

SEMINAIRE DE FORMATION

RISQUES BATIMENTAIRES

BUILDING RISKS

SD / USAR

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

Niveau INITIAL

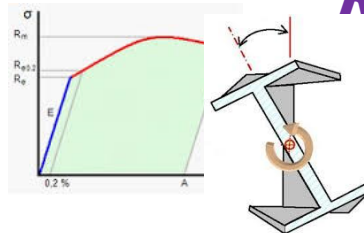
RESISTANCE DES MATERIAUX

MATERIAL RESISTANCE

JOUR
2

INTERVENANT: JEAN-LUC REY

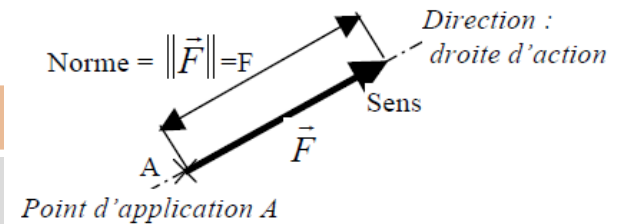
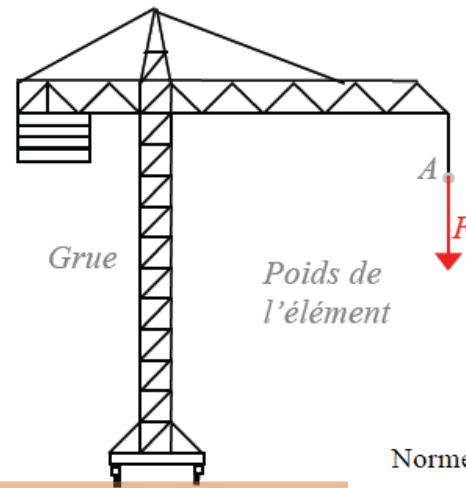
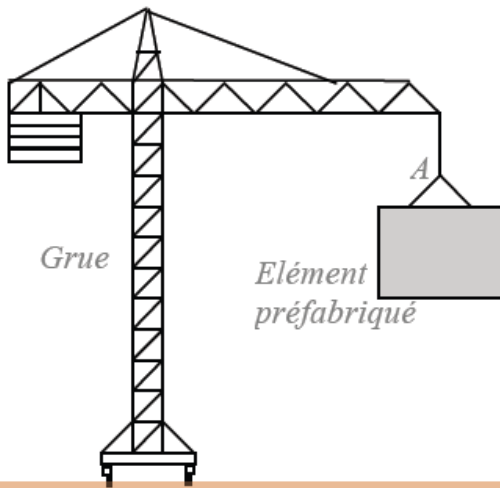
RÉVISION RB 2019 V0



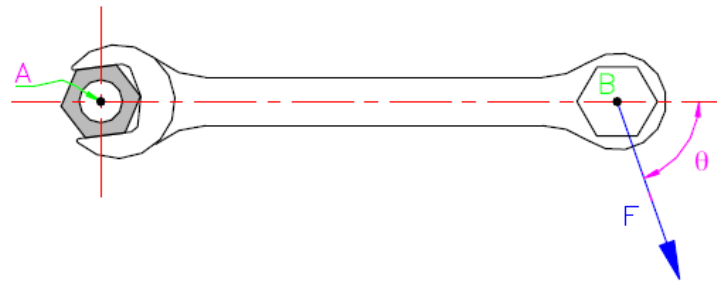
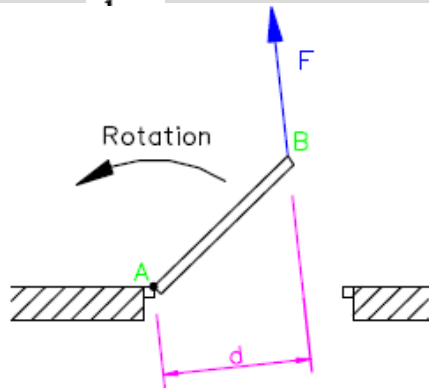
SOMMAIRE

- 1. Rappel: Forces et Moments**
- 2. Flexion simple dans une poutre**
- 3. Expression des contraintes dans une section**
- 4. Moments d'inerties**
- 5. Les deux conditions a satisfaire**
- 6. Condition de Résistance**
- 7. Comportement des matériaux: les 3 phases fondamentales**
- 8. Condition de Déformation**
- 9. Les appuis et les liaisons**
- 10. Comportement global d'une structure: Instabilité-Stabilité**
- 11. Crédits images**
- 12. Annexes 1,2,3 formulaires de RDM**
- 13. Annexe 4: TP calcul de la déformée d'une poutre**
- 14. Annexe 5: Extraits Eurocodes 1, tableaux charges exploitations et masses volumiques**

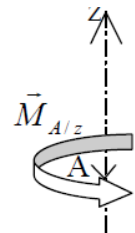
RAPPEL: FORCES ET MOMENTS



Une force ($\vec{F}$) provoque une translation ($\vec{u}$) de l'objet

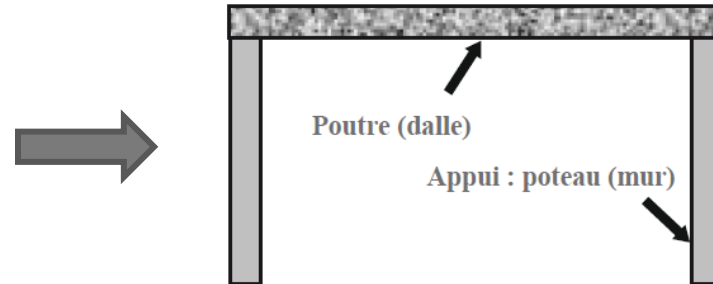


Un Moment est un vecteur tournant avec $M = d \times F$



FLEXION SIMPLE DANS UNE POUTRE

Isolons un des éléments sollicité de la structure (poutre) et étudions sa section



① Nature de la charge

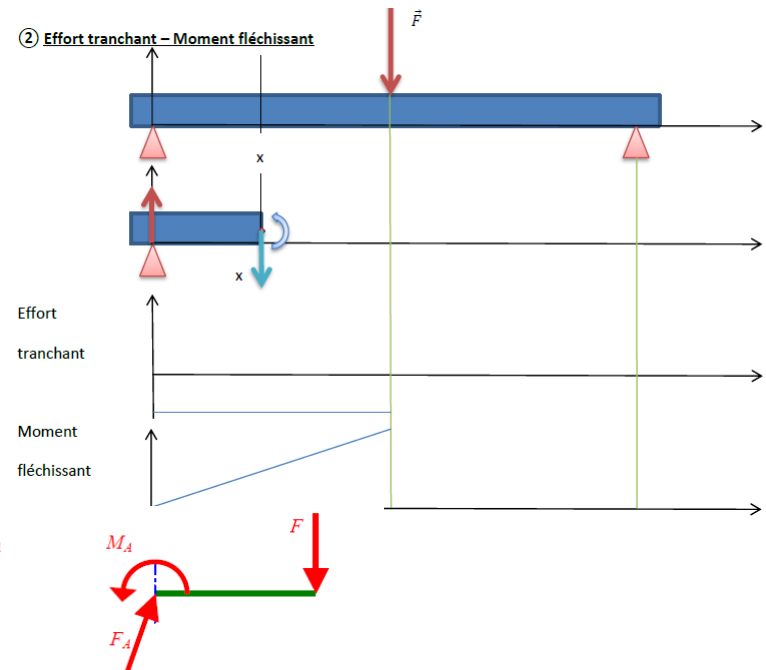
Charge ponctuelle



Charge répartie



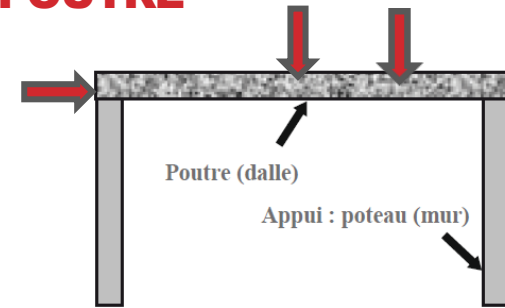
② Effort tranchant – Moment fléchissant



Constat: Forces et Moments agissent dans cette section en y induisant des contraintes

FLEXION SIMPLE DANS UNE POUTRE I.A.E.

Généralités et éléments
fondamentaux préliminaires aux
calculs (Descente de charges par
exemple)



Dans tous les cas et avant toute vérification ou calcul il est absolument nécessaire de bien faire l'Inventaire des Action Extérieures (IAE).

