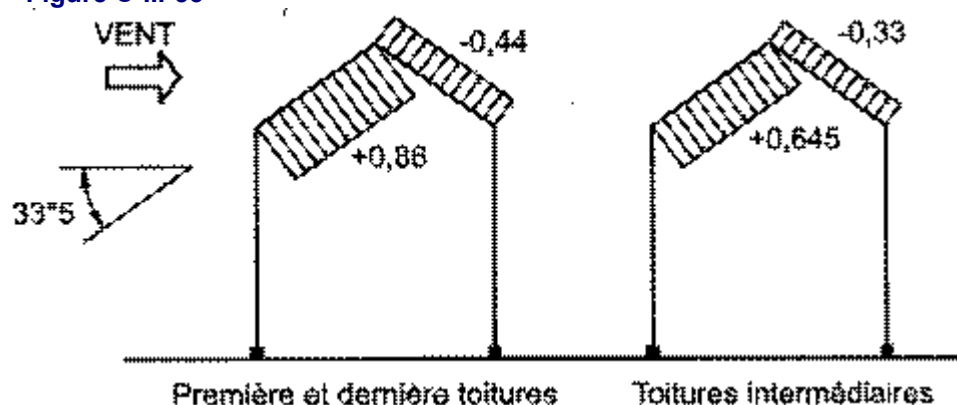


Figure C-III-53

#### 4,242 actions d'ensemble

Pour un vent normal au bord horizontal, on applique simultanément :

- au premier et au dernier versant les efforts déterminés selon la règle III-4,241 ;
- à la surface projetée en plan de toutes les autres parties de la toiture, à mi-hauteur des versants, une force horizontale d'entraînement.

La force unitaire est prise égale à :

$(0,001 \alpha + 0,02) q$  pour les toitures à versants plans dont les versants font un angle  $\alpha$  avec l'horizontale, avec un maximum de  $0,10 q$  et un minimum de  $0,03 q$  ;  
 $0,02 q$  pour les toitures en voûte ;  $q$  étant la pression dynamique au niveau des crêtes de la toiture.

Pour un vent parallèle au bord horizontal, c'est à dire lorsque la toiture se trouve dans le lit du vent, l'action d'ensemble est assimilée à une force d'entraînement dont la valeur unitaire est fixée en R-III-4,02.

#### 5 constructions ajourées et constructions en treillis

##### 5,0 prescriptions communes

##### 5,01 pression dynamique

La pression dynamique à prendre en compte est définie en R-III-1,2.

##### 5,02 actions dynamiques

Les actions dynamiques à prendre en compte sont définies en R-III-1,51.



## 5,1 éléments plans

### 5,11 caractéristiques

Entrent dans cette catégorie les panneaux ajourés et les poutres en treillis ; ces panneaux et ces poutres peuvent être uniques ou multiples.

Ils sont caractérisés :

- pour tous les cas par le rapport  $\vartheta = S_p/S$ .  
où  $S_p$  représente la surface des parties pleines supposées régulièrement réparties et  $S$  la surface totale, les vides étant obturés ;
- et pour les poutres en treillis, par la forme de la section des barres qui peut :
  - comporter des arêtes vives ou faiblement arrondies,
  - ou être circulaire.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaires

- $S_p$  représente la surface de l'ombre obtenue sur un écran placé derrière la pièce, éclairée perpendiculairement à son plan moyen.
- L'hypothèse d'une répartition régulière des parties pleines nécessite quelques précisions. Les membrures d'une poutre en treillis sont en général beaucoup plus importantes que les diagonales. Il y a donc le sens de la hauteur de la poutre, concentration de pleins vers les fibres extrêmes. Les essais ayant été effectués sur des poutres de ce type, il est inutile de tenir compte de cette répartition transversale des pleins. Par contre il n'est pas possible de négliger la distribution des pleins dans le sens de la longueur de la pièce. Si des tronçons successifs présentent des pourcentages de vides assez différents (par exemple, une poutre comportant des tronçons à âme pleine et des tronçons en treillis) on doit diviser la poutre en tronçons ayant le même  $c_t$  et déterminer l'action du vent d'après les résultats obtenus pour chacun des tronçons.
- La forme de la section des barres avec arêtes vives ou faiblement arrondies correspond au cas le plus général des produits laminés marchands (carrés, plats, cornières, T et petits U) et poutrelles (U - T - et H).

La forme circulaire correspond au cas des tubes. **5,12 éléments plans uniques**

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

L'emploi du coefficient global de traînée est suffisant en général. Au cas où il apparaîtrait souhaitable de faire un calcul plus approché d'une construction en treillis, on utiliserait la méthode par sommation des efforts dans les barres de treillis donnée en annexe 9.

### 5,121 direction du vent

La direction du vent est supposée normale au plan de l'élément.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Lorsque le pourcentage des vides est supérieur à 0,4 ( $\vartheta < 0,6$ ) et que l'angle de la direction du vent avec le plan de l'élément reste supérieur à  $65^\circ$ , l'effort exercé par le vent normalement à ce plan varie peu. C'est pourquoi on se contente en général d'étudier la stabilité des ouvrages sous l'effet d'un vent perpendiculaire

### 5,122 coefficient global de traînée $c_t$

- Cas des treillis de barres à arêtes vives ou faiblement arrondies.

Le coefficient global de traînée applicable à la surface  $S_p$  des parties pleines est donné en fonction du coefficient  $\vartheta$  par :  $c_{t,\vartheta} = 1$  étant le coefficient global de traînée relatif aux panneaux pleins lu sur l'échelle fonctionnelle de la figure R-III-13, (R-III-4,14) en fonction du rapport de dimensions  $\lambda$  de l'élément ajouré ou en treillis considéré.

$$\begin{aligned} 0 < \vartheta < 0,25 & \quad c_t = 2 - 1,6 \vartheta \\ 0,25 \leq \vartheta \leq 0,90 & \quad c_t = 1,6 \\ 0,90 < \vartheta \leq 1,00 & \quad c_t = c_{t,\vartheta=1} - [10 c_{t,\vartheta=1} - 16] (1 - \vartheta) \end{aligned}$$

- Cas des treillis en tubes.

On obtient le coefficient global  $c_t$  en multipliant par 0,6 la valeur obtenue dans le cas précédent.

## COMMENTAIRE

### Commentaires

- Dans le cas de poutres en treillis de profilés, quelque que soit la valeur de  $\vartheta$ , les essais ont montré que l'influence de la forme et du rapport de dimensions propre des barres des treillis est négligeable et les valeurs données pour  $c_t$  constituent une limite supérieure très proche des résultats expérimentaux. Il en est de même pour les poutres en treillis de tubes

D'autre part, les essais ont également montré que pour  $\vartheta \leq 0,90$ , le coefficient global de traînée  $c_t$  variait très peu avec le rapport  $\lambda$  de la poutre ou de la surface ajourée considérée ; les valeurs données dans les Règles correspondent à un rapport  $\lambda$  infini.

Pour  $\vartheta > 0,90$ ,  $\lambda$  intervient et il devient indispensable d'en tenir compte ; la formule donnée dans les Règles pour une valeur déterminée de  $\lambda$  est une interpolation entre la valeur approchée par excès correspondant à  $\vartheta = 0,90$  et  $\lambda = \alpha$ , et la valeur correspondant à  $\vartheta = 1,00$  et au  $\lambda$  envisagé. Cependant, s'il apparaissait souhaitable de tenir compte de la valeur du rapport  $\lambda$  on se reporterait à l'annexe 10

- Dans le domaine des applications courantes, la valeur des coefficients globaux des poutres en treillis de tubes est influencée par le diamètre des tubes et par la vitesse du vent. Faute d'un nombre suffisant de résultats expérimentaux, il n'a pas été possible de donner une formule générale serrant de près la réalité. La méthode assure dans tous les cas une sécurité suffisante.

### 5,123 action d'ensemble

Elle est déterminée par l'expression :

$$T = c_t q S_p$$

où  $c_t$  est donné par la règle III-5,122 ;

$q$  est la valeur de la pression dynamique ;

$S_p$  est la surface des parties pleines.

Dans le cas où la poutre présente des tronçons caractérisés par des valeurs de  $\vartheta$  nettement différentes, il y a lieu de calculer l'action du vent sur chaque tronçon, et d'additionner les effets (C-III-5,11) ; le rapport de dimensions à prendre en compte le cas échéant est celui de la poutre considérée.

### 5,13 éléments plans multiples

#### 5,131 direction du vent et principe de calcul

Le vent est supposé souffler horizontalement dans une direction dont l'angle avec le plan des éléments est supérieur à  $65^\circ$ . Il en résulte que les éléments au-delà du premier, présentent des zones directement frappées par le vent et des zones protégées.

Cas de treillis de barres à arêtes vives ou faiblement arrondies :

Une réduction des actions du vent est à prendre en compte sur les parties protégées des éléments

au-delà du premier (R-III-5,132). Ces éléments doivent avoir pour caractéristiques d'être identiques entre eux, de présenter un rapport  $\eta$  au plus égal à 0,6 et d'être disposés parallèlement les uns aux autres à une distance  $e$  dont le rapport à la plus petite dimension  $l$  de chaque élément est inférieur ou égal à 5

$$\left(\frac{e}{l} \leq 5\right).$$

#### COMMENTAIRE

Commentaire La limitation du rapport  $\eta$  correspond aux conditions dans lesquelles ont été effectués les essais ayant servi de base aux Règles ; au-delà la réduction devra être déterminée par un essai.

Aucune réduction n'est admise sur les éléments pour lesquels le rapport  $e/l$  est supérieur à 5 dans les zones directement frappées par le vent soufflant suivant une direction dont l'angle avec le plan de l'élément est supérieur ou égal à  $65^\circ$ .

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

On a constaté expérimentalement que l'ensemble de deux éléments plans triangulés dont les barres ont des arêtes vives ou faiblement arrondies et dont la distance  $e$  est inférieure ou égale à la largeur des barres de treillis, pouvait présenter un coefficient aérodynamique global inférieur à celui d'un élément isolé. Il se produit un effet d'interaction entre les deux éléments ce qui a pour résultat de diminuer de façon appréciable le coefficient aérodynamique de l'ensemble. Ceci justifie dans le cas de poutres jumelées de prendre un effort nul sur la poutre protégée.

Quand la distance d'éléments augmente, on peut considérer que chaque barre constitue un écran opposé à l'action du vent, créant au sens de la définition optique une zone d'ombre pour des rayons lumineux parallèles à la direction du vent : les parties de barres situées dans les zones d'ombre sont abritées.

Quand la distance des éléments augmente encore jusqu'à  $2l$  ( $l$  étant la plus petite dimension de la poutre ou du poteau), il y a uniformisation progressive de la vitesse du vent et de la pression dynamique au-delà du premier élément sur toute surface parallèle au plan de l'élément (dans l'analogie lumineuse on se trouve dans une zone de pénombre) : les barres situées dans les zones de pénombre sont protégées. Il n'est pas nécessaire qu'il y ait « abri » des barres l'une par l'autre pour que le coefficient réducteur puisse intervenir.

Quand la distance continue à croître ( $e > 2l$ ), l'effet de protection s'affaiblit (la pénombre s'éclaircit) puis disparaît ( $e = 5l$ ).

Cas des treillis de tubes : aucune réduction n'est admise quel que soit le rapport  $e/l$  sauf justification expérimentale directe.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Pour les éléments à treillis tubulaires, en toute rigueur, l'effet de protection n'est pas nul, mais il reste toujours faible dans les conditions de la pratique courante. Il dépend de nombreux facteurs, en particulier du diamètre des tubes et de la pression dynamique (nombre de Reynolds) Aussi il n'a pas été jugé utile de donner dans les Règles des formules complexes dont le domaine d'application serait restreint et la validité aléatoire.

#### **5,132 valeur des pressions sur les différents plans**

Dans le cas général des profilés à arêtes vives ou faiblement arrondies (R-III-5,11), les pressions exercées sont les suivantes :

- sur le premier élément au vent :  $p_1 = c_t q c_t$  étant calculé suivant la règle III-5,122 ;
- sur les zones protégées du deuxième élément :  $p_2 = \eta p_1$  ;
- sur les zones protégées du  $n^e$  élément :  $p_n = \eta p_{n-1}$ .

Le coefficient de réduction  $\eta$  a pour valeur : Pour

$$\begin{aligned}\frac{e}{l} \leq 2 \quad \eta &= 1 - 1,2 \varphi \\ 2 < \frac{e}{l} < 5 \quad \eta &= 1 - 0,4 \varphi \left( 5 - \frac{e}{l} \right) \\ \frac{e}{l} \geq 5 \quad \eta &= 1.\end{aligned}$$

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Les formules données dans les Règles couvrent trop largement pour des valeurs de  $\varphi$  voisines de 0,4 - 0,5, lorsque le rapport  $e/l = 1$  et que les treillis sont masqués les uns par les autres pour la direction considérée du vent ; mais le moindre décalage des éléments dans le sens de l'axe longitudinal ou la moindre variation de la direction du vent (R-III-5,131) suffit pour accroître l'action du vent sur le deuxième élément.

### 5,2 ensembles prismatiques

#### 5,21 caractéristiques

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Le cas des constructions en treillis complètement bardées relève des règles III-3.

Entrent dans cette catégorie les tours et pylônes en treillis de rapport de dimensions quelconque, à section sensiblement constante, en forme de carré, de triangle équilatéral ou de rectangle et dont toutes les faces sont composées de plans de treillis (à barres simples ou jumelées) identiques et présentant un pourcentage de surfaces pleines  $\varphi$  limité (R-III-5,23 5,24 et 5,25).

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Par tours et pylônes à section sensiblement constante on entend, non seulement les constructions parallélépipédiques, mais également les constructions classiques en tronc de pyramide dont la pente des façades n'excède pas 7,5 %, et dont le rapport des sections extrêmes est supérieur à 1/4. Pour des rapports inférieurs, on aura recours à des essais ou à l'application de la règle III-6,09.

Pour déterminer le moment de renversement sur de telles constructions, on est généralement amené à les décomposer par des sections horizontales en un certain nombre de tronçons (à section sensiblement constante) et à calculer l'effort exercé par le vent sur chaque tronçon.

#### 5,22 action d'ensemble

Elle est donnée par :

$$T = c_t q_r S_p \text{ ou } \chi c_t q_r S_p$$

où  $c_t$  est le coefficient global de la traînée,

$q_r$  est la valeur moyenne au sens analytique de la pression dynamique,

$S_p$  est la surface des parties pleines d'une seule face, quelle que soit l'incidence,

$\chi$  est défini en III-5,231.

Le coefficient  $c_t$  est déterminé pour certains types d'ensembles prismatiques soit par une méthode globale (R-III-5,23 et 5,24), soit par une méthode par sommation (R-III-5,25).

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Théoriquement l'action d'ensemble sur une tour ou sur un pylône de section quelconque doit pouvoir

se déterminer en faisant la somme des efforts appliqués aux différentes faces en treillis et déterminés selon la règle III-5,13. Mais en fait cette méthode par sommation est uniquement applicable au pylône à base carrée ou à base rectangulaire attaqué normalement par le vent car en incidence oblique ou pour les pylônes à base triangulaire, les faces sont inclinées sur la direction du vent suivant des angles différents et la règle III-5,13 ne permet pas la détermination des actions du vent dans ces cas.

### 5,23 tours et pylônes à section carrée (méthode globale) $0,08 \leq \vartheta \leq 0,35$

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

On possède actuellement un assez grand nombre de résultats expérimentaux concernant l'action du vent sur les pylônes à section carrée. On peut citer les essais de Flaschbart et Winter (1935) puis les études de Vandepierre (1950). Ce dernier a établi une formule donnant le coefficient  $c_t$  en fonction du rapport  $\vartheta$  pour un certain type de treillis. La formule adoptée dans les Règles découle de cette étude et reste en accord avec les résultats expérimentaux de Flaschbart.

### 5,231 coefficient global de traînée $c_t$

- Incidence normale à une face.

Le coefficient  $c_t$  est pris égal à :

cas des treillis de barres à arêtes vives ou faiblement arrondies :  $c_t = 3,20 - 2\vartheta$  ;

cas des treillis de tubes :  $c_t = 2,24 - 1,40 \vartheta$ .

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Les valeurs adoptées pour les treillis de tubes sont obtenues en multipliant par 0,7 les valeurs relatives au cas des treillis de barres à arêtes vives ou faiblement arrondies et non pas par 0,6 comme dans le cas des éléments plans uniques (R-III-5,122) ; cette valeur de 0,7 tient compte du fait que l'effet d'abri est négligeable pour les éléments plans multiples à treillis en tubes (R-III-5, 131).

- Incidence suivant une diagonale

On multiplie le coefficient  $c_t$  précédemment déterminé par un coefficient  $\chi$  fonction de la nature de la structure et donné par le tableau 18.

Nature de la structure	Coefficient $\chi$	
	Barres simples	Barres jumelées
Charpente métallique	$1 + 0,6 \varphi$	1,2
Charpente en béton armé	1,2	1,2
Charpente en bois	1,2	1,3

Tableau 18

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

Les valeurs différentes prescrites pour  $\chi$  découlent surtout des dispositions constructives qui varient avec le matériau, notamment du mode d'assemblage des barres. Pour le bois, lorsque les traverses et treillis sont des moises (barres jumelées), et que le vent attaque une face perpendiculairement, ces barres se trouvent abritées l'une par l'autre, mais pour une attaque à 45° chacune d'elles subit l'action du vent. Katzmayer et Seitz (1934) ont trouvé pour un modèle de pylône T.S.F. à treillis en bois des valeurs de  $\chi$  atteignant 1,42.

### 5,232 décomposition de l'action d'ensemble

Au cas où il est nécessaire de répartir l'action d'ensemble suivant les différents plans de treillis, on multiplie T (R-III-5,22) par les valeurs données dans le tableau 19 page suivante.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

La décomposition de l'action d'ensemble pour les tours et pylônes dans le cas des treillis de barres à arêtes vives ou faiblement arrondies tient compte de l'effet de protection ; elle n'en tient plus compte pour les tours et pylônes composés de treillis de tubes, l'effet de protection étant négligeable dans ce cas.

#### 5,24 tours et pylônes à section en forme de triangle équilatéral (méthode globale) $0,08 \leq \vartheta \leq 0,35$

#### COMMENTAIRE

##### Commentaire

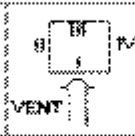
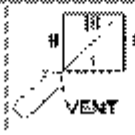
Pour les tours et pylônes à section en forme de triangle équilatéral, on s'est reporté à l'étude de Vandepierre (1956) qui a regroupé les résultats d'essais de Joukoff (1950) et de Tronglet (1953). La formule donnée dans les règles couvre les résultats expérimentaux de Tronglet plus défavorables que ceux de Joukoff.

#### 5,241 coefficient global de traînée $c_t$

Le coefficient  $c_t$  prend les valeurs données par le tableau 20, page suivante.

#### 5,242 décomposition de l'action d'ensemble

Au cas où il est nécessaire de répartir l'action d'ensemble suivant les différents plans de treillis, on multiplie T (R-III-5,22) par les valeurs données dans le tableau 21, page suivante.

Face considérée			Barres à arêtes vives ou faiblement arrondies				Tubes			
			I	II	III	IV	I	II	III	IV
Incidence normale à une face		n	0,63	0,0	0,37	0,0	0,50	0,0	0,50	0,0
		t	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Incidence suivant une diagonale		n	0,22	0,22	0,13	0,13	0,18	0,18	0,18	0,18
		t	0,22	0,22	0,13	0,13	0,18	0,18	0,18	0,18

n : composante perpendiculaire à la face. t : composante parallèle à la face.

Tableau 19

		Barres à arêtes vives ou faiblement arrondies	Tubes
Incidence normale à une face		$c_t = 3,2 - 4 \varphi$ avec un minimum de 2	$c_t = 2,24 - 2,8 \varphi$ avec un minimum de 1,4
Incidence suivant une bissectrice		$c_t = 2,6 - 2 \varphi$	$c_t = 1,82 - 1,4 \varphi$
Incidence parallèle à une face		$c_x = 2,6 - 2 \varphi$ $c_y = +0,8$	$c_x = 1,82 - 1,4 \varphi$ $c_y = +0,56$

Tableau 20

Face considérée			Barres à arêtes vives ou faiblement arrondies			Tubes		
			I	II	III	I	II	III
Incidence normale à une face		n	0,63	0,09	0,09	0,50	0,13	0,13
		t	0,0	0,16	0,16	0,0	0,22	0,22
Incidence suivant une bissectrice		n	0,16	0,16	0,37	0,13	0,13	0,50
		t	0,27	0,27	0,0	0,22	0,22	0,0
Incidence parallèle à une face		n	$1,67 - 1,09 \varphi$	0,0	$0,68 - 0,64 \varphi$	$0,93 - 0,61 \varphi$	0,0	$0,65 - 0,61 \varphi$
		t	$-0,38 + 0,63 \varphi$	0,0	$0,74 - 0,37 \varphi$	$-0,22 + 0,35 \varphi$	0,0	$0,69 - 0,35 \varphi$

n : composante perpendiculaire à la face. t : composante parallèle à la face.

Tableau 21

### 5,25 tours et pylônes à section carrée ou rectangulaire (méthode par sommation) $\vartheta \leq 0,60$

En incidence normale sur chaque face on détermine les efforts appliqués aux deux plans de treillis suivant la règle III-5,13 et on fait la somme de ces efforts.

[COMMENTAIRE](#)  
[Commentaire](#)

Le coefficient global de traînée  $c_t$  a alors pour valeur :

$$\begin{aligned} \text{pour } \varphi \leq 0,25 \quad c_t &= (2 - 1,6 \varphi) (2 - 1,2 \varphi) \quad R\text{-III-5, 122 et 5, 132} \\ \text{pour } \varphi > 0,25 \quad c_t &= 1,6 (2 - 1,2 \varphi) \end{aligned}$$

Ces coefficients peuvent dans certains cas être très défavorables ; ceci vient du fait que l'effet de protection est supérieur à celui envisagé (C-III-5, 131 et 5, 132).

$$\left( \frac{e}{l} \leq 1 \quad \text{et} \quad \varphi \leq 0,15 \right)$$

## **6 constructions diverses**

### **6,0 prescriptions communes**

#### **6,01 pression dynamique**

La pression dynamique à prendre en compte est définie en R-III-1,2.

#### **6,02 caractéristiques**

Les constructions diverses comprennent toutes celles qui n'entrent pas strictement dans le cadre de celles définies par les règles III-2, 3, 4 et 5.

Ce sont notamment :

- les constructions de forme particulière,
- les constructions provisoires,
- les constructions en cours d'exécution,
- les constructions hors règlement.

#### **6,09 application des règles générales**

A défaut d'essais ou de prescriptions spéciales données en règles III-6,1-6,2-6,3 et 6,4, on utilise au mieux, et toujours dans le sens de la prudence, les règles III-2-3-4 et 5.

#### **6,1 constructions de forme particulière**

Les coefficients  $c$  donnés pour les constructions à surface courbe ne s'appliquent pas lorsque les surfaces sont polies (C-III-3,2).

#### **6,11 toitures dont la base est un polygone régulier ou un cercle**

##### **6,111 direction du vent**

La direction du vent est supposée parallèle à la base de la toiture et perpendiculaire à l'un de ses côtés si elle est polygonale.

##### **6,112 calottes sphériques**

Les forces de renversement  $T$  et de soulèvement  $U$  sont données par les expressions suivantes :

$$T = c'_t q_h \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{et} \quad U = c_t q_h \frac{\pi d^2}{4}$$

où  $c'_t$  et  $c_u$  sont déterminés par le tableau 22 ;

$q_h$  est la pression dynamique au sommet de la construction ;

$d$  est le diamètre de base de la calotte.



Type de la calotte	$c'_t$	$c_u$	
Reposant sur le sol ou sur une terrasse	$c'_t = 0,44 f/d$	$f/d \leq 0,05$	$c_u = - 2,8 f/d$
		$0,05 < f/d < 0,25$	$c_u = - 0,14$
		$f/d \geq 0,25$	$c_u = - 2,8 f/d$  $+ 0,56$
Reposant sur un cylindre de hauteur $h - f$ : avec $(h - f)/d \geq 0,5$	$c'_t = 3 (f/d)^2$	$f/d \leq 0,3$	$c_u = - 0,6$
	$- 0,9 f/d$	$f/d > 0,3$	$c_u = + 0,9$ $- 5 f/d$
Reposant sur un cylindre de hauteur $h - f$ : avec $0 < (h - f)/d < 0,5$	Se reporter à la règle III-6,09.		
f est la flèche de la calotte, h est la hauteur totale de la construction, calotte comprise.			

Tableau 22

## COMMENTAIRE

### Commentaire

La surface  $S_t$  du maître-couple étant moins facile à déterminer que la surface de base de la calotte, on a substitué au coefficient global de traînée  $c_t$  un coefficient  $c'_t$  rapporté comme le coefficient  $c_u$  à cette surface de base.

$$c'_t \text{ a pour valeur } c'_t = c_t \frac{S_t}{\pi \frac{d^2}{4}}$$

La ligne d'action de la résultante des forces T et U est déterminée par l'abscisse  $x$  de son point d'intersection avec le plan de base de la calotte.

Cette abscisse est donnée par les courbes de la figure R-III-16.

- la courbe A est celle relative aux calottes reposant sur le sol ou sur une terrasse,
- et la courbe B celle relative aux calottes reposant sur un cylindre de hauteur

$$h \left( \frac{h}{d} \geq 0,5 \right).$$

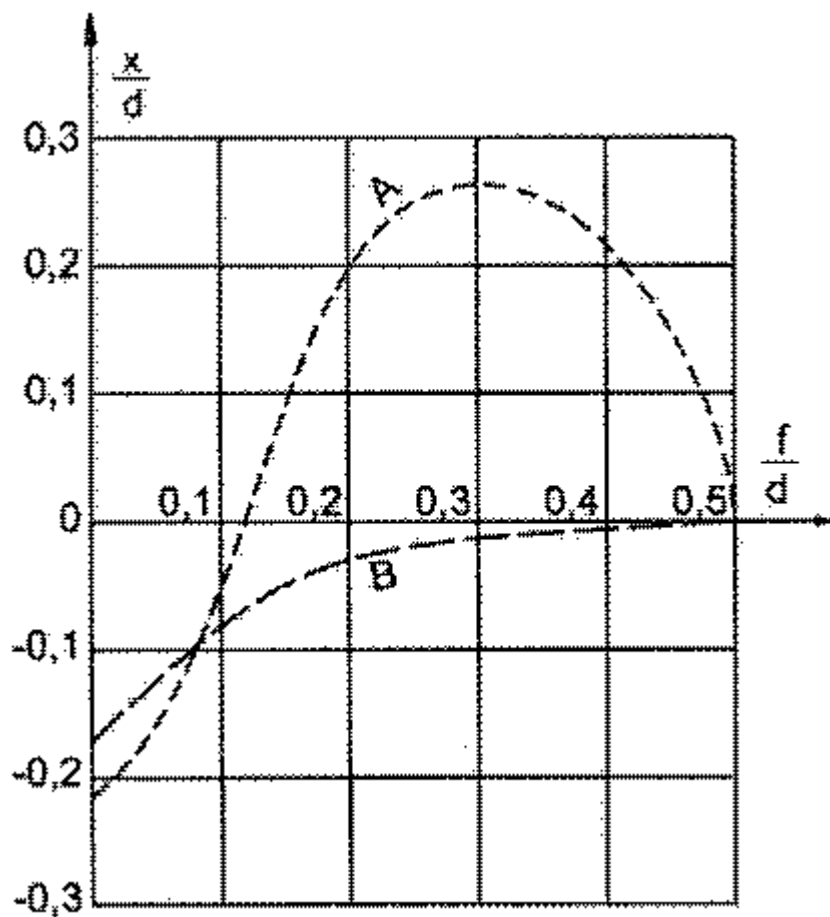


Figure R-III-16 calottes sphériques. Position de la ligne d'action de la résultante.

#### COMMENTAIRE

Commentaire

La force U est toujours dirigée vers le haut (soulèvement) ; la force T est positive lorsqu'elle est dirigée dans le sens du vent et négative lorsqu'elle est dirigée dans le sens opposé.

**Figure C-III-54**

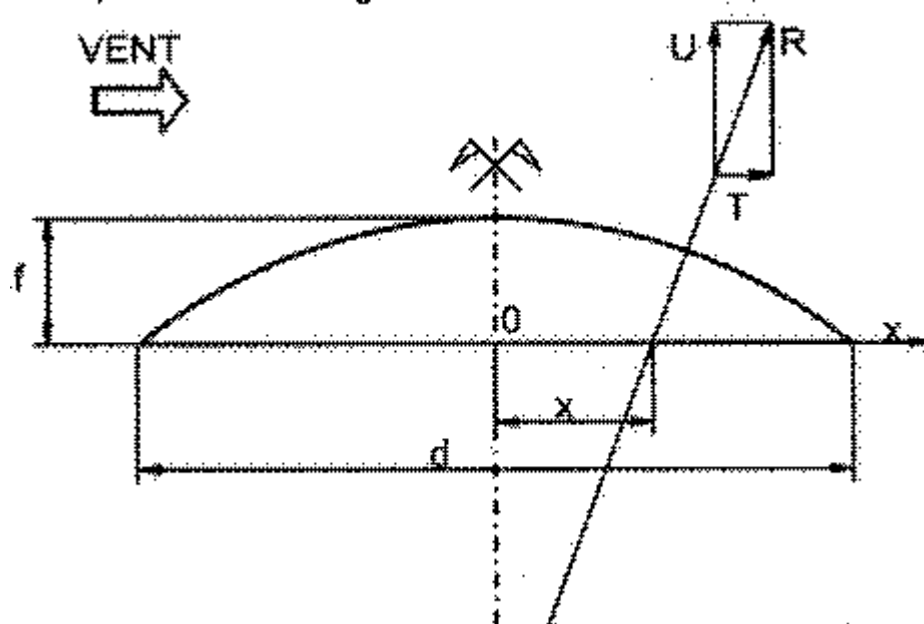


Figure C-III-54

### 6,113 cônes et pyramides

Pour les cônes à base circulaire ou les pyramides à base carrée reposant sur le sol ou sur une terrasse et dont la hauteur  $h$  vérifie respectivement une des inégalités suivantes :

$1,5 d \leq h \leq 2,5 d$   $d$  : diamètre de base du cône ;

$1,5 a \leq h \leq 2,5 a$   $a$  : côté de la base de la pyramide.

Les coefficients globaux de traînée et de soulèvement sont pris égaux à :

cône  $c_t = 0,7$  pyramide  $c_t = 1,2$  ;

$c_u = -0,3$   $c_u = -0,3$ .

Les forces de renversement  $T$  et de soulèvement  $U$  sont exprimées par :

$$T = c_t q_r S_t \text{ et } U = c_u q_r S_u$$

où  $q_r$  est la valeur moyenne au sens analytique de la pression dynamique ;

$S_t$  est la surface du maître-couple ;

$S_u$  est la surface de base.

Pour tous les autres cas on se reporte à la règle III-6,09.

#### COMMENTAIRE

##### Commentaires

- Les valeurs données dans les Règles résultent d'essais réalisés par Irminger en 1930 sur un cône de hauteur  $H = 2 d$  et sur une pyramide de hauteur  $h = 2 a$ .
- L'attention des constructeurs est attirée sur le fait qu'au voisinage immédiat du sommet de toits coniques lisses inclinés à  $45^\circ$ , on a mesuré au tunnel des dépressions qui varient de  $-1,5 q$  à  $-3,5 q$ .

### 6,12 constructions en forme de voûte sans lanterneau reposant directement sur le sol

#### COMMENTAIRE

Commentaire La règle concerne uniquement les bâtiments en forme de voûte sans lanterneau.

Des études en soufflerie aérodynamique sur des maquettes de voûtes uniques lisses à directrices

circulaires, elliptiques ou paraboliques avec surbaissements  $f/l$  variables ont été effectuées en 1969. Elles ont montré que dans le cas de voûtes paraboliques d'allongement (rapport de la longueur du bâtiment à la largeur  $l$  de sa base) voisin de 1 et de surbaissement compris entre 0,5 et 0,6, soumises à un vent normal aux génératrices, les dépressions pouvaient atteindre - 1,5 au lieu de - 1,1. Il semble qu'on puisse considérer cette valeur comme un maximum.

A défaut d'essais, pour les constructions en forme de voûte dont la flèche relative est comprise entre 1/4 et 1, on applique les actions extérieures suivantes.

Voûte unique

- pour un vent normal aux génératrices :  
les actions déterminées par les coefficients  $c_e$  donnés en règle III-3,411 2 (diagramme de la figure R-III-11, catégorie V pour  $\gamma = 1$ ) ;
- pour un vent parallèle aux génératrices :  
une succion uniforme avec  $c_e = -0,5$  et une force d'entraînement (R-III-2,161 2).

Voûtes jumelées

- pour un vent normal aux génératrices :  
sur la voûte au vent les actions de la voûte unique, et sur la voûte sous le vent une succion uniforme avec  $C_e = -0,5$  ;
- pour un vent parallèle aux génératrices :  
une succion uniforme avec  $c_e = -0,5$  et une force d'entraînement (R-III-2,161 2).

## COMMENTAIRE

### Commentaire

Le cas des bâtiments voûte avec lanterneau reposant directement sur le sol est un cas suffisamment courant pour qu'on ne puisse le passer sous silence. Cependant l'état actuel de nos connaissances ne permet pas de donner de règles, même approximatives ; c'est pourquoi il a été jugé bon de citer à titre tout à fait indicatif les résultats d'expériences réalisées en 1930 sur une maquette de bâtiment parabolique par le Service technique de l'Aéronautique de l'Etat belge.

Figure C-III-55

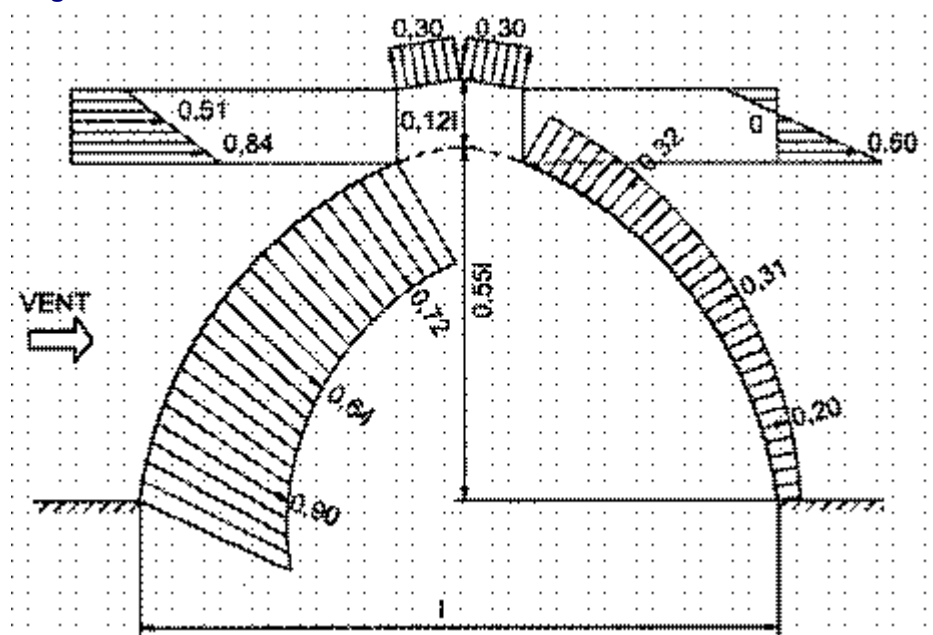


Figure C-III-55

6,13 tubes ou fils cylindriques rugueux et câbles torsadés

6,131 génératrices normales à la direction du vent

Les valeurs de  $c_t$  à prendre en compte pour un rapport de dimensions infini sont données dans le tableau 23.

L'application du coefficient de site protégé est à exclure pour ce type de construction.

		$C_t$
Tubes ou fils rugueux <sup>(1)</sup>	$d \sqrt{q} \leq 0,5$	1,00
	$0,5 < d \sqrt{q} < 1,5$	$1,135 - 0,27 d \sqrt{q}$
	$d \sqrt{q} \geq 1,5$	0,73
Câbles torsadés à torons fins <sup>(1)</sup>	$d \sqrt{q} \leq 0,5$	1,20
	$0,5 < d \sqrt{q} < 1,5$	$1,40 - 0,40 d \sqrt{q}$
	$d \sqrt{q} \geq 1,5$	0,80

1. Dans les inégalités, d est exprimé en mètres, et q en décanewtons par mètre carré.

Tableau 23

### 6,132 génératrices inclinées sur la direction du vent

Soit  $\alpha$  l'inclinaison exprimée en degrés de l'axe sur la direction du vent. Le coefficient  $c_{t\alpha}$  a pour valeur :

$$\alpha \leq 15^\circ \quad c_{t\alpha} = 0$$

$$15^\circ < \alpha < 75^\circ \quad c_{t\alpha} = c_t \left( 0,5 \frac{\alpha}{30} - 0,25 \right)$$

$$\alpha \geq 75^\circ \quad c_{t\alpha} = c_t$$

L'action totale du vent  $R_\alpha$  normale à l'axe longitudinal est :

$$R_\alpha = c_{t\alpha} q / d.$$

### COMMENTAIRE

Commentaire

Figure C-III-56

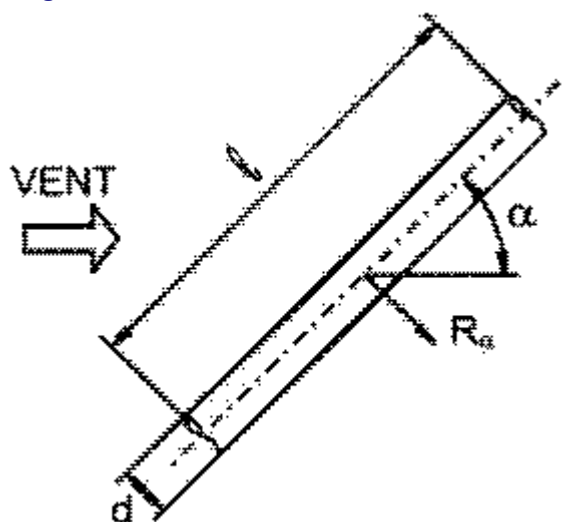


Figure C-III-56

### 6,14 constructions dérivées de la sphère

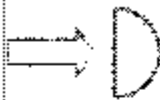
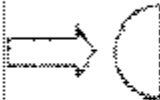

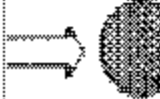
Constructions		Coefficient global de traînée $C_t$	
	Demi-sphère creuse, concavité au vent	1,4	
	Demi-sphère creuse ou pleine, concavité sous le vent	0,4	
	Demi-sphère pleine et disque circulaire	1,2	
	Sphère	$d \sqrt{q} \leq 0,5$	0,48
		$0,5 < d \sqrt{q} < 1,5$	$0,62 - 0,28 d \sqrt{q}$
		$d \sqrt{q} \geq 1,5$	0,20

Tableau 24

#### COMMENTAIRE commentaires

- Pour les coupôles sphériques creuses dont la flèche  $f$  est inférieure au rayon  $r$  on peut interpoler linéairement entre les valeurs du disque circulaire et de demi-sphère, en fonction du rapport  $f/r$ .
- Dans le cas de la demi-sphère creuse concavité au vent, la composante de la force due au vent suivant la normale à la base de la demi-sphère est maximale lorsque la direction du vent est inclinée de  $30^\circ$  à  $60^\circ$  sur cette normale.

#### 6,15 drapeaux

L'effort  $R$  qu'un drapeau en tissu de hauteur  $h$  et de longueur  $l$ , est susceptible d'appliquer à sa hampe, est donné par la formule :

$$R = h (0,10 + 0,05 l) q$$

où  $R$  est exprimé en daN ;

$l$  et  $h$  en mètres ;

$q$  en daN/m<sup>2</sup>.

La répartition de cet effort dépend du mode d'attache du drapeau sur sa hampe.

#### COMMENTAIRE

Commentaire La formule donnée dans les Règles résulte d'essais effectués par le Service de Recherches de l'Aéronautique, sur des drapeaux dont les hauteurs sont comprises entre 0,45 m et 0,90 m et les longueurs entre 0,11 m et 4,00 m. Elle ne peut être appliquée à des drapeaux de dimensions dépassant ces valeurs.

#### 6,2 constructions provisoires

Le calcul des constructions provisoires ne diffère pas de celui des autres constructions (R-III-2, 3, 4 et 5), mais lorsque les risques de dégâts matériels sont faibles et surtout lorsque les risques d'accident de personnes sont pratiquement nuls, les pressions peuvent être réduites aux 3/4 de celles correspondant à la construction définitive identique.

## COMMENTAIRE

### Commentaire

L'article III-2,9 est applicable sous réserve de donner au coefficient  $k_r$  (III-2,921) les valeurs suivantes :

**Tableau 25** En aucun cas, conformément à la règle III-1,246 concernant les constructions définitives, on ne doit descendre au-dessous d'une pression dynamique normale de : ou extrême de :

	<i>Pression normale</i>	<i>Pression extrême</i>
<i>Zone 1</i>	0,75	1,31
<i>Zone 2</i>	0,90	1,58
<i>Zone 3</i>	1,13	1,97
<i>Zone 4</i>	1,35	2,37
<i>Zone 5</i>	1,80	3,15

Tableau 25

$$q = 30 \times \frac{3}{4} = 22,5 \text{ daN/m}^2$$

$$q = 52,5 \times \frac{3}{4} = 39,4 \text{ daN/m}^2$$

## COMMENTAIRE

### Commentaire

L'attention des constructeurs est attirée sur la nécessité de déterminer exactement les cas où les constructions provisoires doivent être calculées suivant les règles III-2, 3, 4 et 5 sans minoration des pressions. Il est évident que, par exemple, dans le cas particulier de constructions provisoires pouvant abriter des expositions où le public est admis, ces règles doivent être adoptées impérativement.

### 6,3 constructions en cours d'exécution

Le cas échéant, on doit tenir compte des formes diverses que peut prendre la construction au cours de son exécution, formes qui peuvent conduire à des coefficients aérodynamiques différents de ceux de la construction définitive.

### 6,4 constructions hors règlement

Lorsqu'une construction :

- a) a une forme inhabituelle ;
- b) est répétée à un grand nombre d'exemplaires ;

des coefficients aérodynamiques différents de ceux des Règles pourront être admis à la suite d'essais en soufflerie correctement conduits et interprétés.

## COMMENTAIRE

### Commentaire

Par construction de forme inhabituelle on entend par exemple une combinaison de paraboloïdes hyperboliques ou d'hyperboloïdes.

Les ouvrages de dimensions exceptionnelles par leur hauteur ou leur portée, ou occupant une situation inaccoutumée (R-III-1,242) ou pouvant être soumis à de dangereux effets de sillage (R-III-1,243) ou pouvant être sujets à des oscillations forcées (R-III-1,51 et R-III-1,52) ou à des accélérations gênantes ou désagréables (immeubles d'habitation ou de bureaux) n'entrent pas dans le cadre des prescriptions générales des présentes Règles, notamment pour le calcul des actions dynamiques par la méthode simplifiée de l'article R-III-1,5.

La justification de leur stabilité aérodynamique et de leur comportement peut poser des problèmes qui doivent être résolus par des méthodes scientifiques élaborées et par des essais en soufflerie simulant

B : point fictif d'intersection de l'horizontale de niveau supérieur moyen  $Z_2$  et de la ligne moyenne de plus grande pente  $p$ .



C : point tel que  $BC = Z_2 - Z_1 = z$ .

D : point tel que  $CD = 3z$ .

On adopte pour  $Z_c$  le niveau moyen suivant : de A en B et de C en D :  $Z_c$  est le niveau intermédiaire obtenu par interpolation linéaire.

avant A :  $Z_c = Z_1$

de B en C :  $Z_1 + \frac{2-p}{1,7} z$

à partir de D :  $Z_c = Z_2$

### 2,23 troisième cas : $p \geq 2$ (figure A-2-3)

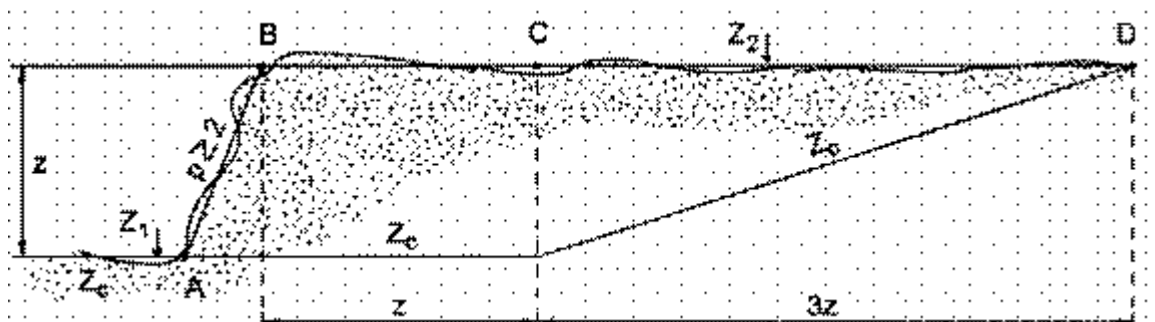


Figure A-2-3

avant A :  $Z_c = Z_1$

de A en C :  $Z_c = Z_1$

à partir de D :  $Z_c = Z_2$

de C en D :  $Z_c$  est le niveau intermédiaire entre  $Z_1$  et  $Z_2$  obtenu par interpolation linéaire.

### Annexe 3 effet des dimensions

L'annexe 3 a pour but l'application de la règle III-1,244 à :

- des éléments d'une construction n'intervenant pas dans la vérification de la stabilité d'ensemble au vent ;
- des éléments d'une construction intervenant dans la vérification de la stabilité d'ensemble au vent.

### 3,1 éléments n'intervenant pas dans la vérification de la stabilité

#### 3,11 file de poteaux

##### 3,111 caractéristiques de la construction

Bâtiment d'habitation.

Hauteur  $h = 30$  m.

Dimensions en plan :  $a = 40$  m et  $b = 12$  m.

File de poteaux tous les 5 m.

Planchers rigides tous les 3 m reportant la charge du vent sur les murs pignons formant plans de contreventement.

### 3,112 détermination des actions du vent sur la file de poteaux AB (figure A-3-1)

Cette file de poteaux entre dans la catégorie des éléments continus de dimensions courantes pour lesquels on peut appliquer des règles forfaitaires.

Pour chacune des dix travées, la plus grande dimension de la surface intéressant l'élément considéré est de 5 m ; le coefficient  $\delta$  est égal à 0,87.

