

SEMINAIRE DE FORMATION
RISQUES BATIMENTAIRES
BUILDING RISKS

SD / USAR

ECOLE D'APPLICATION DE SECURITE CIVILE
DE VALABRE
- FRANCE -

Niveau INITIAL

DOMMAGES AUX
CONSTRUCTIONS EN BETON
ARME

DAMAGES TO REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTION

INTERVENANT: JEAN-LUC REY

REVISION RB 2019

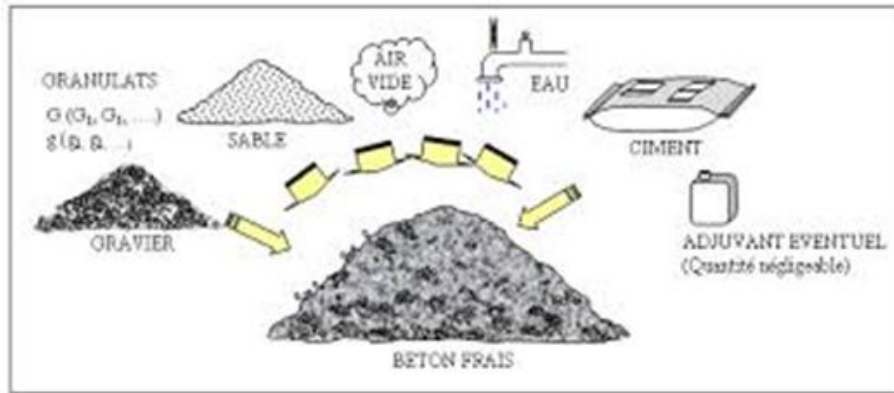


SOMMAIRE

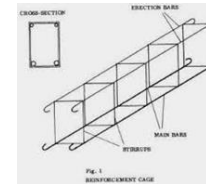
- 1. Matériaux**
- 2. Objectifs: Ductilité et confinement**
- 3. Observation des comportements sous Cs**
- 4. # Types de structures en BA**
- 5. Diaphragmes, trémies d' escaliers, balcons**
- 6. Additif: Dommages spécifiques des bétons**
- 7. Crédits images**

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

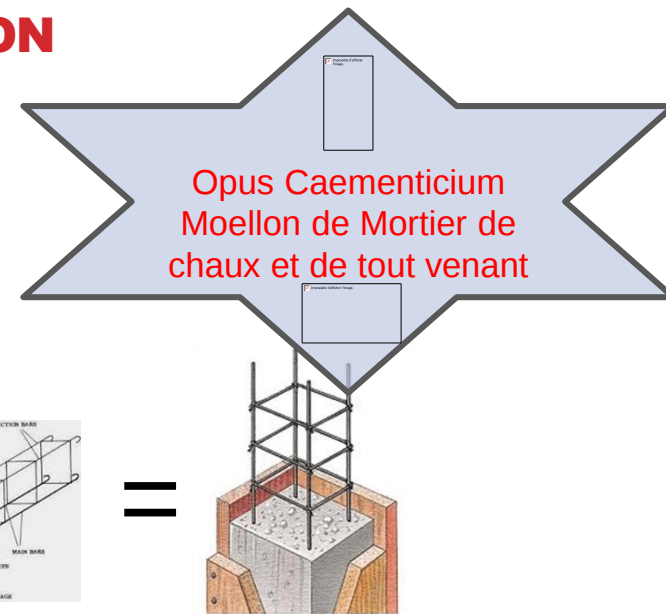
-> MATÉRIAUX



+

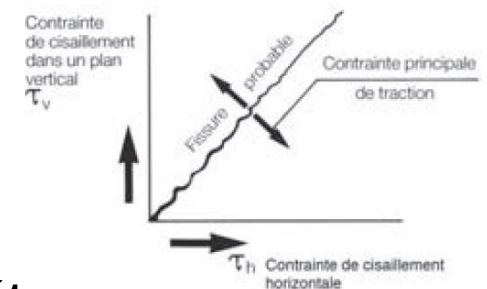


=



Principales caractéristiques mécanique du Béton

- Résistance à la compression $f_{c28} > 22 \text{ Mpa}$, 30 Mpa pour B. Précontraint
*à partir de 28 jours, $1 \text{ Mpa} = 1 \text{ N/mm}^2$
- Résistance à la traction $< 3 \text{ Mpa}$ ----->
- Densité= 2,4
- Module d'élasticité Long. $E = 30\,000 \text{ Mpa}$



Principales caractéristiques mécanique des Aciers à béton

Armatures HA

- Résistance à la traction $< 500 \text{ Mpa}$
- Module d'élasticité Long. $E = 210\,000 \text{ Mpa}$ et $A\% = 5\%$

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> MATÉRIAUX

Inconvénients du béton

- Résistances à la traction et au cisaillement négligeables
- Comportement fragile
- Rapport résistance / masse volumique faible (Performance moindre)

Solutions apportées: l'ajout d'armatures en aciers = **Béton Armé**

Apportent la résistance en traction et la ductilité nécessaires au bon comportement sous séisme.

- Ductilité par l'emploi de nuances dont l'élasticité est limitée ($R < 500 \text{ Mpa}$).
- Ductilité par le choix des sections d'armatures et de la mise en œuvre (Qtée et répartition)
Autorise l'implantation déterminée des Rotules Plastiques dans la structure (incursion favorisée dans le domaine plastique)

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> MATÉRIAUX

Problème particulier lié à la mise en œuvre du BA

Adhérence béton/armature

- Le béton doit être visqueux au moment de sa mise en œuvre, et non liquide... et encore moins « rallongé » d'eau.
- Vibrer le béton pour qu'il se mette en place correctement.
- Respecter les règles d'enrobage des codes Béton (EC et BAEL / France)
- Pas de barres lisses.
- Pour une section totale équivalente, plutôt plus de barres de moindre diamètre.
- Limiter l'emploi des adjuvants



DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> LES DIFFÉRENTS TYPES DE BETONS

Principalement Suivant leur classe de résistance à la compression (en Mpa à 28 jours)

Tableau n°1 : Classe de résistance à la compression pour les bétons de masse volumique normale et les bétons lourds

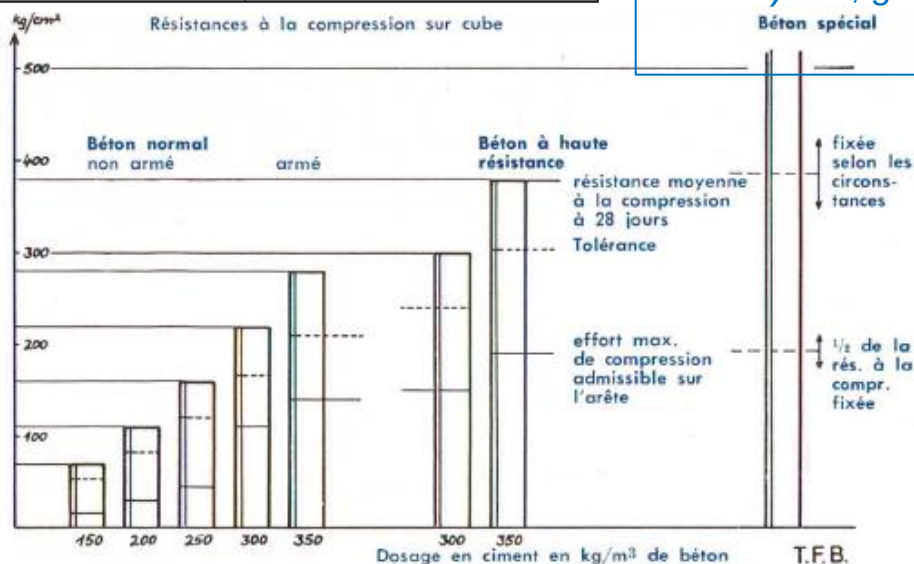
Classe de résistance à la compression	Résistance caractéristique minimale sur cylindres	Résistance caractéristique minimale sur cubes
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

La classification

normalisée= 5 classes:

- de Résistance
- De Consistance (ouvrabilité, affaissement de S1 à S5)
- de présence de Chlorure (de 0,2 à 1%)
- de Dimension des granulats
- d'Exposition (de XO à XF) Sel, gel/dégel, marin,..