Méthode:

1: recenser toutes les ACTIONS qui sollicitent la structures

Pour les charges d'exploitation, se référer au doc national EN 1991 1-1-1 (en PJ)

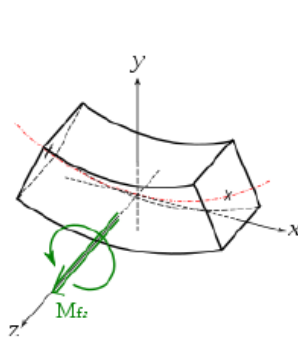
Pour les poids propres des éléments, se référer au doc ENV 1991-2-1:1995 (en PJ) + MEMO DES POIDS ELEMENTAIRES en Annexe

2: faire la modélisation de principe (schéma simple de la structure et des charges appliquées)

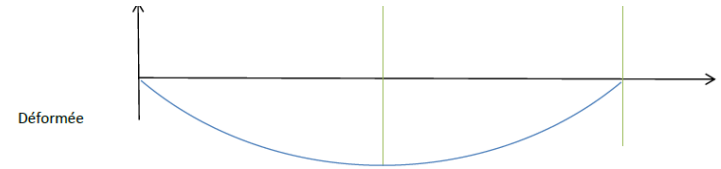
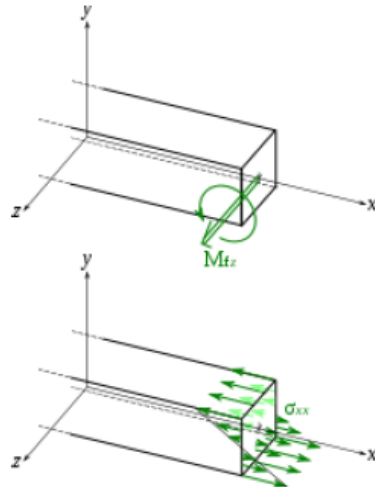
3: Résolution : voir formulaire si analogie possible; se référer au formulaire joint en annexe dans ce cour de RDM

Nota: soyons très vigilant sur les unités utilisées: vérifier l'Homogénéité de celles-ci.

FLEXION SIMPLE DANS UNE POUTRE : SECTION



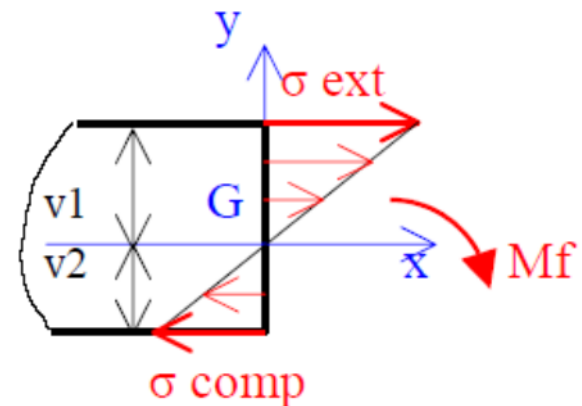
Plus le moment fléchissant est grand plus la courbure est importante.



L'effort tranchant crée du cisaillement dans la pièce.

Le moment fléchissant induit une répartition de contrainte sur toute la section de la poutre, certaines fibres sont comprimées et se raccourcissent alors que d'autres sont tendues et s'allongent.

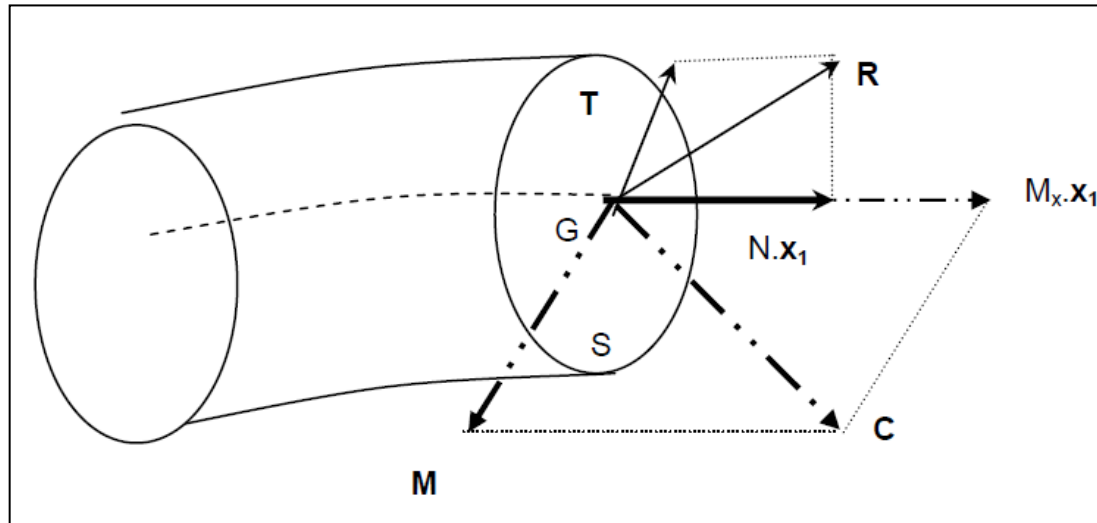
Pour un même moment fléchissant, les contraintes seront différentes.



EXPRESSION DES CONTRAINTES DANS UNE SECTION (≠ LES MATÉRIAUX)

$$\text{Contrainte} = \frac{\text{force}}{\text{surface}}$$

force en **newton N**
surface en **mm²**
contrainte en **N/mm² ou MPa**



S = section droite de la poutre ; G = centre de gravité

T = effort Tranchant => Contrainte de Cisaillement $\tau = T / S$

N = effort Normal => Contrainte de Compression ou Traction $\sigma_c = N / S$

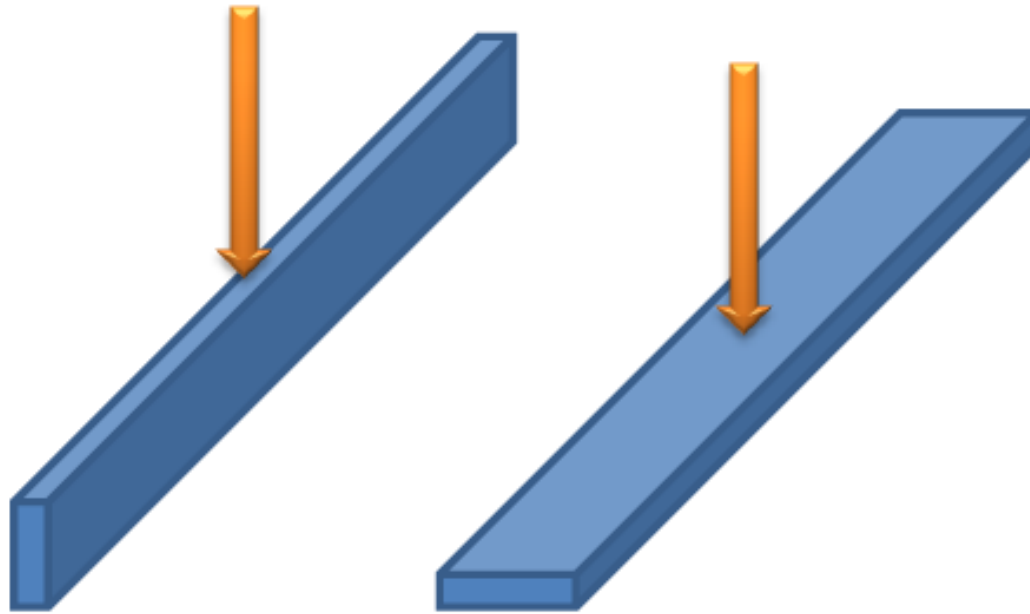
M = Moment Fléchissant => Contrainte de Flexion $\sigma = M / (I_y / v)$

Dans ce cas v = rayon de la poutre

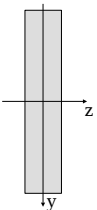
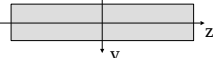
Mx = Moment de Torsion => Contrainte de Torsion $\tau_r = M_x / (I_o / v)$

Dans ce cas v = rayon de la poutre

MOMENTS D'INERTIES (OU MOMENTS QUADRATIQUES)



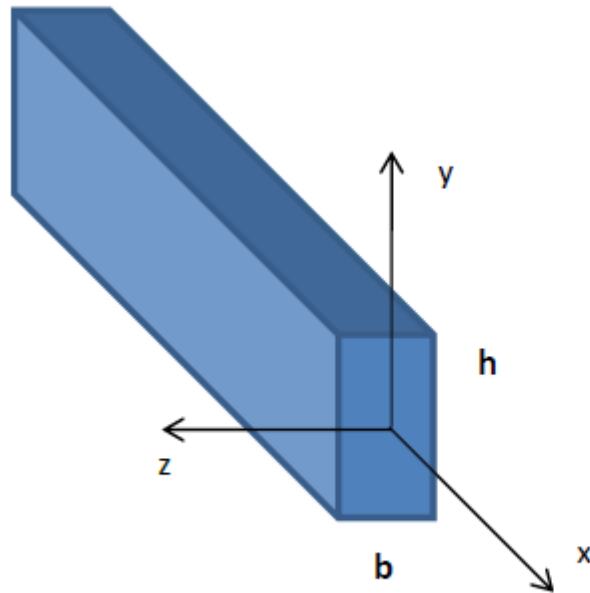
La même règle soumise à un même effort ne se déformera pas de la même manière si elle est placée dans un sens ou dans l'autre.

