

RÉSISTANCE AU FEU NATUREL DES POTEAUX EN BÉTON ARMÉ

FELLAH Farid^A, DIMIA Mohamed Salah^B

A Département de génie civil, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie

B Département de génie civil, UHLB, Batna, Algérie

Résumé : Cet article présente une étude sur la résistance au feu des poteaux en béton armé soumis à des conditions d'incendie naturelles durant toutes ses différentes phases depuis son déclenchement jusqu'à son extinction totale, à savoir: phase d'échauffement, phase de refroidissement et phase de post-refroidissement. Si la ruine de ce type de colonnes peut se produire durant la phase d'échauffement, il y a risque qu'elle se produit pendant et après la phase de refroidissement. Le but de cette étude c'est d'étudier l'influence de ces deux phases sur le risque de ruine de ce type de colonnes.

L'analyse a été faite par application du programme SAFIR, basé sur la méthode des éléments finis. D'après les résultats obtenus, il a été constaté que la ruine des poteaux en béton armé peut se produire soit durant la phase de refroidissement soit durant la phase de post-refroidissement après que la température des gaz redevienne ambiante. La ruine retardée durant ces deux phases est due au phénomène de l'augmentation de la température dans les zones profondes de la section entraînant une perte de résistance du béton.

Une étude paramétrique a été donc faite sur des colonnes en béton armé sollicitées à un chargement de compression axiale avec la prise en compte de deux paramètres, à savoir: différents types de feux naturels et différents élancements des colonnes. Les résultats montrent que les ruines après refroidissement se produisent généralement pour les sections massives, à faible élancement, soumises à des feux à phase d'échauffement courte.

Mots-clés : résistance au feu, feu paramétrique, béton armé, Eurocode 2, Eurocode 4

1. INTRODUCTION

Selon l'approche réglementaire, les exigences de résistance au feu des ouvrages et bâtiments font presque tous référence à une justification vis-à-vis d'un feu standard comme le feu ISO 834. En effet aucune autre justification n'est demandée si la performance de l'élément est assurée pendant la montée de la température. Ceci s'explique par le fait que les températures dans les éléments sont en constante augmentation et par conséquent, la vérification de la résistance au feu requise garantit la stabilité au feu de la structure pendant toute la durée de l'incendie.

Lors d'un incendie, l'appréciation de la performance d'une structure doit se faire sous des scénarios de feu plus réaliste qui comprennent généralement une phase d'échauffement avec une montée de température mais aussi une phase de refroidissement avec une diminution des températures jusqu'à la température ambiante estimée à 20°C par les normes comme par exemple les normes standard ISO 834 et ASTM E119-88.

Plusieurs études ont montrée que la résistance de la stabilité au feu des structures, quelle que soit leur nature, en béton armé, en acier, mixte acier béton ou autres, se trouve influencée par le type de scénario de feu adopté (Fike et al., 2009).

Il est clair que lors d'un incendie, suite à l'augmentation de la température des gaz, la température dans les éléments structuraux augmente. Mais, durant la phase de refroidissement, le comportement des deux matériaux acier et béton est totalement différent. En effet, lors de la diminution de la température des gaz, la température dans les éléments en acier diminue et ce dernier peut récupérer complètement ou partiellement sa résistance. Par contre, pour le béton armé, lors de la diminution de la température des gaz, la température commence à diminuer sur les surfaces extérieures mais continues à augmenter au niveau des zones intérieures profondes et dans ce cas la résistance du béton se trouve très affectée suite à son endommagement.

A partir de cela, les colonnes en béton armé sont elles toutes exposées à un risque de ruine pendant ou après la phase de refroidissement ? Si la réponse est oui, il y a donc une menace pour les services de secours, les pompiers et autres lors de leurs interventions durant la phase de refroidissement. D'un autre côté, le bureau d'études, vis-à-vis du comportement au feu des structures, garantie uniquement leurs stabilités aux températures maximales des gaz mais ne donne aucune garantie sur leurs stabilités pendant et après la phase de refroidissement.

Comme incident d'effondrement survenu après la réussite de l'extinction complète du feu, nous citerons, celui qui a entraîné la mort de toute une brigade de pompiers lors de l'effondrement du plafond d'un parking souterrain lors d'un incendie survenu le samedi 27 novembre 2004, à Gretzenbach, dans le nord de la Suisse.

A partir de cela, afin d'analyser le comportement vis-à-vis de la ruine des poteaux en béton armé soumis à des incendies naturels, une étude paramétrique a été faite sur des colonnes sollicitées à un chargement de compression axiale. Deux paramètres ont été pris en compte, à savoir: différents types de feux naturels et différents élancements des colonnes.

2. PRINCIPE D'ANALYSE DES STRUCTURES SOUMISES AU FEU

Les méthodes de calcul simplifiées proposées par les normes et réglementations, comme par exemple les Eurocodes 2 et 4 (EN 1992-1-2 et EN 1994-1-2) sont basées sur des courbes températures-temps normalisées telles que le feu ISO 834 en Europe et ASTM E119 en Amérique du Nord caractérisées par une montée graduelle des températures jusqu'à environ 1200°C. Pour une analyse de structure ou un de ces éléments sous l'action d'un feu naturel, on doit appliquer une méthode de calculs avancés, généralement basée sur la méthode des éléments finis.

