

EPREUVE E4 : ETUDE DES CONSTRUCTIONS

SOUS - EPREUVE U41

ELABORATION D'UNE NOTE DE CALCUL DE STRUCTURES

DUREE : 4 HEURES COEFFICIENT : 2

IMMEUBLE « CHAMP DE FOIRE »

COMPOSITION DU DOSSIER

Document 1/10 :	Présentation du projet, données complémentaires, Sujet
Document 2/10 :	Sujet
Document 3/10 :	Sujet
Document 4/10 :	Plan de masse, Plan de façade et Coupe
Document 5/10 :	Plan Archi. du 5 ^{ème} étage
Document 6/10 :	Plans de Charpente
Document 7/10 :	Plan de coffrage du plancher haut du RdC
Document 8/10 :	Poteaux méthode simplifiée de M. Thonier.
Document 9/10 :	Formulaire Eurocode 5
Document 10/10 :	Intégrales de Mohr et Théorème des 3 moments

DOCUMENT ET MATERIEL AUTORISES

Eurocode
Calculatrice

BAREME

ETUDE A :	7,5 points
ETUDE B :	3 points
ETUDE C :	3 points
ETUDE D :	6,5 points

Nota : Toutes les questions sont indépendantes

DONNEES GENERALES DU PROJET :

1. Présentation de l'opération

L'étude porte sur un bâtiment à usage d'habitation, édifié en bord de Seine sur un terrain situé à proximité d'un quai appelé « Quai du Champ de Foire ». En effet, ce quai passe devant une grande place sur laquelle ont régulièrement lieu des fêtes foraines (voir document 4/10).

Cet immeuble comporte 5 étages (voir documents 4/10 et 5/10) ainsi qu'un niveau R.D.C. semi-enterré désigné par la suite sous-sol pour la zone exploitée en parking couverte par une terrasse végétale. Il est fondé superficiellement. Sa structure est en béton armé.

Les planchers sont réalisés en dalle pleine coulée sur prédalles pour le plancher haut du sous-sol et en dalle pleine coulée en place pour les autres niveaux.

Au dernier niveau une charpente bois de type fermette porte une couverture en Zinc et un plafond suspendu composé de plaques de plâtre sur rails métalliques (voir document 4/10).

Bâtiment de catégorie A, Classe structurale S4

2. Données complémentaires

BETON ARME :

- ↪ Béton : Classe de résistance C25 / 30 $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
- ↪ Environnement Classe d'exposition XC1 pour les éléments b.a. étudiés, excepté les semelles superficielles pour lesquelles la classe d'exposition est XC2.
- ↪ Armatures HA : B500 Classe B $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
- ↪ Poids volumique du béton armé : $\gamma = 25 \text{ kN / m}^3$

□ Sol de fondation

- soit V_d la charge verticale (ELU) au niveau de la base de la fondation
- soit A' aire de la surface effective de la fondation (en compression centrée, aire totale de la surface horizontale de la fondation en contact avec le sol)
- la valeur de la portance de calcul du sol de fondation : R_d ; $\frac{R_d}{A'} = 0,32 \text{ MPa}$
- critère de résistance : $V_d \leq R_d$

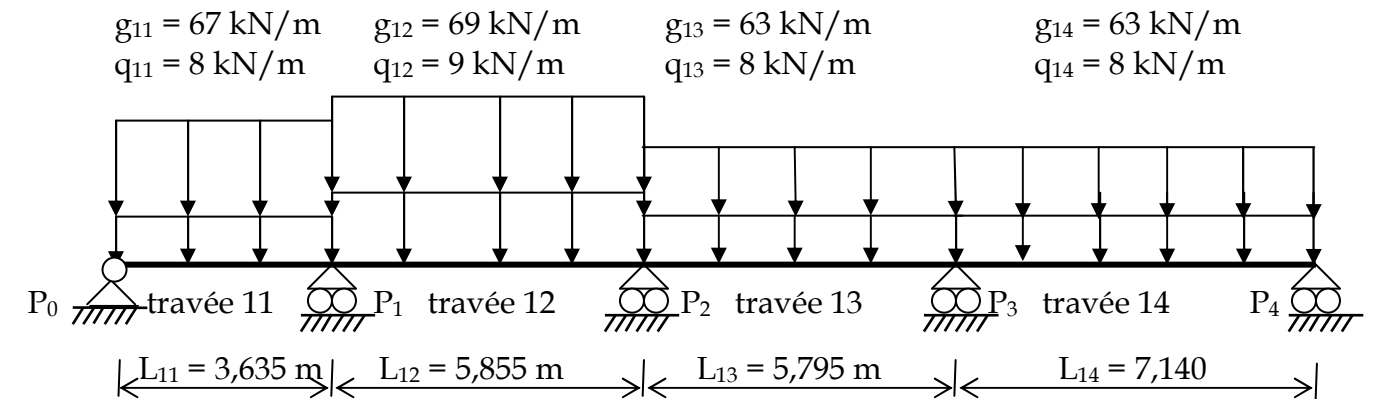
TRAVAIL DEMANDE :

ETUDE A : Poutre B.A. continue 11-12-13-14 du plancher haut du sous-sol

La poutre 11- 12- 13- 14 du plancher haut du sous-sol est une poutre continue sur 5 appuis (voir document 7/10). Le plancher haut du sous-sol est une dalle pleine coulée sur prédalles. Le plancher haut du sous-sol supporte, dans la zone étudiée, une terrasse végétale accessible aux piétons. L'enrobage est de 2 cm. Les charges à prendre en compte pour la poutre continue 11- 12- 13- 14 sont :

- **Charges permanentes :**
 - poids de la dalle et poids propre de la poutre,
 - poids des terres et de l'étanchéité : 5,85 kN/m².
- **Charges variables :**
 - exploitation : 1,5 kN/m²

Le schéma mécanique de la poutre 11- 12- 13- 14 est le suivant :



A.1 - En utilisant le plan de coffrage du plancher haut du sous-sol (voir document 7/10), justifier les valeurs des charges linéiques permanentes g_{14} et variables q_{14} en kN/m s'appliquant sur cette travée.

A.2 - Pour le calcul des sollicitations le long de la poutre, quelle méthode peut-on utiliser ?

