

RISQUE BATIMENTAIRE RCCI

Recherche des Causes et des Circonstances des Incendies

A1- ELEMENTS CLES DE SECURITE & INDICATEURS DE LECTURE DES DOMMAGES



Révision A du 22 juin 2020



SDIS13 CFD VELAUX / © Jean-Luc REY- juin 2020-

POMPIERS 13
DES BOUCHES-DU-RHÔNE

VALABRE
ÉCOLE D'APPLICATION DE SÉCURITÉ CIVILE

LES OBJECTIFS DU COURS

durée ~ 3 heures

- **INTRODUCTION**
- **ELEMENTS CLES DE SECURITE POUR LE CHEMINEMENT DES AGENTS**
 - Fragilité et instabilité des structures
 - Typologie des bâtiments
 - Comportement au feu des matériaux (aciers, béton et bois)
- **INDICATEURS DE LECTURE DES DOMMAGES AGGRAVANTS SUR LES STRUCTURES**

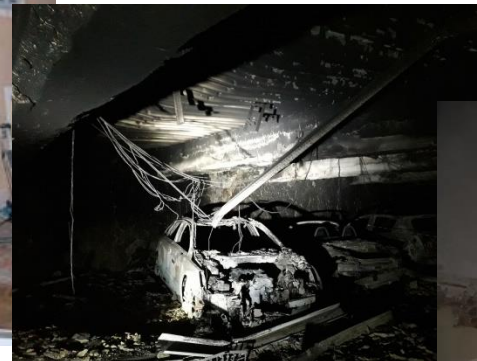
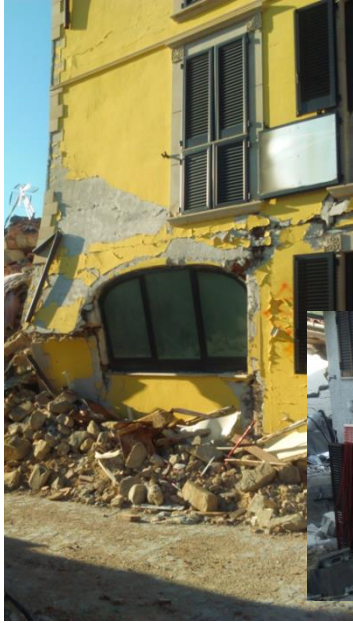
INTRODUCTION

Fragilité et Instabilité des structures

CAS D'INSTABILITES STRUCTURELLES !

=

Difficultés et
Risques
dans le
cheminement
des agents,
TC, SD-
USAR,
RCCI,..