Dans cette étude, la méthode de calculs avancés utilisée est le logiciel SAFIR développé à l'université de Liège pour la simulation du comportement des structures soumises au feu (Franssen, 2005) mais il peut être aussi utilisé pour un calcul à température ambiante.

Le feu est introduit sous forme de données, en matière d'une courbe donnant l'évolution de la température des gaz dans le compartiment d'incendie ou de l'évolution du flux net sur la surface de la structure. SAFIR permet d'étudier l'évolution de la température dans la structure dont les éléments peuvent être discrétisés en deux ou en trois dimensions (2D ou 3D). Il utilise divers éléments pour différentes idéalizations et les

modèles de comportement contraintes-déformations des matériaux sont intégrés dans les procédures de calculs.

L'analyse des structures exposées au feu par le logiciel SAFIR comprend deux étapes. La première consiste à prédire la répartition de la température à l'intérieur des éléments de la structure, dite "analyse thermique" et la seconde, appelée "analyse structurale", réalisée en vue de déterminer la réponse mécanique de la structure due aux effets thermiques, car la charge est généralement supposée rester constante lors de l'incendie. L'analyse structurale consiste à déterminer les positions successives d'équilibre jusqu'à l'effondrement.

Le champ de température transitoire dans un réseau donné est établi par une méthode des éléments finis. La conduction thermique est supposée être le mécanisme principal de transfert de chaleur dans la section du profil creux en acier et dans le béton de remplissage. La convection et le rayonnement agissent essentiellement comme le transfert de chaleur à partir de l'environnement de l'incendie vers l'extérieur du profil creux en acier. L'influence de l'humidité (supposée uniformément répartie dans le béton) est considérée par la modification de la chaleur spécifique.

La discrétisation des sections planes avec des formes différentes est possible en utilisant des éléments triangulaires et/ou quadrilatères. Pour chaque élément, le matériau peut être défini séparément et analysé à condition que ses propriétés mécaniques et thermiques à des températures élevées soient connues. Le maillage influe également sur l'analyse structurale, car la discrétisation utilisée est la même. L'intégration des contraintes longitudinales et de la rigidité de la section est basée sur le modèle de fibres. Chaque élément fini de l'analyse thermique, dont le type de matériau et la température sont connus, est considéré comme une fibre. La figure 1 montre une section carrée en béton armé discrétisée en maillages triangulaires.

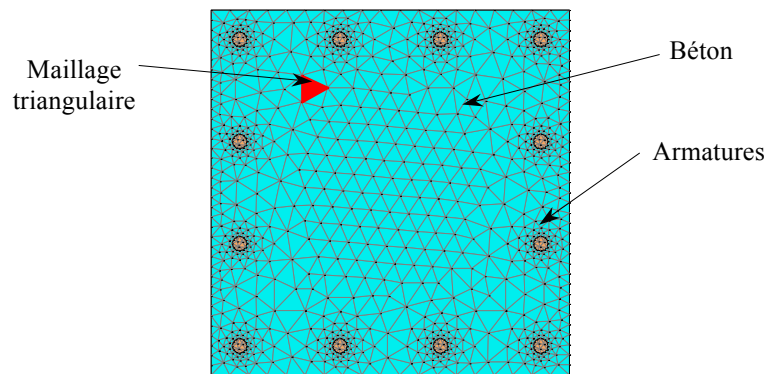


Figure 1. Section en béton armé avec 12T20 discrétisée en maillages triangulaires avec 1903 éléments et 1008 nœuds.

3. MODÉLISATION DES FEUX PARAMÉTRIQUES

Règlementairement, en Europe, les exigences de résistance au feu des ouvrages et bâtiments font presque tous référence à une justification vis-à-vis d'un feu standard ISO 834 caractérisé par une montée des températures des gaz jusqu'à environ 1200°C, ce qui n'est pas le cas d'un réel. En effet, le feu conventionnel ISO 834 ne représente pas l'action thermique réelle sur les éléments structuraux dus à incendie réel ou naturel. Ceci est illustré clairement au niveau de la figure 2 qui montre bien la différence entre la courbe température/temps conventionnelle ISO 834 et environ 50 courbes représentant des incendies réels obtenus à partir d'essais réalisés en laboratoire avec des charges d'incendie variant de 20 à 45 kg de bois/m² (≈ 340 à 760 MJ/m²) (Joyeux et al., 1999). D'après la figure 2, les différentes configurations d'un feu réel montrent qu'il existe deux phases principales : une première phase d'échauffement (montée de la température des gaz) et une deuxième phase de refroidissement (diminution de la température des gaz). A partir de cela, il n'est pas facile de trouver un modèle mathématique représentant un feu réel avec ces deux grandes phases principales : montée de la température suivit de la diminution jusqu'à extinction totale du feu.

L'annexe A de l'Eurocode 1 (EN 1991-1-2) propose une modélisation simplifiée des courbes températures/temps d'un feu naturel de compartiment, connu sous l'appellation de «feux paramétriques».

