Revue
Construction
Métallique

Référence
CHA-EC1 1-00

ÉVOLUTION DE LA RÉGLEMENTATION VENT : INFLUENCE SUR LE DIMENSIONNEMENT D'UN BATIMENT

par A. LEPONT

INTRODUCTION

L'évolution récente des NV65 avec notamment l'adoption d'une nouvelle carte vent et la mise en application prochaine des Eurocodes préoccupe les différents acteurs de la construction métallique.

Ceci a conduit le CTICM et l'A.P.K. (Association pour la Promotion de l'Enseignement de la Construction Acier) à effectuer une étude comparative entre les différents règlements actuellement en vigueur et ceux à venir.

Cette étude est effectuée sur une simple halle industrielle métallique de conception courante. Les éléments sont de type laminés pour les portiques, les lisses et les pannes, ces dernières étant calculées isostatiques. La géométrie est identique pour toute l'étude (quelles que soient les zones de neige et zones ou régions de vent considérées) et permet donc aux professionnels de se faire une première idée de l'impact économique des changements à venir.

Cette étude a permis de mener trois analyses différentes :

- La première analyse concerne l'influence économique du changement de la carte vent (passage de la carte vent des NV65 [3] à la nouvelle carte vent des NV65/99 [4]) avec les N84/95 et les règles CM66 [1] actuellement en vigueur en France. En effet, cette nouvelle carte vent et les CM66 pourront être appliqués en France pendant une période transitoire en attendant la mise en oeuvre des Eurocodes.

- L'analyse suivante concerne l'influence du changement de réglementation qui suivra à terme cette modification de la carte vent c'est-à-dire le passage des NV65 et CM66 aux Eurocodes structuraux tels qu'ils sont définis aujourd'hui dans les prénormes européennes et les normes expérimentales françaises : l'ENV 1993 1-1 DAN [2], l'ENV 1991-2-3 DAN [5] et l'ENV 1991-2-4 DAN [6]. Les dernières prénormes européennes ENV étant en cours de conversion sous forme de normes européennes EN. Cette analyse permettra de préjuger la réglementation la plus avantageuse économiquement pour ce type de bâtiment.

A. LEPONT – Ingénieur ETP, élève CHEM

CHA-EC1 1-00

- La dernière analyse concerne l'influence économique globale du passage des règles actuellement en vigueur en France (ancienne carte vent et carte neige et Règles CM66) aux Eurocodes.

1. – HYPOTHÈSE GÉNÉRALE DE L'ÉTUDE

Le recoupement de l'ancienne carte de vent des NV65 et de la carte neige N84/95 d'une part, le recoupement de la nouvelle carte vent des NV65 avec la carte de neige N84/95 et le recoupement de la carte de vent de l'ENV 1991-2-4 DAN et de la carte neige de l'ENV 1991-2-3 DAN nous ont permis de déterminer les différents cas possibles à étudier pour le bâtiment décrit ci-dessous.

2

1,1. – Caractéristiques dimensionnelles du bâtiment

1,11. – *Description*

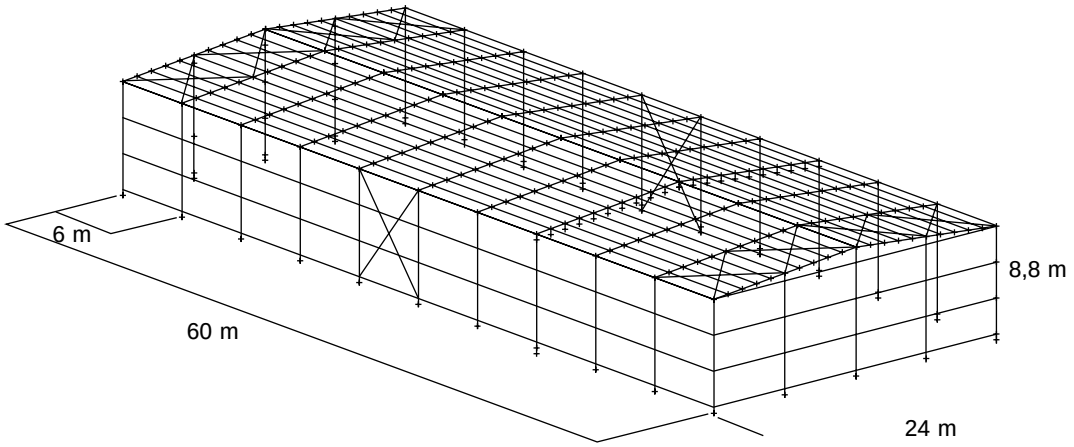


Fig. 1 – Perspective du bâtiment.

Le bâtiment à usage industriel ou agricole est un bâtiment à une nef de type portiques transversaux autostables. Sa longueur est de 60 mètres, sa largeur de 24 mètres et sa hauteur au faîtage est de 10 mètres. La pente des deux versants de couverture est de 10 % (fig. **1**).

Le bâtiment sera considéré de type fermé et se situera à une altitude inférieure à 200 mètres, sur un terrain plat.

La structure comporte 11 portiques dont les poteaux sont des HEA et les arbalétriers des IPE (fig. **2**). Des renforts du type jarret ont été dimensionnés au niveau des crosses de portiques : leur longueur est de 1,2 mètres et leur hauteur la même que celle de l'arbalétrier.

Les portiques sont espacés de 6 mètres et leur portée est de 24 mètres (fig. **3**). Ils sont articulés en pied. Afin de limiter le déversement des membrures inférieures des arbalétriers (sous chargement ascendant), celles-ci sont maintenues par des bracons tous les 2,4 m (soit une panne sur deux).

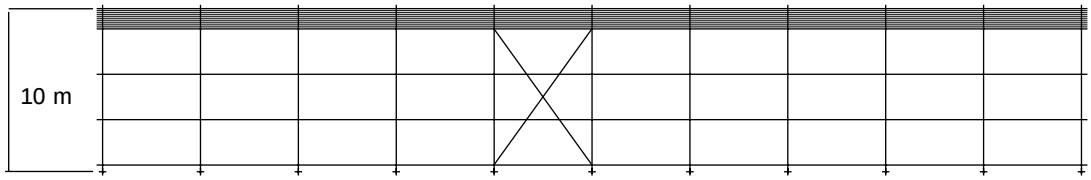


Fig. 2 – Vue du long pan

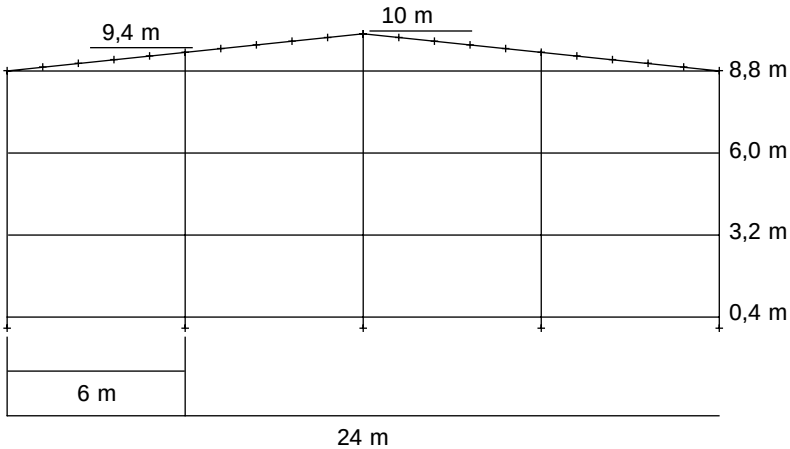


Fig. 3 – Vue du pignon

L'ossature secondaire est composée de :