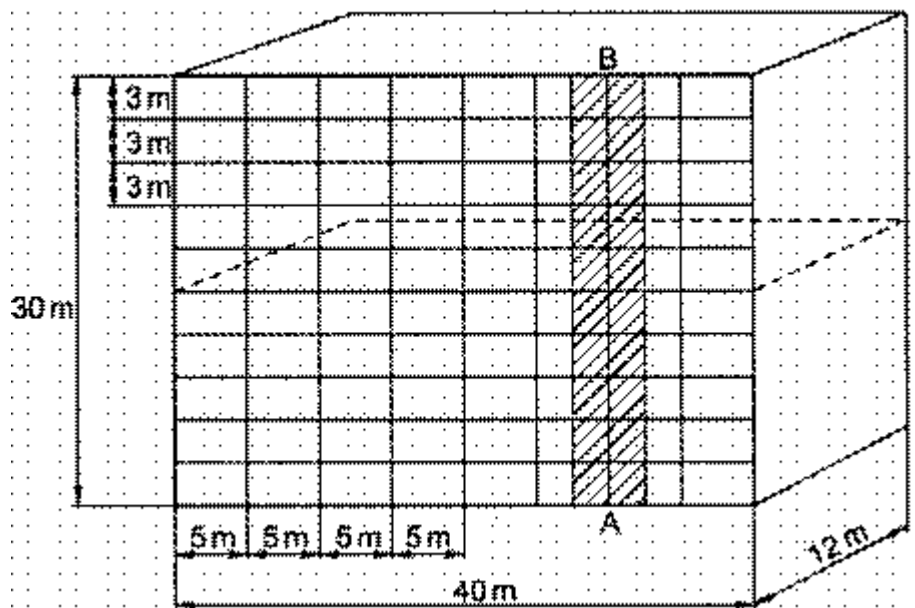


Figure A-3-1

### 3,12 poutre continue de grandes dimensions

#### 3,121 caractéristiques

Poutre appartenant à un bâtiment industriel situé en zone 1 site exposé et comportant quatre travées de portée égale respectivement à : 10 m, 12 m, 18 m et 15 m. La hauteur de la surface reportant la charge du vent sur la poutre est de 12 m (figure A-3-2).

Pression dynamique :

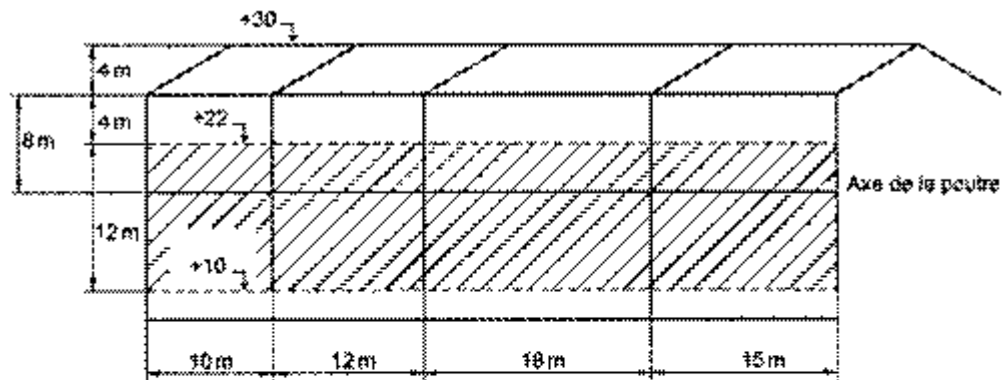


Figure A-3-2



Figure A-3-3



figure sans légende dans: 3,121 caractéristiques

$$q_{22} = 82,3 \text{ daN/m}^2$$

$$q_{10} = 67,5 \text{ daN/m}^2.$$

Pour simplifier les calculs on prend une pression moyenne constante égale à 80 daN/m<sup>2</sup>.

### 3,122 détermination du coefficient $\delta$ afférent à chaque travée

Travée	Plus grande dimension de la surface intéressant la travée considérée	Coefficient $\delta$ à retenir
1	12m	0,82
2	12m	0,82
3	18m	0,79
4	15m	0,81

tableau sans légende dans: 3,122 détermination du coefficient  $[\delta]$  afférent à chaque travée

### 3,123 détermination du moment maximal sur le deuxième appui

Le cas de charges à envisager est celui indiqué figure A-3-3.

Les coefficients et les charges par mètre à prendre en compte sont les suivants :

Première travée

$$1,10 \delta = 0,90 \text{ charge : } 0,80 \times 12 \times 0,90 = 864 \text{ daN/m}$$

Deuxième travée

$$1,10 \delta = 0,90 \text{ charge : } 0,80 \times 12 \times 0,90 = 864 \text{ daN/m}$$

Troisième travée

$$0,90 \delta = 0,71 \text{ charge : } 0,80 \times 12 \times 0,71 = 682 \text{ daN/m}$$

Quatrième travée

$$1,10 \delta = 0,89 \text{ charge : } 0,80 \times 12 \times 0,89 = 854 \text{ daN/m}$$

### 3,124 détermination du moment maximal dans la troisième travée

Le cas de charges à envisager est celui indiqué figure A-3-4.

Les coefficients et les charges par mètre à prendre en compte sont les suivants :

Première travée

$$1,10 \delta = 0,90 \text{ charge : } 0,80 \times 12 \times 0,90 = 864 \text{ daN/m}$$

Deuxième travée

$$0,90 \delta = 0,74 \text{ charge : } 0,80 \times 12 \times 0,74 = 710 \text{ daN/m}$$

Troisième travée

$$1,10 \delta = 0,87 \text{ charge : } 0,80 \times 12 \times 0,87 = 835 \text{ daN/m}$$

Quatrième travée

$$0,90 \delta = 0,73 \text{ charge : } 0,80 \times 12 \times 0,73 = 700 \text{ daN/m}$$

La détermination des moments maximaux sur les autres appuis et les autres travées se fait de la même manière.

## 3,2 stabilité d'ensemble d'une construction

### 3,21 bâtiment courant

#### 3,211 caractéristiques

Hauteur  $h = 20 \text{ m}$

Dimensions en plan :  $a = 50 \text{ m}$  et  $b = 10 \text{ m}$ .

Deux cas sont envisagés pour le contreventement de ce bâtiment :

- contreventement assuré par des plans de contreventement ;
- contreventement assuré par une série de portiques régulièrement espacés.

#### 3,212 cas des plans de contreventement (figure A-3-5)

Ces plans sont au nombre de trois : deux murs pignons et un mur de refend médian.

On admet que la surface intéressant le mur de refend médian a pour largeur 25 m et pour hauteur 20 m.

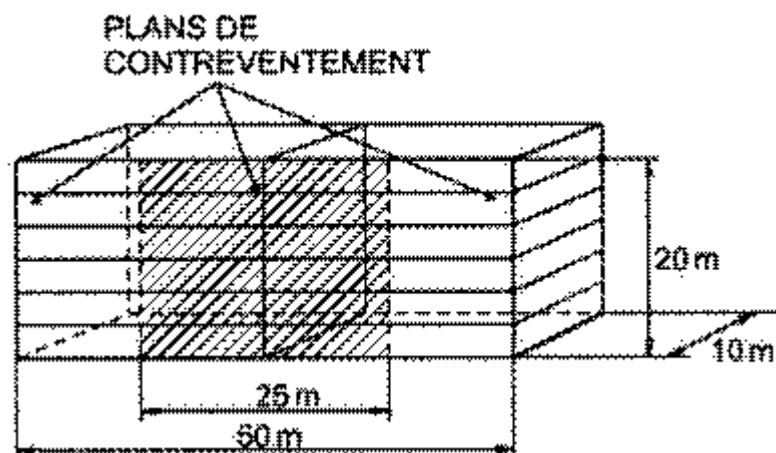


Figure A-3-5

Le coefficient  $\delta$  est constant sur toute la hauteur du bâtiment et a pour valeur 0,775.

### 3,213 cas des portiques (figure A-3-6)

Ces portiques sont au nombre de onze, et sont espacés de 5 m.

On admet que la surface intéressant un portique intermédiaire a pour largeur 5 m et pour hauteur 20 m.

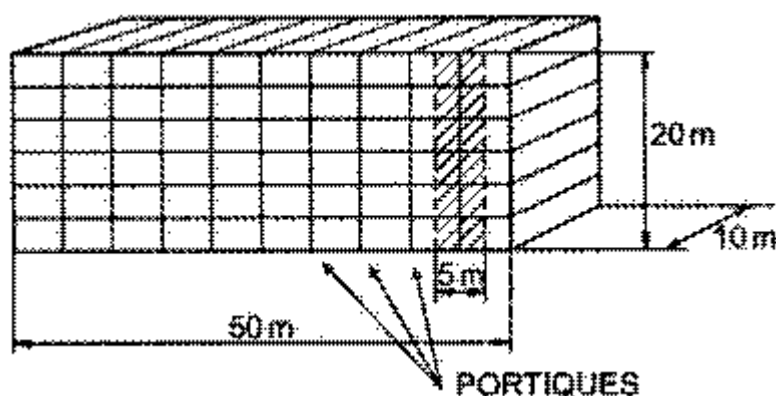


Figure A-3-6

Le coefficient  $\delta$  est constant sur toute la hauteur du bâtiment et a pour valeur 0,79.

### 3,22 bâtiment tour

#### 3,221 caractéristiques

Hauteur  $h = 48$  m.

Dimensions en plan :  $a = b = 17$  m.

Le contreventement est assuré par un noyau central en béton armé.

L'exemple de ce bâtiment est repris dans l'annexe 8 pour la détermination des actions dynamiques.

#### 3,222 courbe de variation du coefficient $\delta$

La surface offerte au vent intéressant le noyau central a pour largeur 17 m et pour hauteur 48 m.

Le coefficient  $\delta$  est constant jusqu'à la cote 30 m et égal à 0,74 ; il varie ensuite linéairement de 0,74 à 0,88 entre la cote 30 m et la cote 48 m (figure A-3-7).

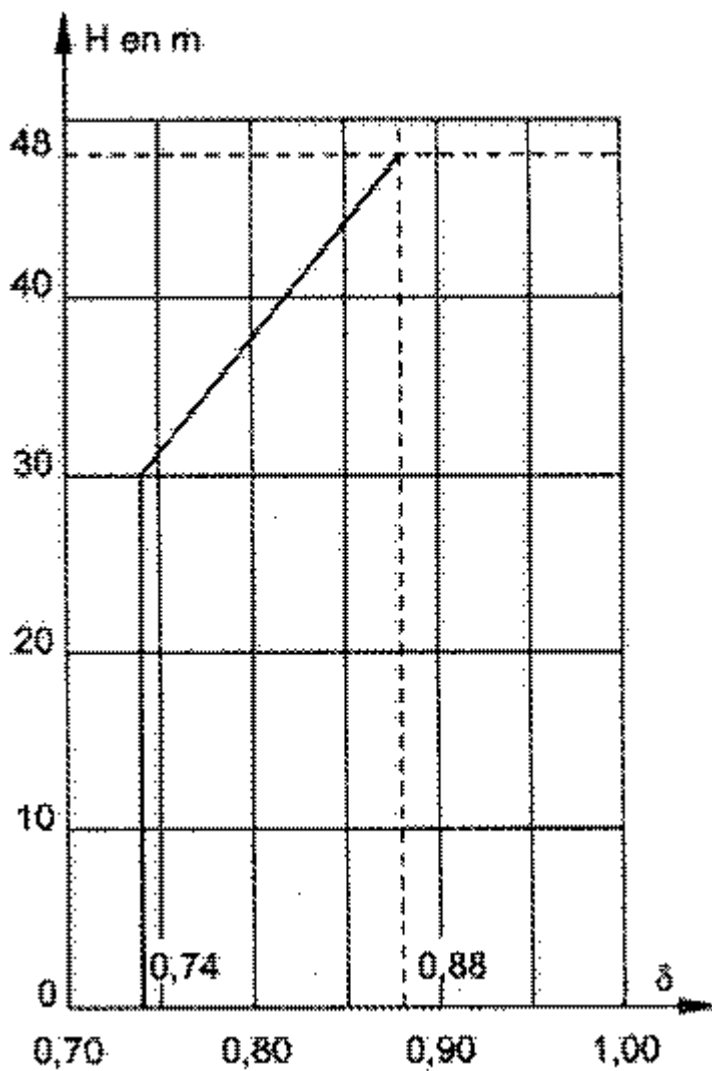


Figure A-3-7

### 3,23 cheminée

#### 3,231 caractéristiques

Hauteur  $h = 110$  m.

Diamètre à la base = 16,70 m.

Diamètre au niveau 20 m = 6,80 m (constant jusqu'au sommet).

Cet exemple est repris dans l'annexe 8.

#### 3,232 courbe de variation du coefficient $\delta$

La plus grande dimension à considérer (C-III-1,244-2) est la hauteur  $h = 110$  m.

Le coefficient  $\delta$  est constant jusqu'à la cote 30 m et égal à 0,70 ; il varie ensuite linéairement de 0,70 à 0,90 entre la cote 30 m et la cote 50 m, puis il est constant jusqu'au sommet (figure A-3-8).

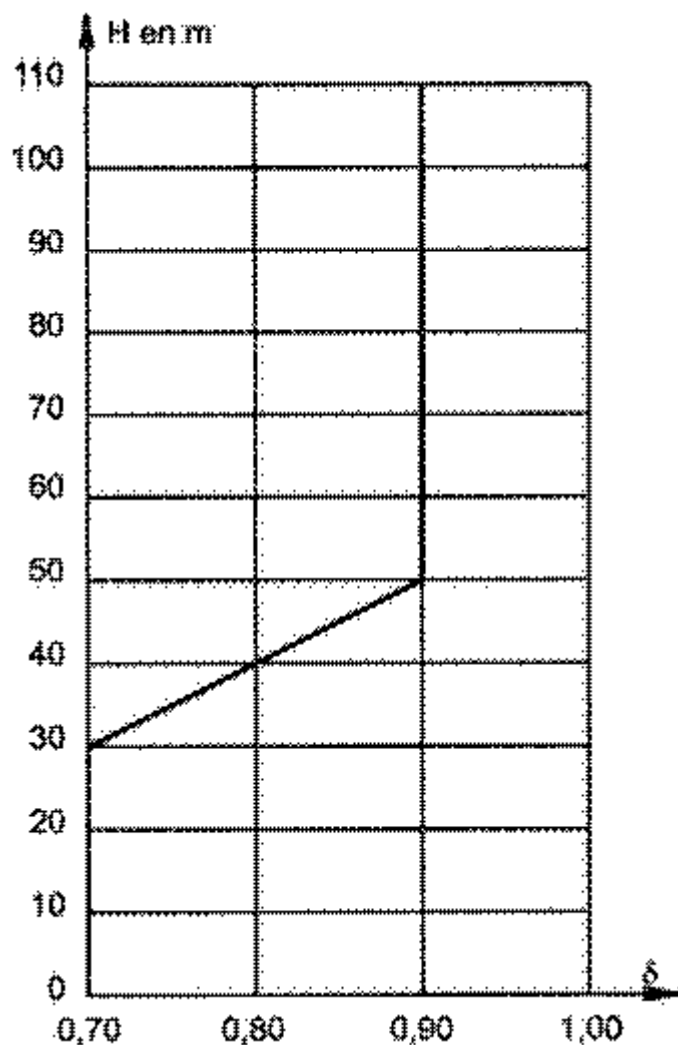


Figure A-3-8

### 3,233 vérification de la section située au tiers inférieur

La surface à considérer est celle des deux tiers supérieurs du maître-couple dont les dimensions sont 73 m et 6,80 m.

Le coefficient  $\delta$  varie linéairement de 0,77 à 0,90 entre la cote 37 m et la cote 50 m, puis reste constant jusqu'au sommet.

### 3,24 réservoir sur poteaux

#### 3,241 caractéristiques

hauteur totale = 47 m.

Les poteaux au nombre de quatre sont d'une section telle que le réservoir peut être considéré aérodynamiquement comme isolé du sol.

La cuve a la forme d'un hyperboloïde de révolution dont les diamètres à la base et au sommet ont pour valeurs respectives 18 m et 25 m (figure A-3-9).

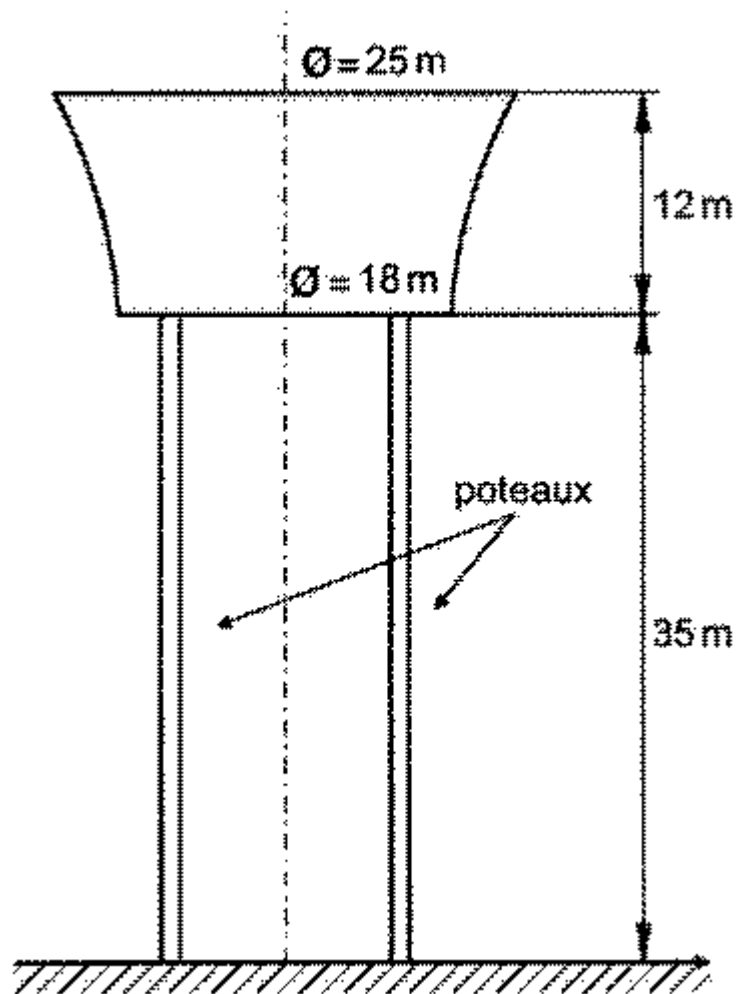


Figure A-3-9

### 3,242 courbe de variation du coefficient $\delta$

La plus grande dimension à considérer est égale à  $25\text{ m}$ .

Le coefficient  $\delta$  varie linéairement de la base de la cuve à son sommet entre les valeurs  $0,795$  à  $0,87$  correspondant respectivement aux cotes  $35\text{ m}$  et  $47\text{ m}$  (figure A-3-10).

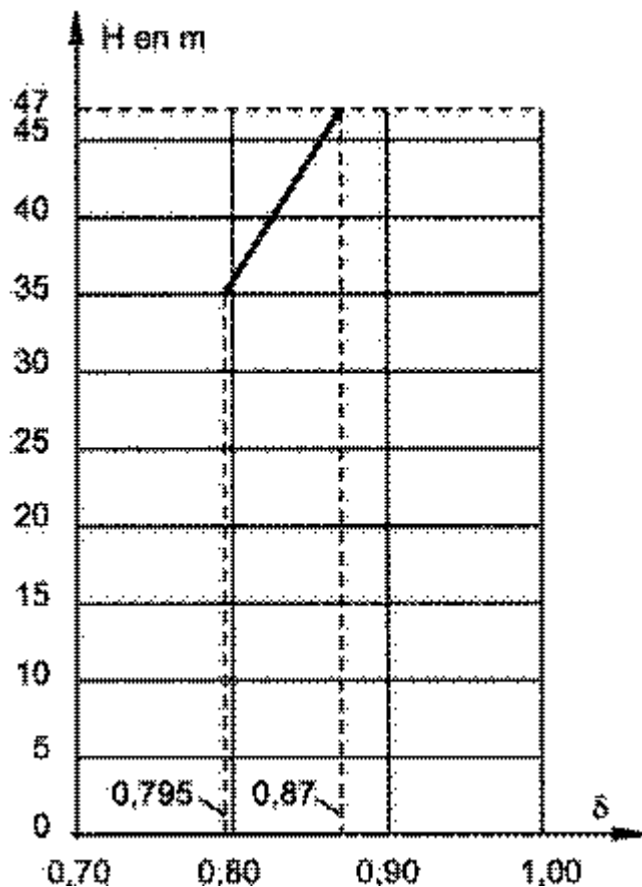


Figure A-3-10

#### Annexe 4 détermination de la période propre $T$ du mode fondamental d'oscillation d'une construction

L'annexe 4 donne des méthodes approchées et des formules permettant le calcul de la période propre  $T$  du mode fondamental d'oscillation des constructions en vue de l'application de la règle III-1,5.

##### 4,1 domaine de validité

Les méthodes et formules proposées permettent de traiter de nombreux cas rencontrés dans la pratique. Cependant, il convient de savoir qu'elles supposent implicitement :

- qu'il s'agit d'oscillations planes non couplées avec d'autres modes d'oscillations, c'est-à-dire qu'il s'agit d'oscillations dans lesquelles les diverses masses composant la structure se déplacent parallèlement à un même plan, sans exciter de fait d'oscillations perpendiculaires à ce plan ;
- que les couples d'inertie développés par la rotation des diverses masses autour d'axes horizontaux normaux au plan de figure sont négligés devant les autres forces d'inertie mises en jeu.

La première condition est satisfaite pour les structures présentant un plan de symétrie vertical dans la direction où souffle le vent, mais ne l'est pas pour les constructions dissymétriques, toute oscillation latérale produisant des oscillations de torsion d'autant plus importantes que la dissymétrie est plus marquée. En ce qui concerne la seconde condition, le fait de négliger les inerties rotatoires n'introduit généralement pas d'erreur systématique par défaut supérieure à 5 % sur la période du mode fondamental d'oscillation des structures élancées<sup>(7)</sup>. Les périodes ainsi calculées sont donc plus courtes que les périodes réelles.

Il en résulte de ce qui précède que les méthodes et formules proposées ne s'appliquent pas aux structures industrielles de forme dissymétrique.



## NOTE

(7) L'erreur serait plus importante pour les modes supérieurs

### 4,2 schématisation de la structure

Les masses entrant dans la composition d'une structure peuvent présenter, vis-à-vis des oscillations :

- soit le caractère de masses concentrées à un niveau donné (exemple : planchers et diaphragmes horizontaux) ;
- soit un caractère de masses réparties suivant la verticale (exemple : fût des tours, des cheminées, etc.).

Pour les applications pratiques, on est conduit à décomposer arbitrairement les éléments de ce dernier type en tronçons fictifs, de façon à substituer aux masses réparties, difficiles à introduire dans les calculs, des masses concentrées au niveau du centre de gravité de chaque tronçon.

### 4,3 applications

Les applications ci-après concernent :

- les constructions relevant des articles 3 et 4 dont la masse est répartie sur la hauteur ou supposée concentrée au sommet (A-4,4) ;
- les constructions relevant de l'article 2 dont la masse est supposée concentrée en divers niveaux (A-4,5)

Les cas des constructions relevant des articles 5 et 6 peuvent être ramenés à l'un des cas précédents (A-4,4 et A-4,5).

### 4,4 masse répartie sur la hauteur ou supposée concentrée au sommet du support

#### 4,41 formules théoriques applicables au cas de certains systèmes de forme simple

##### 4,411 masse concentrée reposant sur un support de masse négligeable

###### 4,411-1 inertie du support variable avec la hauteur

C'est le cas en particulier d'un réservoir reposant sur un support constitué par des poteaux inclinés entretoisés ou triangulés.

Soit P le poids de la masse supposée concentrée en son centre de gravité.

On soumet la construction à l'action d'une force horizontale unité (exprimée dans le même système d'unités que P), agissant au niveau de la masse concentrée : soit f le déplacement de cette masse.

la période T est donnée par :

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{Pf}{g}}$$

###### 4,411-2 inertie du support constante sur toute la hauteur

Si l'on désigne par :

P le poids de la masse concentrée

h la hauteur du support

I le moment d'inertie de la section du support

E le module d'élasticité du matériau constituant le support

g accélération de la pesanteur

la période T est donnée par :

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{P h^3}{g 3 E I}}$$

###### 4,412 masse répartie sur toute la hauteur

###### 4,412-1 prismes ou cylindres de section constante

Si l'on désigne par :

h la hauteur du prisme ou du cylindre

p son poids par unité de hauteur

I le moment d'inertie de sa section

E le module d'élasticité du matériau

la période T est donnée par :

$$T = 1,79 h^2 \sqrt{\frac{\rho}{gEI}}$$

#### 4,412-2 troncs de cône à sections homothétiques

Toutes les sections horizontales sont homothétiques par rapport à un centre d'homothétie C situé sur la verticale du centre de gravité O de la base (figure A-4-1).

Si l'on désigne par :

L la distance du centre d'homothétie à la base

a la distance de ce centre à l'extrémité supérieure du tronc de cône

h la hauteur du tronc de cône

p le poids par unité de hauteur au niveau de la section de base A O B

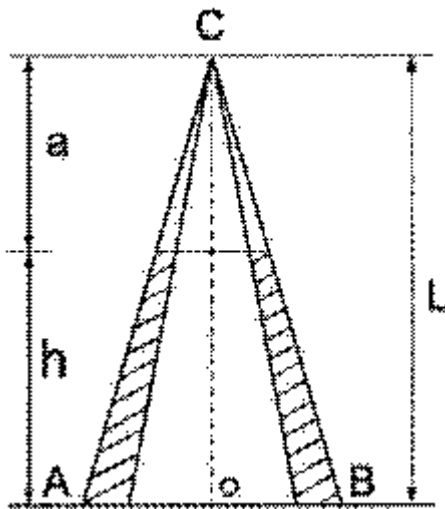


Figure A-4-1

E le module d'élasticité du matériau

I le moment d'inertie de la section de base

la période T est donnée par où le coefficient K est lu sur la courbe de la figure A-4-2 en fonction du rapport a/L.

$$T = Kh^2 \sqrt{\frac{\rho}{gEI}}$$

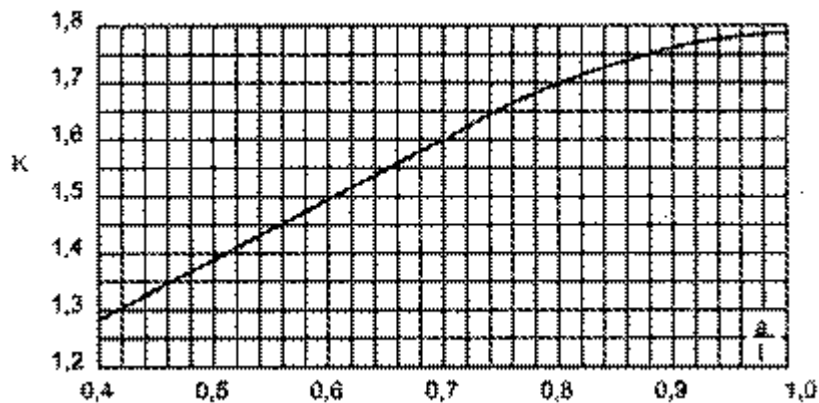


Figure A-4-2

#### 4,412-3 troncs de cône ou de pyramide quelconques

La méthode proposée ci-dessous a été spécialement établie<sup>(8)</sup> pour permettre la détermination des périodes de vibration des cheminées dont les sections ne sont pas homothétiques par rapport à un centre d'homothétie, mais varient néanmoins linéairement depuis la base jusqu'au sommet, ce qui est un cas courant dans la pratique.

Si l'on désigne par (figure A-4-3) :

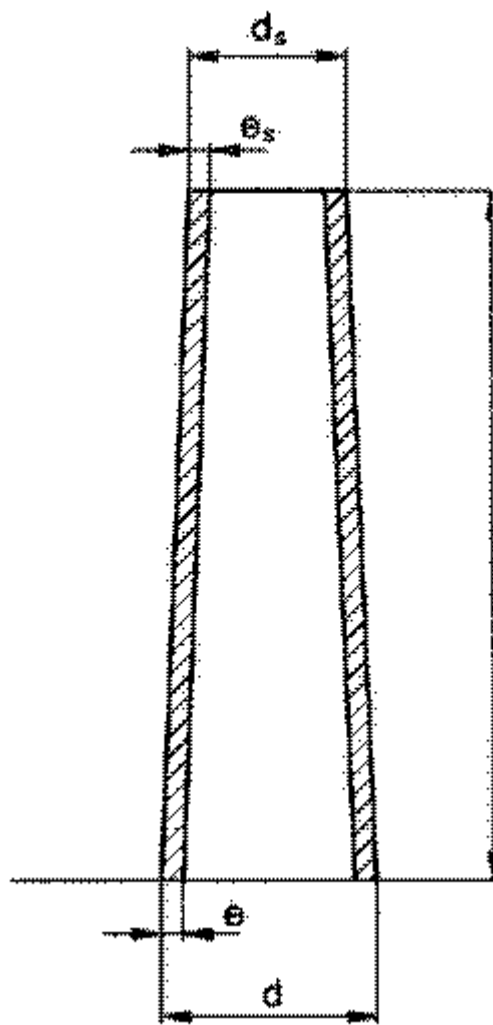


Figure A-4-3

$h$  la hauteur de la cheminée

$d$  le diamètre extérieur à la base de la cheminée

$d_s$  le diamètre extérieur au sommet de la cheminée

$e$  l'épaisseur de la paroi résistante à la base de la cheminée

$e_s$  l'épaisseur de la paroi résistante au sommet de la cheminée

$I$  le moment d'inertie de la section résistante de la base (compte non tenu du revêtement intérieur)

$E$  le module d'élasticité du matériau résistant

$p$  le poids par unité de hauteur au niveau de la section de base y compris le poids du revêtement

la période T est donnée par :

$$T = \frac{2\pi h^2}{\Omega} \sqrt{\frac{\rho}{gEI}}$$

$\Omega$  étant déterminé sur l'abaque (figure A-4-4) en fonction des rapports  $\lambda = e_s/e$   $\mu = d_s/d$

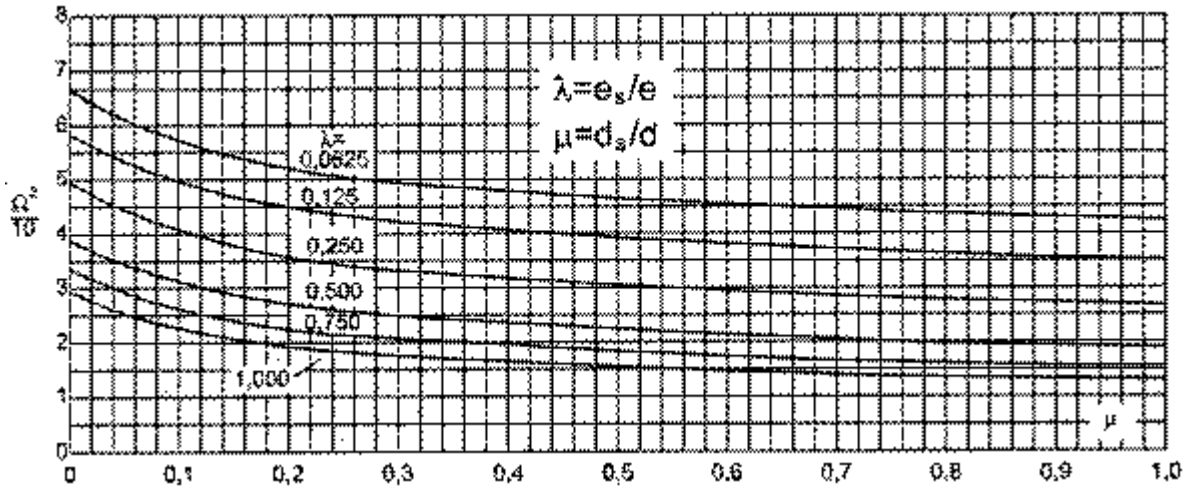


Figure A-4-4

#### NOTE

(8) « Vibrations of linearly tapered beams » Discussion by R.-F. RISSONE and Y.-J. WILLIAMS. Figure 13, page 192. « Journal of the Engineering Mechanics Division Proceedings of the American Society of Civil Engineers ». Volume 88, n° EM-5, octobre 1962.

#### 4,42 formule approchée applicable au cas d'une masse concentrée reposant sur un support de masse non négligeable

##### 4,421 inertie du support constante sur toute la hauteur

En désignant par :

p le poids du support par unité de hauteur

P le poids de la masse concentrée

h la hauteur du support comptée de l'encastrement au centre de gravité de la masse oscillante

I le moment d'inertie de la section du support

la période T est donnée par : où

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{P' h^3}{g 3EI}}$$

$$P' = P + \frac{33}{140} ph$$

Cette formule a été établie en appliquant la méthode approchée donnée par Rayleigh.

##### 4,422 inertie du support variable avec la hauteur

On peut appliquer la formule précédente au cas de réservoirs reposant sur un pylône d'inertie variable à condition de remplacer I par l'inertie équivalente du pylône (obtenue par la méthode d'égalisation des flèches) ; dans ce cas si  $P''$  est le poids total du pylône, on prend

$$P' = P + \frac{33 P''}{140}$$

#### 4,5 masse supposée concentrée en divers niveaux

Pour ce type de construction, il n'existe pas de formules simples ; mais il est toujours possible d'assimiler le bâtiment à l'un des systèmes simples traités en A-4,4.

D'autre part, il est donné ci-après :

- une méthode de calcul due à Vianello-Stodola et des formules rapprochées établies par Rayleigh ; mais leur application est d'autant plus laborieuse que le bâtiment est plus haut, les étages nombreux et différents et l'inertie variable avec la hauteur ;
- des formules forfaitaires applicables aux seuls cas de bâtiments d'habitation de forme parallélépipédique.

#### 4,51 méthode par approximations successives de Vianello-Stodola

Cette méthode, connue sous le nom de méthode de Vianello-Stodola, permet d'obtenir la pulsation  $\omega$  (liée à la période par la relation et la déformée de la construction par approximations successives avec une précision aussi grande qu'on le désire.

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

##### 4,511 principe

La masse totale de la construction est divisée en une série de masses concentrées  $M_1, M_2 \dots M_n$ .

La construction vibrant selon le mode fondamental, soit

$\omega$  sa pulsation

et  $C$  sa déformée définie par ses ordonnées  $X_1, X_2 \dots X_n$ .

Les forces d'inertie s'exerçant sur les différentes masses à un instant donné, sont proportionnelles à  $M_1 \omega^2 X_1, M_2 \omega^2 X_2 \dots M_n \omega^2 X_n$ .

L'ensemble de ces forces porte le nom de charge d'inertie caractéristique. La méthode de Vianello-Stodola est basée sur la propriété suivante : si l'on traite la charge d'inertie caractéristique comme une charge statique, et si l'on calcule la déformée correspondante, cette déformée coïncide avec la déformée  $C$  de la construction vibrant selon le mode fondamental. On démontre que la méthode est convergente, et qu'elle permet, partant d'une pulsation et d'une déformée hypothétiques, d'aboutir à la pulsation et à la déformée réelles.

##### 4,512 application

On se donne une base de départ constituée par une pulsation hypothétique  $\omega^0$  et une déformée hypothétique  $C^0$  définie par les ordonnées

$$X_1^0, X_2^0 \dots X_n^0.$$

Les forces d'inerties correspondantes sont :

$$M_1 \overline{\omega^{02}} X_1^0, M_2 \overline{\omega^{02}} X_2^0 \dots M_n \overline{\omega^{02}} X_n^0.$$

Il leur correspond une déformée  $C^1$  définie par les ordonnées

$$X_1^1, X_2^1 \dots X_n^1.$$

On en déduit en écrivant l'égalité des flèches pour la masse d'extrémité une première approximation de la pulsation :  $\omega_1$ .

$$M_n (X_n^0 = X_n^1),$$

On procède ensuite à une nouvelle itération à partir de la nouvelle déformée et de la pulsation  $\omega^1$ . On est conduit à une nouvelle approximation de la déformée et de la pulsation  $\omega^2$ .

$$X_1^1, X_2^1 \dots X_n^1,$$

$$X_1^2, X_2^2 \dots X_n^2,$$

On recommence l'opération autant de fois que nécessaire.

##### 4,513 remarques

Choix de la déformée.

En général la convergence étant rapide, il suffit de répéter l'opération une ou deux fois en partant d'une parabole de la forme étant la cote du point considéré et  $h$  la hauteur de la construction.

$$x = x_n^0 \left( \frac{H}{h} \right)^2$$

On peut également partir d'une droite mais la convergence est moins rapide.

$$x = x_n^0 \left( \frac{H}{h} \right)$$

Choix de la pulsation.

A défaut d'autres indications, peut partir de  $\omega^0 = 1 \text{ rad/s}$ .

#### 4,52 formules de Rayleigh

Ces formules approchées par défaut, tiennent éventuellement compte de la rotation des fondations.

##### 4,521 formule 1

Soit  $P_1, P_2 \dots P_n$  les poids supposés concentrés au centre de gravité de chaque tronçon (figure A-4-5).

On imagine la structure retournée de  $90^\circ$  dans le champ de la pesanteur.

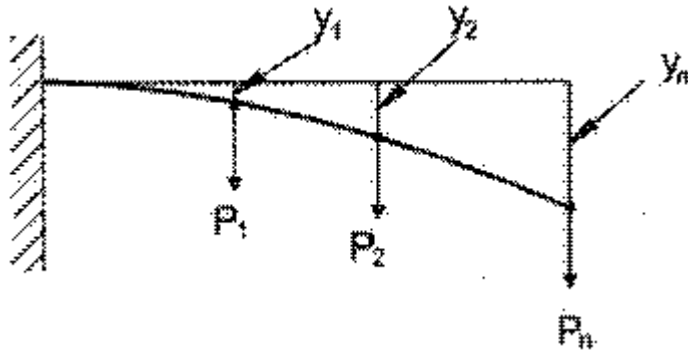


Figure A-4-5

Soit  $y_1, y_2 \dots y_n$  les flèches prises par les diverses masses en supposant que les déformations restent entièrement élastiques.

La période  $T$  est alors donnée par :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_1^n P_1 y_1^2}{g \sum_1^n P_1 y_1}}$$

##### 4,522 formule 2

Elle est dite de première approximation et peut être utilisée lorsqu'une très grande précision n'est pas nécessaire. On suppose la structure soumise à l'action d'une force horizontale unité agissant au niveau de la dernière masse (figure A-4-6) ; soit  $f_1, f_2 \dots f_n$  les flèches prises par les différentes masses correspondant aux poids  $P_1, P_2 \dots P_n$ , sous l'effet de cette force unité.

La période  $T$  est donnée par :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_1^n P_1 f_1^2}{g f_n}}$$

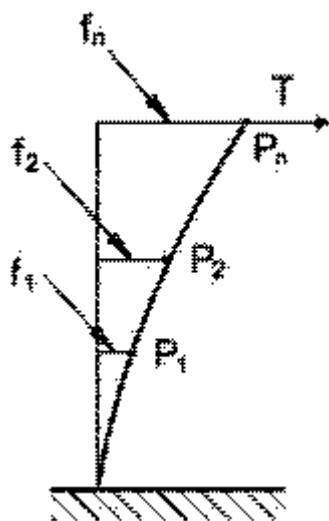


Figure A-4-6

Il y a lieu de remarquer que les flèches  $f_1$  sont différentes des flèches  $y_1$  de la formule 1 ; on ne peut donc les intervertir dans les formules.

#### 4,53 formules forfaitaires applicables aux bâtiments d'habitation

Ces formules ont été établies pour l'application des règles parasismiques. Elles conduisent, dans la plupart des cas, à des valeurs légèrement supérieures aux résultats d'essais.

Elles font intervenir certaines dimensions et le type du contreventement.

Dans ces formules :

$h$  est la hauteur totale du bâtiment

$l_x$  est la dimension en plan dans la direction considérée (a ou b).

N'étant pas homogènes, ces formules supposent que  $h$  et  $l_x$  sont exprimées en mètres,  $T$  en secondes.

#### 4,531 contreventement par murs de maçonnerie ou de béton banché

$$T = 0,06 \frac{h}{\sqrt{l_x}} \sqrt{\frac{h}{2l_x + h}}$$

#### 4,532 contreventement par voiles de béton armé

$$T = 0,08 \frac{h}{\sqrt{l_x}} \sqrt{\frac{h}{l_x + h}}$$

#### 4,533 contreventement par ossature de béton armé

$$T = 0,09 \frac{h}{\sqrt{l_x}}$$

#### 4,534 contreventement par ossature métallique

$$T = 0,10 \frac{h}{\sqrt{l_x}}$$

**Annexe 5 exemples de détermination des actions intérieures unitaires pour des constructions comportant des parois partiellement ouvertes**

Cette annexe est une application de la règle III-2,144.

#### 5,1 remarque

Il est précisé que pour une direction de vent donnée, l'état intérieur considéré n'est pas un état réel, puis les règles d'interpolation conduisent à prendre pour chaque paroi des coefficients ne correspondant pas au même état intérieur.

#### 5,2 rappel des actions intérieures unitaires à retenir pour les constructions ne comportant pas de parois essentiellement ouvertes

Application des règles R-III-2,141, 2,142 et 2,143

##### 5,21 constructions fermées

(perméabilité des parois  $\mu \leq 5$ ) (figure A-5-1)

Sur chacune des parois AB, BC, CD et AD, on applique :

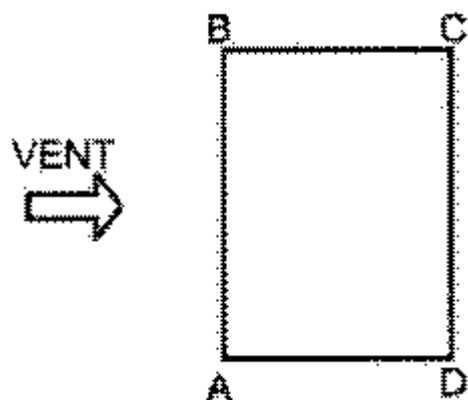


Figure A-5-1

soit une surpression  $c_i = + 0,6 (1,8 - 1,3 \gamma)$

soit une dépression  $c_i = - 0,6 (1,3 \gamma - 0,8)$

$\gamma$  étant égal à  $\gamma_o$ ,  $\gamma_h$  ou  $\gamma_e$  suivant que la construction repose ou non sur le sol.

##### 5,22 constructions ouvertes comportant une paroi ouverte

La paroi ouverte a une perméabilité  $\mu \geq 35$ , les autres parois ont des perméabilités  $\mu \leq 5$ .

La paroi opposée à la paroi de perméabilité  $\mu \geq 35$  fait obstacle à l'écoulement de l'air.

##### 5,221 paroi ouverte ( $\mu \geq 35$ ) au vent (figure A-5-2)

Parois de perméabilité  $\mu \leq 5$  (parois BC, CD et AD)

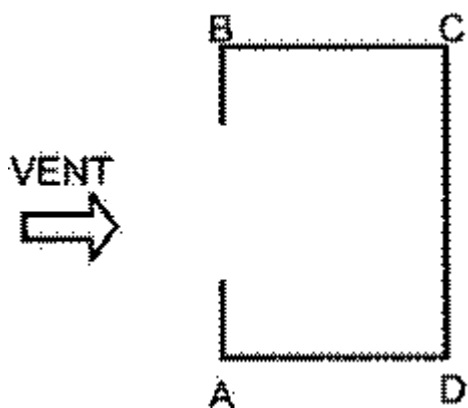


Figure A-5-2

$c_i = + 0,8$



Paroi de perméabilité  $\mu \geq 35$  (paroi AB)

$$C_i = -0,6 (1,3 \gamma - 0,8)$$

**5,222 paroi ouverte ( $\mu \geq 35$ ) sous le vent, normale au vent (figure A-5-3)**

Parois de perméabilité  $\mu \leq 5$  (parois BC, CD et AD)

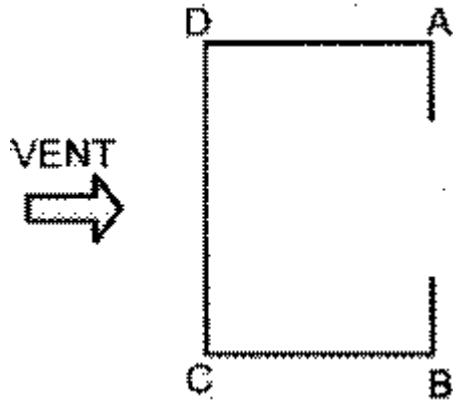


Figure A-5-3

$$c_i = - (1,3 \gamma - 0,8)$$

Paroi de perméabilité  $\mu \geq 35$  - (paroi AB)

$$c_i = +0,6 (1,8 - 1,3 \gamma)$$

**5,223 paroi ouverte ( $\mu \geq 35$ ) sous le vent, parallèle au vent (figure A-5-4)**

Parois de perméabilité  $\mu \leq 5$  (parois BC, CD et AD)

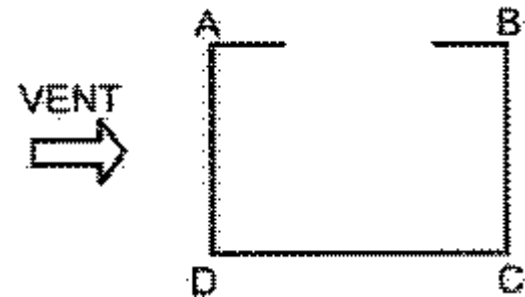


Figure A-5-4

$$c_i = - (1,3 \gamma - 0,8)$$

Paroi de perméabilité  $\mu \geq 35$  - (paroi AB)

$$c_i = +0,6 (1,8 - 1,3 \gamma)$$

**5,23 constructions ouvertes comportant deux parois opposées ouvertes**

Les parois ouvertes ont une perméabilité  $\mu \geq 35$ .

Les autres parois ont des perméabilités  $\mu \leq 5$ .

Les deux parois ouvertes permettent l'écoulement de l'air.

Le seul cas à retenir pour les interpolations est celui des parois situées hors du courant d'air.

**5,231 parois ouvertes ( $\mu \geq 35$ ) normales au vent (figure A-5-5)**

Sur chacune des parois AB, BC, CD et AD, on applique :

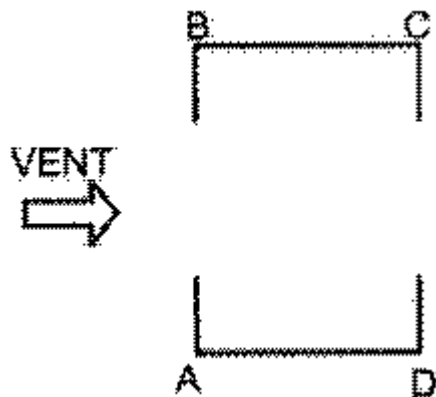


Figure A-5-5

soit une surpression  $c_i = +0,6 (1,8 - 1,3 \gamma)$

soit une dépression  $c_i = -0,6 (1,3 \gamma - 0,8)$ .

#### 5,232 parois ouvertes ( $\mu \geq 35$ ) parallèles au vent (figure A-5-6)

Sur chacune des parois AB, BC, CD et AD, on applique :

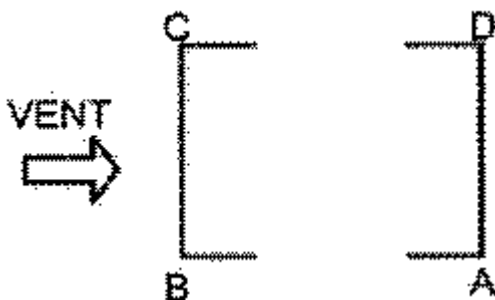


Figure A-5-6

soit une surpression  $c_i = +0,6 (1,8 - 1,3 \gamma)$

soit une dépression  $c_i = -(1,3 \gamma - 0,8)$ .

