



SERVICES CULTURE ÉDITIONS  
RESSOURCES POUR  
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la  
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

**session 2011**

**BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR " BATIMENT "**

Session 2011

**EPREUVE E4 : ETUDE DES CONSTRUCTIONS**

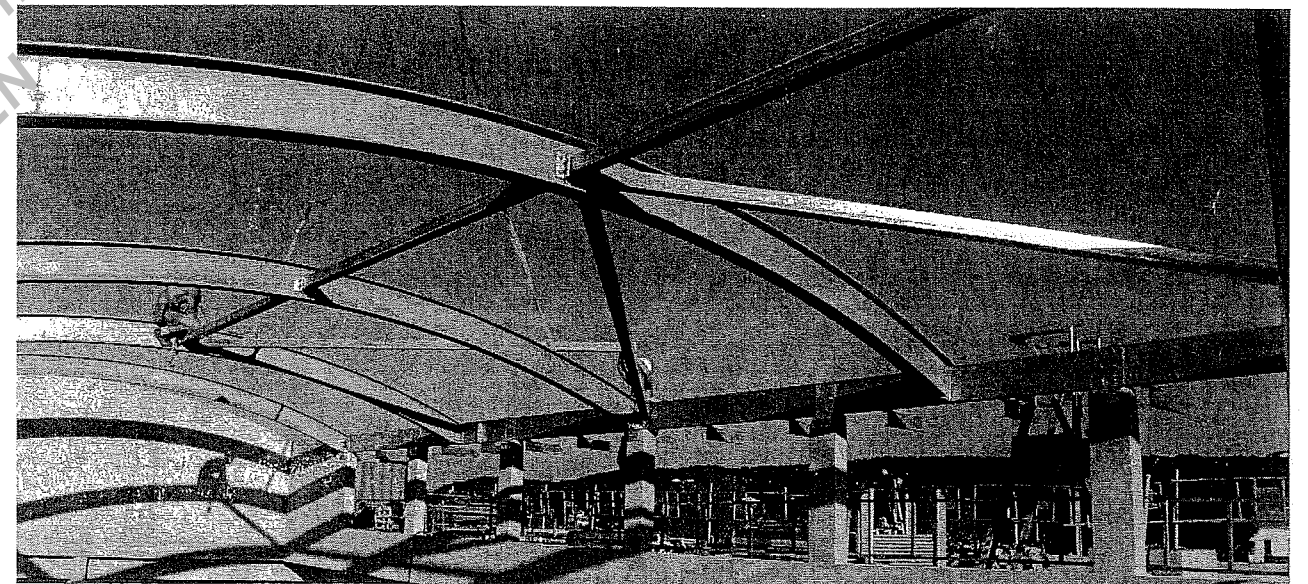
**SOUS-EPREUVE : U 41**

**Élaboration d'une note de calcul de structures**

**Durée : 4 h**

**Coefficient : 2**

**Construction d'une mairie**



**Barème :**

Etude A	6 / 20
Etude B	4 / 20
Etude C	4 / 20
Etude D	6 / 20

Calculatrice électronique autonome autorisée.

Le document réponse même vierge doit être remis dans une copie à la fin de l'épreuve

## Contenu du dossier

### Dossier sujet :

- DS1 ( p 1/14 ) : Contenu du dossier, présentation de l'ouvrage, caractéristiques des matériaux et actions sur les planchers.
- DS2 à DS4 ( p 2 à 4/14 ) : Travail demandé

### Dossier technique :

- DT 1 ( p 5/14 ) : Plans de masse et façades - Echelle 1/250
- DT 2 ( p 6/14 ) : Plans d'architecte : rez-de-chaussée et 1<sup>er</sup> étage – Echelle 1/200
- DT 3 ( p 7/14 ) : Coupes CC – Echelle 1/75
- DT 4 ( p 8/14 ) : Plan de coffrage - plancher haut du rez-de-chaussée – Echelle 1/75
- DT 5 ( p 9/14 ) : Plan de coffrage - plancher haut du 1<sup>er</sup> étage – Echelle 1/75
- DT 6 ( p 10/14 ) : Structure métallique – Echelle 1/50

### Documents Annexes, formulaire :

- DA 1 ( p 11/14 ) : théorème des 3 moments, théorème de Pasternak, extrait Eurocode 03
- DA 2 ( p 12/14 ) : Organigramme de calcul béton armé : poutre et poteau circulaire
- DA 3 ( p 13/14 ) : tableau des intégrales de Mohr, tableau des aciers.