- potelets : trois potelets par pignon ont été placés. La distance entre chacun est de 6 mètres. Il y a deux hauteurs différentes : 9,4 mètres et 10 mètres (pour le potelet central). Ils sont articulés en pieds et appuyés en tête (appui glissant). Les profilés retenus sont des IPE ou IPEA. Pour le déversement de la semelle intérieure, des bracons sont mis au niveau des lisses.
- lisses : quatre rangées de lisses sont placées aux niveaux 0,4 m, 3,2 m, 6,0 m et 8,8 m, en long pan et en pignon ; elles sont fixées sur les poteaux des portiques et en pignon sur les potelets. Elles sont calculées de façon isostatique avec une portée de 6 mètres. Les profilés pour les trois premières sont choisis dans la gamme des IPE et des IPEA. Une suspente est placée à mi-travée pour réduire la flèche verticale. La lisse du haut sera un HEA de la même taille que la lisse courante pour reprendre l'effort de compression ramené de la suspente par les bretelles (fig. **4**).

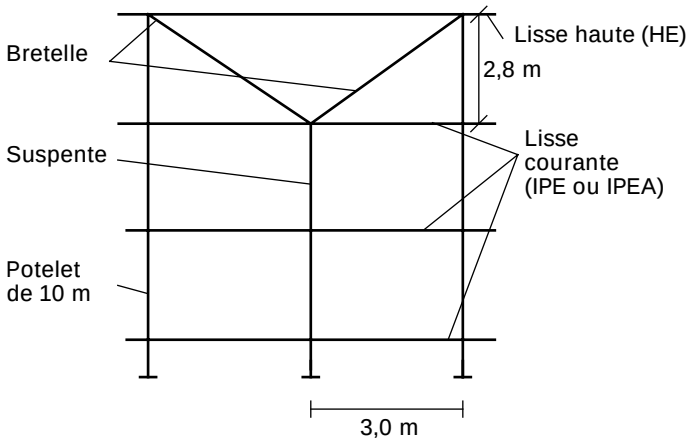


Fig. 4 – Principe d'attache des suspentes en lisse haute

- pannes : elles supportent la couverture et sont espacées de 1,20 m (fig. **5**). Elles sont fixées sur les arbalétriers des portiques et ont donc une portée de 6 mètres : ce sont des pannes isostatiques. Les profilés retenus sont des IPE et des IPEA. Les pannes comprimées qui servent à la stabilité du bâtiment (essentiellement les pannes sablières) sont des HEA de même hauteur.

4

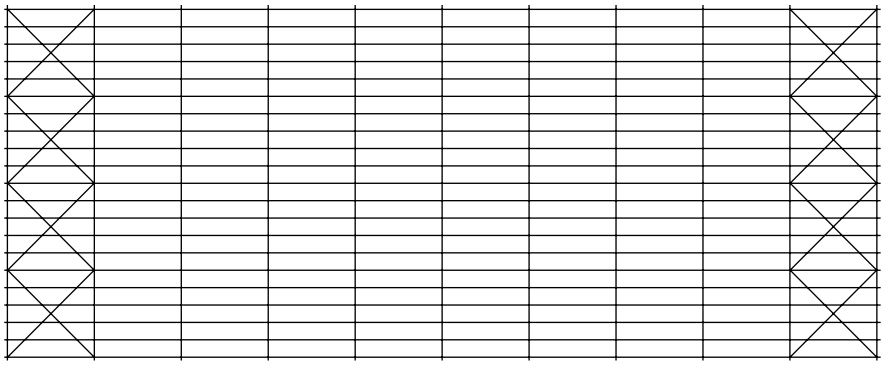


Fig 5 – Vue de la toiture

Le poids de couverture considéré est de 15 daN/m^2 et le poids du bardage est de 25 daN/m^2.

La stabilité est assurée par les portiques dans le sens transversal et par des palées de stabilité dans le sens longitudinal (une par long pan, au milieu du bâtiment), pour n'avoir pas à considérer la dilatation).

1,12. – *Choix de conserver les dimensions constantes*

Lors de cette étude, nous n'avons pas pu optimiser chaque dimension pour chaque cas. En effet, il est possible en fonction des forces d'optimiser les espacements entre éléments. Ainsi les pannes devraient, en fonction de la zone de neige, être plus ou moins distantes les unes des autres en fonction des caractéristiques des bacs de couverture.

Nous avons donc fait un choix de bâtiment type pouvant être implanté dans toute la France et nous avons optimisé les éléments le composant.

1,2 – Principes généraux de vérification des différents éléments

Aucune étude dynamique n'a été réalisée pour la prise en compte des séismes.

1,21. – *Lisses*

Les lisses courantes sont calculées en flexion déviée suivant l'axe vertical et l'axe horizontal.

Les lisses hautes, elles, sont vérifiées à la flexion déviée composée.

La flèche admissible retenue est le 1/200e.

Le déversement sera vérifié pour le cas où la semelle intérieure est comprimée (la semelle extérieure étant maintenue par le bardage).

1,22. – *Potelets*

Les potelets sont dimensionnés en flexion compression.

La flèche admissible retenue est le 1/200e.

Le déversement est vérifié pour les cas où les semelles intérieure et extérieure sont comprimées.

1,23 – *Pannes*

Les pannes courantes sont calculées en flexion suivant l'axe vertical et l'axe horizontal.

Les pannes sablières et celles participant à la stabilité sont vérifiées à la flexion déviée composée.

La flèche admissible retenue est le 1/200e.

Le déversement sera vérifié pour les cas où la semelle inférieure est comprimée (la semelle supérieure étant maintenue par la couverture).

La flèche sous les charges d'entretien ne sera pas vérifiée car la situation est temporaire.

1,24. – *Portiques*

Les éléments des portiques sont dimensionnés en compression et en flexion.

Les flèches admissibles retenues sont le 1/150e pour le déplacement horizontal en tête de poteau et le 1/200e pour la flèche verticale au faîtage.

La stabilité au déversement et au flambement est vérifiée pour les poteaux et les arbalétriers.

1,25. – *Assemblages*

Les assemblages au faîtage et en tête de poteau ont été vérifiés pour s'assurer que l'encastrement était réalisable.

CHA-EC1 1-00

Cela a permis de vérifier qu'un jarret était nécessaire au niveau de l'assemblage entre le poteau et l'arbalétrier.