### 5,3 exemples de déterminations des actions intérieures unitaires pour des constructions comportant une ou plusieurs parois partiellement ouvertes

#### 5,31 méthode de calcul

Elle est définie par le commentaire III-2,144.

Parmi les nombreux exemples qui peuvent se présenter, il en a été choisi trois caractéristiques ; les autres exemples peuvent se traiter en appliquant les mêmes principes. Dans les exemples qui suivent, le coefficient  $\gamma$  est pris égal à 1 quelle que soit la direction du vent, et les perméabilités des parois partiellement ouvertes sont prises égales à 15 et 25 %.

#### 5,32 exemple 1

La paroi opposée à la paroi partiellement ouverte de perméabilité  $\mu = 15$ , a une perméabilité  $\mu \leq 5$  et fait obstacle à l'écoulement de l'air

Ce cas étant intermédiaire entre le cas 5,21 et le cas 5,22, on interpole pour chaque direction du vent entre les actions intérieures de même signe déterminées selon 5,21 et 5,22.

	<i>Pression normale</i>	<i>Pression extrême</i>
<i>Zone 1</i>	0,75	1,31
<i>Zone 2</i>	0,90	1,58
<i>Zone 3</i>	1,13	1,97
<i>Zone 4</i>	1,35	2,37
<i>Zone 5</i>	1,80	3,15

tableau sans légende dans: 5,32 exemple 1

### 5,33 exemple 2

La paroi opposée à la paroi partiellement ouverte de perméabilité  $\mu = 15$ , a une perméabilité  $\mu \geq 35$  et permet l'écoulement de l'air

Ce cas est intermédiaire entre le cas 5,22 et le cas 5,23.

On procède de la même façon qu'au paragraphe 5,32.

	<i>Pression normale</i>	<i>Pression extrême</i>
<i>Zone 1</i>	0,75	1,31
<i>Zone 2</i>	0,90	1,58
<i>Zone 3</i>	1,13	1,97
<i>Zone 4</i>	1,35	2,37
<i>Zone 5</i>	1,80	3,15

tableau sans légende dans: 5,33 exemple 2

### 5,34 exemple 3

La paroi opposée à la paroi partiellement ouverte de perméabilité 15, est partiellement ouverte et a une perméabilité de 25

Ce cas est intermédiaire entre les deux exemples précédents 5,32 et 5,33.

Direction du vent	Interpolation	Actions intérieures $C_i$
Paroi de perméabilité $\mu = 15$ au vent	<p>Figure A-5-13</p>	<p>Paroi AB <math>c_i = -0,30 - 0,13</math>  <math>((25-5)/(35-5)) = -0,39</math></p> <p>Paroi CD <math>c_i = +0,30 + 0,17</math> <math>((35-25)/30) = +0,86</math></p> <p>Parois BC et AD <math>c_i = +0,47 - 0,90</math> <math>((25-5)/30) = -0,13 \rightarrow -0,30</math></p>
Paroi de perméabilité $\mu = 25$ au vent	<p>Figure A-5-14</p>	<p>Paroi AB <math>c_i = +0,30 + 0,33</math>  <math>(20/30) = +0,52</math></p> <p>Paroi CD <math>c_i = -0,30 - 0,07</math>  <math>(10/30) = -0,82</math></p> <p>Parois BC et AD <math>c_i = -0,37 + 1,00</math> <math>(20/30) = +0,30</math></p>
Paroi partiellement ouverte parallèles au vent	<p>Figure A-5-15</p>	<p>Paroi AB <math>c_i = +0,30 - 0,80</math>  <math>(20/30) = -0,23 \rightarrow -0,30</math></p> <p>Paroi CD <math>c_i = -0,37 + 0,67</math>  <math>(20/30) = +0,07 \rightarrow +0,30</math></p> <p>Parois BC, AD <math>c_i = -0,37 - 0,13</math> <math>(20/30) = -0,46</math></p>

tableau sans légende dans: 5,34 exemple 3

## Annexe 6 exemples de détermination des actions extérieures, intérieures et résultantes unitaires pour des constructions relevant de l'article 2 du chapitre III

L'annexe 6 groupe un ensemble d'exemples de détermination des actions extérieures, intérieures, et résultantes unitaires sur quelques types de constructions. Ces exemples ne tiennent compte que des dimensions relatives de la construction.

Les règles dont l'application a permis la détermination des actions sur chaque paroi sont indiquées en référence et à la fin de chaque exemple ont fait ressortir les actions résultantes unitaires qui, en définitive, sont seules à retenir pour le calcul des parois.

Quelques exemples sont traités de façon complète ; pour d'autres on s'est borné à indiquer les actions intérieures, les actions extérieures et les actions résultantes unitaires à retenir, laissant à l'ingénieur le soin de retrouver les diverses combinaisons qui ont conduit à ces valeurs. Dans de nombreux cas, on considère le vent soufflant normalement sur une paroi verticale, puis sur l'autre ; et dans le cas de constructions ayant deux parois opposées ouvertes, on considère également le vent soufflant obliquement par rapport aux parois.

Les exemples examinés sont les suivants :

## 6,1 Constructions fermées

### 6,11 Constructions reposant sur le sol

6,111 Construction de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ; toiture à deux versants plans symétriques

6,112 Constructions de rapports de dimensions supérieurs à 2,5 ; toiture à deux versants plans symétriques

6,113 Construction dont un des rapports de dimensions est inférieur à 0,5 ; toiture à deux versants plans symétriques

6,114 Construction de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ; toiture en voûte parabolique au 1/8

6,115 Construction de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ; toiture en voûte plein cintre

6,116 Construction de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ; toiture multiple à versants plans dissymétriques ; faîtages perpendiculaires au grand côté

6,117 Construction de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ; toiture multiple à versants plans dissymétriques, faîtages parallèles au grand côté

6,118 Construction de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ; toiture en sheds paraboliques multiples

6,119 Construction éloignée du sol de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ; toiture-terrasse

6,2 Construction comportant des parois ouvertes (reposant sur le sol et de rapports de dimensions inférieurs à 2,5)

6,21 Constructions ouvertes sur un seul côté

6,22 Construction ouverte sur deux côtés opposés ; toiture à deux versants plans symétriques

6,23 Construction ouverte sur trois côtés ; toiture à deux versants plans symétriques

6,24 Double auvent sur mur continu

6,3 Constructions comportant des parois partiellement ouvertes (reposant sur le sol et de rapports de dimensions inférieurs à 2,5)

6,31 Construction ayant trois parois fermées et une paroi partiellement ouverte, toiture à deux versants plans symétriques

6,32 Construction ayant deux parois fermées, une paroi partiellement ouverte et une paroi ouverte, toiture à deux versants plans symétriques

6,33 Construction ayant deux parois fermées et deux parois opposées partiellement ouvertes, toiture à deux versants plans symétriques

## 6,1 constructions fermées

### 6,11 constructions reposant sur le sol

#### 6,111 construction fermée reposant sur le sol de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ; toiture à deux versants plans symétriques

- Dimensions :

$$a = 2b \quad \lambda_a = 0,75 \quad 0,5 < \lambda_a < 2,5$$

$$h = 1,5b \quad \lambda_b = 1,5 \quad 1 < \lambda_b < 2,5$$

$$\alpha = 30^\circ \quad \frac{b}{a} = 0,5$$

$$f = b \frac{1}{2\sqrt{3}} \quad \frac{f}{h} = 0,19 < 0,5$$

- Coefficient  $\gamma_o$

$$\begin{array}{l|l} \text{Vent sur } S_a \\ \text{Vent sur } S_b \end{array} \quad \gamma_o = 1 \quad \begin{array}{l} \text{R-III-2,12 - diagramme} \\ \text{figure R-III-5} \end{array}$$

- Actions extérieures - Vent normal aux parois verticales :

Parois verticales : R-III-2,131-1

Toiture : R-III-2,131-2 - diagramme figure R-III-6

- Actions intérieures : R-III-2,141
- Actions résultantes unitaires à retenir pour les calculs :

Parois verticales : pression  $c = + 1,10$

(façades et pignons) succion  $c = - 0,80$

Versants de toiture : succion  $c = - 0,80$

Dans le cas de fermes à treillis la combinaison

$c = - 0,60$  sur un versant

$c = - 0,75$  sur l'autre versant

peut être plus défavorable.

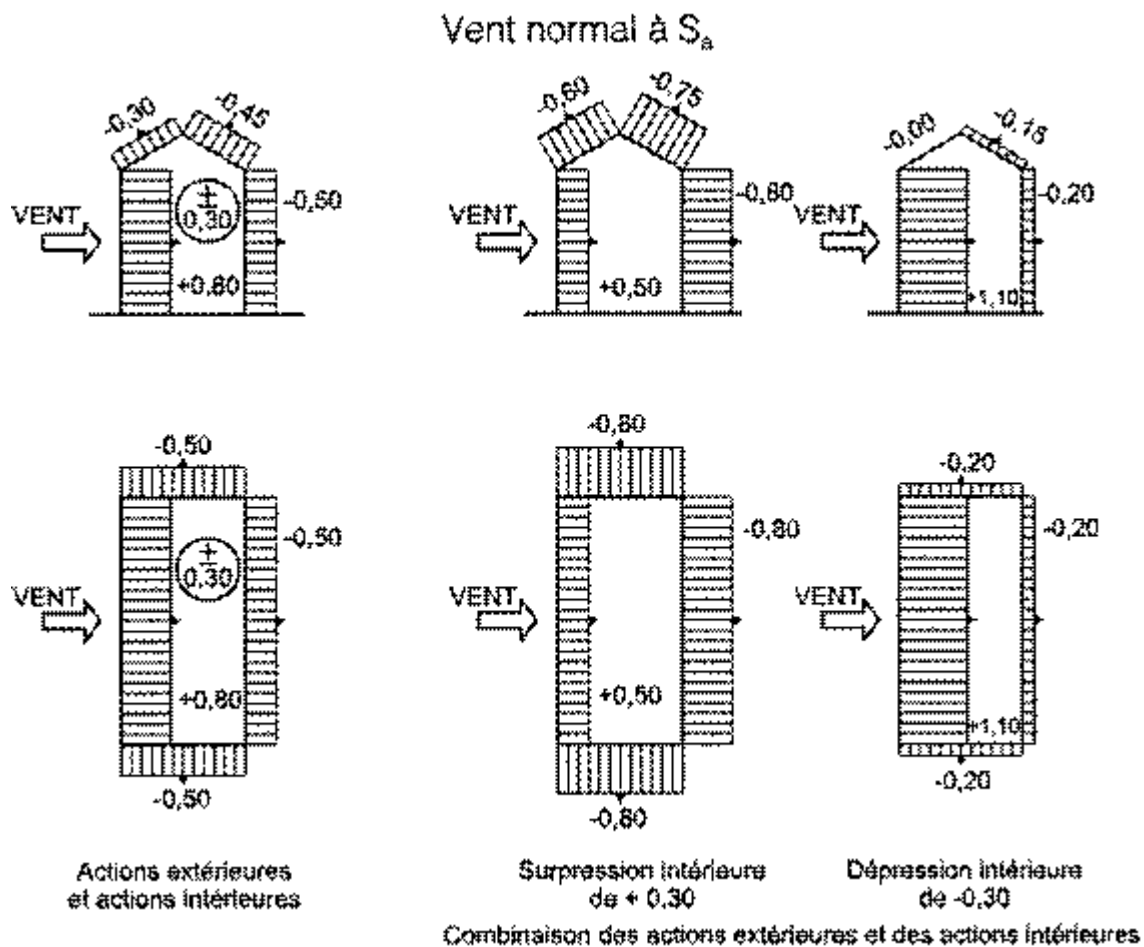


Figure A-6-1

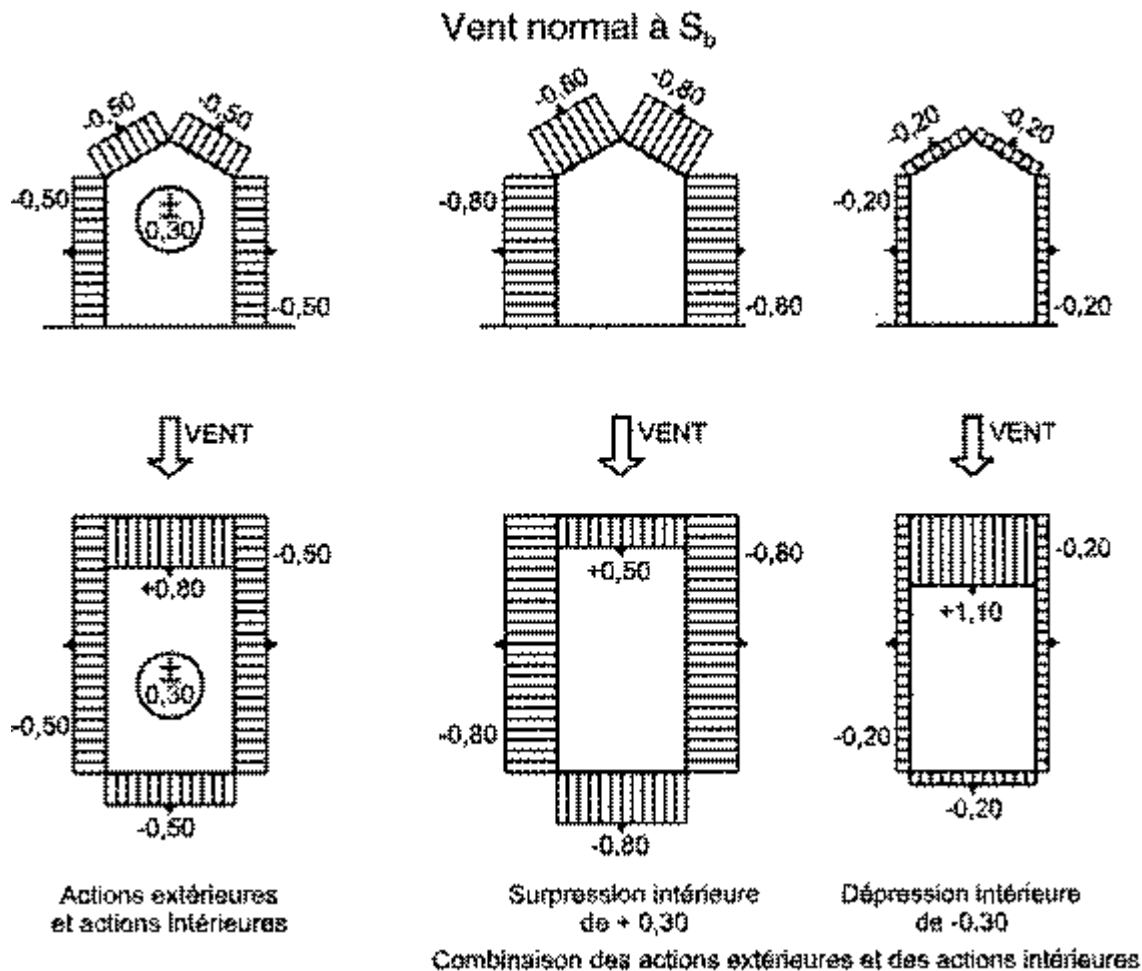


Figure A-6-2

**6,112 construction fermée reposant sur le sol de rapports de dimensions supérieurs à 2,5 ; toiture à deux versants plans symétriques**

- Dimensions :

$$\begin{aligned}
 a &= 1,25 \quad b \quad \lambda_a = 4 \quad \lambda_b = 5 \quad h = 4 a = 5 b \\
 \alpha &= 30^\circ \quad \frac{b}{a} = 0,8 \quad f = b \frac{1}{2\sqrt{3}} \quad \frac{f}{h} = 0,058 < 0,5
 \end{aligned}$$

- Coefficient  $\gamma_o$

Vent sur $S_a$	$\gamma_o = 1,055$	R-III-2,12 – diagramme figure R-III-5
Vent sur $S_b$	$\gamma_o = 1,105$	

- Actions extérieures - Vent normal aux parois verticales :

Parois verticales : R-III-2,131-1

Toiture : R-III-2,131-2 - diagramme figure R-III-6

- Actions intérieures : R-III-2, 141

- Actions résultantes unitaires à retenir pour les calculs :

Façades : succion  $c = - 0,86$

pression  $c = +1,14$

Pignons : succion  $c = - 0,86$

pression  $c = + 1,18$

Versants de toiture : succion  $c = -1,23$   
 Dans le cas de fermes à treillis, la combinaison  
 $c = -0,82$  sur un versant  
 $c = -0,80$  sur l'autre versant  
 peut être plus défavorable.

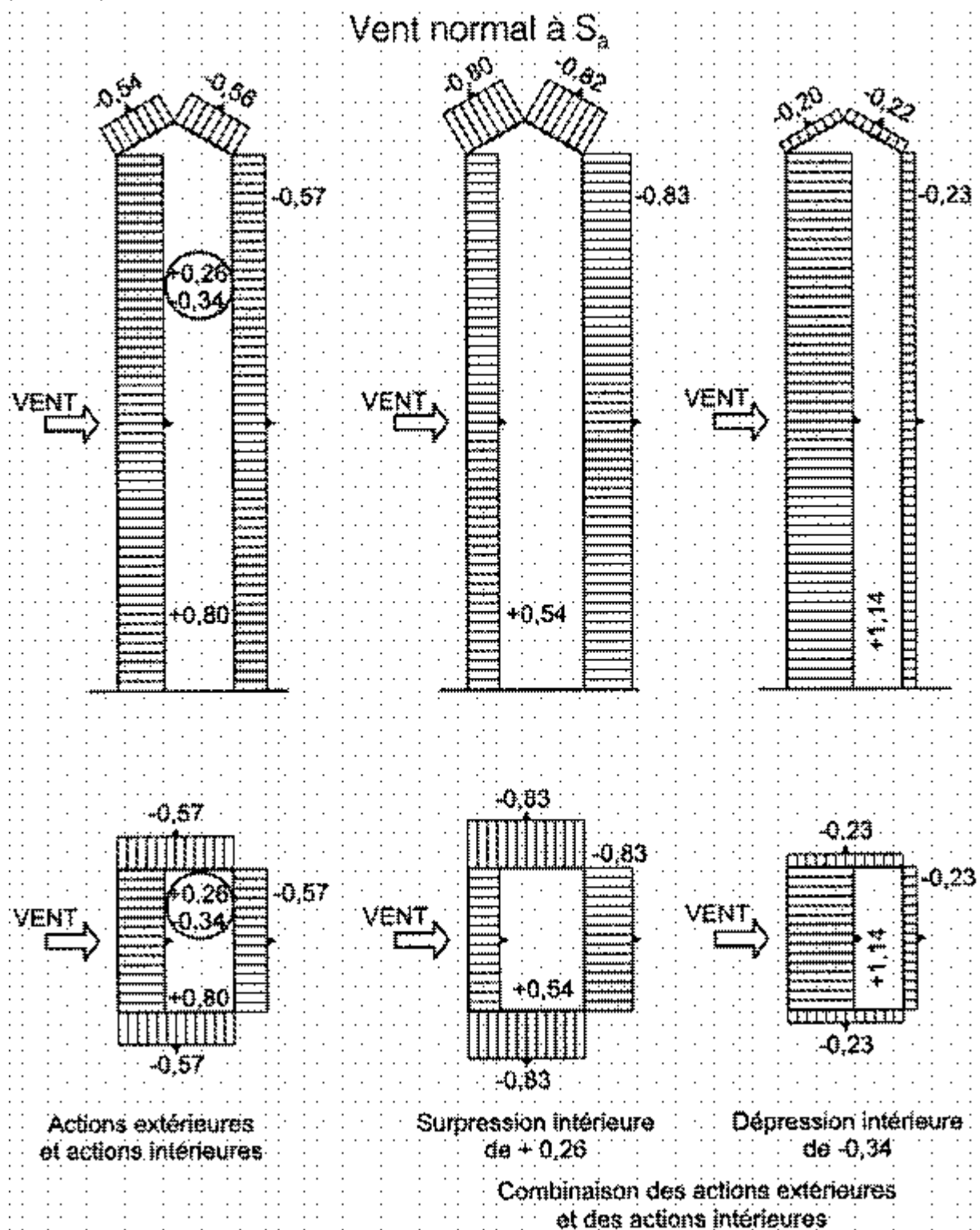


Figure A-6-3



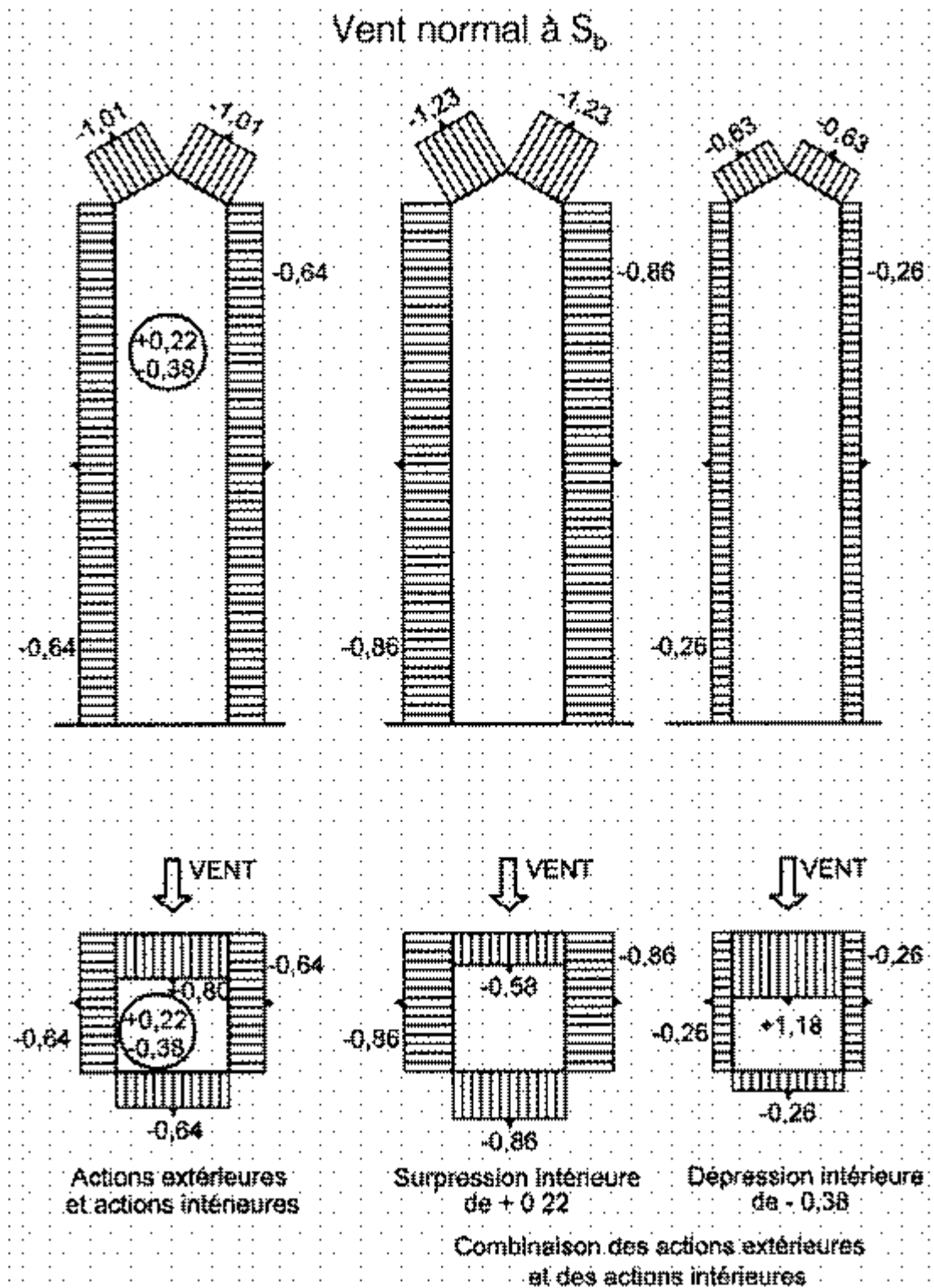


Figure A-6-4

6.113 construction fermée reposant sur le sol dont un des rapports de dimensions est inférieur à 0,5 ; toiture à deux versants plans symétriques

- Dimensions :

$$a = 4 b \quad \lambda_a = 0,4 \quad h = 1,6 b \quad \lambda_b = 1,6$$

$$\alpha = 30^\circ \quad \frac{b}{a} = 0,25 \quad f = b \frac{1}{2\sqrt{3}} \quad \frac{f}{h} = 0,181 < 0,5$$

- Coefficient  $\gamma_0$

Vent sur  $S_a$   $\gamma_0 = 1,00$  | R-III-2,12 – diagramme  
 Vent sur  $S_b$   $\gamma_0 = 0,85$  | figure R-III-5

- Actions extérieures - Vent normal aux parois verticales :

Parois verticales : R-III-2,131-1

Toiture : R-III-2,131-2 - diagramme figure R-III-6

- Actions intérieures : R-III-2,141

Pour le vent normal à la face  $S_b$ , la dépression de - 0,18 est ramenée à - 0,20 (R-III-2,14)

- Actions résultantes unitaires à retenir pour les calculs :

Façades : succion  $c = - 0,80$

pression  $c = + 1,10$

Pignons : succion  $c = - 0,80$

pression  $c = + 1,00$

Versants de toiture :

calculés séparément succion  $c = - 0,75$

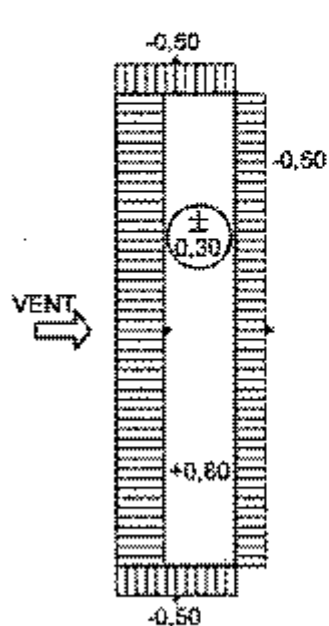
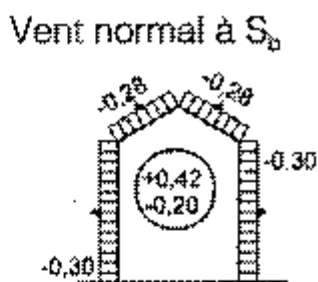
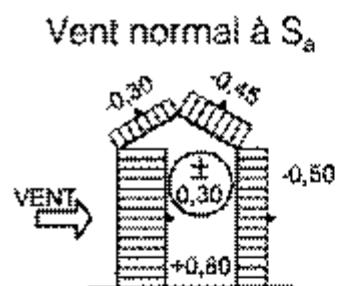
calculés ensemble succion  $c = - 0,70$

Dans le cas de fermes à treillis, la combinaison

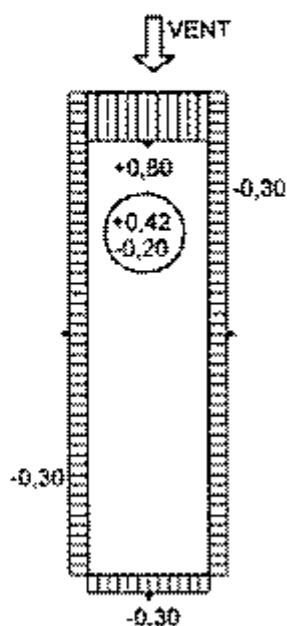
$c = - 0,60$  sur un versant

$c = - 0,75$  sur l'autre versant

peut être plus défavorable.



Actions extérieures  
et actions intérieures  
*Figure A-6-5*



Actions extérieures  
et actions intérieures  
*Figure A-6-6*

figure sans légende dans: 6,113 construction fermée reposant sur le sol dont un des rapports de ...

**6,114 construction fermée reposant sur le sol de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ;  
toiture en voûte parabolique au 1/8**

- Dimensions :

$$\begin{array}{llll} a = 2b & \lambda_a = 0,5 & h = b & \lambda_b = 1 \\ f = 0,125b & \frac{b}{a} = 0,5 & \frac{f}{h} = 0,125 < \frac{2}{3} \end{array}$$

$$\frac{1}{10} < \frac{f}{b} = 0,125 < \frac{1}{2}$$

- Coefficient  $\gamma_o$

Vent sur  $S_a$  |  $\gamma_o = 1,00$  R-III-2,12 – diagramme  
Vent sur  $S_b$  | figure R-III-5

- Actions extérieures - Vent normal aux parois verticales :

Parois verticales : R-III-2,131-1

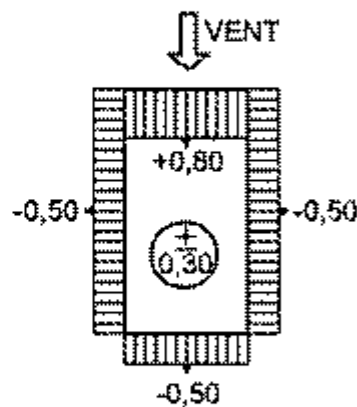
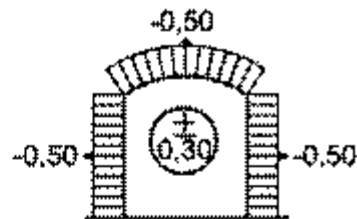
Toiture : R-III-2,131-2 - diagramme figure R-III-7

- Actions intérieures : R-III-2,141

- Toiture : succion  $c = - 0,80$  constant

$$\frac{1}{4} [-1,04 - 2 \times 0,76 - 0,59] = -0,79$$

Vent normal à  $S_b$



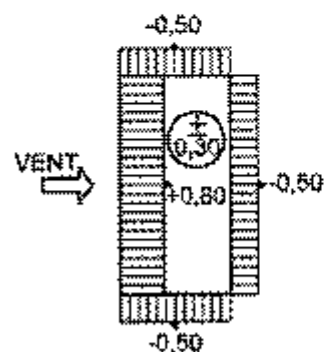
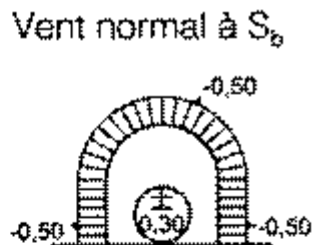
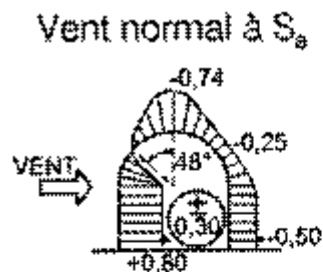
## Actions extérieures et actions intérieures

Figure A-6-8

figure sans légende dans: 6,114 construction fermée reposant sur le sol de rapports de dimension ...

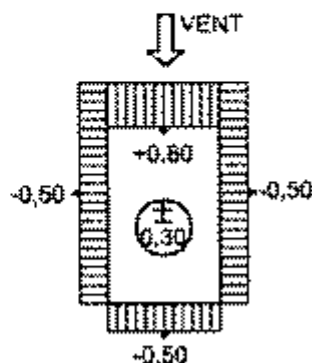
$$f = 0,5 \cdot b \quad \frac{b}{a} = 0,5 \quad \frac{1}{10} < \frac{f}{b} = 0,5 < \frac{2}{3}$$

- Coefficient  $\gamma_0$
- Vent sur  $S_a$  |  $\gamma_0 = 1,00$  R-III-2,12 – diagramme  
Vent sur  $S_b$  | figure R-III-5
- Actions extérieures - Vent normal aux parois verticales :  
Parois verticales : R-III-2,131-1  
Toitures : R-III-2,131-2 - diagramme figure R-III-7
- Actions intérieures : R-III-2,141
- Actions résultantes unitaires à retenir pour les calculs :  
Parois verticales : pression  $c = + 1,10$   
suction  $c = - 0,80$   
Toiture : soit suction constante  $c = - 0,80$   
soit suction et pression combinées.



Actions extérieures  
et actions intérieures

Figure A-6-9



Actions extérieures  
et actions intérieures

Figure A-6-10

figure sans légende dans: 6,115 construction fermée reposant sur le sol de rapports de dimension ...

**6,116 construction fermée reposant sur le sol de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ;  
toiture multiple à versants plans dissymétriques ; faîtages perpendiculaires au grand côté**

- Dimensions :

$a = \frac{8}{3} b$	$\lambda_a = 0,19$	$< 0,5$
$h = 0,5 b$	$\lambda_b = 0,50$	$< 1$
$\alpha_1 = 60^\circ$	$\frac{b}{a} = 0,375$	$f = b \frac{\sqrt{3}}{12}$
$\alpha_2 = 30^\circ$	$\frac{f}{h} = 0,29$	$< 0,5$

- Coefficients  $\gamma_o$ 
  - Vent sur  $S_a$   $\gamma_o = 1,00$  | R-III-2,12
  - Vent sur  $S_o$   $\gamma_o = 0,85$  | diagramme figure R-III-5
- Actions extérieures - Vent normal aux parois verticales :
  - Parois verticales : R-III-2,131-1
  - Toiture : R-III-2,131-3 - diagramme figure R-III-6
- Actions intérieures : R-III-2,141
  - Pour le vent normal à  $S_o$  et  $S'_o$ , la dépression intérieure de - 0,18 est ramenée à - 0,20 (R-III-2,14).
- Actions résultantes unitaires à retenir pour les calculs :
  - Façades : succion  $c = - 0,80$
  - pression  $c = + 1,10$
  - Pignons : succion  $c = - 0,80$
  - pression  $c = + 1,00$
  - Petits versants de toiture :
    - suction  $c = - 0,80$
    - pression  $c = + 0,68$
    - pour le premier versant
  - $c = + 0,56$
  - pour les versants suivants
  - Grands versants de toiture :
    - suction  $c = - 0,80$
    - pression  $c = + 0,20$

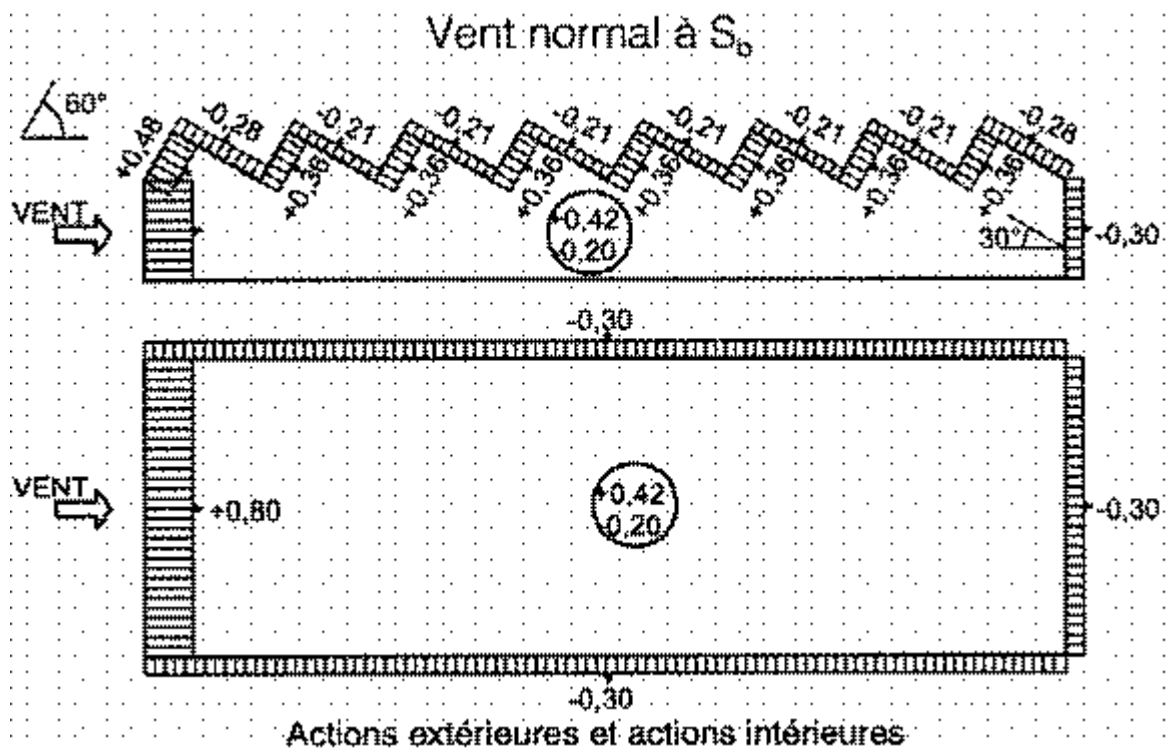


Figure A-6-11

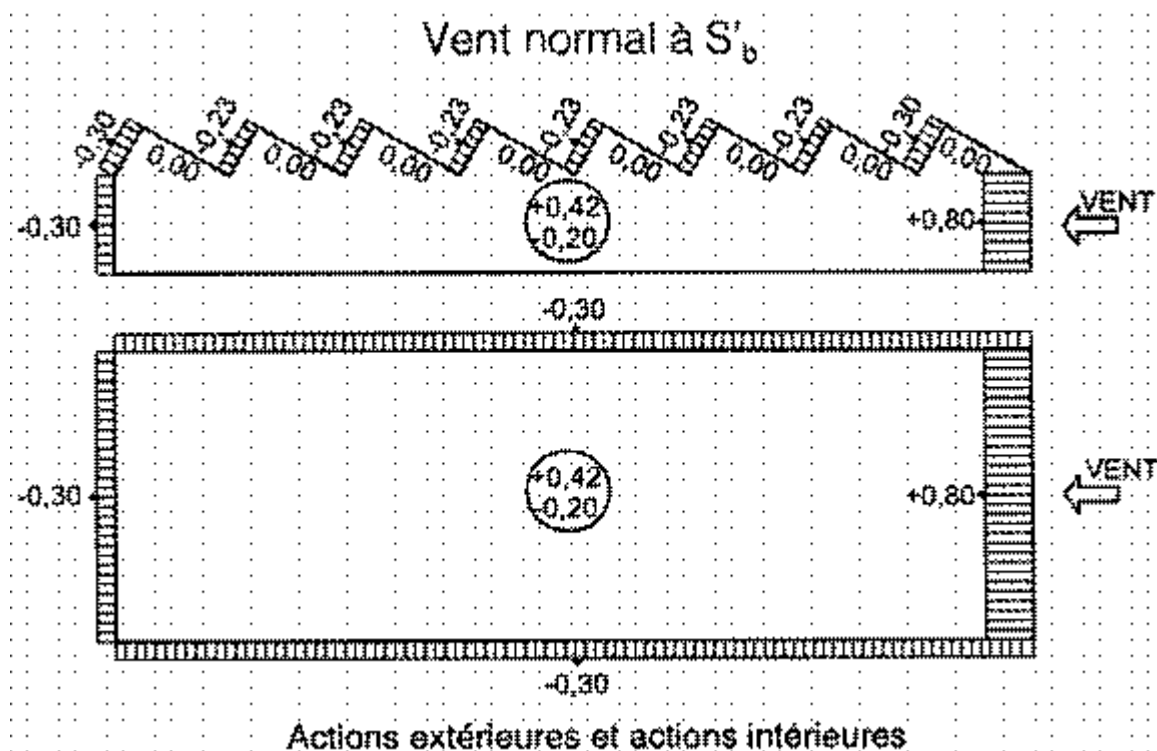


Figure A-6-12

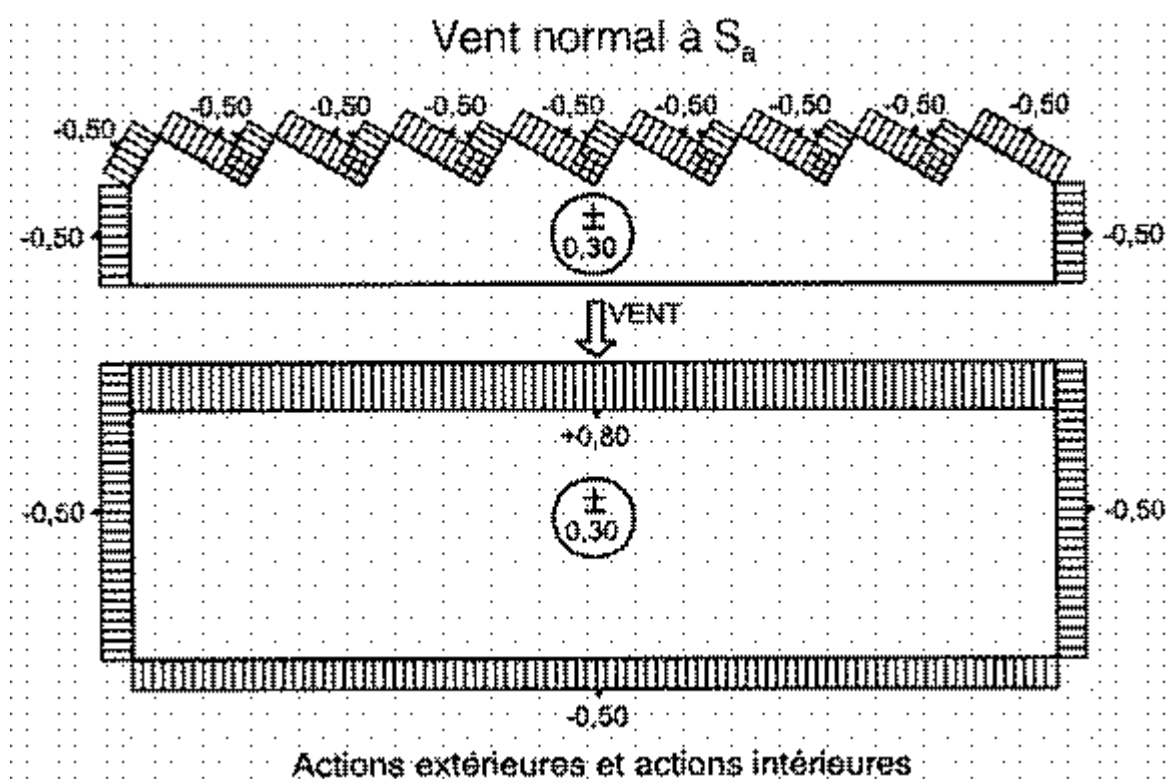


Figure A-6-13

6,117 construction fermée reposant sur le sol de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ;  
toiture multiple à versants plans dissymétriques, faîtages parallèles au grand côté

- Dimensions :

$$a = \frac{8b}{3} \quad \lambda_a = 0,19 \quad < 0,5$$

$$h = 0,5b \quad \lambda_b = 0,50 \quad < 1$$

$$\alpha_1 = 60^\circ \quad \frac{b}{a} = 0,375 \quad f = b \frac{\sqrt{3}}{12}$$

$$\alpha_2 = 30^\circ \quad \frac{f}{h} = 0,29 \quad < 0,5$$

- Coefficient  $\gamma_o$

Vent sur  $S_a$   $\gamma_o = 1,00$  | R-III-2,12 – diagramme

Vent sur  $S_b$   $\gamma_o = 0,85$  | figure R-III-5

- Actions extérieures - Vent normal aux parois verticales :

Parois verticales : R-III-2,131-1

Toiture : R-III-2,131-3 - diagramme figure R-III-6

- Actions intérieures : R-III-2,141

Pour le vent normal à  $S_b$ , la dépression intérieure de - 0,18 est ramenée à - 0,20 (R-III-2,14).

