

## Général

Pour vérifier les exigences en matière de résistance d'une structure au feu normalisé (courbe d'échauffement ISO 834), une analyse par éléments est suffisante. [§ 2.4.1]

Seuls les effets des déformations thermiques dues aux gradients thermiques sur la section droite sont à prendre en compte. Les effets des dilatations thermiques axiales peuvent être négligés. [§ 2.4.2]

Les actions indirectes dues à des éléments adjacents ne doivent pas être prises en compte lorsque les exigences de sécurité au feu se réfèrent à des éléments soumis à la courbe d'échauffement standard. Cela veut dire qu'il est admis de supposer qu'il n'y a pas d'entrave aux appuis. Cependant, les actions indirectes dues à des contraintes thermiques internes doivent de toute façon être prises en compte. Pour une colonne, la courbure thermique (due aux gradients thermiques) crée une excentricité de la charge verticale. L'action indirecte est l'accroissement du moment fléchissant dû à cet effet de second ordre.

[§ 4.2.2, NBN EN 1991-1-2:2003 + ANB:2008]

*L'allongement (produit par la dilatation thermique) d'une poutre, qui appuie sur une colonne, peut donc être négligé pour le calcul de cette colonne.*

*Il est admis de supposer que les conditions d'appui sont invariables et identiques à celle à l'état froid.*

*La norme ne contient pas de directives pour calculer la courbure thermique. Une colonne exposée au feu sur tous les côtés ne présente aucune courbure thermique.*

## Méthode de calcul simplifiée: méthode de l'isotherme à 500 °C

### • Domaine d'application

Cette méthode est applicable à une exposition au feu normalisé et à tout autre régime température-temps entraînant des champs de température similaires dans la colonne. [§ B.1.1]

Cette méthode peut être utilisée pour le calcul de la résistance aux moments fléchissants et aux efforts normaux. [§ 4.2.1]

Cette méthode est applicable aux colonnes en béton armé et précontraint. [§ 4.2.3]

Cette méthode est valable pour les largeurs minimales de la colonne données dans le tableau ci-dessous.

[§ B.1]

Résistance au feu	R60	R90	R120	R180	R240
Largeur minimale (mm)	90	120	160	200	280

### • Principe

Utiliser des méthodes de calcul conventionnelles pour déterminer la capacité portante ultime selon la section droite réduite du béton et la résistance réduite de l'armature, et le comparer au moment fléchissant. [§ B.1]

*En l'absence de directives pour le calcul de la courbure thermique, il pourrait être supposé que la colonne est exposée de tous les côtés. La section droite est donc réduite de tous les côtés.*

L'évaluation d'une colonne en conditions d'incendie, en tant qu'élément isolé, peut être effectuée en utilisant la méthode basée sur la courbure nominale (voir § 5.8.8 de NBN EN 1992-1-1:2004 + ANB:2010). [§ B.3.1]

La longueur efficace en conditions d'incendie,  $l_{o,fi}$ , peut être supposée égale à  $l_0$  à température normale à titre de simplification conservative. [§ B.3.1]

Pour les structures contreventées avec colonnes continues et planchers constituant un compartimentage,  $l_{o,fi}$  peut être prise égale à  $0,5.l$  pour les étages intermédiaires et  $0,5.l \leq l_{o,fi} \leq 0,7.l$  pour l'étage supérieur. Dans le cas d'une colonne articulée aux extrémités,  $l_{o,fi}$  peut être prise égale à  $1,0.l$ . Pour les structures non contreventées, il convient de retenir pour  $l_{o,fi}$  la valeur minimale entre  $2,0.l$  et  $l_0$ . Avec 'l' la longueur réelle de la colonne (axe à axe).

[§ 5.3.2, NBN EN 1992-1-2:2005 + annexe C, NBN EN 1992-1-2:2004/A1:2019]

*Ceci est valable pour les constructions sans parois (verticale) de compartiment dans lesquelles toutes les colonnes ont la même rigidité.*

Les valeurs de calcul des propriétés mécaniques des matériaux:  $X_{d,fi} = k_{\theta} \cdot X_k / \gamma_{M,fi}$ . [§ 2.3]

Les coefficients partiels de sécurité pour les propriétés des matériaux:  $\gamma_{s,fi} = \gamma_{c,fi} = 1,0$ . [§ 2.3]

La Combinaison d'actions pour situations de projet accidentelles:

$$E_{d,fi} = E(G_{k,j}; A_d; (\psi_{1,1} \text{ of } \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1}; \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}) \quad [\S 6.4.3.3, NBN EN 1990:2002 + ANB:2013]$$

avec:  $A_d$  = la valeur de calcul des effets indirectes de l'action thermique = 0

*Même si l'action thermique est nulle, l'effet de la courbure thermique doit être pris en compte.*

$Q_{k,1}$  = la valeur caractéristique de l'action variable dominante ( $\psi_{1,1}$  en cas de vent)

## • Distribution de température

[annexe A]

Les figures A.11 à A.20 sont uniquement valables pour le béton avec des granulats calcaires.

