

Une démarche simple et pratique pour vérifier la résistance au feu des éléments de structures métalliques est celle basée sur des températures. Selon l'EN 1993-1-2 (novembre 2005) et son annexe nationale française (octobre 2007), la résistance au feu d'un élément de structure métallique peut être jugée satisfaite si l'échauffement θ_a de cet élément après la durée d'exposition au feu requise reste inférieure à sa température critique $\theta_{a,cr}$.

Calcul de la température critique d'un élément fléchi avec déversement

La température critique $\theta_{a,cr}$ des éléments de classe 1, 2 ou 3 fléchis présentant un risque de déversement peut être directement déterminée à partir des valeurs reportées dans les tableaux 1 à 5, en fonction de la nuance d'acier, de l'élançement réduit $\bar{\lambda}_{fi,0}$ et du taux d'utilisation plastique μ_{Rd} de l'élément.

Calcul du taux d'utilisation plastique

Le taux d'utilisation plastique μ_{Rd} est donné par :

$$\text{Pour les éléments fléchis de classe 1 et 2 : } \mu_{Rd} = M_{fi,Ed} / W_{pl} f_y$$

$$\text{Pour les éléments fléchis de classe 3 : } \mu_{Rd} = M_{fi,Ed} / W_{el} f_y$$

Où :

W_{pl} est le module de flexion plastique de la section par rapport à l'axe approprié ;

W_{el} est le module de flexion élastique de la section par rapport à l'axe approprié ;

f_y est la valeur nominale de la limite d'élasticité de l'acier à froid.

$M_{fi,Ed}$ est le moment fléchissant de calcul pour la situation d'incendie, déterminé conformément à la partie feu de l'EN 1991-1-2 (juillet 2003) et son annexe nationale française (février 2007).

Calcul de l'élançement réduit

L'élançement réduit $\bar{\lambda}_{fi,0}$ peut être calculé à partir des relations suivantes :

$$\text{Pour une section de classe 1 ou 2 : } \bar{\lambda}_{fi,0} = \sqrt{\frac{W_{pl} f_y}{M_{cr}}}$$

$$\text{Pour une section de classe 3 : } \bar{\lambda}_{fi,0} = \sqrt{\frac{W_{el} f_y}{M_{cr}}}$$

où M_{cr} est le moment critique pour le déversement élastique à température normale [N m], W_{pl} est le module de flexion plastique de la section transversale [m³], W_{el} est le module de flexion élastique de la section transversale [m³].

Le moment critique pour le déversement élastique à température normale peut être calculé à l'aide du logiciel LT-beam (en libre téléchargement sur le site du CTICM). Il peut également être déterminé selon l'annexe M de l'Annexe Nationale française de l'EN 1993-1-1 (août 2013) qui fournit une formulation approchée de M_{cr} pour les éléments ayant une section doublement symétrique, simplement fléchis et maintenues au déversement à leurs deux extrémités.

Dans le cas de conditions d'appui à fourches aux extrémités (rotation libre autour de l'axe z, rotation bloquée autour de l'axe x, déplacement bloqué suivant y et gauchissement libre), le moment critique pour le déversement élastique M_{cr} peut être calculé comme suit :

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{\ell_{fi}^2} \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{I_z \pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g$$

où C_1 et C_2 sont des coefficients dépendant des conditions de maintien et de chargement, E est le module d'élasticité, G est le module de cisaillement ($G = 80\,770$ N/mm²), I_z est l'inertie de flexion par rapport à l'axe faible z, I_t est l'inertie de torsion, I_w est l'inertie de gauchissement z_g est la distance entre le point d'application de la charge et le centre de gravité de la section transversale et ℓ_{fi} est la longueur de déversement en situation d'incendie de l'élément considéré.

En règle générale, la longueur de déversement en situation d'incendie est considérée comme identique à celle retenue dans le dimensionnement à froid.

Pour une poutre soumise à une distribution uniforme de moments fléchissant (absence de charge transversale), on peut noter que $C_1=1$ et $C_2=0$. Pour une poutre simplement appuyée et soumise à une charge uniforme, $C_1=1,13$ et $C_2=0,45$. D'autres cas de chargement peuvent être trouvés dans l'Annexe M.