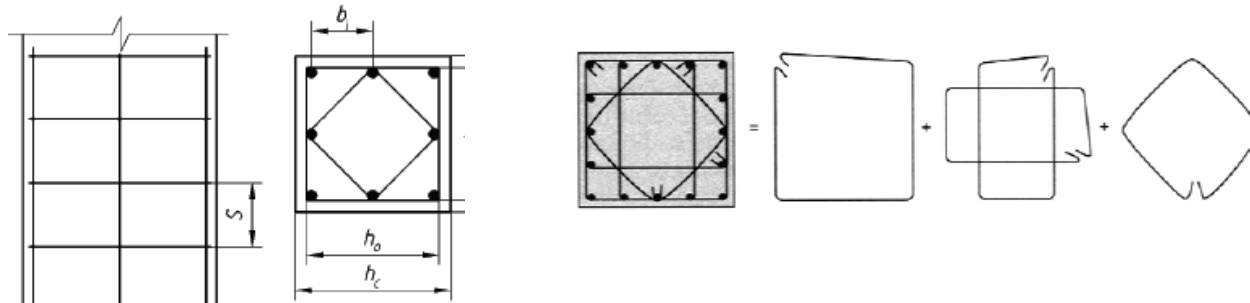
-Exemple de leur dosage en ciment



DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON -> MATÉRIAUX

Conception des zones critiques : Confinement

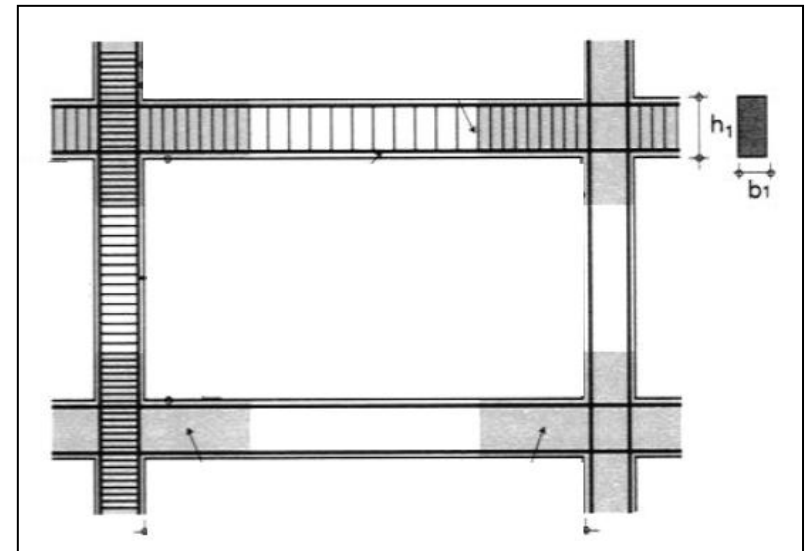
Rôles !!
-Prévenir le gonflement du béton
-s'opposer au flambement des armatures



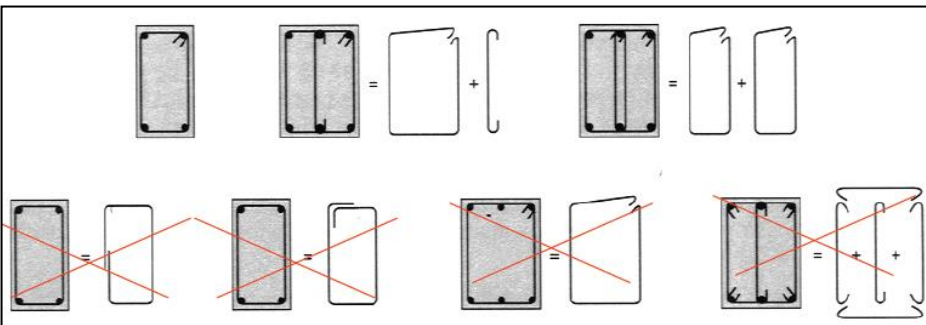
Exemple de conception de zone critique de poteau(EC8)



$$l_{cr} = \max \left\{ h_c ; l_{cl}/6 ; 0,45 \right\}$$



conception des confinements aux voisinages des liaisons (nœuds) svr EC8



Exemple de conception du confinement d'une poutre

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> MATÉRIAUX

Exemples de mauvaise et bonne ductilité des zones critiques de structures



Alaska, 1964: Exemple très convainquant des capacités de traction et de flexion
Obtenues grâce à la qualité des confinements
dans les zones critiques de cette structure
(parking)



Californie, 1979, Imperial valley:
Contre exemple de confinement
satisfaisant: outre le manque de
cadres et la mauvaise qualité du
béton, la section des armatures
longitudinales apparaît bien trop
importante par rapport à la
section du poteau.

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> MATÉRIAUX

Cas de
Bonne
rotule



Rotules plastiques sur l'ossature porteuse d'un château d'eau. (Séisme du Chili 1966) Doc Karl – V. Steinbrugge

Les rotules plastiques se sont formées dans les poutres car frettage correct prévu à la conception. La dissipation des énergies sismiques au travers de ces rotules a permis d'atténuer les contraintes de cisaillement dans les poteaux. La stabilité de l'ouvrage est quasi intégrale.

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> MATÉRIAUX

Taiwan 1999



Obs: Viaduc de gauche= rupture des câbles de précontrainte
Viaduc de droite= rupture fragile de la pile (confinement très insuffisant)
Cs sens droite-gauche)

Kobé, 1995



Obs: Qtée de cadres très insuffisante
Et béton fortement désagrégé (règles de l'art non respectées pour ce type d'ouvrage)

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> ABSENCE DE CONFINEMENT DANS LES ZONES DE LIAISON



AMATRICE / ZONE ROUGE AOUT 2016

Énumérons les
facteurs de
vulnérabilité
visibles !

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> DEFAUT CROCHETAGE DES ARMATURES



PESCARA DEL TRONTO/ AOUT 2017



Notez le travail des Répliques

Obs: Construction très récente (4 ans) avec défauts des ferrailages et béton trop faiblement dosé

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> MATÉRIAUX

LA CORROSION DES ARMATURES

1. L'armature doit se trouver à l'intérieur du béton et ne pas paraître à l'extérieur.
- 2 **IMPACT DES FISSURES** / Dans des conditions normales, les armatures enrobées de béton sont protégées par un phénomène de passivation (création d'une pellicule protectrice de ferrite : $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaO}$). Ce phénomène existe tant que la présence de chaux maintient la basicité du milieu mais en présence de certains composés extérieurs, le milieu se trouve progressivement modifié et le pH passe de 12 à 9 entraînant une dépassivation de l'acier. (couple électrique = effet de pile!!!!)
- 3 Plusieurs agents peuvent détruire la pellicule de protection : le gaz carbonique, les chlorures, les sulfates et l'eau pure. (ces apports sont aussi produits par la rouille des armatures)
- 4 L'ENROBAGE des armatures doit être au moins égal à :
 - 4 cm pour les ouvrages exposés à des conditions difficiles (embruns, eaux agressives) ;
 - 3 cm pour les parois non coffrées et susceptibles d'être soumises à des actions agressives ;
 - 2 cm pour les parois exposées aux intempéries ou aux condensations ;
 - 1 cm dans les locaux ouverts ou clos sans condensation.