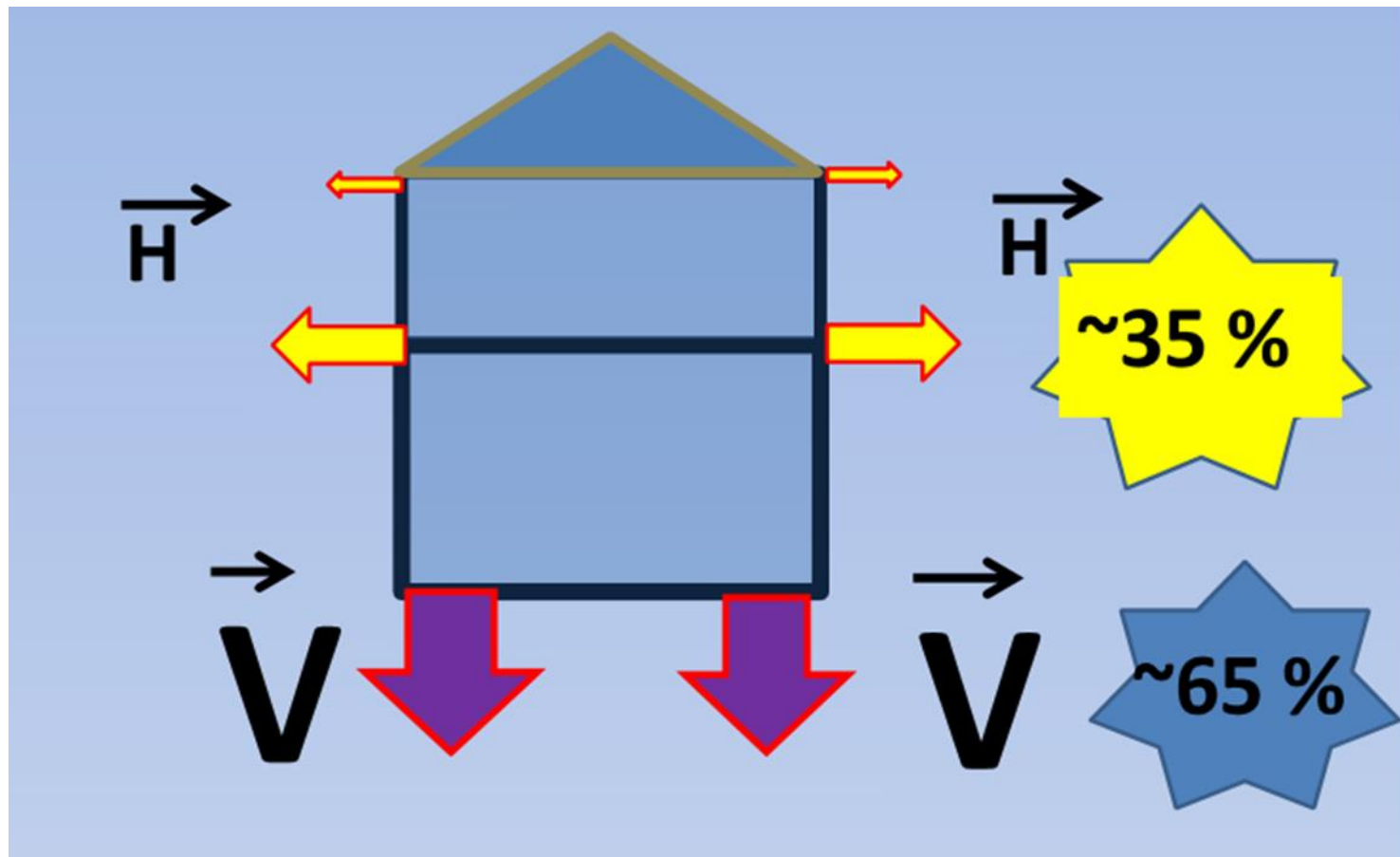


ELEMENTS CLES DE SECURITE POUR LE CHEMINEMENT DES AGENTS

-Security Path-

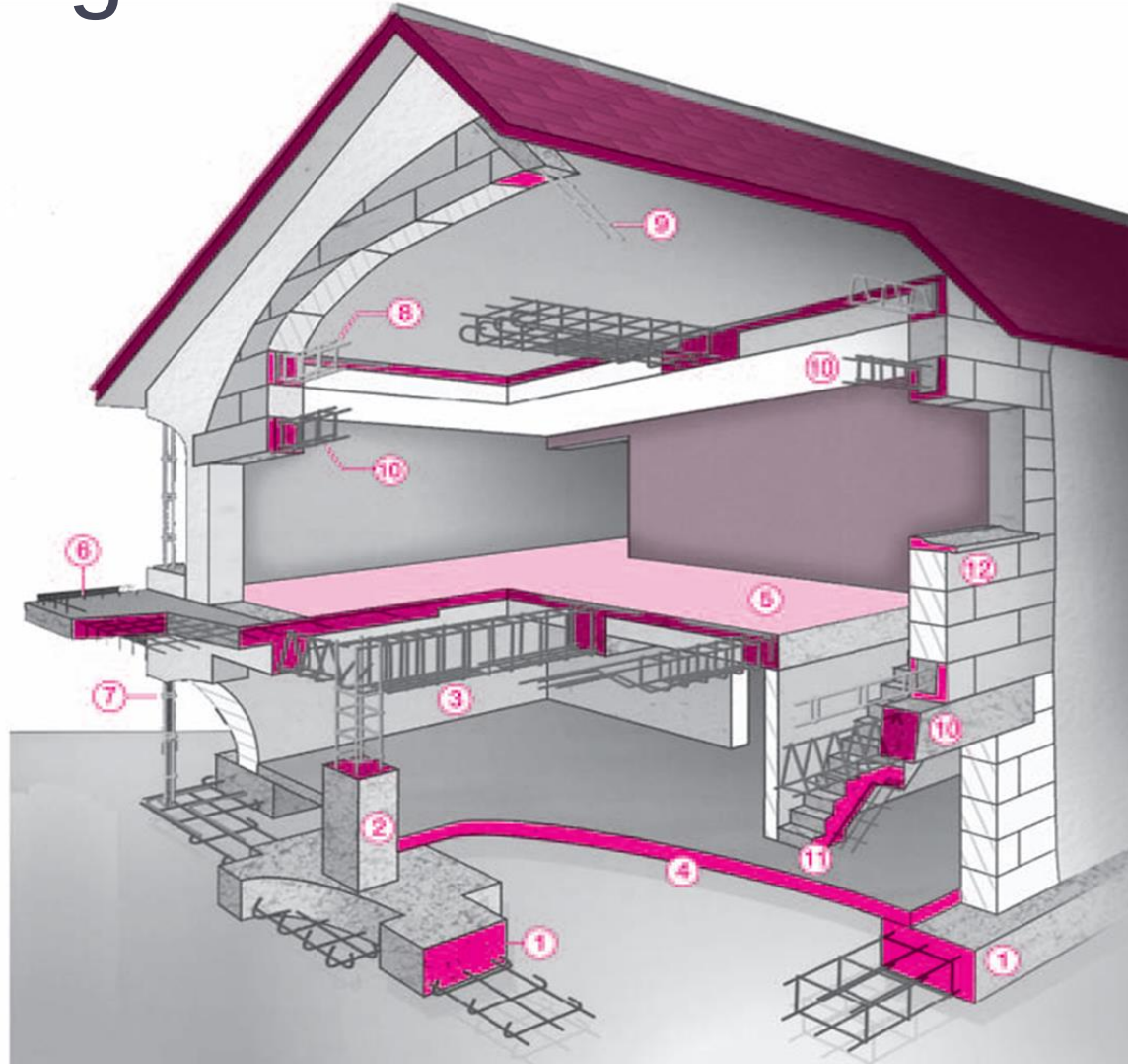
LA STRUCTURE DU BATIMENT & LE COMPORTEMENT DES MATERIAUX

CAPACITES DES STRUCTURES



Terminologie usuelle du bâtiment

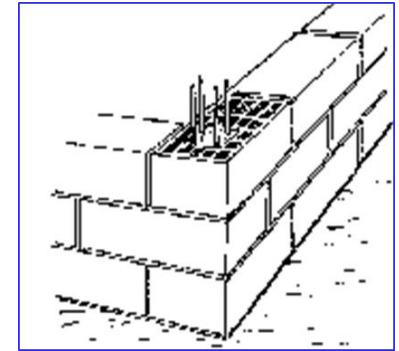
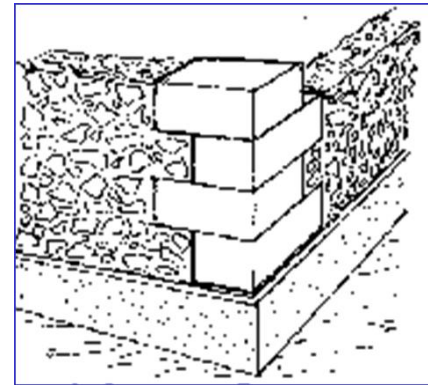
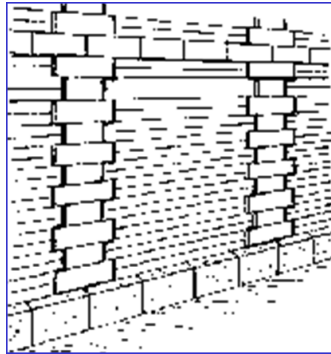
- ① Semelle
- ② Poteau
- ③ Poutre
- ④ Dalle
- ⑤ Plancher
- ⑥ Balcon
- ⑦ Chaînages verticaux
- ⑧ Chaînages horizontaux
- ⑨ Chaînage rampant
- ⑩ Linteaux
- ⑪ Escalier
- ⑫ Appui de baie



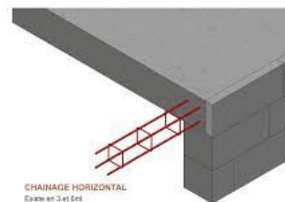
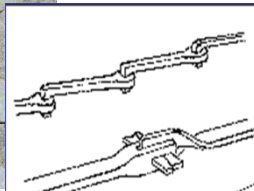
Les chainages

SDIS13 CFD VELAUX / Jean-Luc REY- juin 2020-

VERTICAUX



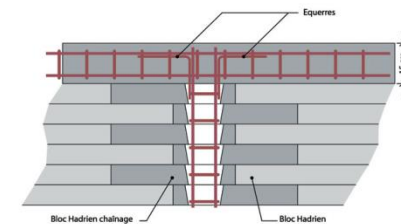
HORIZONTAUX



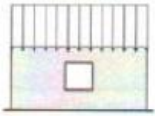
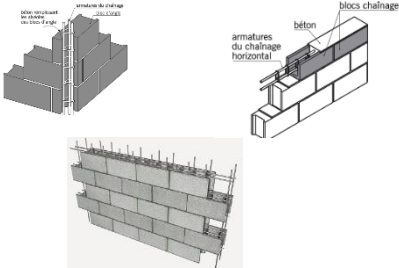
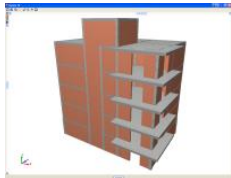
CHAÎNAGE HORIZONTAL

Exemple en 3 et 5 ans

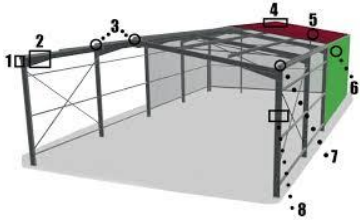
Utilisation en chaînage horizontal
en perspective de plancher ou dans
un chaînage de bloc
13x10 Ø7 acier armé 30
15x15 Ø7 acier armé 30



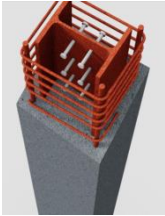
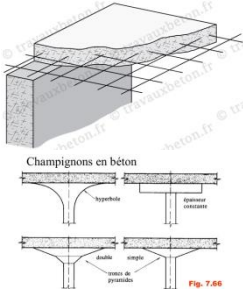
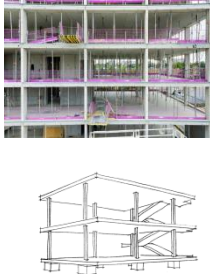
REVUE DES DIFFERENTS SYSTEMES PORTEURS

TYPE DE SYSTEME PORTEUR	PRINCIPE/DETAIL	VISUEL	UTILISATION
MURS PORTEURS EN MAÇONNERIE NON CHAINÉE ET NON ARMÉE 			R + 2 MAX
MURS PORTEURS EN MAÇONNERIE CHAINÉE ET ARMÉE 			R + 3 MAX
OSSATURE PORTIQUES EN BA AVEC REMPLISSAGES EN MAÇONNERIE 			R + 10 ~

REVUE DES DIFFERENTS SYSTEMES PORTEURS

TYPE DE SYSTEME PORTEUR	PRINCIPE/DETAIL	VISUEL	UTILISATION
PORTIQUES AUTOSTABLES EN BA SANS REMPLISSAGES 			R + 5 ~
OSSATURE METALLIQUE 			R + MAX
OSSATURE BOIS 			R + 5 MAX Règlementation en cours d'évolution

REVUE DES DIFFERENTS SYSTEMES PORTEURS

TYPE DE SYSTEME PORTEUR	PRINCIPE/DETAIL	VISUEL	UTILISATION
OSSATURE EN ACIER AVEC POTEAUX ENROBES DE BA (MIXTE) 			R + MAX
SYSTÈMES POTEAUX-DALLES (# Types) 			R + 6 ~
OSSATURE PORTIQUES BA CONTREVENTEE PAR DES VOILES BA 			R + MAX