Les feux paramétriques sont donc des modèles de feux simplifiés qui donnent une représentation plus réaliste d'un incendie naturel ou d'un feu naturel dans un compartiment.

Selon l'Eurocode 1 (EN 1991-1-2), le principe de la détermination de la courbe paramétrique températures-temps consiste à combiner deux courbes, une courbe d'échauffement et une courbe de refroidissement. La figure 3 montre schématiquement le principe graphique de la détermination de la courbe paramétrique ou le point A représente le temps où les gaz atteignent leurs températures maximales dans le compartiment et B le temps où la température des gaz dans le compartiment atteint environ 20°C après refroidissement total.

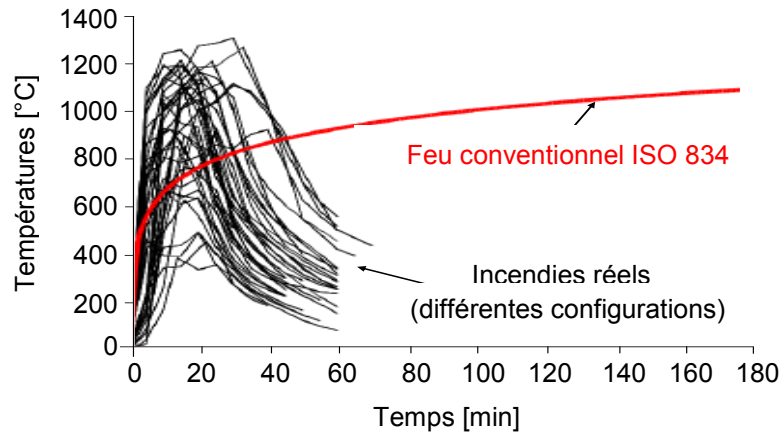


Figure 2. Comparaison entre incendie conventionnel et incendie naturel (Joyeux et al., 1999) .

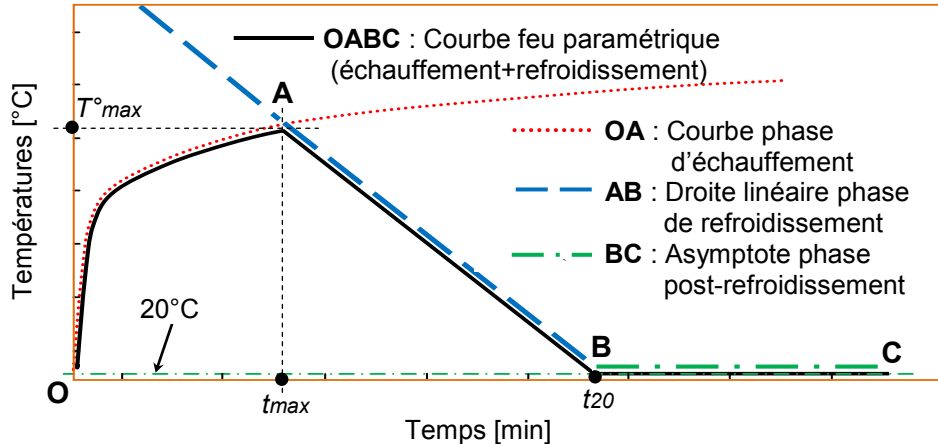


Figure 3. Détermination graphique de la courbe paramétrique températures-temps selon l'Eurocode 1 (EN 1991-1-2).

Dans cet article, les courbes d'incendie température-temps ont été choisi à partir du modèle de feu paramétrique de l'annexe A de l'Eurocode 1. La figure (4) montre les six modèles de feux paramétriques qui ont été adoptés qui diffèrent l'un de l'autre par la durée de la phase d'échauffement. Les courbes température-temps en phase d'échauffement et en phase de refroidissement sont données par les équations (A.1) et (A.11) de l'annexe A de l'Eurocode 1.

Dans les équations d'un feu paramétré, lorsque le terme Γ prend la valeur de l'unité, la courbe de la phase d'échauffement se confond sensiblement avec celle de la courbe standard ISO 834. Parmi les six feux adoptés dans cette étude, cinq présentent une phase d'échauffement identique au feu standard

(Feux 1 à 5) et un feu une phase d'échauffement supérieur à celle du feu ISO 834 avec $\Gamma = 3,6$. Pour toutes les simulations utilisées dans cette étude, la durée de la phase de post-refroidissement (asymptote BC sur la figure 3) pris en compte est de 24 heures.

Sur la figure 4, par exemple pour le feu paramétré 4, les valeurs 1050°C, 120min et 512min représentent respectivement la température maximale T_{max}° des gaz dans le compartiment, 120min le temps t_{max} correspondant à la température maximale des gaz et 512min le temps t_{20} correspondant au retour à la température ambiante lors de la phase de refroidissement.