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> MATÉRIAUX



Détails de corrosion des armatures et défauts
des épaisseurs d'enrobage
(Docs. Victor Davidovici et CSTB)



DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> MATÉRIAUX

DEFAUT D'ENROBAGE



DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> # TYPES DE STRUCTURES EN BA

- A Ossatures en portiques coulés en place
- B Voiles BA coulés en place
- C Structures mixtes (Voiles-Portiques)
- D Structures Poteaux-dalles
- E Structures précontraintes
- F Structures en béton armé léger
- G Ossature en éléments préfabriqués
- H Structure en panneaux préfabriqués

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> # TYPES DE STRUCTURES EN BA

A OSSATURES EN PORTIQUES COULÉS EN PLACE

Comportement correct si elle est armée pour être ductile

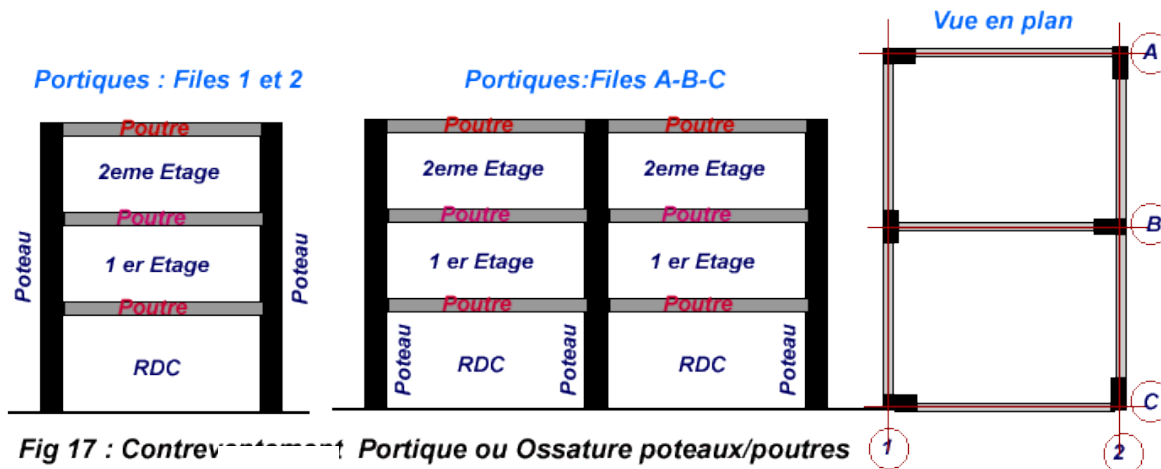
MAIS

La mise en œuvre de leur ductilité est parfois difficile
(nombreuses armatures)

ET

Présentent un comportement fragile (effondrement) quand
leur contreventement est assuré par des

Panneaux de remplissage rigide en maçonnerie



DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> # TYPES DE STRUCTURES EN BA

A OSSATURES EN PORTIQUES COULÉS EN PLACE

1° Ne conviennent pas pour les bâtiments élancés car trop flexible

2° Le respect du principe Poteaux Forts-Poutres Faibles est impératif

3° Le respect des zones critiques oblige à:

-concevoir correctement les nœuds des portiques qui subissent des efforts alternés élevés détruisant l'adhérence du béton et de l'acier.

-leur volume doit être freiné pour lui donner une bonne ductilité en donnant la « priorité » au poteau.

• Leur résistance doit être supérieure à celle des éléments qu'ils relient

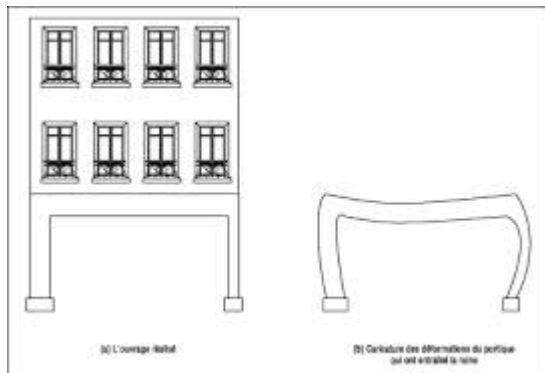
DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> # TYPES DE STRUCTURES EN BA

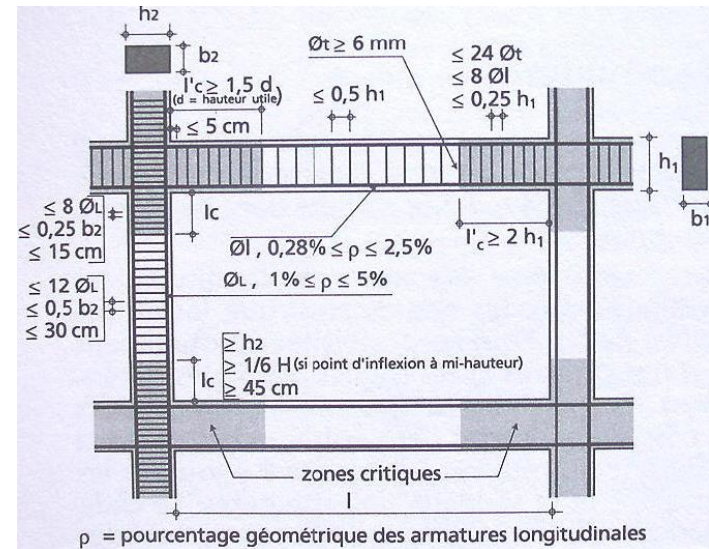
A OSSATURES EN PORTIQUES COULÉS EN PLACE



Très mauvaise conception !!



Très mauvaise conception !!



PS 92: conception des confinement dans les zones critiques des poutres et des poteaux



La stabilité du bâtiment n'est plus assurée; les murs de remplissages assurant les contreventements ont été détruits

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> # TYPES DE STRUCTURES EN BA

A OSSATURES EN PORTIQUES COULÉS EN PLACE

1° Ne conviennent pas pour les bâtiments élancés car trop flexible

2° Le respect du principe Poteaux Forts-Poutres Faibles est impératif

3° Le respect des zones critiques oblige à:

-concevoir correctement les nœuds des portiques qui subissent des efforts alternés élevés détruisant l'adhérence du béton et de l'acier.

-leur volume doit être fretté pour lui donner une bonne ductilité en donnant la « priorité » au poteau.

• Leur résistance doit être supérieure à celle des éléments qu'ils relient

4° Eviter les poteaux courts car ils travaillent mal à l'effort tranchant les sollicitant. Rap. Poteau Court si $L \text{ libre} < 4 \times \text{la dimension de la direction concernée par Cs}$

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

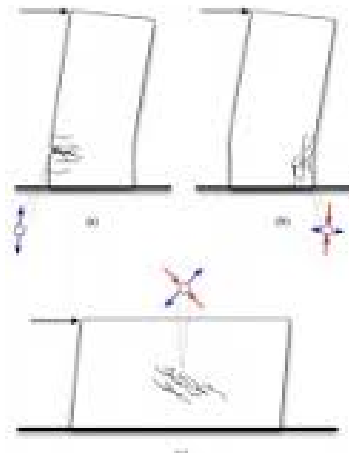
-> # TYPES DE STRUCTURES EN BA B VOILES BA COULÉS EN PLACE

Comportement très satisfaisant aux séismes

Structure rigide qui limite les déplacements relatifs des planchers

=> Sollicitations dans les zones critiques créant moins de vulnérabilité que pour les noeuds d'ossatures

=> La fissuration des voiles n'entraîne pas la perte de portance et l'effondrement



Flexion avec murs ductiles



En cas de terrain meuble, ISS non négligeable

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

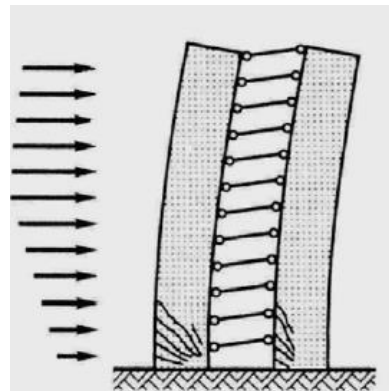
-> # TYPES DE STRUCTURES EN BA

B VOILES BA COULÉS EN PLACE

Comportement très satisfaisant aux séismes MAIS

Ne pas faire porter les voiles par des poutres ou des dalles (interdit par l'EC8)

