

# CALCUL DES STRUCTURES : LES NOUVELLES COMBINAISONS D'ACTION

S.M.K EL HASSAR  
S. SAKHRAOUI  
Centre National d'Etudes  
et de Recherches Intégrées  
du Bâtiment

## RÉSUMÉ

En matière de calcul des structures, les règles actuelles fondées sur les vérifications aux contraintes admissibles sont remplacées progressivement par les nouveaux règlements qui s'appuient sur les vérifications aux états limites. Cet article présente les nouvelles combinaisons d'actions qui accompagnent ces nouveaux règlements. L'accent est mis plus particulièrement sur les combinaisons d'actions relatives aux structures métalliques et en béton armé.

## MOTS CLÉS

Génie civil • structure • calcul  
• réglementation • action

## 1. Les combinaisons d'actions dans les règles actuelles

### 1.1 Structures en béton armé

On distingue deux types de combinaisons d'actions pour les structures en béton armé [1] :

□ les combinaisons dites du premier genre :

$$G + 1,2 Q + T \quad (1)$$

$$G + Q + C_n + T \quad (2)$$

□ les combinaisons dites du second genre :

$$G + 1,5 Q + 1,5 C_n + T \quad (3)$$

$$G + Q + \gamma_w C_e + T \quad (4)$$

où :

- G représente les charges permanentes,
- Q représente les surcharges d'exploitation,
- T représente l'action de la température ; très souvent, les dispositions constructives (joints de dilatation) permettent de ne pas considérer cette action ;
- $C_n$  représente les surcharges climatiques "normales" ;
- $C_e$  représente les surcharges climatiques "extrêmes".

$\gamma_w$  [1] est un coefficient égal à :

$$- 1 \text{ lorsque } \frac{Q_{\max}}{G} \leq 0,2 ;$$

$$- 1,10 - 0,5 \times \frac{Q_{\max}}{G} \text{ lorsque } \frac{Q_{\max}}{G} > 0,2 .$$

où  $Q_{\max}$  représente la surcharge d'exploitation la plus défavorable. Pour les constructions usuelles,  $\gamma_w$  varie entre 0,9 et 1. Très souvent,  $\gamma_w$  est pris égal à 1 dans les calculs de vérification à la résistance.

Aux combinaisons précitées, s'ajoutent celles tirées de la réglementation parasismique algérienne (RPA) [2] :

$$G + Q + E \quad (5)$$

$$0,8 G + E \quad (6)$$

$$G + Q + 1,2 E \quad (7)$$

où E représente les effets du séisme.

La combinaison 7 concerne plus particulièrement la vérification des poteaux dans les structures autostables [2].

Pour les structures en béton armé, l'usage est de ne pas considérer les effets combinés de la neige et du vent, bien que les règles N.V. 65 [3] préconisent, suivant les dispositions de la toiture, de prévoir la simultanéité de ces deux actions.

Les règles N.V. 65 [3] proposent les vérifications suivantes :

- surcharge normale ou extrême du vent, accompagnée de la surcharge normale ou extrême de la neige réduite de moitié lorsque la répartition de la neige est considérée uniforme sur toute la toiture ;

- surcharge extrême du vent, accompagnée de la valeur normale de la neige sans réduction pour les toitures rendant impossible l'enlèvement de la neige (sheds, terrasse avec acrotère, etc.) ;

- surcharge normale ou extrême du vent, accompagnée de la surcharge normale ou extrême de la neige réduite de moitié mais disposée de la manière la plus défavorable sur la toiture dans le cas où la répartition de la neige est considérée non uniforme sur la toiture.