Le tableau suivant récapitule l'ensemble des vérifications effectuées.

	lisses		potelets	pannes		portiques	
	courantes	hautes		courantes	comprimées	poteaux	arbalétriers
résistance	x	x	x	x	x	x	x
flambement		x	x		x	x	x
déversement	x	x	x	x	x	x	x
flèche	1/200	1/200	1/200	1/200	1/200	1/150	1/200

6

2. – ANALYSE DES RÉSULTATS

2,1. – Domaine de validité de l'étude et résultats

2,11. – *Domaine de validité de l'étude*

L'étude concerne un bâtiment de type industriel (halle à une nef avec deux versants égaux de faible pente 10 %) de longueur 60 mètres, de largeur 24 mètres et de hauteur au faîtage 10 mètres (cf description dans la partie précédente). Il ne contient pas de ponts roulants.

Le bâtiment est de type fermé et se situe à une altitude inférieure ou égale à 200 mètres sur un terrain plat (pour les analyses, toute la surface de la France est considérée ainsi).

Cette étude ne tient pas compte des zones de séismicité définies par les règles PS-92. Il appartient donc au lecteur d'analyser avec précautions les résultats donnés pour les zones sismiques.

L'étude ne concerne ni les sites protégés définis par les NV65 ni la Classe 5 de rugosité définie par l'ENV 1991 2-4 DAN ; ces deux notions concernent très peu de constructions de ce type.

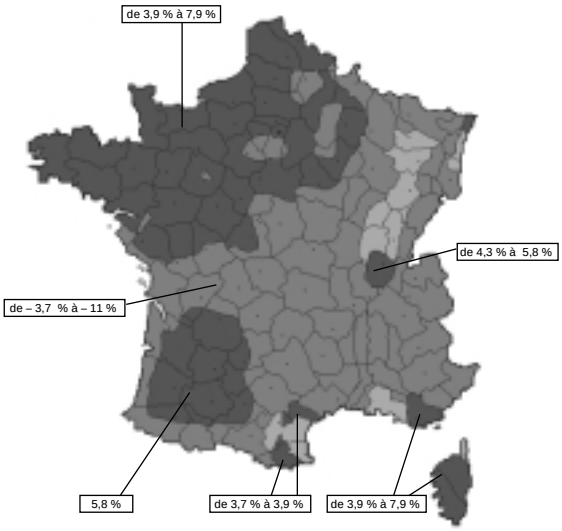
2,12. – *Résultats de l'étude*

2,121. – Variation du poids du bâtiment

Nous avons étudié la variation du poids total du bâtiment entre les anciennes règles, les règles futures et le règlement actuellement en vigueur en France. Nous avons donc différencié les quatre configurations suivantes :

CHA-EC1 1-00

- *Passage de l'ancienne carte vent avec les NV65-N84/95 et les CM66 à la nouvelle carte vent avec les NV65/99-N84/95 et les CM66.*



CARTE 1 : PASSAGE DE L'ANCIENNE CARTE NV65 AVEC LES CM66 A LA NOUVELLE CARTE VENT AVEC LES CM66

: augmentation du poids
: conservation du poids
: diminution du poids

La France se divise en deux grandes parties :

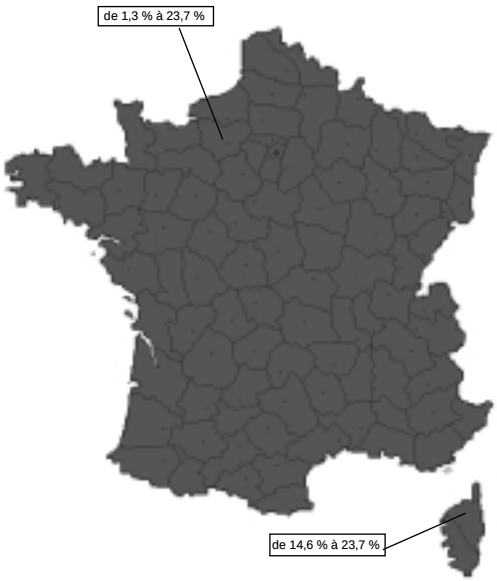
➪ Le quart Nord/Nord-Ouest et le Sud-Ouest où le tonnage d'acier du bâtiment augmente en moyenne de 6 %.

➪ Le reste de la France où le tonnage d'acier du bâtiment diminue en moyenne de 5 %.

Il reste cependant certaines régions de France où le changement de la carte vent n'influe pas sur le tonnage d'acier (cf. carte **1** ci-contre)

Le pourcentage du territoire français suivant la variation du tonnage d'acier peut se répartir de la façon suivante :

42 %	7 %	53 %



CARTE 2 : PASSAGE DE LA CARTE NV65 AVEC LES CM66 A LA NOUVELLE CARTE VENT AVEC LES EUROCODES EN RUGOSITE 2

CARTE 3 : PASSAGE DE LA CARTE NV65 AVEC LES CM66 A LA NOUVELLE CARTE VENT AVEC LES EUROCODES EN RUGOSITE 3

: augmentation du poids
: conservation du poids
: diminution du poids

7

CHA-EC1 1-00

- *Passage de l'ancienne carte vent avec les NV65-N84/95 et les CM66 aux Eurocodes structuraux appliqués en rugosité 2.*

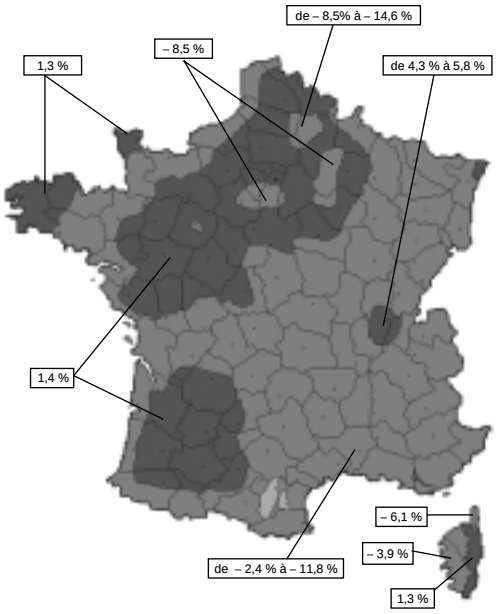
Le tonnage d'acier augmente en moyenne de 15 % sur la totalité de la France (cf. carte **2**).

- *Passage de l'ancienne carte vent avec les NV65-N84/95 et les CM66 aux Eurocodes structuraux appliqués en rugosité 3.*

Le tonnage d'acier augmente en moyenne de 6,5 % sur 95 % du territoire français (cf. carte **3**).

- *Passage de l'ancienne carte vent avec les NV65-N84/95 et les CM66 aux Eurocodes structuraux appliqués en rugosité 4.*

8



CARTE 4 : PASSAGE DE LA CARTE NV65 AVEC LES CM66 A LA NOUVELLE CARTE VENT AVEC LES EUROCODES EN RUGOSITE 4

: augmentation du poids
: conservation du poids
: diminution du poids

La France se divise en deux parties de façon pratiquement identique à la première configuration (cf carte 4) :

➪ Le quart Nord/Nord-Ouest avec le Sud-Ouest où le tonnage d'acier du bâtiment augmente en moyenne de 1,5 %

➪ Le reste de la France où le tonnage d'acier du bâtiment diminue en moyenne de 7 %.