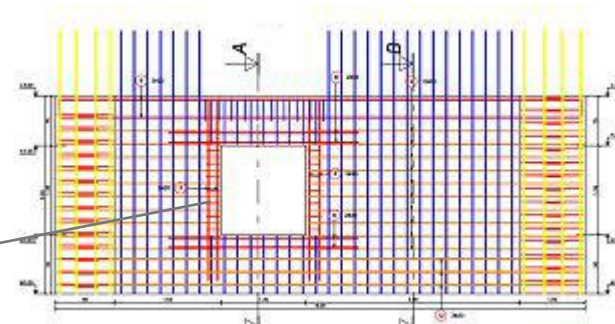
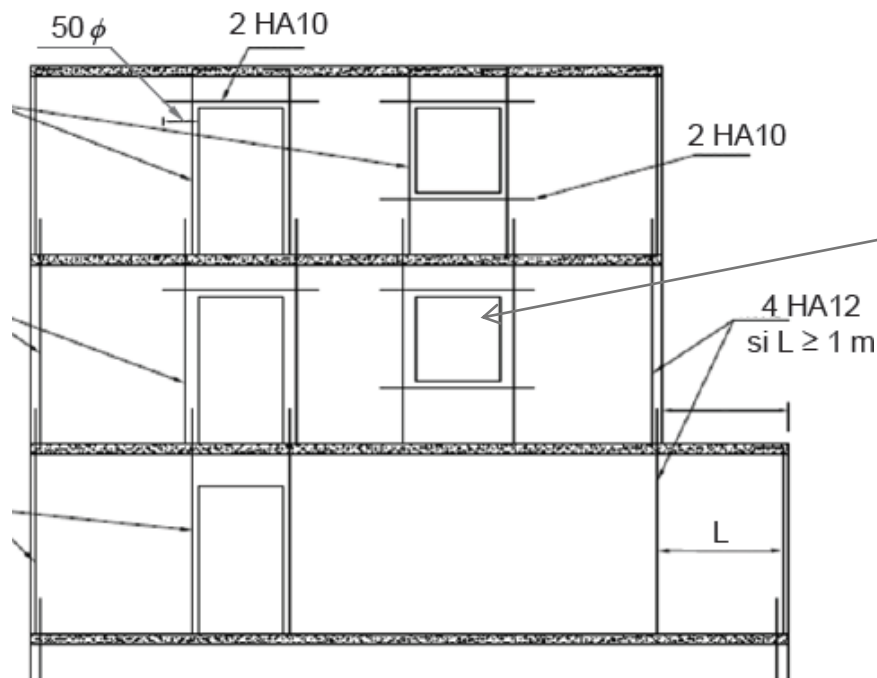
- Couler voiles et planchers en même temps (coffrage tunnel) pour éviter les reprises de bétonnage en haut des voiles.
- Superposer les ouvertures pour créer des trumeaux de pleine hauteur.
- Utiliser un système de voiles croisés, d'hyperstaticité élevée.



Séisme d'Anchorage
(Document Karl V. Steinbrugge)

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> # TYPES DE STRUCTURES EN BA B VOILES BA COULÉS EN PLACE



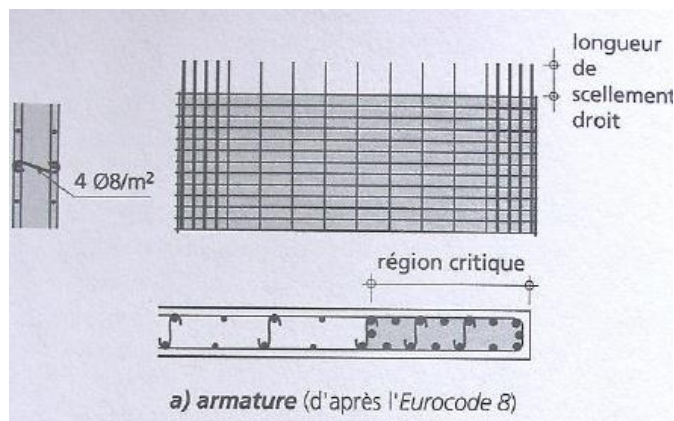
PRINCIPE DE FERRAILLAGE des voiles /Renforcement par chaînages:

Chaînages verticaux

- aux extrémités des murs
- à chaque intersection de murs
- au droit de toute ouverture
- au droit des changements de section si $l \geq H/3$

Chaînages horizontaux

- Au droit de chaque plancher
- Au des ouvertures



DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> # TYPES DE STRUCTURES EN BA
B VOILES BA COULÉS EN PLACE



Eclatement en pied d'un voile pas
suffisamment ductile
Spitak, Arménie 1988



Cisaillement d'un voile suffisamment
confiné
Californie, 1971

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> # TYPES DE STRUCTURES EN BA

B VOILES BA COULÉS EN PLACE

Eviter si possible les zones de confinement



Voiles correctement armés
-Exemples de découpe-

Exercice EU-MODEX
Merseyside (U.K.) Mars 2019



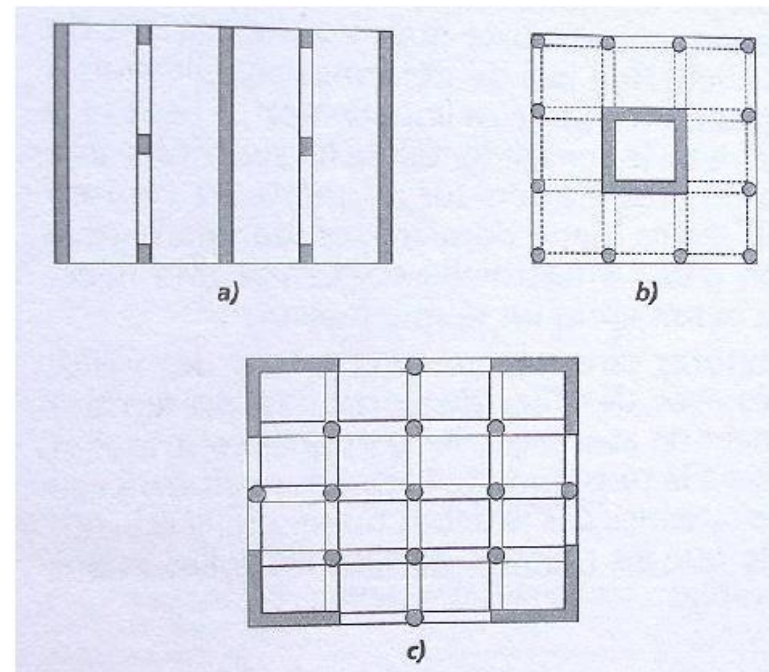
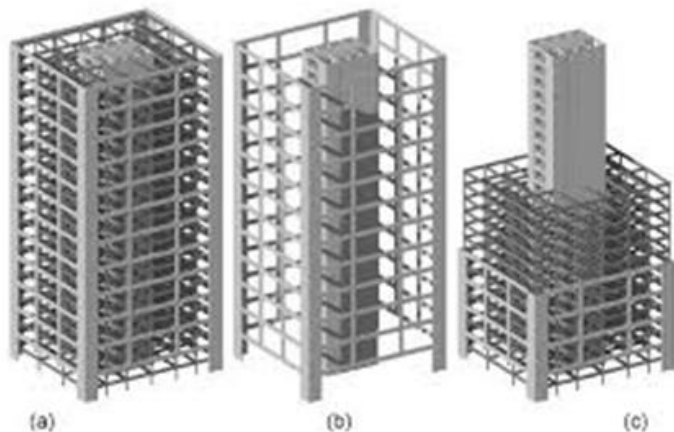
DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> # TYPES DE STRUCTURES EN BA

C STRUCTURES MIXTES (VOILES-PORTIQUES)

Parfaite tenue aux séismes car ce système cumule les avantages des voiles et des portiques !!! => *cas des tours au japon!!*

Ce système associe la ductilité des portiques (**travail en déformation**) et la résistance du noyau en voiles (**travail en capacité**)



DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

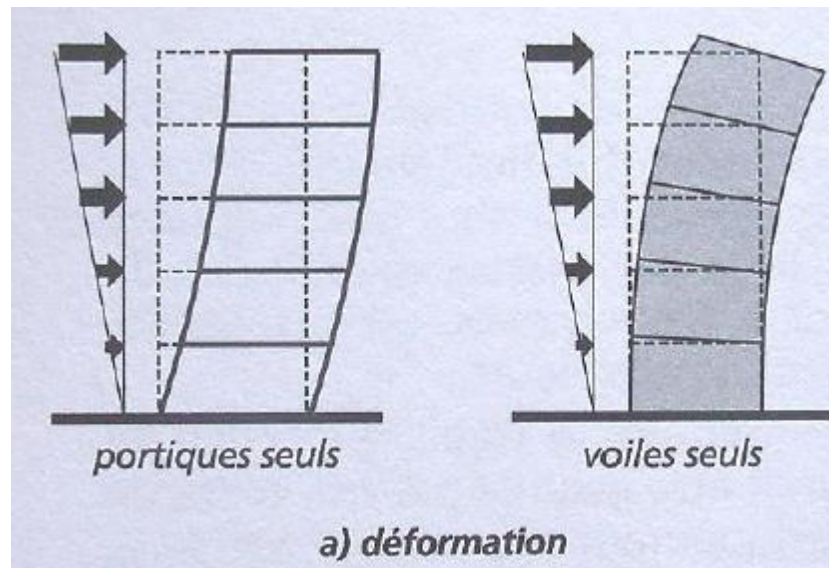
-> # TYPES DE STRUCTURES EN BA

C STRUCTURES MIXTES (VOILES-PORTIQUES)

Les portiques ont une déformation d'ensemble d'éléments cisailés: plus faible aux étages supérieurs:

=>Les voiles une déformation de console verticale: plus faible aux étages inférieurs

=>L'association des deux apporte une raideur qui limite les déplacements relatifs entre les planchers.



DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> # TYPES DE STRUCTURES EN BA

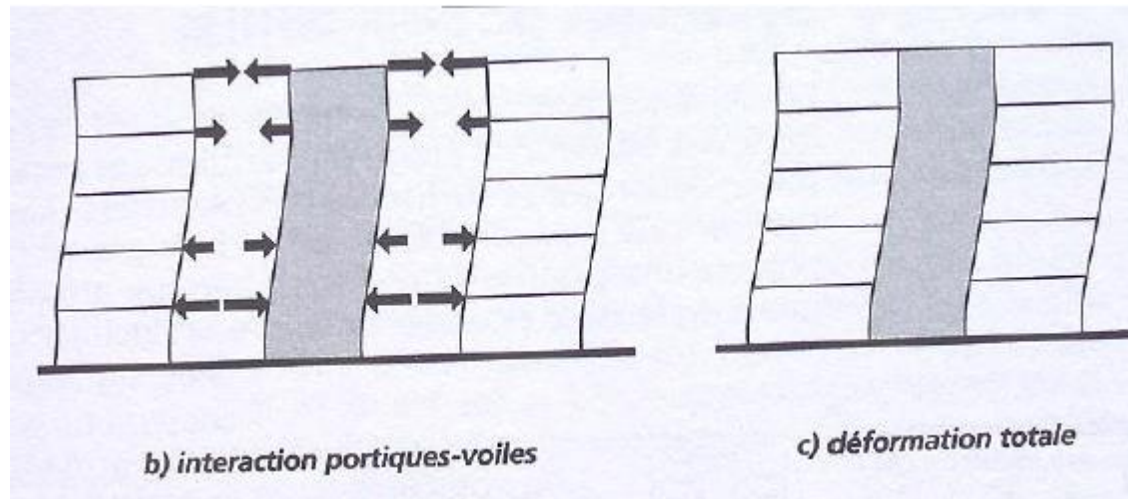
C STRUCTURES MIXTES (VOILES-PORTIQUES)

INTERACTIONS VOILES-PORTIQUES SOUS CHARGES SISMIQUES

Dans un premier temps, les voiles, plus rigides, reprennent la presque totalité des charges sismiques et les déformations restent faibles.

=> Avec l'apparition de zones plastifiées sur les voiles, un report de charges se fait sur les portiques dont la ductilité permet une dissipation d'énergie importante.

=> La période propre du système s'allonge permettant la sortie du système d'une éventuelle résonance avec le sol.



DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> # TYPES DE STRUCTURES EN BA

D STRUCTURES POTEAUX-DALLES

Très mauvaise tenue aux séismes!!

-Sans contreventement par voiles ce système constructif s'effondre rapidement (en mille feuilles!!)

-L'absence de poutre rend plus délicate la liaison ductile effective entre le poteau et la dalle: pas d'effet de portique.

!!SYSTÈME INTERDIT DANS LES RPA (code Algérien)!!



E STRUCTURES PRÉCONTRAINTES

Tenue moyenne aux séismes et la très faible ductilité implique de bien estimer les charges sismiques réelles possibles sur le site.

Concerne surtout les éléments de franchissement (poutres de longue portée)

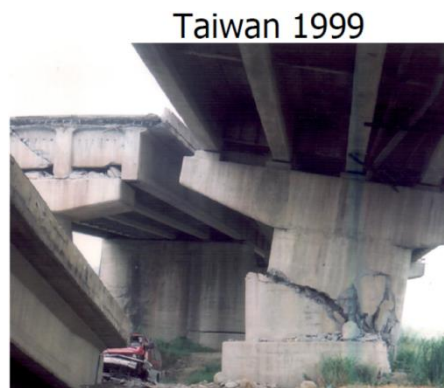
Les ruptures éventuelles concernent les supports ou les liaisons (câbles) entre éléments et pas les pièces précontraintes

Mécanisme des dommages

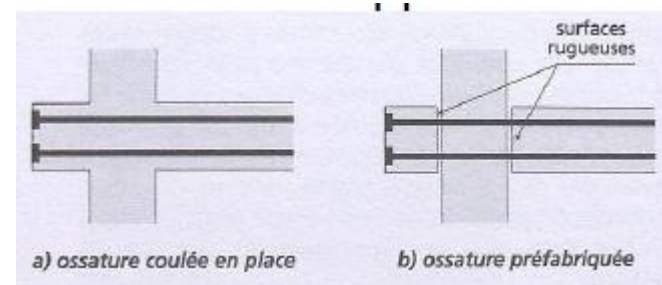
Il se produit une chute de la précontrainte après le séisme pouvant générer la perte d'équilibre entre les blocs assemblés



Rupture des câbles de pré contraintes entraînant la dislocation des éléments en béton du pont –Anchorage,1964



Taiwan 1999



Recommandations pour les nœuds d'ossatures

F STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ LÉGER

Moins performant que le béton armé ordinaire

- Moindre rigidité
- Fluage plus élevé
- Résistance et ductilité des poteaux moindre (fretter plus)
- Détérioration plus rapide de l'adhérence
- Plus résistant = plus fragile



Eviter pour les éléments porteurs

- Utiliser pour les grands franchissements
(rigidité de forme)
- Limiter la résistance en compression



Rupture des câbles de pré contraintes entrainant la dislocation des éléments en béton du pont –