A.3 - Définir à l'aide de **schémas** les cas de charges à l'ELU permettant d'obtenir :

- a) le moment maximal sur l'appui P₂,
- b) le moment maximal en travée 12.

A.4 - On donne :

- le moment fléchissant maximal sur l'appui P_1 : $M_{P1max} = -278 \text{ kN.m}$;
- l'effort tranchant maximal à gauche de P_1 dans la travée 11 : $V_{P1max} = 263 \text{ kN}$.

A.4.1 - Pour les valeurs données, calculer la section d'armatures longitudinales sur l'appui P_1 et choisir les aciers correspondants (voir document 3/10). Si $\mu \leq 0,37$, il ne sera pas nécessaire de prévoir des armatures comprimées.

A.4.2 - A gauche de l'appui P_1 , c'est à dire travée 11, Vérifier les articles 6.2.2, 6.2.3 et 9.2.2 et choisir les armatures transversales et en déduire l'espacement initial s_t (distance entre 2 nappes consécutives) ainsi que l'espacement maximal s_{tmax} à ne pas dépasser.

La section des armatures longitudinales arrivant sur l'appui : 3 HA 10

A.4.3 - Faire un dessin d'armatures de la section située juste à gauche du nu d'appui de P_1 en travée 11 en précisant toutes les armatures, et plus particulièrement celles calculées en A.4.1 et en A.4.2.

ETUDE B : Poteau P_1 du Sous-sol

La section du poteau P_1 du sous-sol est de 400 mm x 200 mm (voir document 7/10). Il supporte les travées 11 et 12 de la poutre continue 11- 12- 13- 14 de l'étude A.

- L'effort normal en pied de poteau, poids propre compris, vaut $N_u = 600 \text{ kN}$
- La longueur efficace (de flambement) est prise égale à $l_0 = 3,100 \text{ m}$.
- Poteau coulé en place
- On considère que les charges sont appliquées après 28 jours

B.1 - Calculer la section d'armatures longitudinales à prendre en compte. Faites un choix d'aciers (voir document 3/10 et 8/10).

B.2 - Déterminer les armatures transversales, diamètre et espacement, en partie courante.

B.3 - Faire un dessin d'armatures d'une section transversale du poteau en précisant toutes les armatures, avec précisément celles calculées en B.1 et B.2.

ETUDE C : Semelle S_1 sous le poteau P_1 du Sous-sol

La semelle S_1 du sous-sol est située sous le poteau P_1 de l'étude B.

- La charge verticale arrivant sur la fondation est identique à celle donnée pour le poteau P_1 de l'étude B. Elle vaut $N_u = 600 \text{ kN}$. Le poids du dallage et le poids de la couche de forme au dessus de la semelle sont négligés.
- L'enrobage est de 4 cm.

C.1 - Calculer les dimensions (base (longueur et largeur) et hauteur) de la semelle S_1 . Pour cette question C.1, les dimensions de la base de la fondation devront être homothétiques à celles du poteau P_1 .

C.2 - Pour cette question C.2, on retiendra les dimensions suivantes semelle S_1 , obtenue par une autre méthode :

- Base de la semelle de 1,30 m x 1,50 m
- Hauteur de 0,40 m

Calculer les armatures de la semelle S_1 (voir document 3/10). Article EC2, § 9,8,2

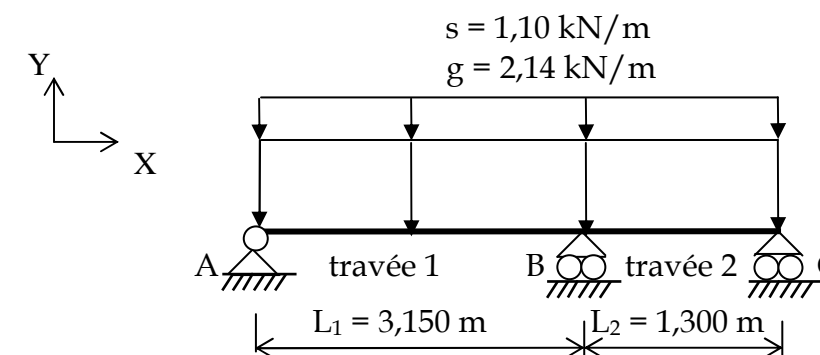
C.3 - Faire deux schémas (une vue en plan et une coupe verticale) de la fondation de manière à faire apparaître les armatures calculées à la question C.2 (en précisant leurs diamètres et leurs espacements) et les armatures complémentaires.

ETUDE D : Poutre L.C. continue 1-2 des combles

Au dernier niveau, des fermettes supportent la couverture en Zinc et le plafond suspendu (voir document 4/10). Ces fermettes portent sur trois appuis. L'appui central est composé par un refend en béton armé ou, lorsque celui-ci n'existe pas (voir documents 5/10 et 6/10), par des poutres en bois lamellé collé. Cette étude porte sur une de ces poutres : la poutre continue BR1. Cette poutre de section 63 mm x 175 mm comporte 2 travées (voir document 6/10) et reprend les charges suivantes :

- Charges permanentes :
 - Le poids propre de la poutre et les charges permanentes apportées par les fermettes au niveau de l'appui central : 2,14 kN/m.
- Charges climatiques :
 - Dans cette étude on ne considèrera que la charge de neige : 1,10 kN/m.

Le schéma mécanique de la poutre 1 - 2 est le suivant :



D.1 - On considère la charge $p_u = 4,54 \text{ kN/m}$ obtenue en combinant les charges uniformément réparties g et s ci-dessus. On donne le théorème des trois moments (voir document 10/10).

Calculer le moment fléchissant sur l'appui B et en déduire les inconnues de liaison.

D.2 - Pour un autre cas de charge ($p_s = 3,24 \text{ kN/m}$), on donne les inconnues de liaison suivantes : $X_A = 0$; $Y_A = 4,14 \text{ kN}$; $Y_B = 10,52 \text{ kN}$; $Y_C = -0,24 \text{ kN}$.

Tracer les diagrammes de l'effort tranchant et du moment fléchissant le long de la poutre. Préciser les valeurs particulières.