Orientation	Inertie I_z
	166,67 mm ⁴
	6,67 mm ⁴

Exemple numérique
L'Inertie est **25 fois**
supérieure dans le sens
droit
que dans le sens à plat

MOMENTS D'INERTIES (OU MOMENTS QUADRATIQUES)

Pour caractériser ce comportement, on utilise une grandeur appelée moment quadratique :



Le moment fléchissant qui crée la déformation se situant sur l'axe Z, on note le moment

quadratique : I_{Gz}

Pour une section rectangulaire :

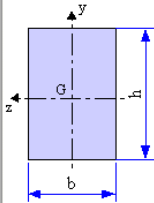
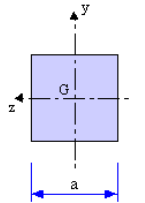
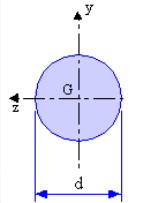
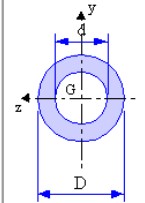
$$I_{Gz} = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Pour une section circulaire

$$I_{Gz} = \frac{\pi \cdot D^4}{64}$$

Nota: ne dépendent que de la géométrie de la section quel que soit le matériau

**Exemple de Moments
d'Inerties pour
différentes sections**

				
I_{Gz} (mm ⁴)	$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{a^4}{12}$	$\frac{\pi d^4}{64}$	$\frac{\pi (D^4 - d^4)}{64}$
I_0 (mm ⁴)	$\frac{bh^3 + hb^3}{12}$	$\frac{a^4}{6}$	$\frac{\pi d^4}{32}$	$\frac{\pi (D^4 - d^4)}{32}$

LES 2 CONDITIONS A SATISFAIRE

2 classes de conditions doivent être respectées pour assurer le bon « service » d'une part et l'intégrité d'autre part de la structure.

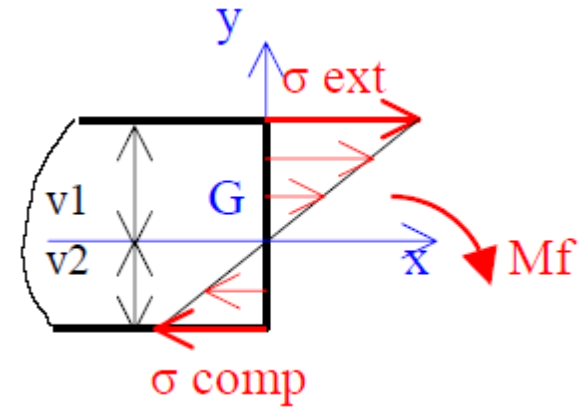
1°: La condition de Résistance

Objectif: **Résistance des éléments de structures**

=>la contrainte admissible du matériaux

Doit rester supérieure à la contrainte induite

Par la ou les charges $\sigma_{\text{admiss}} \gg \sigma$



2°: La condition de déformation

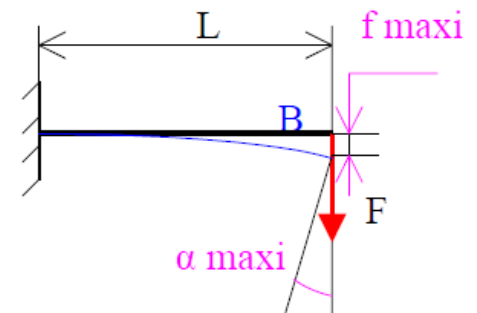
Objectif: **Stabilité de la structure**

=>la déformée (flèche,..)de l'élément de structure

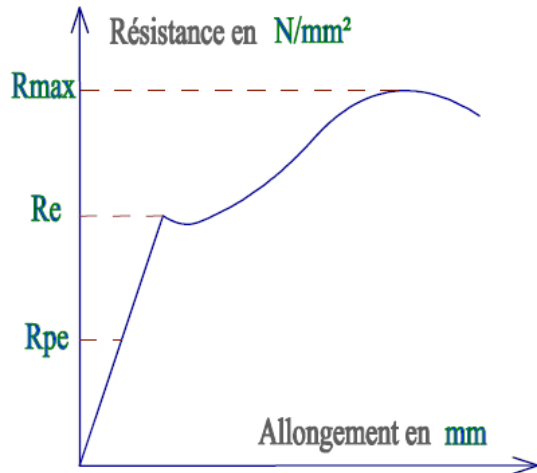
induite par la charge doit rester inférieure à la flèche

Admissible fixée par les codes PS de construction

$f_{\text{admiss}} \gg f$



CONDITIONS DE RÉSISTANCE



Conditions de Résistance Globale

Contrainte de cisaillement $\tau \leq R_{pg}$
Contrainte de traction $\sigma_c \leq R_{pe}$
Contrainte de flexion $\sigma \leq R_{pe}$
Contrainte de torsion $\tau_r \leq R_{pg}$

Avec R_{pg} et R_{pe} résistances pratiques = R_e ou R_{max} / s
S = facteur de sécurité
(relatif aux codes de constructions
et variant suivant les pays)

AUTRES CARACTERISTIQUES DE RESISTANCE DES MATERIAUX

- **E = Module de Young (ou d'Elasticité Longitudinale) appelé aussi Rigidité**
=> 210 000 MPa pour l'acier ; 20 000 à 50 000 Mpa pour le béton ; 20 000 à 70 000 Mpa pour pierres calcaires ; 14 000 Mpa pour la brique; 14 000 Mpa pour le bois d' épicéa
- **G = Module de Coulomb (ou d'Elasticité Transversale) ou module de Cisaillement**
=> 81 000 MPa pour l'acier ; 8 000 à 20 000 Mpa pour le béton
- **A% Allongement en %**

COMPOTEMENTS DES MATERIAUX

MECANISME DE LA RUPTURE : LES 3 PHASES FONDAMENTALES

Les 3 temps forts des comportements des matériaux mais aussi des structures dans leur ensemble sont dans l'ordre chronologique

=>La phase ELASTIQUE

=>La phase PLASTIQUE

=>La RUPTURE



COMPORTEMENTS DES MATERIAUX

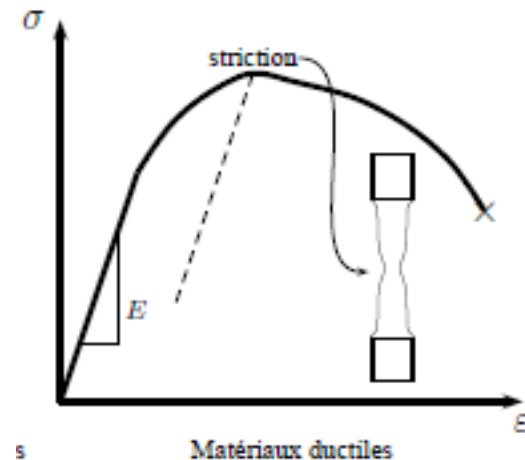
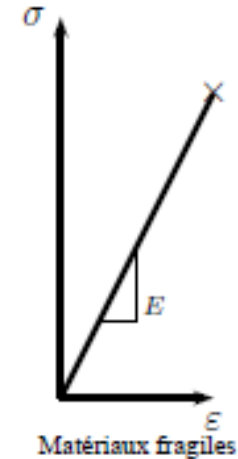
△ !!Tous les matériaux possèdent une limite à l' étendue de leur comportement élastique => COMPORTEMENT NON LINEAIRE

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
 - Pierre, Béton non armé et non confiné, verre, bois en traction
- **Les Ductiles** dont la rupture est précédée d'un allongement et de déformations à faibles contraintes
 - Aciers, Béton armé et confiné, bois en compression