- Actions résultantes à retenir pour les calculs :

Façades : succion  $c = - 0,80$

pression  $c = + 1,10$

Pignons : succion  $c = - 0,80$

pression  $c = + 1,00$

Petits versants de toiture :

succion  $c = - 0,80$

pour le premier versant

$c = - 0,70$

pour les versants suivants

pression  $c = + 0,65$

pour le premier versant

$c = + 0,56$

pour les versants suivants

Grands versants de toiture :

succion  $c = - 0,75$

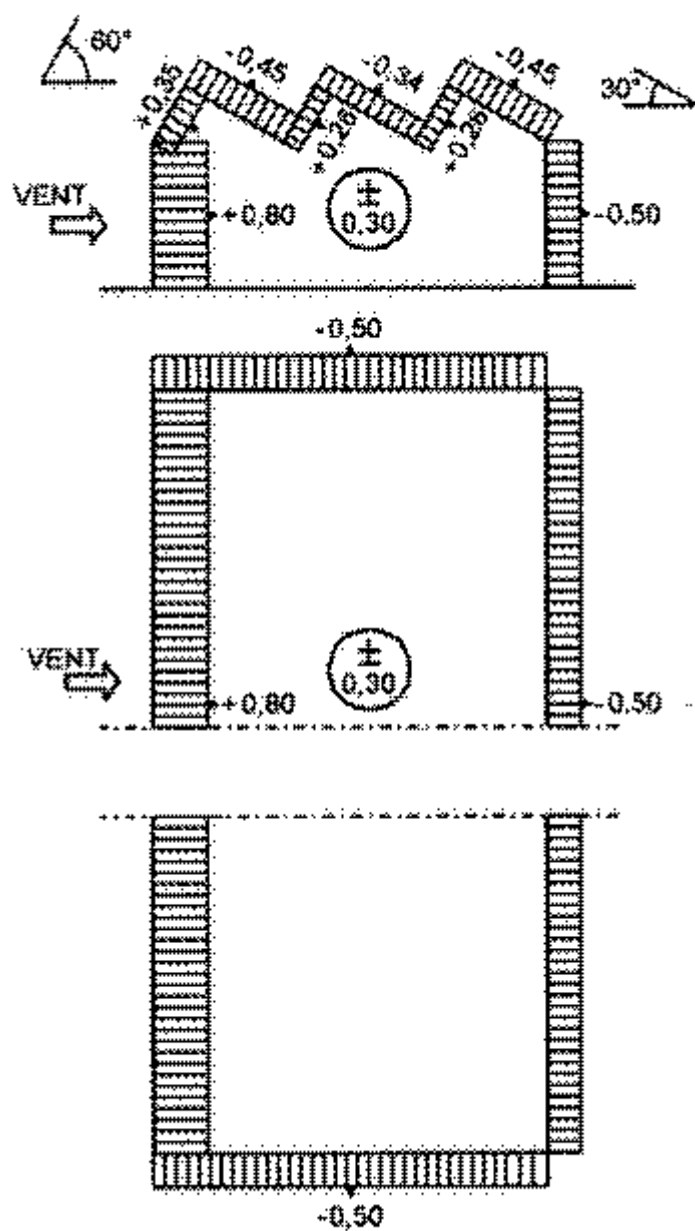
pour le premier versant

$c = - 0,70$

pour les versants suivants



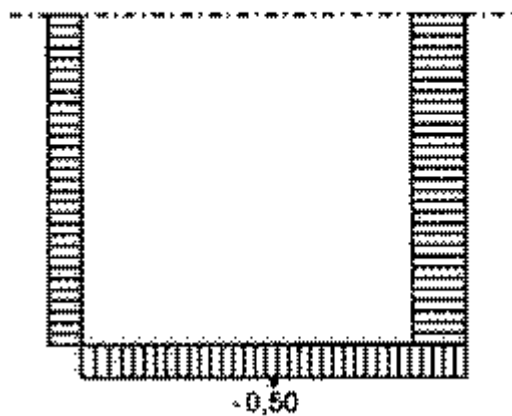
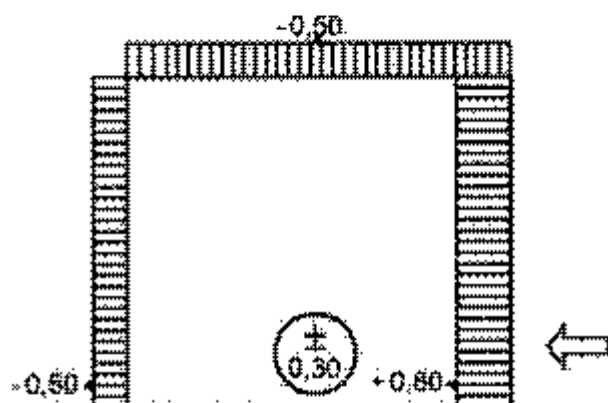
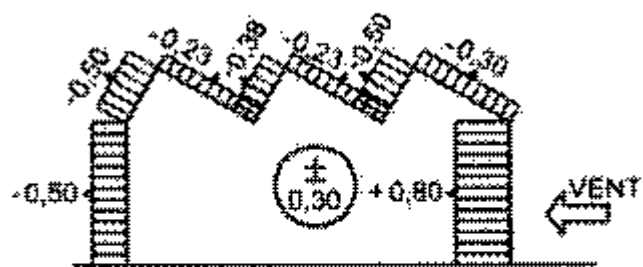
Vent normal à  $S_a$



Actions extérieures et actions intérieures

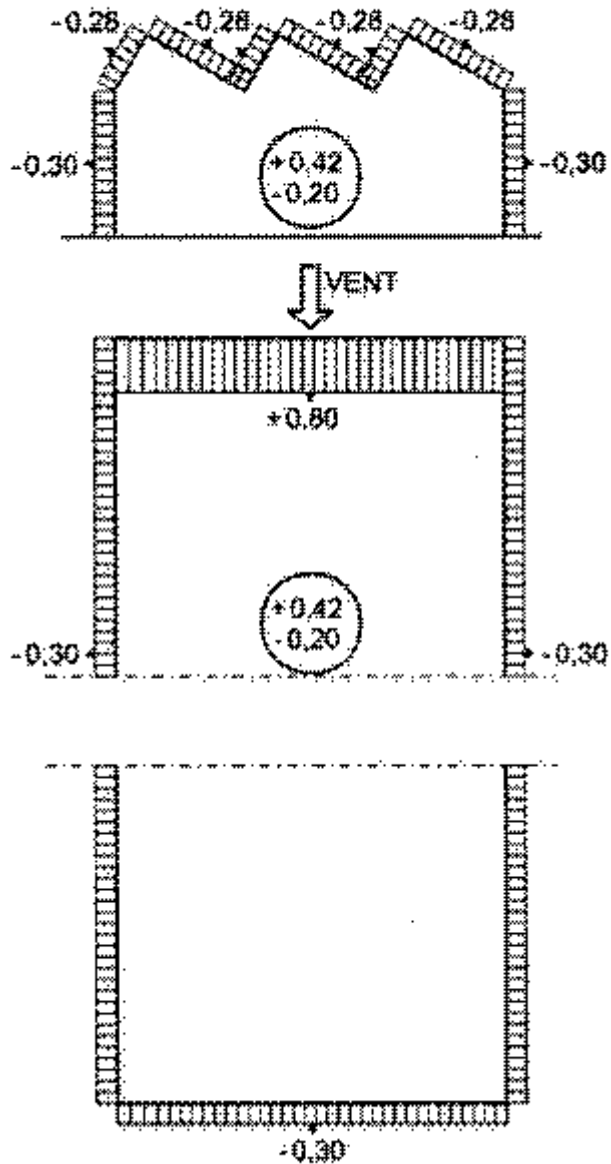
Figure A-6-14

Vent normal à  $S'_a$



Actions extérieures et actions intérieures  
Figure A-6-15

Vent normal à  $S_b$



## Actions extérieures et actions intérieures

Figure A-6-16

6,118 construction fermée reposant sur le sol de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ;  
toiture en sheds paraboliques multiples

- Dimensions :

$$a = 3 b \quad \lambda_a = 0,47 < 0,5 \quad f = 0,4 b$$

$$h = 1,4 b \quad \lambda_b = 1,4 < 2,5 \quad \frac{b}{a} = 0,33$$

$$\alpha_1 \text{ à la naissance de la voûte} = 45^\circ \quad \frac{f}{h} = 0,29 < 0,5$$

$$\alpha_2 = \text{angle du versant plan avec l'horizontale} = 68^\circ$$

- Coefficient  $\gamma_o$

Vent sur $S_a$	$\gamma_o = 1,00$	R-III-2,12 – diagramme
Vent sur $S_b$	$\gamma_o = 0,90$	figure R-III-5

- Actions extérieures - Vent normal aux parois verticales :

Parois verticales : R-III-2,131-1

Toiture : R-III-2,131-2 et 3 - diagrammes figure R-III-6 et R-III-7

- Actions intérieures : R-III-2,141

- Actions résultantes à retenir pour les calculs :

Façades :

succion  $c = - 0,80$

pression  $c = + 1,10$

Pignons :

succion  $c = - 0,80$

pression  $c = + 1,02$

Versants plans :

succion  $c = - 0,80$

pression  $c = + 0,65$

pour le premier versant intermédiaire

$c = + 0,80$

pour le dernier versant

Versants paraboliques :

succion  $c = - 0,80$

pour la totalité du versant intermédiaire et les parties basses du premier et du dernier versant

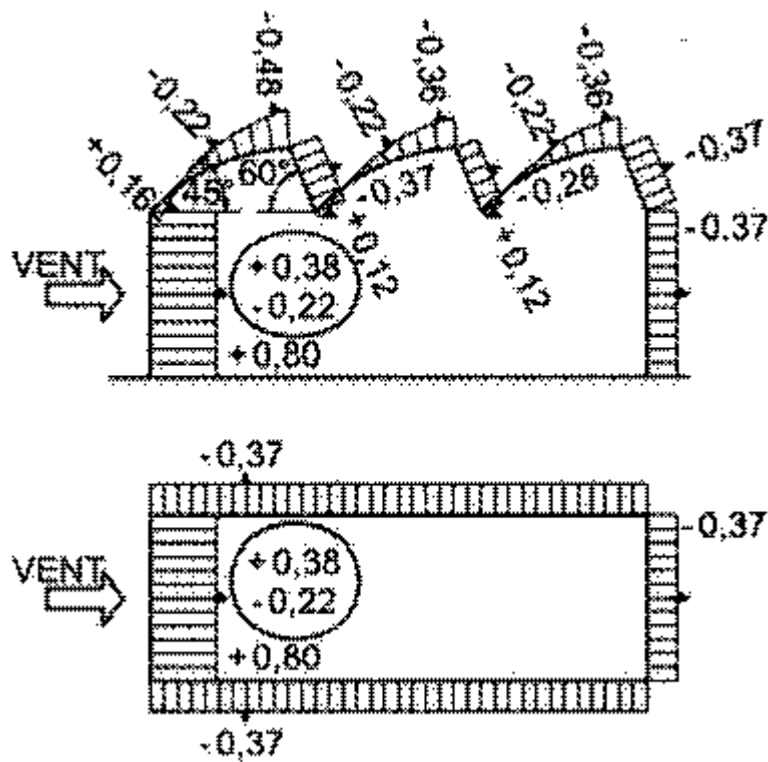
$c = \text{variant de } - 0,80 \text{ à } - 0,86$

pour la partie haute du premier et du dernier versant ( $- 0,80$  correspondant au point de dépression :  $- 0,42$ )

pression  $c = \text{variant de } + 0,38 \text{ à } 0$

pour la partie basse du premier et de  $+ 0,34$  à  $0$  pour la partie basse du versant intermédiaire et du dernier versant (la pression nulle correspond au point de dépression :  $- 0,22$ ).

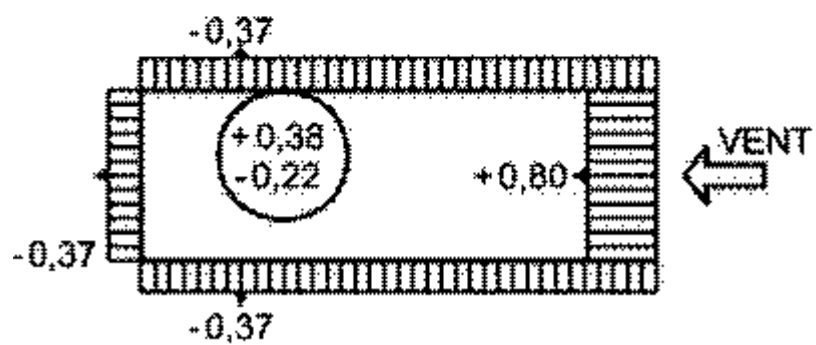
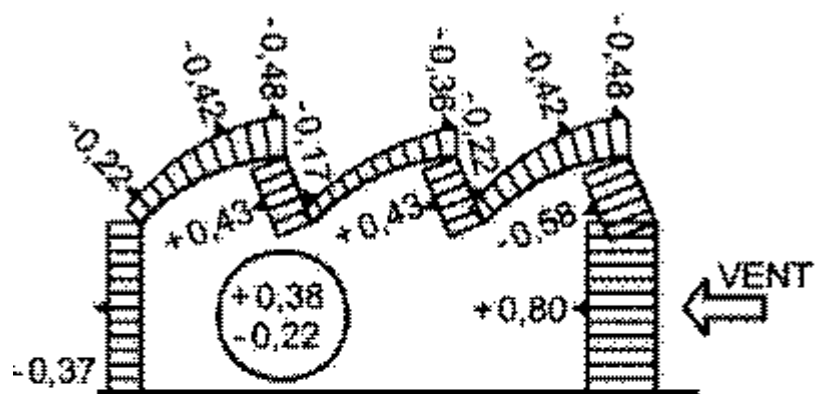
Vent normal à  $S_b$



Actions extérieures et actions intérieures

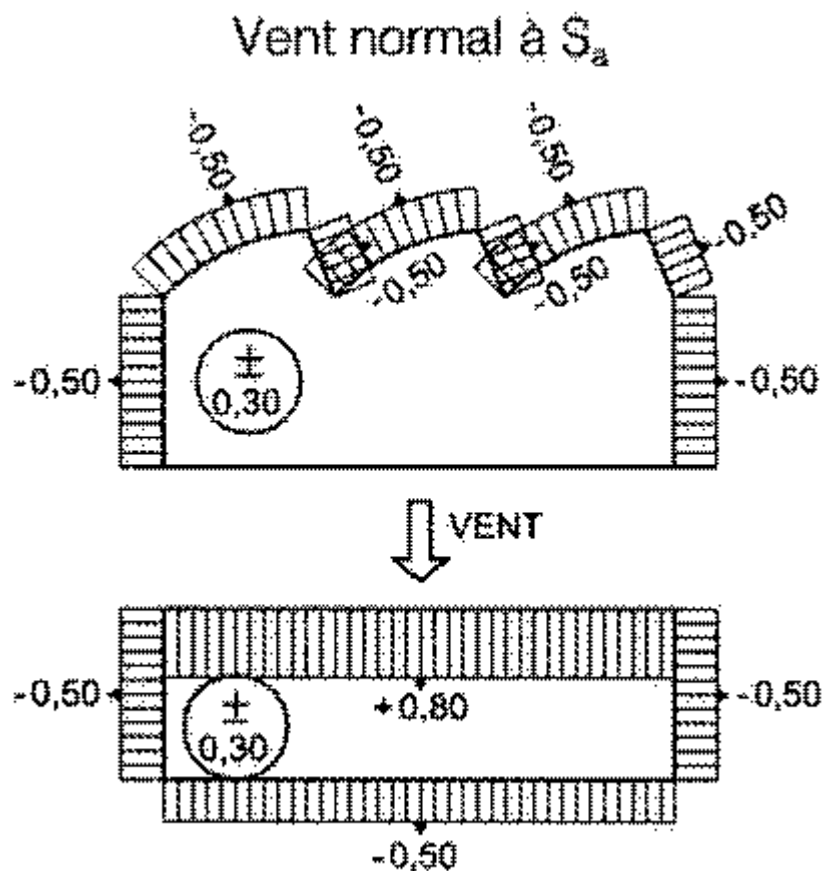
Figure A-6-17

Vent normal à  $S'_B$



Actions extérieures et actions intérieures

Figure A-6-18



### Actions extérieures et actions intérieures

Figure A-6-19

**6,12 construction fermée éloignée du sol de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ; toiture-terrasse**

- Dimensions :

$$\begin{aligned}
 a &= 6b & \lambda_a &= 0,166 < 1 & e &= 0,5h \\
 h &= b & \lambda_b &= 1,0 < 2,5 \\
 \frac{ae}{h^2} &= 3 & \frac{b}{a} &= 0,166
 \end{aligned}$$

- Coefficient  $\gamma_e$

$$\begin{array}{l|l}
 \text{Vent sur } S_a & \gamma_e = 1,07 \\
 \text{Vent sur } S_b & \gamma_e = 0,85
 \end{array} \quad \left| \quad \text{R-III-2,222} \right.$$

- Actions extérieures - Vent normal aux parois verticales :

Parois verticales : R-III-2,23

Toiture : R-III-2,23

Paroi inférieure : R-III-2,23

- Actions intérieures : R-III-2,24

Pour le vent normal à  $S_b$ , la dépression intérieure de - 0,18 est ramenée à - 0,20 (R-III-2,14).

- Actions résultantes unitaires à retenir pour les calculs :

Parois verticales :

Façades : succion  $c = - 0,84$

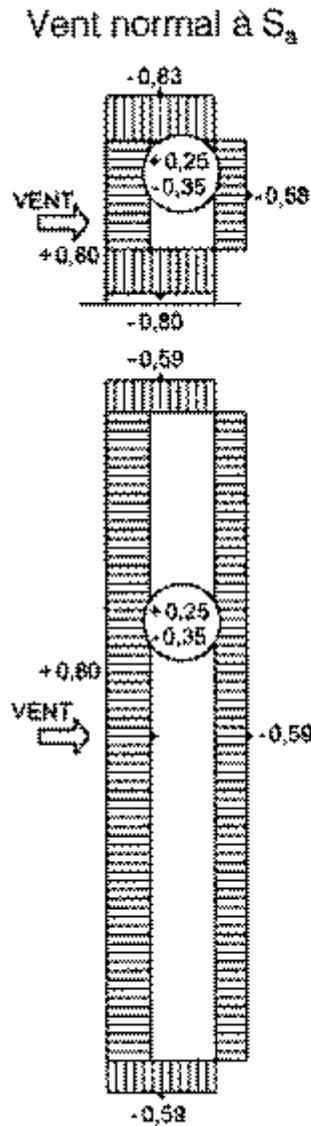
pression  $c = + 1,15$

Pignons : succion  $c = - 0,84$

pression  $c = + 1,00$

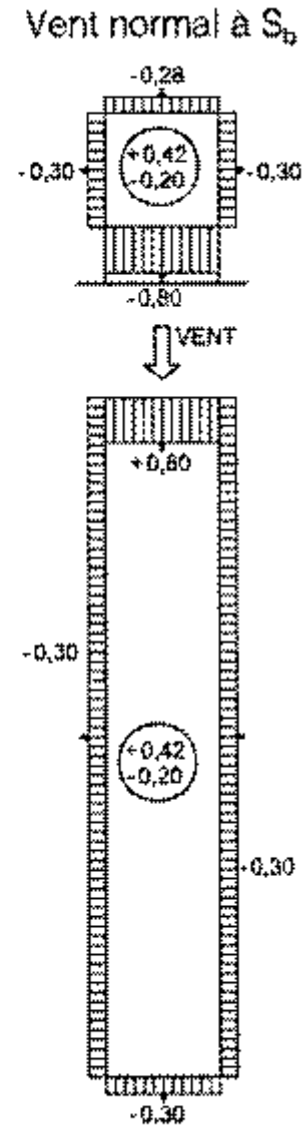
Toiture : succion  $c = -1,08$

Plancher inférieur : succion  $c = - 1,22$



Actions extérieures et actions intérieures

Figure A-6-20



Actions extérieures et actions intérieures

Figure A-6-21

figure sans légende dans: 6,12 construction fermée éloignée du sol de rapports de dimensions inf ...

## 6,2 constructions comportant des parois ouvertes

6,21 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions compris entre 0,5 et 2,5 ; une des parois verticales est ouverte ; les autres parois existantes sont fermées

Les trois constructions considérées ne diffèrent que par la forme de la toiture.

Exemple 1 : toiture à un versant plan.

Exemple 2 : toiture à voûte parabolique.



Exemple 3 : toiture à deux versants plans symétriques.

- Coefficients  $\gamma_o = 1,00$
- Actions extérieures - Vent normal aux parois verticales :  
     Parois verticales : R-III-2,131-1  
     Toiture : R-III-2,131-2 et 3 - diagrammes figure R-III-6 et R-III-7
- Actions intérieures : R-III-2,142
- Actions résultantes unitaires à retenir dans les calculs.

	Façade	Pignons	Toiture
Exemple 1	pression $c = + 1,30$	pression $c = + 1,30$	succion $c = - 1,16$
	succion $c = - 1,30$	succion $c = - 1,30$	
Exemple 2	pression $c = + 1,30$	pression $c = + 1,30$	succion $c$ variant de $- 1,52$ à $- 1,08$
	succion $c = - 1,30$	succion $c = - 1,30$	
Exemple 3	pression $c = + 1,30$ succion $c = - 1,30$	pression $c = + 1,30$ succion $c = - 1,30$	Paroi AB
			pression $c = + 1,10$
			succion $c = - 0,80$
			Versant BC
			pression $c = + 0,14$
			succion $c = - 1,32$
			Versant CD
			succion $c = - 1,16$

tableau sans légende dans: 6,21 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions compri ...

Vent soufflant sur la paroi ouverte  
Actions extérieures et actions intérieures

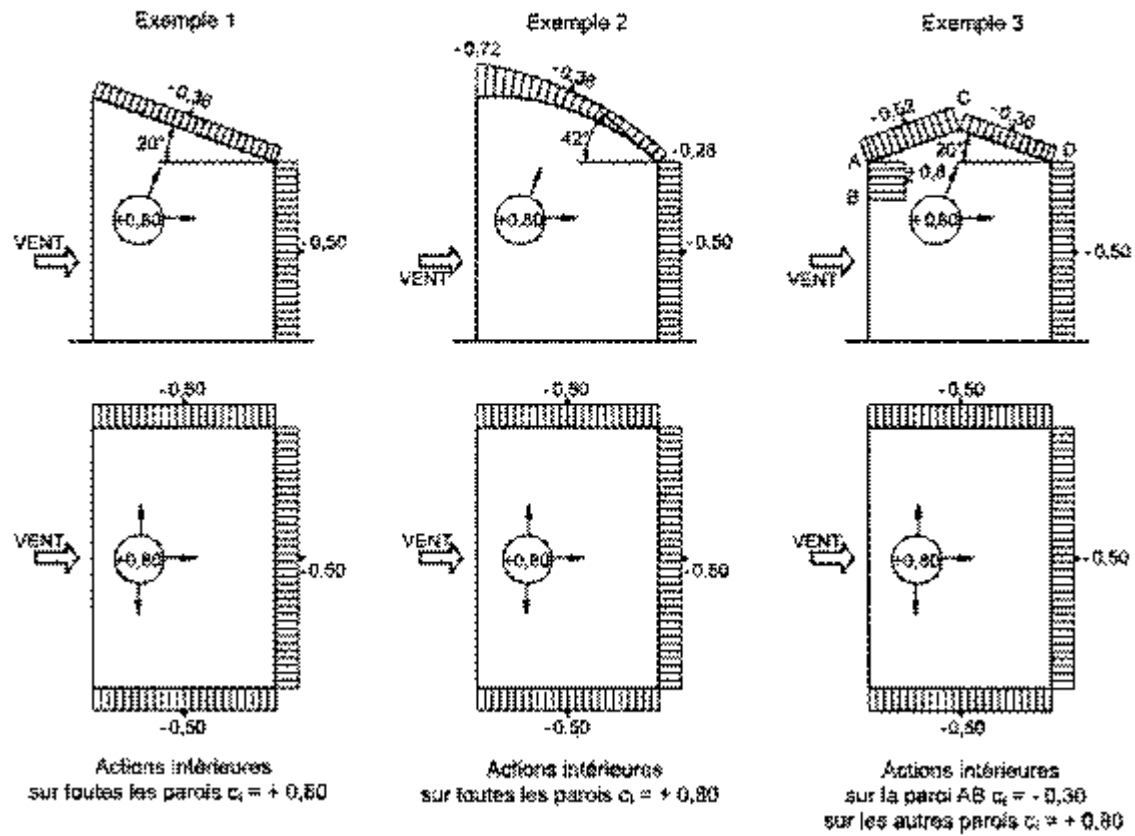


Figure A-6-22

# Vent soufflant sur la paroi opposée à la paroi ouverte Actions extérieures et actions intérieures

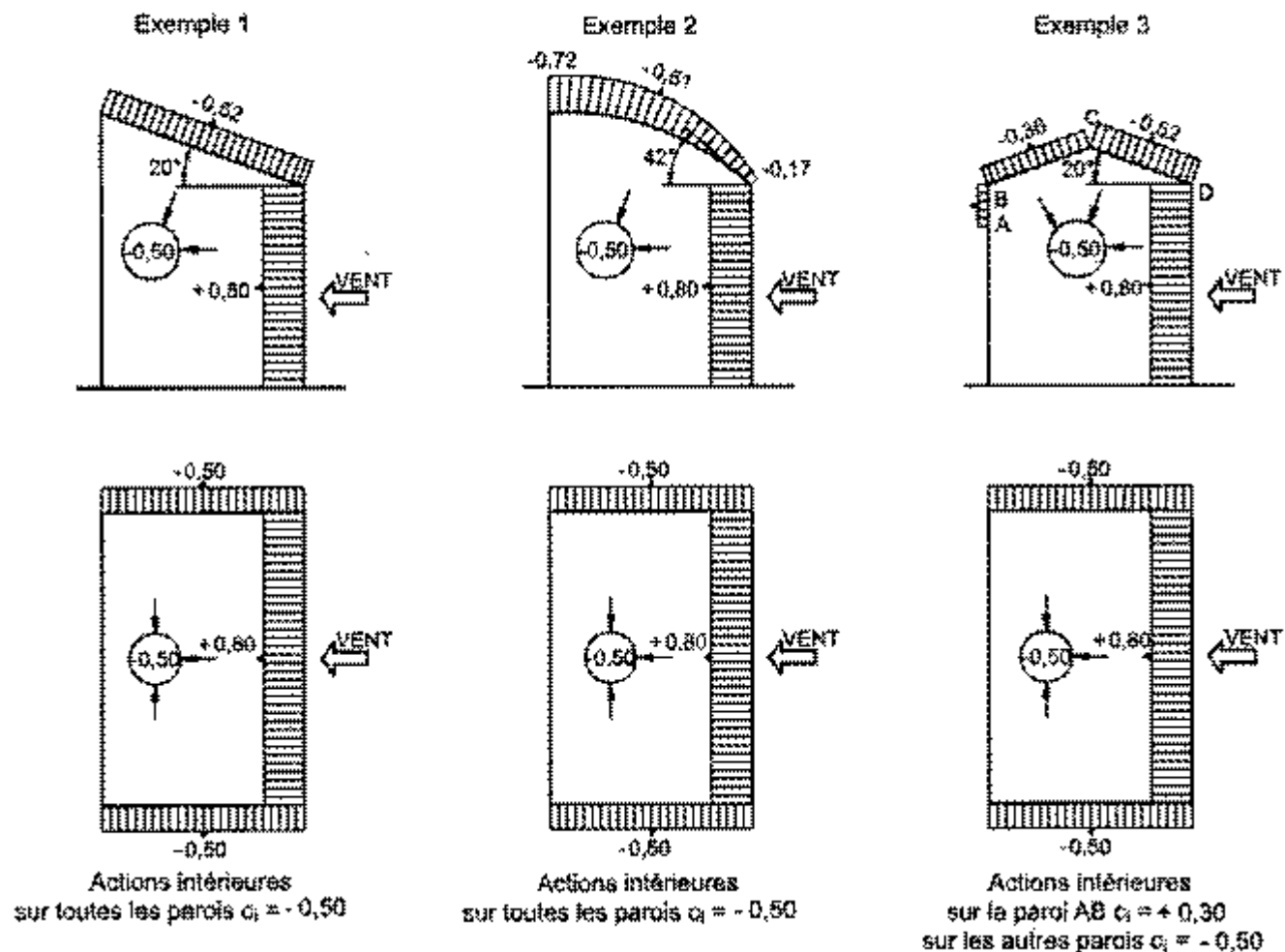


Figure A-6-23

## Vent parallèle à la paroi ouverte

Actions extérieures et actions Intérieures

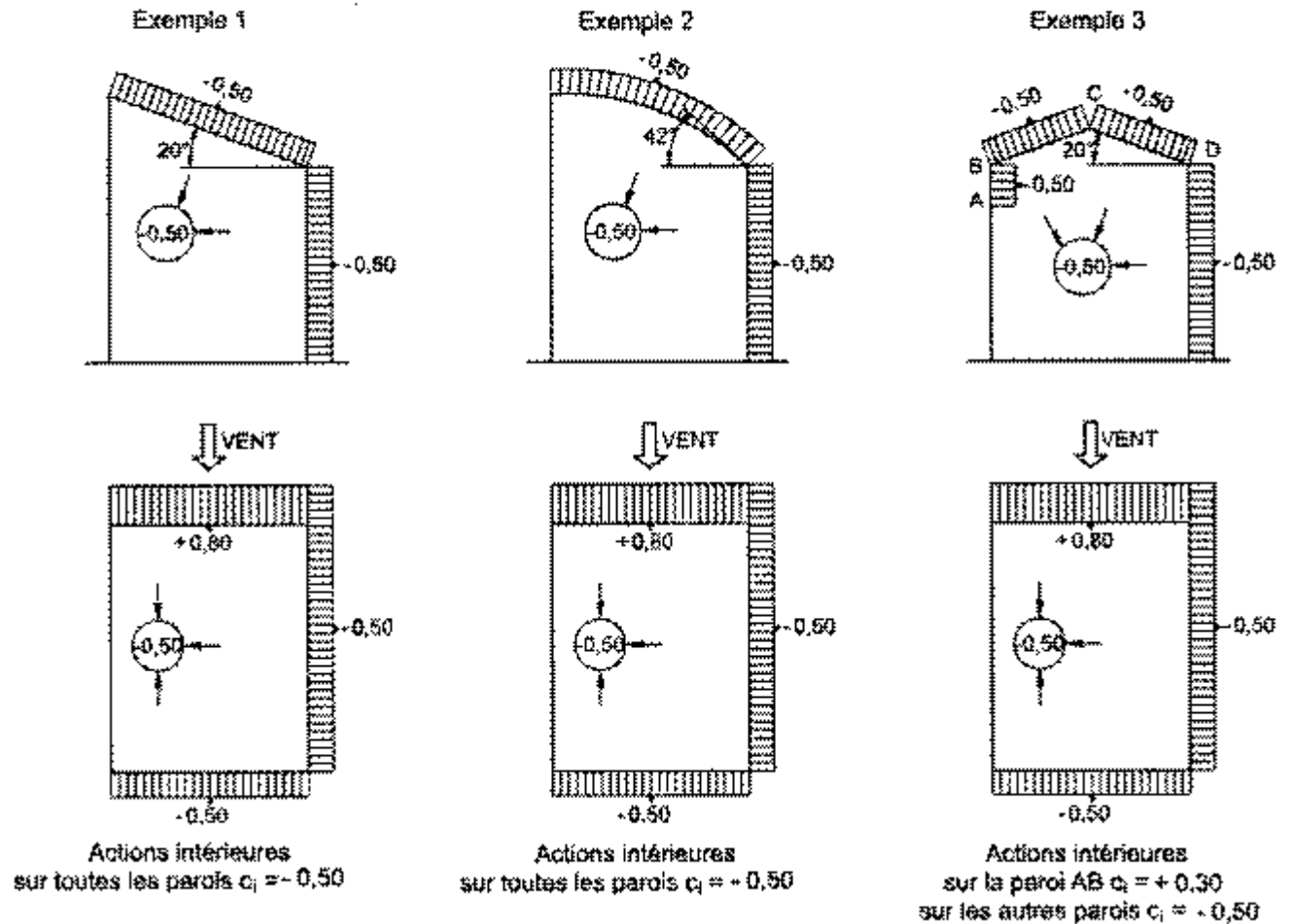


Figure A-6-24

**6,22 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions vérifiant les inégalités suivantes :  $0,5 \leq \lambda_a \leq 2,5$  ;  $1 \leq \lambda_b \leq 2,5$  ; les deux pignons sont complètement ouverts ; les façades et les versants de toiture sont fermés ; toiture à deux versants plans symétriques**

- Dimensions :

$$a = \frac{7}{3} b \quad \alpha = 30^\circ$$

- Coefficient  $\gamma_o$

Vent sur  $S_a$   $\gamma_o = 1,00$  | R-III-2,12 - diagramme

Vent sur  $S_b$   $\gamma_o = 0,95$  | figure R-III-5

Différentes directions de vent envisagées :

- ° Le vent est normal aux façades latérales (figure A-6-25)  
Le courant d'air ne traverse pas la construction.

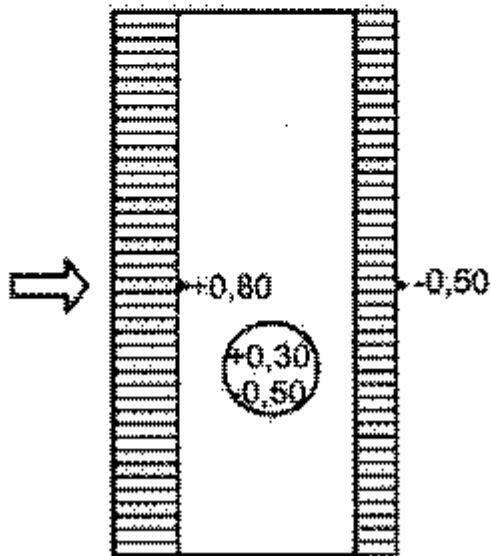
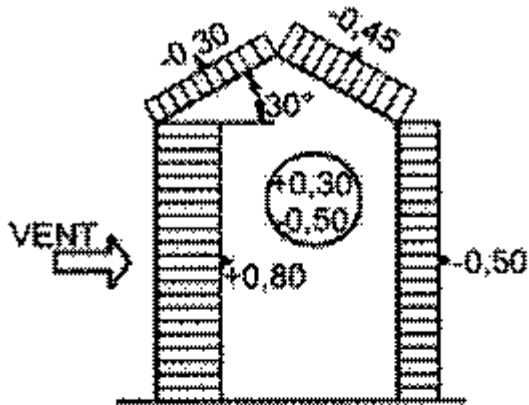
- Actions extérieures :

Parois verticales : R-III-2,131-1

Toiture : R-III-2,131-2 - diagramme figure R-III-6

- Actions intérieures : R-III-2,143
- ° Le vent est parallèle aux façades latérales (figure A-6-26) Le courant d'air traverse la construction et ne produit aucune action sur les parois verticales existantes ; par contre il a un effet d'entraînement sur la toiture alors assimilée à une toiture isolée (annexe 7).

### Vent normal à $S_a$

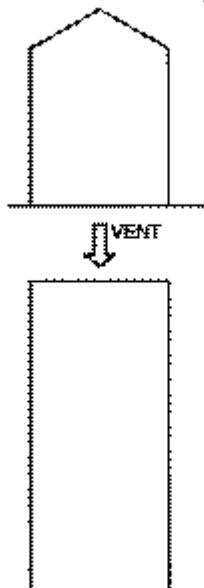


### Actions extérieures et actions intérieures

Figure A-6-25

- ° Le vent est oblique par rapport aux parois de la construction (figure A-6-27)

Vent normal à  $S_b$



Lorsque le vent est parallèle au faîtage et aux parois verticales, il ne produit aucune action sur les parois verticales, et uniquement une force d'entraînement sur la toiture.

Figure A-6-26

Son action, pour des inclinaisons variant de  $0^\circ$  à  $90^\circ$ , est retenue lorsqu'elle est supérieure à celle d'un vent perpendiculaire (§1).

- Façade au vent : l'action exercée par un vent d'inclinaison variable reste inférieure ou égale à celle d'un vent perpendiculaire ; elle n'est pas prise en considération.
- Façade sous le vent : le vent peut attaquer la face intérieure sous un angle variable produisant ainsi une surpression intérieure variant de  $+0,80$  à  $0$  pour un angle d'attaque variant de  $65^\circ$  à  $25^\circ$  (R-III-2,143), la succion extérieure restant égale à  $-0,50$ . La succion résultante à retenir pour les façades verticales est donc (comme indiqué par la figure A-6-27) l'enveloppe des efforts maximaux pour des vents inclinés de façon symétrique par rapport aux axes de la construction.
- Versants de toiture : l'action du vent peut s'assimiler à l'action d'un vent oblique sur une toiture isolée (R-III-4,233-2) soit  $c_i = +0,50$  sur toute la surface de la toiture ( $h > a/2$ )
- Actions résultantes unitaires à retenir pour les calculs :

Parois verticales : pression  $c = +1,30$

succion  $c$  variable de  $-1,30$  à  $0,99$

(cette dernière valeur découlant du fait que  $a = 7/3 b$ )

Versants de toiture : pression  $c = +0,30$

succion  $c = -1,00$

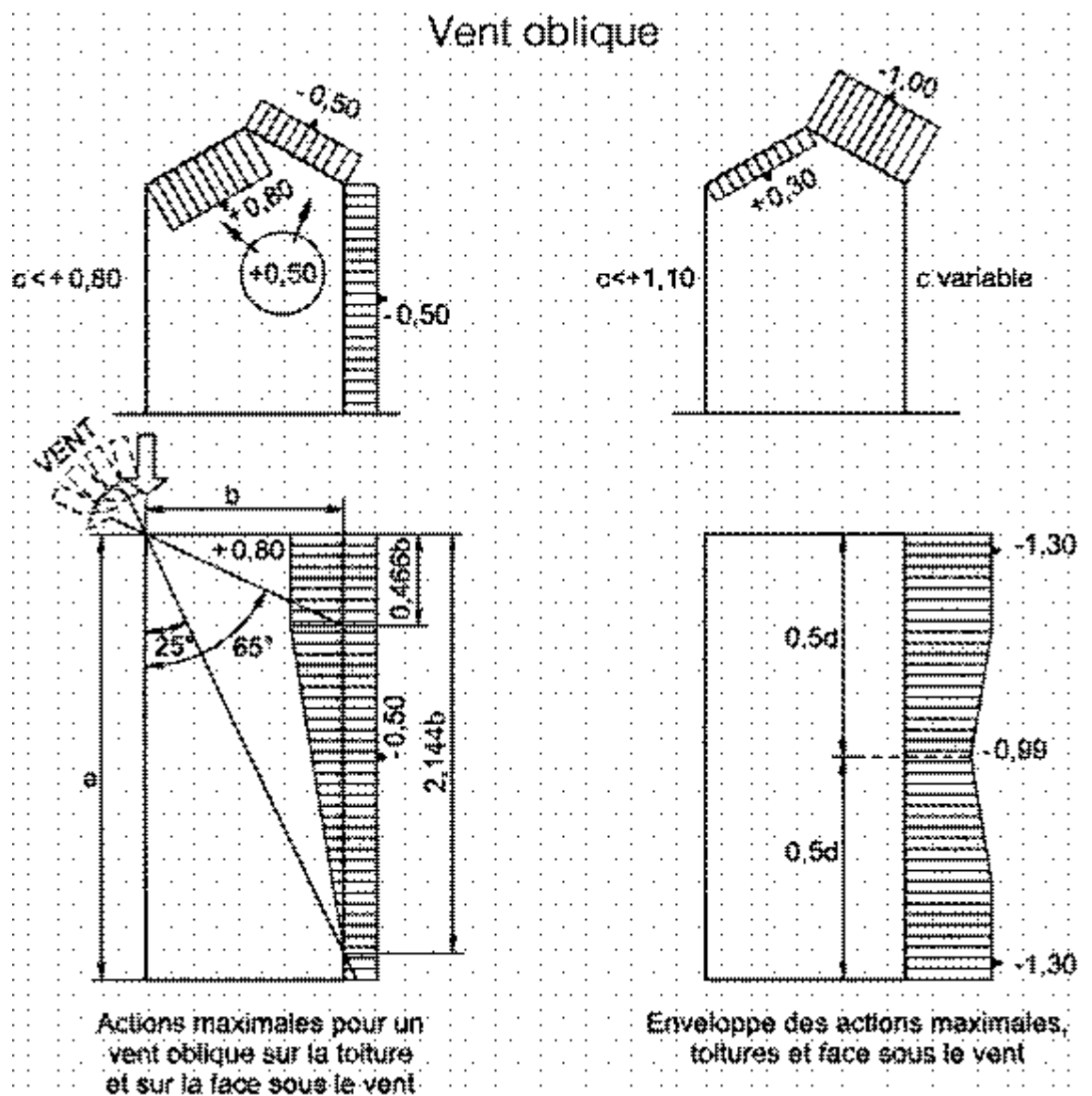


Figure A-6-27

**6,23 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions vérifiant les inégalités suivantes :  $0,5 \leq \lambda_a \leq 2,5$  ;  $1 \leq \lambda_b \leq 2,5$  ;  $b/a \geq 0,5$  ; trois parois verticales sont ouvertes en totalité ; une paroi verticale est fermée ; toiture à deux versants plans symétriques**

- Coefficient  $\gamma_0 = 1,00$
- Actions extérieures - Vent normal aux parois verticales :  
     Parois verticales : R-III-2,131-1  
     Toiture : R-III-2,131-2 - diagramme figure R-III-6
- Actions résultantes unitaires à retenir dans les calculs :

Paroi verticale : pression  $c = + 1,30$   
 succion  $c = -1,30$

Toiture : ce sont les plus défavorables soit des actions résultantes unitaires déterminées à l'aide des actions extérieures et intérieures définies ci-dessus, soit des actions relatives aux toitures isolées (annexe 7 et R-III-4,233-1 et 2).

Versant AB : pression  $c = + 0,97$

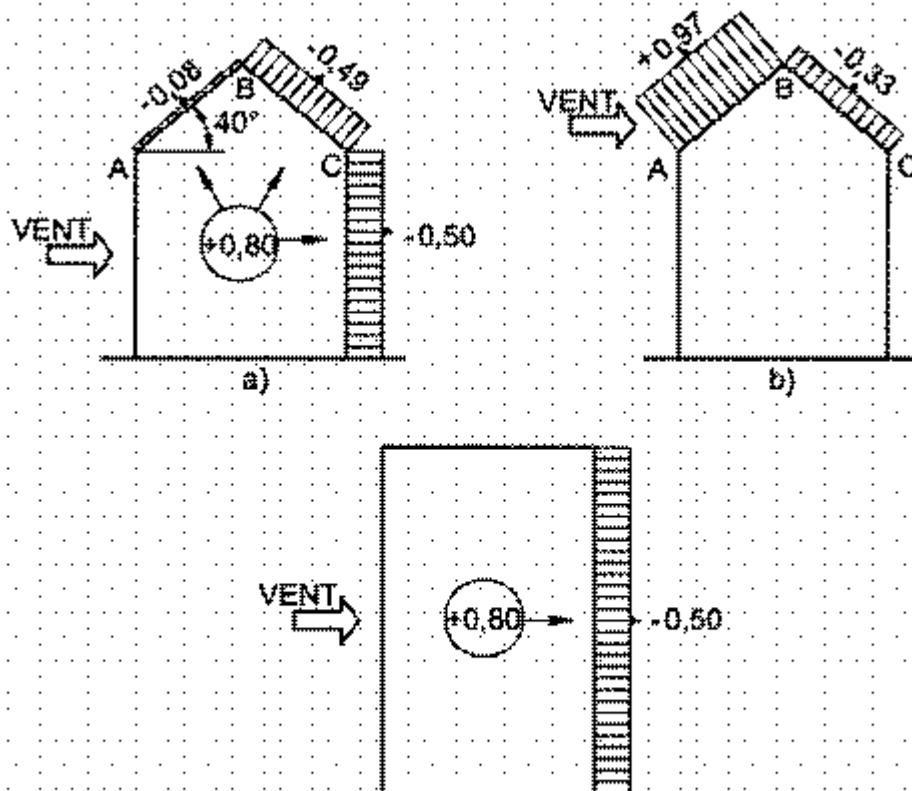
succion  $c = -0,88$

Versant BC : pression  $c = +0,42$

succion  $c = -1,29$

Vent frappant la face intérieure de la paroi existante

Vent frappant la face extérieure de la paroi existante



a) Action sur la construction considérée comme ouverte

b) Actions sur la construction considérée comme isolée; lorsque le vent est oblique, on tient compte d'une surpression intérieure de  $+0,50$

Figure A-6-28



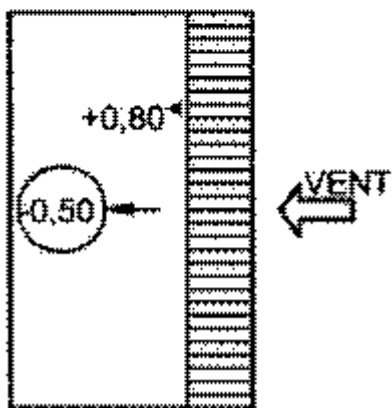
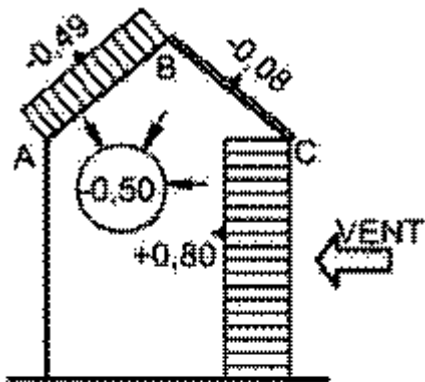


Figure A-6-29

#### 6,24 double auvent sur mur continu

- Coefficient  $\gamma_0 = 1,00$
- Les actions résultantes unitaires à retenir découlent de l'application des règles suivantes :

Vent normal à la paroi verticale (figure A-6-30) :

Paroi verticale : R-III-2,131-1

$c = \pm 1,30$

Toiture considérée comme appartenant à une construction ouverte :

R-III-2,131-2 - diagramme figure R-III-6

Le versant de gauche est sous le vent et le versant de droite est calculé comme s'il était au vent, sans la réduction de 25 % dont il est parlé en R-III-2, 131-31, car il ne s'agit pas là d'une toiture multiple.

Toiture considérée comme une toiture isolée :

R-III-4,233-1

D'où : pression  $c = + 0,50$

succion  $c = - 1,25$

Vent parallèle à la paroi verticale :

Vent normal à la paroi verticale

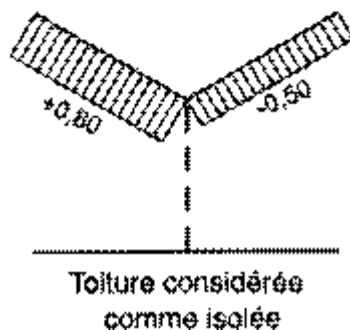
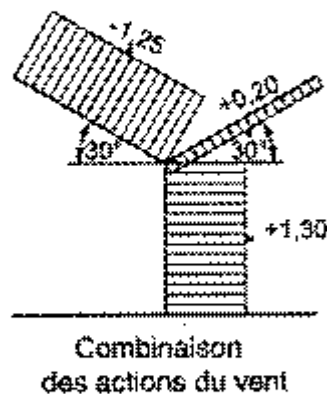
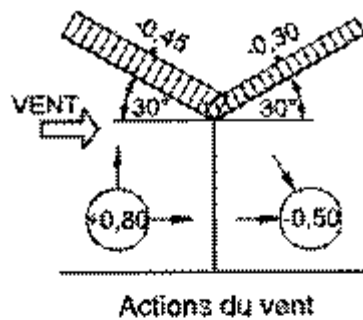


Figure A-6-30

Force d'entraînement (R-III-4,02) sur les deux faces de la toiture.

### 6,3 constructions comportant des parois partiellement ouvertes reposant sur le sol

**6,31** construction reposant sur le sol de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ; ayant trois parois fermées et une paroi partiellement ouverte (perméabilité  $\mu = 25$ ) ; toiture à deux versants plans symétriques

- Dimensions :

$$a = 2b \quad \lambda_a = 0,75 \quad \lambda_b = 1,5 \quad h = 1,5b$$

$$\alpha = 30^\circ \quad f = b \frac{1}{2\sqrt{3}} \quad \frac{b}{a} = 0,5$$

- Coefficient  $\gamma_o$

Vent sur  $S_a$  |  $\gamma_o = 1,00$  R-III-2,12 – diagramme  
Vent sur  $S_b$  | figure R-III-5

- Actions extérieures - Vent normal aux parois verticales :

Parois verticales : R-III-2,131-1

Toiture : R-III-2,131-2 - diagramme figure R-III-6

- Actions intérieures : R-III-2,144

Il est bon de se reporter à l'annexe 5 qui est une application de la règle III-2,144, avant d'aborder le calcul ci-dessous.

- Actions résultantes unitaires à retenir dans les calculs :

Direction du vent	Paroi partiellement ouverte AB	Paroi fermée CD	Parois fermées AD et BC - (pignons)	Versants de toiture EF et FG
Paroi partiellement ouverte AB au vent	$c_i = 0,30$	$c_i = +0,30 + 0,50 (25-5) / (35-5) = +0,63$	$c_i = +0,63$	$c_i = +0,63$
Paroi partiellement ouverte AB sous le vent et normale au vent	$c_i = +0,30$	$c_i = -0,30 - 0,20 (20/30) = -0,43$	$c_i = -0,43$	$c_i = -0,43$
Paroi partiellement ouverte AB sous le vent et parallèle au vent	$c_i = +0,30$	$c_i = -0,43$	$c_i = -0,43$	$c_i = -0,43$

tableau sans légende dans: 6,31 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions inféri ...