D.3 - Calculer la flèche au milieu de la travée 1, $u_y(\frac{L_1}{2})$, la poutre étant soumise à la charge linéique p_s de la question D.2. Pour cela on utilisera une des 2 méthodes rappelées ci-dessous :

- on rappelle le théorème de Pasternak ou théorème de la charge unité ci-contre et on donne les intégrales de Mohr dans le document 10/10 ,
- on rappelle également que $v''(x) = \frac{M_f(x)}{E.I}$.

On négligera la déformation due à l'effort tranchant.

On prendra : $E = 11600 \text{ MPa}$

D .4 - Pour prendre en compte l'évolution de la réglementation, on envisage une vérification selon l'eurocode 5 avec des notations simplifiées (voir document 9/10 et les données complémentaires ci-dessous).

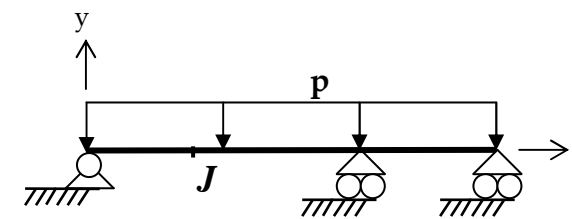
D .4.1 - On donne $|M_f| = 4,27 \text{ kN.m}$. Vérifier le critère de résistance vis à vis de la contrainte normale de flexion.

D .4.2 - On donne $|V| = 8,5 \text{ kN}$. Vérifier le critère de résistance vis à vis de la contrainte tangentielle de cisaillement.

D .4.3 - On donne $u_0 = 0 \text{ mm}$, $u_{net,inst}(g) = 5 \text{ mm}$ et $u_{net,inst}(s) = 2,6 \text{ mm}$. En déduire $u_{net,fin}$, et vérifier les conditions de flèches (voir document 9/10).

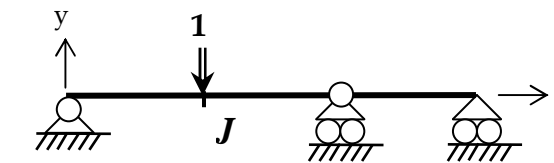
THEOREME DE PASTERNAK

Pour déterminer le déplacement en un point **J** d'une structure hyperstatique suivant une direction donnée, on applique en ce point **J** dans une de ses structures associées isostatiques (structure virtuelle) suivant la direction souhaitée une charge unité.



Structure réelle (**S**)

Moments de flexion $M(x)$



Structure isostatique associée (virtuelle) (S_J^0)

Moments de flexion $\bar{M}_J^0(x)$

$$\Delta_J = \int_{structure} \frac{M(x) \cdot \bar{M}_J^0(x)}{EI} dx$$

$M(x)$ représente le moment fléchissant dans la structure réelle.

\bar{M}_J^0 représente le moment fléchissant dans la structure isostatique associée soumise à un facteur sollicitant unité (force unitaire) appliqué au point **J**.

Données complémentaires :

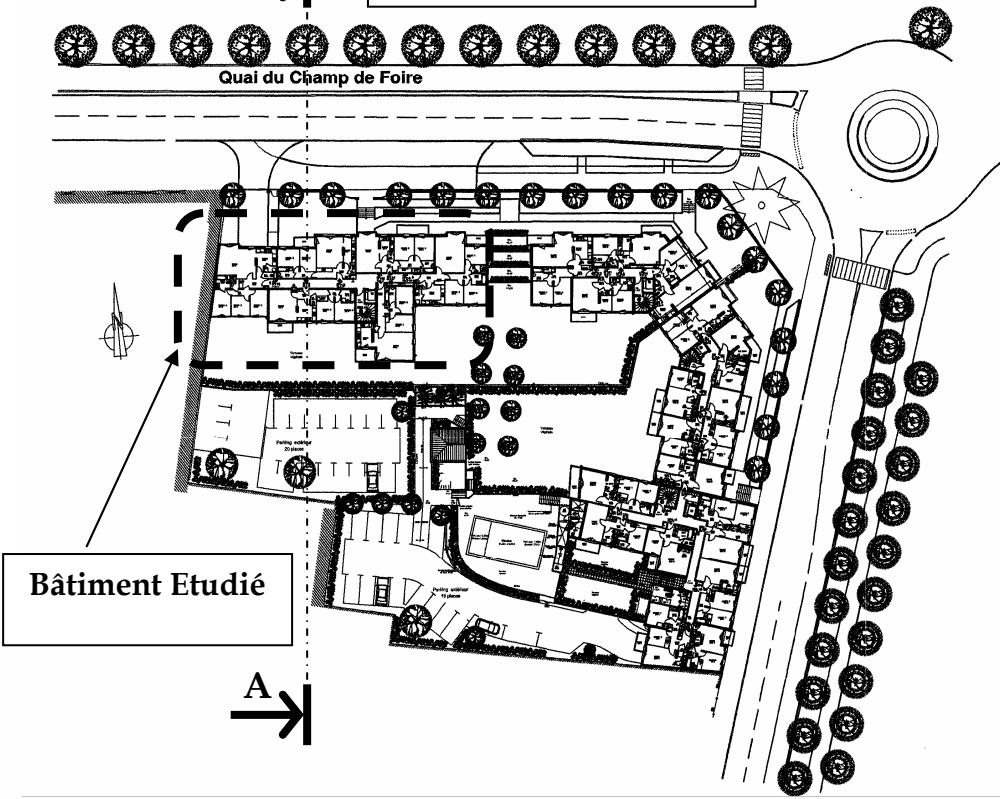
On notera BLC-GL24h le Bois Lamellé Collé de classe GL 24 homogène. En ce qui concerne la signification des notations utilisées, il convient de se référer au document 9/10.