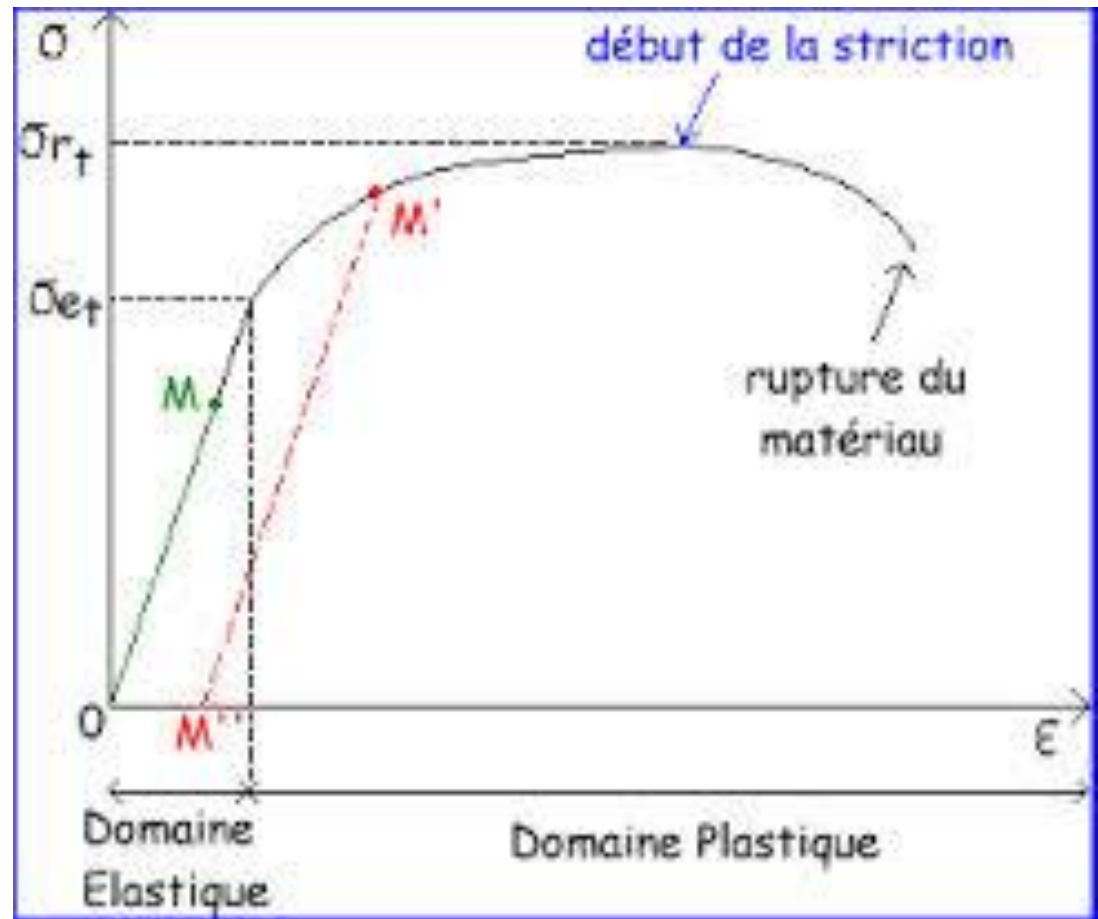
COMPORTEMENTS DES MATERIAUX

COURBE D'ALLONGEMENT CARACTERISTIQUE

DUCTILITE

=

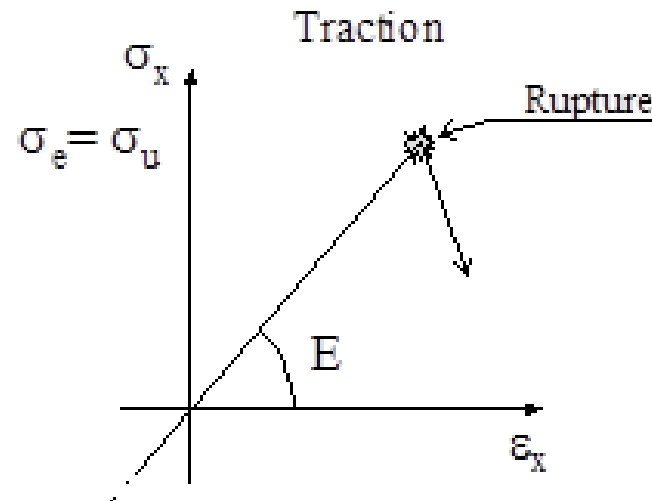
INCURSION
CONTROLEE DANS LE
DOMAINE PLASTIQUE



COMPOTEMENTS DES MATERIAUX

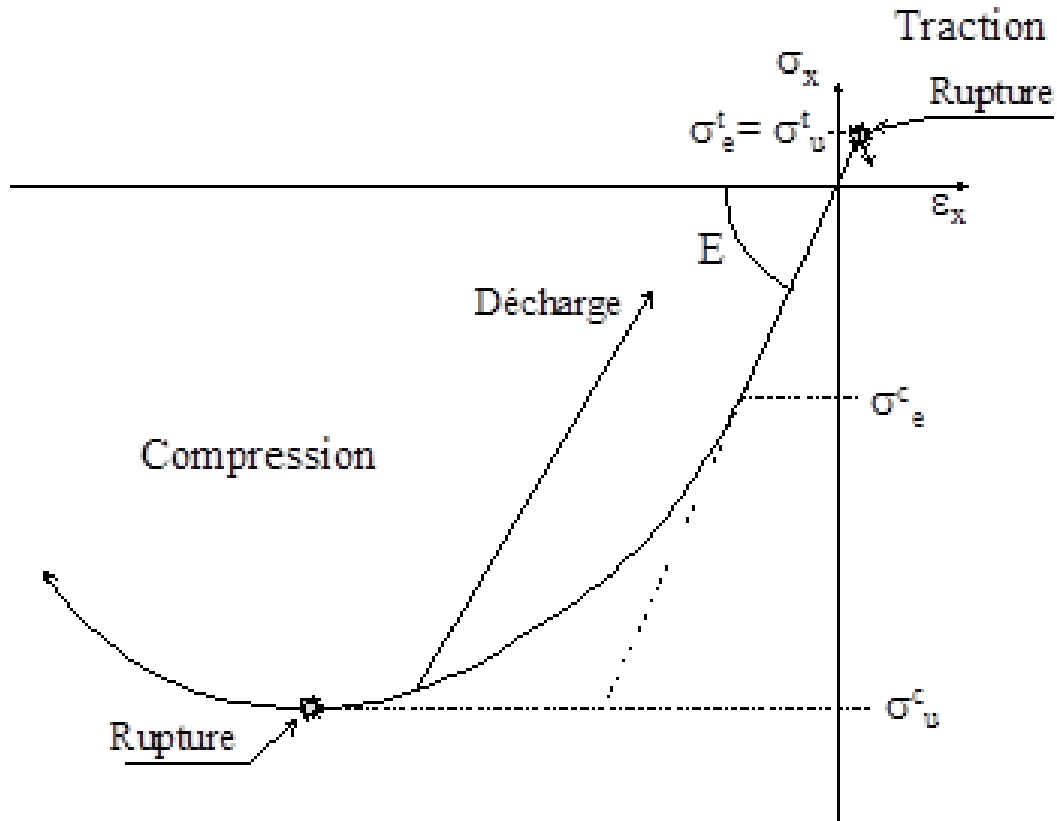
MATERIAUX FRAGILES

CAS DU BOIS EN TRACTION ET DU VERRE



**Courbe d'élasticité d'un matériau
très fragile
Cas du verre ou bois en traction**

COMPOTEMENT DES MATERIAUX MATERIAUX FRAGILES CAS DU BETON ET DE LA PIERRE



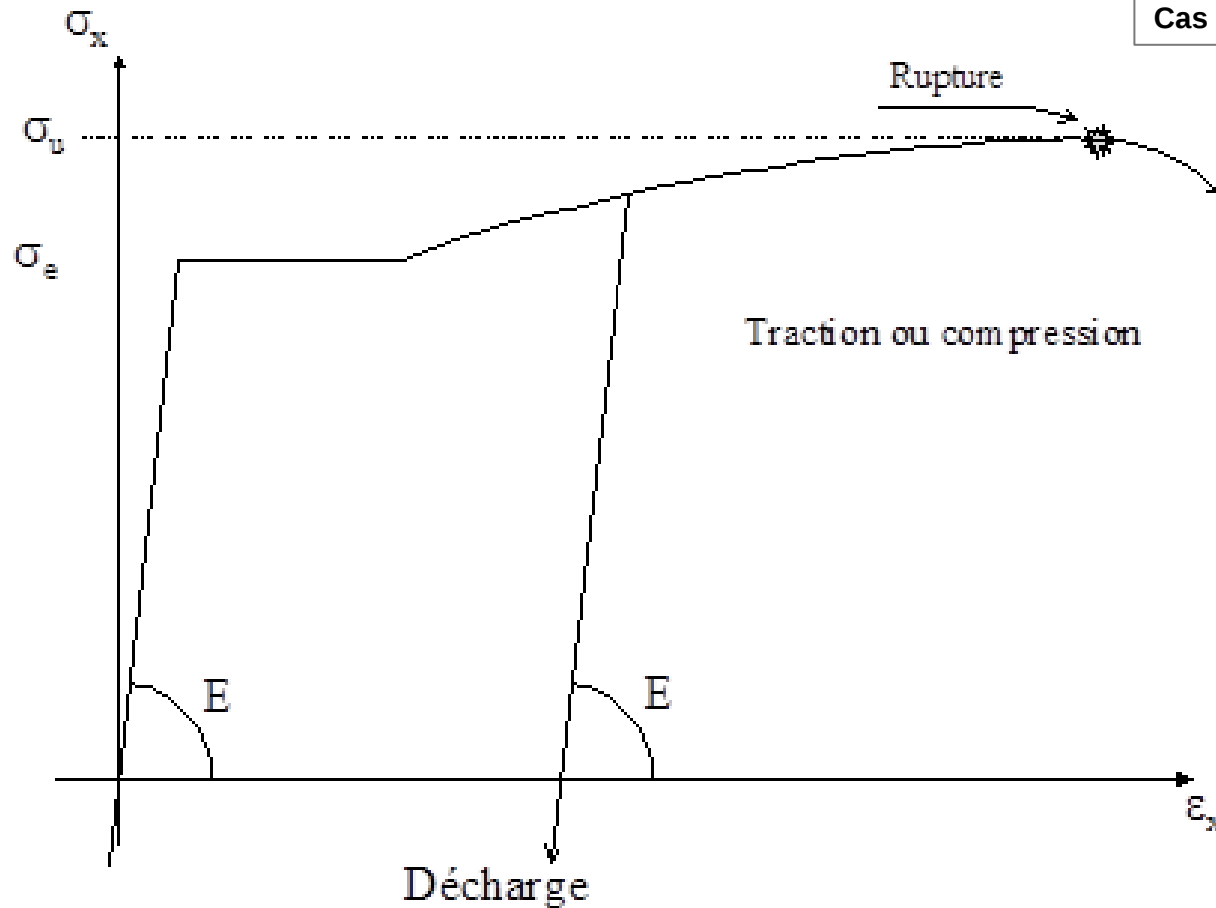
Courbe d'élasticité d'un matériau fragile
Cas du Béton

COMPOTEMENTS DES MATERIAUX

MATERIAUX DUCTILES

CAS DES ACIERS

Courbe d'élasticité d'un matériau fragile
Cas du Béton



COMPORTEMENTS DES MATERIAUX

COMPARAISON DE CARACTERISTIQUES MECANIQUES DE MATERIAUX DE CONSTRUCTION

En N/mm ² (MPa)	Résistance à la Traction	Résistance à la Compression	Module d'Elasticité Longitudinale (E) *
PIERRE NATURELLE (sens du lit)	3	10	50 000
BETON (fc 28)	3	22	30 000
ACIERS (doux)	235	235	210 000
BOIS (sens axial)	11	20	10 000
Bois(sens Transversal)*	0.5	2.2	G= 550 Module élasticité transversale