Sont considérés comme granulats calcaires ceux contenant au moins 80 % en masse de granulats calcaires. Par granulats, il faut entendre les gros granulats, à l'exclusion du sable ( $D_{max} \leq 4 \text{ mm}$ ). [3.2.2.1]

## • Section droite réduite

[§ B.1]

Le béton à des températures supérieures à 500 °C est supposé ne pas contribuer à la capacité portante, le béton plus froid que 500 °C conserve sa résistance initiale à 20 °C ( $f_{cd,fi}(20) = \alpha_{cc} \cdot f_{ck}$ ;  $\epsilon_{cu,fi}(20) = \epsilon_{cu} = 0,0035$  pour un béton < C55/67).

$$\alpha_{cc} = 0,85 \quad [\S 5.3.2]$$

La nouvelle largeur  $b_{fi}$  et la nouvelle hauteur effective  $d_{fi}$  doivent être déterminées en excluant le béton situé en dehors de l'isotherme à 500 °C (figure B.1-c).

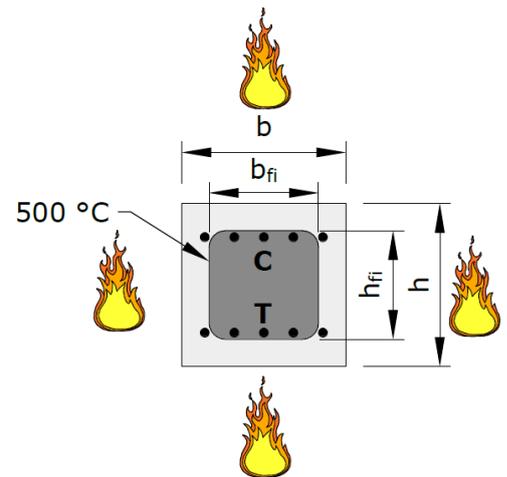


Figure B.1-c

## • Résistance réduite de l'armature

Les armatures situées en dehors la section droite réduite peuvent être prises en compte dans le calcul de la capacité portante ultime. [§ B.1.2]

Armatures de béton armé:  $f_{sy,\theta} = k_s(\theta) \cdot f_{yk}$  [figure 4.2a]

$$\epsilon_{st,\theta} = 0,15 \quad [\text{figure 3.3, classe B } (\epsilon_{uk} \geq 5,0 \%) ]$$

$$E_{s,\theta} = k_s(\theta) \cdot E_s \quad [\text{tableau 3.2a}]$$

Acier de précontrainte:  $f_{py,\theta} = k_p(\theta) \cdot (0,95 \cdot f_{pk})$  [figure 4.3, classe A est normative]

$$\epsilon_{pt,\theta} = 0,05 \text{ à } 20 \text{ °C et } 0,10 \text{ à } 1200 \text{ °C} \quad [\text{tableau 3.3}]$$

$$E_{p,\theta} = k_p(\theta) \cdot E_p \quad [\text{tableau 3.3}]$$

## Valeurs tabulées

### • Domaine d'application

Les valeurs tabulées sont indiquées pour les structures contreventées. Pour les structures non contreventées, il est admis d'utiliser les valeurs à condition:

- de respecter les limites indiquées pour la longueur efficace  $l_{o,fi}$  et l'élançement  $\lambda_{fi}$ ;
- de prendre pour  $M_{oEd,fi}$  la valeur maximale, sur la longueur de la colonne, du moment du premier ordre. [§ 5.3.1]

Les tableaux s'appliquent aux bétons réalisés à partir de granulats siliceux et calcaires. [§ 5.1]

*Contrairement aux poutres, il n'est pas permis de réduire les dimensions minimales de la section droite, reprises au sein des tableaux, pour les colonnes avec des granulats calcaires.*

Les tableaux s'appliquent aux sections rectangulaires et circulaires. [§ 5.3]

### • Général [§ 5.2]

Les tableaux sont fondés sur une température critique de 500 °C et sur une quantité d'armatures  $A_{s,prov} = A_{s,req}$ .

Les tableaux indiquent les valeurs minimales de la largeur de la colonne 'b' et des distances de l'axe des armatures 'a' aux parements en fonction de la résistance au feu (figure 5.2). Il est possible d'effectuer des interpolations linéaires entre les valeurs. Les distances de l'axe des armatures 'a' sont des valeurs nominales.