### Document réponse :

- DR ( 14/14 ) : DR1, DR2, DR3, DR4 .

## Présentation de l'ouvrage

L'étude porte sur la construction d'une nouvelle mairie. Le bâtiment comporte trois niveaux : sous-sol partiel, rez-de-chaussée et 1<sup>er</sup> étage.

La zone d'accueil du public se distingue par un patio, permettant d'intégrer le rez-de-chaussée et le 1<sup>er</sup> étage dans un même volume. Ce patio est surmonté d'une toiture en arc de cercle, constituée d'une couverture en bac acier supportée par une ossature métallique.

La structure est en béton armé suivant une trame régulière de 5,40 m ou bien une demi-trame de 2,70 m .

- **Fondations superficielles** en semelles filantes sous murs banchés et semelles isolées sous poteaux.
- **Murs** du sous-sol et des façades en béton banché de 18 cm d'épaisseur. Un réseau de poteaux et poutres complète l'ossature porteuse.
- **Planchers** en dalle pleine d'épaisseur variable selon la localisation : 23 cm pour le plancher haut du sous-sol, 18 cm pour le plancher haut du vide sanitaire, 22 cm pour le plancher haut du RDC et 20 cm pour le plancher haut du 1<sup>er</sup> étage. Ils seront réalisés en pré-dalles de 6 cm plus une épaisseur de béton coulé en place. Les planchers situés à l'intérieur du bâtiment reçoivent une chape pour le chauffage par plancher chauffant et un carrelage scellé au mortier de ciment .

Nous étudierons plus particulièrement la zone comprise entre les files 11 et 15 ( voir repérage de la zone sur le document DT2 - p6/14).

## Caractéristiques des matériaux

### Béton armé

- Béton : C30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 20 \text{ MPa} ; \quad f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

- Armatures : B500  $f_{yk} = 500 \text{ MPa} ; \quad f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 435 \text{ MPa}$

- Dimension du plus gros granulat :  $d_g = 20 \text{ mm}$

- Les éléments BA situés à l'intérieur du bâtiment sont de classe d'exposition XC1

### Aciers pour charpente : S235

- Limite élastique :

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

- Module d'élasticité longitudinale (module d'Young) :  $E = 210000 \text{ MPa}$

- On considère que toutes les sections des profilés utilisés sont de classe 1.

- Valeur du coefficient partiel de sécurité sur les résistances pour le calcul aux ELU :  $\gamma_{M0} = 1$

## Actions sur les planchers

**Poids volumique du béton armé :** 25 kN/m<sup>3</sup>

**Charges permanentes :** ( voir repérage sur plans DT4 et DT5 )

- Planchers en terrasse
  - Dalles sur plots + étanchéité : 1,4 kN/m<sup>2</sup>
  - Terrasse végétalisée + étanchéité : 8 kN/m<sup>2</sup>
- Planchers intérieurs R-d-C et étages :
  - Plancher chauffant + carrelage : 3 kN/m<sup>2</sup>

**Nota :** les valeurs indiquées ci-dessus et sur les plans DT4 et DT5 ne prennent pas en compte le poids propre des dalles.

### Charges d'exploitation

- Salle de réunion et bureaux  $q_k = 4 \text{ kN/m}^2$
- Terrasses accessibles  $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$
- Terrasses inaccessibles  $q_k = 0,8 \text{ kN/m}^2$

## Travail demandé :

### Etude A : descente de charges – poutres 9 et 205 - poteau P33

**Localisation :** Plancher haut du R-d-C et du 1<sup>er</sup> étage File 13 entre les files O et Q, (document DT3, DT4 et DT5)

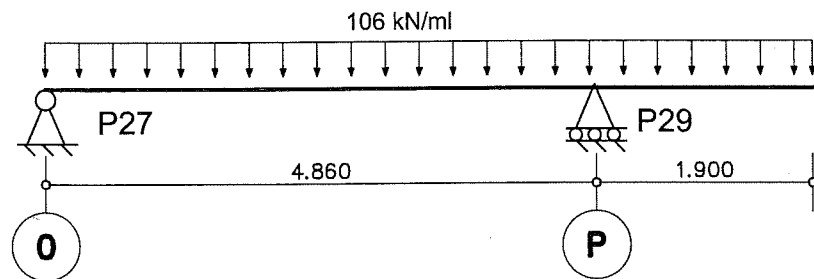
#### A1 Charge reprise par la poutre 9 : (DT5 Haut du 1<sup>er</sup> étage – file 13)