$\bar{\lambda}_{fi,0}$	Taux d'utilisation plastique μ_{Rd}												
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
0.1	804	757	712	683	661	638	616	595	578	560	543	525	508
0.15	798	752	705	679	656	632	609	589	571	553	535	517	500
0.2	795	746	699	675	650	626	602	583	564	545	526	508	500
0.25	791	740	695	670	645	619	595	576	556	537	517	500	500
0.3	787	734	691	664	638	612	589	569	548	528	508	500	500
0.35	782	727	686	659	631	604	582	561	539	518	500	500	500
0.4	777	720	681	653	624	596	574	552	530	508	500	500	500
0.45	772	712	676	646	616	589	566	543	519	500	500	500	
0.5	766	703	670	638	607	581	557	532	508	500	500	500	
0.55	759	696	663	630	598	572	546	521	500	500	500		
0.6	752	691	656	621	589	562	535	508	500	500			
0.65	744	685	648	611	580	552	523	500	500	500			
0.7	735	679	640	600	570	540	510	500	500				
0.75	726	672	630	591	559	527	500	500	500				
0.8	716	664	620	582	548	514	500	500					
0.85	705	656	609	571	535	500	500						
0.9	697	647	598	560	521	500	500						
0.95	691	638	589	548	507	500							
1	684	628	578	535	500	500							
1.05	677	618	568	522	500	500							
1.1	670	607	556	508	500								
1.15	662	596	545	500	500								
1.2	654	587	532	500									
1.25	646	577	519	500									
1.3	637	567	506	500									
1.35	628	557	500										
1.4	619	546	500										
1.45	609	535	500										
1.5	599	523	500										
1.55	591	511	500										
1.6	583	500											
1.65	574	500											
1.7	566	500											
1.75	557	500											
1.8	547	500											
1.85	538	500											
1.9	528												
1.95	518												
2.0	508												

Note : Pour des valeurs intermédiaires du niveau de chargement et de l'élançement réduit à température normale, une interpolation linéaire peut être utilisée.

Tableau 1 : Température critique (°C) des éléments avec instabilité en nuance d'acier S235

$\bar{\lambda}_{fi,0}$	Taux d'utilisation plastique μ_{Rd}												
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
0.1	805	758	713	684	662	639	617	596	579	561	544	527	509
0.15	799	753	706	680	657	634	611	590	572	554	537	519	501
0.2	796	748	700	676	652	628	604	584	566	547	529	510	500
0.25	792	742	696	671	646	622	597	578	559	540	520	501	500
0.3	788	736	692	667	641	615	591	571	551	531	511	500	500
0.35	784	730	688	661	634	607	585	564	543	522	501	500	500
0.4	779	723	684	655	627	599	578	556	534	512	500	500	500
0.45	774	716	678	649	620	593	570	547	524	502	500	500	500
0.5	769	707	673	642	611	585	561	537	513	500	500	500	
0.55	762	699	667	634	602	576	551	526	501	500	500		
0.6	756	694	660	626	594	567	541	514	500	500	500		
0.65	748	688	652	616	585	557	529	501	500	500			
0.7	740	682	644	606	575	546	516	500	500				
0.75	731	675	635	596	565	534	502	500	500				
0.8	721	668	625	586	553	520	500	500					
0.85	710	660	615	576	541	506	500	500					
0.9	700	651	603	565	528	500	500						
0.95	694	642	593	554	514	500	500						
1	687	633	583	541	500	500							
1.05	680	623	573	528	500	500							
1.1	673	612	562	514	500								
1.15	666	601	550	500	500								
1.2	658	591	538	500	500								
1.25	650	582	525	500									
1.3	641	572	512	500									
1.35	632	561	500	500									
1.4	623	551	500										
1.45	613	540	500										
1.5	603	528	500										
1.55	595	516	500										
1.6	586	504											
1.65	578	500											
1.7	569	500											
1.75	560	500											
1.8	551	500											
1.85	542	500											
1.9	532												
1.95	522												
2.0	512												

Note : Pour des valeurs intermédiaires du niveau de chargement et de l'élançement réduit à température normale, une interpolation linéaire peut être utilisée.

Tableau 2 : Température critique (°C) des éléments avec instabilité en nuance d'acier S275

$\bar{\lambda}_{fi,0}$	Taux d'utilisation plastique μ_{Rd}												
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
0.1	807	759	714	685	663	641	618	597	580	563	546	528	511
0.15	800	754	709	681	659	636	613	592	575	557	539	521	504
0.2	797	750	703	678	654	630	607	587	569	550	532	514	500
0.25	794	745	698	674	649	625	601	582	563	544	525	506	500
0.3	791	740	695	669	644	619	595	576	556	536	517	500	500
0.35	787	734	691	665	639	612	589	569	549	528	508	500	500
0.4	783	728	687	660	632	605	583	562	541	520	500	500	500
0.45	778	721	682	654	625	598	576	554	532	510	500	500	500
0.5	773	714	677	647	618	591	568	545	522	500	500	500	500
0.55	767	705	671	640	609	583	559	535	511	500	500	500	
0.6	761	698	665	632	600	575	549	524	500	500	500		
0.65	754	693	658	624	592	565	538	512	500	500	500		
0.7	746	687	650	614	583	555	526	500	500	500			
0.75	738	680	642	603	573	543	513	500	500				
0.8	728	673	633	594	562	530	500	500	500				
0.85	718	666	623	584	550	517	500	500					
0.9	708	658	612	573	538	502	500	500					
0.95	698	649	600	562	524	500	500						
1	692	640	590	550	510	500	500						
1.05	685	630	580	537	500	500							
1.1	678	619	569	524	500	500							
1.15	671	608	558	510	500								
1.2	663	598	546	500	500								
1.25	655	588	534	500									
1.3	647	578	521	500									
1.35	638	568	507	500									
1.4	629	558	500										
1.45	619	547	500										
1.5	610	535	500										
1.55	600	524	500										
1.6	592	512	500										
1.65	583	500											
1.7	575	500											
1.75	566	500											
1.8	557	500											
1.85	548	500											
1.9	538	500											
1.95	528												
2.0	518												

Note : Pour des valeurs intermédiaires du niveau de chargement et de l'élançement réduit à température normale, une interpolation linéaire peut être utilisée.