Béton précontraint		4 à 16	
Parpaing de béton		30	

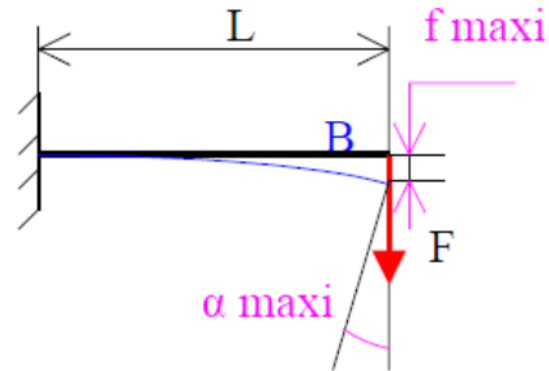
* Bois Pin sylvestre C18

CONDITION DE DEFORMATION

Exemple cas de Flexion

$$f_{\text{maxi}} = \frac{F L^3}{3 E I}$$

Δ!! Constat : Bien prendre en compte visuellement la prépondérance du porte à faux (L au cube) / à la charge (F)



Voir application

CONDITION DE DEFORMATION

Exemple cas de Flambement

Conditions de déformation

Allong ou raccourcissement :

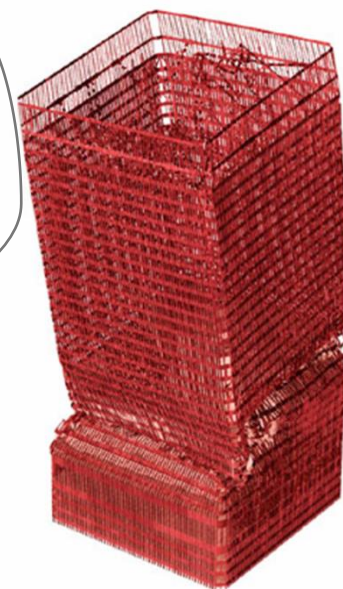
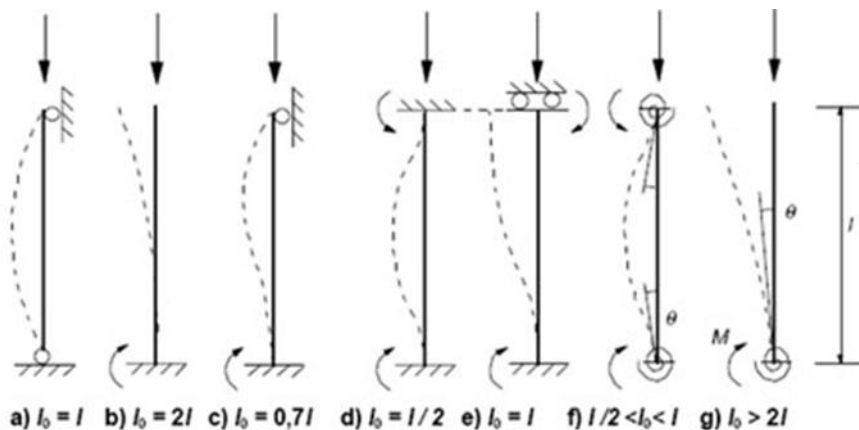
$$\sigma = E.i$$

$$\Delta L = F.L / (E.S)$$

Flambage (Euler) → Stabilité si : $F_{adm} < F_c / 2s$

Calculer la longueur libre L à l'aide d'un formulaire

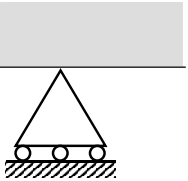
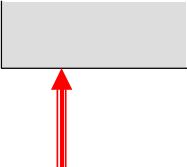
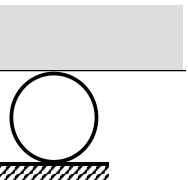
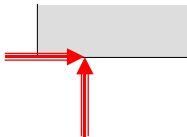
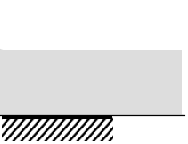
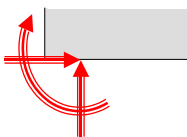
Calculer la charge critique d'Euler : $F_c = \pi^2 E.IG_z / L^2$

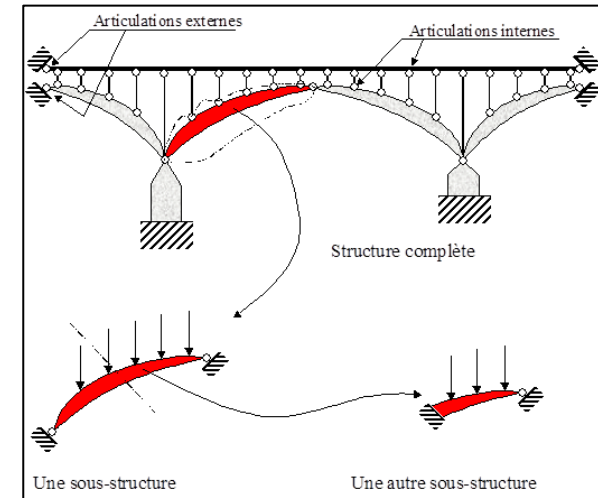


Flambage des poteaux de la tour WTC (simulation) provoquant un flambement d'ensemble de la structure