- Résistance caractéristique vis-à-vis de la flexion du BLC-GL24 : $f_{m,k} = 24 \text{ MPa}$
- Résistance caractéristique vis-à-vis du cisaillement du BLC-GL24 : $f_{v,k} = 2,7 \text{ MPa}$
- Module moyen d'élasticité axial du BLC-GL24 : $E_{moyen} = 11\,600 \text{ MPa}$
- Coefficient γ_M : $\gamma_M = 1,25$
- Coefficient k_{mod} (classe de service « 1 » et classe de durée « court terme ») : $k_{mod} = 0,9$
- Coefficient k_h (poutre de 175 mm de hauteur) : $k_h = 1,15$
- Coefficient k_{def} : $k_{def} = 0,6$

TABLEAU DES SECTIONS D'ACIER

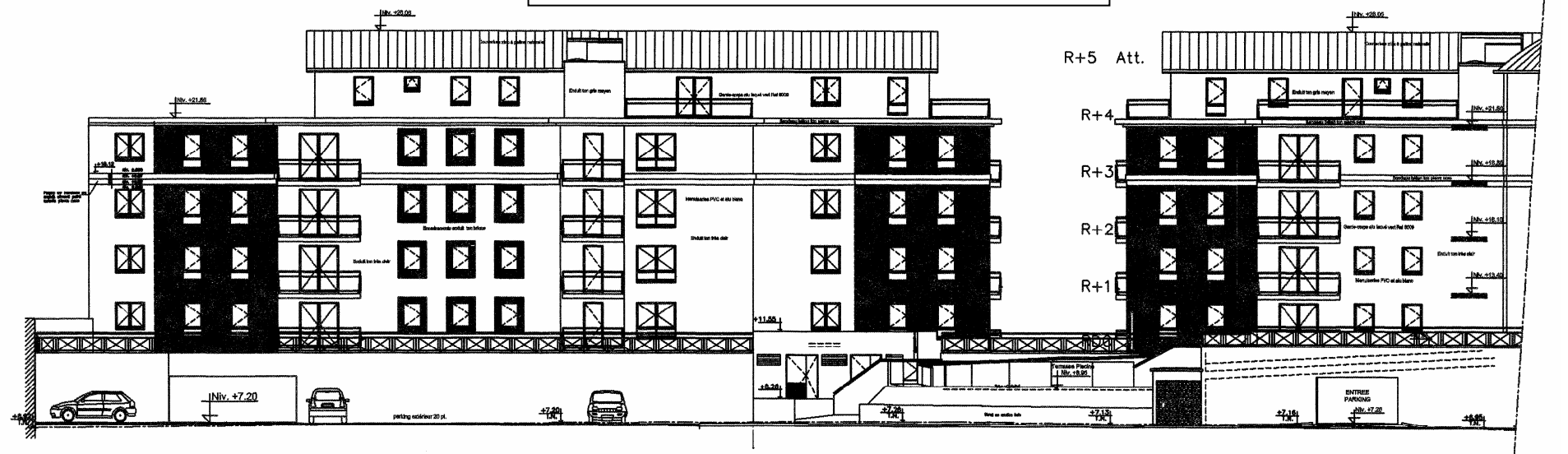
Diamètres	Masse kg/m	Sections totale d'acier en cm ²									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	0,222	0,28	0,57	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83
8	0,395	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03
10	0,617	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85
12	0,888	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31
14	1,210	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,31	13,85	15,39
16	1,580	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11
20	2,466	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42
25	3,850	4,91	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09
32	6,313	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42
40	9,864	12,57	25,13	37,70	50,26	62,83	75,40	87,96	100,53	113,09	125,66