### 1.2 Structures métalliques

Pour les structures en acier, la vérification de la résistance des éléments conduit à rechercher les valeurs les plus défavorables des combinaisons d'actions suivantes [4] :

$$4/3 (G + T) \quad (8)$$

$$4/3 (G + T) + 3/2 S_{n_n} \quad (9)$$

$$4/3 (G + T) + 3/2 W_n \quad (10)$$

$$4/3 (G + T) + 17/12 (W_n + S_{n_{nr}}) \quad (11)$$

$$4/3 (G + T) + 17/12 (W_n + Q) \quad (12)$$

$$4/3 (G + T) + 17/12 (S_{n_n} + Q) \quad (13)$$

$$4/3 (G + T + S_{n_{nr}} + W_n) \quad (14)$$

$$G + T + Q + S_{n_{er}} + W_e \quad (15)$$

$$G + T + Q + S_{n_e} \quad (16)$$

où :

- $S_{n_n}$  représente les surcharges normales de neige,
- $S_{n_{nr}}$  représente les surcharges normales de neige réduites de moitié,
- $S_{n_e}$  représente les surcharges extrêmes de neige,
- $S_{n_{er}}$  représente les surcharges extrêmes de neige réduites de moitié,
- $W_n$  représente les surcharges normales de vent,
- $W_e$  représente les surcharges extrêmes de vent.

Les combinaisons 5, 6 et 7 tirées du RPA [2] sont bien entendu applicables aux structures métalliques.

## 2. Les combinaisons d'action dans les nouvelles règles

### 2.1 Principes

Les nouvelles règles admettent un comportement élasto-plastique des matériaux. Le calcul est mené en considérant deux états limites [5] :

- les états limites ultimes (ELU) qui sont associés à un effondrement de la structure ;
- les états limites de service (ELS) qui sont associés à des conditions au-delà desquelles les exigences d'aptitude au service spécifiées pour une structure ne sont plus satisfaites.

#### 2.1.1 Etats limites ultimes

##### • Situations de projets durables et transitoires

Dans le cadre de situations de projets durables et transitoires, les combinaisons d'actions aux ELU (dites fondamentales) comprennent soit :

- les actions permanentes seules,
- les actions permanentes, une action variable dite de base, et s'il y a lieu une ou plusieurs actions dites d'accompagnement avec leurs valeurs de combinaisons.

On utilise l'expression suivante :

$$\sum_j (\gamma_{G,j} \times G_j + \gamma_{Q_1} \times Q_1) + \sum_{i>1} (\gamma_{Q_i} \times \psi_{0,i} \times Q_i)$$

où :

- $G$  est la valeur caractéristique de l'action des charges permanentes ;
- $Q_1$  est la valeur caractéristique de l'action variable de base ;
- $\psi_{0,i} \times Q_i$  est la valeur de combinaison de l'action variable d'accompagnement  $Q_i$  ;
- $\gamma$  est un coefficient dit partiel (de sécurité ou d'aptitude au service).

##### • Situations de projets accidentelles

Dans le cadre des situations de projets accidentelles, les combinaisons d'actions comprennent les actions permanentes, une action accidentelle, et s'il y a lieu une ou plusieurs actions variables avec leurs valeurs fréquentes ou quasi-permanentes.

On utilise l'expression suivante :

$$\sum_j (\gamma_{G,j} \times G_j) + A_d + (\psi_{1,1} \times Q_1) + \sum_{i>1} (\psi_{2,i} \times Q_i)$$

où :

- $A_d$  est la valeur de calcul de l'action accidentelle,
- $\psi_{1,1} \times Q_1$  est la valeur fréquente de l'action variable de base,
- $\psi_{2,i} \times Q_i$  est la valeur quasi-permanente de l'action variable d'accompagnement  $i$ .

On retient bien entendu la plus défavorable de ces combinaisons.

#### 2.1.2 Etats limites de service

Les états limites de service (ELS) considèrent trois combinaisons d'actions et sont définies symboliquement par les expressions suivantes :

- Combinaison caractéristique (ou rare)

$$\sum_{j \geq 1} G_j + Q_1 + \sum_{i > 1} (\psi_{0,i} \times Q_i)$$

## BIBLIOGRAPHIE

[1] Groupe de coordination des textes techniques- règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et construction en béton armé - Règles CC BA 68 - DTU, Editions Eyrolles.

[2] Ministère de l'urbanisme et de la construction - règles parasismiques algériennes RPA 88- DTR B-C 248, CGS, Alger, octobre 1988.

[3] Groupe de coordination des textes techniques - Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions et annexes- Règles N.V.65 - DTU Editions Eyrolles, 1978.