Le pourcentage du territoire français suivant la variation du tonnage d'acier peut se répartir de la façon suivante :

35 %	1 %	64 %

2,123. – Poids moyen du bâtiment sur la France dans les différents cas

Cette comparaison ne tient pas compte du cas site exposé des NV65 et de la rugosité 1 de l'ENV 1991 2-4 DAN

Méthode utilisée :

Connaissant la répartition département par département de chaque zone ou région de vent, nous avons calculé le poids moyen pondéré du bâtiment suivant chaque réglementation.

Nous avons ensuite fait la somme des résultats trouvés sur tous les départements puis nous l'avons divisée par la superficie de la France.

Remarque : Nous avons décidé de faire une moyenne pondérée des Classes 3 et 4, car les photos données par l'ENV 1991 2-4 DAN ne permettent pas de faire un distinction franche entre ces deux classes.

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

	poids moyen (t)
NV65 (ancienne carte), N84/95, CM66 site normal	73,48
NV65/99, N84/95, CM66 site normal	73,74
Eurocodes, rugosité 2	85,01
Eurocodes, rugosité 3	77,89
Eurocodes, rugosité 4	71,32
Eurocodes, moyenne des rugosités 3 et 4 *	75,39
Eurocodes, moyenne sur toutes les classes de rugosité *	77,67

* : D'après une étude statistique [7] menée entre 1984 et 1985 sur 1454 bâtiments dans 7 départements, il a été possible de se faire une idée sur la répartition des constructions suivant les classes de rugosité. Les résultats sont les suivants :

- rugosité 1 : 2 % des constructions
- rugosité 2 : 22 % des constructions
- rugosité 3 : 44 % des constructions
- rugosité 4 : 27 % des constructions
- rugosité 5 : 5 % des constructions.

Pour calculer le poids moyen pondéré sur plusieurs classes de rugosité, nous avons pondéré le poids moyen de chaque classe par les pourcentages correspondants donnés ci-dessus.

2,124 – Comparaison avec comme base les NV65 et NV65/99

Les variations en pourcentage du poids moyen du bâtiment sur la France métropolitaine suivant les règles de calcul sont données dans le tableau suivant :

	NV65, N84/95, CM66	NV65/99, N84/95, CM66
	site normal	site normal
NV65, N84/95, CM66 site normal	0	
NV65/99, N84/95, CM66 site normal	0,36 %	0
Eurocodes, rugosité 2	15,68 %	15,27 %
Eurocodes, rugosité 3	6,00 %	5,62 %
Eurocodes, rugosité 4	– 2,94 %	– 3,28 %
Eurocodes, moyenne des rugosités 3 et 4	2,26 %	2,24 %
Eurocodes, moyenne sur toutes les classes de rugosité	5,70 %	5,33 %

CHA-ECI 1-00

2,2. – Analyses des résultats

2,21. – *Combinaisons dimensionnantes*

Pour chaque élément courant du bâtiment, nous avons relevé les combinaisons dimensionnantes.

On note : W_n : action du vent normal W_e : action du vent extrême

W_{lp} : action du vent normal sur le long pan

Q_e : charge d'entretien

10

S_n : action de la neige normale des N84/95 issue de la charge p_n

S_e : action de la neige extrême des N84/95 issue de la charge p'_n

S_a : action de la neige accidentelle des N84/95 issue de la charge p_{na}

S_i : action de la neige caractéristique du cas (i) de l'ENV 1991-2-3 DAN (totalité de la charge de neige sur toute la toiture).

S_{ai} : action de la neige accidentelle du cas (i) de l'ENV 1991-2-3 DAN.

Elles sont données à titre indicatif et sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

	combinaisons dimensionnantes		
	ancienne carte + NV65-N84/95 et CM66	nouvelle carte + NV65/99-N84/95 et CM66	nouvelle carte + Eurocodes 1 et 3
lisses courantes avec liernes à mi-portée	ELS : $G + W_n$	ELS : $G + W_n$	ELU : $1{,}35G + 1{,}5W_{lp}$
potelets de pignon	ELU : $G + W_e$	ELU : $G + W_e$	ELU : $1{,}35G + 1{,}5W_p$
pannes courantes (non comprimées)	quelle que soit la région de vent • zone de neige 1A et 1B : ELS : $G + Q_e$ • zone de neige 2A à 4 : ELS : $G + S_n$	quelle que soit la zone de vent • zone de neige 1A et 1B : ELS : $G + Q_e$ • zone de neige 2A à 4 : ELS : $G + S_n$	⇒ Pour la rugosité 1 : Pour les zones de vent 1 à 3 : • zone de neige 1A et 1B : ELS : $G + Q_e$ • zone de neige 2A à 4 : ELS : $G + S_i$ Pour la zone de vent 4 : ELU : $G + S_{ai}$ ⇒ Pour les rugosités 2 à 4 : quelle que soit la zone de vent • zone de neige 1A et 1B : ELS : $G + Q_e$ • zone de neige 2A à 4 : ELS : $G + S_i$
portiques courants	quelles que soit la région de vent et la zone de neige ELS : $G + W_{lp}$ zone de neige 4 avec les régions de vent II et III ELU : $G + S_a$	quelles que soient la zone de vent et la zone de neige ELS : $G + W_{lp}$ sauf pour la zone de neige 4 avec les zones de vent 2 et 3 ELU : $G + S_a$	quelles que soient la zone de vent, la zone de neige et la rugosité ELS : $G + W_{lp}$ sauf pour la zone de neige 4 et la rugosité 4 : ELU : $G + S_a$

2,22. – *Pourcentage du bâtiment dimensionné par le vent sur le long pan*

D'après le § 2,21, la majorité du bâtiment est dimensionnée par le vent soufflant sur le long pan (portiques et lisses) - l'état limite dimensionnant étant l'ELS avec la combinaison $G + W_{lp}$.

La somme en pourcentage du poids des lisses et des portiques correspond donc au pourcentage du bâtiment dimensionné par le vent soufflant sur le long pan.

Le tableau suivant donne le pourcentage du bâtiment dimensionné par le vent soufflant sur le long pan pour chaque réglementation :

	% du bâtiment dimensionné par le vent soufflant sur le long pan
ancienne carte avec NV65-N84/95-CM66 - site normal	79,6
ancienne carte avec NV65-N84/95-CM66 - site exposé	81,4
nouvelle carte vent avec NV65/99-N84/95-CM66 - site normal	79,6
nouvelle carte vent avec NV65/99-N84/95-CM66 - site exposé	80,8
Eurocodes - rugosité 1	77,2
Eurocodes - rugosité 2	77,8
Eurocodes - rugosité 3	78,1
Eurocodes - rugosité 4	78,6
pourcentage moyen toutes réglementations confondues	79,1

2,23. – *Corrélation entre la pression du vent et le tonnage du bâtiment*

D'après les résultats des § 2,21 et 2,22, il apparaît intéressant de savoir s'il existe une relation entre la variation de poids du bâtiment et la variation de pression du vent lors des diverses comparaisons de réglementation.