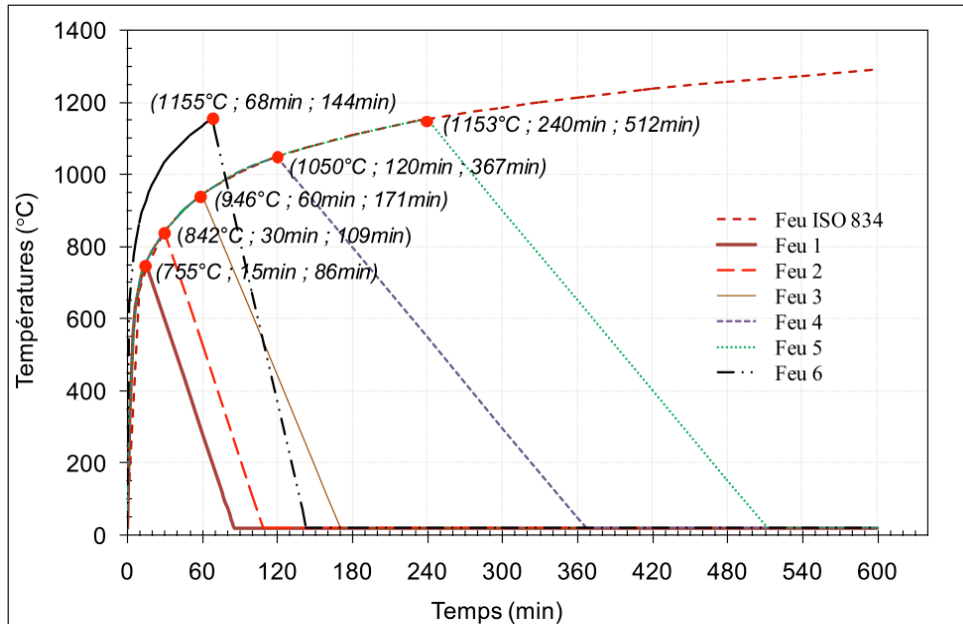


Figure 4. Courbes de feux paramétriques adoptés.

Trois types de section ont été adoptés, toutes avec un enrobage de 40 mm, une section carrée de 50x50 cm armée de 12 barres de 20 mm (CAR-50-12T20), une section carrée de 30x30 cm armée de 8 barres de 16 mm (CAR-30-8T16) et une section carrée de 20x20 cm armée de 4 barres de 12 mm (CAR-20-4T12). Trois longueurs ont été choisies $L=3m$, $L=4.5m$ et $L=6m$ afin de couvrir plusieurs types d'élançements, faible, moyen et fort. Toutes les colonnes sont simplement appuyées aux deux extrémités et sollicitées à un effort de compression axial avec une imperfection géométrique du type sinusoïdal d'amplitude maximale $L/400$ à mi-portée et chauffées sur toutes ces faces.

La figure 5 montre quelques isothermes calculées par une analyse thermique 2-D avec le code de calcul SAFIR sur la section CAR-50-12T20 chauffée sur ses quatre faces par le feu paramétrique feu 1. Sur cette figure, il est intéressant de voir le déplacement des zones chaudes de l'extérieur vers l'intérieur de la section surtout durant la phase de refroidissement (figures 5(c), 5(d) et 5(e)) correspondant respectivement à des temps de 2 h, 4 h et 6 h du début du déclenchement du feu.

De même, la figure 6 montre l'évolution de la température dans certains points de la section transversale chauffée par le feu paramétrique feu 1. En effet, on remarque qu'au niveau des parois extérieures de la section du béton (nœuds 840 et 1008) ainsi qu'au niveau des barres d'acier (nœuds 872 et 981), la température augmente, puis diminue dans le même sens que la température des gaz du feu paramétré, en revanche, dans la zone centrale profonde de la section (nœud 389), la température continue à augmenter même au-delà de la fin de la phase de refroidissement.

4. TYPES ET MODÈLES DE MATÉRIAUX UTILISÉS

Dans cette étude, toutes les colonnes sont en béton siliceux de classe C25/30 avec un renfort en armatures en acier du type S500. Les propriétés thermiques des matériaux acier et béton à températures

élevées (durant la phase d'échauffement) sont comme proposés dans l'Eurocode 4 (EN 1994-1-2). A partir de cela, les coefficients de convection adoptés sont 35 et 4 W/m²K respectivement pour les surfaces chaudes et froides avec une émissivité relative de 0,7. Pour le béton, la masse volumique est de 2400 Kg/m³ et la teneur en eau est de 46 Kg/m³.

Dans l'analyse thermique, les propriétés thermiques de l'acier d'armature sont considérées comme réversibles pendant la phase de refroidissement, c'est-à-dire qu'il est supposé que l'acier récupère toutes ses caractéristiques initiales à température ambiante. En revanche, pour le matériau béton, ses propriétés sont irréversibles durant la phase de refroidissement ou sa contrainte caractéristique à la compression n'est pas récupérée et pourra même recevoir une perte de résistance supplémentaire (EN 1994-1-2). Concernant la conductivité thermique du béton, durant de la phase de refroidissement, la valeur adoptée est celle correspondant à la température maximale de la phase d'échauffement.