[4] Groupe de coordination des textes techniques - Règles de calcul des constructions en acier - C.M. 66 - DTU Editions Eyrolles, France 1979.

[5] Commission de Normalisation - Eurocode 1 - Base de calcul et actions sur les structures et document d'application nationale - partie 1 : Bases de calcul - AFNOR, France 1996.

[6] Ministère de l'urbanisme et de la construction - Règles parasismiques algériennes RPA 99- DTR B-C 248, CGS, Alger, 1998.

[7] Ministère de l'habitat - Règles de conception et de calcul des structures en béton armé - C.B.A. 93 - DTR B-C 241, CGS, Alger, décembre 1993.



- Combinaison fréquente

$$\sum_{j \neq i} G_j + (\psi_{1,i} \times Q_i) + \sum_{l \neq i} (\psi_{2,l} \times Q_l)$$

- Combinaison quasi permanente

$$\sum_{j \neq i} G_j + \sum_{l \neq i} (\psi_{0,l} \times Q_l)$$

Dans le cas des bâtiments, les combinaisons caractéristiques et fréquentes peuvent être simplifiées ainsi :

$$\sum_{j \neq i} G_j + Q_i$$

$$\sum_{j \neq i} G_j + 0,9 \times \sum_{l \neq i} (Q_l)$$

Remarques importantes :

- Dans la nouvelle approche, il n'y a pas de distinction faite selon la nature de la structure (en béton armé, en acier). Seules changent les valeurs des coefficients partiels de sécurité ( $\gamma$ ) et les valeurs des coefficients de combinaisons ( $\psi$ ).

- Les combinaisons d'actions simplifiées peuvent être du côté de l'insécurité lorsqu'il s'agit de les utiliser pour le dimensionnement.

- S'ajoutent à ces combinaisons celles prenant en compte les effets sismiques qui sont définies dans les règles RPA 99 [6].

## 2.2 Exemples de combinaisons

### 2.2.1 Valeurs des coefficients

Les règles C.B.A. 93 [7] fixent pour les ELU :

- $\gamma_G = 1$  ou  $\gamma_G = 1.35$
- $\gamma_{Q,1} = 0$  ou  $\gamma_{Q,1} = 1.5$  (action variable de base)
- $\gamma_{Q,i} = 0$  ou  $\gamma_{Q,i} = 1.3$  (action variable d'accompagnement).

Les règles C.C.M.97 [8] fixent pour les ELU :

- $\gamma_G = 1$  ou  $\gamma_G = 1,35$
- $\gamma_{Q,1} = 0$  ou  $\gamma_{Q,1} = 1,5$  (action variable de base)
- $\gamma_{Q,i} = 0$  ou  $\gamma_{Q,i} = 1,5$  (action variable d'accompagnement).

Les règles N.V. 99 [9] fixent les valeurs de  $\psi$  relatives aux surcharges climatiques (voir tableau 1 ci-dessous). Ces valeurs annulent celles fixées, à titre transitoire, dans les règles C.B.A. 93 [7] et C.C.M. 97 [8].

	Neige et Sable	Vent
$\psi_0$	0,6	0,6
$\psi_1$	0,2	0,5
$\psi_2$	0	0

Tableau 1 : Coefficients  $\psi$  [9]

Les coefficients  $\psi$  relatifs aux surcharges d'exploitation sont donnés dans les règles CCM 97 [8] à titre transitoire.

Type de bâtiment	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
habitation, résidentiel	0.7	0.5	0.3
bureaux, commerces	0.7	0.7	0.6
stockage	1	0.9	0.8

Tableau 2 : Coefficients  $\psi$  - Surcharges d'exploitation [5, 8]

### 2.2.2 Structures en béton armé

Dans les calculs de vérification à la résistance (ELU), quelques combinaisons d'actions parmi les plus significatives sont données ci-dessous à titre d'exemples (cas d'un bâtiment) :

Pas d'action variable

$$1.35 \times G$$

Action variable de base : surcharges d'exploitation (Q)

$$(1.35 \times G) + (1.5 \times Q)$$

$$(1.35 \times G) + (1.5 \times Q) + [(1.3 \times 0.6) \times S_n]$$

$$(1.35 \times G) + (1.5 \times Q) + [(1.3 \times 0.6) \times S_n] + [(1.3 \times 0.6) \times W]$$