La poutre 09 reprend les charges du plancher situé au niveau 79,060. On considère que ce plancher porte dans une seule direction ( voir sens de portée sur le plan de coffrage DT5 )

- ❖ Calculez la valeur des charges permanentes réparties reprises par la poutre 9 en kN/ml

#### A2 - Etude de la poutre 9 : (DT5 plancher haut du 1<sup>er</sup> étage)

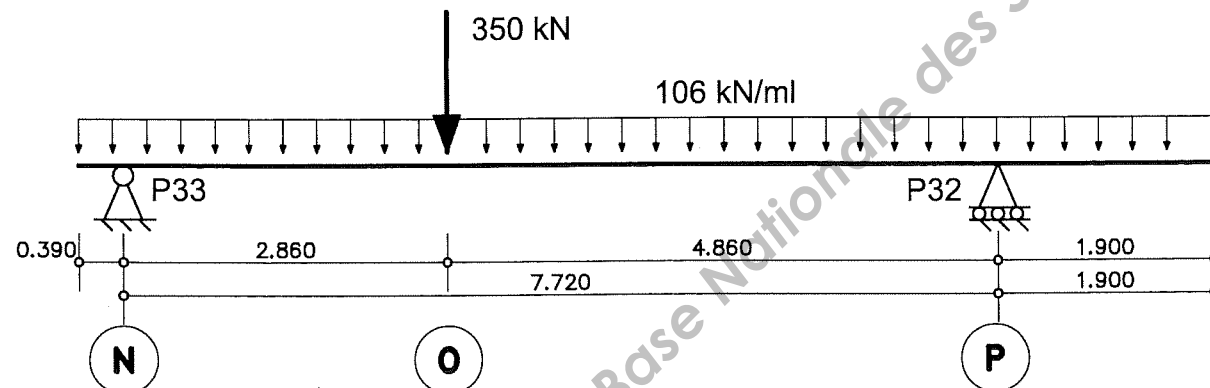
La charge aux ELU sur la poutre N° 9 est de 106 kN/ml. Cette poutre reporte cette charge sur les poteaux P27 et P29. On donne le schéma mécanique simplifié de la poutre (la charge ponctuelle amenée par la couverture à l'extrémité de la console C10 est négligée) :



- ❖ Calculer les actions de liaison en P27 et P29 en kN

#### A3 Etude de la poutre 205 ( Document DT4 Haut du R-d-C – file 13 )

Le schéma mécanique suivant représente les charges aux ELU sur la poutre 205. La charge ponctuelle est la charge amenée par le poteau 27 et par les poutres 210 et 211.



Une étude préalable a déterminé les actions de liaison verticales des poteaux sur la poutre ( les actions de liaison horizontales sont nulles ) :

**Poteau P33 : 647,1 kN      Poteau P32 : 763,9 kN**

- ❖ Tracer les diagrammes de l'effort tranchant  $V(x)$  et du moment fléchissant  $M(x)$  en précisant les valeurs particulières ( voir document réponse DR1, p 14/14 ).
- ❖ A partir du diagramme de  $M(x)$ , représenter qualitativement et sans calculs sur DR1 les armatures longitudinales de la poutre ( on ne dessinera pas les aciers de construction ).

### A4 Etude du poteau P33 : ( DT4 plancher haut du RdC - file 13 / Annexes DA2 et DA3 )

La descente de charges donne en pied du poteau P33 aux ELU :  $N_{Ed} = 655 \text{ kN}$

Diamètre du poteau :  $D = 300 \text{ mm}$

Longueur efficace ( ou de flambement ) :  $l_0 = 3,60 \text{ m}$

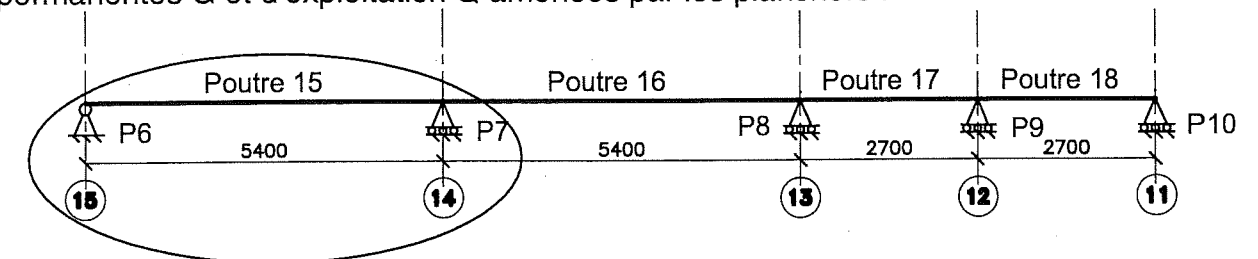
Le bureau d'étude propose de disposer 7HA12 en armatures longitudinales.