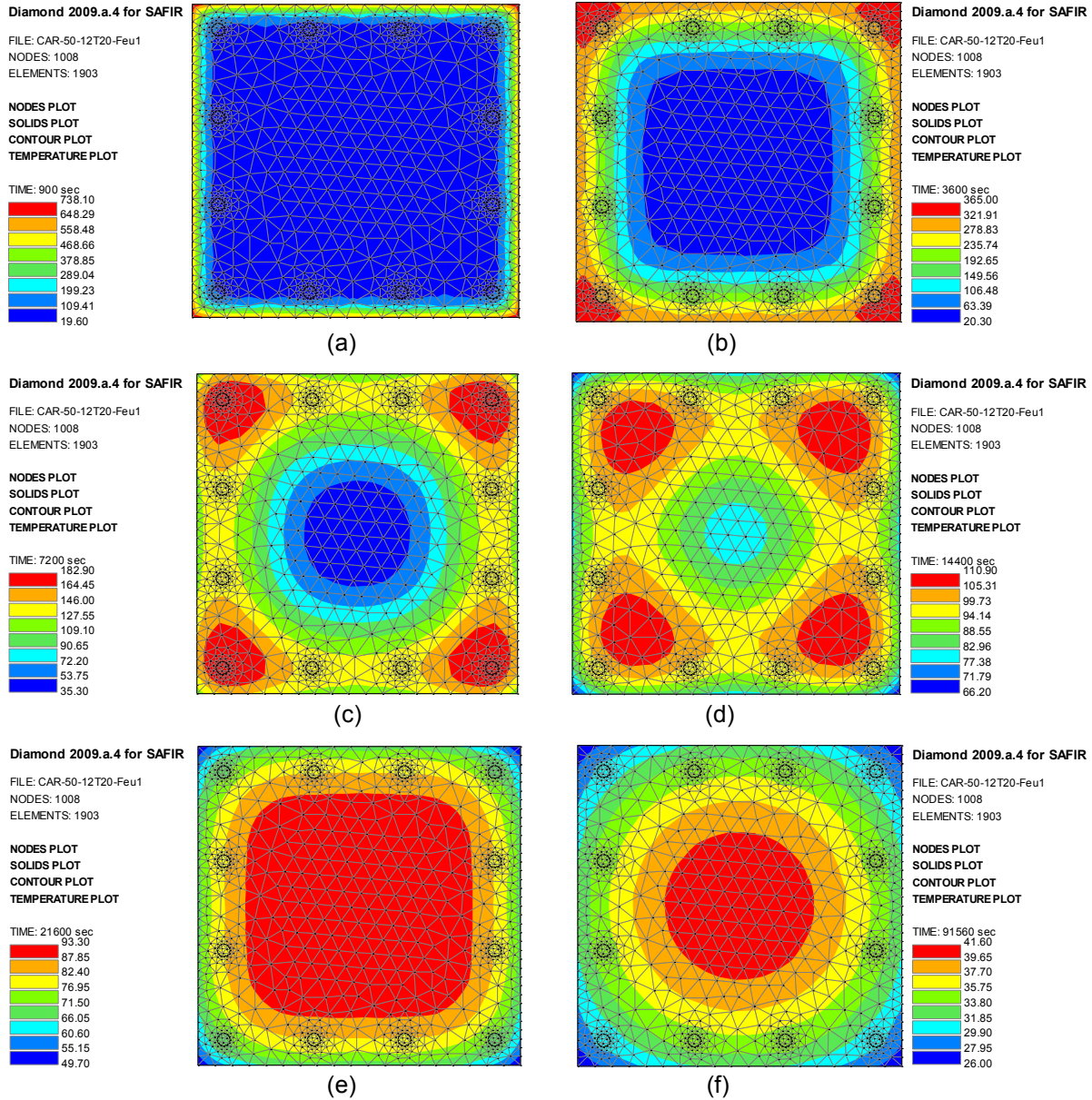


Figure 5. Quelques Isothermes sur la section CAR-50-12T20, chauffée sur quatre cotés sous le feu paramétré Feu 1. (a) après 15 min ; (b) après 1h ; (c) après 2h min ; (d) après 4h ; (e) après 6 h et (f) après 25h 26 min d'échauffement.

5. COMPARAISON ET ANALYSE DES RÉSULTATS

Dans cette étude, à partir des résultats obtenus, deux comparaisons ont été faites. Une première a été faite pour une même section CAR-50-12T20 soumise à différents types de feux paramétrés (feu 1 à feu 6) et dont les résultats sont regroupés dans le tableau 1 et une deuxième a été faite entre les trois sections CAR-50-12T20, CAR-30-8T16 et CAR-20-4T12 (voir tableau 2) soumises au même feu paramétré feu 1.