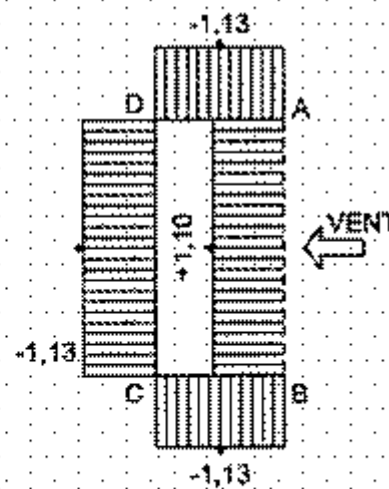
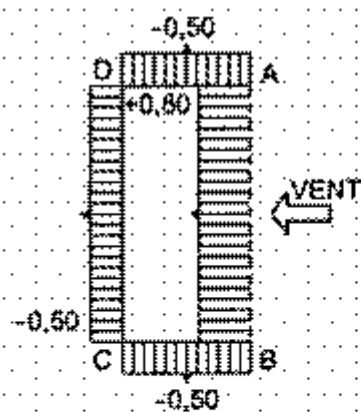
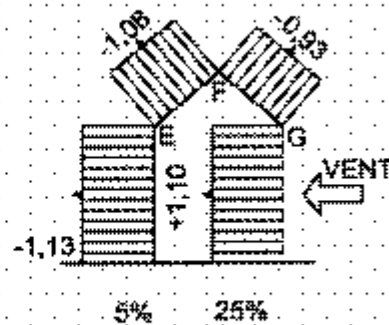
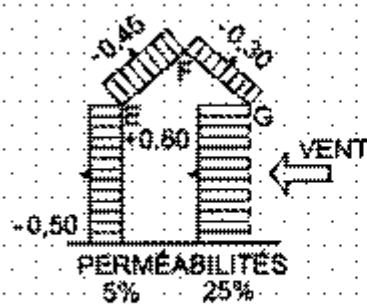
Les actions résultantes unitaires sont données pour chaque direction de vent normale aux parois par les figures A-6-31, 32 et 33.

Les actions à retenir sont les suivantes :

	Paroi partiellement ouverte AB	Parois fermées AB, BC et CD	Versants de toiture	
			EF	FG
Pression	$c = +1,10$	$c = +1,23$	$c = +0,13$	<b>pas de pression</b>
Suction	$c = -0,80$	$c = -1,13$	$c = -1,08$	$C = -0,93$

tableau sans légende dans: 6,31 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions inféri ...

Vent normal à  $S_a$

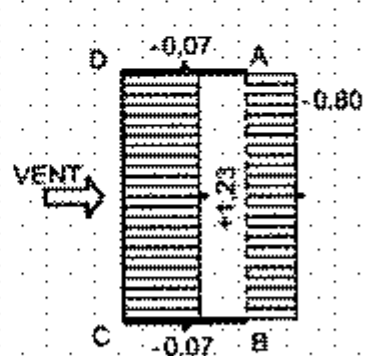
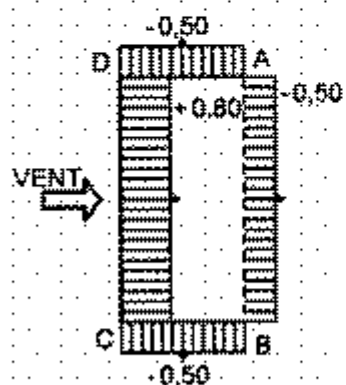
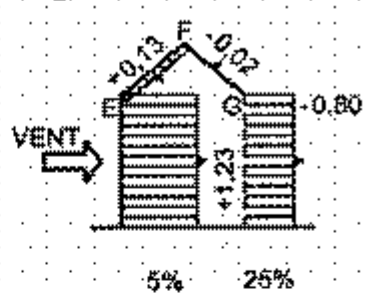
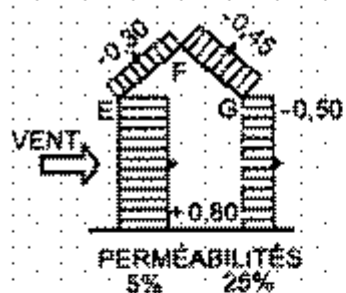


Actions extérieures et actions intérieures :  
sur la paroi AB  $c_i = 0,30$   
sur les autres parois et les versants  
de toiture  $c_i = - 0,43$ .

Combinaison des actions  
extérieures et des actions intérieures

Figure A-6-31

# Vent normal à $S'_a$



Actions extérieures et actions intérieures :  
 sur la paroi AB  $c_i = -0,30$   
 sur les autres parois et les versants  
 de toiture  $c_i = +0,63$ .

Combinaison des actions  
 extérieures et des actions intérieures

Figure A-6-32

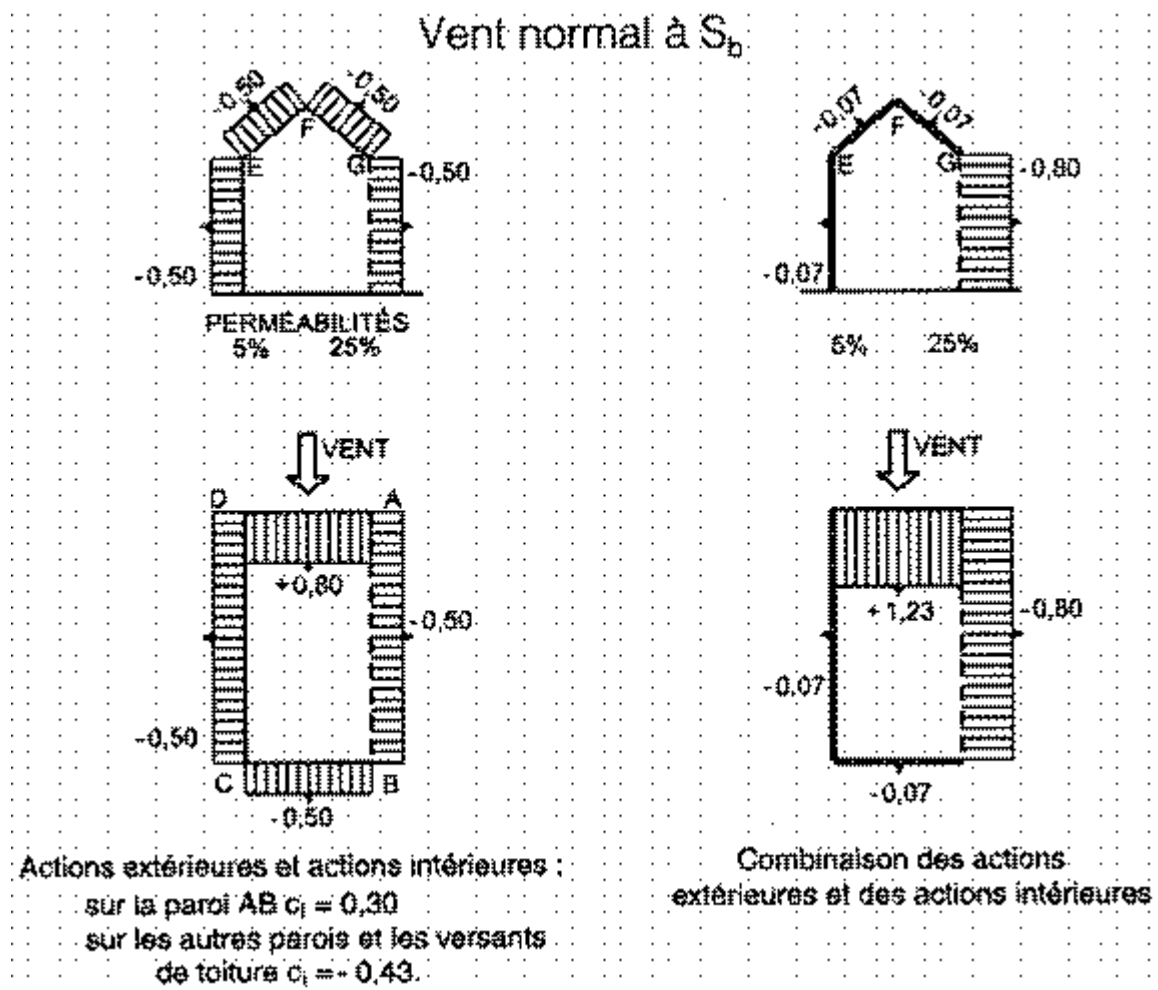


Figure A-6-33

6,32 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions inférieures à 2,5 ; ayant deux parois fermées, une paroi partiellement ouverte (perméabilité  $\mu = 20$ ) et une paroi ouverte, toiture à deux versants plans symétriques

- Dimensions :

$$a = 2b \quad \lambda_a = 0,75 \quad \lambda_b = 1,5 \quad h = 1,5b$$

$$\alpha = 30^\circ \quad f = \frac{b}{2\sqrt{3}} \quad \frac{b}{a} = 0,5$$

- Coefficient  $\gamma_0$

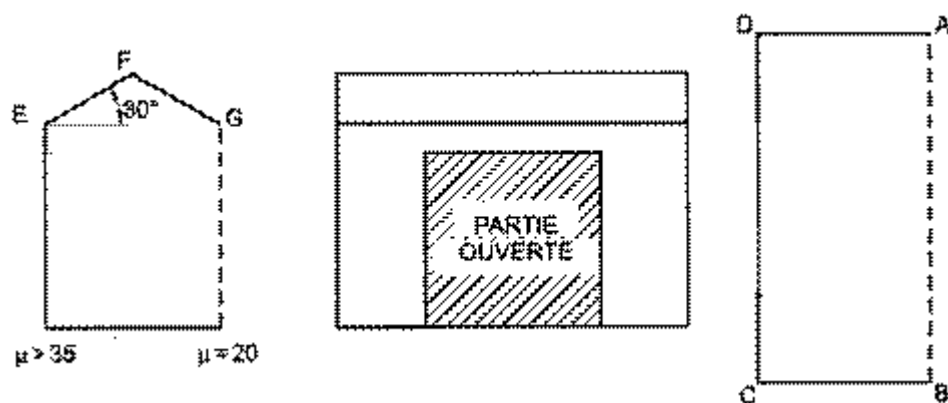


Figure A-6-34

Vent sur  $S_a$  |  $\gamma_0 = 1,00$  R-III-2,12 –  
 Vent sur  $S_b$  | diagramme figure R-III-5

On étudie successivement l'action d'un vent normal aux parois verticales puis d'un vent oblique.

- ° Vent normal aux parois
  - Actions extérieures :
    - Parois verticales : R-III-2,131-1
    - Toiture : R-III-2,131-2 - diagramme figure R-III-6
  - Actions intérieures : R-III-2,144 (voir annexe 5)

Direction du vent	Paroi partiellement ouverte AB	Paroi ouverte CD	Parois fermées BC et AD	Versants de toiture		
				EF	et	FG
Paroi partiellement ouverte AB au vent	$c_e = +0,80$	$c_e = -0,50$	$c_e = -0,50$	$c_e = -0,30$		$c_e = -0,45$
Paroi partiellement ouverte AB sous le vent et normale au vent	$c_e = -0,50$	$c_e = +0,80$	$c_e = -0,50$	$c_e = -0,45$		$c_e = -0,30$
Paroi partiellement ouverte AB sous le vent et parallèle au vent	$c_e = -0,50$	$c_e = -0,50$	paroi au vent $c_e = +0,80$ paroi sous le vent $c_e = -0,50$	$c_e = -0,50$		$c_e = -0,50$

tableau sans légende dans: 6,32 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions inféri

...

- Actions résultantes unitaires à retenir dans les calculs :

Direction du vent	Paroi partiellement ouverte AB	Paroi ouverte CD	Parois fermées BC et AD	Versants de toiture EF et FG
Paroi partiellement ouverte AB au vent	$c_i = -0,30 - 0,20 ((35 - 20)/(35 - 5)) = -0,40$	$c_i = +0,30$	$c_i = -0,40$	$c_i = -0,40$
Paroi partiellement ouverte AB sous le vent et normale au vent	$c_i = +0,30 + 0,50 ((35 - 20)/(35 - 5)) = +0,55$	$c_i = -0,30$	$c_i = 0,55$	$c_i = 0,55$
Paroi partiellement ouverte AB sous le vent et parallèle au vent	$c_i = 0,50$	$c_i = +0,30$	$c_i = -0,50$	$c_i = -0,50$

tableau sans légende dans: 6,32 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions inféri

Les actions résultantes unitaires sont données pour chaque direction de vent normale aux parois par les figures A-6-35, 36 et 37.

Les actions à retenir sont les suivantes :

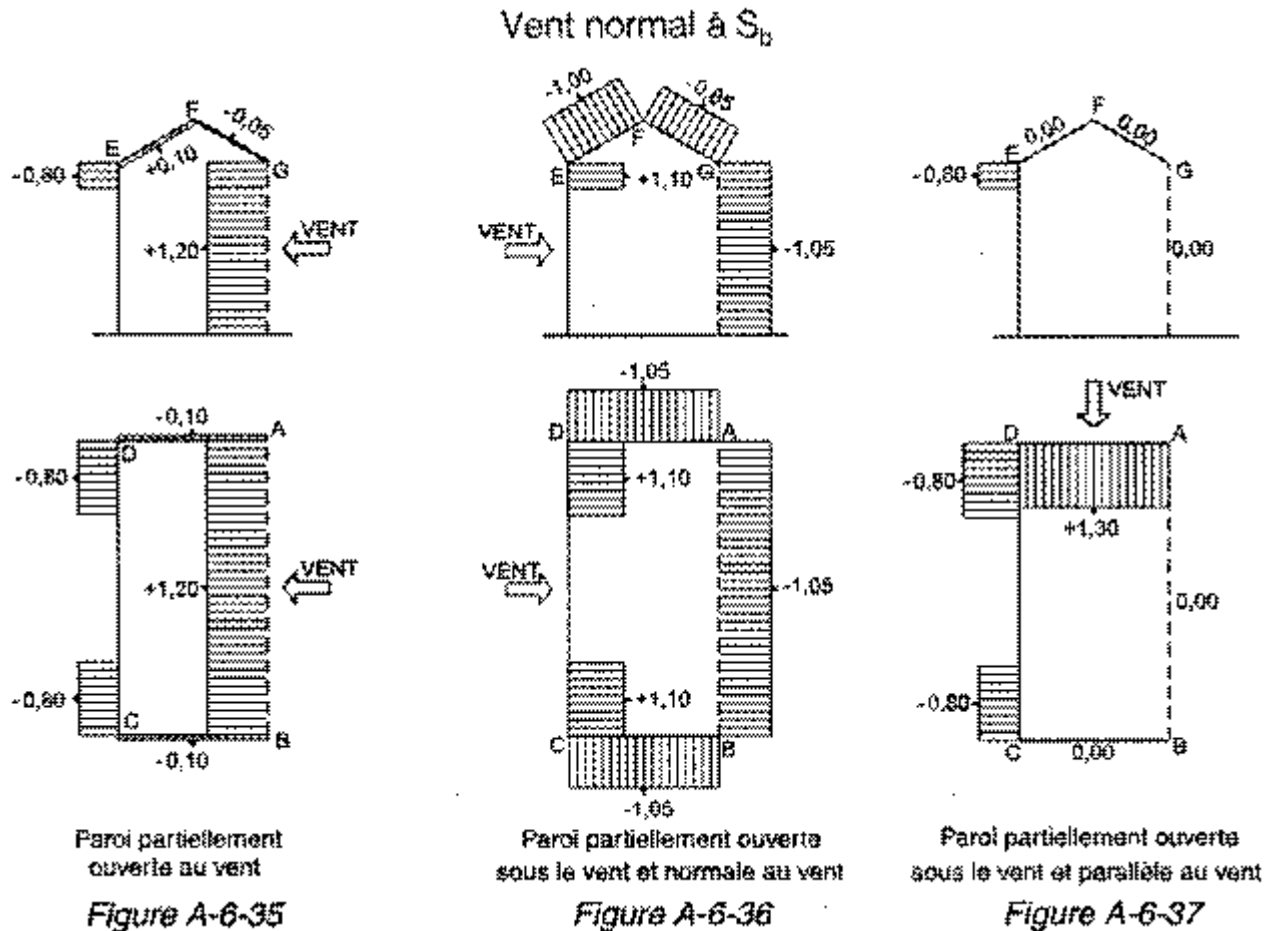


figure sans légende dans: 6,32 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions inféri

° Vent oblique aux parois

	Paroi partiellement ouverte AB	Paroi ouverte CD	Parois fermées BC et AD	Versants de toiture EF FG
Pression	$c = +1,20$	$c = +1,10$	$c = +1,30$	$c = +0,10$
Succion	$c = -1,05$	$c = -0,80$	$c = -1,05$	$c = -1,00$
				$c = -0,85$

tableau sans légende dans: 6,32 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions inféri

Lorsqu'il existe une paroi ouverte, il faut examiner l'action d'un vent oblique (R-III-2,143-2) sur la face intérieure des parois fermées ; cette action se traduit par des surpressions  $c_i = 0,02$   $\alpha - 0,5$  qui sont supérieures à la surpression déterminée selon R-III-2,144 qui, dans le cas



particulier envisagé, a pour valeur  $c_i = + 0,55$ .

La répartition des surpressions ainsi produites dépend essentiellement de l'emplacement et des dimensions de l'ouverture. Dans le cas de figure, elle varie de  $+ 0,80$  à  $+ 0,63$ .

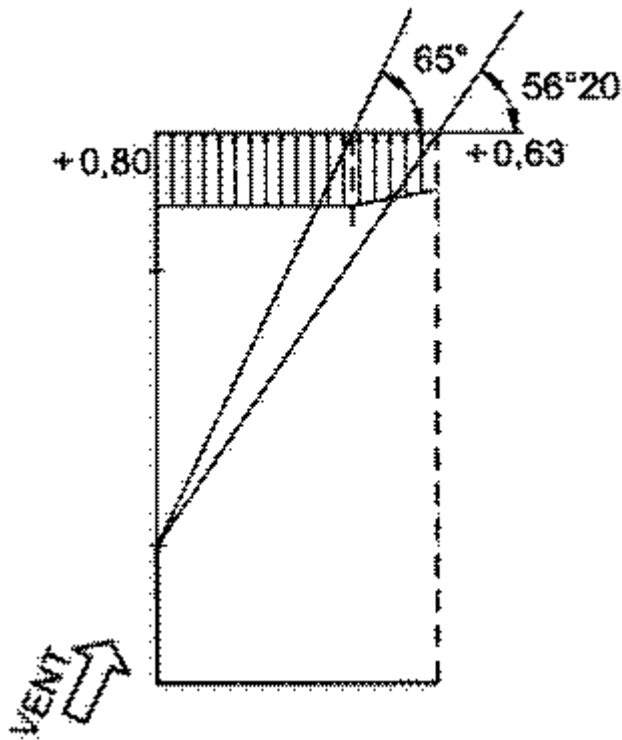


Figure A-6-38

**6,33 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions inférieurs à 2,5 ayant deux parois fermées et deux parois opposées partiellement ouvertes (perméabilité  $\mu = 15$  et  $\mu' = 25$ ) ; toiture à deux versants plans symétriques**

- Dimensions :

$$a = 2b \quad \lambda_a = 0,75 \quad \lambda_b = 1,5 \quad h = 1,5b$$

$$\alpha = 30^\circ \quad f = b \frac{1}{2\sqrt{3}} \quad \frac{b}{a} = 0,5$$

- Coefficient  $\gamma_o$

$$\begin{array}{l} \text{Vent sur } S_a \\ \text{Vent sur } S_b \end{array} \left| \begin{array}{l} \gamma_o = 1,00 \\ \text{R-III-2,12 - diagramme} \\ \text{figure R-III-5} \end{array} \right.$$

On étudie successivement l'action d'un vent normal aux parois verticales puis d'un vent oblique.

° Vent normal aux parois

- Actions extérieures :

Parois verticales : R-III-2,131-1

Toiture : R-III-2,131-2 - diagramme figure R-III-6

- Actions intérieures : R-III-2,144 (voir annexe 5)

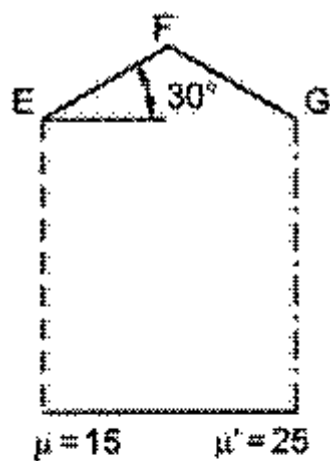


Figure A-6-39

Direction du vent	Paroi AB de perméabilité $\mu = 15$	Paroi CD de perméabilité $\mu' = 25$	Parois fermées BC et AD	Versants de toiture		
				EF	et	FG
Paroi AB ( $\mu = 15$ ) au vent	$c_e = +0,80$	$c_e = -0,50$	$c_e = -0,50$	$c_e = -0,30$		$c_e = -0,45$
Paroi CD ( $\mu' = 25$ ) au vent	$c_e = -0,50$	$c_e = -0,80$	$c_e = -0,50$	$c_e = -0,45$		$c_e = -0,30$
Parois partiellement ouvertes parallèle au vent	$c_e = -0,50$	$c_e = -0,50$	paroi au vent $c_e = +0,80$ paroi sous le vent $c_e = -0,50$	$c_e = -0,50$		$c_e = -0,50$

tableau sans légende dans: 6,33 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions inféri

...

- Actions résultantes unitaires à retenir dans les calculs :

Direction du vent	Paroi AB de perméabilité $\mu = 15$	Paroi CD de perméabilité $\mu' = 25$	Parois fermées AD et BC	Versants de toiture EF et FG
Paroi AB ( $\mu = 15$ ) au vent	$c_i = -0,30 - 0,20 ((35 - 15)/(35 - 5)) ((25 - 5)/(35 - 5)) = -0,39$	$c_i = +0,30 + 0,50 ((15 - 5)/(35 - 5)) ((35 - 25)/(35 - 5)) = +0,36$	$c_i = -0,30$	$c_i = -0,30$
Paroi CD ( $\mu' = 25$ ) au vent	$c_i = +0,30 + 0,50 ((35 - 15)/(35 - 5)) ((25 - 5)/(35 - 5)) = +0,52$	$c_i = -0,30 - 0,20 ((15 - 5)/(35 - 5)) ((35 - 25)/(35 - 5)) = -0,32$	$c_i = +0,30$	$c_i = +0,30$
Parois partiellement ouvertes parallèle au vent	$c_i = -0,30$	$c_i = +0,30$	$c_i = -0,30 - 0,20 ((15 - 5)/(35 - 5)) - 0,20 ((35 - 15)/(35 - 5)) ((25 - 5)/(35 - 5)) = -0,46$	$c_i = 0,46$

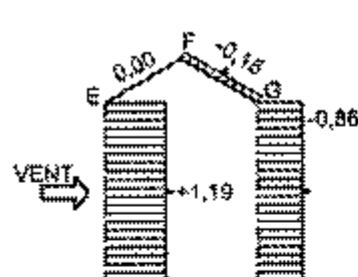
tableau sans légende dans: 6,33 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions inféri

...

Les actions résultantes unitaires sont données pour chaque direction de vent normale aux parois par les figures A-6-40, 41 et 42.

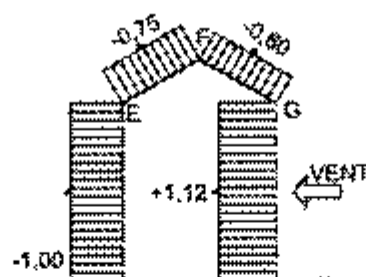
Les actions à retenir sont les suivantes :

#### Combinaison des actions extérieures et des actions intérieures



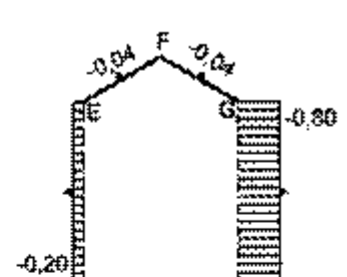
Paroi de perméabilité  $\mu = 15$  au vent

Figure A-6-40



Paroi de perméabilité  $\mu' = 25$  au vent

Figure A-6-41



Parois partiellement ouvertes parallèles au vent

Figure A-6-42

figure sans légende dans: 6,33 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions inféri

...

- ° Vent oblique aux parois

	Paroi AB de perméabilité $\mu = 15$	Paroi CD de perméabilité $\mu' = 25$	Parois fermées BC et AD	Versants de toiture EF
Pression	$c = +1,19$	$c = +1,12$	$c = +1,26$	<b>pas de pression</b>
Succion	$c = -1,02$	$c = -0,86$	$c = -0,80$	$c = 0,75$ $c = -0,60$

tableau sans légende dans: 6,33 construction reposant sur le sol de rapports de dimensions inféri

...

Il peut être nécessaire d'examiner l'action d'un vent oblique ; ceci dépend uniquement de la répartition des ouvertures et de leurs dimensions.

On procède alors comme indiqué à l'annexe 6,22.

#### **Annexe 7 actions résultantes unitaires sur les parois de constructions ouvertes traversées par le vent**

L'annexe 7 a pour but de faciliter l'application de la règle III-2,152.

##### **7,1 tableau**

Le tableau ci-après définit pour quatre cas particuliers les directions du vent pour lesquelles l'utilisateur est amené à appliquer les règles relatives aux toitures isolées et précise pour chaque cas les règles à appliquer.

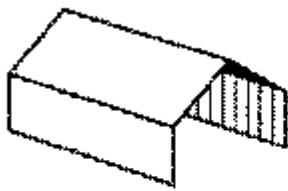
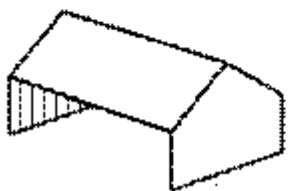
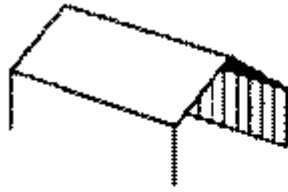
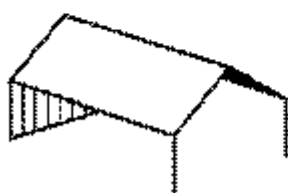
	Caractéristiques de la construction	Directions du vent	Règles relatives aux toitures isolées
Deux façades opposées sont ouvertes	Faîtage de la toiture parallèle aux façades non ouvertes 	Vent parallèle au faîtage	Force d'entraînement R-III-4,02
	Figure A-7-1	Vent oblique (pour chaque extrémité)	Surpression sur les faces intérieures : R-III-4,233-2
	Faîtage de la toiture perpendiculaire aux façades non ouvertes. 	Vent normal au faîtage	R-III-4,233-1
	Figure A-7-2		
Trois façades sont ouvertes	Faîtage parallèle à la façade fermée. 	Vent parallèle au faîtage	Force d'entraînement : R-III-4,02
	Figure A-7-3	Vent oblique (pour chaque extrémité)	Surpression sur les faces intérieures : R-III-4,233-2
	Faîtage perpendiculaire à la façade fermée. 	Vent normal au faîtage	R-III-4,233-1
	Figure A-7-4	Vent parallèle au faîtage normal à la face intérieure du pignon	Force d'entraînement : R-III-4,02
		Vent oblique (pour l'extrémité opposée au pignon)	Surpression sur les faces intérieures : R-III-4,233-2

tableau sans légende dans: 7,1 tableau

## Annexe 8 actions dynamiques exercées par le vent

Conformément aux règles III-1,5, les actions dynamiques exercées par le vent comportent :

- des actions parallèles à la direction du vent ;
- des actions perpendiculaires à la direction du vent.

### 8,1 prise en compte des actions dynamiques

Pour les constructions prismatiques à base quadrangulaire (R-III-2,16) et pour les constructions ajourées et les constructions en treillis (R-III-5,02), les actions d'ensemble déterminées pour une pression normale et pour une pression extrême sont susceptibles de l'application de la règle III-1,51 relative aux actions parallèles à la direction du vent.

Pour les constructions prismatiques à base polygonale régulière ou circulaire (R-III-3,7), les actions d'ensemble sont susceptibles de l'application de la règle III-1,5 qui comporte :

- a) la prise en compte des actions dynamiques parallèles à la direction du vent pour des pressions égales aux pressions normale et extrême ;
- b) la combinaison des actions dynamiques parallèles à la direction du vent et des actions perpendiculaires à la direction du vent pour une pression égale à la pression critique de résonance correspondant à la vitesse critique du vent pour laquelle la construction en résonance.

### 8,2 actions parallèles à la direction du vent

La prise en compte des actions dynamiques dans le sens du vent se fait par la multiplication des actions statiques du vent servant au calcul de la stabilité

- par un coefficient de majoration  $\beta$  défini en R-III-1,511 pour les surcharges normales,
- par une expression fonction de  $\beta$  et de  $\theta$  définie en R-III-1,512 pour les surcharges extrêmes.

### 8,3 actions perpendiculaires à la direction du vent

Pour la prise en compte de l'action des tourbillons de Bénard Karman<sup>(9)</sup>, on admet que la construction est soumise à une force de dérive périodique perpendiculaire à la direction du vent et de répartition triangulaire, et dont l'action est assimilée à celle d'une force statique.

Sa valeur maximale est donnée à chaque niveau par une expression de la forme :

$$L = \delta c_l \beta' q_{cr} d \frac{H}{h}$$

où  $\delta$  est un coefficient de réduction tenant compte de l'effet des dimensions

$c_l$  un coefficient de dérive

$\beta'$  un coefficient de majoration dynamique tenant compte de l'amortissement

$q_{cr}$  la pression dynamique critique correspondant à la vitesse de résonance

$d$  la largeur du maître-couple

$h$  la hauteur de la construction

$H$  la cote du niveau considéré comptée à partir du sol.

### NOTE

(9) Un paramètre de l'écoulement d'un fluide autour d'un cylindre est le nombre de Reynolds de ce cylindre  $Re = Vd/\nu$  ( $\nu$  étant la viscosité cinématique du fluide) et par conséquent la vitesse  $V$  d'écoulement du fluide

En régime laminaire pour des nombres de Reynolds très petits, il y a parfaite symétrie entre l'arrière et l'avant du cylindre.

Lorsque le nombre de Reynolds augmente, la couche limite arrière s'épaissit, et si le nombre de Reynolds augmente encore, un décollement se forme et donne naissance à deux tourbillons symétriques stationnaires dont le volume augmente quand  $Re$  augmente.

Si de nouveau le nombre de Reynolds croît au-delà d'une certaine valeur, les tourbillons se détachent alternativement et périodiquement. Ils sont emportés par le courant et il se forme alors deux files de tourbillons alternés dits de « Bénard-Karman ».

D'après les théories les plus couramment admises, il y a résonance lorsque la période des tourbillons de Bénard-Karman coïncide avec la période propre du cylindre. Ce dernier oscille alors perpendiculairement à la direction du vent.

Un moyen d'éviter la résonance est d'éviter la formation des tourbillons de Bénard-Karman en augmentant la rugosité du cylindre. Pour une rugosité suffisamment grande, les tourbillons se formeraient pour une vitesse qui en pratique n'est jamais atteinte.

### 8,31 détermination de la vitesse critique

La théorie de Karman montre que la période des tourbillons est donnée par :

$$T_k = d/SV$$

V étant la vitesse du fluide

d la largeur du maître-couple

S un nombre dit nombre de Strouhal, fonction de la rugosité des surfaces, de la forme de la construction et de la viscosité du fluide

T étant la période de vibration propre de la construction, il y a résonance lorsque  $T = T_k$ , et par suite

$$V_{er} = d/ST$$

L'augmentation de la vitesse du vent diminue la possibilité de mise en résonance. On a donc admis arbitrairement qu'à partir de la vitesse de 25 m/s, il était inutile de faire un calcul à la résonance. **8,311 valeur du nombre de strouhal**

Le nombre de Strouhal varie pour les cylindres entre 0,18 et 0,27 [la valeur  $S = 0,20$  est conseillée pour les cylindres rugueux (catégorie V)] et pour les prismes à base carrée entre 0,25 et 0,30.

### **8,312 cas d'une construction tronconique**

Dans le cas des cheminées, d n'est en général pas constant.

Suivant la précision recherchée dans les calculs, on peut :

- soit prendre une valeur moyenne de d et déterminer ainsi une vitesse critique  $V_{er}$  pour tout le cylindre ;
- soit procéder par tronçons et pour chaque tronçon déterminer une vitesse critique  $V_{er}$ .

### **8,32 valeur à adopter pour $\delta$**

Pour simplifier les calculs il est admis de tenir compte de l'effet des dimensions en prenant pour  $\delta$  la valeur moyenne 0,8.

### **8,33 valeur à adopter pour $c_L$**

La valeur la plus communément admise pour  $c_L$  est 0,2.

Les différents auteurs n'adoptent pas toujours une valeur aussi faible mais les recherches récentes tendent à prouver que  $c_L$  est inférieur à 0,2.

### **8,34 valeur à adopter pour $\beta'$**

La théorie conduit à  $\beta' = \pi/\Delta$

$\Delta$  étant le décrément logarithmique d'amortissement que l'on peut prendre égal à :

- 0,10 pour les ouvrages en acier
- 0,20 pour les ouvrages en béton précontraint
- 0,30 pour les ouvrages en béton armé
- et 0,40 pour les ouvrages en maçonnerie.

## **8,4 calcul à la résonance**

### **8,41 actions perpendiculaires à la direction du vent**

A chaque niveau la force de dérive est donnée par :

$$L = \delta c_L \beta' q_{cr} d \frac{H}{h} \cong \frac{0,5}{\Delta} q_{cr} d \frac{H}{h}$$

### **8,42 actions parallèles à la direction du vent**

La force de traînée uniformément répartie due à l'action du vent de vitesse  $V_{cr}$  a pour valeur à chaque niveau :

$$T = \delta c_t \beta q_{cr} d$$

$c_t$  étant le coefficient global de traînée

$\beta$  étant le coefficient de majoration dynamique  $\theta (1 + \xi T)$  (R-III-1,511)

$\delta$ ,  $q_{cr}$  et d ayant les valeurs précédemment définies en A-8,3.

### 8,43 actions résultantes

La force à prendre en compte à chaque niveau est la somme géométrique de la force de dérive et de la traînée dues à la vitesse critique :

$$F = \sqrt{L^2 + T^2}$$

### 8,5 exemples de prise en compte des actions dynamiques

#### 8,51 tour carrée

#### 8,511 données et calculs préliminaires

Le bâtiment à densité normale de parois est supposé en zone 2, site relativement exposé avec un coefficient de site estimé à 1,17.

$h = 48 \text{ m}$   $a = b = 17 \text{ m}$

Structure en béton armé

Toiture-terrasse

$\gamma = 1,01$  (R-III-2,12) **8,512 actions parallèles à la direction du vent**

La période de vibration est égale à (annexe 4 - formules forfaitaires)

$$0,09 \frac{h}{\sqrt{a}} = 1,05 \text{ s}$$

$$\beta = \theta (1 + \xi \tau) \quad \text{où} \quad \xi = 0,65 \quad \theta = 0,88 \quad (\text{R-III-1,511})$$

Les valeurs  $\tau$  sont celles lues sur l'échelle figure R-III-4 en fonction du niveau H.

Les valeurs de  $\delta$  sont celles déterminées dans l'annexe 3 (A-3,222) figure 1-3-7.

#### 8,512-1 cas des surcharges normales (R-III-1,511)

Effort de renversement sur la face considérée à chaque niveau

Action statique au niveau H :

$$T_{sn} = 1,3 \gamma_0 a q_{Hn} \delta = 22,3 \delta_{Hn}$$

Action dynamique au niveau H :  $T_{dn} = \beta T_{sn}$

H m	$q_{Hn}$ daN/m <sup>2</sup>	$\delta$	Actions statiques $T_{sn}$ daN/m	$\tau$	$\beta = 0,88 (1 + 0,65\tau)$	Actions dynamiques $T_{dn}$ daN/m
48	106,9	0,88	2 100	0,3033	1,053	2 211
45	105,0	0,86	2 016	0,3075	1,056	2 129
40	101,5	0,82	1 858	0,3150	1,060	1 969
35	97,6	0,78	1 699	0,3225	1,064	1 808
30	93,3	0,74	1 541	0,3300	1,069	1 647
25	88,5	0,74	1 462	0,3375	1,073	1 569
20	83,1	0,74	1 373	0,3450	1,077	1 479
15	77,0	0,74	1 272	0,3525	1,082	1 376
10	70,0	0,74	1 156	0,3600	1,086	1 255
5	61,9	0,74	1 022	0,3600	1,086	1 110
0	52,5	0,74	867	0,3600	1,086	942

tableau sans légende dans: 8,512-1 cas des surcharges normales (R-III-1,511)

#### 8,512-2 cas des surcharges extrêmes (R-III-1,512)

Action statique au niveau H :

$$T_{se} = 1,75 T_{sn}$$

Action dynamique au niveau H :



$$T_{de} = \left[ 0,5 + \frac{\theta}{2} \right] \beta T_{se}$$

$$= 0,94 \beta T_{se}$$

avec  $0,94 \beta \geq 1$

H m	Actions statiques $T_{se}$ daN/m	$\beta = 0,88 (1 + 0,65 \tau)$	$0,94 \beta$	Actions dynamiques $T_{de}$ daN/m
48	3 675	1,053	1,000	3 675
45	3 528	1,056	1,000	3 528
40	3 252	1,060	1,000	3 252
35	2 973	1,064	1,000	2 973
30	2 697	1,069	1,005	2 709
25	2 559	1,073	1,009	2 581
20	2 403	1,077	1,012	2 433
15	2 226	1,082	1,017	2 264
10	2 023	1,086	1,021	2 064
5	1 789	1,086	1,021	1 826
0	1 517	1,086	1,021	1 550

tableau sans légende dans: 8,512-2 cas des surcharges extrêmes (R-III-1,512)

### 8,513 actions perpendiculaires à la direction du vent

Détermination de la vitesse critique

$$V_{cr} = a/ST$$

où  $a = 17 \text{ m}$   $S = 0,25$   $T = 1,05 \text{ s}$   $V_{cr} = 64,8 \text{ m/s}$

Cette vitesse étant supérieure à 25 m/s, il est inutile de faire un calcul à la résonance.

### 8,52 cheminée en béton armé

#### 8,521 données et calculs préliminaires

La cheminée est supposée en zone 2, site relativement exposé avec un coefficient de site estimé à 1,17.

$$h = 110 \text{ m}$$

$$d \text{ à la base } 16,70 \text{ m}$$

$$d \text{ au niveau } 20 \text{ m} = 6,80 \text{ m (constant jusqu'au sommet)}$$

$$\lambda = \frac{110^2}{\frac{16,7 + 6,8}{2} \times 20 + 6,8 \times 90} = 14,30 \quad (\text{R-III-3,03})$$

$$\gamma = 1,215$$

$$c_t = 0,55 \times 1,215 = 0,67 \quad (\text{R-III-3,2})$$

#### 8,522 actions parallèles à la direction du vent

La période de vibration est égale à 2,5 s (A-4,412-3)

$$\beta = \theta (1 + \xi \tau) \quad \xi = 1,8 \quad \theta = 1 \quad (\text{R-III-1,51})$$

Les valeurs de  $\tau$  sont celles lues sur l'échelle figure R-III-4 en fonction du niveau H.

Les valeurs de  $\delta$  sont celles déterminées dans l'annexe 3 (A-3,232) figure A-3-8.

#### 8,522-1 cas des surcharges normales (R-III-1,511)

Action statique au niveau H :  $T_{sn} = 0,67 d \delta q_{Hn}$

Action dynamique au niveau H :  $T_{dn} = \beta T_{sn}$

H m	d m	$q_{Hn}$ daN/m <sup>2</sup>	$\delta$	$r$	$\beta$	Actions statiques $T_{sn}$ daN/m	Actions dynamiques $T_{dn}$ daN/m
110	6,80	131,8	0,90	0,233	1,419	540	766
100	6,80	129,1	0,90	0,240	1,432	528	756
90	6,80	126,0	0,90	0,250	1,450	515	747
80	6,80	122,5	0,90	0,260	1,468	501	735
70	6,80	118,5	0,90	0,272	1,490	485	723
60	6,80	113,7	0,90	0,285	1,513	465	704
50	6,80	108,2	0,90	0,300	1,540	442	681
40	6,80	101,5	0,80	0,315	1,567	369	578
30	6,80	93,3	0,70	0,330	1,594	297	473
20	6,80	83,1	0,70	0,345	1,621	264	428
10	11,75	70,0	0,70	0,360	1,648	385	634
0	16,70	52,5	0,70	0,360	1,648	410	676

tableau sans légende dans: 8,522-1 cas des surcharges normales (R-III-1,511)

#### 8,522-2 cas des surcharges extrêmes (R-III-1,512)

$\theta$  étant égal à 1 (R-III-1,511) les actions statiques et dynamiques extrêmes se déduisent des actions statiques et dynamiques normales en les multipliant par 1,75.

Action statique au niveau H :

$$T_{se} = 1,75 T_{sn}$$

Action dynamique au niveau H :

$$T_{de} = 1,75 T_{dn}$$

H m	Actions statiques $T_{se}$ daN/m	Actions dynamiques $T_{de}$ daN/m
110	945	1 341
100	924	1 323
90	901	1 307
80	877	1 286
70	849	1 265
60	814	1232
50	774	1 192
40	646	1 012
30	518	828
20	462	749
10	674	1 110
0	718	1 183

tableau sans légende dans: 8,522-2 cas des surcharges extrêmes (R-III-1,512)

#### 8,523 actions perpendiculaires à la direction du vent

##### 8,523-1 détermination de la vitesse critique

$$V_{cr} = \frac{d}{ST} \quad \text{où} \quad d = 6,80 \text{ m}$$

$$S = 0,20$$

$$T = 2,5 \text{ s}$$

$$V_{cr} = 13,6 \text{ m/s}$$

### 8,523-2 force de dérive

$$L_{cr} = \frac{0,5}{\Delta} q_{cr} d \frac{H}{h}$$

où  $\Delta = 0,30$

$$q_{cr} = \frac{13,6^2}{16,3} = 11,4 \text{ daNm/m}^2$$

$h = 110 \text{ m}$

H m	d m	L <sub>cr</sub> daN/m
110	6,8	129
100	6,8	118
90	6,8	106
80	6,8	94
70	6,8	82
60	6,8	70
50	6,8	59
40	6,8	47
30	6,8	35
20	6,8	24
10	11,75	24
0	16,70	0

tableau sans légende dans: 8,523-2 force de dérive

### 8,523-3 force de traînée

$$T_{cr} = \delta c_t \beta d q_{cr} \quad \text{où} \quad \delta, c_t, \beta \text{ et } d \text{ ont les valeurs définies en A-8,521 et A-8,522 et } q_{cr} = 11,4 \text{ daN/m}^2$$

Les efforts du vent, force de dérive et traînée, sous la pression critique (A-8,522) étant nettement inférieurs aux efforts du vent sous la pression normale, il est inutile de poursuivre le présent calcul.

H m	$\delta$	$\beta$	d m	T <sub>cr</sub> daN/m
110	0,9	1,419	6,8	66
100	0,9	1,432	6,8	67
90	0,9	1,450	6,8	68
80	0,9	1,468	6,8	68
70	0,9	1,490	6,8	69
60	0,9	1,513	6,8	71
50	0,9	1,540	6,8	72
40	0,8	1,567	6,8	73
30	0,7	1,594	6,8	66
20	0,7	1,621	6,8	59
10	0,7	1,648	11,75	103
0	0,7	1,648	16,70	147

tableau sans légende dans: 8,523-3 force de traînée

Ce sont les actions parallèles à la direction du vent (A-8,521) qui sont à retenir.

### 8,53 cheminée en acier

#### 8,531 données et calculs préliminaires

La cheminée est supposée en zone 1, site normal.

h = 68,30 m

d à la base = 5,70 m

d au niveau 26,80 m = 3,45 m (constant jusqu'au sommet)

$$\lambda = \frac{68,3^2}{3,45 \times 41,5 + 9,15 \times \frac{26,8}{2}} = 17,5 \quad \gamma = 1,237$$

$$c_t = 0,55 \times 1,237 = 0,68 \text{ (R-III-3,2)}$$

#### 8,532 actions parallèles à la direction du vent

La période de vibration est égale à 0,9 s (A-4,412-3)

$$\beta = \theta (1 + \xi \tau) \quad \xi = 1,25 \quad \theta = 1 \text{ (R-III-1,51)}$$

Les valeurs de  $\tau$  sont celles lues sur l'échelle figure R-III-4 en fonction du niveau H.

$\delta$  est déterminé en fonction de la dimension 68,3 m et des cotes 68,3 m et 0 m (R-III-1,244-2).

#### 8,532-1 cas des surcharges normales (R-III-1,511)

Action statique au niveau H :  $T_{sn} = 0,68 \text{ d } \delta \text{ q}_{Hn}$

Action dynamique au niveau H :  $T_{dn} = \beta T_{sn}$

H m	d m	$q_{Hn}$ daN/m <sup>2</sup>	$\delta$	Actions statiques $T_{sn}$ daN/m	$\tau$	$\beta = 1 + 1,25 \tau$	Actions dynamiques $T_{dn}$ daN/m
68,3	3,45	84,1	0,90	178	0,274	1,342	239
58	3,45	80,5	0,90	170	0,288	1,360	231
48	3,45	76,4	0,88	158	0,303	1,379	218
38	3,45	71,4	0,79	132	0,318	1,398	185
26,8	3,45	64,5	0,72	109	0,335	1,419	155
17	4,27	56,8	0,72	119	0,350	1,437	171
10	4,86	50,0	0,72	119	0,360	1,450	173
0	5,70	37,5	0,72	105	0,360	1,450	152

tableau sans légende dans: 8,532-1 cas des surcharges normales (R-III-1,511)

### 8,532-2 cas des surcharges extrêmes (R-III-1,512)

$\theta$  étant égal à 1 (R-III-1,511) les actions statiques et dynamiques extrêmes se déduisent des actions statiques et dynamiques normales en les multipliant par 1,75.

Action statique au niveau H :  $T_{se} = 1,75 T_{sn}$

Action dynamique au niveau H :  $T_{de} = 1,75 T_{dn}$

H m	Actions statiques $T_{se}$ daN/m	Actions dynamiques $T_{de}$ daN/m
68,3	312	418
58,0	298	404
48,0	277	382
38,0	231	324
26,8	191	271
17,0	208	299
10,0	208	303
0	184	266

tableau sans légende dans: 8,532-2 cas des surcharges extrêmes (R-III-1,512)

### 8,533 actions perpendiculaires à la direction du vent

#### 8,533-1 détermination de la vitesse critique

$$V_{cr} = \frac{d}{ST} \quad \text{où} \quad d = 3,45 \text{ m}$$

$$S = 0,20$$

$$T = 0,9 \text{ s}$$

$$V_{cr} = 19,2 \text{ m/s}$$

#### 8,533-2 force de dérive

$$L_{cr} = \frac{0,5}{\Delta} q_{cr} d \frac{H}{h}$$

$$\text{où} \quad \Delta = 0,10$$

$$q_{cr} = \frac{19,2^2}{16,3} = 22,6 \text{ daNm}^2$$

$$L_{cr} = 1,654 dH$$

H m	d m	L <sub>cr</sub> daN/m
68,3	3,45	390
58	3,45	331
48	3,45	274
38	3,45	217
26,8	3,45	153
17	4,27	120
10	4,86	80
0	5,7	0

tableau sans légende dans: 8,533-2 force de dérive

### 8,533-3 force de traînée

$$T_{cr} = \delta c_t \beta d q_{cr}$$

où  $\delta$ ,  $c_t$ ,  $\beta$  et  $d$  ont les valeurs définies en A-8,521 et A-8,522 et  $q_{cr} = 22,6 \text{ daN/m}^2$

H m	$\delta$	$\beta$	d m	T <sub>cr</sub> daN/m
68,3	0,90	1,342	3,45	64
58,0	0,90	1,360	3,45	65
48,0	0,88	1,379	3,45	64
38,0	0,79	1,398	3,45	59
26,8	0,72	1,419	3,45	54
17,0	0,72	1,437	4,27	68
10,0	0,72	1,450	4,86	78
0	0,72	1,450	5,70	92

tableau sans légende dans: 8,533-3 force de traînée

### 8,533-4 composition de la force de dérive et de la traînée dues à la pression critique

On compose à chaque niveau la force de dérive et la traînée :

$$F_{cr} = \sqrt{L_{cr}^2 + T_{cr}^2}$$

H m	L <sub>cr</sub> daN/m	T <sub>cr</sub> daN/m	F <sub>cr</sub> daN/m
68,3	390	64	395
58,0	331	65	337
48,0	274	64	281
38,0	217	59	225
26,8	153	54	162
17,0	120	68	138
10,0	80	78	112
0	0	92	92

tableau sans légende dans: 8,533-4 composition de la force de dérive et de la traînée dues à la p ...