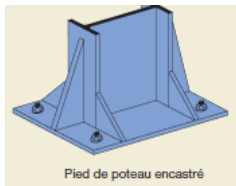
LES APPUIS ET LES LIAISONS

LIAISONS ET APPUIS : PORTIQUES EN BETON (POTEAUX-POUTRES)

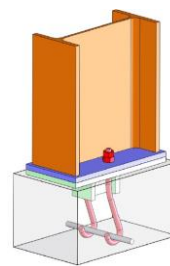
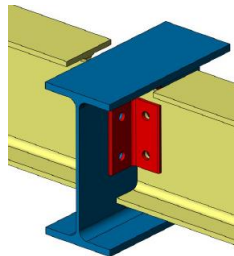
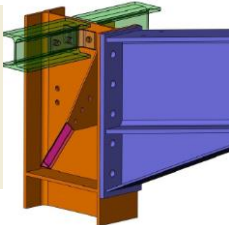
Nom	Représentation schématique	Réactions générées	Nombre de réactions (de forces inconnues)	Déplacements autorisés
Appui simple			1	Une seule translation, et la rotation
Articulation (ou rotule)			2	La rotation
Encastrement			3	Aucun



Exemple de liaisons et d'appuis sur un pont



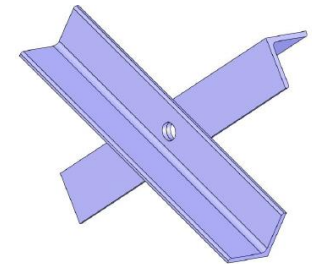
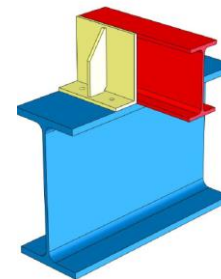
Pied de poteau encastré



Exemples d'encastremements
Ddl = 0 car âmes et ailes reliées

Exemples d'articulations
Ddl = 1 car âmes reliées mais ailes non reliées et jeu entre solives et poutre

Cas 2: seuls 2 boulons ancrages + platine étroite

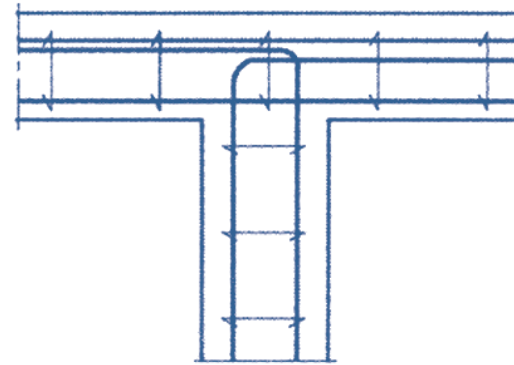


Exemples d'appuis simples
Ddl = 2

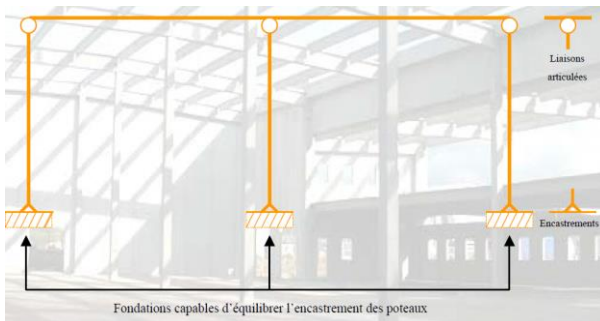
LIAISONS ET APPUIS : PORTIQUES EN BETON (POTEAUX-POUTRES)



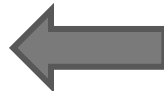
Exemple de liaison encastree poteau-poutres



Important: L'encastrement ne sera réalisé qu'en fonction de la nature du confinement (nb d'armatures) à la jonction poteau-poutre.



Fondations capables d'équilibrer l'encastrement des poteaux



Cas des structures en béton préfabriquées.

Modélisation des liaisons et des appuis sur une file de poteaux
Encastrement en pied de poteau et Articulation en tête



Exemple de ruptures de nœuds (non confinés) de structure en portique

COMPORTEMENTS DES STRUCTURES

L'INSTABILITE LOCALE ET GLOBALE D'UNE STRUCTURE

Les causes

Δ!! Condition en Résistance

- Absence de formation des rotules plastiques
- Structures non dissipative
- Défaillance d'un ou plusieurs des éléments porteurs par manque ou dépassement de la réserve de plasticité

Δ!! Condition en Déformation

- Trop grande déformation d'un ou plusieurs des éléments de la structure
- Tassement différentiel du sol (rupture des appuis)

COMPORTEMENT DES STRUCTURES

L'INSTABILITE LOCALE ET GLOBALE D'UNE STRUCTURE: Formation des rotules plastiques



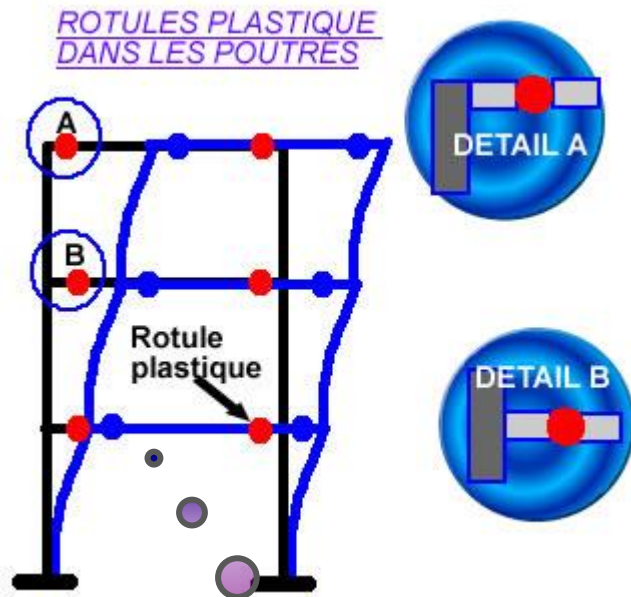
Aucune rotule plastique n'a pu se former provoquant ainsi la rupture des liaisons suivie de l'effondrement global de la structure portique



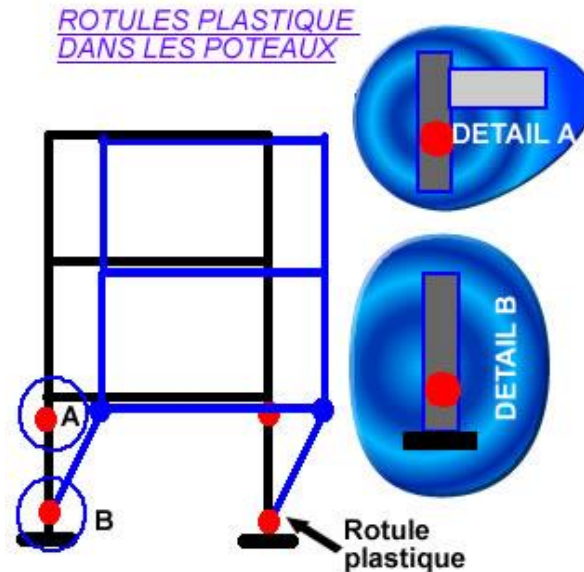
Formation d'une ROTULE PLASTIQUE en pied de poteau: le béton reste confiné dans sa zone durant les secousses sismiques

COMPORTEMENT DES STRUCTURES

STABILITE GLOBALE D'UNE STRUCTURE: Positionnement des rotules plastiques pour une construction PS



Il est souhaitable que les rotules se forment avant dans les poutres (principe du poteau fort-poutre faible)



Positions des zones dissipatives relatives à la formation des mécanismes d'adaptation plastique (Rotule Plastique) dans chacun des éléments structuraux: c'est un objectif de conception PS (issus des codes de construction)