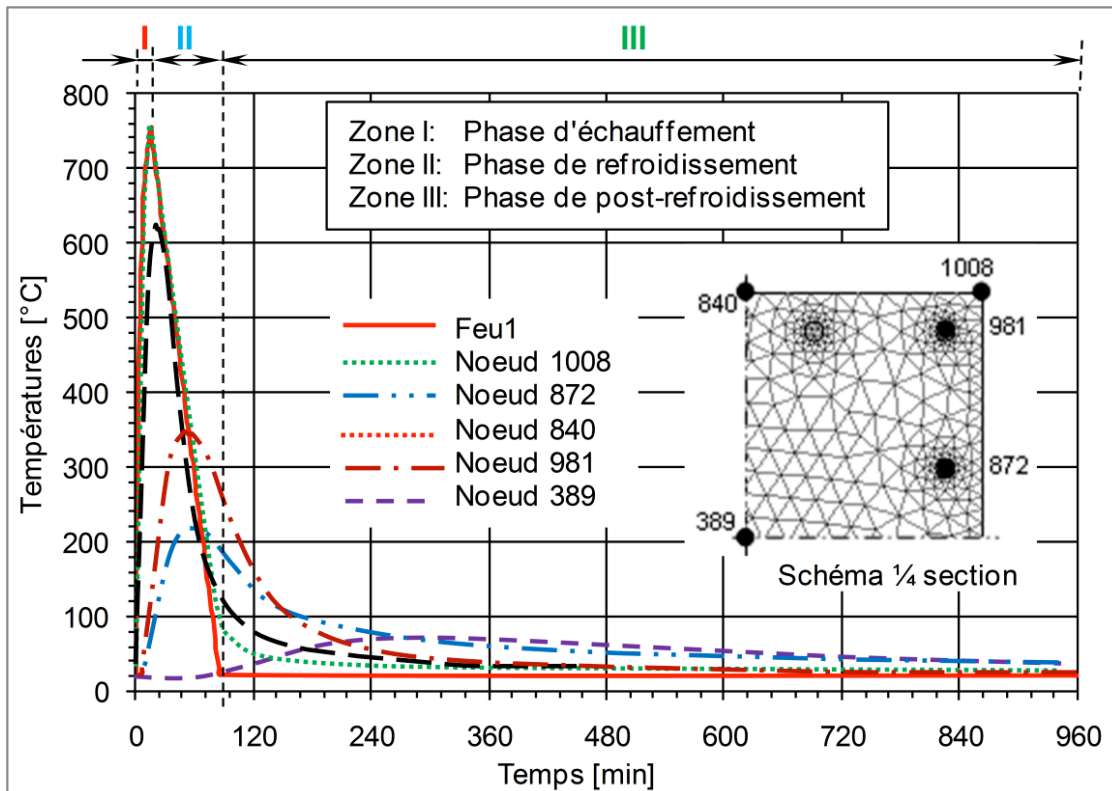


Figure 6. Evolution de la température dans différents nœuds de la section CAR-50-12T20, chauffée sur quatre faces sous le feu paramétrique feu 1.

5.1 Procédure de détermination des temps de ruine des colonnes

Les différents temps de ruine ont été obtenus suite à de nombreuses simulations pour différentes valeurs de charges en partant de la charge de ruine à froid avec des réductions progressives jusqu'à l'obtention de la charge de ruine. Il est clair, qu'au fur et à mesure que la charge diminue, le temps de résistance au feu augmente. Par exemple, pour la section carrée CAR-50-12T20 de longueur $L=3\text{m}$ soumise à l'action du feu 1 (voir tableau 3 et figure 7), la charge de ruine à froid, prise pour le début de la simulation est $N_{r1}=2426\text{ kN}$. En diminuant progressivement cette charge on obtient la charge de ruine $N_{r2}=2281\text{ kN}$ correspondant à $t_{max}=15\text{ min}$ (fin de la phase d'échauffement) pour arriver ensuite à la charge $N_{r3}=2064\text{ kN}$ qui représente la charge de ruine à l'instant $t_{20}=86\text{min}$ (fin de la phase de refroidissement), soit 71 min après la fin de la phase d'échauffement. En continuant à diminuer la charge, on obtient la charge $N_{r4}=2053\text{ kN}$ qui est la charge de ruine de la colonne durant la phase de post-refroidissement qui se produit après environ 6 heures de la fin de la phase de refroidissement.

5.2 Comparaison entre les différents types de feux paramétrés

Comme il a été précisé précédemment, la première comparaison sera faite pour la même section CAR-50-12T20 chauffé par les différents types de feu (feu 1 à 6). A partir des résultats mentionnés au niveau

du tableau 1, pour les feux paramétrés 2 à 6 (temps d'échauffement relativement moyen à long) et pour les trois longueurs choisies dans cette étude, la ruine de la colonne se produit uniquement durant la phase de refroidissement. Par exemple pour le feu 4 et pour la longueur de 3m de la colonne, la ruine se produit à 186 minutes du début du déclenchement du feu soit 66 minutes après la fin de la phase d'échauffement. En revanche, pour le feu 1, dont la phase d'échauffement est très courte, la ruine de la colonne, pour les trois longueurs, se produit bien après la fin de la phase de refroidissement, soit à environ 6 heures de la fin de la phase de refroidissement ou la température des gaz dans l'enceinte est redevenue ambiante ($\approx 20^{\circ}\text{C}$).

5.3 Comparaison entre les différentes sections

Dans cette section, l'analyse des résultats a été faite pour les différentes sections chauffées par un feu à phase d'échauffement court (feu 1). Tous les résultats ont été regroupés au niveau du tableau 2. Au vu des résultats obtenus, la ruine des colonnes se produit uniquement durant la phase de refroidissement pour les sections élancées CAR-30-8T16 (L=6m) et CAR-20-4T12 (L=3, 4.5 et 6m). Pour les sections à faible élancement (massives) CAR-50-12T20 (L=3, 4.5 et 6m) et CAR-30-8T16 (L=3 et 4.5m) la ruine se produit après la fin de la phase de refroidissement ou la température des gaz dans le compartiment est redevenue ambiante.