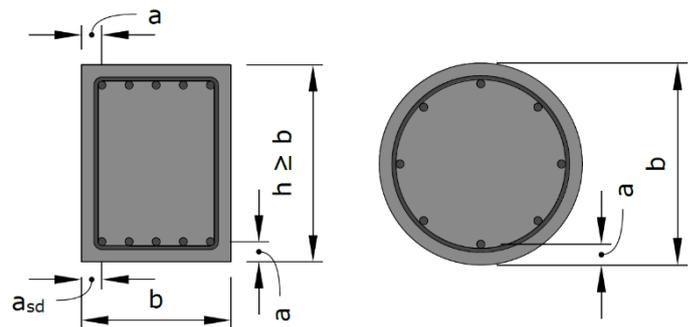


Figure 5.2

Lorsque  $A_{s,prov} = A_{s,req}$  :

- la température critique des armatures de béton armé est 500° C
- la température critique des fils et les torons de précontrainte est 350°C, nécessitant la prise en compte d'une augmentation de l'axe des armatures de 15 mm par rapport aux valeurs reprises au sein des tableaux.

Lorsque le ferrailage est organisé en plusieurs lits, il convient que la distance moyenne de l'axe des armatures 'a<sub>m</sub>' aux parements ne soit pas inférieure à la distance minimale de l'axe des armatures 'a<sub>min</sub>'.

### • Méthode A [§ 5.3.2]

La méthode est applicable pour les colonnes en béton armé et précontraint qui sont principalement soumises à la compression.

Les valeurs minimales du tableau 5.2.a.1-ANB et 5.2.a.2-ANB sont valables pour:

- $l_{o,fi} = l_o \leq 2$  m (tableau 5.2.a.1-ANB) et  $\leq 3$  m (tableau 5.2.a.2-ANB)
- $e = M_{oEd,fi} / N_{oEd,fi} \leq 0,4$  h ou  $0,4$  b
- $A_s < 0,04 A_c$

Le facteur de réduction  $\eta_{fi} = E_{d,fi}/E_d$  peut être utilisé à la place de  $\mu_{fi} = N_{Ed,fi}/N_{Rd}$ .

Le tableau ci-dessous est seulement un extrait du tableau 5.2.a.2-ANB ( $l_{o,fi} \leq 3$  m).

R	Exposé sur plus d'un côté						Exposé sur un seul côté	
	b <sub>min</sub> (mm)	a <sub>min</sub> (mm)						b <sub>min</sub> (mm)/a <sub>min</sub> (mm)
		$\mu_{fi} = 0,2$		$\mu_{fi} = 0,5$		$\mu_{fi} = 0,7$		
		n=4	n=8	n=4	n=8	n=4	n=8	$\mu_{fi} = 0,7$
R60	200	25	25	25	25	42	35	140/25
	250	25	25	25	25	39	32	
	300	25	25	25	25	37	29	
	350	25	25	25	25	34	26	
	400	25	25	25	25	31	25	
	450	25	25	25	25	28	25	
R90	200	29	25	45	37	-	-	140/25
	250	26	25	42	34	52	45	
	300	25	25	39	32	49	42	
	350	25	25	36	29	47	39	
	400	25	25	33	26	44	36	
	450	25	25	31	25	41	34	
R120	200	40	33	-	-	-	-	160/35
	250	37	30	53	45	63	56	
	300	35	27	50	43	61	53	
	350	32	25	47	40	58	50	
	400	29	25	45	37	55	47	
	450	26	25	42	34	52	45	

n = nombre de barres

D'autres résistances au feu peuvent être déterminées en utilisant l'équation suivante:

$$R = 120((R_{\mu_{fi}} + R_a + R_l + R_b + R_n)/120)^{1,8}$$

Pour cela, il faut tenir compte des limitations suivantes:

- $2$  m  $\leq l_{o,fi} \leq 6$  m
- $25$  mm  $\leq a \leq 80$  mm
- $200$  mm  $\leq b \leq 450$  mm
- $h \leq 1,5$  b

*Cette méthode permet de prendre en compte l'influence sur la résistance au feu lorsque  $A_{s,prov} > A_{s,req}$  et/ou  $25$  mm  $\leq a \leq 80$  mm.*

## • Méthode B

[§ 5.3.3]

La méthode est applicable pour les colonnes en béton armé.