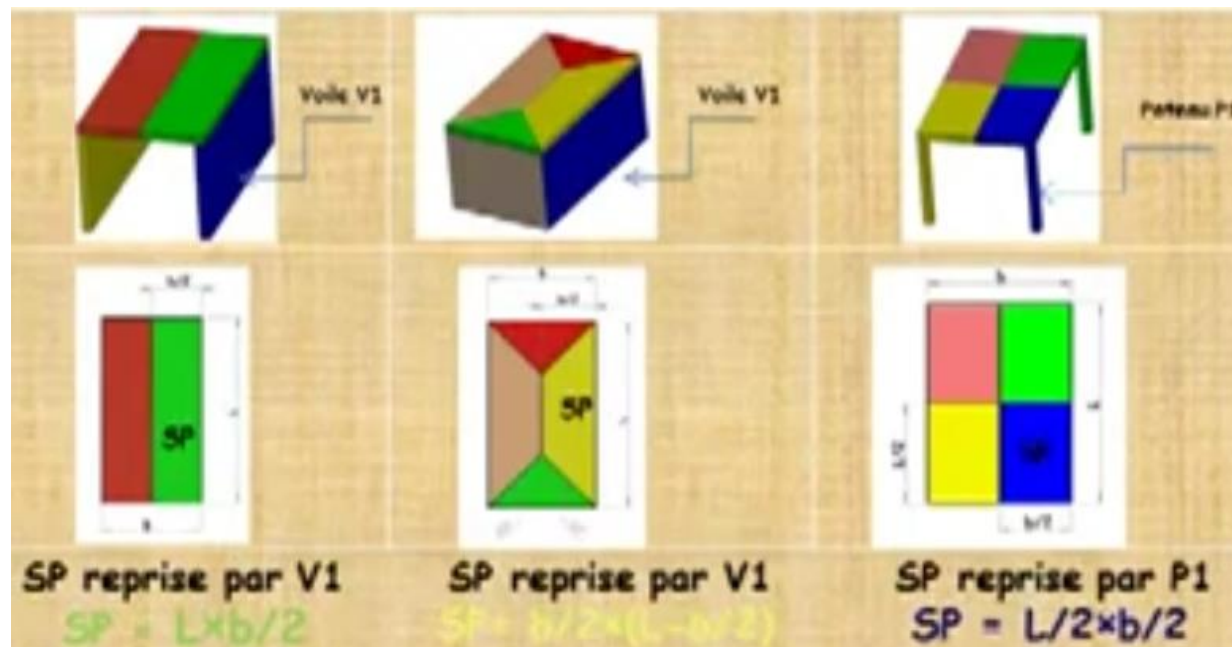
LES MURS PORTEURS

SENS DE PORTEE (planchers BA)

La dalle porte sur les 2 murs gouttereaux

La dalle porte sur les 4 murs

La dalle porte sur les 4 poteaux



SP = Surface d'influence

▲!! L'Impact des SP sur le comportement de la structure et par conséquent sur son confortement (étaielement) sera majeur.

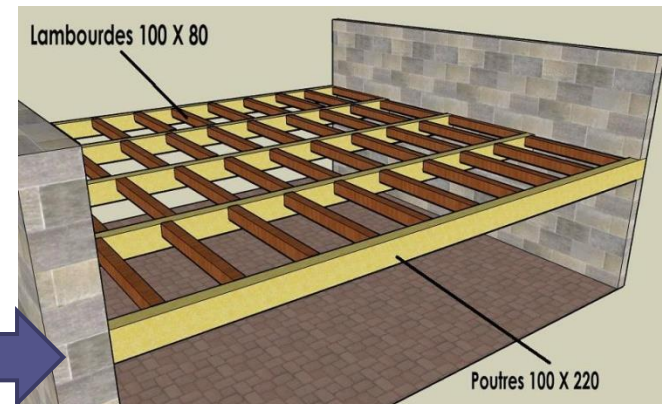
SENS DE PORTEE (planchers Bois)



Plancher à poutre
maîtresse



Plancher à solives



MURS
PORTEURS

INCIDENCE DU SENS DE PORTEE DES MURS



Cas de stabilité précaire due à la bonne distribution des Murs de Refend



Cas de instabilité extrême due à l'insuffisance des porteurs



LE COMPORTEMENT DES MATERIAUX

COMPORTEMENTS MECANIQUES

Sous charges , en intensité ou/et en durée,
il en résulte pour tous les matériaux des endommagements tels
que :

-Fissurations, plastification, écoulement, fatigue et
rupture.

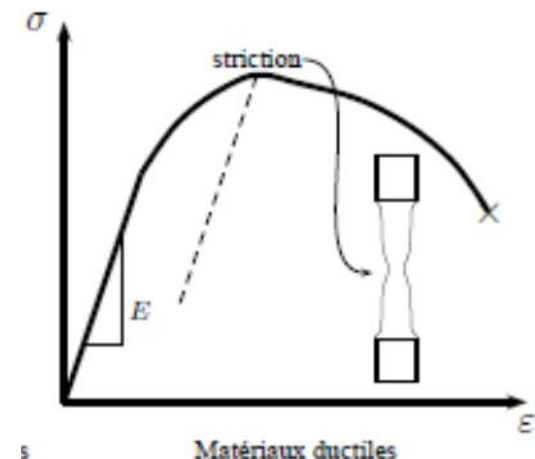
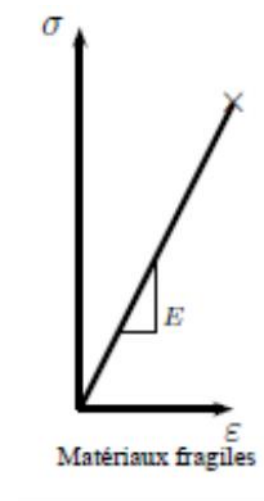
2 grandes classes de matériaux se distinguent alors:

-Les Fragiles dont la rupture est SOUDAINE ET BRUTALE

- Pierres de maçonnerie, Béton non armé et non confiné, verre, bois en sens transversal

-Les Ductiles dont la rupture est précédée d'un allongement et de déformations à faibles contraintes

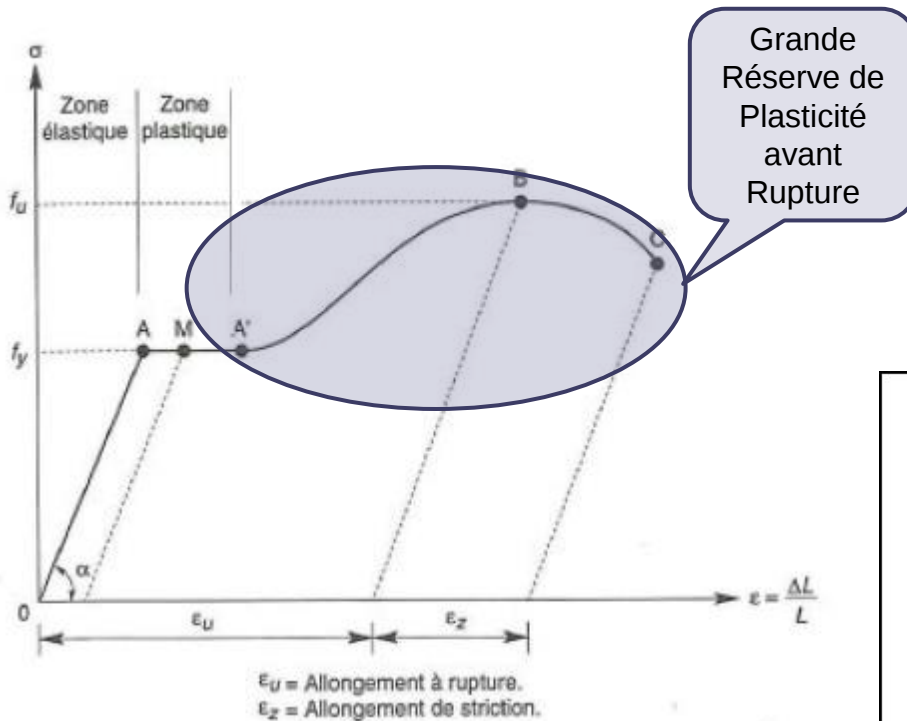
- Aciers, Béton armé et confiné, bois en long