On retient dans chaque calcul la plus défavorable des actions  $F_{cr}$ , ou  $T_{dn}$  (actions dynamiques

normales parallèles à la direction du vent A-8,532-1) mais on ne les combine pas.

## **Annexe 9 détermination des actions du vent sur les éléments plans des constructions en treillis**

En dehors de la méthode globale définie par la règle III-5,122, l'action du vent agissant perpendiculairement au plan moyen d'une poutre en treillis peut s'obtenir (C-III-5,12) en faisant la somme des efforts appliqués à toutes les barres (profilés ou tubes) constitutives du treillis. L'annexe 9 permet la détermination de ces efforts et également la détermination de l'action du vent sur un élément n'appartenant pas à un ensemble.

### **9,1 caractéristiques d'une barre**

Une barre est caractérisée par une de ses dimensions  $e$  et sa longueur  $l$ .

### **9,2 définition du rapport de dimensions $\lambda$ d'une barre constitutive**

Il est égal au rapport de la longueur  $l$  à la largeur  $e_\alpha$  du maître-couple pour la direction du vent considérée :

$$\lambda = l/e_\alpha$$

Dans le cas de barres constituant un treillis, la longueur  $l$  est pour chaque pièce la distance de centre à centre de ses noeuds.

Cas particulier d'un treillis (Figure A-9-1)

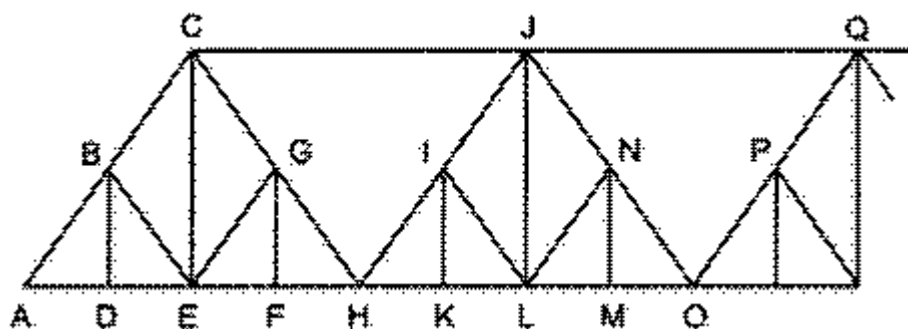


Figure A-9-1

Longueurs à considérer par convention<sup>(10)</sup> :

treillis du premier ordre AC, CH, HJ

membrures AH, CJ, HO

treillis du deuxième ordre CE, JL

treillis du troisième ordre BD, BE, EG, GF

Le rapport de dimensions d'une barre comprise entre deux parois ou entre le sol et une paroi a une valeur infinie. C'est le cas d'un poteau compris entre deux planchers ou entre le sol et un plancher.

### **NOTE**

<sup>(10)</sup>D'après M. Vandepierre, la subdivision des membrures inférieures ou supérieures en tronçons allant de noeud à noeud du treillis principal est basée sur le fait que les pièces qui aboutissent à ces endroits (montant ou diagonales) ont en général des dimensions assez importantes, et que des lors la veine fluide frappant les membrures s'y trouve réellement coupée et perturbée, permettant des fuites latérales. Si les barres qui viennent se raccorder à la membrure sont de dimension plus faible, elles n'ont pas le même effet de coupure de la veine fluide, c'est pourquoi il n'est pas tenu compte, dans la Subdivision des membrures, des noeuds appartenant à un treillis de deuxième ou troisième ordre.

### **9,3 détermination des actions du vent sur une barre**

L'effort résultant  $F$  est la somme de deux efforts dirigés suivant deux directions normales entre elles :

- soit  $F_x$  dirigé suivant la direction du vent et  $F_y$  normal à cette direction ;

- soit  $F_N$  et  $F_T$  parallèles aux directions principales de la barre.

Ces efforts ont pour expression  $F = c q e l$  où  $c$  prend les valeurs  $c_x$ ,  $c_y$ ,  $c_N$  et  $c_T$  données par le tableau ci-après (toujours applicables au maître-couple et quelle que soit l'orientation du vent<sup>(11)</sup>) pour différentes valeurs de  $\alpha$  (angle de la direction du vent avec la direction de l'élément définie dans les tableaux) et pour  $\lambda \leq 5$  (barre éloignée du sol ou d'une paroi) ou pour  $\lambda \leq 2,5$  (élément aboutissant au sol ou à une paroi).

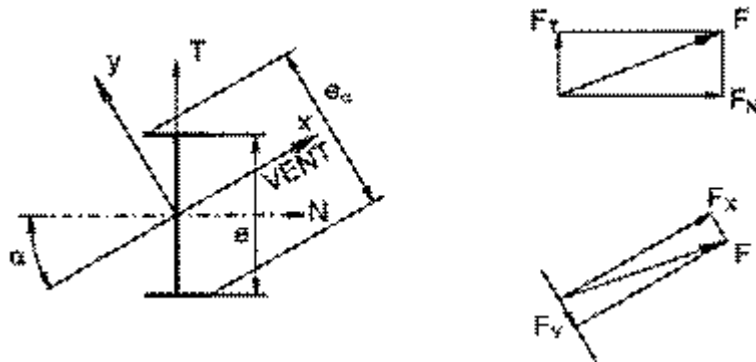


Figure A-9-2

Nota : Pour tous les profilés à l'exception de la cornière à ailes égales, pour  $\alpha = 0$ , la direction N est confondue avec la direction du vent x.

Coefficients aérodynamiques de profilés droits de longueur limitée

Les coefficients lus sur les tableaux sont applicables au maître-couple  $e l$ , quelle que soit la direction du vent :

- pour les profilés éloignés du sol ou d'une paroi lorsque  $\lambda \leq 5$  (A-9-3),
- pour les profilés aboutissant au sol ou à une paroi lorsque  $\lambda \leq 2,5$  (A-9-3).

L'action du vent est donnée par :  $F = c q e l$ .

En ce qui concerne les plats et les carrés, les valeurs données dans les tableaux s'appliquent uniquement aux profilés et ne peuvent en aucun cas être étendues à des constructions présentant la même forme.

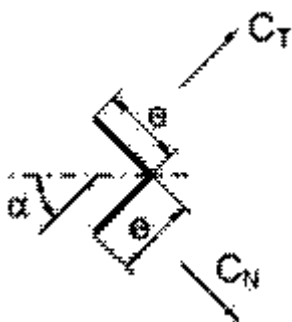


Figure A-9-3



$\alpha$	$c_x$	$c_y$	$c_T$	$c_N$
0°	+ 1,49	0	+ 1,05	+ 1,05
45°	+ 1,08	- 1,29	+ 1,08	+ 1,29
90°	+ 1,02	+ 0,42	+ 0,42	- 1,02
135°	+ 1,14	- 0,12	+ 0,12	- 1,14
180°	+ 1,11	0	- 0,78	- 0,78

tableau sans légende dans: 9,3 détermination des actions du vent sur une barre

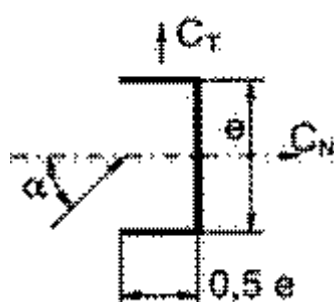


Figure A-9-4

$\alpha$	$c_x$	$c_y$	$c_T$	$c_N$
0°	+ 1,20	0	0	+ 1,20
45°	+ 1,02	- 0,51	+ 0,36	+ 1,08
90°	+ 0,36	0	+ 0,36	0
135°	+ 0,85	+ 0,51	+ 0,24	- 0,86
180°	+ 1,08	0	0	- 1,08

tableau sans légende dans: 9,3 détermination des actions du vent sur une barre

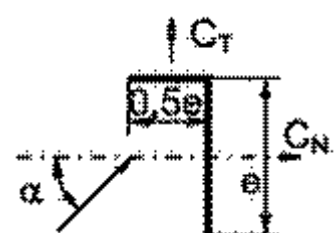


Figure A-9-5

$\alpha$	$c_x$	$c_y$	$c_T$	$c_N$
0°	+ 1,20	+ 0,60	+ 0,60	+ 1,20
45°	+ 1,10	+ 0,42	+ 0,48	+ 1,08
90°	+ 0,48	- 1,20	+ 0,48	+ 1,20
135°	+ 1,00	+ 0,32	+ 0,48	- 0,93
180°	+ 1,20	- 0,06	+ 0,06	- 1,20

tableau sans légende dans: 9,3 détermination des actions du vent sur une barre

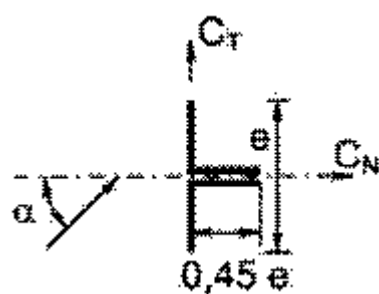


Figure A-9-6

$\alpha$	$C_x$	$C_y$	$C_T$	$C_N$
$0^\circ$	+ 0,90	0	0	+ 0,90
$45^\circ$	+ 0,68	- 0,55	+ 0,09	+ 0,87
$90^\circ$	+ 0,55	+ 0,43	+ 0,55	- 0,43
$135^\circ$	+ 0,55	- 0,34	+ 0,63	- 0,15
$180^\circ$	+ 0,87	0	0	- 0,87

tableau sans légende dans: 9,3 détermination des actions du vent sur une barre

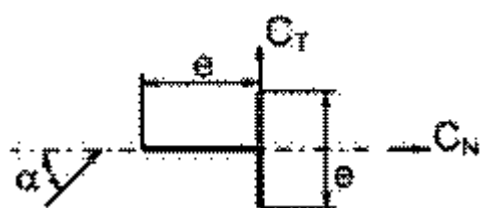


Figure A-9-7

$\alpha$	$C_x$	$C_y$	$C_T$	$C_N$
$0^\circ$	+ 0,96	0	0	+ 0,96
$45^\circ$	+ 1,42	+ 0,49	+ 1,35	+ 0,66
$90^\circ$	+ 1,29	- 0,81	+ 1,29	+ 0,81
$135^\circ$	+ 0,81	+ 0,21	+ 0,42	- 0,72
$180^\circ$	+ 1,20	0	0	- 1,20

tableau sans légende dans: 9,3 détermination des actions du vent sur une barre

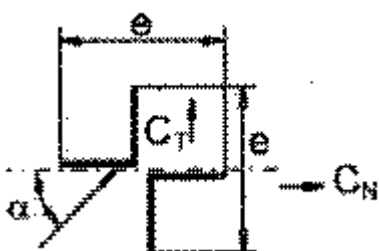


Figure A-9-8

$\alpha$	$c_x$	$c_y$	$c_T$	$c_N$
$0^\circ$	+ 1,08	0	0	+ 1,08
$45^\circ$	+ 0,76	0	+ 0,54	+ 0,54
$90^\circ$	+ 1,08	0	+ 1,08	0
$135^\circ$	+ 0,55	0	+ 0,39	- 0,39
$180^\circ$	+ 1,08	0	0	- 1,08

tableau sans légende dans: 9,3 détermination des actions du vent sur une barre

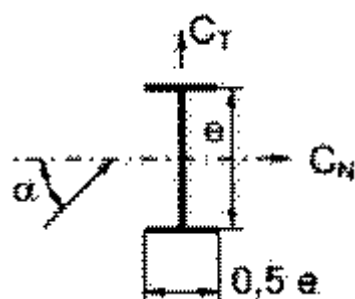


Figure A-9-9

$\alpha$	$c_x$	$c_y$	$c_T$	$c_N$
$0^\circ$	+ 1,20	0	0	+ 1,20
$45^\circ$	+ 1,02	- 0,51	+ 0,36	+ 1,08
$90^\circ$	+ 0,51	0	+ 0,51	0

tableau sans légende dans: 9,3 détermination des actions du vent sur une barre

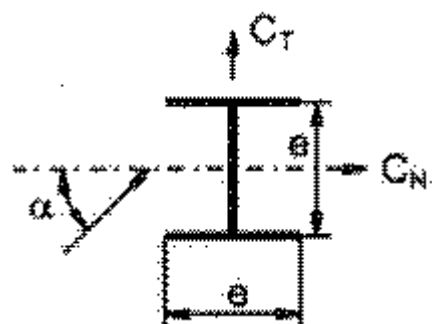


Figure A-9-10

$\alpha$	$c_x$	$c_y$	$c_T$	$c_N$
$0^\circ$	+ 0,93	0	0	+ 0,93
$45^\circ$	+ 1,31	- 0,13	+ 0,84	+ 1,02
$90^\circ$	+ 1,14	0	+ 1,14	0

tableau sans légende dans: 9,3 détermination des actions du vent sur une barre

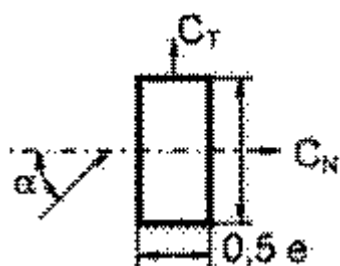


Figure A-9-11

$\alpha$	$c_x$	$c_y$	$c_T$	$c_N$
$0^\circ$	+ 1,26	0	0	+ 1,26
$45^\circ$	+ 0,89	- 0,30	+ 0,42	+ 0,84
$90^\circ$	+ 0,45	0	+ 0,45	0

tableau sans légende dans: 9,3 détermination des actions du vent sur une barre

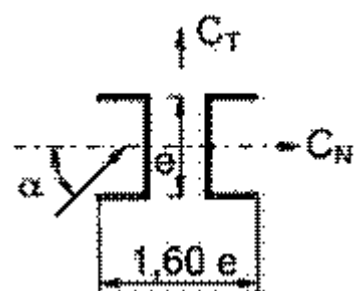


Figure A-9-12

$\alpha$	$c_x$	$c_y$	$c_T$	$c_N$
$0^\circ$	+ 0,75	0	0	+ 0,75
$45^\circ$	+ 1,23	- 0,13	+ 0,78	+ 0,96
$90^\circ$	+ 0,78	0	+ 0,78	0

tableau sans légende dans: 9,3 détermination des actions du vent sur une barre

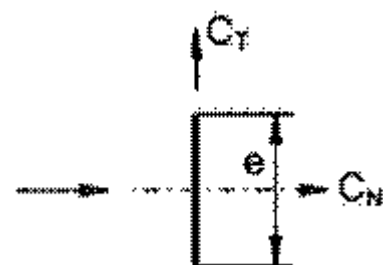


Figure A-9-13

$\alpha$	$c_x$	$c_y$	$c_T$	$c_N$
0°	+ 1,20	0	0	+ 1,20
45°	+ 0,81	- 0,72	+ 0,06	+ 1,08
90°	+ 0,06	0	+ 1,06	0

tableau sans légende dans: 9,3 détermination des actions du vent sur une barre

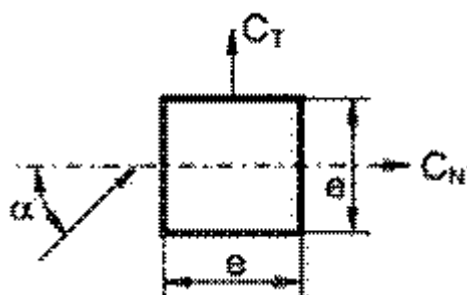


Figure A-9-14

$\alpha$	$c_x$	$c_y$	$c_T$	$c_N$
0°	+ 1,14	0	0	+ 1,14
45°	+ 1,27	0	+ 0,90	+ 0,90
90°	+ 1,14	0	+ 1,14	0

tableau sans légende dans: 9,3 détermination des actions du vent sur une barre



Figure A-9-15

$d\sqrt{q} \leq 0,5$	$c_t = 0,75$
$0,5 < d\sqrt{q} < 1,5$	$c_t = 0,85 - 0,2 d\sqrt{q}$
$d\sqrt{q} \geq 1,5$	$c_t = 0,55$

Coefficients aérodynamiques de profils droits de longueur quelconque

Pour  $\lambda > 5$  (profils éloignés du sol ou d'une paroi) ou à 2,5 (profils aboutissant au sol ou à une paroi), les coefficients lus sur le tableau (pages 88 et 89) sont multipliés par le coefficient  $\gamma$  déterminé sur l'échelle fonctionnelle (Figure A-9-16) en fonction du rapport

$$\gamma = \frac{l}{e_\alpha}$$

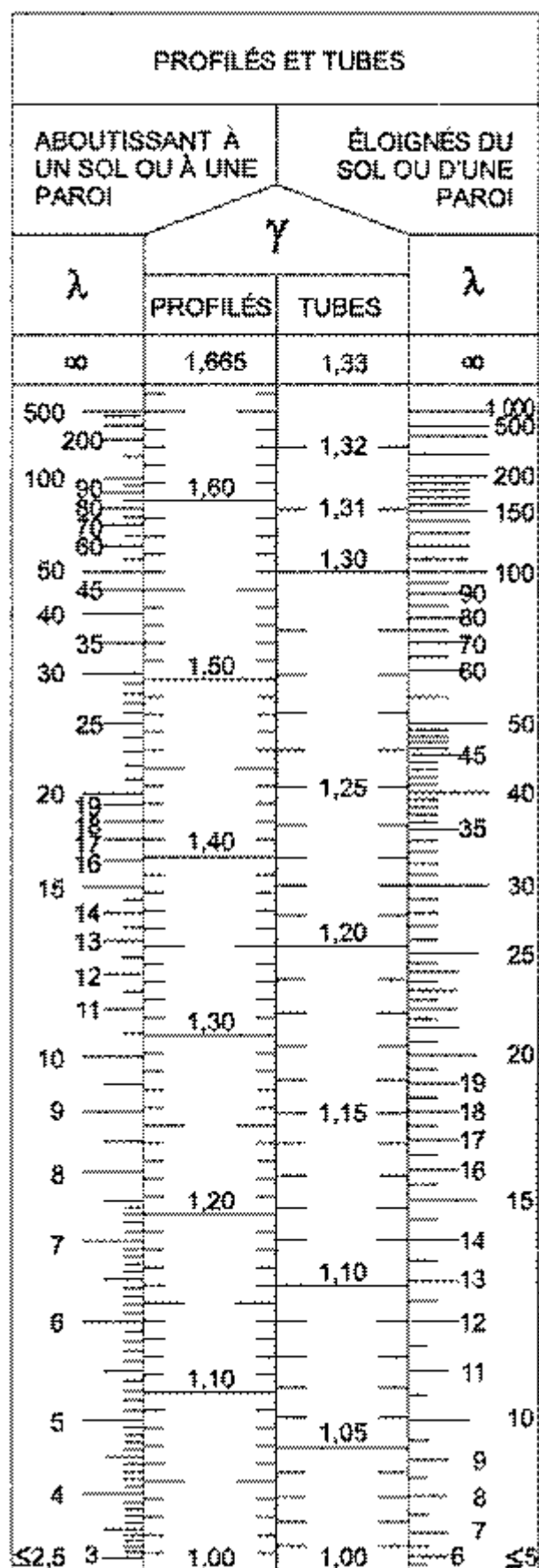


Figure A-9-16

#### NOTE

(11) Pour une direction déterminée du vent il est donc employé deux maîtres-couples suivant qu'il s'agit de déterminer le rapport de dimensions  $\lambda$  ou les forces  $F$ .

#### 9,4 détermination de l'action du vent sur un élément plan

On fait, pour toutes les barres, la somme des projections des efforts dans chaque direction.

#### Annexe 10 influence du rapport de dimensions $\lambda$ des éléments plans uniques ajourés ou en treillis sur le coefficient global de traînée $c_t$

L'annexe 10 permet de tenir compte, quel que soit  $\eta$ , du rapport de dimensions  $\lambda$  comme prévu dans le commentaire III-5,122.

Les valeurs du coefficient global de traînée  $c_t$  sont données par le diagramme Figure A-10-1 en fonction du coefficient  $\eta$  et du rapport  $\lambda$ . Le rapport  $\lambda$  est lu sur l'échelle fonctionnelle Figure A-10-1, dans la colonne de droite pour les éléments plans isolés aérodynamiquement et dans la colonne de gauche pour les éléments plans dont un côté est en contact avec une surface plane.

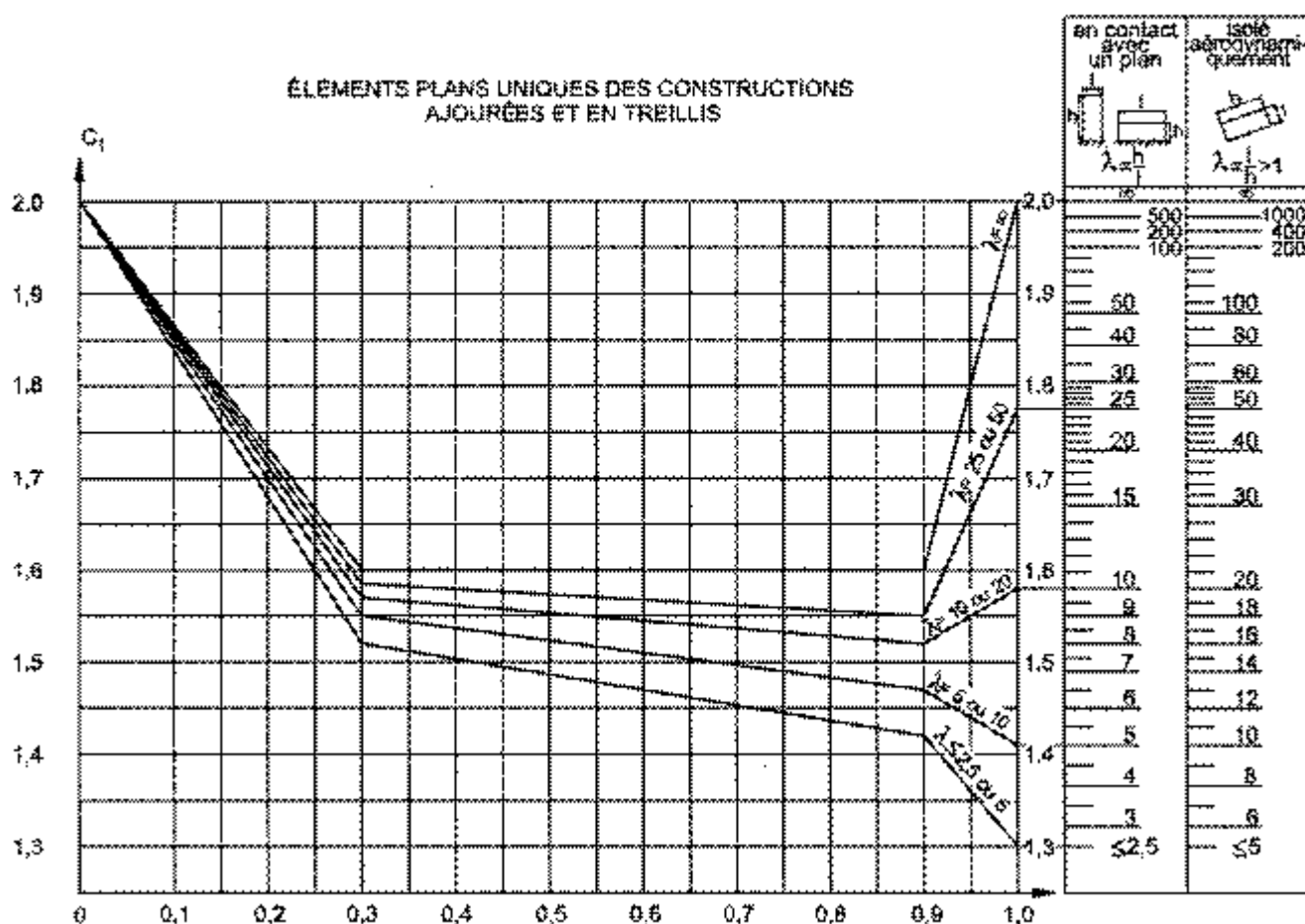


Figure A-10-1

#### Annexe 11 exemples de détermination des actions d'ensemble pour les constructions relevant de l'article 2 du chapitre III

L'annexe 11 est une application de la règle III-2,16 à des cas pratiques.

Elle groupe des exemples de détermination des actions d'ensemble sur quelques types de constructions, et dans chacun d'eux définit pour chaque direction du vent l'action de renversement parallèle à la direction du vent et l'action de soulèvement dirigée suivant la verticale ascendante.

Les exemples donnés ne tiennent compte que des dimensions relatives de la construction. Certains sont repris de l'annexe 6 et pour ceux-ci les paragraphes correspondants de l'annexe 6 sont rappelés.

Les règles dont l'application permet la détermination de l'action d'ensemble sont indiquées en référence.

La prise en compte des actions dynamiques R-III-1,5 n'est envisagée pour aucun des exemples traités.

On désigne par  $q_1$  la pression moyenne équivalente entre le niveau 1 et le niveau 2, c'est à dire c'est ainsi que la pression moyenne équivalente entre le niveau du sol et le sommet de la toiture est désignée par  $q_0$ . La pression dynamique au niveau H est désignée par  $q_H$ .

$$\frac{\int_1^2 q_H dH}{H_2 - H_1}$$

La position de force de soulèvement dépend de la forme de la couverture : elle est déterminée dans de nombreux exemples. Par contre, la position de la force de renversement dépendant à la fois de la construction et de la répartition des pressions dynamiques entre le niveau du sol et le sommet de la toiture, n'est pas déterminée.

### 11,1 construction fermée à toiture-terrasse et à base rectangulaire

Cette construction est du type bloc unique à toiture unique (R-III-2,161).

Les actions intérieures s'annulent sur les parois verticales et ne sont à retenir que sur la toiture pour la détermination des actions de soulèvement.

#### 11,11 caractéristiques

$$a = 2b \quad \lambda_a = 0,75 \quad \lambda_b = 1,5 \quad h = 1,5b \quad \frac{b}{a} = 0,5$$

#### 11,12 vent sur la face $S_a$ (figure A-11-1)

Coefficient  $\gamma_0 = 1$

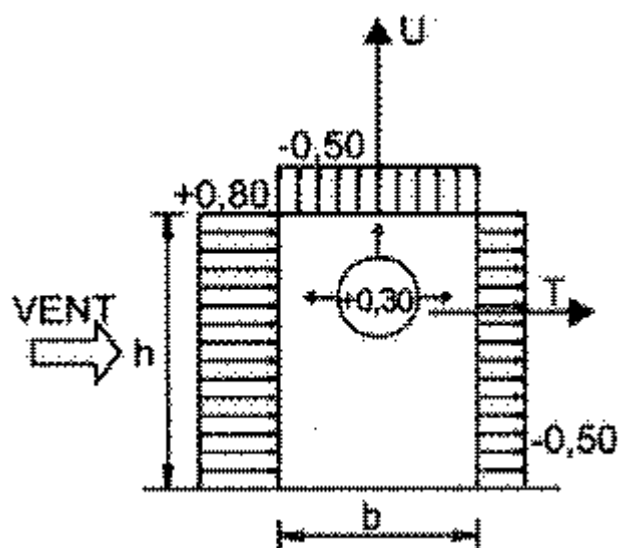


Figure A-11-1

- Actions intérieures :  $c_i = \pm 0,30$



- Action de renversement :  $T = 1,3 a h q_o^h$
- Action de soulèvement :  $U = -0,8 a b q_h$  (cette force est centrée).

### 11,13 vent sur la face $S_b$ (figure A-11-2)

Coefficient  $\gamma_o = 1$

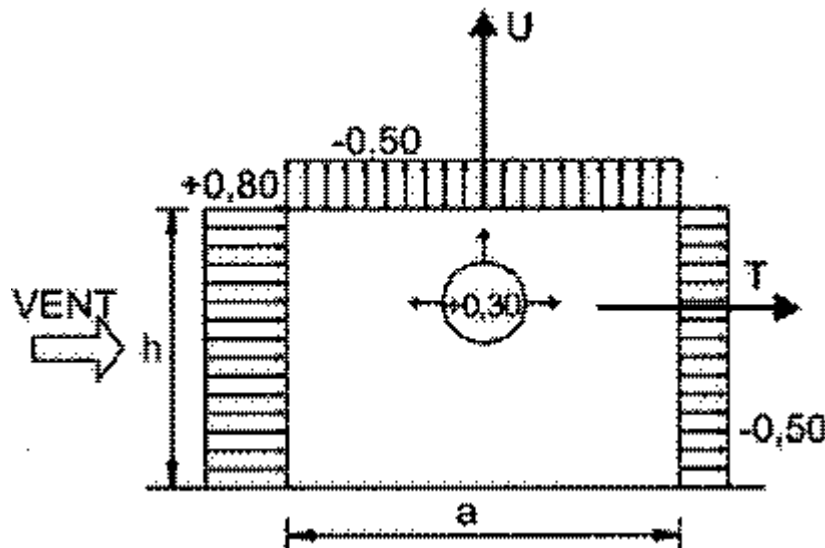


Figure A-11-2

- Actions intérieures :  $c_i = \pm 0,30$
- Action de renversement :  $T = 1,3 a h q_o^h$
- Action de soulèvement :  $U = -0,8 a b q_h$  (cette force est centrée).

Pour chacune des deux directions il n'y a pas de force d'entraînement à envisager.

### 11,2 construction fermée à base rectangulaire - toiture à versants plans - faîtage parallèle au grand côté

Cette construction est du type bloc unique à toiture unique (R-III-2,161).

Les actions intérieures ne sont à retenir que sur la toiture pour la détermination des actions de soulèvement.

#### 11,21 caractéristiques

$$\begin{aligned} a &= 5b & \lambda_a &= 0,2 & \lambda_b &= 1 \\ h &= b & \alpha &= 30^\circ & \frac{b}{a} &= 0,2 & f &= 0,29b \end{aligned}$$

### 11,22 vent sur la face $S_a$ (figure A-11-3)

Le vent est normal aux génératrices de la toiture.

Coefficient  $\gamma_o = 1$

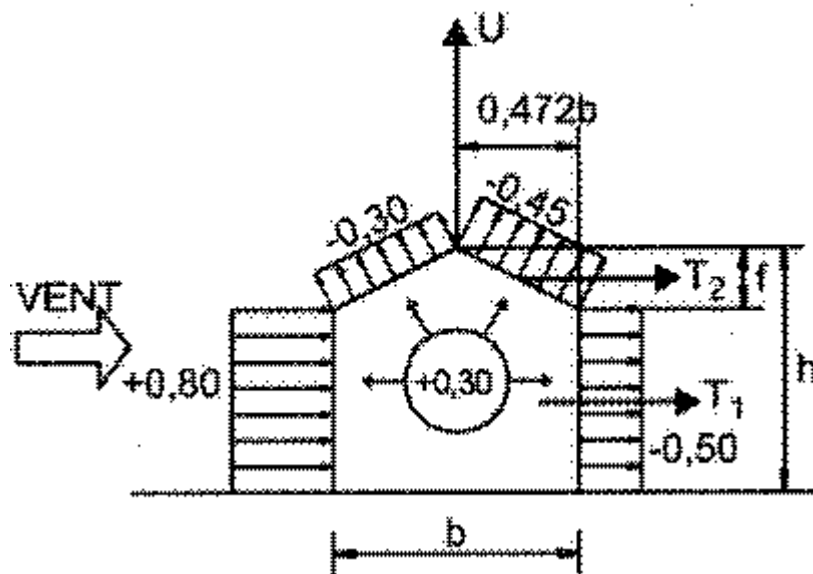


Figure A-11-3

- Actions intérieures :  $c_i = \pm 0,30$

- Action de renversement :

$T = T_1$  (sur la face verticale) +  $T_2$  (sur la toiture)

$T_1 = 1,3 a (h - f) q_0^{h-f} = 0,923 a b q_0^{h-f}$

$T_2 = (0,45 - 0,30) \tan 30^\circ \frac{ab}{2} q_0^{h-f}$   
 $= 0,043 a b q_0^{h-f}$

- Action de soulèvement :

$U = -(0,75 + 0,60) \frac{b}{2} a q_0^{h-f} = -0,675 a b q_0^{h-f}$

Cette force n'est pas centrée et elle est appliquée à la distance : de la face sous le vent.

$b \frac{0,75 \times 0,60 + 0,25 \times 0,75}{0,60 + 0,75} = 0,472 b$

### 11,23 vent sur la face $S_b$ (figure A-11-4)

Le vent est parallèle aux génératrices de la toiture.

Coefficient  $\gamma_0 = 0,85$

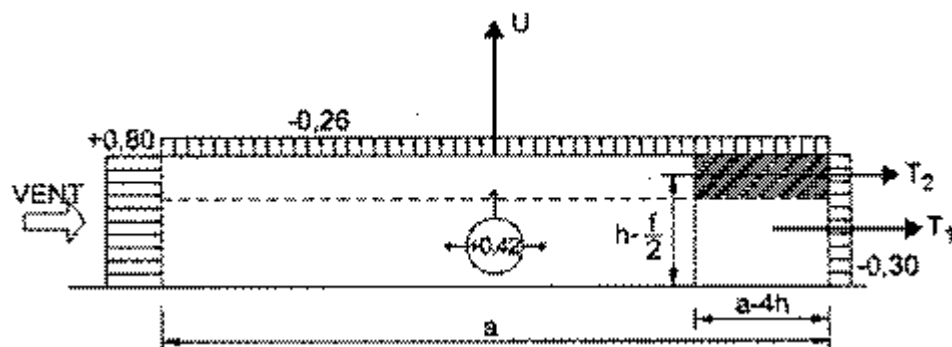


Figure A-11-4

$$c_i = -0,20$$

- Action de renversement :

$$T = T_1 \text{ (sur les pignons)} + T_2 \text{ (force d'entraînement sur la toiture)}$$

$$T_1 = 1,1 S_b q_o^h \quad S_b = \text{surface du pignon}$$

$$T_2 = 0,01 (a - 4 h) \frac{b}{\cos \alpha} q_h \text{ (toiture à surface plane)}$$

$$= 0,0115 b^2 q_h \text{ applicable au niveau } h - \frac{f}{2}$$

- Action de soulèvement :

Elle est centrée et a pour valeur :  $U = -0,70$  a  $b q_{h-f}^h$ .

**11,3 construction à base rectangulaire dont une face est entièrement ouverte - toiture à versants plans - faîtage parallèle au grand côté**

Cette construction est du type bloc unique à toiture unique (R-III-2,161).

Les actions intérieures ne sont à retenir que pour la détermination des actions de renversement et des actions de soulèvement (voir annexe 6.21).

## 11,31 caractéristiques

$$\begin{array}{llll} a = 3b & \lambda_a = 0,5 & \lambda_b = 1,5 & \\ h = 1,5b & \alpha = 30^\circ & \frac{b}{a} = 0,33 & f = 0,29b \end{array}$$

Trois directions de vent sont à envisager :

**11,32 vent sur la surface ouverte (figure A-11-5)**

Coefficient  $\gamma_0 = 1$

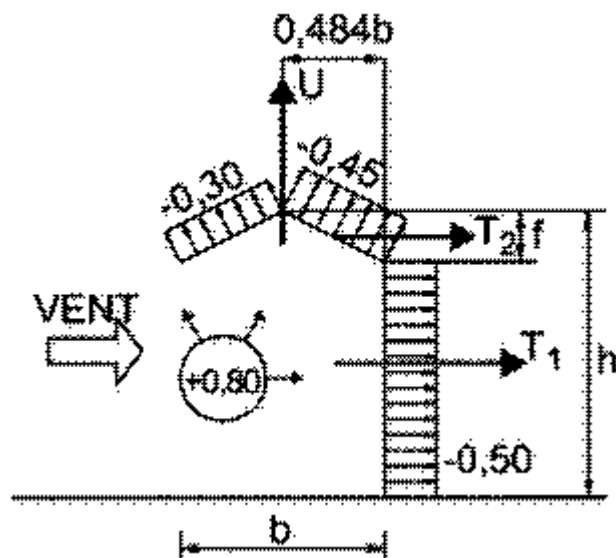


Figure A-11-5

- Actions intérieures :  $c_i = + 0,80$
- Action de renversement :

$T = T_1$  (sur la face verticale) +  $T_2$  (sur la toiture)

$$T_1 = 1,3 a (h - f) q_0^{h-f} = 1,573 a b q_0^{h-f}$$

$$T_2 = 0,043 a b q_{h-f}^h \text{ (comme en A-11,22)}$$

- Action de soulèvement :

$$U = - (1,25 + 1,10) \frac{b}{2} a q_{h-f}^h = - 1,175 a b q_{h-f}^h$$

Cette force est appliquée à 0,484 b de la face sous le vent (face fermée).

### 11,33 vent sur la face fermée (figure A-11-6)

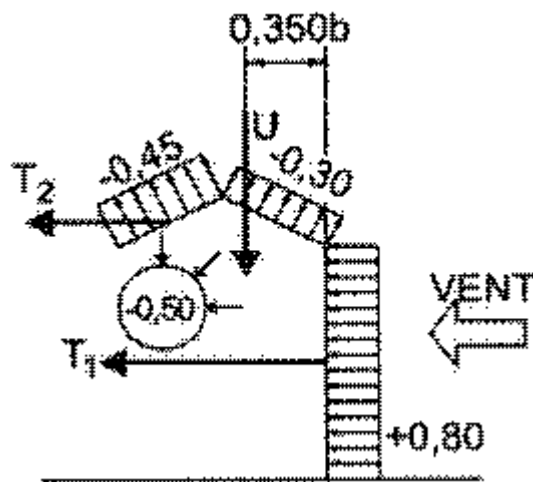


Figure A-11-6

- Actions intérieures :  $c_i = - 0,50$

- Action de renversement :

$$T = T_1 + T_2$$

$$T_1 = 1,573 a b q_0^{h-f}$$

$$T_2 = 0,043 a b q_{h-f}^h$$

- Action de soulèvement :

La force U est dirigée vers le bas :

$$U = (0,20 + 0,05) \frac{b}{2} a q_{h-f}^h = + 0,125 a b q_{h-f}^h$$

Cette force est appliquée à 0,35 b de la face fermée.

### 11,34 vent parallèle à la face ouverte (figure A-11-7)

Coefficient  $\gamma_o = 1$

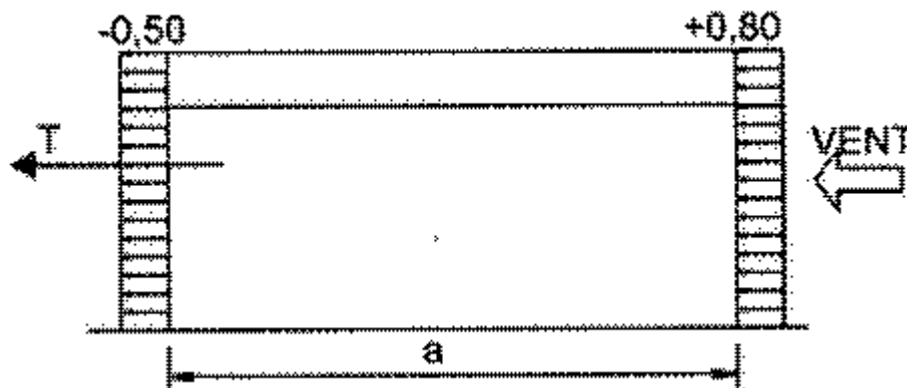


Figure A-11-7

La seule force à retenir est une force de renversement sur le pignon :

$$T = 1,3 S_b q_o^h$$

#### 11,4 construction fermée à base rectangulaire et à toiture multiple - faîtages perpendiculaires au grand côté

On reprend l'exemple traité en A-6,116. Les actions intérieures sont à prendre en compte sur la toiture.

Cette construction est du type bloc unique à toiture multiple (R-II-2,162).

##### 11,41 caractéristiques

$$a = \frac{8}{3} b \quad \lambda_a = 0,19 \quad \lambda_b = 0,50 \quad h = 0,5 b$$

$$\alpha_1 = 60^\circ \quad \alpha_2 = 30^\circ \quad \frac{b}{a} = 0,375 \quad f = 0,145 b$$

##### 11,42 vent sur la face $S_b$ - vent normal aux faîtages

Coefficient  $\gamma_o = 0,85$

- Actions intérieures :  $c_i = + 0,42$   
 $c_i = -0,20$

##### 11,421 action de renversement (figure A-11-8)

$T = T_1$  (sur les faces verticales)

+  $T_2$  (sur le premier et le dernier versant)

+  $T_3$  (force d'entraînement)

Pour le calcul de  $T_2$  les actions intérieures sur le premier et sur le dernier versant s'annulent :

$$T_1 = 1,1 (h - f) q_o^{h-f} = 0,390 b^2 q_o^{h-f}$$

$$T_2 = (0,48 + 0,28) f b q_{h-f}^h = 0,110 b^2 q_{h-f}^h$$

$$T_3 = [0,001\alpha_1 + 0,02] \frac{7}{8} a b q_h = 0,187 b^2 q_h$$

$$\text{D'où : } T = 0,390 b^2 q_o^{h-f} + 0,110 b^2 q_{h-f}^h + 0,187 b^2 q_h$$

##### 11,422 action de soulèvement

Elle est la somme de la composante  $U_1$  des actions extérieures sur le premier et le dernier versant et de la composante  $U_2$  des actions intérieures (surpression ou dépression) et peut prendre deux valeurs :

$$U' = U_1 + U_2 \text{ provoquant un soulèvement (figure A-11-8 a)}$$

$U'' = U_1 + U_2$  s'ajoutant au poids mort (figure A-11-8 b)

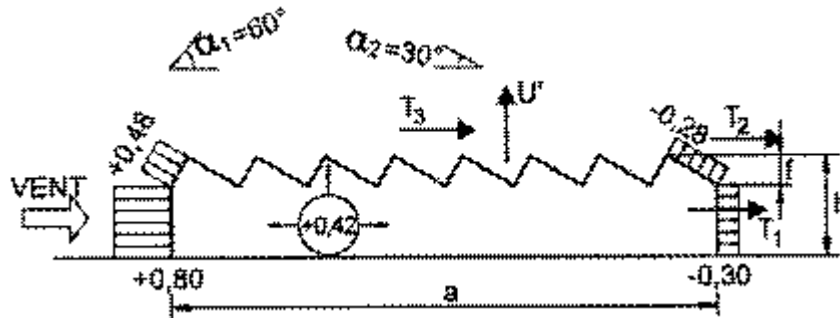


Figure A-11-8 a

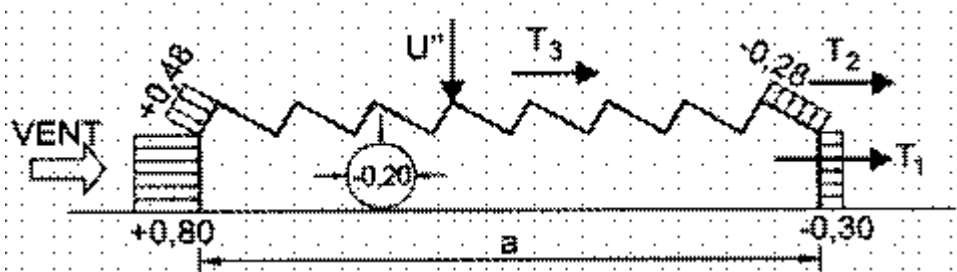


Figure A-11-8 b

$$U_1 = (0,48 \sin^2 30^\circ \frac{a}{8} - 0,28 \cos^2 30^\circ \frac{a}{8}) b q_{h-f}^h$$

$$= -0,03 b^2 q_{h-f}^h$$

$$U_2' = -0,42 (\sin^2 30^\circ + \cos^2 30^\circ) \frac{a}{8} \times 8 b q_{h-f}^h$$

$$= -1,12 b^2 q_{h-f}^h$$

$$U_2'' = +0,20 \frac{b}{3} \times 8 b q_{h-f}^h = 0,533 b^2 q_{h-f}^h$$

D'où :  $U' = -1,150 b^2 q_{h-f}^h$

et  $U'' = +0,503 b^2 q_{h-f}^h$

### 11,43 vent sur la face S'b - vent normal aux faîtages

Le calcul est le même que précédemment.