Tableau 3 : Température critique (°C) des éléments avec instabilité en nuance d'acier S355

$\bar{\lambda}_{fi,0}$	Taux d'utilisation plastique μ_{Rd}												
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
0.1	808	759	715	686	663	641	619	598	581	564	547	530	512
0.15	802	755	710	682	660	637	614	593	576	558	541	523	505
0.2	798	751	705	679	655	632	609	589	570	552	534	516	500
0.25	795	747	699	675	651	627	603	583	565	546	527	509	500
0.3	792	742	696	671	646	621	597	578	559	539	520	501	500
0.35	788	737	693	667	641	615	592	572	552	532	512	500	500
0.4	785	731	689	662	635	609	586	565	544	524	503	500	500
0.45	780	725	685	657	629	601	579	558	536	515	500	500	500
0.5	776	717	680	651	622	594	572	549	527	504	500	500	500
0.55	770	709	674	644	614	587	564	540	517	500	500	500	
0.6	764	700	668	637	605	579	554	530	505	500	500	500	
0.65	758	695	662	628	596	570	544	518	500	500	500		
0.7	750	690	654	619	587	560	532	505	500	500			
0.75	742	684	646	609	578	549	520	500	500	500			
0.8	733	677	637	598	567	537	506	500	500				
0.85	723	669	627	589	556	523	500	500					
0.9	713	662	617	578	544	509	500	500					
0.95	701	653	605	567	530	500	500						
1	695	644	595	556	516	500	500						
1.05	688	634	585	543	501	500							
1.1	681	624	574	530	500	500							
1.15	674	613	563	516	500								
1.2	666	602	551	501	500								
1.25	658	592	539	500	500								
1.3	650	582	526	500									
1.35	642	572	513	500									
1.4	633	562	500	500									
1.45	623	551	500										
1.5	614	540	500										
1.55	604	528	500										
1.6	595	516	500										
1.65	587	504											
1.7	578	500											
1.75	569	500											
1.8	560	500											
1.85	551	500											
1.9	542	500											
1.95	532												
2.0	522												

Note : Pour des valeurs intermédiaires du niveau de chargement et de l'élançement réduit à température normale, une interpolation linéaire peut être utilisée.

Tableau 4 : Température critique (°C) des éléments avec instabilité en nuance d'acier S420

$\bar{\lambda}_{fi,0}$	Taux d'utilisation plastique μ_{Rd}												
	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
0.1	809	760	716	686	664	642	620	598	581	564	547	530	513
0.15	803	756	711	683	660	637	615	594	576	559	541	524	506
0.2	799	752	705	679	656	633	610	589	571	553	535	517	500
0.25	796	748	700	676	652	628	604	585	566	547	529	510	500
0.3	793	743	697	672	647	623	598	579	560	541	522	503	500
0.35	789	738	694	668	642	617	593	573	554	534	514	500	500
0.4	786	733	690	663	637	610	587	567	546	526	505	500	500
0.45	782	726	686	658	631	603	581	560	538	517	500	500	500
0.5	777	719	681	652	624	596	574	552	529	507	500	500	500
0.55	772	712	676	646	616	589	566	543	519	500	500	500	
0.6	766	703	670	639	607	581	557	532	508	500	500	500	
0.65	759	697	664	630	598	572	547	521	500	500	500		
0.7	752	691	656	621	590	563	536	509	500	500			
0.75	744	685	648	611	580	552	523	500	500	500			
0.8	735	679	639	600	570	540	509	500	500				
0.85	726	671	630	591	559	527	500	500	500				
0.9	715	664	619	581	547	513	500	500					
0.95	704	655	608	570	534	500	500						
1	696	646	597	558	520	500	500						
1.05	690	636	587	546	505	500							
1.1	683	626	577	533	500	500							
1.15	676	615	565	519	500								
1.2	668	604	554	504	500								
1.25	660	594	542	500	500								
1.3	652	584	529	500									
1.35	643	575	515	500									
1.4	634	564	502	500									
1.45	625	553	500										
1.5	616	542	500										
1.55	606	531	500										
1.6	596	519	500										
1.65	588	506											
1.7	580	500											
1.75	571	500											
1.8	562	500											
1.85	553	500											
1.9	543	500											
1.95	534												
2.0	524												

Note : Pour des valeurs intermédiaires du niveau de chargement et de l'élançement réduit à température normale, une interpolation linéaire peut être utilisée.

Tableau 5 : Température critique (°C) des éléments avec instabilité en nuance d'acier S460