ANNEXE 1

MEMO DE POIDS ELEMENTAIRES

ELEMENT DE CONSTRUCTION	POIDS UNITAIRE*	
DALLE BA ep.20 cm	500 daN / M ²	PLANCHERS
PLANCHER HOURDIS BA ep.20 cm	350 daN / M ²	
PLANCHER HOURDIS POLYST. Ep.20 cm + 5 cm	220 daN / M ²	
DALLE ALVEOLEE ep.20 cm (portée 9 m) Avec chape de compression 5 cm (ex. parking,..)	400 daN / M ²	
DALLE ALVEOLEE ep.20 cm Sans chape de compression	280 daN / M ²	
PLANCHER ANCIEN BOIS ep. 30 cm (av. lattis plâtre)	350 daN / M ²	
MUR EN MACONNERIE ANCIENNE	2000 daN / M ³	MURS
MUR EN PARPAINGS BETON ep. 20 cm	420 daN / M ²	
MUR EN BRIQUES T.C. CREUSES ep. 20 cm	250 daN / M ²	
MUR EN BRIQUES T.C. PLEINES ep. 21,5 cm	400 daN / M ²	
MUR EN BETON CELLUL. « Siporex » ep. 20 cm	160 daN / M ²	
MUR EN PISE ep. 50 cm	1000 daN / M ²	

* Valeurs indicatives

ANNEXE 2

CHARGES D'EXPLOITATION POUR LES BATIMENTS SUIVANT EUROCODE

Catégorie d'utilisation			Charges verticales				Charges horizontales			
Usage spécifique			Exemples							
A	Habitat, résidentiel		Pièces des bâtiments et maisons d'habitation; chambres et salles des hôpitaux; chambres d'hôtel et de foyers; cuisines et sanitaires	Planchers		2,0	2,0			Carré de 100 mm de côté
				Escaliers		3,0	2,0	0,5	0,5	
B	Bureaux			Balcons		4,0	2,0			
						3,0 ⁽¹⁾	3,0	1,0	0,5	
C	C1 : Espaces équipés de tables, etc.			Ecoles, cafés, restaurants, salles de banquet, salles de lecture, salles de réception		3,0	4,0			Carré de 50 mm de côté
						(N)	(N)			
				C2 : Espaces équipés de sièges fixes		4,0	4,0			
						(N)	(N)			
D	D1 : Commerces de détail			Eglises, théâtres ou cinémas, salles de conférence, amphithéâtres, salles de réunion, salles d'attente		4,0	4,0			Carré de 50 mm de côté
						(N)	(N)			
				C3 : Espaces ne présentant pas d'obstacles à la circulation des personnes		5,0	4,0			
						(N)	(N)			
E	E1 : Surfaces susceptibles de recevoir une accumulation de marchandises, y compris aires d'accès			Danceings, salles de gymnastique, salles		5,0	7,0			Carré de 50 mm de côté
						(N)	(N)			
				C4 : Espaces permettant des activités physiques		5,0	4,0			
						(N)	(N)			
F	F1 : Surfaces susceptibles de recevoir une accumulation de marchandises, y compris aires d'accès			Bâtiments destinés à des événements publics tels que salles de concert, salles de sport y compris tribunes, terrasses et aires d'accès, quais de gare		5,0	4,5			Carré de 50 mm de côté
						(N)	(N)			
				Aires de stockage, y compris stockages de livres et autres documents		7,5	7,0			
						(N)	(N)			
G	G1 : Surfaces susceptibles de recevoir une accumulation de marchandises, y compris aires d'accès			Garages, bancs de stationnement, parking à plusieurs étages, ...		2,5	20			Actions accidentelles dues au choc d'un véhicule : voir EN 1991-1-7
						(N)	(N)			
						5,0	90			
						(N)	(N)			
H	H1 : Surfaces susceptibles de recevoir une accumulation de marchandises, y compris aires d'accès			Voies d'accès, zones de livraison, zones accessibles aux véhicules de lutte incendie (PTAC ≤ 160 kN)		0,8	1,5			Actions accidentelles dues au choc d'un véhicule : voir EN 1991-1-7
						(N)	(N)			
						0,8	1,5			
						(N)	(N)			
I	I1 : Surfaces susceptibles de recevoir une accumulation de marchandises, y compris aires d'accès			Toitures inaccessibles, sauf pour entretien et réparations courantes		0,8	1,5			Selon catégorie A-G
						(N)	(N)			
						0,8	1,5			
						(N)	(N)			
J	J1 : Surfaces susceptibles de recevoir une accumulation de marchandises, y compris aires d'accès			Toitures accessibles pour les usages des catégories A à G		0,8	1,5			A définir (voir EN)
						(N)	(N)			
						0,8	1,5			
						(N)	(N)			
K	K1 : Surfaces susceptibles de recevoir une accumulation de marchandises, y compris aires d'accès			Hélicoptères		0,8	1,5			A définir (voir EN)
						(N)	(N)			
						0,8	1,5			
						(N)	(N)			

Voir document complet fourni avec la formation

Tableau 4.4 : Matériaux en dépôt — Matériaux agricoles

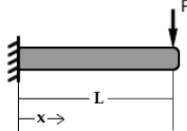
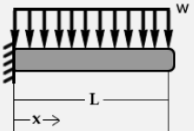
Matériaux	Poids volumique γ [kN/m ³]	Angle de talus naturel ϕ [°]
Basse-cour		—
fumier (minimum 60 % de matières solides)	7,8	45
fumier (avec paille sèche)	9,3	45
fumier sec de poules	6,9	—
lisier (maximum 60 % de matières solides)	10,8	
Engrais artificiel		
NPK en granulés	8 — 12	25
scories Thomas broyées	13,7	35
phosphates en granulés	10 — 16	30
sulfate de potassium	12 — 16	28
urée	7 — 8	24
Fourrage vert, empilé en vrac	3,5 — 4,5	—
Céréales		
grains entiers (teneur en eau $\leq$ 14 % sauf	7,8	30

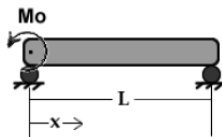
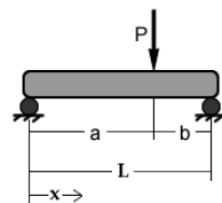
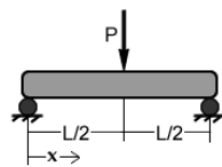
Voir document complet
fourni avec la formation

ANNEXE 4

FORMULAIRE FLEXION DE POUTRE (EXTRAIT)

Unités: Charge P en daN, longueurs L et f en mm

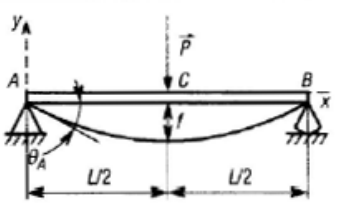
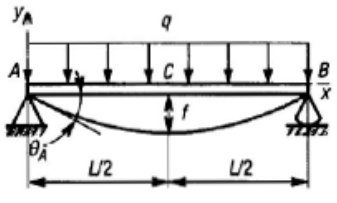
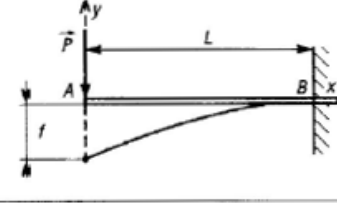
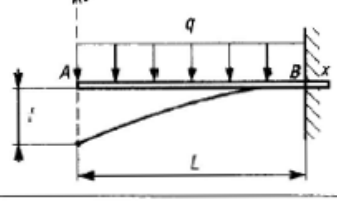
Sollicitation	Réaction d'appui	Flèche	Équation de la déformée
	$R_A = P$ $M_A = PL$	$f = \frac{PL^3}{3EI}$	$y = \frac{-Px^2}{6EI} (3L - x)$
	$R_A = wL$ $M_A = \frac{wL^2}{2}$	$f = \frac{wL^4}{8EI}$	$y = \frac{-wx^2}{24EI} (x^2 - 4Lx + 6L^2)$

Sollicitation	Réaction d'appui	Flèche	Moment
	$R_A = \frac{M_O}{L}$ $R_B = -\frac{M_O}{L}$	$f = \frac{M_O X}{X EI}$	M_O
	$R_A = \frac{Pb}{L}$ $R_B = \frac{Pa}{L}$	$f_P = \frac{Pa^2b^2}{3EIL}$ $f_{max;a > L/2} = \frac{Pb}{27EIL} \sqrt{3(L^2 - b^2)^3}$ $x_{fmax} = \frac{\sqrt{3(L^2 - b^2)}}{3}$	$M = \frac{Pab}{L}$
	$R_A = \frac{P}{2}$ $R_B = \frac{P}{2}$	$f = \frac{PL^3}{48EI}$	$M = \frac{PL}{4}$