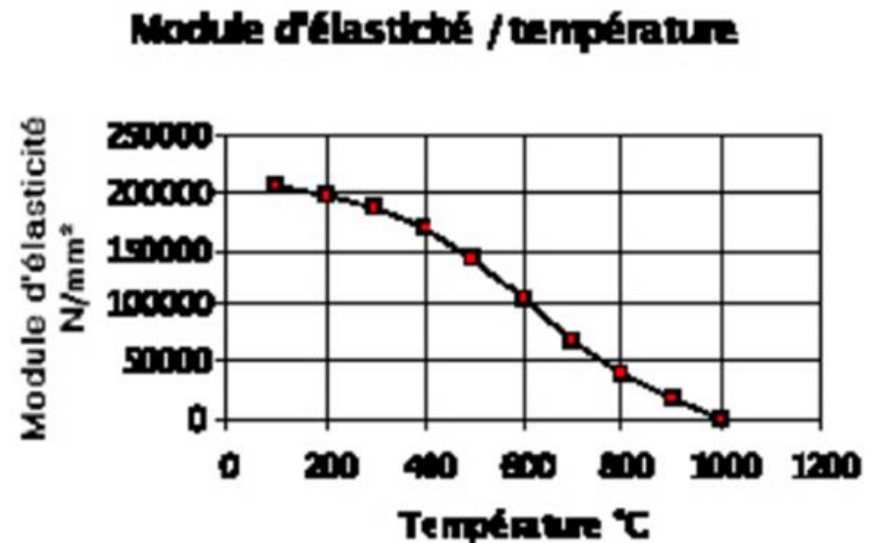
LES ACIERS DE CONSTRUCTION



LES ACIERS DE CONSTRUCTION



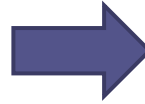
Déformation à T° ambiante



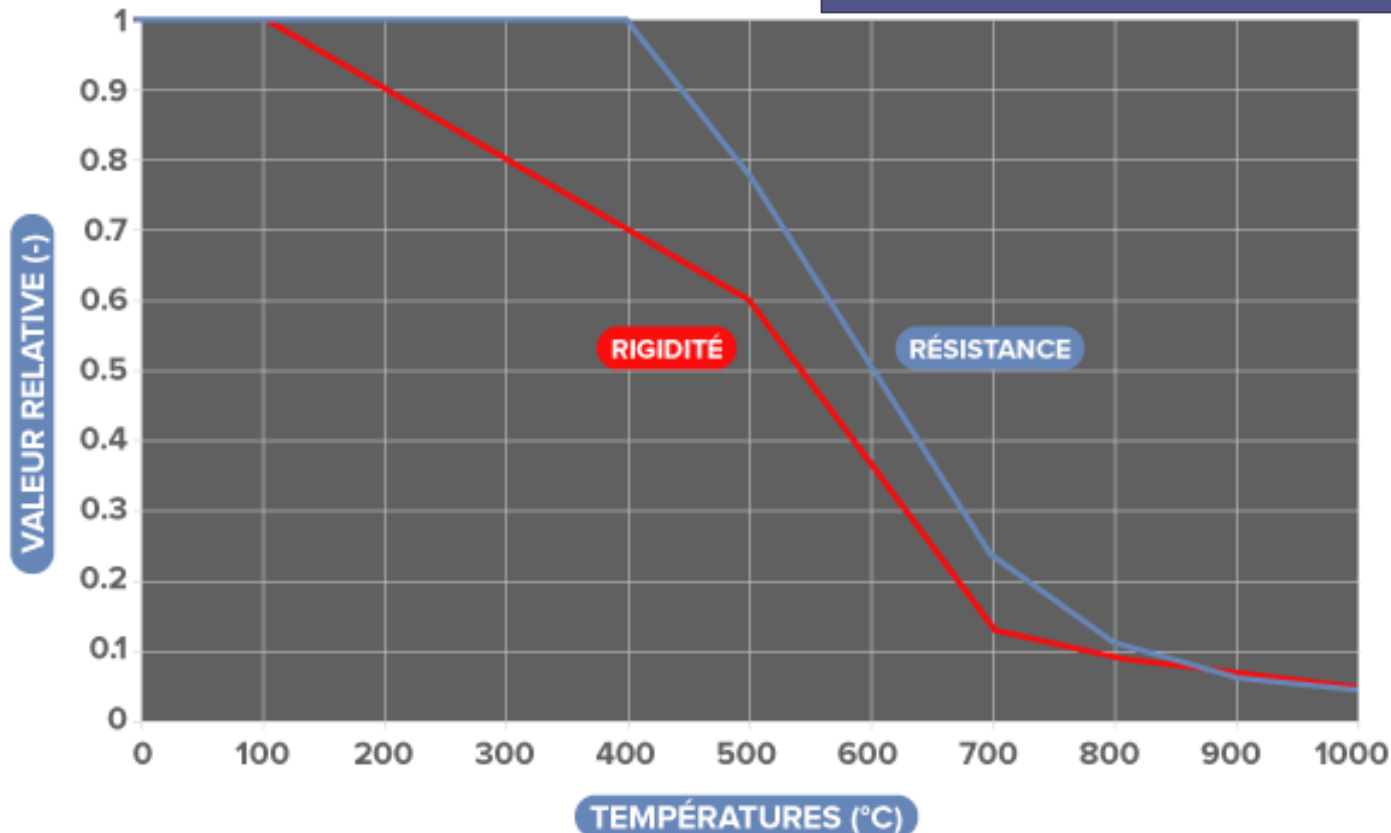
Déformation $> 100^{\circ}C$

LES ACIERS DE CONSTRUCTION

Chutes rapides des Raideurs E
et G (100 °C) puis des
Résistances Re (400 °C)

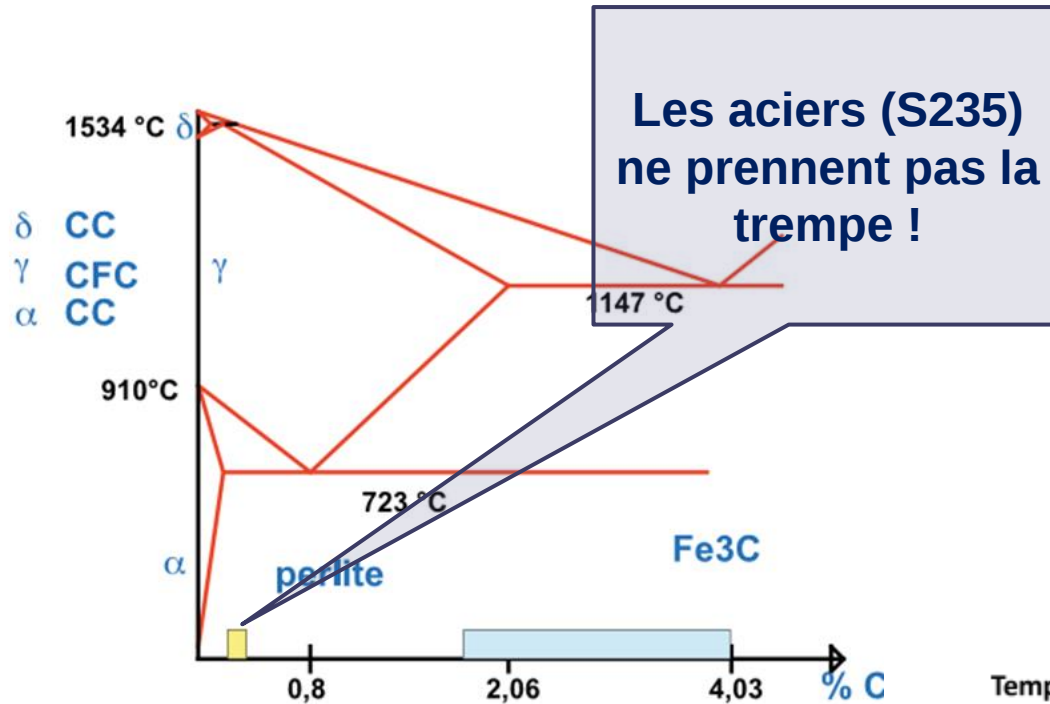


ATTENTION !!!
Les déformations sont prédictives
des Ruptures (si taux de
contrainte élevé)



LES ACIERS DE CONSTRUCTION

DIAGRAMME DES TRANSFORMATIONS (Changements de Phases)



Domaine des aciers de construction
Domaine des fontes

Glühfarben und Temperaturen eines erhitzten Stahlstückes
Gamme des colorations de l'acier incandescent

FARBEN	COULEURS	TEMP.
helle Weissglut	blanc	1300° C
matt weiss-glühend	blanc naissant	1200
hellgelb	jaune clair	1100
gelb	jaune	1000
hellgelbrod	orange clair	950
gelbrod	orange	900
hellrot	rouge clair	850
hell-kirschrot	cerise clair	800
kirschrot	cerise	750
dunkel-kirschrot	cerise foncé	700
dunkelrot	rouge foncé	650
braunrot	brun rouge	600