- ❖ Vérifier que la section d'acier proposée permet de reprendre la charge :  $N_{Ed} < N_{Rd}$
- ❖ Vérifier que la section d'acier proposée respecte la section minimale.
- ❖ Déterminer le diamètre et l'espacement des armatures transversales en partie courante.
- ❖ Représenter sur une section transversale les armatures du poteau ( voir DR2, p 14/14 ).

### B - Étude de la poutre continue BA n° 15-16-17-18

**Localisation :** Haut du 1<sup>er</sup> étage - File S entre les files 11 et 15 (documents DT3 et DT5)

Cette poutre continue repose sur les poteaux P6, P7, P8, P9, P10 et reprend les charges permanentes G et d'exploitation Q amenées par les planchers .



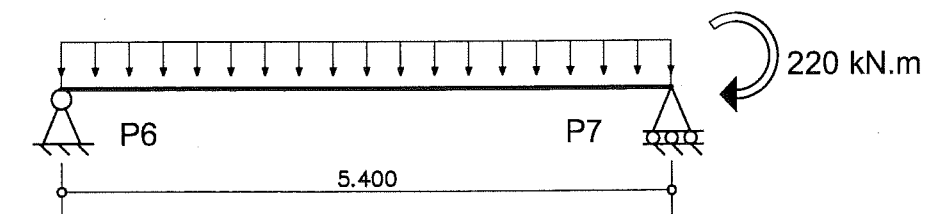
#### B1 – Cas de charge défavorable en travée sur la poutre 15 :

- ❖ Faire un schéma mécanique simplifié de la poutre continue précisant uniquement les pondérations aux ELU de G et Q sur chaque travée pour obtenir le moment fléchissant maximum en travée sur la poutre 15.

#### B2 –Moment fléchissant maximum en travée sur la poutre 15

Charges sur la poutre 15 : => charges permanentes :  $G = 50 \text{ kN/ml}$

=> charges d'exploitation :  $Q = 4 \text{ kN/ml}$



- ❖ Calculer la charge pondérée aux ELU, appliquée sur la poutre 15
- Le moment fléchissant sur l'appui P7 a été préalablement calculé :  $M_{P7} = -220 \text{ kN.m}$
- ❖ Calculer l'action de liaison verticale de l'appui P6.
  - ❖ Calculer la valeur du moment fléchissant maximum en travée sur la poutre 15. ( les diagrammes de  $V(x)$  et  $M(x)$  ne sont pas demandés )

### B3 – Aciers longitudinaux au nu de l'appui P7 ( voir annexes DA2 et DA3 )

La poutre a une section de **300 mm de largeur par 600 mm de hauteur**.

On donne le moment fléchissant maximum aux ELU au nu de l'appui P7 :  $M_{Ed} = -217 \text{ kN.m}$

- ❖ Calculez la section des aciers longitudinaux .
- ❖ Proposer une solution ( nombre et diamètres des aciers ) permettant de respecter les dispositions suivantes :
  - la section calculée est répartie sur deux lits d'acier
  - Les armatures d'effort tranchant se composent d'un cadre et d'une épingle.
- ❖ Représenter sur une coupe transversale les armatures de la poutre au nu de l'appui P7 ( Voir DR3 p 14/14 ) .

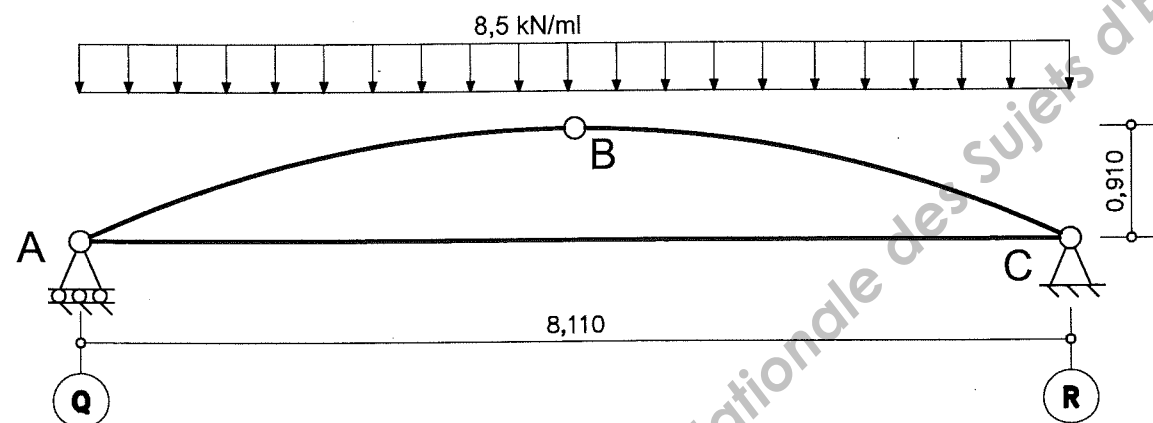
### Etude C - Structure métallique en toiture