Anchorage, 1964

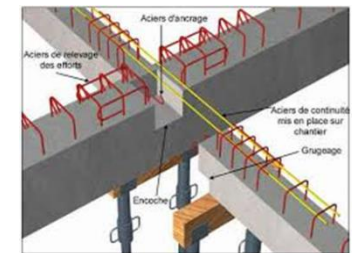
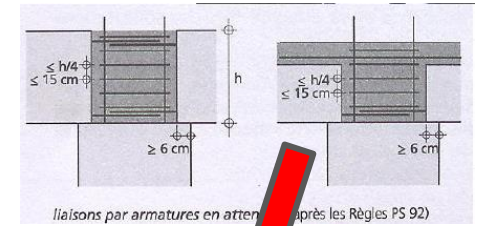
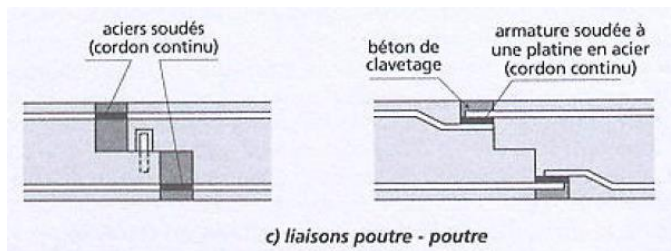
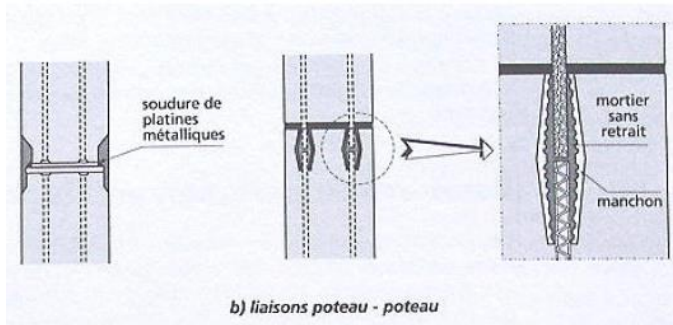
DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> # TYPES DE STRUCTURES EN BA

G OSSATURE EN ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS (POTEAUX & POUTRES)

Comportement souvent médiocre car dépend
de la qualité des assemblages
(précontraintes ou non)

Attention aux soudures par points ou discontinus



San Carlo Italie 2012, P. Perrotin

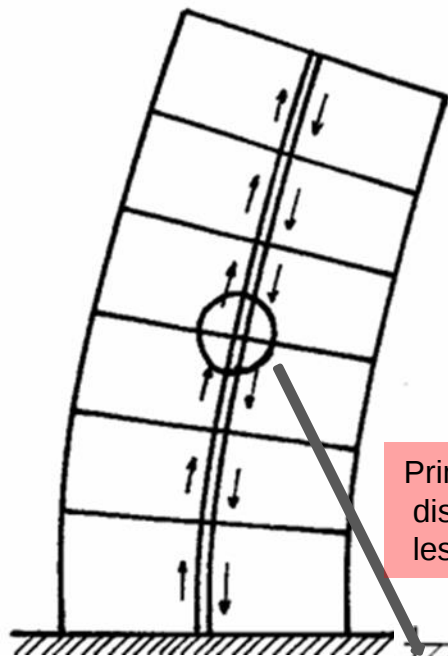
ASSEMBLAGES DES ELEMENTS ENTRE EUX (PS92)

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

-> # TYPES DE STRUCTURES EN BA

F STRUCTURE EN PANNEAUX PRÉFABRIQUÉS

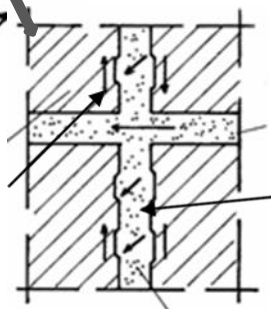
Bon comportement aux séismes car structure **dissipative** par les jeux dans les assemblages des panneaux



Principe des joints dissipatifs entre les panneaux



Composantes de cisaillement



Bielles de compression

Spitak
(Arménie 1988)
a été
reconstruite
avec ce
système



Images FEBE

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

DIAPHRAGMES, ESCALIERS, BALCONS

Les planchers doivent former des **diaphragmes**, c'est à-dire des éléments rigides dans leur plan, capables de transférer les charges sismiques aux éléments structuraux verticaux.



Quel que soit le système porteur, il faut veiller à la **rigidité effective** des diaphragmes et à la qualité de leurs liaisons avec les palées pour contreventer efficacement le bâtiment.

Si le plancher est constitué de dalles sur prédalles ou de dalles sur poutrelles et entrevous, les coutures doivent permettre la continuité mécanique entre les deux éléments, même en cas de fortes secousses.



Prédalle (recevant la dalle de compression) dont les coutures sont interrompues



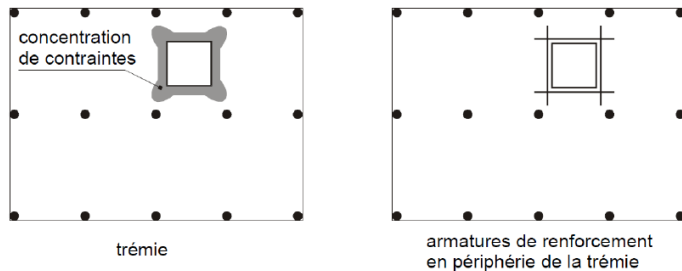
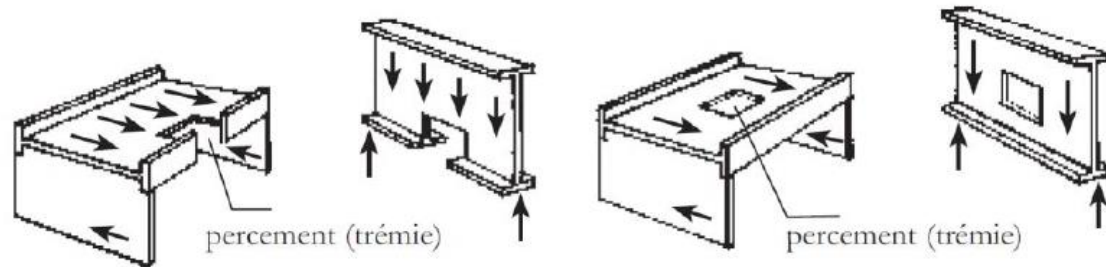
Fléchissement de planchers insuffisamment rigides qui n'ont pu transmettre les Cs aux éléments verticaux

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

DIAPHRAGMES, ESCALIERS, BALCONS

Trémie d'escalier

La taille et la position des trémies dans le plancher jouent un rôle très important dans la fonction de diaphragme

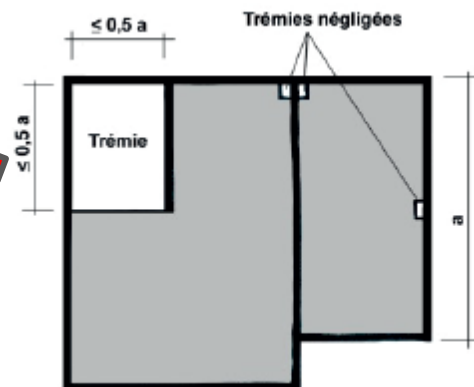


La position de la trémie située dans la zone de la fibre neutre du diaphragme est idéale. Dans le cas contraire, des poutres De par et d'autre de la longueur de la trémie viendront compenser la perte de rigidité du diaphragme.

La présence de trémie entraîne une diminution de rigidité causée par une déformabilité plus importante au niveau de l'ouverture.