Températures correspondant à divers points de chauffe de l'acier

Rouge sombre naissant	Température	575°
Rouge sombre	Température	720°
Rouge cerise foncé	Température	700°
Rouge cerise	Température	750°
Rouge cerise clair	Température	800°
Orange clair	Température	950°
Jaune blanc	Température	1200°
Blanc éblouissant (fusion)	Température	1300°

LES ACIERS DE CONSTRUCTION



LES ACIERS DE CONSTRUCTION

Feu Brasserie des 2G - SDIS 13 / AIX / Novembre 2019



Déformation plastique
(Déversement) constatée
habituellement sur les poutrelles
métalliques présentant peu de
Massivité



A = élevé
V = faible
Échauffement rapide



A = faible
V = élevé
Échauffement lent

Retex SD brasserie des 2G- Aix

LES ACIERS DE CONSTRUCTION

Feu Brasserie des 2G - SDIS 13 / AIX / Novembre 2019



Déformation plastique, Allongement,
des aciers S235
($A \sim 15\%$) = effet de vérinage
important

De plusieurs cm/ 10 m / 100°C à partir
de 100 °C

**Risques: Les bridages aux liaisons
peuvent entrainer la chute brutale
des murs porteurs**



Indicateur Positif:
Remplissage de plâtre =
écran thermique efficace
avec $\lambda^* = 0.35 \text{ w / m.K}$

Nota: BA et pierre $\lambda = 1.5$,
acier $\lambda = 50$

LES BETONS ARMES



**Phénomène
d'ECAILLAGE**

LES BETONS ARMES

SDIS13 CFD VELAUX / Jean-Luc REY- juin 2020-

A 300°C
Pertes locales
de résistance
dans le béton
~15 %

Température (°C)	Conséquences
1000	
900	La température du béton dans un feu atteint rarement ce niveau mais la température des flammes peut dépasser les 1 200 °C.
800	
700	
600	Au-dessus de cette température, le béton perd sa pleine capacité de résistance.
550-600	La matrice cimentaire du béton se transforme, une perte de résistance est constatée.
400	
300	La résistance du béton commence à baisser mais seuls les premiers cm exposés s'échauffent. La température du béton en profondeur reste basse et ses propriétés ne sont pas modifiées.
250-420	Possibilité d'écaillage sans risques notables pour la structure.

A 600 °C
Pertes locales
de résistance
dans le béton
~55 %

**Notons l'irréversibilité du processus
d'endommagement (structure granulaire)**

LES BETONS ARMES

Affecte les premiers
Cm d'épaisseur de
béton

(Francfort, 1975, 4h
d'exposition aux flammes



Ecaillage sur poutres et sur poteau

Mécanisme
de rupture

Forte montée en
température
(tunnel * en particulier
~1300°C en qq mn)

Perte des capacités E et
Rr = déformations
locales en surface

= Cloquage
localisé avec
dérobage des
armatures

Les 2 principes d'endommagement des BA:

1°- THERMOMECHANIQUE: naissance des contraintes dans le béton dues aux dilatations différentielles causées par l'exposition aux températures élevées

2°-THERMOHYDRIQUE: dû au développement des pressions de vapeur d'eau générées par l'exposition aux hautes températures responsable de l'écaillage

* !!Nota important!!: Altération interdite par les codes actuels dans le cas des tunnels

LES BETONS ARMES

Aspect visuel de l'écaillage du béton.
Phénomène naissant au sein de la masse de béton, il apparaît par la suite en surface.



Après lavage des suies, on observe les granulats rosis par l'incendie; ici de type Siliceux (de moins bonne réaction que les granulats de type calcaire)

LES BETONS ARMES

Chronologie

1° temps = les angles éclatent (épaufrures)

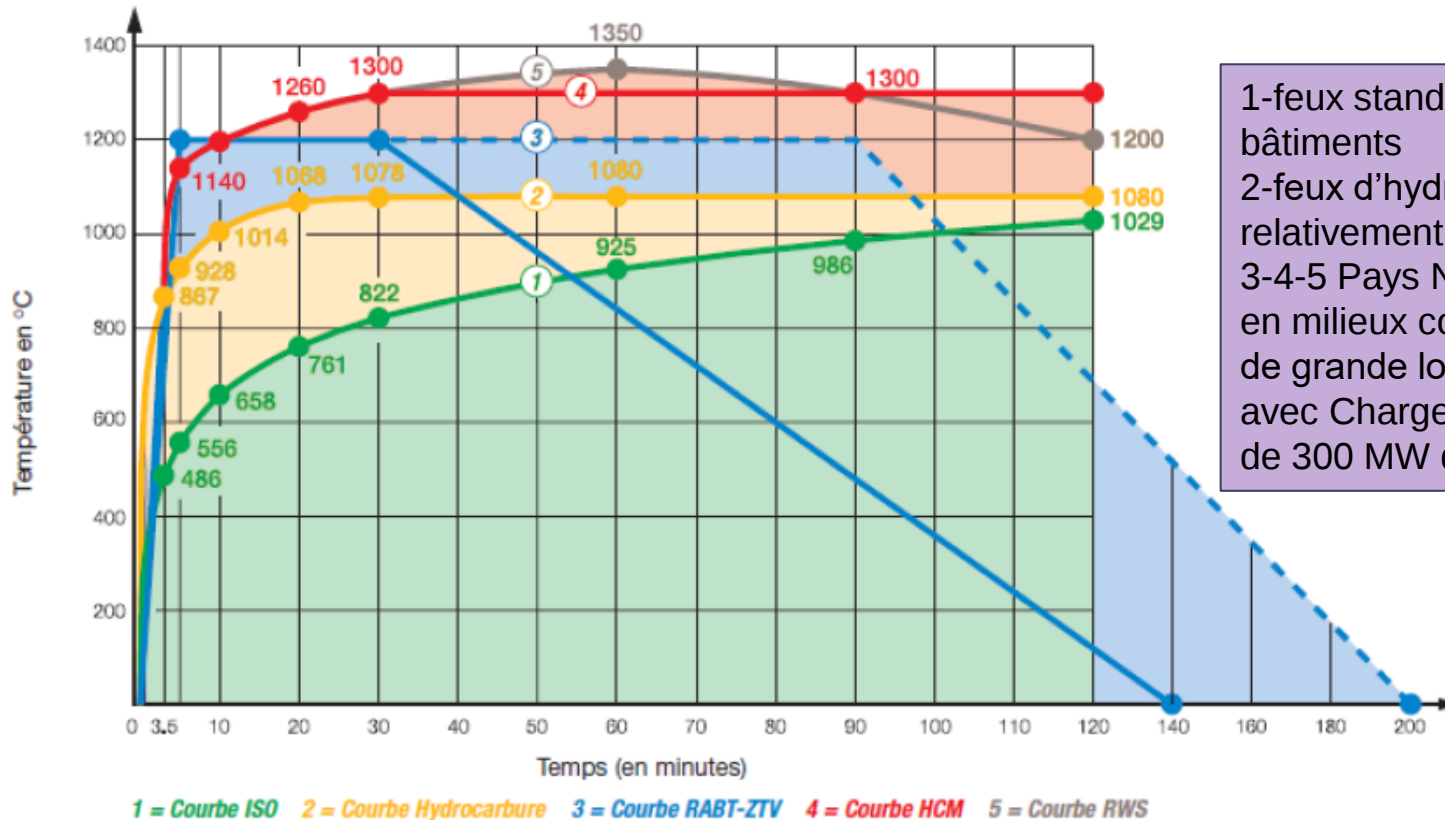


2° temps = formation en surface de zones d'écaillage

Nota: il peut s'opérer dans certains cas « l' écaillage explosif » durant les premiers temps (< 1h)

LES BETONS ARMES

Variabilité des montées en température en fonction du degré de confinement des environnements auxquels sont exposés les structures