Première étape : Calcul de la variation de pression du vent

La variation en pourcentage de la pression du vent entre deux réglementations est donnée par la formule générale suivante (notre règlement de référence est celui actuellement en vigueur en France à savoir les NV65/99-N84/95 avec les CM66) :

$$\Delta_q = \left[\frac{q_{ref} \times [c_e(z_e) \times c_{pe} - c_e(z_i) \times c_{pi}]}{q_H \times \delta \times k_s \times (c_e - c_i)} - 1 \right] \times 100 \quad \text{avec } z_i = 5 \text{ m et } z_e = 10 \text{ m.}$$

La pression du vent dimensionnant les portiques courants et les lisses de notre bâtiment est modulée par le coefficient δ(6m) = 0,86 pour les NV65/99 et par le coefficient $\frac{w_{nette}}{q_{ref}} = c_e(z_e) \times c_{pe} - c_i(z_i) \times c_{pi}$ (pour chaque rugosité) de la surface du long pan frappée par le vent pour l'ENV 1991 2-4 DAN.

CHA-EC1 1-00

Deuxième étape : Variation du poids du bâtiment entre les différentes réglementations

Pour ce faire, nous avons donc superposé pour chaque comparaison de réglementations les cartes vents correspondantes et la carte neige N84/95 et nous avons calculé la variation de poids pour chaque cas se présentant.

Troisième étape : Recherche de la corrélation entre la variation de la pression vent et la variation du poids du bâtiment

En traçant les courbes «variation pression du vent-variation du poids du bâtiment» pour les différentes zones de neige, il apparaît une très forte corrélation linéaire entre la variation de la pression du vent sur le long pan et la variation du poids du bâtiment sous les zones de neige 1A, 1B, 2A, 2B et 3.

12

Cependant pour la zone de neige 4, il n'existe pas de corrélation probante entre la variation de la pression du vent et celle du poids du bâtiment, car dans certains cas le bâtiment est dimensionné par le vent sur le long pan et dans d'autres cas par la neige accidentelle (cf. tableau des combinaisons § 2,22).

Quatrième étape : Comment exploiter cette variation linéaire du poids du bâtiment en fonction de la pression dynamique de vent ?

En connaissant la variation de la pression du vent, nous pouvons en déduire une estimation de la variation du poids de notre bâtiment (s'il est dimensionné au ELS).

En effet Δpoids = pente de la droite $\times$ Δpression

La moyenne des pentes des droites est d'environ 3,6 t.m^2/daN

2,24. – *Comparaison entre la nouvelle carte vent avec les NV65/99-N84/95 (et les CM66) et les Eurocodes*

Pendant la phase de transition du passage aux Eurocodes, en France, il est possible de choisir entre la réglementation actuelle (NV65/99, N84/95 et les CM66) et la réglementation européenne (Eurocodes).

C'est pour cela que nous avons comparé le poids du bâtiment entre ces deux réglementations.

Le tableau ci-dessous donne la répartition de surface de chaque zone de vent de la carte ENV 1991-2-4 DAN sur la France métropolitaine :

répartition des zones de vent			
1	2	3	4
9 %	75 %	11 %	5 %

Le tableau ci-après résume la moyenne pondérée de la variation du poids du bâtiment entre ces deux réglementations et cela pour chaque rugosité

Cette moyenne de la variation du poids est pondérée par le pourcentage de chaque zone de vent sur la France métropolitaine.

	moyenne pondérée de la variation du poids en %
carte ENV 1991-2-4 DAN avec Eurocodes - rugosité 1 comparée à nouvelle carte vent avec NV65/99-N84/95-CM66 - site exposé	+ 14,99 %
carte ENV 1991-2-4 DAN avec Eurocodes - rugosité 2 comparée à nouvelle carte vent avec NV65/99-N84/95-CM66 - site normal	+ 14,10 %
carte ENV 1991-2-4 DAN avec Eurocodes - rugosité 3 comparée à nouvelle carte vent avec NV65/99-N84/95-CM66 - site normal	+ 5,08 %
carte ENV 1991-2-4 DAN avec Eurocodes - rugosité 4 comparée à nouvelle carte vent avec NV65/99-N84/95-CM66 - site normal	– 2,15 %

Nous pouvons donc en conclure pour notre bâtiment que pendant la phase de transition pendant laquelle nous aurons le choix entre ces deux réglementations il sera plus intéressant de construire avec les Eurocodes en rugosité 4 et de continuer à appliquer les règles françaises dans les autres cas.

2,3. – Commentaires sur l'étude

2,31. – *Influence de l'altitude*

Notre bâtiment a été dimensionné pour une altitude inférieure ou égale à 200 mètres.

Nous avons pu remarquer que pour la zone de neige 4, les portiques courants commencent à être dimensionnés aux ELU avec une combinaison faisant intervenir la neige (dans notre cas c'est la neige accidentelle avec la combinaison $G + S_a$).

Comme la pression du vent est indépendante de l'altitude, il paraît assez raisonnable de pouvoir extrapoler ces résultats au-delà de 200 mètres d'altitude (sachant que la surcharge de neige augmente avec l'altitude), et de penser que pour des altitudes supérieures à 200 mètres la combinaison dimensionnante des portiques sera, quelles que soient les zones de neige ou zones de vent, soit :

- $G + S_e$ (pour les NV65-N84/95 avec les CM66)
- $G + S_a$ ou $G + S_{ai}$
- $1{,}33G + 1{,}5S_n$ (pour les NV65-N84/95 avec les CM66)
- $1{,}35G + 1{,}5S_i$ (pour les Eurocodes)

2,311. – Cas des N84/95

Au-delà de 200 mètres d'altitude et quelle que soit la zone de neige considérée, les N84/95 donnent la loi de variation des surcharges de neige en fonction de p_{no} (sur-

CHA-EC1 1-00

charge de neige verticale normale uniformément répartie) et p'_{no} (surcharge de neige verticale extrême uniformément répartie) et de l'altitude A.

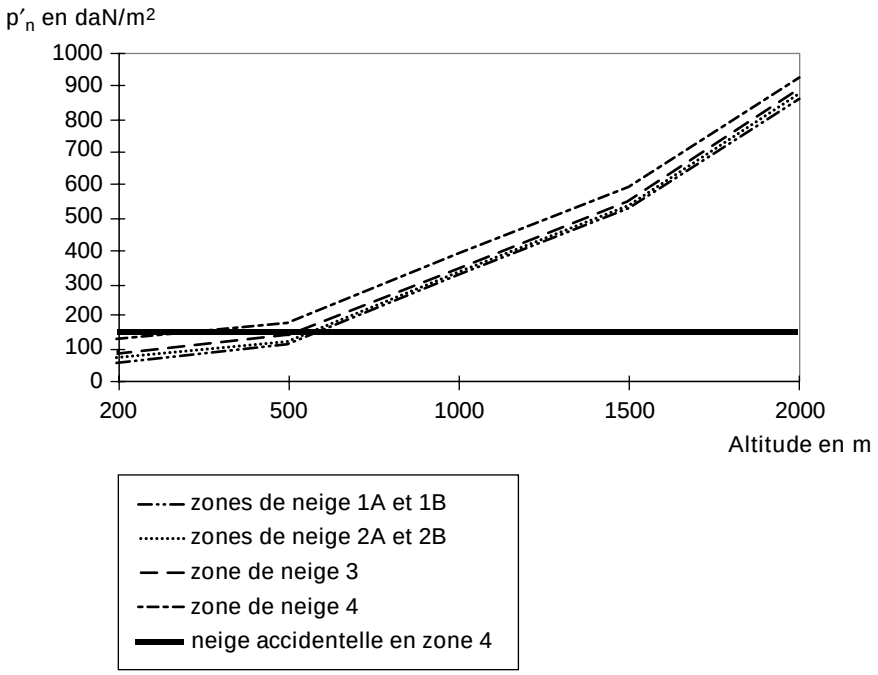
Les formules sont rappelées dans le tableau ci-dessous :