Maquettes feuille A4

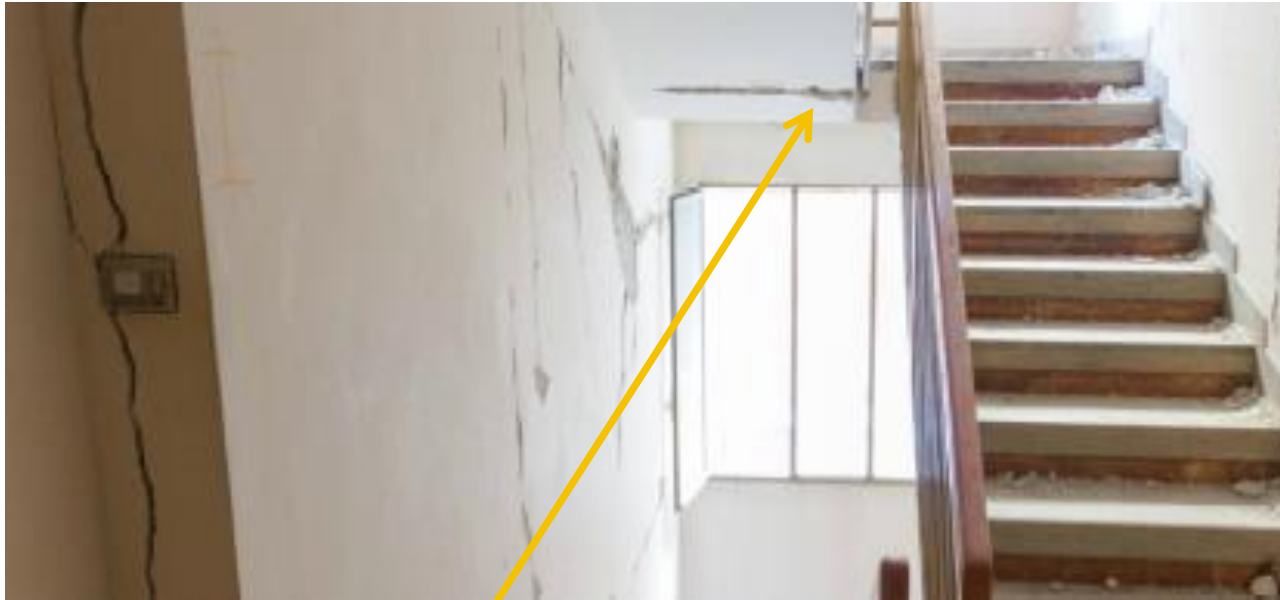
aucune dimension n'excède la moitié du plus petit côté du plancher



DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

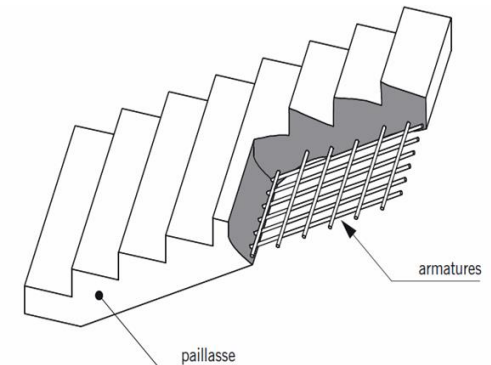
DIAPHRAGMES, ESCALIERS, BALCONS

Escaliers



ZONE DE LIAISON PAILLASSE-PALIER

L'absence ou l'insuffisance de recouvrement entre les armatures dans cette zone peut entraîner la chute du palier



DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

DIAPHRAGMES, ESCALIERS, BALCONS

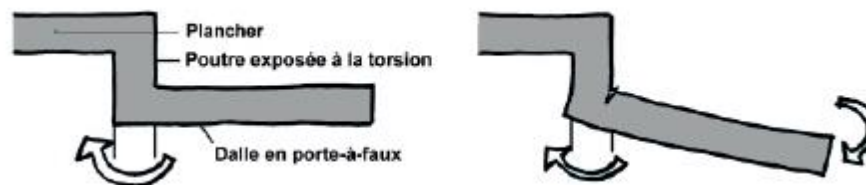
Balcons



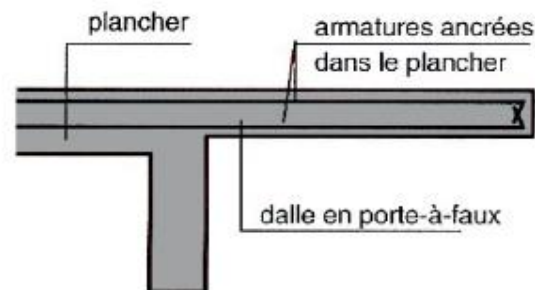
Le bâtiment ne doit pas comporter de planchers en porte-à-faux ni balcons d'une portée supérieure à 1,50 m.

Un porte-à-faux ne doit pas mettre en torsion la poutre porteuse

Les éléments en bout du porte-à-faux (garde-corps, jardinières,...) ne doivent pas avoir une masse supérieure à 200 kg/m².



Dommages de torsion



Solution: travail en flexion de la poutre

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

DIAPHRAGMES, ESCALIERS, BALCONS

ANGERS, SDIS Maine-et-Loire, EFFONDREMENT DE 3 BALCONS, 4 DCD + 14 BI., le 15 Octobre 2016

Elément déclencheur: Fête
au 3° et Chute du Balcon
N° 3 sur inférieurs



Balcons BA , année de construction du
R+4, 2000



Faciès de rupture montrant une faiblesse
évidente de la Zone de Liaison
,Défaut de mise en œuvre (vibration),
nappe positionnée trop basse, contre
pente,...??
(svt. Rp Experts 2018)

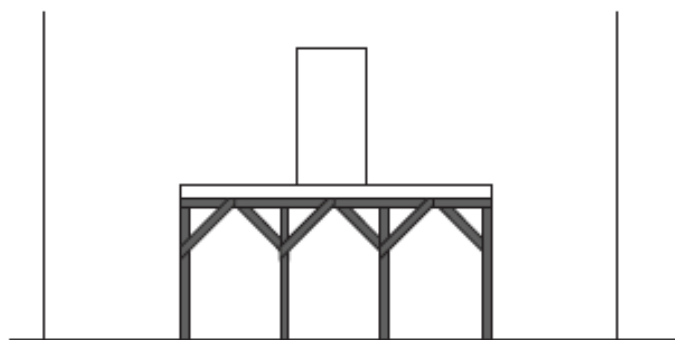


DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

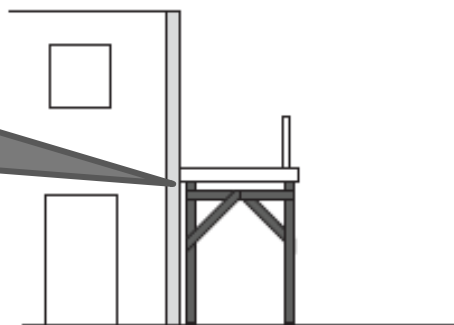
DIAPHRAGMES, ESCALIERS, BALCONS

!!! RAPPEL ETAIEMENT BALCON

Une attention
particulière pour
le soutien de la
Zone de Liaison
- Consulter le
Manuel STOP -



vue longitudinale



vue latérale

DOMMAGES AUX CONSTRUCTIONS EN BETON

TOITURES : FACTEUR AGRAVANT !!! = TOITURES LOURDES



1° effet: EFFET PENDULE
INVERSE = BASCULEMENT
DE LA TOITURE

AMATRICE/ ZONE ROUGE AOUT 2016



2° effet: CHARGE LOURDE
PROVOQUANT LA SUR-
COMPRESSION DES
MACONNERIES ANCIENNES

ADDITIF

DOMMAGES SPECIFIQUES DES BETONS

1- d'origine thermique

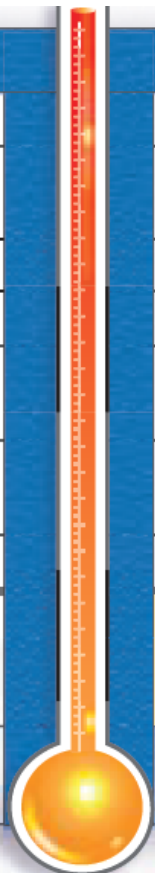
2- d'origine exogène

**3-estimation des degrés de dommage
observés**

4- exemple remarquable de stabilité au feu

ADDITIF / DOMMAGES SPÉCIFIQUES DES BETONS

1- D'ORIGINE THERMIQUE



Température (°C)	Conséquences
1000	
900	La température de l'air 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.

Comportement des bétons en fonction des températures

ADDITIF / DOMMAGES SUR LES BETONS

COMPORTEMENT EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Le phénomène d'ECAILLAGE:

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

2 principes de dommages:

=>**thermomécanique**: naissance des contraintes dans le béton dues aux dilatations différentielles causées par l'exposition aux températures élevées

=>**thermohydrigue**: 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

ADDITIF / Dommages SUR LES BETONS

2- d' Origine exogène (agressions extérieures)

La CARBONATATION appelé aussi « Cancer du Béton »

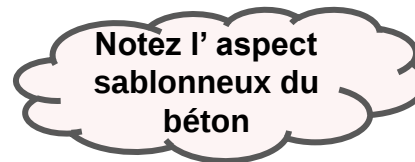
Le ciment réagit progressivement avec le CO₂ contenu dans l'air. Cette réaction réduit le pH du béton de 13 à 9. Lorsque le front de carbonatation atteint les armatures, elles corrodent les armatures qui gonflent et éclatent le béton.