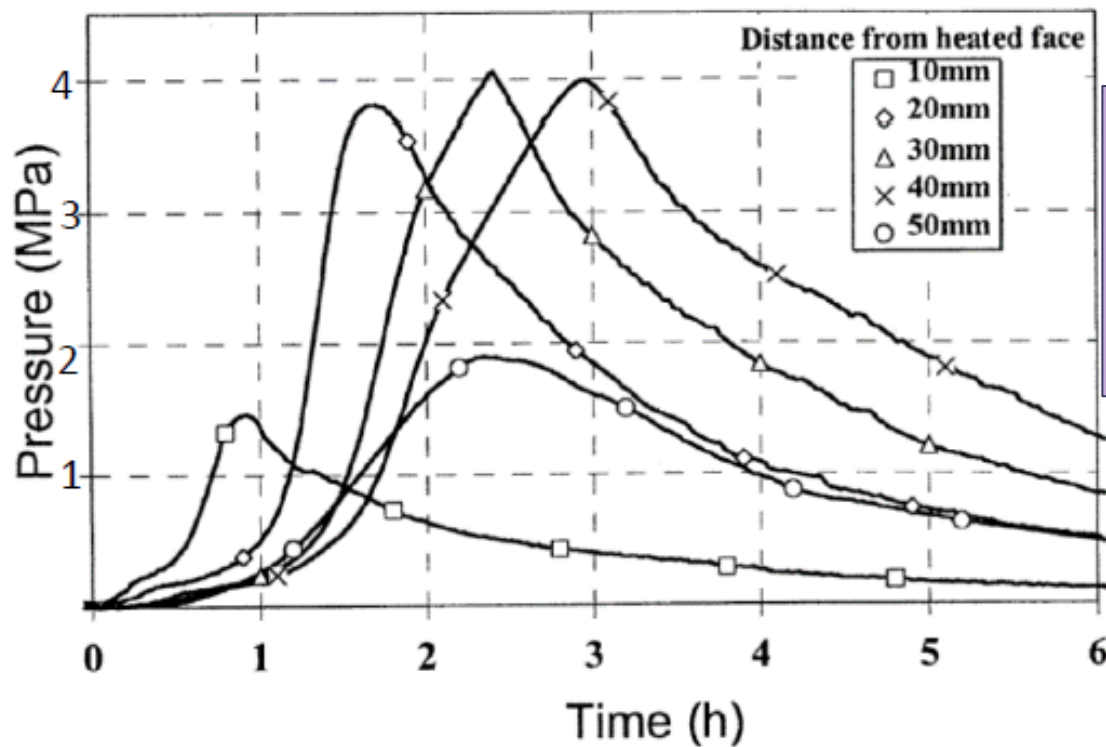


1-feux standards (ISO) de bâtiments
 2-feux d'hydrocarbures en milieu relativement ouverts
 3-4-5 Pays NL, A, CH et D, feux en milieu confinés de type tunnel de grande longueur....
 avec Charge Calorifique possible de 300 MW durant 2 heures.

Figure 34 Courbes normatives de température en fonction du temps (PROMAT 2005)

LES BETONS ARMES

PRINCIPE D'ALTERATION DES BETONS A CŒUR PAR L'ELEVATION DES PRESSIONS DE VAPEUR D'EAU



Pression de vapeur d'eau au cours du chauffage sous T° constante de 600°C durant 6 heures (béton BHP)

Figure 32 Evolution de pression de vapeur en fonction de température à différentes profondeurs (Kalifa et al. 2001)

LES BETONS ARMES

CONSEQUENCES A LIRE

Classe de désordres	0	1	2	3	4
Vue en élévation d'une poutre sous dalle					
Coupe					
Désordres observés	Aucun. État de référence de béton sain	Dépôts de suies, coloration, traces de microfissures non orientées (faiencage)	Écaillage superficiel (0 à 10 mm) (figures 1 et 2). Fissures nettes et orientées (> 0,5 mm)	Disparition du béton d'enrobage. (fig. 3). Les armatures sont visibles. Le béton sous-jacent est légèrement feuilleté.	Les armatures sont totalement dégagées et présentent des déformations plastiques. Une forte épaisseur de béton a disparu ou est feuilletée et a perdu sa cohésion (figure 4)

GRILLE DE
LECTURE DES
DEGRES
D'ECAILLAGE
DES BA

Feu de parking niveau N-1

SDIS 87 / LIMOGES

Cas du relâchement prématuré des Pré et Post Contraintes dans les éléments de structures BA (préfabriqués)

**Danger particulier
lié au risque de
chute des Dalles
Alvéolaires**



LES BETONS ARMES

SDIS13 CFD VELAUX / Jean-Luc REY- juin 2020-

Feu parking MIGNET, N-1 - SDIS 13 / AIX / 08mars 2020

Dommages caractérisés par une durée d'exposition à partir de 2 Heures: Epaufures de grands volumes et écaillage profond



LES BETONS ARMES

SDIS13 CFD VELAUX / Jean-Luc REY- juin 2020-

Feu parking MIGNET N-1 - SDIS 13 / AIX / 08mars 2020



LES BETONS ARMES

**LONDRES ,JUN 2017, TOUR GRENFELL en portiques BA ; R+23; 80 DCD
durée feu= 12 h**

**Notons
l'écaillage
de niveau 4
(~ 1000 °C)**

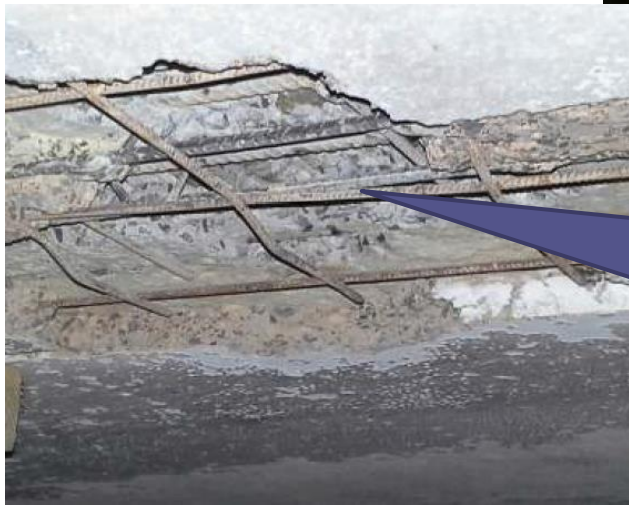


LES BETONS ARMES

**LIEGE , 2016, Parking Opéra en portiques BA, R-3 ; durée du feu= 1 h 30,
Charge= 4 véhicules en feu au R-2**



Prédalle présentant un endommagement critique



Zone écaillée au droit de l'incendie

LES BETONS ARMES

Premières conclusions pour les structures BA soumises au feu (Pdv Opérationnel et post événement)

- la mise à nu des armatures dans ce type de structure génère un grave problème de stabilité.
- D'une manière globale au de-là de 1 heure d'exposition continue au feu la vigilance est appelée
- Les armatures de précontraintes (actives) sont plus vulnérables
- Les structures BA avec câbles de post-contrainte sont très vulnérables (dans le cas des Ouvrages d'art)
- Les superstructures (situées au dessus du parking) sont à évaluer systématiquement.

LE BOIS

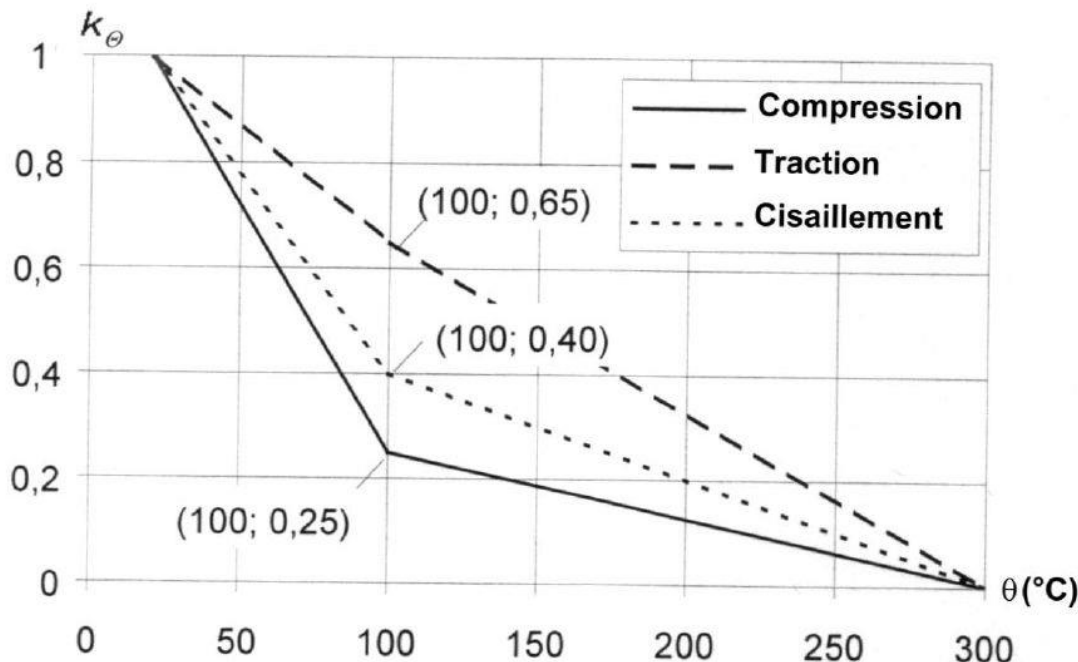


**En 3
Phases
!**

LE BOIS : phase 1- retrait hydrique massif

Important !! L'évaporation rapide de l'eau de 0 à 100 ° C entraîne la chute brutale des **RESISTANCES** mécaniques (E).