ANNEXE 5

FORMULAIRE FLEXION DE POUTRE

Unités: Charge P en DaN, longueurs L et f en mm

FORMULAIRE DE POUTRES SOLLICITEES EN FLEXION						
SCHEMA	Actions aux appuis	T (effort tranchant)	Mf (moment fléchissant)	Mf _{maxi}	Déformée E.I _{GZ} .Y	Flèche Y _{maxi} = f
	$R_A = R_B = \frac{P}{2}$	Tronçon AC $T = -\frac{P}{2}$ Tronçon CB $T = \frac{P}{2}$	Tronçon AC $Mf = \frac{P.x}{2}$ Tronçon CB $Mf = \frac{P.x}{2} + \frac{P.L}{2}$	En C : $x = \frac{L}{2}$ $Mf_{maxi} = \frac{P.L}{4}$	Tronçon AC $E.I_{GZ}.Y = -\frac{P.x^3}{12} + \frac{P.L^2.x}{16}$	En C : $x = \frac{L}{2}$ $f = -\frac{P.L^3}{48.E.I_{GZ}}$
	$-q.\bar{y}$ $R_A = R_B = \frac{q.L}{2}$	$T = q.x - \frac{q.L}{2}$	$Mf = -\frac{q.x^2}{2} + \frac{q.L.x}{2}$	En C : $x = \frac{L}{2}$ $Mf_{maxi} = \frac{q.L^2}{8}$	$E.I_{GZ}.Y = \frac{q.x^4}{24} - \frac{q.L.x^3}{12} + \frac{q.L^2.x}{24}$	En C : $x = \frac{L}{2}$ $f = -\frac{5.q.L^4}{384.E.I_{GZ}}$
	En B : $x = L$ $R_B = P$ $M_B = -P.L$	$T = P = \text{constante}$	$Mf = -P.x$	En B : $x = L$ $Mf_{maxi} = -P.L$	$E.I_{GZ}.Y = \frac{P.x^3}{6} - \frac{P.L^2.x}{2} + \frac{P.L^3}{3}$	En A : $x = 0$ $f = -\frac{P.L^3}{3.E.I_{GZ}}$
	$-q.\bar{y}$ En B : $x = L$ $R_B = q.L$ $M_B = -\frac{q.L^2}{2}$	$T = q.x$ En B : $x = L$ $T_{maxi} = q.L$	$Mf = -\frac{q.x^2}{2}$	En B : $x = L$ $Mf_{maxi} = -\frac{q.L^2}{2}$	$E.I_{GZ}.Y = \frac{q.x^4}{24} - \frac{q.L^3.x}{6} + \frac{q.L^4}{8}$	En A : $x = 0$ $f = -\frac{q.L^4}{8.E.I_{GZ}}$

ANNEXE 6 FORMULAIRE DE RESISTANCE DES MATERIAUX

SYNTHESE DE RESISTANCE DES MATERIAUX

Résistance à la rupture en traction : **R** MPa
 Résistance élastique en traction : **Re** MPa
 Résistance élastique en compression : **Rec** MPa
 Résistance élastique au cisaillement : **Reg** MPa
 Facteur de sécurité : **s**
 Résistance pratique en traction : **Rpe** = Re/s
 Résistance pratique en compression : **Rpc** = Rec/s
 Résistance pratique au cisaillement : **Rpg** = Reg/s
 Contrainte normale : **σ** MPa
 Contrainte tangentielle : **τ** MPa
 Facteur de concentration de contrainte **Kt**

• Traction – Compression – Cisaillement

Conditions de résistance

Traction : $\sigma_{\text{maxi}} = |N_{\text{maxi}}| / S \leq Rpe$
 Compression : $\sigma_{\text{maxi}} = |N_{\text{maxi}}| / S \leq Rpc$
 Cisaillement : $\tau_{\text{maxi}} = |T_{\text{maxi}}| / S \leq Rpg$
 Concentration de contrainte : $\sigma_{\text{maxi}} = Kt \cdot \sigma_{\text{maxi nom}}$
 Concentration de contrainte : $\tau_{\text{maxi}} = Kt \cdot \tau_{\text{maxi nom}}$

Conditions de déformation

Allong ou raccourcissement : **$\sigma = E \cdot \epsilon$**
 $\Delta L = F \cdot L / (E \cdot S)$
 Déviation en rad : **$\gamma = \tau / S$**

• Sollicitations composées

Flexion – Traction

$\sigma_{\text{maxi traction}} = |N_{\text{maxi}}| / S + |Mf_{\text{maxi}}| / (IGz / v1) \leq Rpe$
 $\sigma_{\text{maxi comp}} = - |N_{\text{maxi}}| / S + |Mf_{\text{maxi}}| / (IGz / v2) \leq Rpc$

Flexion déviée (arbre acier de section circulaire)

Tracer Mfy et Mfz , puis Mf résult = $(Mfy^2 + Mfz^2)^{1/2}$
 $\sigma_{\text{maxi}} = |Mfi_{\text{maxi}}| / (IGz / v) \leq Rpe$

Flexion – Torsion (arbre acier doux)

Tracer Mf et Mt , puis Mf idéal = $(Mf^2 + Mt^2)^{1/2}$
 $\sigma_{\text{maxi}} = |Mfi_{\text{maxi}}| / (IGz / v) \leq Rpe$

Flambage (Euler) → Stabilité si : $F_{adm} < Fc < 2s$
 Calculer la longueur libre **L** à l'aide d'un **formulaire**
 Calculer la charge critique d'Euler : **$Fc = \pi^2 E \cdot IGz / L^2$**

Matage (déformation locale permanente)

pression uniforme = F / S (surf projetée) < p_{adm}
 Voir aussi les formules de Hertz pour CP et LR

Effort normal : **N** en N
 Effort tranchant : **T** en N
 Moment de torsion : **Mt** N.m
 Moment de flexion : **Mf** N.m
 Module d'élasticité longitudinal : **E** MPa
 Module d'élasticité transversal : **G** MPa
 Allongement pour cent : **A** %
 Allongement unitaire : **$\epsilon = \Delta L / L$**
 Rotation unitaire : **θ** rad/mm
 Moments quadratiques : **IGz, IG = Io** mm⁴
1 MPa = 1 N / mm²

• Flexion plane simple

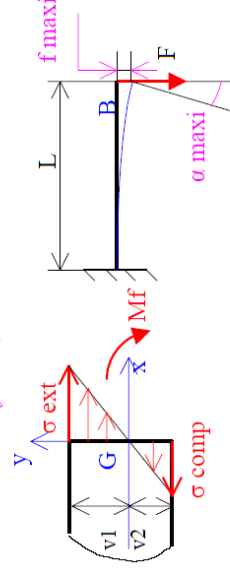
Conditions de résistance

$\sigma_{\text{maxi traction}} = |Mfz_{\text{maxi}}| / (IGz / v1) \leq Rpe$
 $\sigma_{\text{maxi comp}} = |Mfz_{\text{maxi}}| / (IGz / v2) \leq Rpc$
 Concentration de contrainte : $\sigma_{\text{maxi}} = Kt \cdot \sigma_{\text{maxi nom}}$

Conditions de déformation

Flèche maxi : $f_{\text{maxi}} \leq f$ limite
 Rotation maxi : $\alpha_{\text{maxi}} \leq \alpha$ limite

Pour α_{maxi} et f_{maxi} , utiliser un formulaire



En B, un formulaire donne : **$fB = F \cdot L^3 / (3E \cdot IGz)$**
 $\alpha B = F \cdot L^2 / (2E \cdot IGz)$

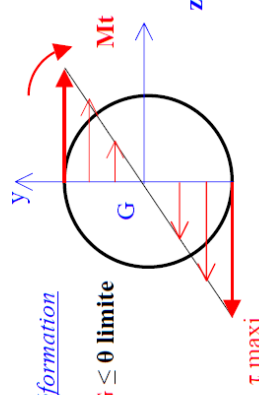
• Torsion (arbre acier de section circulaire)

Condition de résistance

$\tau_{\text{maxi}} = |Mt_{\text{maxi}}| / (IG / v) \leq Rpg$
 Section pleine : **$IG / v = \pi d^3 / 16$**
 Section creuse : **$IG / v = \pi (D^4 - d^4) / 16D$**

Condition de déformation

$\theta = Mt / G \cdot IG \leq \theta$ limite



CREDITS

Crédits images, photos et illustrations

- IUT Senart/fontainebleau-Thierry Boulay
- MEN- Sciences et Technologies de l'industrie et du développement durable (formation des enseignants)
- Ecole d'Architecture de Lyon-François Fleury;Rémy Mouterde