PLAN MASSE

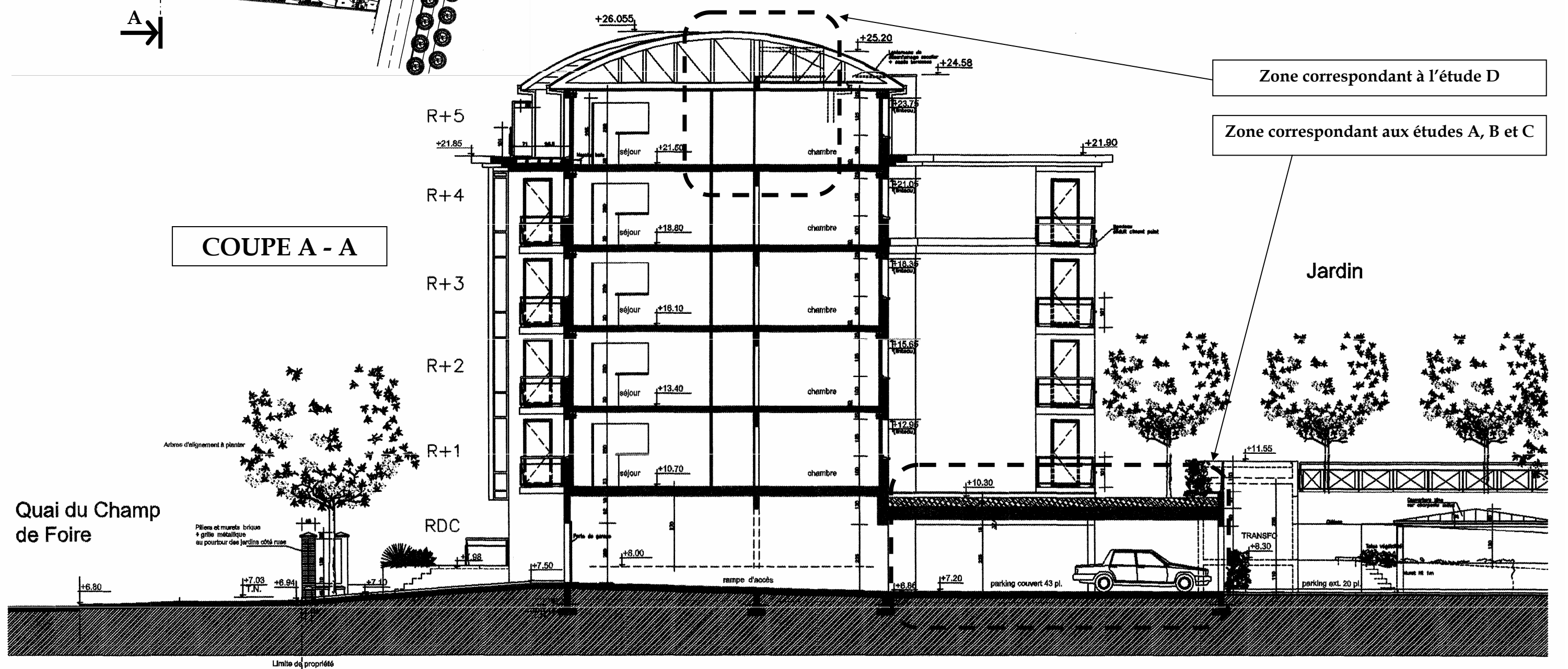


Bâtiment Etudié

PLAN FACADE JARDIN



COUPE A - A



Zone correspondant à l'étude D

Zone correspondant aux études A, B et C

Jardin

Quai du Champ de Foire

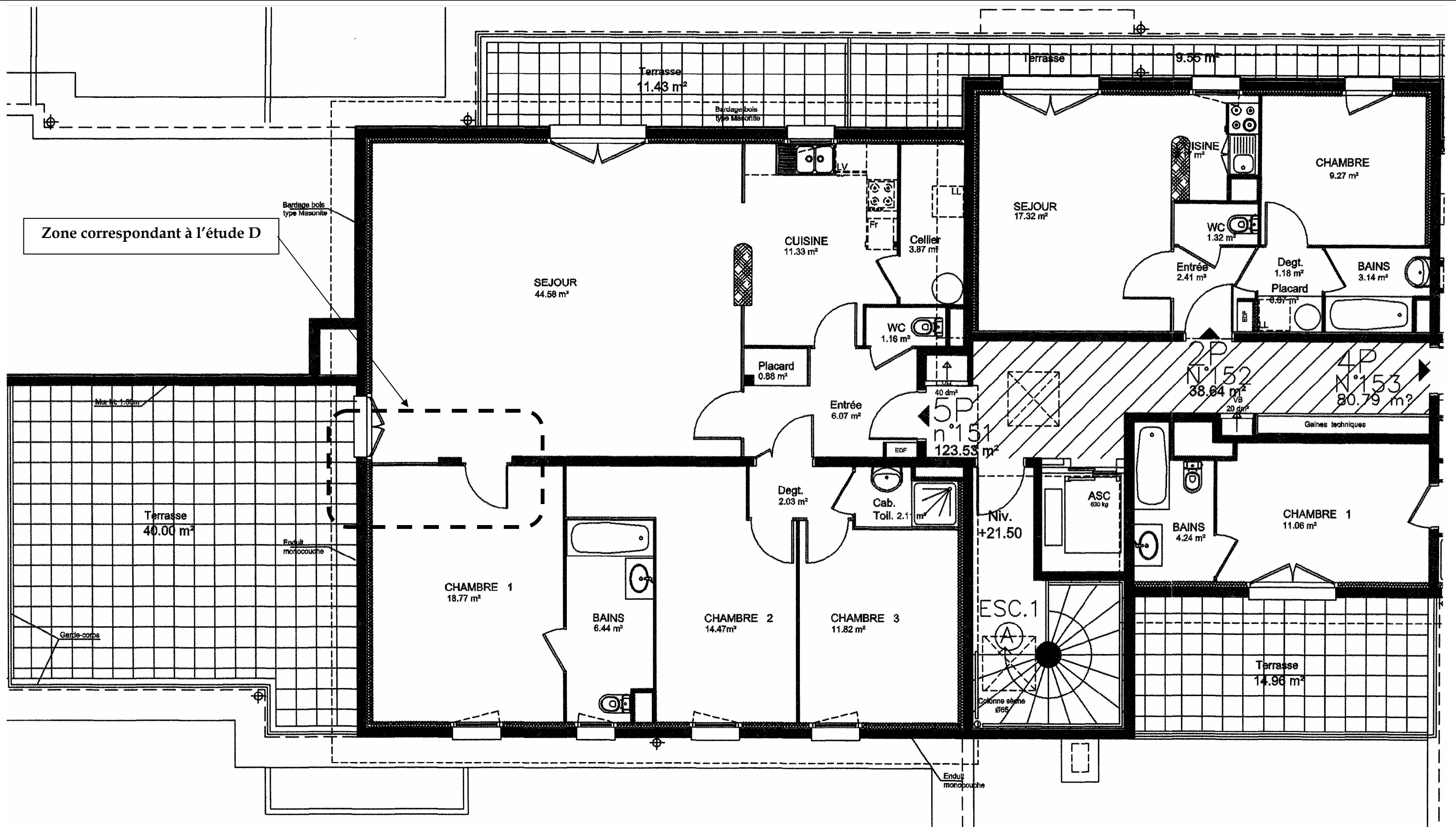
Piliers et murets briques + grille métallique au pourtour des jardins côté ruse