- 75 % en Compression
- 60 % en cisaillement
- 35 % en Traction !!

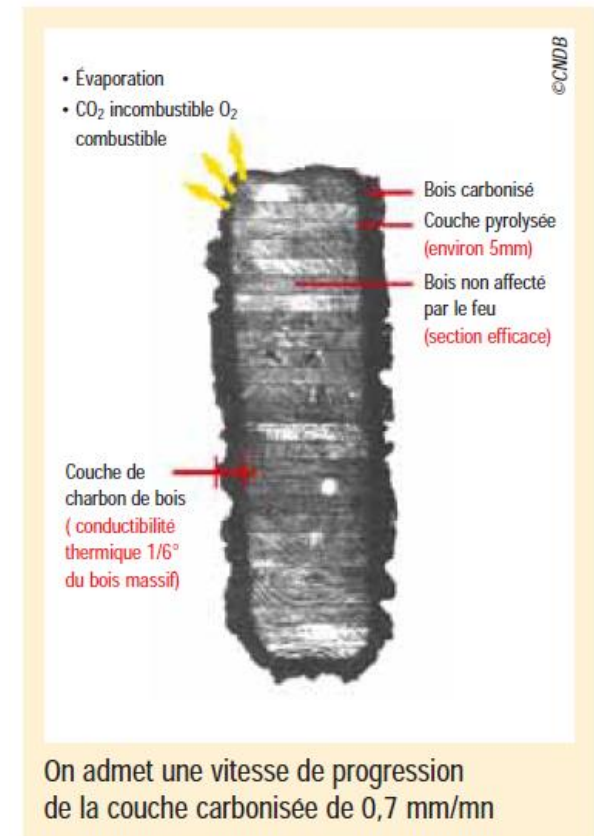


VIGILANCE !!
Pertes rapides des
Raideurs et des
Résistances = désordres
localisés dans les
liaisons (appuis)



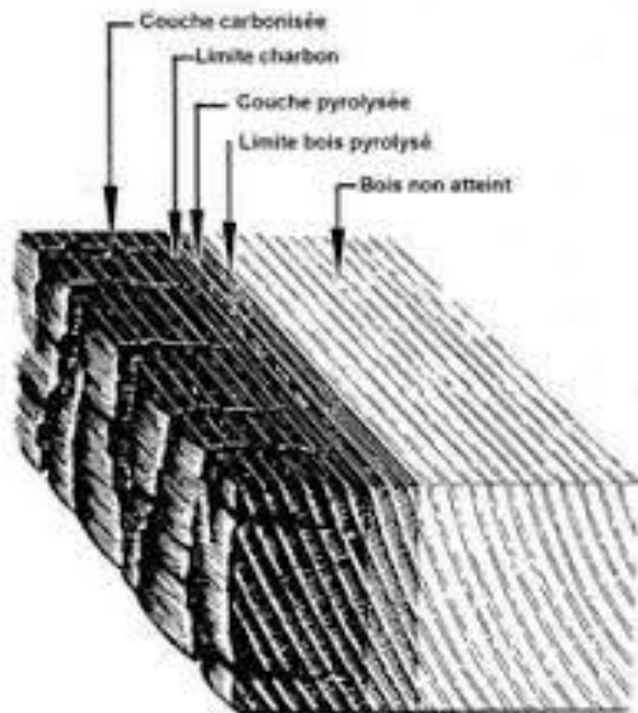
LE BOIS : phase 2- Combustion

Matériau	V c Moyenne En MM/mn *
- Résineux et hêtre massif - Lamellé-collé	0,7
Feuillus massif ou Lamellé-collé de densité ≥ 290 Kg/M3	0,7
Feuillus massif ou Lamellé-collé de densité ≥ 450 Kg/M3	0,5
LVL de densité ≥ 480 Kg/M3	0,7
Panneaux (contreplaqué et autres)	1
*Par face exposée aux flammes -Valeurs issues des Eurocodes 5 Vc est la moyenne de β_0 et β_n	



On admet dans l'usage une Vc des pièces de structure en bois de 1 Cm / Face / Quart d'Heure et 1,5 Cm pour les panneaux

LE BOIS : phase 3- Stabilisation temporaire des contraintes physiques (bouclier thermique)



INDICATEURS DE LECTURE DES DOMMAGES AGGRAVANTS SUR LES STRUCTURES (cas d'instabilité extrême)

Les effondrements subites

1°- de structure: exemple pour rupture lente de porteur (poteaux)



**Matin du
09/7**



**Midi du
09/7**



**16 h du
09/7**



2018 – SDIS 56 / QUIBERON

Les effondrements subites

2°- DES ESCALIERS: exemple pour roche de Villebois, changement d'état du Quartz à 570°C



Lyon, explosion gaz, Bd Lafayette



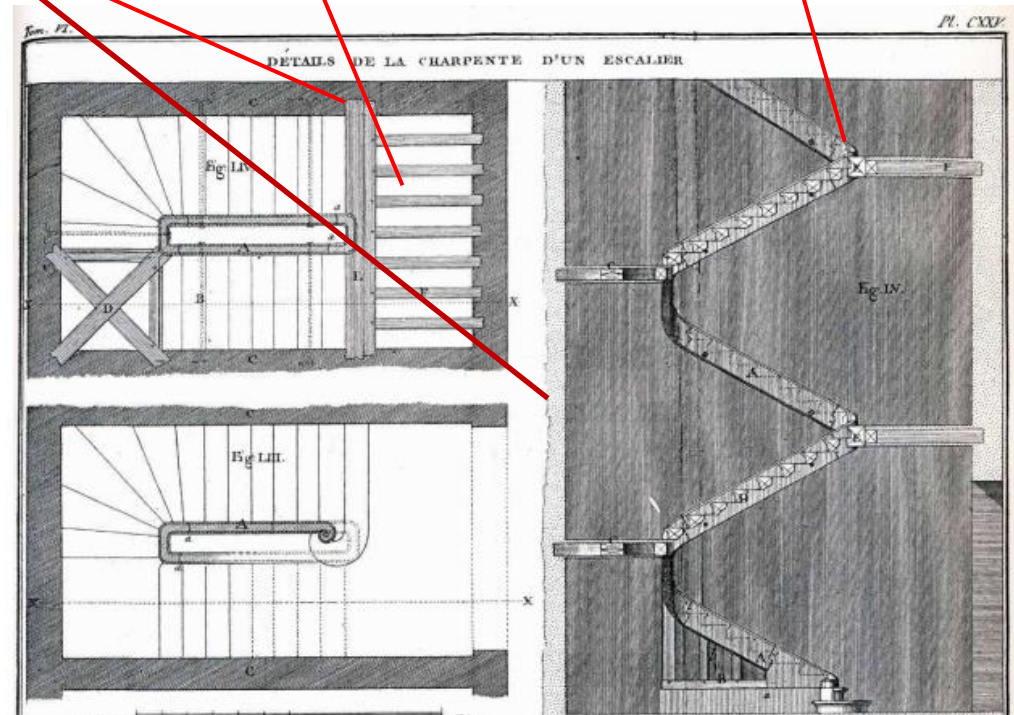
Valence, Feu de poubelle,

2°- DES ESCALIERS: exemple pour escalier bois (type standard à partir du XVI^e siècle)

Murs de la cage en pans de bois

Solives de palier

Poutre palière*



!! ▲ !!
Comportement en Console
(Porte-à-faux)
 de certain palier et svt pour les cages de forme arrondie
 Système appelé « à bascule »