#### Localisation : toiture du bâtiment ( Voir DT3 et DT6 )

La structure métallique qui domine le patio est constituée d'arbalétriers en arc de cercle, disposés suivant une trame de 4,05 m. Ces profilés reposent à leur base sur un tube rectangulaire creux formant une poutre continue. Ils sont articulés en tête. Un tirant reprend les efforts horizontaux amenés par ces profilés.

#### C1 : Actions de liaison verticales :

On retiendra pour la structure étudiée le schéma mécanique suivant :



**Remarque importante :** la charge répartie d'intensité **8,5 kN/ml** s'applique par ml de toiture projeté horizontalement, soit sur une longueur horizontale de **8,11 mètres**.

- ❖ Calculer les actions de liaison sur les appuis A et C.

#### C2 : Effort dans le tirant AC:

Déterminer l'effort normal dans le tirant AC.

#### C3 : dimensionnement du tirant :

Le tirant est une barre ronde et pleine ( voir caractéristiques acier pour charpente p 1/14).

Pour son dimensionnement l'effort normal retenu aux ELU est arrondi à :  $N_{Ed} = 80 \text{ kN}$

- ❖ Calculer la section puis le diamètre du tirant en appliquant les règles EC3 en section courante ( Voir document annexe DA1).

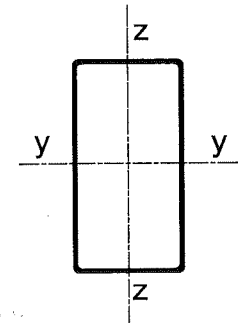
### Etude D – Poutre continue en rive.

#### Localisation : toiture du bâtiment ( Voir DT3 et DT6 )

Les éléments de structure étudiés précédemment reportent leurs charges sur des poutres métalliques en rive. Ces poutres continues sont constituées de tubes rectangulaires creux de section 200 x 100 x 4 en mm

#### Caractéristiques mécaniques du tube métallique :

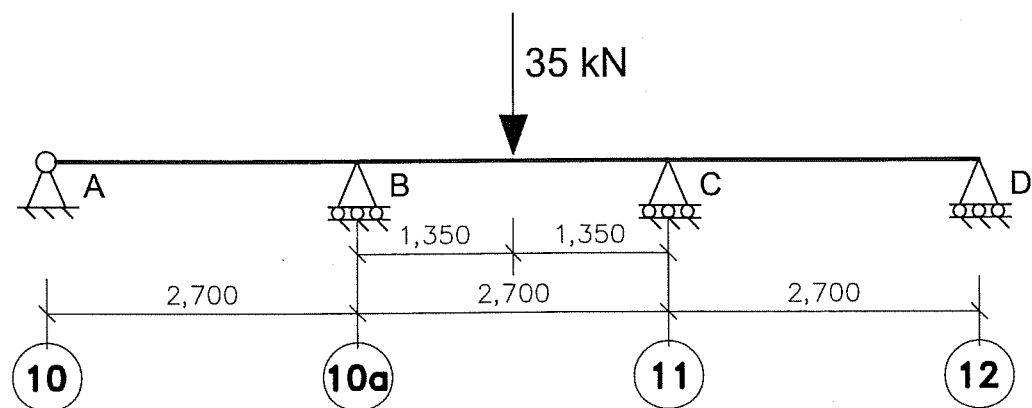
Axe fort	Axe faible
○ $I_y = 1191,44 \text{ cm}^4$	○ $I_z = 410,77 \text{ cm}^4$
○ $W_{el y} = 119,97 \text{ cm}^3$	○ $W_{el z} = 82,15 \text{ cm}^3$
○ $W_{pl y} = 148,03 \text{ cm}^3$	○ $W_{pl z} = 91,69 \text{ cm}^3$
○ $A_{vz} = 16 \text{ cm}^2$	○ $A_{vy} = 8 \text{ cm}^2$