Altitude	p_n en daN/m²	p'_n en daN/m²
200 m ⩽ A ⩽ 500 m	$p_{no} + \frac{A-200}{10}$	$p'_{no} + \frac{A-200}{6}$
500 m ⩽ A ⩽ 1500 m	$p_{no} + 30 + \frac{A-500}{4}$	$p'_{no} + 50 + \frac{A-500}{2,4}$
1500 m ⩽ A ⩽ 2000 m	$p_{no} + 280 + \frac{A-1500}{2,5}$	$p'_{no} + 467 + \frac{A-1500}{1,5}$

14

La courbe d'évolution de la surcharge de la neige extrême en fonction de l'altitude intervenant dans la combinaison $G + S_e$ est la suivante. Nous avons également tracé la courbe d'évolution de la neige accidentelle pour la zone de neige 4 pour pouvoir comparer la combinaison $G + S_e$ avec $G + S_a$ (qui dimensionne notre portique).

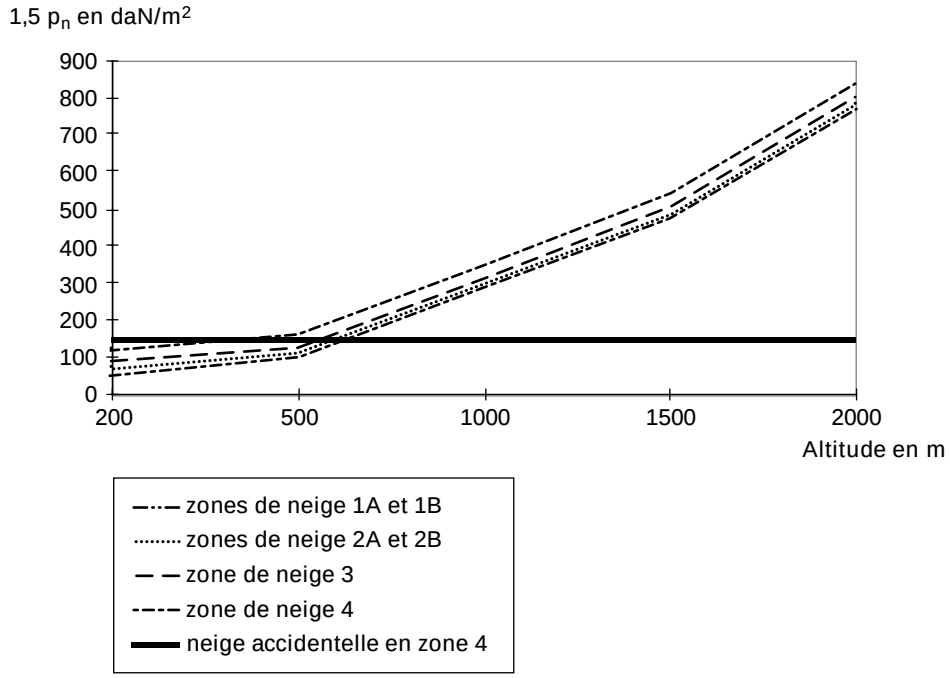
VARIATION DE p'_n (neige extrême) EN FONCTION DE L'ALTITUDE



La courbe de 1,5 × (la surcharge neige normale) intervenant dans la combinaison $1,33G + 1,5S_n$ est la suivante. Nous avons également tracé la courbe de la neige accidentelle pour la zone de neige 4 pour pouvoir comparer la combinaison $G + S_e$ avec $G + S_a$ (qui dimensionne notre portique).

CHA-EC1 1-00

VARIATION DE 1,5 p_n EN FONCTION DE L'ALTITUDE



15

D'après les 2 courbes ci-dessus, nous pouvons donc en conclure que pour les CM66, au dessus de 500 mètres d'altitude et que quelles que soient les zones de neige et les régions ou zones de vent, notre bâtiment sera dimensionné avec une combinaison aux ELU faisant seulement intervenir la neige (en effet les courbes p'_n et $1{,}5p_n$ sont au dessus de la surcharge de neige accidentelle au-delà de 500 mètres d'altitude)

Remarquons que nous pouvons extrapoler a priori nos résultats de cette manière car nos limites de flèche pour les portiques ne sont pas sévères (1/150 en tête de poteau et 1/200 au faîtage), et que de ce fait la combinaison aux ELS faisant intervenir le vent est moins défavorable que la combinaison aux ELU faisant intervenir la neige au-delà de 500 mètres d'altitude et ceci quelles que soient les régions ou zones de vent.

Nous pouvons également dire que notre bâtiment dimensionné pour la zone de neige 4 (avec la zone de vent 4 ou région de vent III) à une altitude inférieure ou égale à 200 mètres convient (même si son poids n'est pas totalement optimisé essentiellement pour l'empanage) pour les zones de neige 1, 2 et 3 jusqu'à 500 mètres d'altitude (les courbes de p'_n et de $1{,}5 \times p_n$ des zones de neige 1, 2 et 3 avec altitude $\leqslant$ 500 m sont au dessous des courbes de la neige accidentelle en zone de neige 4 avec altitude $\leqslant$ 200 m).

2,312. – Cas de l'ENV 1991-2-3 DAN

Au-delà de 200 mètres d'altitude et quelle que soit la zone de neige considérée, l'ENV 1993 2-3 DAN donne la loi de variation des surcharges de neige en fonction de s_{ko} (surcharge de neige verticale normale uniformément répartie) en kN/m² et de l'altitude A.