Arbres d'alignement à planter

Limite de propriété

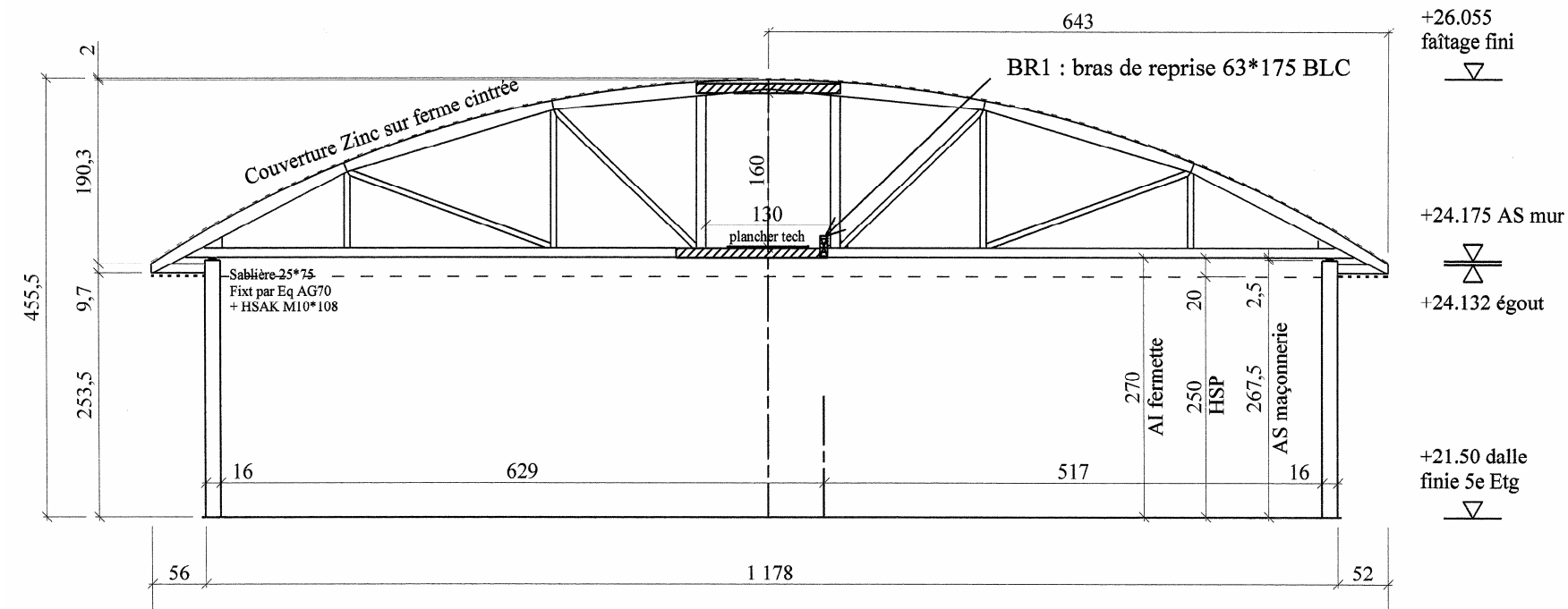
ECHELLE NON NORMALISEE

PLAN DU 5^{ème} ETAGE

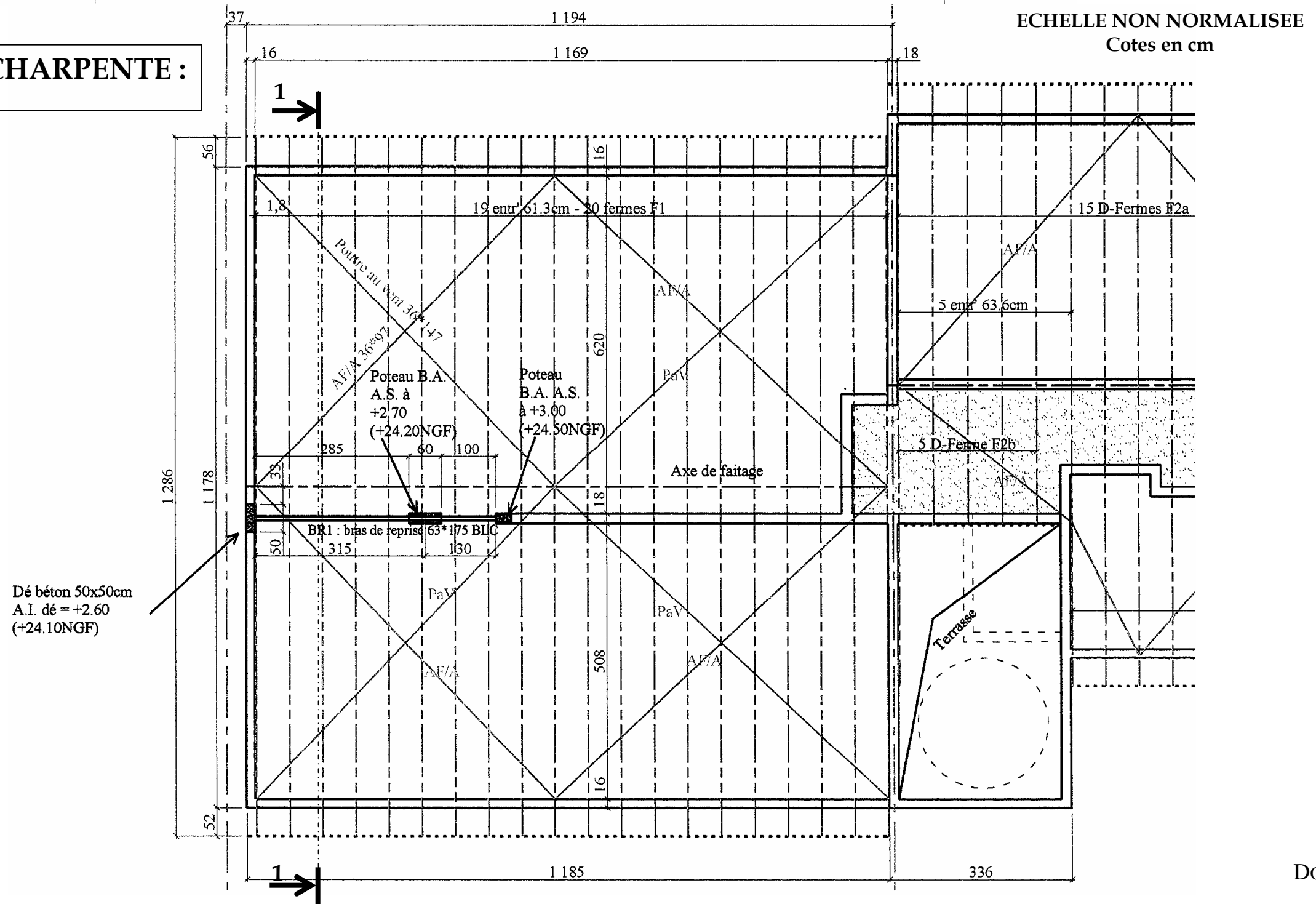


ECHELLE NON NORMALISEE

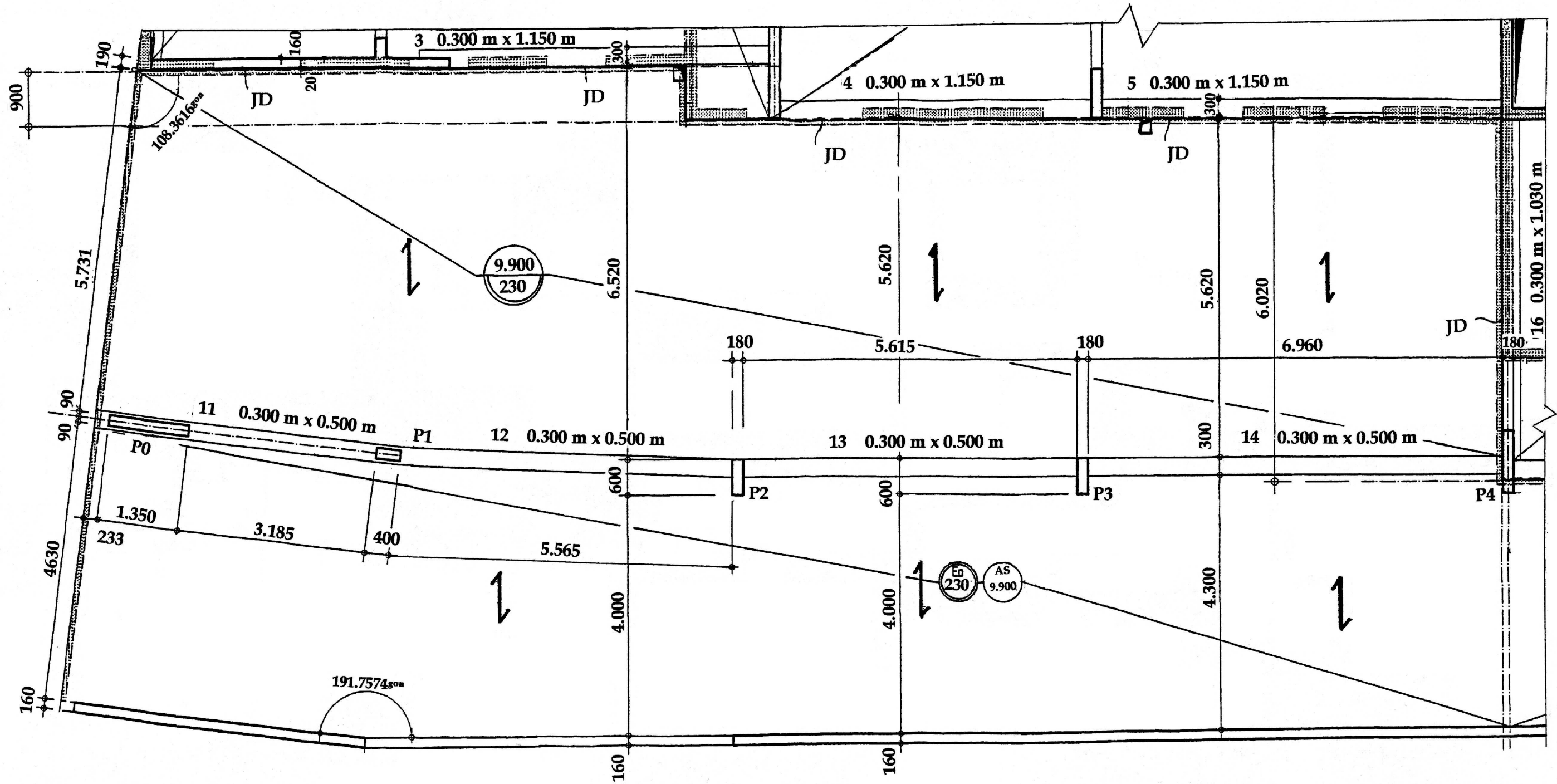
**SECTION 1 - 1 :
Fermettes F1**



EXTRAIT DU PLAN DE CHARPENTE :



EXTRAIT DU PLAN DE COFFRAGE DU PHT RDC SEMI-ENTERRE DESIGNE AUSSI SOUS-SOL POUR LA ZONE PARKING:

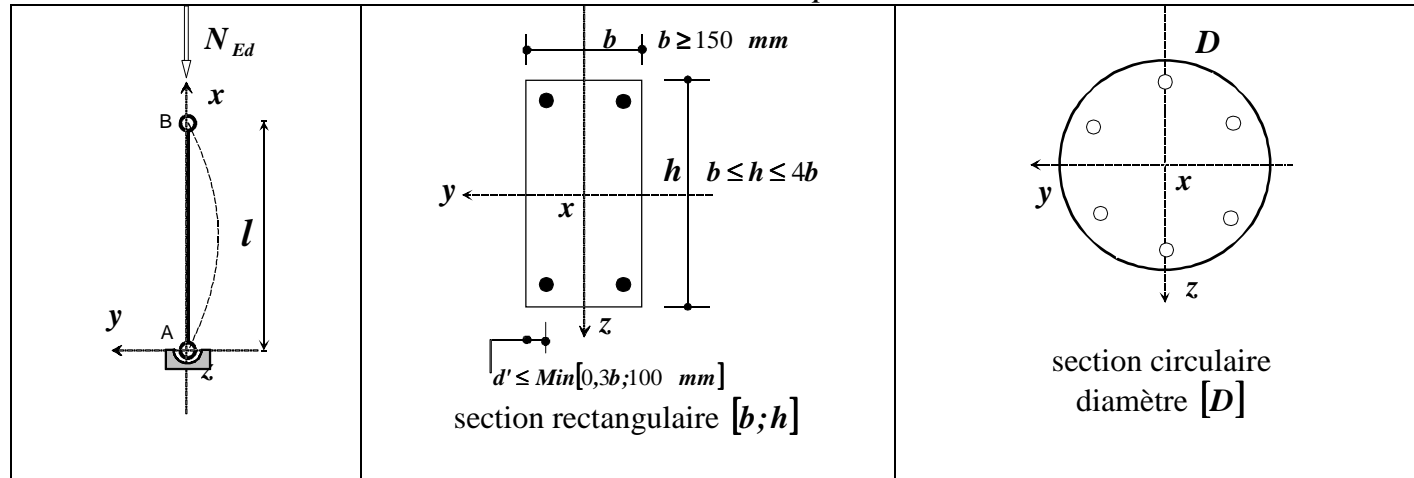


ECHELLE NON NORMALISEE

Cotes en m et en mm

Poteaux : Méthode simplifiée proposée par M. H. THONIER

Conditions d'emploi



- poteau bi-articulé sous charges centrées N_{Ed}
- élancement $\lambda \leq 120$
- $20 \leq f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$
- épaisseur dans le sens du flambement : D ou $b \geq 150 \text{ mm}$
- distance d' de l'axe des aciers à la paroi la plus proche $d' = c_{nom} + \phi_t + \phi_l / 2$
 $d' \leq \text{Min}[0,3b; 100 \text{ mm}]$
- armatures symétriques, par moitié sur chaque face
- chargement à au moins 28 jours
- $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

$$\text{Formule du type : } N_{Rd} = \alpha k_h A_c [f_{cd} + \rho f_{yd}]$$

ℓ_0 = longueur de flambement

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1,5} ; \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{f_{yk}}{1,15}$$