Type de section	L (m)	Type de feu	T°_{\max}	t_{\max}	t_{20}	t_{ruine}	N_{ruine} (kN)	Observations	
			[$^{\circ}\text{C}$]	[min]	[min]	[min]			
CAR-50-12T20	3	Feu 1	755	15	86	449	2053	$t_{\text{ruine}} > t_{20}$ (x)	
	4.5					436		1759	$t_{\text{ruine}} > t_{20}$ (x)
	6					415		1480	$t_{\text{ruine}} > t_{20}$ (x)
CAR-50-12T20	3	Feu 2	842	30	109	69	1841	$t_{\max} < t_{\text{ruine}} < t_{20}$ (*)	
	4.5					69		1535	$t_{\max} < t_{\text{ruine}} < t_{20}$ (*)
	6					67		1255	$t_{\max} < t_{\text{ruine}} < t_{20}$ (*)
CAR-50-12T20	3	Feu 3	946	60	171	99	1393	$t_{\max} < t_{\text{ruine}} < t_{20}$ (*)	
	4.5					99		1103	$t_{\max} < t_{\text{ruine}} < t_{20}$ (*)
	6					98		869	$t_{\max} < t_{\text{ruine}} < t_{20}$ (*)
CAR-50-12T20	3	Feu 4	1050	120	367	186	711	$t_{\max} < t_{\text{ruine}} < t_{20}$ (*)	
	4.5					184		532	$t_{\max} < t_{\text{ruine}} < t_{20}$ (*)
	6					181		410	$t_{\max} < t_{\text{ruine}} < t_{20}$ (*)
CAR-50-12T20	3	Feu 5	1153	240	512	277	211	$t_{\max} < t_{\text{ruine}} < t_{20}$ (*)	
	4.5					274		156	$t_{\max} < t_{\text{ruine}} < t_{20}$ (*)
	6					273		121	$t_{\max} < t_{\text{ruine}} < t_{20}$ (*)
CAR-50-12T20	3	Feu 6	1155	68	144	99	973	$t_{\max} < t_{\text{ruine}} < t_{20}$ (*)	
	4.5					99		741	$t_{\max} < t_{\text{ruine}} < t_{20}$ (*)
	6					99		571	$t_{\max} < t_{\text{ruine}} < t_{20}$ (*)
(*) : Ruine durant la phase de refroidissement ; (x) : ruine durant la phase de post-refroidissement.									

Tableau 1. Résultats des temps de ruine de la colonne CAR-50-12T20 sous le feu 1.

Type de section	L (m)	Type de feu	T°_{max}	t_{max}	t_{20}	t_{ruine}	N_{ruine} (kN)	Observations
			[°C]	[min]	[min]	[min]		
CAR-50-12T20	3	Feu 1	755	15	86	449	2053	$t_{ruine} > t_{20}$ (x)
	4.5					436	1759	$t_{ruine} > t_{20}$ (x)
	6					415	1480	$t_{ruine} > t_{20}$ (x)
CAR-30-8T16	3	Feu 1	755	15	86	206	574	$t_{ruine} > t_{20}$ (x)
	4.5					206	435	$t_{ruine} > t_{20}$ (x)
	6					60	333	$t_{max} < t_{ruine} < t_{20}$ (*)
CAR-20-4T12	3	Feu 1	755	15	86	62	127	$t_{max} < t_{ruine} < t_{20}$ (*)
	4.5					61	83	$t_{max} < t_{ruine} < t_{20}$ (*)
	6					62	57	$t_{max} < t_{ruine} < t_{20}$ (*)

(*): Ruine durant la phase de refroidissement ; (*): ruine fin de la phase de refroidissement ; (x): ruine durant la phase de post-refroidissement.

Tableau 2. Résultats des temps de ruine des trois sections sous le feu 1.

Type de section	L (m)	Type de feu	N_{ruine} (kN)			
			N_{r1}	N_{r2}	N_{r3}	N_{r4}
CAR-50-12T20	3	Feu 1	2426	2281	2064	2053
	4.5		2273	2063	1776	1759
	6		2093	1837	1494	1480

Tableau 2. Résultats des différents temps de ruine de la section CAR-50-12T20 sous le feu 1.