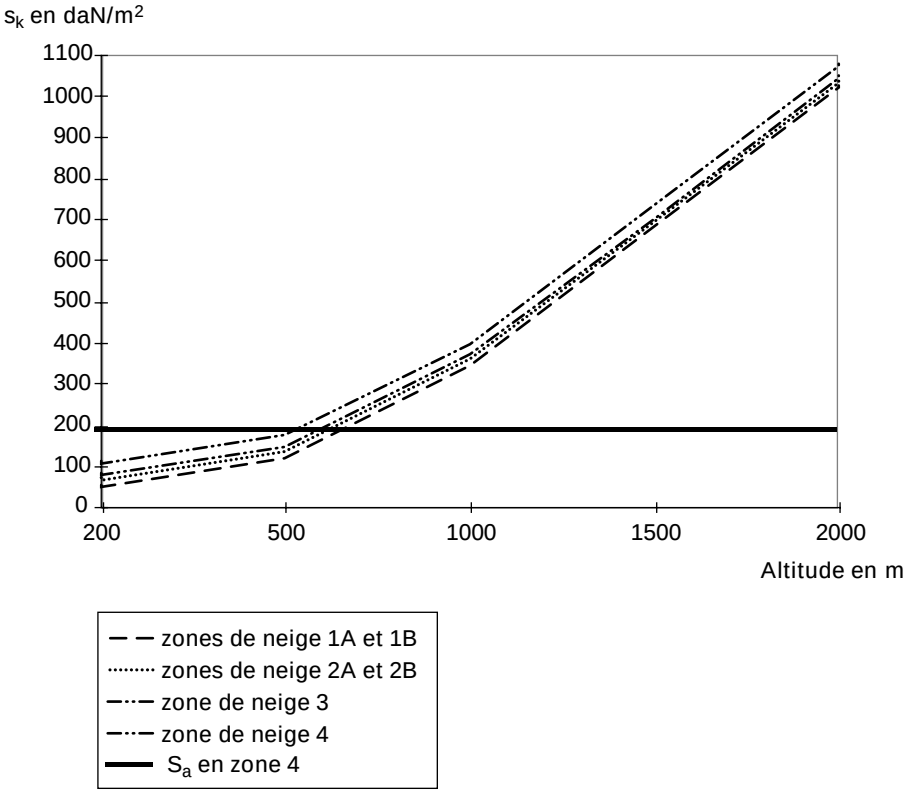
CHA-EC1 1-00

Les formules sont rappelées dans le tableau ci-dessous :

Altitude	s_k en kN/m²
200 m ⩽ A ⩽ 500 m	$s_{ko} + \frac{0{,}15A - 30}{100}$
500 m ⩽ A ⩽ 1000 m	$s_{ko} + \frac{0{,}30A - 105}{100}$
1000 m ⩽ A ⩽ 2000 m	$s_{ko} + \frac{0{,}45A - 255}{100}$

16

VARIATION DE 1,5 s_k EN FONCTION DE L'ALTITUDE



zone neige	200 m		500 m		1000 m		1500 m		2000 m	
	$1{,}5p_n$	$1{,}5s_k$	$1{,}5p_n$	$1{,}5s_k$	$1{,}5p_n$	$1{,}5s_k$	$1{,}5p_n$	$1{,}5s_k$	$1{,}5p_n$	$1{,}5s_k$
1	52,5	54	97,5	121,5	285	346,5	472,5	684	772,5	1021,5
2	67,5	66	112,5	133,5	300	358,5	487,5	696	787,5	1033,5
3	82,5	78	127,5	145,5	315	370,5	502,5	708	802,5	1045,5
4	120	108	165	175,5	352,5	400,5	540	738	840	1075,5

Nous remarquons qu'au-delà de 200 mètres, les charges de neige sont légèrement plus défavorables avec l'ENV 1991-2-3 DAN qu'avec les NV65 et N84/95.

Pour les ENV 1991-2-3 DAN, les conclusions précédentes sont donc a priori possibles.

2,32. – *Influence de la hauteur de la construction*

Il est également intéressant de comparer les lois de variation de la pression de vent en fonction de la hauteur *H* de la construction pour les réglementations NV65 et ENV 1991-2-4 DAN.

Pour les NV65, la pression du vent est modulée par le coefficient d'amplification $\left(2{,}5 \times \frac{H+18}{H+60}\right) \times k_s$.

k_s dépend du type de site : protégé, normal ou exposé.

Pour l'ENV 1991-2-4 DAN la pression du vent est modulée par le coefficient d'amplification $\frac{C_e(z)}{C_e(10)}$.

$C_e(z)$ dépend de la hauteur *H* de la construction et de la classe de rugosité.

Les courbes ci-dessous (fig 6) illustrent ces deux lois de variation dans le cas du site normal pour les NV65 qui correspond aux Classes de rugosité 2 à 4 pour l'ENV 1991-2-4 DAN.

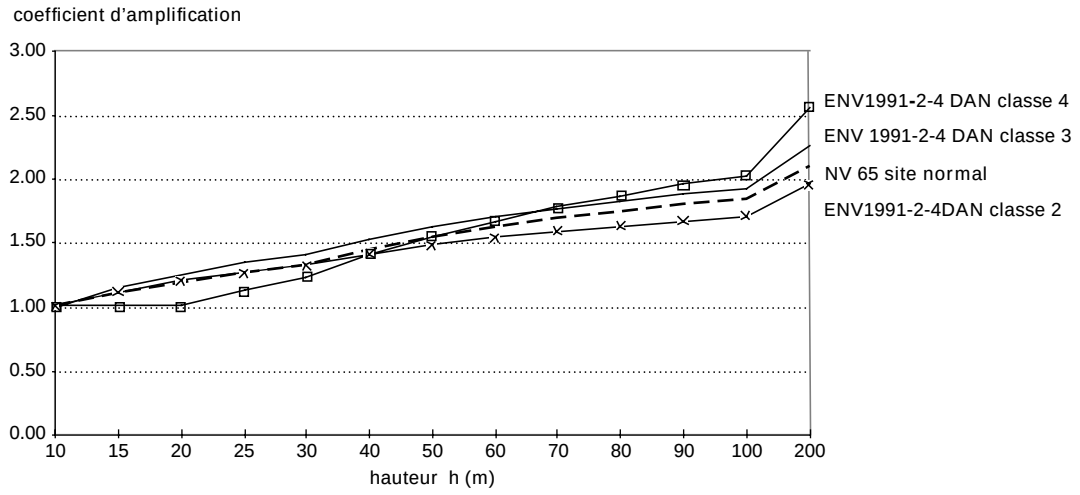


Fig. 6 – Variation des coefficients d'amplification de la pression du vent en fonction de la hauteur de la construction pour les deux réglementations.

Bien que 79 % de notre bâtiment soit dimensionné par le vent, il était donc peu intéressant de faire varier sa hauteur, car d'après les courbes ci-dessus le coefficient d'amplification de la pression du vent entre les deux réglementations varie de façon relativement similaire en fonction de la hauteur de la construction. Ainsi la hauteur de la construction pour notre cas aurait très peu d'influence sur les résultats.

Nous pouvons aussi noter l'avantage de la classe de rugosité 4 pour les bâtiments de hauteur inférieure à 40 mètres.

2,33. – *Définition du site exposé et de la rugosité 1*

18

Notre étude montre que globalement notre bâtiment est en moyenne 8 % plus lourd avec l'ENV 1991-2-4 DAN et les Eurocodes 1 et 3 qu'avec les NV65-N84/95 et CM66. Cependant, il apparaît qu'avec la définition de la rugosité 1 correspondant au site exposé, il est possible de gagner énormément de poids en passant du site exposé des NV65 à la rugosité 4 de l'Eurocode 1. En effet, la rugosité 1 pour notre bâtiment s'étend dans une bande de 500 mètres sur le littoral alors que le site exposé s'étend sur une bande de 6 kilomètres sur le littoral. Il existe donc une bande de 5,5 kilomètres de large où il est théoriquement possible de passer de la notion de site exposé à la notion de rugosité de Classe 2 à 4. Dans ce cas le passage à la réglementation européenne peut être favorable voire même très favorable.