* Identifiable sur la plan structural car elle sert souvent de marche de départ et d'arrivée

Les effondrements subites

SDIS13 CFD VELAUX / Jean-Luc REY- juin 2020-

2°- DES ESCALIERS: exemple pour escalier bois (type standard à partir du XVI^e siècle)

**Effondrement
subite cage
escalier de
service (en bois)
durant incendie**

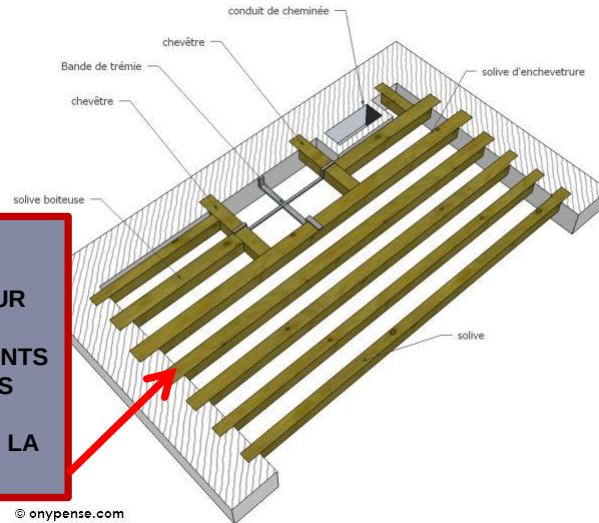


2012 – Bd Sébastopol- Paris / BSPP

Les effondrements subites

SDIS13 CFD VELAUX / Jean-Luc REY- juin 2020-

3°- DES PLANCHERS: exemple pour plancher bois (type standard à partir du XVIII^e siècle)

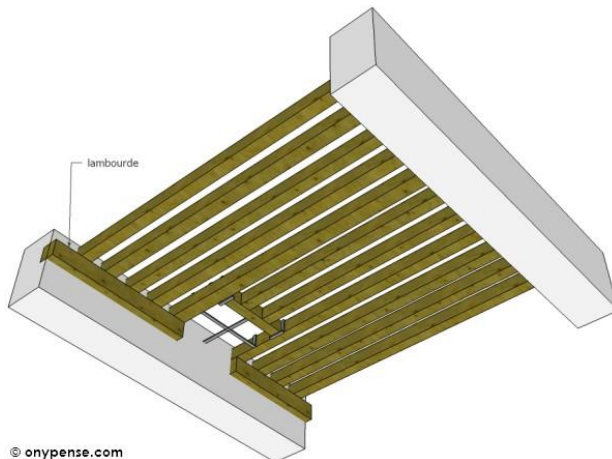


!!!! ▲ !!!!!

PROFONDEUR
DES
ENCASTREMENTS
DANS MURS
=
LARGEUR DE LA
SOLIVE

© onypense.com

OU



© onypense.com



Nota: portées max 5 mètres (bois)
6 mètres (fer)



Abouts des solives HS

PAS DE POUTRE MAITRESSE
MAIS SOLIVAGE (plancher à enchevêtre ou simple travée)

Les effondrements subites

SDIS13 CFD VELAUX / Jean-Luc REY- juin 2020-

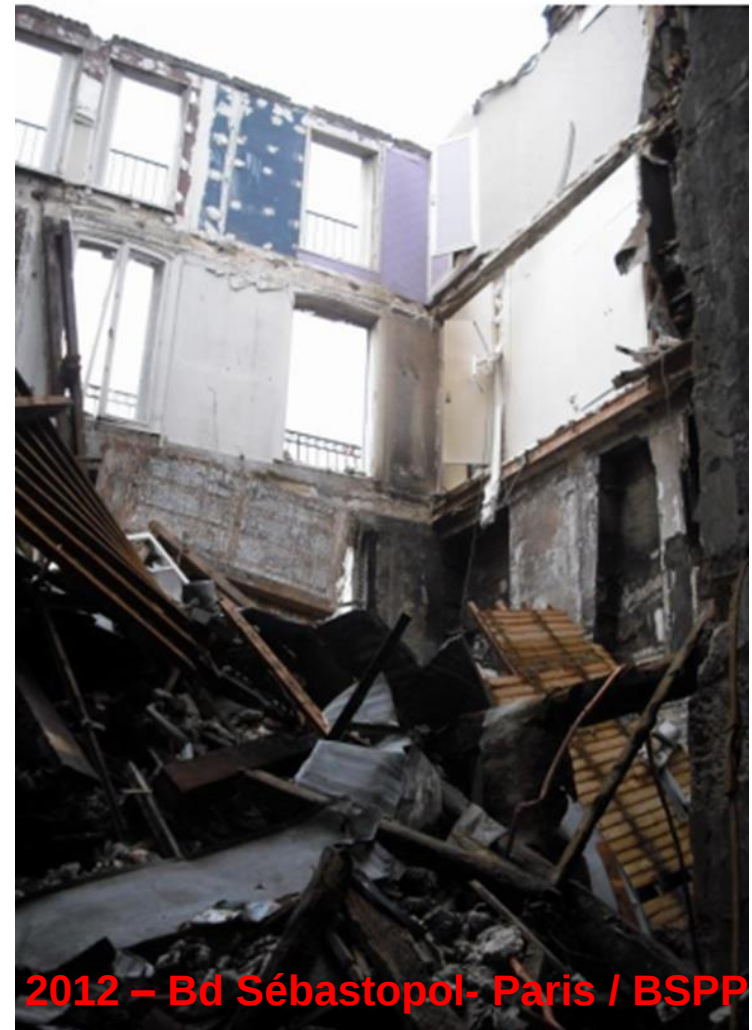
3°- DES PLANCHERS: exemple pour plancher bois (type standard à partir du XVIII^e siècle)

Façades Porteuses

Série de planchers à solivage (pas de poutre maîtresse)

Surcharges dues
-changement de destination
-eaux d'extinction

Endommagement des empochements(dans mur) et des abouts des solives



2012 – Bd Sébastopol- Paris / BSPP

Les effondrements subites

CONCLUSION

**LES
WARNING
SIGNS !**

Les effondrements subites

SDIS13 CFD VELAUX / Jean-Luc REY- juin 2020-

CHRONOLOGIE DES SIGNAUX D'ALERTE INDICATIFS D'UN RISQUE D'EFFONDREMENT DE PLANCHER (En Opération)

<i>TEMPORALITE</i>		<i>SIGNAUX D'ALARME – INDICATEURS DE GRAVITE</i>
IMMEDIATE		Sensation de Vibrations du plancher, Bruits soudains tels que Grondements , craquements, grincements,
		Projections de matériaux des murs (distance de projection proportionnelle à la gravité des dommages),
		Chutes de matériaux des plafonds ou des planchers,
		Poussières en suspension,
		Fissurations « fraîches », ventre ou gîte (flambement) des maçonneries porteuses ou non porteuses,
IMMINENCE		Flexions excessives des poutres maitresses ou déversement des solives, Décalages visuels des bords des planchers par rapport aux murs
		Durée prolongée d'exposition aux flammes (> à ½ Heure) des solives de plancher
		Endommagements des liaisons poutre-mur (Déliaison des empochements ou diminution sévère de la Section Résistante de la poutre maitresse)
ELEMENTS CONTEXTUELS		Surcharge des planchers due aux déblais de toiture ou du plancher supérieur, une destination anormale des locaux (charges lourdes) ou bien par une charge hydraulique conséquente,
		Etat Général de conservation (Vétusté,...) des éléments de structure Murs (porteurs et non porteurs, Planchers et Toitures.
		Origine de l'évènement , Explosion, Incendie, Choc, Séisme ,...

NOTA/ En fonction du type de structure, de ses matériaux, de l'origine de l'évènement et d'éventuels artéfacts, ces indicateurs peuvent être :

- combinés entre eux ou indépendants les uns des autres,
- synchronisés ou déphasés les uns des autres.

Crédits

- TF1.fr
- Aix en Provence.fr
- CSTB
- Cimbéton Centre d'Information sur le Ciment et ses Applications
- Cecobois
- Cerema
- Pujol
- BeSteel
- Thèse de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, Génie Civil, 07-12-2015, Nonna Yermak « Comportement à hautes températures des bétons additionnés de fibres »
- SDIS 13
- SDIS 87
- SDIS 56
- BSPP
- SDMIS

Merci de votre attention, à bientôt. JL