#### 11,431 action de renversement (figure A-11-9)

$T = T_1$  (sur les faces verticales)

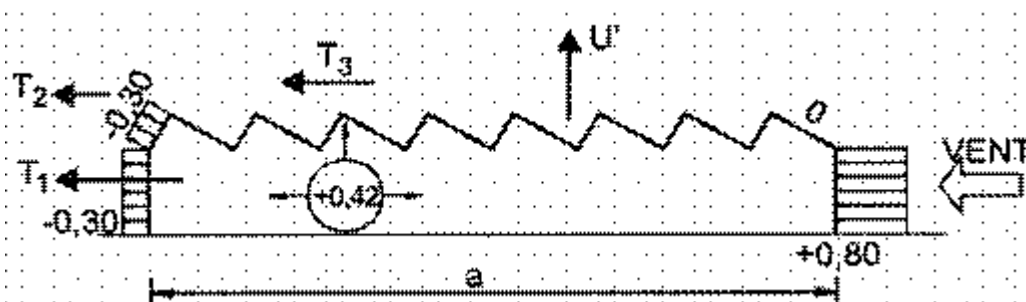


Figure A-11-9 a

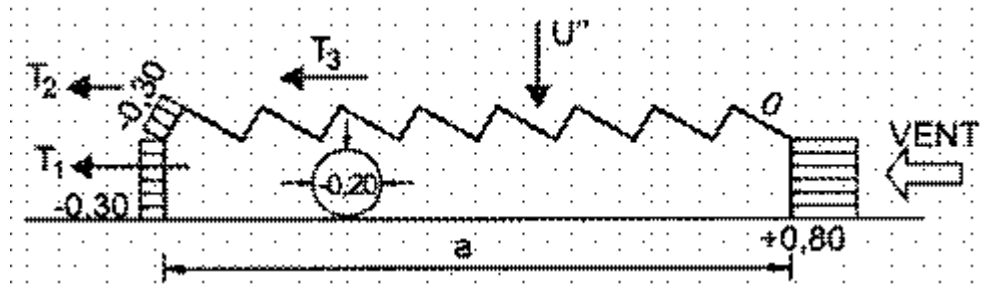


Figure A-11-9 b

+  $T_2$  (sur le premier et le dernier versant)

+  $T_3$  (force d'entraînement)

Seules  $T_2$  et  $T_3$  sont différentes : D'où :

$$T_2 = + 0,30 f b q_{h-f}^h = 0,043 b^2 q_{h-f}^h$$

$$T_3 = 0,05 \frac{7}{8} b^2 q_h = 0,117 b^2 q_h$$

$$T = 0,390 b^2 q_o^{h-f} + 0,043 b^2 q_{h-f}^h + 0,117 b^2 q_h$$

#### 11,432 action de soulèvement

De même que précédemment :

$$U_1 = - 0,30 \sin^2 30^\circ \frac{b^2}{3} q_{h-f}^h$$

$$= - 0,025 b^2 q_{h-f}^h$$

$$U_2' = - 0,120 b^2 q_{h-f}^h \quad U_2'' = + 0,533 b^2 q_{h-f}^h$$

$$U' = - 1,145 b^2 q_{h-f}^h \quad (\text{figure A-11-9 a})$$

$$U'' = + 0,508 b^2 q_{h-f}^h \quad (\text{figure A-11-9 b})$$

#### 11,44 vent sur la face $S_a$ - vent parallèle aux faîtages (figure A-11-10)

Coefficient  $\gamma_o = 1$

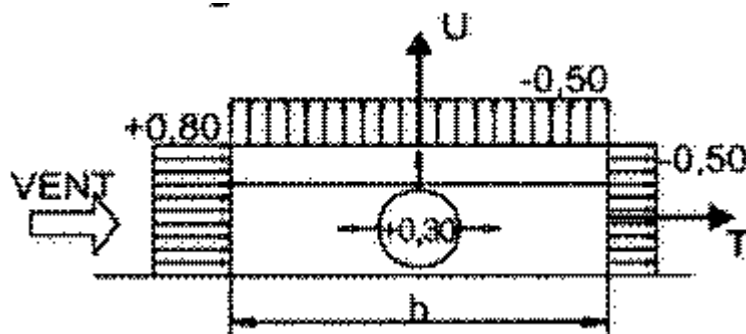


Figure A-11-10

#### 11,441 action de renversement

$T$  (sur les pignons) =  $1,3 S_a q_o^h$

#### 11,442 Action de soulèvement

- Actions intérieures :  $c_i = \pm 0,30$

D'où

$$U = -0,80 a b q_{h-f}^h = -2,13 b^2 q_{h-f}^h$$

### 11,5 construction fermée à base rectangulaire formée de quatre blocs égaux - toiture à versants plans - faîtage parallèle au grand côté

Cette construction est du type blocs accolés à toiture unique (R-III-2,163). Les actions intérieures ne sont à retenir sur la toiture que pour la détermination des actions de soulèvement.

#### 11,51 caractéristiques

La construction est constituée de quatre blocs identiques à celui considéré dans l'exemple A-6,111.

Pour l'ensemble des quatre blocs :

$$\begin{aligned} a &= 8b & \lambda_a &= 0,9 & \lambda_b &= 1,5 & h &= 1,5b \\ \alpha &= 30^\circ & \frac{b}{a} &= 0,125 & f &= 0,29b \end{aligned}$$

Pour chaque bloc considéré séparément :

$$a' = a/4 = 2b$$

La détermination des actions du vent comporte deux parties :

- la construction considérée dans son ensemble,
- chaque bloc considéré séparément.

#### 11,52 construction considérée dans son ensemble

##### 11,521 vent sur la face $S_a$ - vent normal au faîtage (figure A-11-11)

Le vent est parallèle au plan des joints.

Coefficient  $\gamma_o = 1$

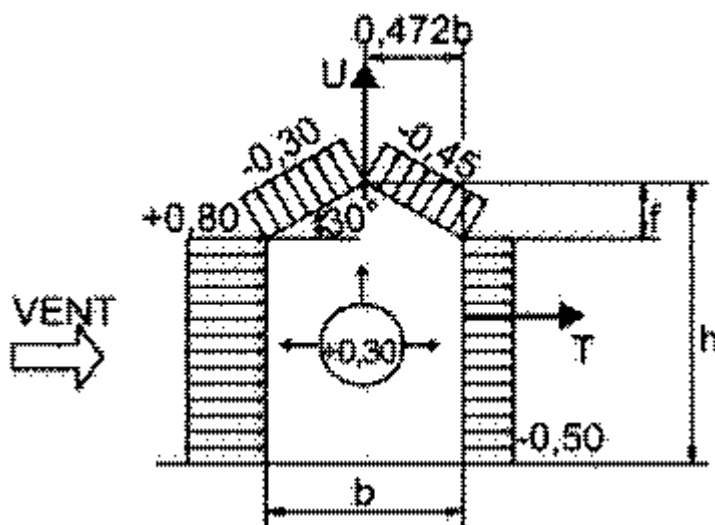


Figure A-11-11

- Actions intérieures :  $c_i = \pm 0,30$

##### 11,521-1 action de renversement

$T = T_1$  (sur les faces verticales)

+  $T_2$  (sur la toiture)

soit sur chaque bloc :

$$T_1 = 1,3 a' (h - f) q_o^{h-f} = 3,146 b^2 q_o^{h-f}$$

$$T_2 = 0,043 a' b q_{h-f}^h \text{ (A - 11,22) } = 0,086 b^2 q_{h-f}^h$$



### 11,521-2 action de soulèvement

Sur chaque bloc :

$$U = -0,675 a' b q_{h-f}^h \text{ (A-11,22)} = -1,35 b^2 q_{h-f}^h$$

Cette force n'est pas centrée ; elle est appliquée à  $0,472 b$  de la face sous le vent.

### 11,522 vent sur la face $S_b$ - vent parallèle au faîtage (figure A-11-12)

Le vent est normal au plan des joints.

Coefficient  $\gamma_0 = 0,85$

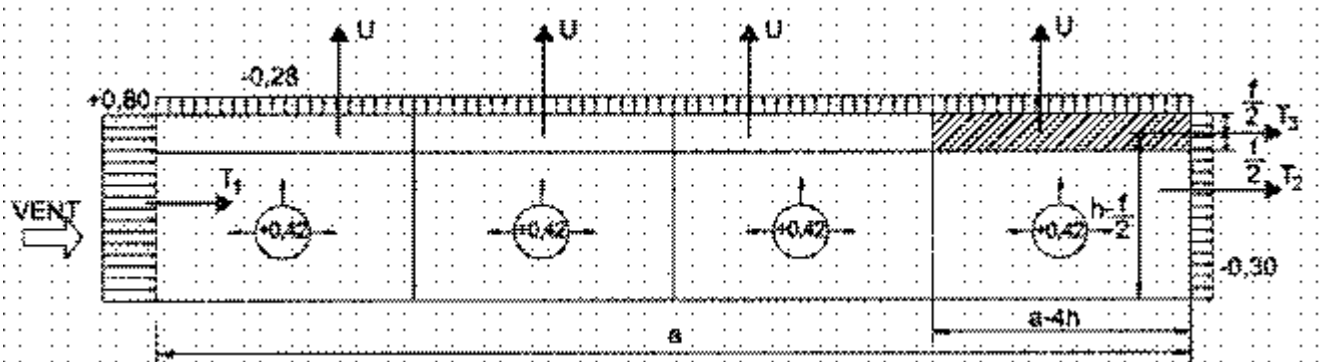


Figure A-11-12

- Actions intérieures :  $c_i = + 0,42$

$c_i = - 0,20$

### 11,522-2 action de renversement

$T =$   $T_1$  (sur le pignon au vent)  
+  $T_2$  (sur le pignon sous le vent)  
+  $T_3$  (force d'entraînement sur la toiture)

Soit :

- sur le bloc extrême au vent :

$$T_1 = 0,80 S_b q_0^h \quad S_b = \text{surface du pignon}$$

- sur le bloc extrême sous le vent :

où

$$T_2 + T_3$$

$$T_2 = 0,30 S_b q_0^h$$

$$T_3 = 0,01 (a - 4 h) \frac{b}{\cos \alpha} q_h \text{ (toiture à surface plane)}$$

### 11,522-1 action de soulèvement

Elle est centrée et a pour valeur sur chaque bloc :

$$U = -0,70 a b q_{h-f}^h = -1,40 b^2 q_{h-f}^h$$

### 11,53 blocs considérés isolément

Le vent est supposé souffler normalement au plan des joints, et parallèlement aux génératrices.

Les actions à prendre en compte sur chacun des blocs sont égales à celles déterminées en 11,522 sur le bloc extrême au vent, soit :

- action de renversement

$$T = 0,80 S_b q_0^h$$

- action de soulèvement

$$U = -1,40 b^2 q_{h-f}^h$$

- actions intérieures  $c_i = \pm 0,30$

Les blocs intermédiaires sont vérifiés séparément pour les actions suivantes :

#### 11,531 action de renversement

$$T = +1,3 S_b q_o^h \times \frac{6}{10} = 0,78 S_b q_o^h$$

Il n'y a pas de force d'entraînement à considérer.

#### 11,532 action de soulèvement

Elle est centrée et a pour valeur :

$$U = -0,80 a' b q_{h-f}^h \times \frac{6}{10} = -0,96 b^2 q_{h-f}^h$$

#### 11,54 actions à retenir sur chacun des blocs

$\alpha$	$c_x$	$c_y$	$c_T$	$c_N$
$0^\circ$	+ 1,14	0	0	+ 1,14
$45^\circ$	+ 1,27	0	+ 0,90	+ 0,90
$90^\circ$	+ 1,14	0	+ 1,14	0

tableau sans légende dans: 11,54 actions à retenir sur chacun des blocs

#### 11,6 construction fermée à base rectangulaire formée de trois blocs égaux - toiture multiple à versants plans - faîtages perpendiculaires au grand côté - joints entre blocs parallèles aux faîtages

Cette construction est du type blocs accolés à toiture unique (R-III-2,164).

Les actions intérieures sont à retenir sur la toiture pour la détermination des actions de soulèvement et de renversement.

#### 11,61 caractéristiques

La construction est constituée de trois blocs identiques à celui considéré dans l'exemple A-11,4.

Pour l'ensemble des trois blocs :

$$a = 8 b \quad \lambda_a = 0,06 \quad \lambda_b = 0,50 \quad h = 0,5 b$$

$$\alpha_1 = 60^\circ \quad \frac{b}{a} = 0,125 \quad \alpha_2 = 30^\circ \quad f = 0,145 b$$

Pour chaque bloc considéré séparément :

$$a' = a/3$$

La détermination des actions du vent comporte deux parties :

- la construction considérée dans son ensemble,
- chaque bloc considéré séparément.

Les blocs sont désignés par les lettres A, B et C, le bloc A étant le bloc au vent lorsque le vent frappe le versant incliné de  $60^\circ$ .

#### 11,62 construction considérée dans son ensemble

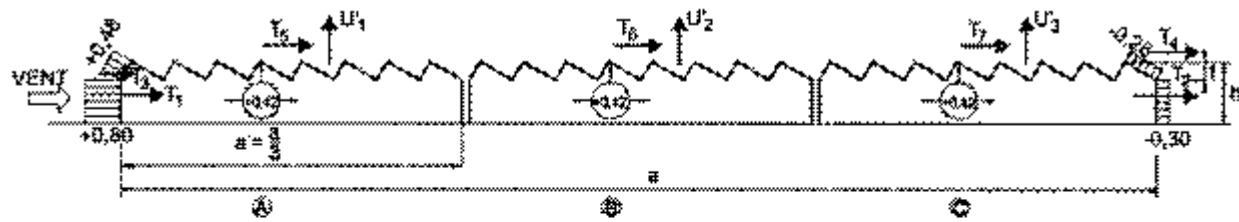


Figure A-11-14 a

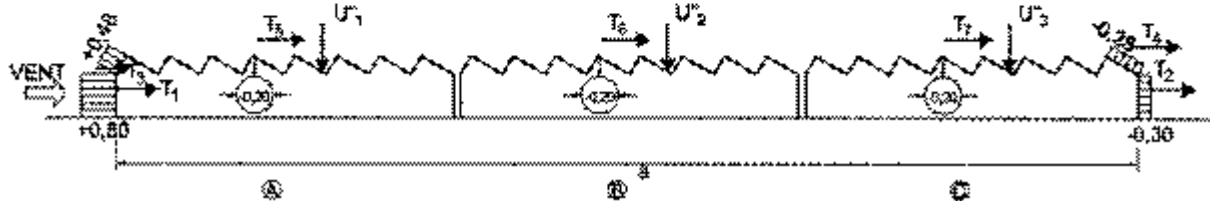


Figure A-11-14 b

### 11,621 vent sur la face $S_b$ - vent normal aux faîtiages

Le vent est normal au plan des joints. Le bloc au vent est le bloc A.

Coefficient  $\gamma_o = 0,85$

- Actions intérieures :  $c_i = + 0,42$   
 $c_i = - 0,20$

### 11,621-1 action de renversement

- Bloc A

$T =$   $T_1$  (sur le pignon au vent)  
+  $T_3$  (sur le premier versant)  
+  $T_5$  (force d'entraînement sur les toitures du premier bloc)

$$T_1 = 0,284 b^2 q_o^{h-f} \text{ (A - 11,42)}$$

$$T_3 = 0,069 b^2 q_{h-f}^h$$

$$T_5 = 0,08 \times \frac{31}{12} b^2 q_h = 0,207 b^2 q_h$$

- Bloc B

$T = T_6$  (force d'entraînement sur les toitures du deuxième bloc)

$$= 0,08 \times \frac{8}{3} b^2 q_h = 0,213 b^2 q_h$$

- Bloc C

$T =$   $T_2$  (sur le pignon sous le vent)  
+  $T_4$  (sur le dernier versant)  
+  $T_7$  (force d'entraînement sur les toitures du dernier bloc)

$$T_2 = 0,106 b^2 q_o^{h-f}$$

$$T_4 = 0,041 b^2 q_{h-f}^h$$

$$T_7 = 0,08 \times \frac{29}{12} b^2 q_h = 0,193 b^2 q_h$$

### 11,621-2 action de soulèvement

#### 11,621-21 provoquant un soulèvement (figure A-11-14 a)

- Bloc A

$$U'_1 = U_1 \text{ (sur le premier versant)} \\ + U' \text{ (surpression intérieure)} \\ = + 0,04 b^2 q_{h-f}^h - 1,12 b^2 q_{h-f}^h = - 1,08 b^2 q_{h-f}^h$$

- Bloc B

$$U'_2 = U' \text{ (actions intérieures)} = - 1,12 b^2 q_{h-f}^h$$

- Bloc C

$$U'_3 = U_3 \text{ (sur le premier versant)} + U' \\ = - 0,07 b^2 q_{h-f}^h - 1,12 b^2 q_{h-f}^h = - 1,19 b^2 q_{h-f}^h$$

#### 11,621-22 s'ajoutant au poids mort (figure 11-14 b)

- Bloc A

$$U'_1 = U_1 + U' \text{ (dépression intérieure)} \\ = + 0,04 b^2 q_{h-f}^h + 0,53 b^2 q_{h-f}^h = + 0,57 b^2 q_{h-f}^h$$

- Bloc B

$$U'_2 = + 0,53 b^2 q_{h-f}^h$$

- Bloc C

$$U'_3 = - 0,07 b^2 q_{h-f}^h + 0,53 b^2 q_{h-f}^h = + 0,46 b^2 q_{h-f}^h$$

#### 11,622 vent sur la face S'<sub>b</sub> - vent normal aux faîtages

Comme en A-11,621, le vent est normal au plan des joints. Le bloc au vent est le bloc C.

#### 11,622-1 action de renversement

- Bloc C

$$T = T_1 \text{ (sur le pignon au vent)} \\ + T_2 \text{ (sur le premier versant)} \\ + T_5 \text{ (force d'entraînement sur les toitures} \\ \text{du premier bloc) (figure A-11-9)}$$

$$T_1 = 0,284 b^2 q_o^{h-f}$$

$$T_3 = 0$$

$$T_5 = 0,05 \times \frac{29}{12} b^2 q_h = 0,121 b^2 q_h$$

- Bloc B

$$T = T_6 \text{ (force d'entraînement sur les toitures} \\ \text{du deuxième bloc)}$$

$$= 0,05 \times \frac{8}{3} b^2 q_h = 0,133 b^2 q_h$$

- Bloc A

$$T = T_2 \text{ (sur le pignon sous le vent)} \\ + T_4 \text{ (sur le dernier versant)} \\ + T_7 \text{ (force d'entraînement sur les toitures} \\ \text{du dernier bloc)}$$

$$T_2 = 0,106 b^2 q_o^{h-f}$$

$$T_4 = 0,043 b^2 q_{h-f}^h$$

$$T_7 = 0,05 \times \frac{31}{12} b^2 q_h = 0,129 b^2 q_h$$

#### 11,622-2 action de soulèvement

### 11,622-21 provoquant un soulèvement

- Bloc C

$$U_1' = -1,12 b^2 q_{h-f}^h$$

- Bloc B

$$U_2' = -1,12 b^2 q_{h-f}^h$$

- Bloc A

$$U_3' = -0,025 b^2 q_{h-f}^h - 1,12 b^2 q_{h-f}^h = -1,145 b^2 q_{h-f}^h$$

### 11,622-22 s'ajoutant au poids mort

- Bloc C

$$U_1'' = +0,53 b^2 q_{h-f}^h$$

- Bloc B

$$U_2'' = +0,53 b^2 q_{h-f}^h$$

- Bloc A

$$U_3'' = -0,025 b^2 q_{h-f}^h + 0,53 b^2 q_{h-f}^h = +0,505 b^2 q_{h-f}^h$$

### 11,623 vent sur la face $S_a$ - vent parallèle aux faîtages

Coefficient  $\gamma_o = 1$

- Actions intérieures :  $c_i = \pm 0,30$

Pour chacun des blocs A, B, C :

- Action de renversement :

$$T \text{ (sur les pignons)} = 1,3 S'_a q_o^h$$

$S'_a$  = surface des pignons de chacun des blocs

- Action de soulèvement

$$U = -0,80 a' b q_{h-f}^h = -2,13 b^2 q_{h-f}^h$$

### 11,63 blocs considérés isolément

Le vent est supposé souffler perpendiculairement au plan des joints et aux génératrices.

Les actions à prendre en compte sur chacun des blocs sont égales à celles déterminées sur le bloc extrême au vent en 11,621 et 11,622, soit :

- pour le vent frappant les versants inclinés à  $60^\circ$

- action de renversement

$$T = 0,284 b^2 q_o^{h-f} + 0,069 b^2 q_{h-f}^h + 0,207 b^2 q_h$$

- action de soulèvement

$$U' = -1,08 b^2 q_{h-f}^h$$

$$U'' = +0,57 b^2 q_{h-f}^h$$

- pour le vent frappant les versants inclinés à  $30^\circ$

- action de renversement

$$T = 0,284 b^2 q_o^{h-f} + 0,121 b^2 q_h$$

- action de soulèvement

$$U' = -1,12 b^2 q_{h-f}^h$$

$$U'' = +0,53 b^2 q_{h-f}^h$$

#### 11,64 actions à retenir sur chaque bloc

Pour chaque direction de vent on retient les actions les plus défavorables, dont les valeurs relatives dépendent parfois de la valeur des dimensions de la construction.

Le tableau ci-dessous résume les résultats établis dans les paragraphes précédents.

$\alpha$	$c_x$	$c_y$	$c_T$	$c_N$
$0^\circ$	+ 1,14	0	0	+ 1,14
$45^\circ$	+ 1,27	0	+ 0,90	+ 0,90
$90^\circ$	+ 1,14	0	+ 1,14	0

tableau sans légende dans: 11,64 actions à retenir sur chaque bloc

#### 11,7 construction fermée a base rectangulaire formée de trois blocs égaux - toiture multiple à versants plans - faîtages parallèles au grand côté - joints entre blocs perpendiculaires aux faîtages

Cette construction est constituée des mêmes blocs que la construction traitée dans l'exemple A-11,6, mais les blocs sont accolés par leur grande face et non par leur petite face. Cet exemple relève de la règle R-III-2,164.

##### 11,71 caractéristiques

La construction est constituée de trois blocs identiques à celui considéré dans l'exemple A-11,4.

$$a = \frac{8}{9} b = 1,125 b \quad h = \frac{3}{16} b$$

$$\alpha_1 = 60^\circ \quad \alpha_2 = 30^\circ \quad f = 0,054 b$$

Pour l'ensemble des trois blocs

$$\lambda_a = 0,17 \quad \lambda_b = 0,19 \quad \frac{b}{a} = 0,89$$

Pour chaque bloc considéré séparément

$$\lambda_{a'} = 0,19 \quad \lambda_{b'} = 0,50 \quad \frac{b'}{a'} = 0,37$$

Pour l'ensemble des trois blocs, la grande face est la face parallèle aux faîtages, et pour chaque bloc pris séparément la grande face est la face perpendiculaire aux faîtages.

La détermination des actions du vent comporte deux parties :

- la construction considérée dans son ensemble,
- chaque bloc considéré séparément

##### 11,72 construction considérée dans son ensemble

##### 11,721 vent sur la face $S_a$ - vent normal aux faîtages

Le vent est parallèle au plan des joints (figure A-11-8)

Coefficient  $\gamma_o = 0,85$

- Actions intérieures :  $c_i = + 0,42$   
 $c_i = - 0,20$

Pour chacun des blocs : **11,721-1 action de renversement**

$T = T_1$  (sur les faces verticales)

- +  $T_2$  (sur le premier et le dernier versant)
- +  $T_3$  (force d'entraînement)

$$T_1 = 1,1 (h-f) q_o^{h-f} = 0,150 \frac{a}{3} b q_o^{h-f} = 0,056 b^2 q_o^{h-f}$$

$$T_2 = 0,76 \sin 30^\circ \cos 30^\circ \frac{a}{3} \frac{b}{8} q_{h-f}^h = 0,015 b^2 q_{h-f}^h$$

$$T_3 = 0,08 \frac{7}{8} b \frac{a}{3} q_h = 0,026 b^2 q_h$$

D'où :

$$T = 0,056 b^2 q_o^{h-f} + 0,015 b^2 q_{h-f}^h + 0,026 b^2 q_h$$

### 11,721-2 action de soulèvement

$U' = U_1 + U'_2$  provoquant un soulèvement (figure A-11-8 a)

$U'' = U_1 + U''_2$  s'ajoutant au poids mort (figure A-11-8 b)

$$U_1 = (0,48 \sin^2 30^\circ - 0,28 \cos^2 30^\circ) \frac{b}{8} \frac{3}{8} b q_{h-f}^h$$

$$= -0,09 \times \frac{3}{64} b^2 q_{h-f}^h = -0,004 b^2 q_{h-f}^h$$

$$U'_2 = -0,42 \times \frac{3}{8} b^2 q_{h-f}^h = 0,158 b^2 q_{h-f}^h$$

$$U''_2 = +0,075 b^2 q_{h-f}^h$$

$$\text{D'où : } U' = -0,162 b^2 q_{h-f}^h$$

$$U'' = +0,071 b^2 q_{h-f}^h$$

### 11,722 vent sur la face $S'_b$ - vent normal aux faîtages

Le vent est parallèle au plan des joints.

Pour chacun des blocs :

#### 11,722-1 action de renversement

$$T_1 = 0,056 b^2 q_o^{h-f}$$

$$T_2 = 0,30 \sin 30^\circ \cos 30^\circ \frac{a}{3} \frac{b}{8} q_{h-f}^h = 0,006 b^2 q_{h-f}^h$$

$$T_3 = 0,05 \frac{7}{8} \frac{a}{3} b q_h = 0,016 b^2 q_h$$

D'où :

$$T = 0,056 b^2 q_o^{h-f} + 0,006 b^2 q_{h-f}^h + 0,016 b^2 q_h$$

#### 11,722-2 action de soulèvement

$$U_1 = -0,30 \cos^2 60^\circ \frac{a}{3} \frac{b}{8} q_{h-f}^h = -0,004 b^2 q_{h-f}^h$$

$$U'_2 = -0,158 b^2 q_{h-f}^h$$

$$U''_2 = +0,075 b^2 q_{h-f}^h$$

D'où :

$$U' = -0,162 b^2 q_{h-f}^h$$

$$U'' = +0,071 b^2 q_{h-f}^h$$

### 11,723 vent sur la face $S_b$ - vent parallèle aux faîtages

Le vent est normal au plan des joints (figure A-11-15).

Coefficient  $\gamma_o = 0,85$

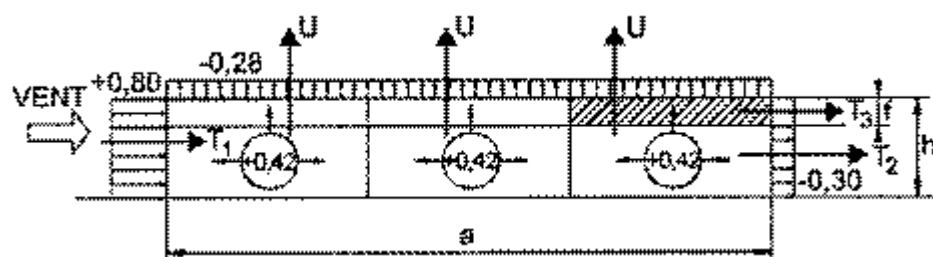


Figure A-11-15

- Actions intérieures :  $c_i = + 0,42$   
 $c_i = - 0,20$

Les blocs sont numérotés dans le sens du vent. **11,723-1 action de renversement**

- Premier bloc  
 $T = T_1$  (sur le pignon)  $= 0,80 S_b q_o^h$
- Deuxième bloc  
 $T = 0$
- Troisième bloc

$$T = T_2 \text{ (sur le pignon)} + T_3 \text{ (force d'entraînement sur la toiture)} \\ = 0,30 S_b q_o^h + 0,0051 b^2 q_h$$

#### 11,723-2 action de soulèvement

Sur chacun des blocs :

$$U = - (0,28 + 0,42) \frac{a}{3} b q_{h-f}^h = - 0,263 b^2 q_{h-f}^h$$

#### 11,73 blocs considérés isodéformables

Les actions à prendre en compte sur chacun des blocs sont égales à celles déterminées en 11,723 sur le bloc au vent, soit :

- action de renversement :

$$T = 0,80 S_b q_o^h$$

- action de soulèvement :

$$U = - 0,263 b^2 q_{h-f}^h$$

#### 11,74 actions à retenir sur chaque bloc

Pour chaque direction de vent, on retient les actions les plus défavorables, dont les valeurs relatives dépendent parfois de la valeur des dimensions de la construction.

Le tableau ci-dessous résume les résultats établis dans les paragraphes précédents.

$\alpha$	$c_x$	$c_y$	$c_T$	$c_N$
$0^\circ$	+ 1,14	0	0	+ 1,14
$45^\circ$	+ 1,27	0	+ 0,90	+ 0,90
$90^\circ$	+ 1,14	0	+ 1,14	0

tableau sans légende dans: 11,74 actions à retenir sur chaque bloc

### 11,8 construction fermée à base rectangulaire formée de cinq files accolées de quatre blocs accolés - toiture-terrasse



Chacun des vingt blocs présente les mêmes caractéristiques que celui traité en A-11,1.

### 11,81 caractéristiques (figure A-11-16)

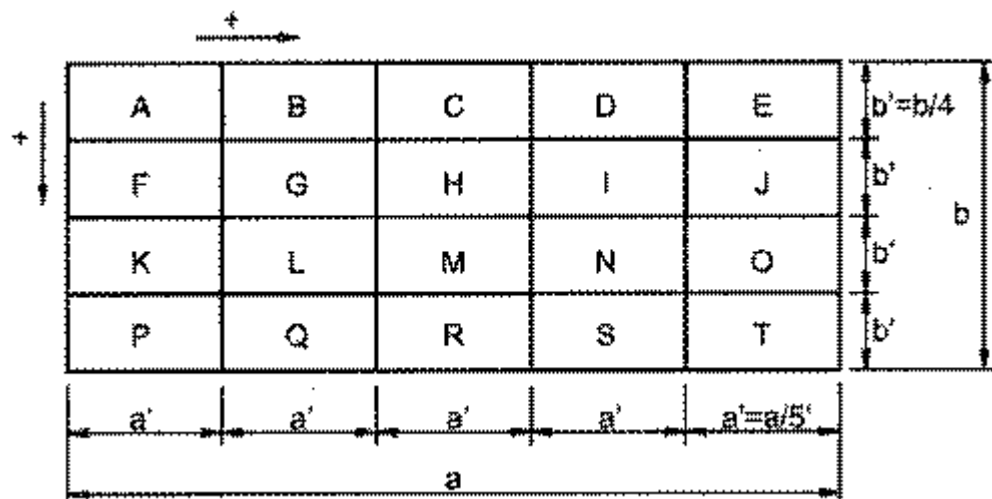


Figure A-11-16

$$a = 2,5 b \quad b = 10 b' \quad b = 4 b' \quad \frac{b}{a} = 0,4$$

$$h = \frac{3}{8} b = 0,375 b \quad \lambda_b = 0,375 \quad \lambda_a = 0,15$$

Chaque bloc pris isolément a pour caractéristiques :

$$a' = 2 b' \quad \lambda'_a = 0,75 \quad \lambda'_b = 1,5 \quad h = 1,5 b'$$

$$\frac{b'}{a'} = 0,5$$

La détermination des actions du vent comporte deux parties :

- la construction considérée dans son ensemble,
- chaque bloc considéré séparément.

Les références des blocs sont portées sur la figure A-11-16.

### 11,82 construction considérée dans son ensemble

#### 11,821 vent sur la face $S_a$ (figure A-11-17)

Coefficient  $\gamma_o = 0,925$

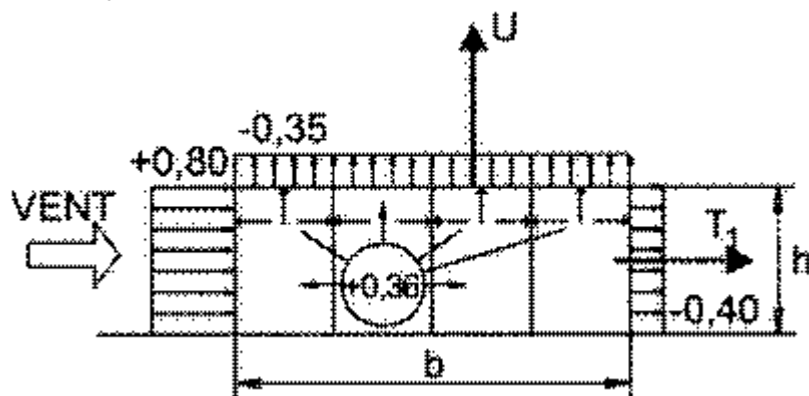


Figure A-11-17

- Actions intérieures :  $c_i = + 0,36$   
 $c_i = -0,24$

#### 11,821-1 action de renversement

$T = T_1$  (sur les faces verticales)

Soit :

- sur les blocs au vent (A, B, C, D, E ou P, Q, R, S, T)  
 $T = 0,8 a' h q_o^h = 2,4 b'^2 q_o^h$
- sur les blocs intermédiaires (F, G, H, I, J, K, L, M, N, O)  
 $T = 0$
- sur les blocs sous le vent (P, Q, R, S, T ou A, B, C, D, E)  
 $T = 0,4 a' h q_o^h = 1,2 b'^2 q_o^h$

#### 11,821-2 action de soulèvement

Sur chaque bloc :

$$U = - (0,35 + 0,36) a' b' q_h = - 1,42 b'^2 q_h$$

#### 11,822 vent sur la face $S_b$ (figure A-11-18)

Coefficient  $\gamma_o = 0,85$

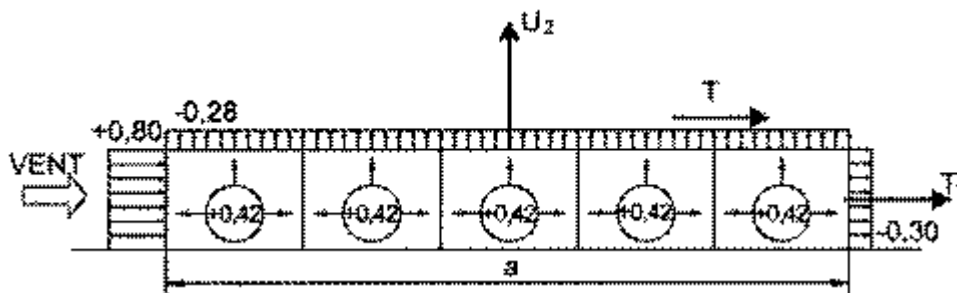


Figure A-11-18

- Actions intérieures :  $c_i = + 0,42$   
 $c_i = - 0,20$

#### 11,822-1 action de renversement

$T = T_1$  (sur les faces verticales)

+  $T_2$  (force d'entraînement sur la toiture).

La force  $T_2$  s'exerce sur la longueur  $a - 4 h = 4 b' = 2 a'$  donc sur les deux dernières rangées.

Soit :

- sur les blocs au vent (A, F, K, P ou E, J, O, T)  
 $T = 0,8 b' h q_o^h$
- sur les blocs intermédiaires (B, G, L, Q et C, H, M, R ou D, I, N, S et C, H, M, R)  
 $T = 0$
- sur la dernière rangée de blocs intermédiaires (D, I, N, S ou B, G, L, Q)  
 $T = 0,01 a' b' q_h = 0,02 b'^2 q_h$
- sur les blocs sous le vent (E, J, O, T ou A, F, K, P)  
 $T = 0,3 b' h q_o^h + 0,01 a' b' q_h$   
 $= 0,45 b'^2 q_o^h + 0,02 b'^2 q_h$

### 11,822-2 action de soulèvement

Sur chaque bloc :

$$U = - (0,28 + 0,42) a' b' q_h = - 1,40 b'^2 q_h$$

Les actions à prendre en compte sur chacun des blocs sont égales à celles déterminées en 11,821 et 11,822 sur les blocs au vent.

### 11,83 blocs considérés isolément

#### 11,831 vent sur la grande face de chaque bloc

- Action de renversement :

$$T = 2,4 b'^2 q_0^h$$

- Action de soulèvement :  $U = - 1,42 b'^2 q_h$

#### 11,832 vent sur la petite face de chaque bloc

- Action de renversement :

$$T = 1,20 b'^2 q_0^h$$

- Action de soulèvement :  $U = - 1,40 b'^2 q_h$

### 11,84 actions à retenir sur chaque bloc

Les actions de renversement sont affectées d'un signe suivant les conventions indiquées figure A-11-16.

$\alpha$	$C_x$	$C_y$	$C_T$	$C_N$
$0^\circ$	+ 1,14	0	0	+ 1,14
$45^\circ$	+ 1,27	0	+ 0,90	+ 0,90
$90^\circ$	+ 1,14	0	+ 1,14	0

tableau sans légende dans: 11,84 actions à retenir sur chaque bloc

## Annexe 12 exemples de détermination des actions unitaires sur des toitures isolées à un ou plusieurs versants

L'annexe 12 groupe, pour des toitures à un ou deux versants, des exemples de détermination des actions résultantes unitaires, des actions unitaires sur chacune des faces et éventuellement de la force horizontale d'entraînement. En aucun cas elle ne vise à la détermination des actions de soulèvement et de renversement sur les supports de ces toitures.

Les exemples traités ne tiennent compte que des dimensions relatives des toitures considérées.

Successivement sont examinés les exemples suivants :

- une toiture-terrasse,
- une série de toitures à un versant de rapport de dimensions supérieur ou égal à 5,
- deux toitures à un versant de rapport de dimensions inférieur à 5,
- une série de toitures à deux versants de rapport de dimensions supérieur ou égal à 0,20,
- deux toitures à deux versants de rapport de dimensions inférieur 0,20,
- une toiture en voûte de rapport de dimensions supérieur à 0,20,
- une toiture multiple à versants symétriques.

### 12,1 toiture-terrasse

#### 12,11 caractéristiques

La toiture se présente sous la forme d'un rectangle de longueur a et de largeur b avec  $a = 2 b$ .

La distance au sol est égale à  $e = 1,5 b$

Elle vérifie la relation  $e \geq 0,75 h_a$

pour un vent normal au petit côté  $0,75 h_a = 0,75 b$

pour un vent normal au grand côté  $0,75 h_a = 1,5 b$

### 12,12 actions résultantes unitaires (R-III-4,223)

Le rapport de dimensions  $\lambda$  est sans influence sur la valeur des actions résultantes unitaires.

#### 12,121 vent normal au petit côté (figure A-12-1)

$c = \pm 0,7$  au bord d'attaque et 0 au bord de fuite.

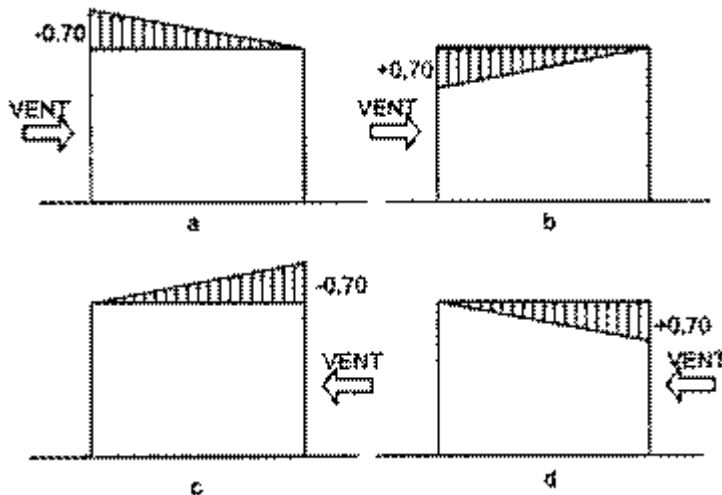


Figure A-12-1

#### 12,122 vent normal au grand côté (figure A-12-2)

$c = \pm 0,7$  au bord d'attaque et 0 au bord de fuite.

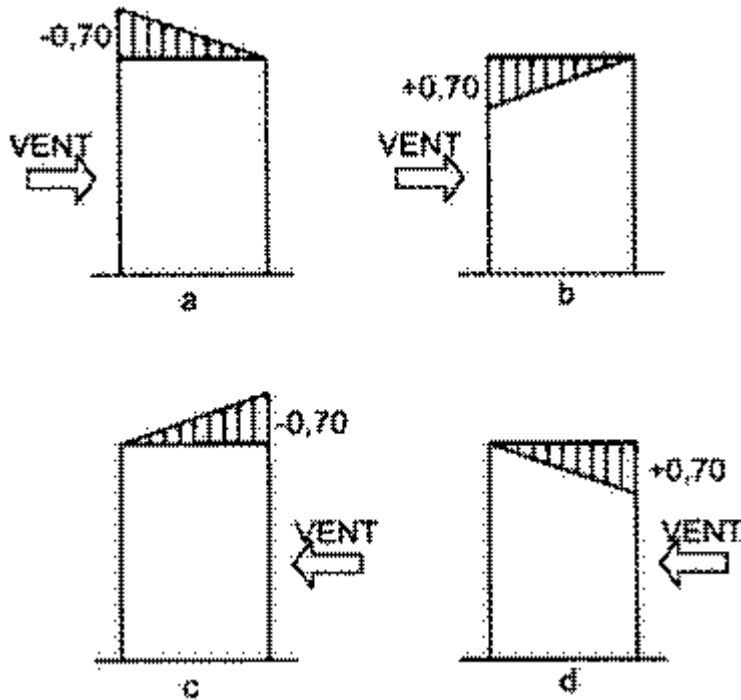


Figure A-12-2

### 12,13 force horizontale d'entraînement (R-III-4,02)

**12,131 cas d'une toiture dont la face inférieure et la face supérieure sont planes**

a et b étant exprimés en mètres pour un vent normal au petit côté ou au grand côté :

$$F = 0,01 \times 2 a b q = 0,02 a b q \text{ (Figure A-12-3)}$$

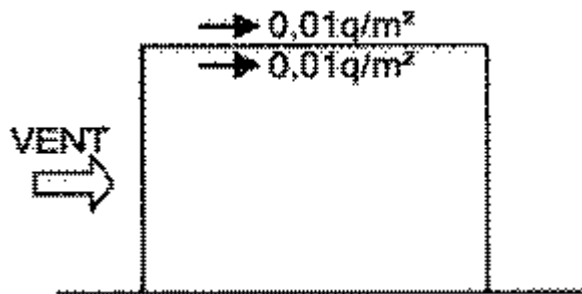


Figure A-12-3

**12,132 cas d'une toiture dont la face inférieure est plane et dont la face supérieure comporte de ondes parallèles au petit côté**

**12,132-1 vent normal au petit (figure A-12-4 a)**

$$F = (0,01 + 0,02) a b q = 0,04 a b q$$

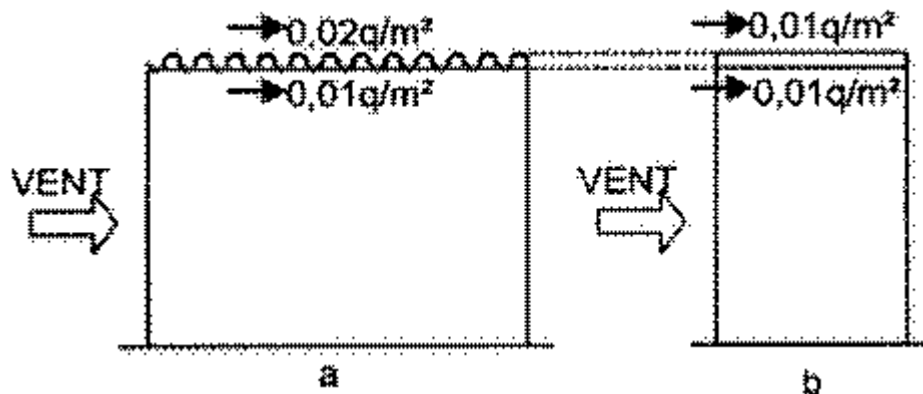


Figure A-12-4

**12,132-2 vent normal au grand côté (figure A-12-4 b)**

$$F = 0,01 \times 2 a b q = 0,02 a b q$$

**12,2 série de toitures à un versant de rapport de dimensions supérieur ou égal à 5**

La distance au sol e est supposée vérifier les conditions de la règle R-III-4,21.

Le coefficient  $\gamma$  est égal à 1.

Les valeurs de c sont celles lues sur le diagramme R-III-14 sans correction.

**12,21 vent normal aux bords horizontaux**

Le tableau figure A-12-5 (ci-dessous et page suivante) donne en fonction de l'angle :

- les actions résultantes unitaires ;
- les actions unitaires sur chaque face,

pour un vent soufflant sur la face supérieure, puis sur la face inférieure.

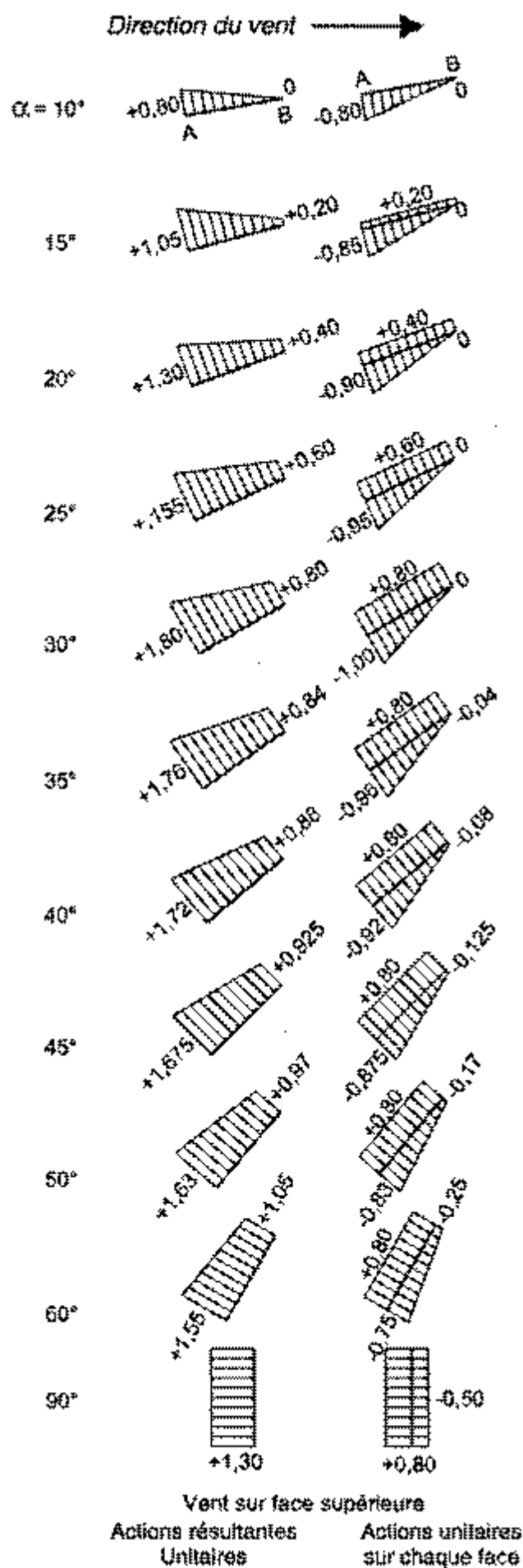
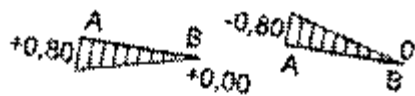


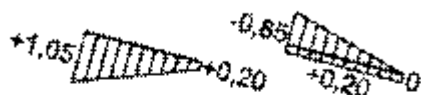
Figure A-12-5 (partie 1)

Direction du vent  $\longrightarrow$

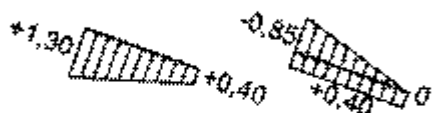
$\alpha = 10^\circ$



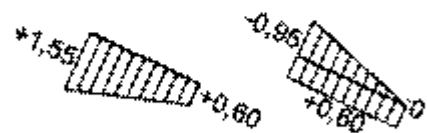
15°



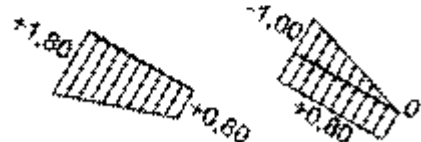
20°



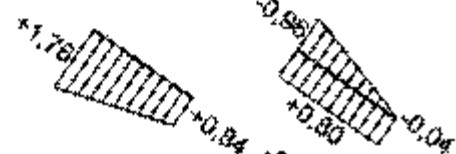
25°



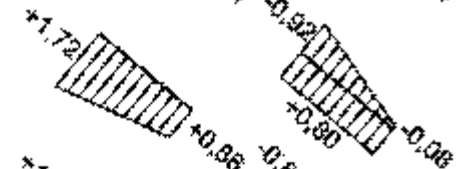
30°



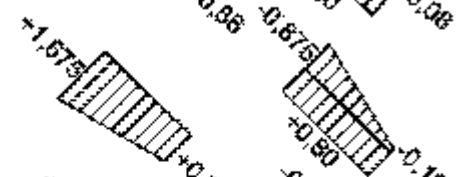
35°



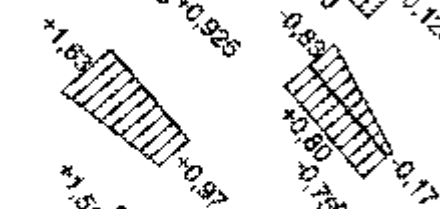
40°



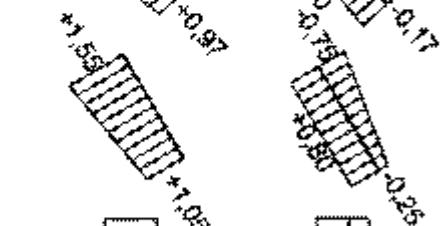
45°



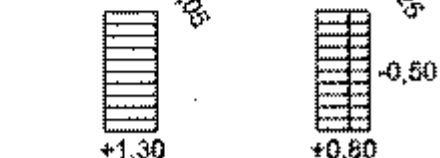
50°



60°



90°



Vent sur face inférieure  
Actions résultantes  
unitaires      Actions unitaires  
sur chaque face



Figure A- 12-5 (partie 2)

## 12,22 vent parallèle aux bords horizontaux

La force horizontale d'entraînement est, déterminée comme indiqué en A-12,13.