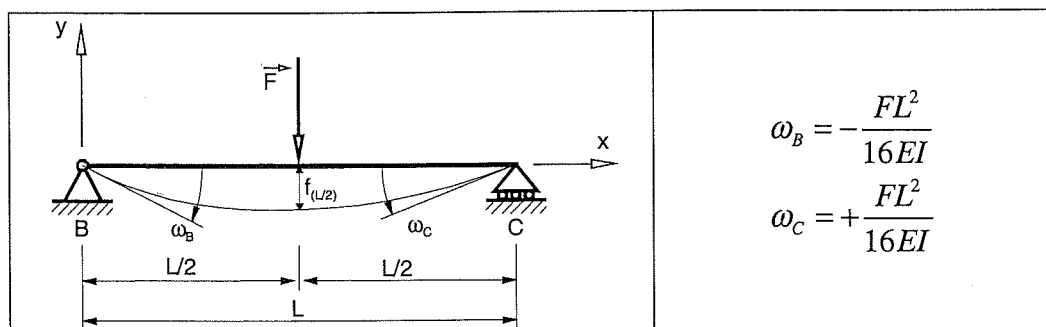
Ces poutres continues comportent des longueurs de 8,10 mètres, portant chacune sur quatre appuis. Nous étudierons dans la suite, la poutre de la file Q entre les files 10 et 12.

**D1 : Etude des sollicitations aux ELU :**

Schéma mécanique retenu de la poutre continue aux ELU : la charge ponctuelle au milieu de BC est amenée par la ferme de la file 10b, on néglige le poids propre de la poutre.



On donne la valeur des rotations aux appuis :



$$\omega_B = -\frac{FL^2}{16EI}$$

$$\omega_C = +\frac{FL^2}{16EI}$$

- ❖ Calculer les moments fléchissants sur appuis en appliquant le théorème des 3 moments ( voir document DA1 p11/14 ).
- ❖ Tracer les diagrammes de V(x) et M(x) le long de la poutre ( voir document réponse DR4 p 14/14 ).

**D2 : Vérification vis à vis du moment fléchissant :**

Pour cette vérification, on retiendra le moment fléchissant maximum :  $M_{Ed} = 16,6 \text{ kN.m}$

- ❖ Vérifier la résistance du profilé suivant l'Eurocode EC3 vis à vis du moment fléchissant ( Voir annexe DA1 ).

**D3 : Vérification vis à vis de l'effort tranchant :**

Pour cette vérification, on retiendra l'effort tranchant maximum :  $V_{Ed} = 17,5 \text{ kN}$

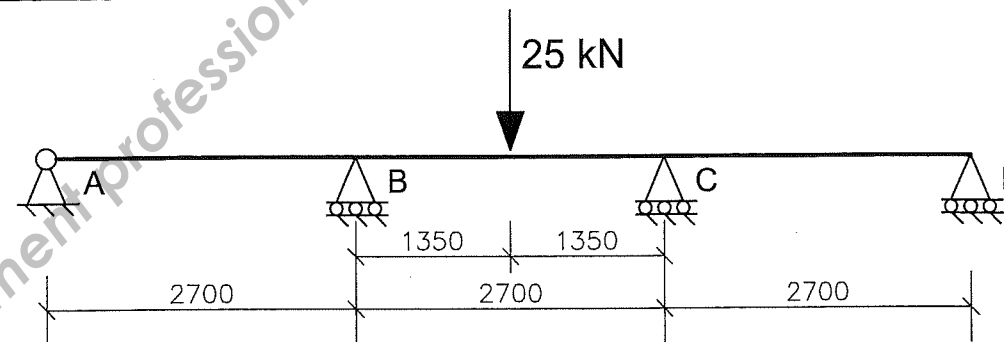
- ❖ Vérifiez la résistance du profilé suivant l'Eurocode EC3 vis à vis de l'effort tranchant ( Voir annexe DA1 ).