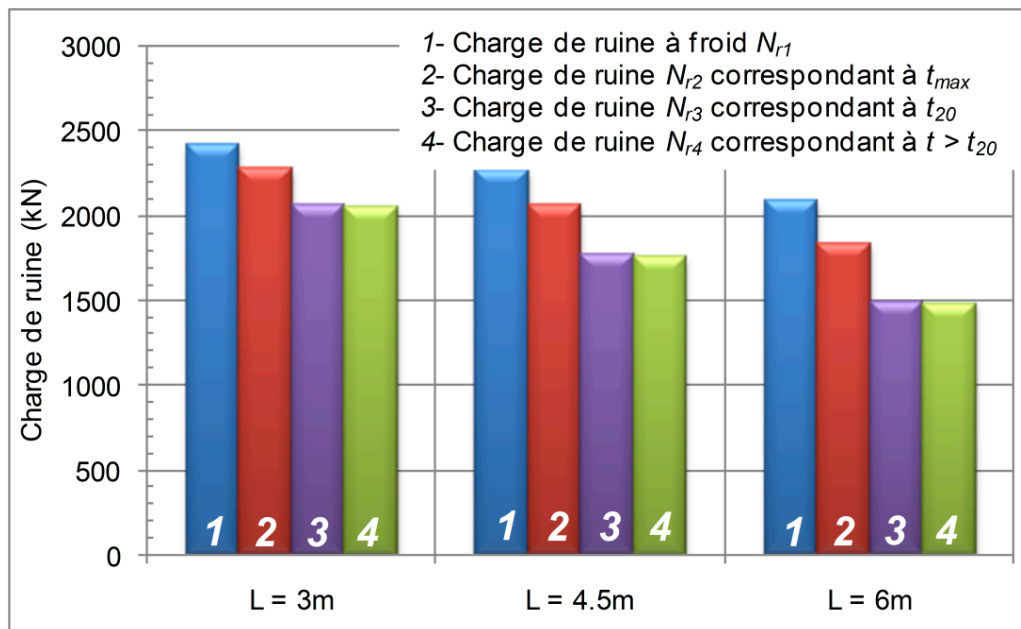


Figure 6. Comparaisons des différents temps de ruine de la section CAR-50-12T20 sous le feu 1.

6. CONCLUSION

L'étude qui a été faite dans cet article montre que la ruine des colonnes en béton armé est très probable au cours de la phase de refroidissement d'un incendie et cela quelles que soient les dimensions de la section transversale, les élancements et le type de feu paramétré envisagé. Cette probabilité a été aussi montrée dans (Dimia et al, 2011). Seulement, pour certaines sections à faibles élancements (ou massives), les risques de ruine peuvent se produire durant la phase de post-refroidissement pouvant aller à plusieurs heures après la fin de la phase de refroidissement ou la température des gaz est redevenue ambiante. Ceci pose un grand problème de sécurité pour le personnel des services de secours qui doivent non seulement intervenir durant l'évolution de l'incendie (phase d'échauffement et de refroidissement) mais aussi durant la phase de post-refroidissement. Donc les deux phases de refroidissement et de post refroidissement sont des phases à risque aussi bien l'une que l'autre.

Les causes de ruine de ce type de colonnes semblent convergées vers le fait que la température dans les zones centrales du béton continue à augmenter non seulement pendant la phase de refroidissement mais aussi après la fin de la phase de refroidissement. Aussi, le matériau béton, en plus de la perte de résistance qu'il subit pendant la phase d'échauffement, il subit une perte supplémentaire de l'ordre de 10% durant la phase de refroidissement jusqu'à la température ambiante selon l'Eurocode 4 (EN 1994-1-2). Cette réduction pourrait même dépassée les 10% selon une étude faite par (Yi-Hai et al, 2011).

Enfin, dans l'objectif d'autres études, il est intéressant d'analyser le comportement vis-à-vis de la ruine retardée des colonnes en tube d'aciers remplis de béton, pendant et après la phase de refroidissement, et étudier par exemple, l'influence de l'épaisseur du tube d'acier.

RÉFÉRENCES

- ASTM E119-88. (1988), Standard Methods of Fire Tests on Building Construction and Materials. *American Society for Testing and Materials*.
- Dimia, M.S., Guenfoud, M., Gernay, T., et Franssen, J.M. (2011). Collapse of concrete columns during and after the cooling phase of a fire. *Journal of Fire Protection Engineering*, 21(4), 245–263.
- EN 1991-1-2. Eurocode 1. (2002), Actions on structures – Part 1–2: General actions – Actions on structures exposed to fire. Brussels: CEN.
- EN 1992-1-2. Eurocode. (2004), Design of concrete structures-Part 1-2: General rules-Structural fire design. Brussels. CEN.
- EN 1994-1-2. Eurocode 4. (2005), Design of Composite Steel and Concrete Structures. Part 1-2: General Rules - Structural Fire Design. Brussels. CEN.
- Fike, R.S. et Kodur, V.K.R. (2009), An approach for evaluating the fire resistance of CFHSS columns under design fire scenarios, *Journal of Fire Protection Engineering*, Vol. 19, No. 4, 229-259.
- Franssen, J.M., et Gernay, T. (2017), Modeling structures in fire with SAFIR, Theoretical background and capabilities, *Journal of Structural Fire Engineering*, 8(3), 300-323. <http://hdl.handle.net/2268/202859>
<https://www.swissinfo.ch/eng/seven-firefighters-killed/4222382>
- ISO 834. (1975), International Organization for Standardization, Fire resistance tests. Elements of building construction, Geneva, Switzerland.
- JOYEUX D., FONTANA M. et CAJOT L.G. (1999), Evaluation du comportement des structures sous incendies naturels, *Construction métallique* n° 3.
- Yi-Hai, L. et Franssen, J.M. (2011), Test results and model for the residual compressive strength of concrete after a fire, *Journal of Structural Fire Engineering*, Vol. 2, No. 1, 29–44.