## 12,3 toitures à un versant de rapport de dimensions inférieur à 5

### 12,31 toiture carrée

#### 12,311 caractéristiques

$\alpha = 30^\circ$  e doit être  $> 0,75$  l  $h_\alpha = l$  d'où  $\lambda = 1$ .

#### 12,312 détermination de $\gamma$ (R-III-4,223)

Pour  $\lambda = 1$   $\gamma = 1,35$

$$\text{Pour } \alpha = 30^\circ \quad \gamma_\alpha = \frac{\alpha - 25}{10} \gamma + \frac{35 - \alpha}{10} = 0,5 \gamma + 0,5$$

$$= 1,175$$

#### 12,313 vent normal aux bords horizontaux (R-III-4,223)

La figure A-12-6 donne :

- les actions résultantes unitaires qui sont proportionnelles au coefficient  $\gamma$ 
  - en A  $c = + 1,8 \times 1,175 = 2,115$
  - en B  $c = + 0,8 \times 1,175 = 0,94$
- les actions unitaires sur chaque face également proportionnelles au coefficient  $\gamma$  pour un vent soufflant sur la face supérieure, puis sur la face inférieure.

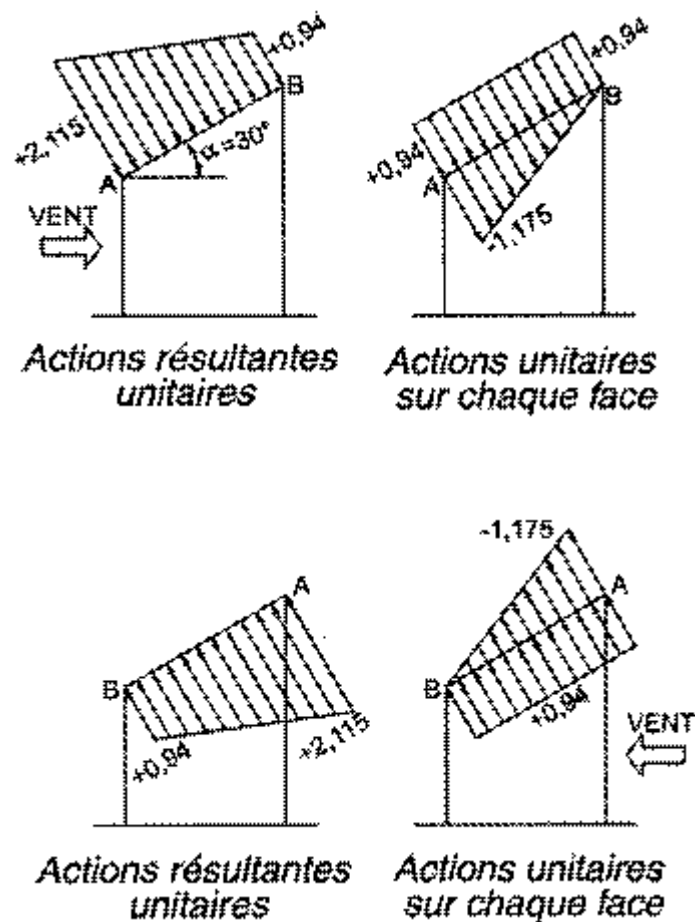


Figure A-12-6

### 12,314 vent parallèle aux bords horizontaux

La force horizontale d'entraînement est déterminée comme indiqué en A-12,13 ; elle est indépendante du coefficient  $\gamma$ .

### 12,32 toiture dont la longueur est de vingt fois la dimension selon la ligne de plus grande pente

#### 12,321 caractéristiques

$\alpha = 20^\circ$   $h_a = a l = 20$  a d'où  $\lambda = 0,05$ .

$\gamma$  est lu directement sur l'échelle fonctionnelle :  $\gamma = 1,21$

#### 12,322 vent normal aux bords horizontaux (R-III-4,223)

La figure A-12-7 donne :

- les actions résultantes unitaires :
  - en A  $c = 1,3 \times 1,21 = 1,573$
  - en B  $c = 0,4 \times 1,21 = 0,484$
- les actions unitaires sur chaque face pour un vent soufflant sur la face supérieure, puis sur la face inférieure.

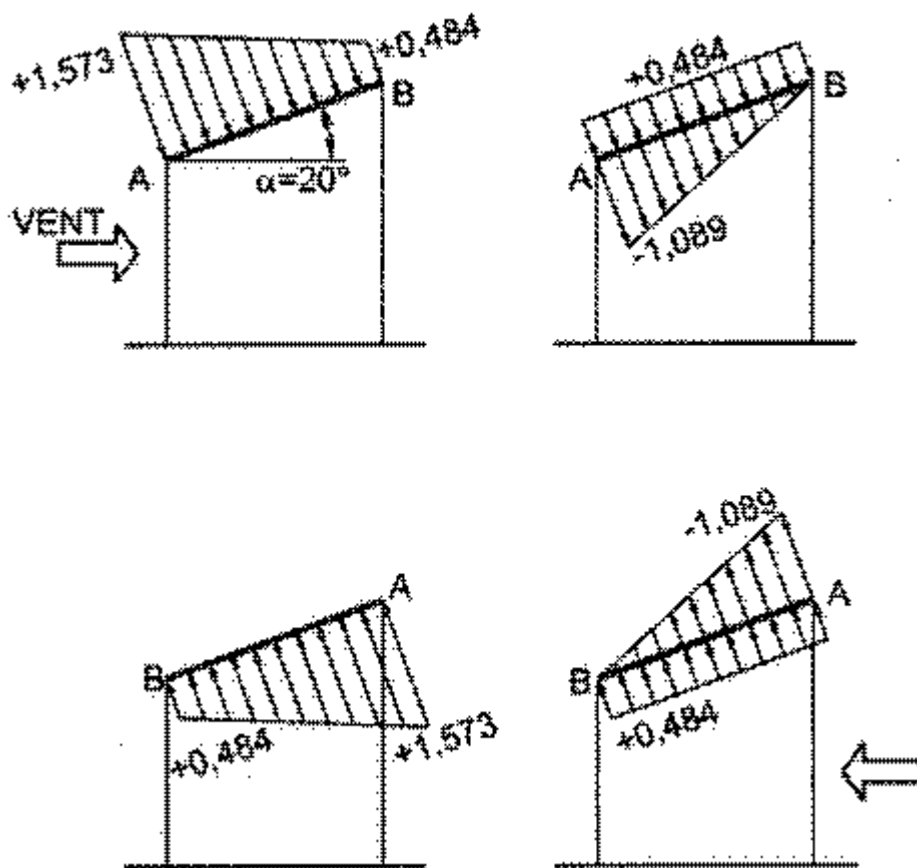


Figure A-12-7

### 12,323 vent parallèle aux bords horizontaux

La force horizontale d'entraînement est déterminée comme indiqué en A-12,13.

### 12,4 série de toitures à deux versants de rapport de dimensions supérieur ou égal à 0,20

#### 12,41 caractéristiques

Série de toitures dont la concavité est tournée ou non vers le sol.

L'angle  $\alpha$  varie de  $0$  à  $60^\circ$ .

Le rapport  $\lambda$  (R-III-4,232) est donné par :

$$\lambda = \frac{h_{\alpha}}{l} (1 + \cos 2\alpha) \quad \text{pour } 0 \leq \alpha \leq 45^{\circ}$$

$$\lambda = \frac{h_{\alpha}}{l} \quad \text{pour } \alpha > 45^{\circ}.$$

On suppose  $h_{\alpha} = a$  l = 5 a. D'où  $\lambda$  est toujours  $\geq 0,20$  et par suite  $\gamma = 1$ .

$$\lambda = 0,20 (1 + \cos 2\alpha) \quad \text{pour } 0 \leq \alpha \leq 45^{\circ}$$

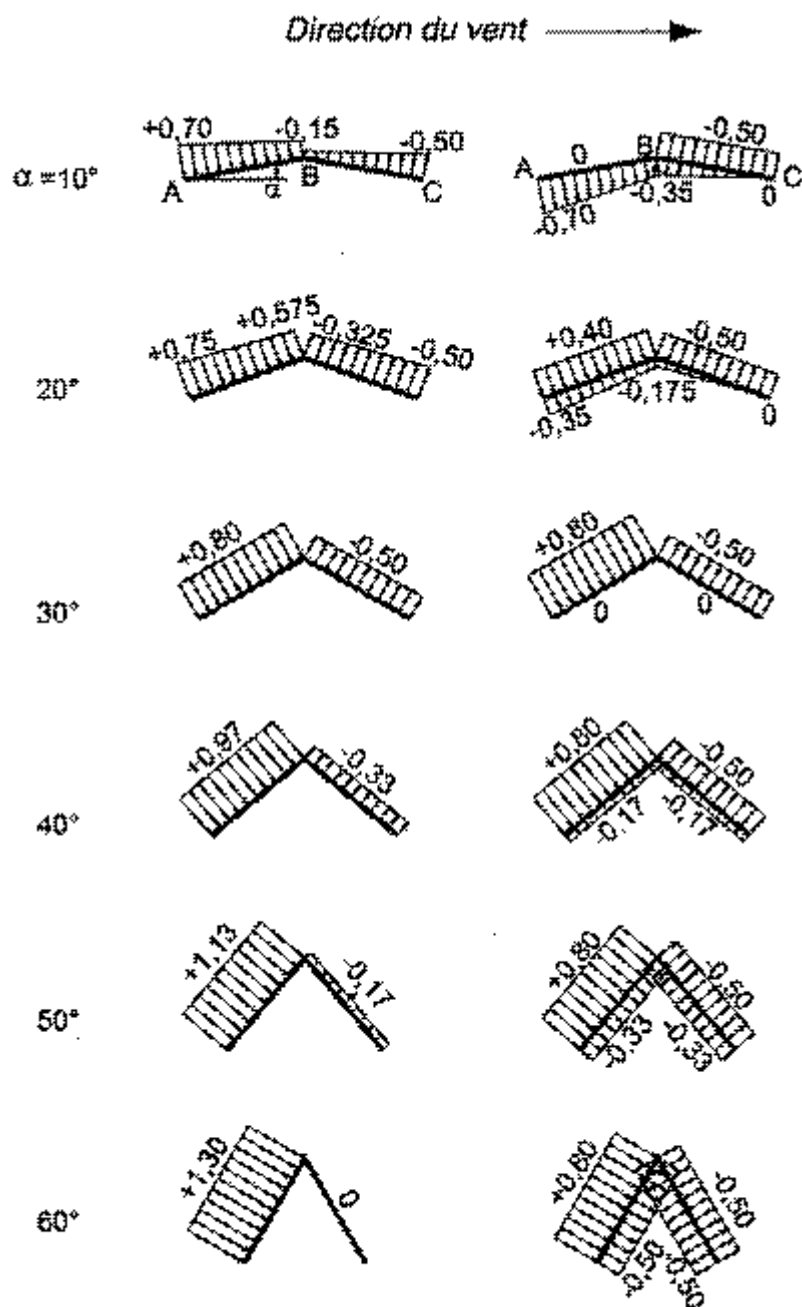
$$\lambda = 0,20 \quad \text{pour } \alpha > 45^{\circ}$$

Les valeurs de  $c$  sont celles lues sur le diagramme R-III-15.

#### **12,42 vent normal au bord horizontal (R-III-4,233-1)**

La figure A-12-8 donne :

- les actions résultantes unitaires
- les actions unitaires sur chaque face
  - pour une toiture ayant la concavité tournée vers le bas, puis
  - pour une toiture ayant la concavité tournée vers le haut.



Toitures à concavité vers le haut  
 Actions résultantes unitaires      Actions unitaires sur chaque face

figure sans légende dans: 12,42 vent normal au bord horizontal (R-III-4,233-1)

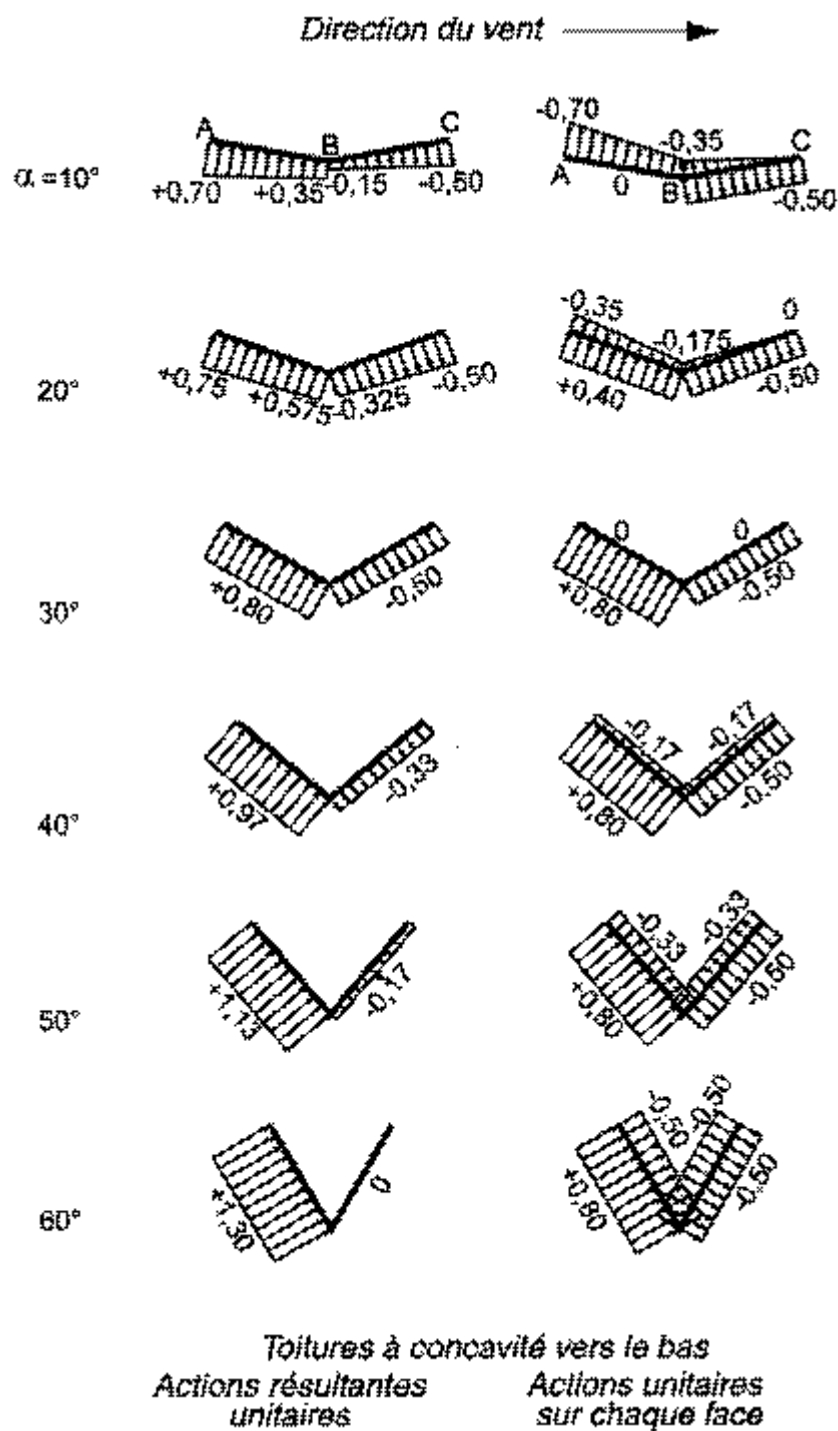


Figure A-12-8

#### 12.43 vent oblique au bord horizontal (R-III-4,233-2)

On applique sur la face intérieure du dièdre une surpression avec  $c = +0,5$  à chaque extrémité sur une longueur égale à  $a$  (Figure A-12-9 et A-12-10).

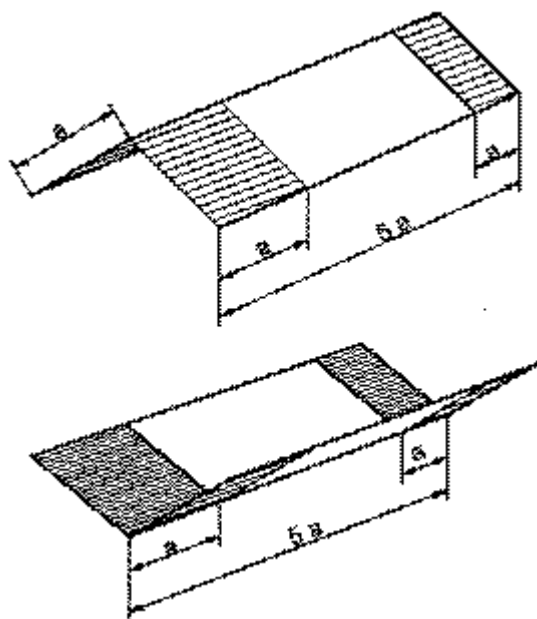
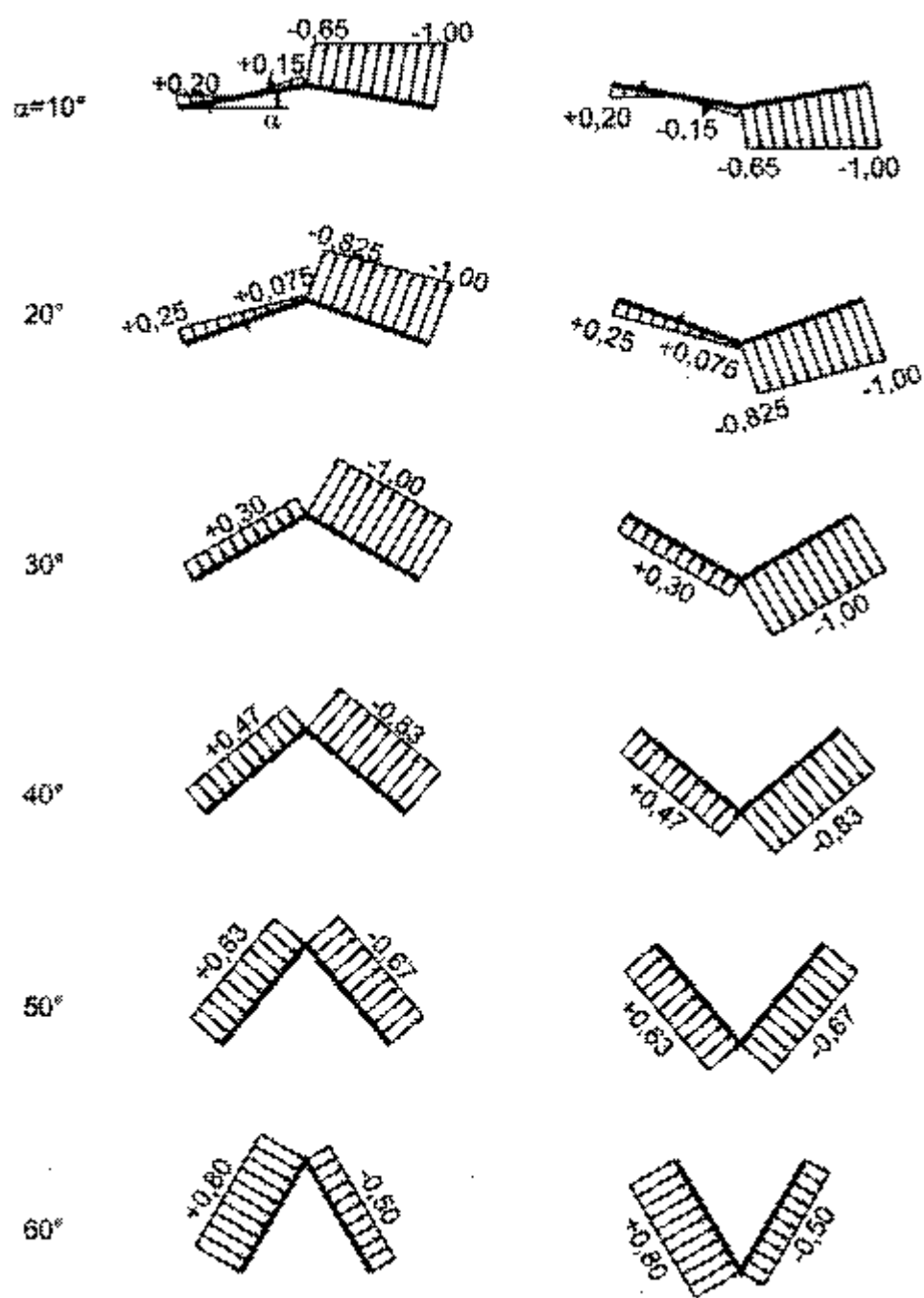
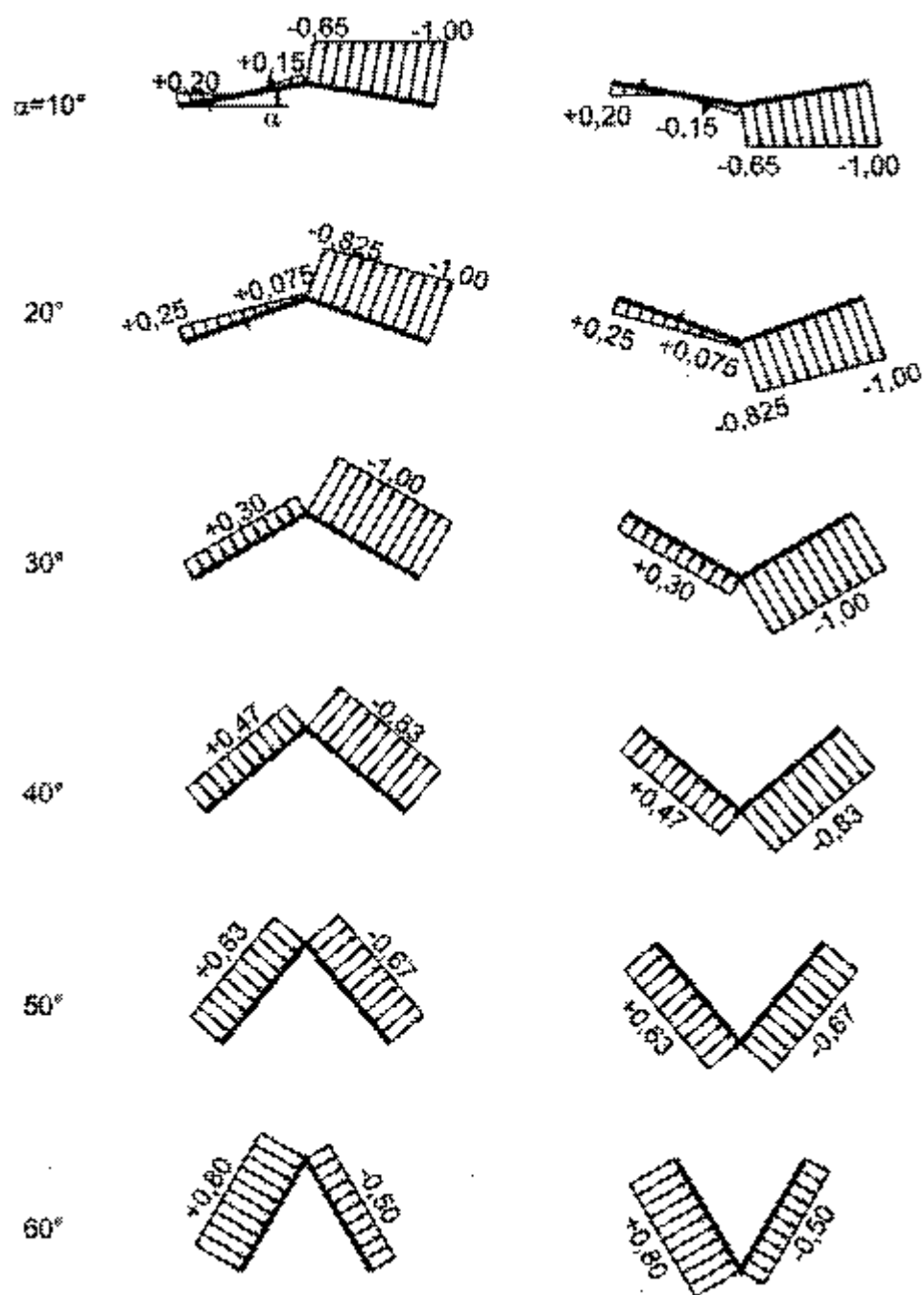


Figure A-12-9



Actions résultantes unitaires

Figure A-12-10



Actions résultantes unitaires

Figure A-12-10

#### 12,44 vent parallèle au bord horizontal

La force horizontale d'entraînement est déterminée comme indiqué en A-12,13.

#### 12,5 toitures à deux versants de rapport de dimensions inférieur à 0,20

##### 12,51 caractéristiques

$$\alpha = 30^\circ \quad h_\alpha = a \quad l = 15 \quad a$$

Les deux toitures considérées ont les mêmes caractéristiques, mais l'une a sa concavité tournée vers le bas et l'autre vers le haut.

##### 12,52 détermination du coefficient $\gamma$



Valeur de  $\lambda$  (R-III-4,232)

$$\lambda = \frac{h_a}{l} (1 + \cos 2\alpha) = \frac{1}{15} \times \frac{3}{2} = 0,10 \quad \text{D'où} \quad \gamma = 1,08$$

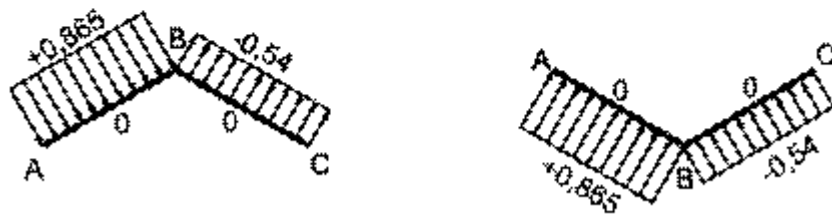
### 12,53 vent normal au bord horizontal (R-III-4,233-1)

La figure A-12-11 donne pour les deux toitures :

- les actions résultantes unitaires
- de A en B  $c = + 0,8 \times 1,08 = + 0,865$   
 de B en C  $c = - 0,5 \times 1,08 = - 0,54$



*Actions résultantes unitaires*



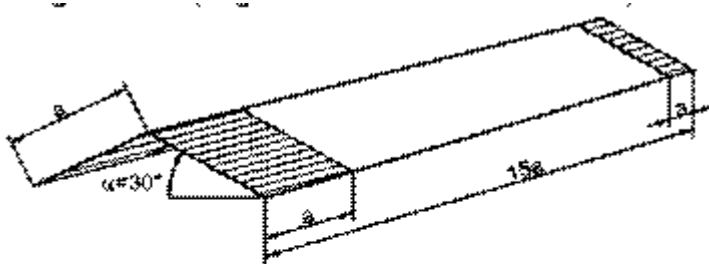
*Actions unitaires sur chaque face*

Figure A-12-11

- les actions unitaires sur chaque face.

### 12,54 vent oblique au bord horizontal (R-III-4,233-2)

On applique sur la face intérieure du dièdre une surpression avec  $c = + 0,5$  à chaque extrémité sur une longueur égale à  $a$  (Figure A-12-12 et A-12-13).



*Figure A-12-12*

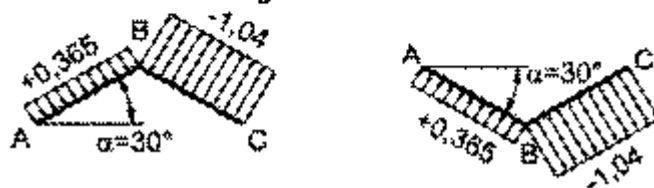


Figure A-12-13

### 12,55 vent parallèle au bord horizontal

La force horizontale d'entraînement est déterminée comme indiqué en A-12,13.

## 12,6 toiture en voûte

### 12,61 caractéristiques

Voûte circulaire dont l'angle à la naissance a pour valeur  $30^\circ$ .

Soit :

$a$  : la corde de l'arc (Figure A-12-14)

$R$  : le rayon du cercle de section droite :  $R = a$

$l = 4 a$

$f = a (1 - \cos 30^\circ) = 0,133 a$

donc  $\frac{f}{a} < \frac{1}{4}$

La voûte est remplacée (R-III-4,23) par les deux versants plans formés par les demi-cordes : l'angle  $\alpha$  a pour valeur  $15^\circ$ .

Et par suite  $h_\alpha = 2 a \sin 15^\circ = 0,518 a$

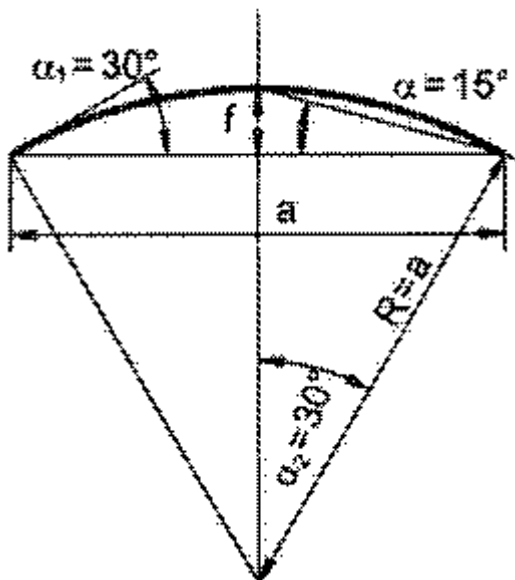


Figure A-12-14

### 12,62 rapport de dimensions $\lambda$ (R-III-4,232)

$$\lambda = \frac{h_\alpha}{l} (1 + \cos 2\alpha) = \frac{0,518 a}{4 a} \times \left(1 + \frac{\sqrt{3}}{2}\right) = 0,242 > 0,20$$

### 12,63 vent normal au bord horizontal (R-III-4,233-1)

La figure A-12-15 donne :

- les actions résultantes unitaires
- les actions unitaires sur chaque face.

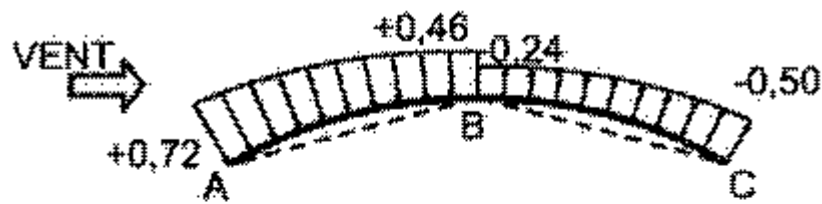


Figure A-12-15 a

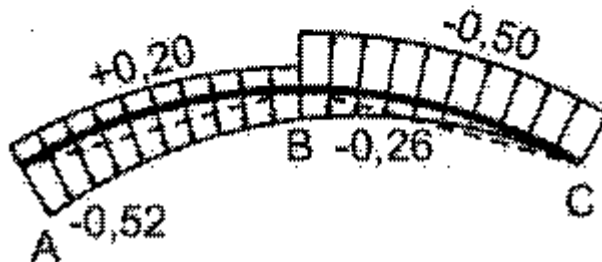


Figure A-12-15 b

#### 12,64 vent oblique au bord horizontal (R-III-4,233-2)

On applique sur la face intérieure du dièdre une surpression avec  $c = + 0,5$  à chaque extrémité sur une longueur égale à  $0,518 a$  (Figure A-12-16 et A-12-17).

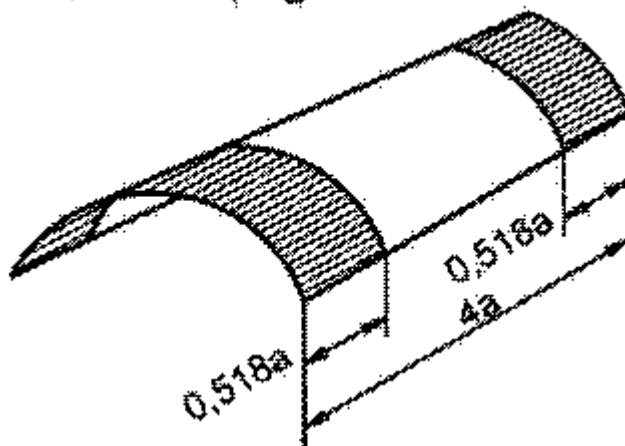


Figure A-12-16

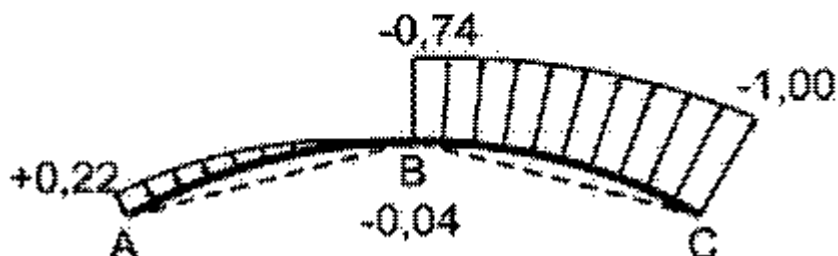


Figure A-12-17

#### 12,65 vent parallèle au bord horizontal

La force horizontale d'entraînement est déterminée comme indiqué en A-12,13.

#### 12,7 toiture multiple à versants symétriques

#### 12,71 caractéristiques

Pour chaque toiture

$$\alpha = 20^\circ \quad h_\alpha = a \quad l = 30a$$

Nombre de toitures : cinq.

### 12,72 rapport de dimensions de chaque toiture

$$\lambda = \frac{5h_\alpha}{l} (1 + \cos 40^\circ) = \frac{1}{6} \times 1,766 = 0,295 > 0,20$$

### 12,73 vent normal au bord horizontal (R-III-4,241)

La figure A-12-18 donne :

- les actions résultantes unitaires
- les actions unitaires sur chaque face.

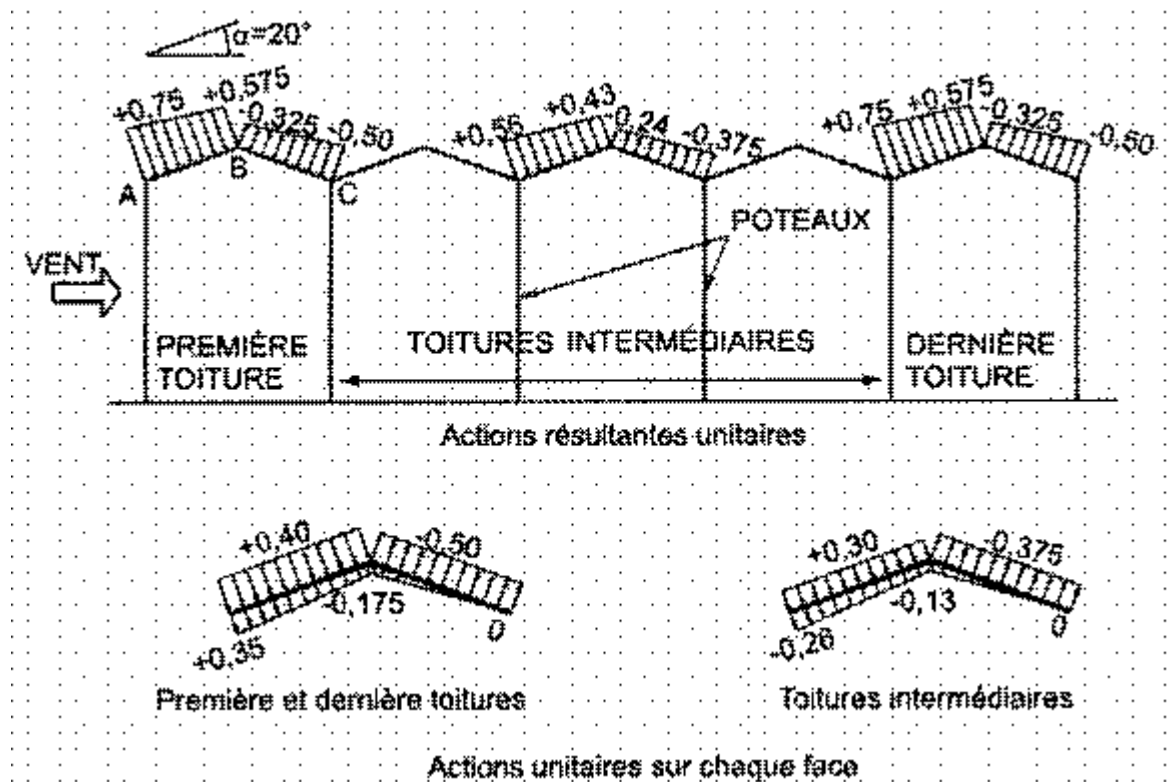


Figure A-12-18

### 12,74 vent oblique au bord horizontal (R-III-4,241)

On applique sur la face intérieure des versants une surpression avec  $c = + 0,5$  à chaque extrémité sur une longueur égale à  $a$  (Figure A-12-19 et A-12-20).

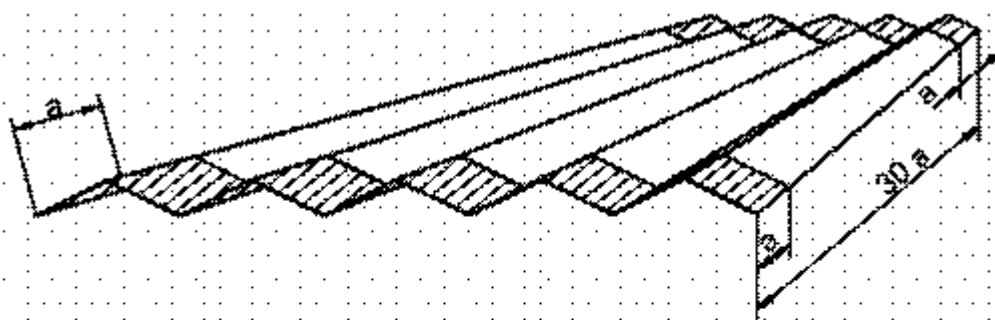


Figure A-12-19

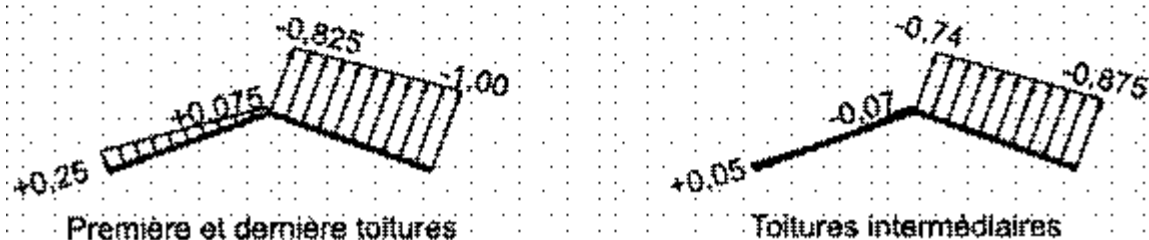


Figure A-12-20

#### 12,75 vent parallèle au bord horizontal

La force horizontale d'entraînement est déterminée comme indiqué en A-12,13.

#### Annexe informative aux règles NV 65

La nouvelle carte de vent, publiée en décembre 1999, découpe le territoire de la France métropolitaine en quatre zones, numérotées de 1 à 4.

Or, dans certains DTU relatifs aux travaux de couverture (série 40) et aux travaux d'étanchéité (série 43), quelques spécifications se réfèrent aux anciennes régions (notées 1, 2 et 3 ou I, II et III selon le DTU) des règles NV 65.

En attente de la révision de ces DTU, on utilisera la correspondance suivante :

Pour les constructions situées dans les zones suivantes :	Retenir les spécifications de la région:
Zone 1 (103,0 km/h)	Région 1 (ou I) (103,0 km/h)
Zone 2 (112,7 km/h)	Région 2 (ou II) (121,7 km/h)
Zone 3 (126,0 km/h)	Région 3 (ou III) (137,9 km/h)
Zone 4 (137,9 km/h)	Région 3 (ou III) (137,9 km/h)

tableau sans légende dans: Annexe informative aux règles NV 65

Cette correspondance ne concerne pas les zones climatiques divisant la France eu égard à la concomitance vent - pluie données dans les DTU de la série 40.

Exemple<sup>(1)</sup> : Pour une construction située en « zone de vent 4 », les fixations des tuiles en partie courante d'une couverture de tuiles de terre cuite à emboîtement ou à glissement à relief se conformeront aux spécifications de la « région 3 », définies dans le tableau 4 du DTU40.21.

#### principales notations employées dans les règles NV 65

A Altitude du lieu au-dessus du niveau de la mer.

Neige

$p_{no}$	charge verticale normale	} pour A de 0 à 200 m
$p'_{no}$	— extrême	
$p''_{no}$	— accidentelle	
$p_n$	charge verticale normale	} pour A de 200 à 2 000 m
$p'_n$	— extrême	

## Vent - Règles

a plus grande dimension horizontale d'une construction à base rectangulaire.

b plus petite dimension horizontale d'une construction à base rectangulaire.

c coefficient de pression élémentaire (ponctuel ou moyen), fonction des dispositions de la construction.

$c_e$  coefficient relatif aux actions extérieures.

$c_i$  coefficient relatif aux actions intérieures.

$$c = c_e - c_i$$

$c_t$  coefficient global de traînée (dans la direction du vent).

$c_{r0}$  coefficient global de traînée (pour une valeur particulière de  $\lambda$ ).

$c_u$  coefficient de portance (ou de soulèvement).

$c_1$  coefficient relatif à la face « au vent » d'une paroi.

$c_2$  coefficient relatif à la face « sous le vent » d'une paroi.

d diamètre d'un cylindre, d'un câble, d'une sphère, de la base d'une calotte sphérique.

e distance verticale (ou éloignement) du sol à la partie basse d'une construction.

f hauteur (ou flèche) d'une toiture.

h hauteur d'une construction (toiture comprise).

$h_\alpha$  dimension transversale d'un versant de toiture suivant la ligne de plus grande pente.

l dimension longitudinale d'un ouvrage, d'une toiture, d'un panneau.

p action élémentaire unitaire  $p = c \cdot q$ .

$p_r$  action résultante unitaire  $p_r = (c_1 - c_2) \cdot q_r$ .

q pression dynamique élémentaire

$$q = \frac{V^2}{16,3} \text{ daN/m}^2.$$

$q_r$  valeur moyenne de la pression dynamique.

$q_{10}$  pression dynamique à une hauteur égale à 10 mètres.

$q_H$  pression dynamique au niveau H :

$$q_H = 2,5 \frac{H + 18}{H + 60} q_{10}.$$

H hauteur au-dessus du sol (quelle que soit l'altitude A du lieu au-dessus du niveau de la mer).

$H_b$  niveau de la base d'une construction  $H_b = e$ .

$H_s$  niveau du sommet d'une construction  $H_s = e + h$ .

P action résultante totale sur une paroi  $P = p_r \times S$ .

S surface (ou aire) totale d'une paroi (vides éventuels obturés).

$S_a$  surface de la façade d'une construction (plus grande longueur).

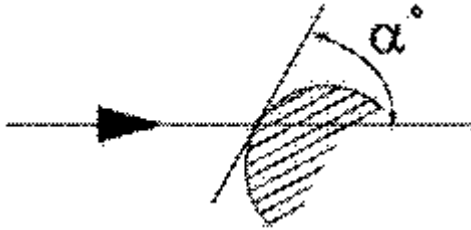
$S_b$  surface de la façade d'une construction (plus petite longueur).

$S_p$  surface des parties pleines (supposées régulièrement réparties) d'une construction ajourée ou en treillis.

$S_t$  surface du maître-couple d'un ouvrage.

V vitesse du vent en m/s.

$\alpha$  angle (en degrés) d'inclinaison d'une paroi ou de la tangente à cette paroi avec la direction horizontale du vent.



Sans légende

$\beta$  coefficient de majoration dynamique.

$\gamma$  coefficient de correction fonction de l'élancement ou de l'allongement d'une construction.

$\gamma_0$  valeur de  $\gamma$  pour  $e = 0$ .

$\gamma_e$  -  $e < h$ .

$\gamma_h$  -  $e \geq h$ .

$\delta$  coefficient de réduction des pressions dynamiques pour les grandes surfaces.

$\varepsilon$  coefficient global d'action dynamique (dépendant du type de construction)

$\lambda$  rapport de dimensions

$$\frac{h}{d}, \frac{l}{d}, \frac{h^2}{S_t} \text{ ou } \frac{l^2}{S_t}.$$

$\lambda_a$  rapport  $h/a$ .

$\lambda_b$  rapport  $h/b$ .

$\mu$  coefficient de perméabilité

$\mu$  somme des aires des ouvertures d'une paroi/aire totale  $S$  de la paroi (vides obturés)

$\xi$  coefficient de réponse d'une construction.

$\rho$  masse volumique de l'air ( $1,225 \text{ kg/m}^3$ , en moyenne).

$\tau$  coefficient de pulsation.

$\vartheta = S_p/S$

avec :  $S_p$  = Surface des parties pleines d'un éléments plan (panneaux ajourés, poutres en treillis)

et  $S$  = Surface totale (vides obturés)

$\chi$  coefficient de majoration (pour incidence suivant la diagonale des tours et pylônes à treillis).

Vent - Annexes

$g$  accélération de la pesanteur.

$c_L$  coefficient de dérive (tourbillons de Bénard-Karman).

$c_x$  coefficient de traînée d'un profilé dans la direction du vent.

$c_y$  coefficient de dérive d'un profilé (dans une direction normale à celle du vent).

$c_N$  et  $c_T$  coefficients correspondant aux composantes des efforts dus au vent suivant les deux directions des faces principales d'un profilé  $c_{x^2} + c_{y^2} = c_{N^2} - c_{T^2}$ .

$d$  largeur du maître-couple d'une construction.

$e_a$  largeur du maître-couple d'une barre constitutive d'un élément de construction à treillis.

$p$  pente d'un terrain.

$q_0^h$  pression dynamique moyenne équivalente entre 0 et H.

$q_{cr}$  pression dynamique critique de résonance.

$R_e$  nombre de Reynolds.

S nombre de Strouhal.

T période propre de vibration d'une construction (mode fondamental).

$T_k$  = période des tourbillons de Bénard-Karman.

$V_{cr}$  vitesse critique du vent correspondant à la vitesse du vent déterminant la formation de tourbillons de Bénard-Karman.

$\beta'$  coefficient de majoration dynamique (tenant compte de l'amortissement).

$\nu$  coefficient de viscosité cinématique d'un fluide.

$\Delta$  décrétement logarithmique.