=

Des désordres structurels apparaissent. Les aciers perdent leur résistance (déformations plastiques) et le béton subit ces déformations jusqu'à rupture de l'enrobage puis du confinement (années suivantes).



Pont du
Mont-
Blanc



L'ALCALI REACTION La silice de certains granulats réagit avec le ciment (composé alcalin) formant un gel qui gonfle le béton et le fait éclater.

=

Apparitions de réseaux de fissures profondes qui entraînent des désordres structurels dans les années qui suivent



ADDITIF / Dommages SUR LES BETONS

3- Estimation des degrés de dommages observés

Classe de désordres	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 (faïencage)	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)

ADDITIF / Dommages SUR LES BETONS
3- Estimation des degrés de dommages observés

LONDRES ,JUIN 2017, TOUR GRENFELL en BA ; R+23; 80 DCD
[EPA de 32 m, durée feu= 12 h, nature de l' ITE = 1° cause]

Notons l'écaillage
de niveau 3
(slide page 38)



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



ADDITIF / Dommages SUR LES BETONS

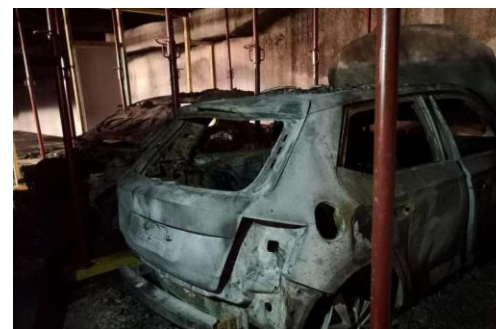
3- Estimation des degrés de dommages observés

SDIS 31, Toulouse, feu de parking souterrain, février 2014

Ecaillage
de niveau 4
(~ 1000 °C)



A ce stade et svt les contraintes
(déblais,..) l'étalement devient
nécessaire (~1/M² svt niveau)



3- Estimation des degrés de dommages observés

Feu de parking niveau N-1

SDIS 87 / LIMOGES

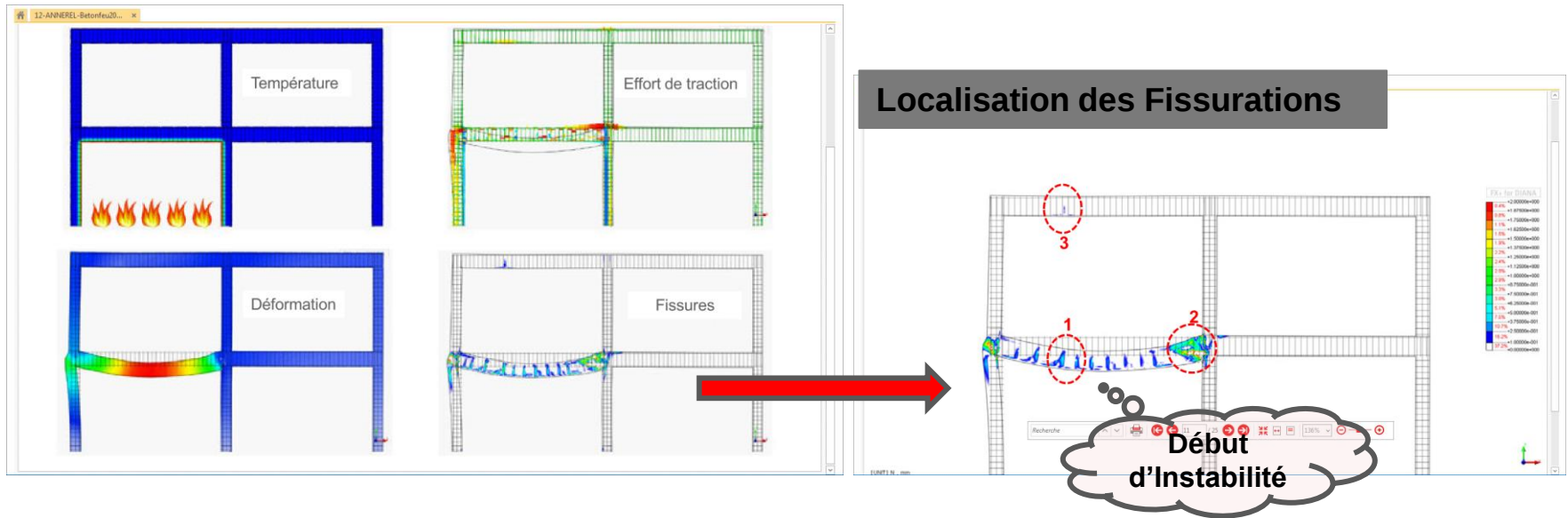
Cas du relâchement prématuré des Pré et Post Contraintes
dans les éléments de structures BA (préfabriqués)

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

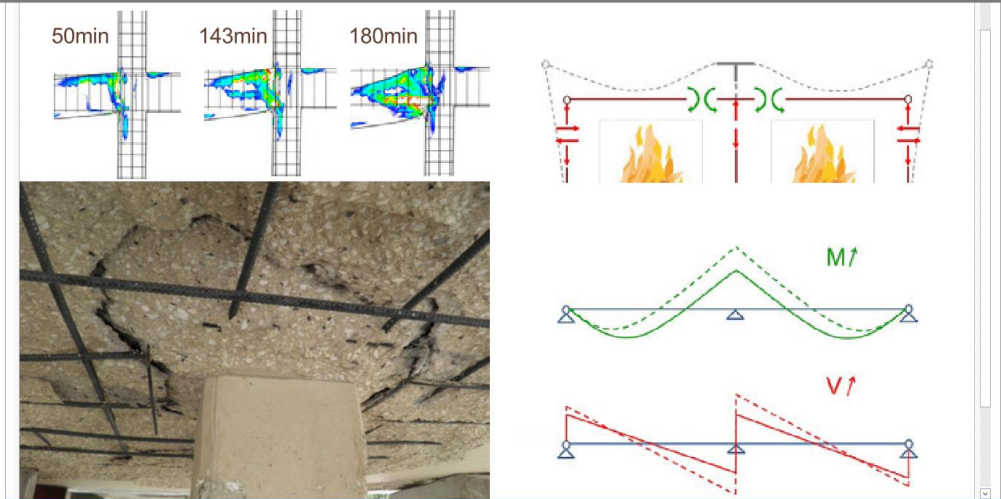


ADDITIF / Dommages SUR LES BETONS

3-Modélisation structure BA soumise au feu



Risque des POINCONNEMENT de la dalle de béton (temps < à la durée prescrite)



ADDITIF / Dommages SUR LES BETONS

4- Exemple remarquable de stabilité au feu

1° cas: Incendie de la tour WINDSOR à Madrid en 2005, construction en 1974 , R+29, R-5, 40m x 26m

Structure mixte noyau portiques BA et acier en périphérie (ignifugée qu'en partie)

Incendie durant 26 heures naissance au niveau 21 (en phase de rénovation)

Charges résiduelles après incendie autorisées grâce aux poutres caissons en BA => Stabilité résiduelle de l'ensemble

Niveau technique au N16 (poutres caisson en BA Hy= 3m)



CREDITS

Crédits images, photos et illustrations

- Patricia Balandier, DDE Martinique
- Milan Zacek
- FEBE
- AFPS
- Cimbéton-Centre d'Information sur le Ciment et ses Applications
- CSTB-PARIS-
- LCPC/ laboratoire Central des Ponts & Chaussées-IFSTTAR
- SDIS 87 LIMOGES
- Université de Cergy-Pontoise / Dr E. Annerel
- Ménara.ma
- SDIS Maine-et-Loire
- SDIS 31