**D4 : Vérification vis à vis de la flèche (calcul aux ELS)**

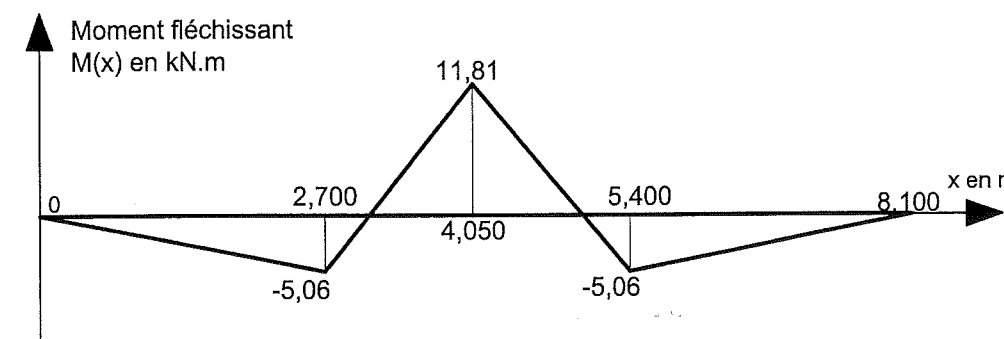
On considère maintenant les charges pondérées aux ELS . La charge concentrée sur BC est de 25 kN.

L'objectif de l'étude est de calculer la flèche au centre de la travée BC et de comparer cette flèche à la valeur maximum. On se propose de mener cette étude par application du théorème de Pasternak.

Schéma mécanique de la structure réelle :

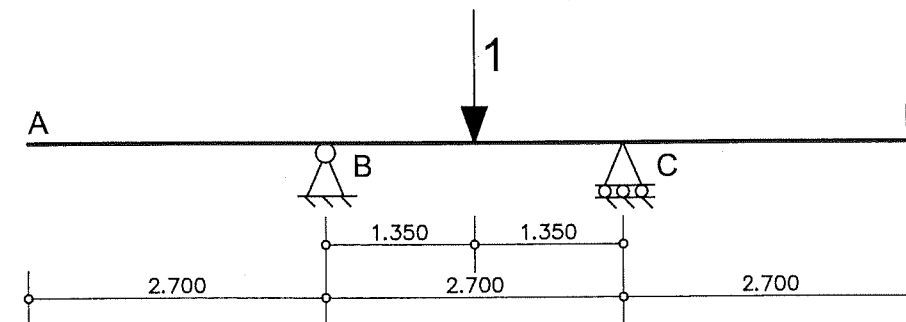


On donne le diagramme du moment fléchissant M(x) de la structure réelle :



**D4a : Etude de la structure virtuelle isostatique associée :**

On vous propose de choisir la structure fictive isostatique associée suivante :



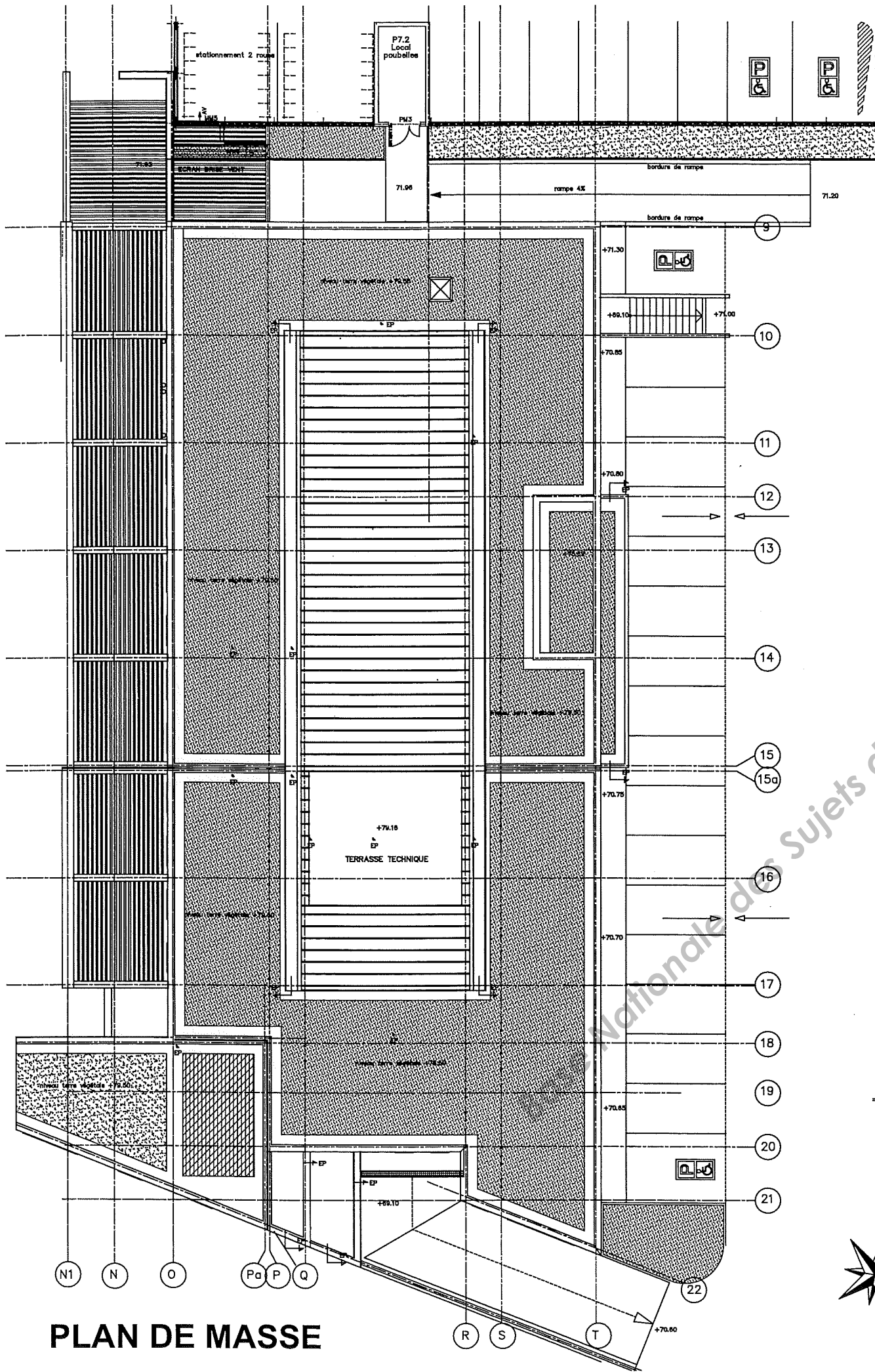
- ❖ Tracez le diagramme du moment fléchissant de la structure fictive