Les conditions suivantes doivent être remplies:

- $e/b \leq 0,25$  avec  $e = M_{oEd,fi} / N_{oEd,fi} \leq 100$  mm
- $\lambda_{fi} = l_{o,fi}/i = \lambda \leq 30$
- le ratio mécanique d'armatures à température normale ' $\omega$ ' est calculé selon la formule suivante:  $\omega = (A_s \cdot f_{yd}) / (A_c \cdot f_{cd})$
- le niveau de chargement à température normale ' $n$ ' est calculé selon la formule suivante:  $n = N_{oEd,fi} / (0,7 \cdot (A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}))$ , où  $N_{oEd,fi}$  peut être pris égal à  $0,7 N_{oEd}$

Pour des colonnes plus élancées ( $\lambda_{fi} > 30$ ), l'annexe C de la NBN EN 1992-1-2:2004/A1:2019 peut être consultée.

Dans les colonnes pour lesquels  $A_s \geq 0,02 A_c$ , une répartition régulière des barres le long des cotés de la section droite est exigée pour une résistance au feu supérieure à 90 minutes.

Le tableau ci-dessous est seulement un extrait du tableau 5.2b.

R	$\omega$	$b_{min}$ (mm)/ $a_{min}$ (mm)			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
R60	0,1	150/30:200/25	200/40:300/25	300/40:500/25	500/25
	0,5	150/25	150/35:200/25	250/35:350/25	350/40:550/25
	1,0	150/25	150/30:200/25	200/40:400/25	300/50:600/30
R90	0,1	200/40:250/25	300/40:400/25	500/50:550/25	550/40:600/25
	0,5	150/35:200/25	200/45:300/25	300/45:550/25	500/50:600/40
	1,0	200/25	200/40:300/25	250/40:550/25	500/50:600/45
R120	0,1	250/50:350/25	400/50:550/25	550/25	550/60:600/45
	0,5	200/45:300/25	300/45:550/25	450/50:600/25	500/60:600/50
	1,0	200/40:250/25	250/40:400/25	450/45:600/30	600/60

## Éclatement explosif

[§ 4.5.1]

L'éclatement explosif doit être évité, ou son incidence sur les exigences de performance doit être prise en compte.

L'éclatement explosif est improbable lorsque la teneur en eau du béton est inférieure à 3 % du poids. Pour l'application dans les classes d'exposition X<sub>o</sub> et XC<sub>1</sub>, la teneur en eau peut être considérée comme conforme.

Lorsque les valeurs tabulées sont utilisées, il n'est pas nécessaire d'effectuer d'autres vérifications pour le béton de densité normale.

## Règles complémentaires pour le béton à haute résistance

- **Méthode de calcul simplifiée: méthode de l'isotherme à 500 °C**

La méthode s'applique également au béton à haute résistance.

[§ 6.4.2]

L'épaisseur réduite de béton ' $a_{500}$ ' doit être multipliée avec le facteur 'k'.

[§ 6.4.2.1]

$$k = 1,1 \text{ pour } C_{55/67} \text{ et } C_{60/75} \text{ et } 1,3 \text{ pour } C_{70/85} \text{ et } C_{80/95}$$

- **Valeurs tabulées**

La méthode s'applique également au béton à haute résistance si la distance minimale de l'axe des armatures est pondérée par le facteur 'k' et si les dimensions minimales de la section droite sont augmentées de  $2 \cdot (k - 1) \cdot a_{\min}$

[§ 6.4.3]

avec:  $k = 1,1$  pour  $C_{55/67}$  en  $C_{60/75}$  et  $1,3$  pour  $C_{70/85}$  en  $C_{80/95}$

$a_{\min}$  = la distance minimale de l'axe des armatures selon tableau 5.2.a.1-ANB, 5.2.a.2-ANB ou 5.2b

- **Éclatement explosif**

[§ 6.2]

Pour les classes de béton C 55/67 à C 80/95, les règles pour le béton de densité normale s'appliquent, pour autant que la teneur maximale en fumées de silice soit inférieure à 6 % du poids de ciment.

Pour des teneurs en fumées de silice supérieures et pour la classe de béton C90/105, des mesures doivent être prises. La méthode la plus évidente consiste à ajouter au moins 2 kg/m<sup>3</sup> de fibres de propylène en monofilaments au mélange de béton.

### Disclaimer

*Le contenu de cette publication est uniquement destiné à l'information de l'utilisateur. La FEBE apporte le plus grand soin à la compilation des informations contenues dans cette publication. Néanmoins, la FEBE ne peut garantir que ces informations sont entièrement correctes, complètes et à jour. Par conséquent, la FEBE ne peut être tenue responsable de son utilisation. Pour l'application correcte d'un produit, il faut tenir compte du cadre juridique, des normes du produit, des prescriptions du fabricant, de la situation locale et des plans détaillés du concepteur.*