A_s = section totale des aciers situés à la distance d' des parois, disposés en deux lits pour une section rectangulaire ou en six barres réparties pour une section circulaire.

$$\delta = \frac{d'}{b} \quad \text{« enrobage » relatif}$$

A_c aire de la section droite du béton

Dimensions de la section droite	h = largeur du poteau rectangulaire b = épaisseur du poteau rectangulaire dans le sens du flambement, b dimension du poteau parallèle au plan contenant la ligne moyenne déformée du poteau (aussi appelée plan de flambement)	D = diamètre de la section circulaire
élancement	$\lambda = \frac{\ell_0 \sqrt{12}}{b}$ dans le sens du flambement	$\lambda = \frac{4\ell_0}{D}$
% d'acier total	$\rho = \frac{A_s}{A_c} = \frac{A_s}{bh}$	$\rho = \frac{A_s}{A_c} = \frac{A_s}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)}$

Section rectangulaire	Section circulaire
$N_{Rd} = k_h \alpha [bh \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}]$	$N_{Rd} = k_h \alpha \left[\frac{\pi D^2}{4} \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd} \right]$
$\alpha = \frac{0,86}{1 + \left(\frac{\lambda}{62}\right)^2} \quad \text{si } \lambda \leq 60$	$\alpha = \frac{0,84}{1 + \left(\frac{\lambda}{52}\right)^2} \quad \text{si } \lambda \leq 60$
$\alpha = \left(\frac{32}{\lambda}\right)^{1,3} \quad \text{si } 60 < \lambda \leq 120$	$\alpha = \left(\frac{27}{\lambda}\right)^{1,24} \quad \text{si } 60 < \lambda \leq 120$
$k_h = [0,75 + 0,5b^{(m)}] [1 - 6\rho\delta] \text{ pour } b < 0,500m$ sinon $k_h = 1$	$k_h = [0,7 + 0,5D^{(m)}] [1 - 8\rho\delta] \text{ pour } D < 0,600m$ sinon $k_h = 1$
Remarque. Si l'on ne connaît pas les valeurs de ρ et δ , on peut prendre, à titre conservatoire : $k_h = 0,77$ pour les sections rectangulaires lorsque $b < 0,500m$	Remarque. Si l'on ne connaît pas les valeurs de ρ et δ , on peut prendre, à titre conservatoire : $k_h = 0,70$ pour les sections rectangulaires lorsque $D < 0,600m$

RAPPELS DE RESISTANCE DES MATERIAUX

Flexion simple:

$\sigma_{m,d}$ contrainte max. de flexion (sur les fibres extrêmes) engendrée par le moment de flexion M_f à l'ELU :

$$\sigma_{m,d} = \left| \frac{M_f}{I} \right| = \left| \frac{M_f}{W} \right| \text{ avec } \frac{I}{v} \text{ ou } W \text{ le module d'inertie élastique de la section droite}$$

Cisaillement:

τ_d contrainte max. de cisaillement engendrée par l'effort tranchant V à l'ELU dans une section rectangulaire :

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V}{A} \text{ avec } A \text{ l'aire de la section}$$

VERIFICATIONS SIMPLIFIEES INSPIREES DE L'EUROCODE 5

Flexion simple à l'ELU :

Critère de résistance d'une section à la flexion simple :

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_h \times f_{m,d}} \leq 1$$

Cisaillement à l'ELU :

Critère de résistance d'une section au cisaillement :

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

Flèches à l'ELS :

Valeurs limites des flèches :

$$\begin{aligned} u_{inst,s} &\leq \frac{L}{300} \\ u_{net,fin} &\leq \frac{L}{200} \end{aligned}$$

Flexion simple à l'ELU :

- $\sigma_{m,d}$ contrainte max. de flexion (sur les fibres extrêmes) engendrée par le moment de flexion M_f à l'ELU
- $f_{m,k}$ Résistance caractéristique à la flexion du bois
- γ_M coefficient partiel de propriété du matériau pour le bois à l'ELU
- k_{mod} coefficient modificatif pour classes de service et classes de durée de charges
- k_h coefficient modificatif tenant compte de la hauteur de la poutre
- $f_{m,d}$ résistance de calcul à la flexion du bois $f_{m,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}$

Cisaillement à l'ELU :

- τ_d contrainte max. de cisaillement engendrée par l'effort tranchant V à l'ELU
- $f_{v,k}$ Résistance caractéristique au cisaillement du bois
- γ_M coefficient partiel de propriété du matériau pour le bois à l'ELU
- k_{mod} coefficient modificatif pour classes de service et classes de durée de charges
- $f_{v,d}$ résistance de calcul au cisaillement du bois $f_{v,d} = k_{mod} \times \frac{f_{v,k}}{\gamma_M}$

Flèches à l'ELS :

- u_0 contreflèche
- $u_{net,inst}(g)$ flèche instantanée due aux charges permanentes
- $u_{net,inst}(s)$ flèche instantanée due aux actions variables
- $u_{net,inst} = u_{net,inst}(g) + u_{net,inst}(s) - u_0$ flèche nette instantanée
- k_{def} coefficient prenant en compte l'augmentation de la déformation en fonction du temps sous les effets du fluage et de l'humidité
- $u_{net,fin}(g) = u_{net,inst}(g) \times (1 + k_{def})$ flèche finale due aux charges permanentes prenant en compte le fluage et l'humidité
- $u_{net,fin}(s) = u_{net,inst}(s)$ flèche finale due aux actions variables prenant en compte le fluage et l'humidité (car l'altitude de la construction est inférieure à 1000 m)
- $u_{net,fin} = u_{net,fin}(g) + u_{net,fin}(s)$ flèche finale prenant en compte le fluage et l'humidité