2,34. – *Remarques sur les modes de calcul des pressions du vent*

La définition même de la pression dynamique de référence de l'ENV 1991 2-4 DAN et de pression de base des règles NV65 diffèrent. La vitesse de base des règles NV65 correspond à une vitesse de pointe alors que la vitesse de référence de l'ENV correspond à une vitesse moyenne sur 10 minutes.

Cette pression dynamique est multipliée par différents coefficients propres à chaque réglementation pour obtenir une force par unité de surface.

	Règles NV65	ENV 1991 2-4 DAN
pression dynamique prise comme référence	q_o	q_{ref}
coefficient multiplicateur de la pression dynamique prise comme référence	k_s x $(c_e - c_i)$	$c_e(z_e) \times c_{pe} - c_e(z_i) \times c_{pi}$

Nous considérerons, ce qui est possible pour un bâtiment fermé, $c_e(z_e) = c_e(z_i) = c_e(10\ \text{m})$.

On trouve pour la France les valeurs moyennes suivantes :

site normal : $(k_s \times q_o)$ moyen	64,2 daN/m^2
site exposé : $(k_s \times q_o)$ moyen	84,1 daN/m^2
rugosité 1 : $(c_e(10) \times q_{ref})$ moyen	120,0 daN/m^2
rugosités 2,3 et 4 : $(c_e(10) \times q_{ref})$ moyen	81,3 daN/m^2

D'où sur la France métropolitaine :

	$\frac{(c_e(10) \times q_{ref})_{moyen}}{(k_s \times q_0)_{moyen}}$
site exposé - rugosité 1	1,43
site normal - rugosités 2, 3 et 4	1,27

Cette comparaison n'a de sens qu'accompagnée des coefficients aérodynamiques c_{pe}, c_{pi}, c_e et c_i dont les valeurs diffèrent entre les deux règlements.

Nous avons donc calculé (c_{pe} – c_{pi}) et (c_e – c_i) pour notre bâtiment et le rapport $\frac{c_{pe} - c_{pi}}{c_e - c_i}$

Enfin nous avons multiplié les valeurs ainsi trouvées par le coefficient $\frac{(c_e(10) \times q_{ref})_{moyen}}{(k_s \times q_0)_{moyen}}$

Le tableau ci-dessous donne la variation de la pression dynamique du vent entre le calcul fait avec les NV65 et l'ENV 1991 2-4 DAN.

	Site exposé - Rugosité 1		Site normal - Rugosités 2, 3 et 4	
	Vent sur long pan	Vent sur pignon	Vent sur long pan	Vent sur pignon
Surface D	+ 42 %	+ 22 %	+ 26 %	+ 8 %

Nous pouvons en conclure que l'ENV 1991 2-4 DAN majore, a priori, en moyenne de façon assez importante la pression du vent à appliquer sur le bâtiment par rapport aux NV65.

Sans toutefois pouvoir généraliser de façon certaine ce résultat, on peut penser que le mode de calcul des pressions dynamiques du vent avec l'ENV 1991 2-4 DAN donne des pressions de vent supérieures à celles calculées par les NV65.

2,35. – *Commentaires sur les Eurocodes*

2,351. – Commentaires sur l'ENV 1991 2-4 DAN

- La définition des classes de rugosité n'est pas toujours aisée, notamment lorsqu'il s'agit de différencier les classes de rugosité 3 et 4 (problème d'interprétation).
- La définition par l'ENV 1991-2-4 DAN des coefficients de pression intérieure c_{pi} et de pression extérieure c_{pe} manque de clarté (paramètres subjectifs).
- L'ENV 1991-2-4 DAN définit également des zonages de la toiture et des murs où la pression du vent est nettement supérieure aux parties courantes du bâtiment.

En effet pour la toiture, la pression du vent sur la surface *F* est en moyenne 3,5 fois plus grande que sur la surface *H*, et pour les murs la pression du vent sur la surface *A* est en moyenne 2,5 fois plus importante que sur la surface *C*.

La définition de ces surfaces pourrait s'apparenter aux surfaces des actions locales définies par les NV65, mais ces surfaces semblent trop grandes pour être considérées comme telles ce qui pose un problème d'application.

20

2,352. – Commentaires sur l'ENV 1993 1-1 DAN

Lors de la vérification des éléments, nous avons pu vérifier, que la condition de non déversement des éléments fléchis était très souvent dimensionnante.

Par ailleurs les vérifications de résistance et de rigidité des assemblages, bien que non exposées dans ce document, se sont avérées satisfaisantes et tout à fait compatibles avec le dimensionnement des éléments.

3. – CONCLUSION

Cette étude simple permet de mettre en évidence l'influence des changements intervenus récemment et ceux à venir :

- *Changement de carte :* globalement, le poids du bâtiment ne varie pas (moyenne sur la France) ce qui était prévu lors de l'établissement de la carte.

- *Passage de la carte des NV65/99 aux Eurocodes :*

L'analyse dépend de la classe de rugosité ; en effet le site normal des NV correspond à trois classes différentes.

– par rapport à la classe de rugosité 2 : + 14,10 % d'augmentation

– par rapport à la classe de rugosité 3 : + 5,08 % d'augmentation

– par rapport à la classe de rugosité 4 : – 2,15 % de diminution.

- *Passage direct de l'ancienne carte des NV65 aux Eurocodes :*

– par rapport à la classe de rugosité 2 : + 15 % d'augmentation

– par rapport à la classe de rugosité 3 : + 6.5 % d'augmentation

– par rapport à la classe de rugosité 4 : – 2,94 % de diminution.

D'une façon générale, les forces de vent cinquantenal à considérer en rugosité 2 sont fortement pénalisantes. Cependant le coefficient de réduction utilisé en rugosité 3 et 4 (représentant 70 % des constructions) permet aux bâtiments d'avoir un poids proche de celui calculé avec les règlements actuels (voire d'être plus léger en rugosité 4).

Ainsi, l'étude montre les évolutions de structures dues aux changements obligatoires des charges réglementaires de vent. Il serait, de plus, intéressant de pousser la comparaison en optimisant l'espacement des pannes et des lisses en fonction des zones de vent et neige.

4. – BIBLIOGRAPHIE

[1] **Règles CM66 (DTU P22-701) :** *Règles de calcul des Constructions en Acier*. Édition Eyrolles 1979.

[2] **ENV 1993-1-1 DAN :** *Calcul des structures en acier et document d'application nationale, partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments*; décembre 1992.

[3] **Règles NV65 et N84 modifiées 95 :** *Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions et annexes, douzième édition*. Eyrolles.

[4] **DTU P 06-002 :** *Règles NV65 définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions et annexe*; décembre 1999.

[5] **ENV 1991-2-3 DAN :** *Bases de calcul et actions sur les structures et document d'application nationale, actions sur les structures - charges de neige*. Norme expérimentale; AFNOR, octobre 1997.

[6] **ENV 1991-2-4 DAN :** *Bases de calcul et actions sur les structures et document d'application nationale, actions sur les structures - actions du vent.* Norme expérimentale; CEN, mars 1998.

[7] **Jacques BIETRY :** *l'Eurocode 1 partie 2.4. présentation et éléments de comparaison avec les règles NV 65.* Revue construction métallique n° 2 - 1999.