Action variable de base : vent (W)

$$(1.35 \times G) + (1.5 \times W) + [(1.3 \times 0.7) \times Q]$$

$$(1.35 \times G) + (1.5 \times W) + [(1.3 \times 0.7) \times Q] + [(1.3 \times 0.6) \times S_n]$$

$$(1.35 \times G) + (1.5 \times W) + [(1.3 \times 0.7) \times Q] + [(1.3 \times 0.6) \times S_a]$$

Action variable de base : neige (Sn)

$$(1.35 \times G) + (1.5 \times S_n) + [(1.3 \times 0.7) \times Q]$$

$$(1.35 \times G) + (1.5 \times S_n) + [(1.3 \times 0.7) \times Q] + [(1.3 \times 0.6) \times W]$$

où :

- G désigne les charges permanentes,
- Q désigne les surcharges d'exploitation,
- Sn désigne l'action de la neige,
- W désigne l'action du vent,
- Sa désigne l'action du sable.

### 2.2.3 Structures métalliques

Dans les calculs de vérification aux états limites de service, quelques combinaisons d'actions parmi les plus significatives sont données ci-après à titre d'exemples (cas d'un bâtiment) :

♦ **Combinaisons simplifiées - Situation de projet avec une seule action variable**

$$G + Q$$

$$G + S_n$$

$$G + W$$

♦ **Combinaisons simplifiées - Situation de projet avec deux actions variables ou davantage**

$$G + 0,9 \times (Q + S_n)$$

$$G + 0,9 \times (Q + W)$$

$$G + 0,9 \times (S_n + W)$$

$$G + 0,9 \times (Q + S_n + W)$$

♦ **Combinaisons rares**

$$G + Q + (0,6 \times S_n)$$

$$G + Q + (0,6 \times W)$$

♦ **Combinaisons fréquentes**

$$G + (0,5 \times Q) + (0 \times S_n)$$

$$G + (0,2 \times S_n) + (0,3 \times Q)$$

### 3. Conclusion

La vérification aux états limites (ultimes et de service) fait intervenir un nombre plutôt important de combinaisons d'actions, ce qui pourrait avoir une incidence sur les délais des études et du contrôle. Ainsi, il nous semble nécessaire :

- ♦ d'informatiser la détermination des combinaisons d'actions en tenant compte du contexte local (zones de sable, zones sismiques et zones de vent) ;

- ♦ de proposer des combinaisons simplifiées obtenues après des études statistiques, lesquelles seraient menées par des organismes habilités. Il faut souligner qu'il existe toujours un risque à utiliser de telles combinaisons qui peuvent affecter soit la sécurité de l'ouvrage, soit l'économie du projet. Actuellement, les différents coefficients ( $\gamma_G$ ,  $\gamma_Q$ ,  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  et  $\psi_2$ , etc.) sont donnés (parfois à titre transitoire) dans différents règlements (CBA 93 [7], CCM97 [8], R.N.V. 99 [9], R.P.A. 99 [6]). Il serait utile de prévoir un DTR regroupant d'une part l'ensemble des combinaisons à mener lors de calculs structuraux, et d'autre part l'ensemble des valeurs des différents coefficients ( $\gamma$  et  $\psi$ ). En outre, ce DTR définirait le nouveau concept (états limites) et toute la terminologie y afférente.

Les combinaisons définies dans les nouveaux DTR font intervenir des valeurs des coefficients partiels de sécurité ( $\gamma$ ) et des coefficients de combinaisons ( $\psi$ ) tirés de l'Eurocode [5] qui ne prévoit pas l'action du sable, et par conséquent sa concomitance avec les autres actions ■



[8] Ministère de l'habitat - Règles de conception et de calcul des structures en acier - C.C.M. 97 - DTR B-C 2.44, CGS, Alger, 1998.

[9] Ministère de l'habitat - Règles Neige et Vent - R.N.V. 99 - DTR C 2.47, CNERIB, Alger, 1999.