**D4b : Calcul de la flèche au milieu de la travée BC ( voir annexe DA1 et DA3 ) :**

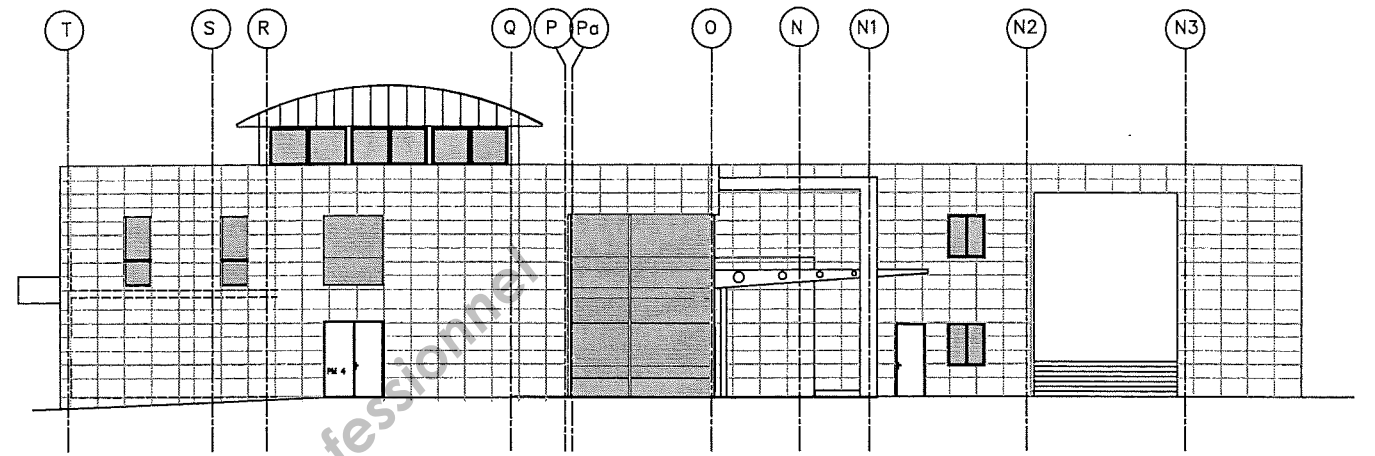
- ❖ En utilisant le théorème de Pasternak et le tableau des intégrales de Mohr, calculer la flèche au milieu de la travée BC
- ❖ Comparer cette valeur à la valeur maximum admissible :

Flèche maximum admissible :  $f_{max} = L/200$  avec L : portée de la travée

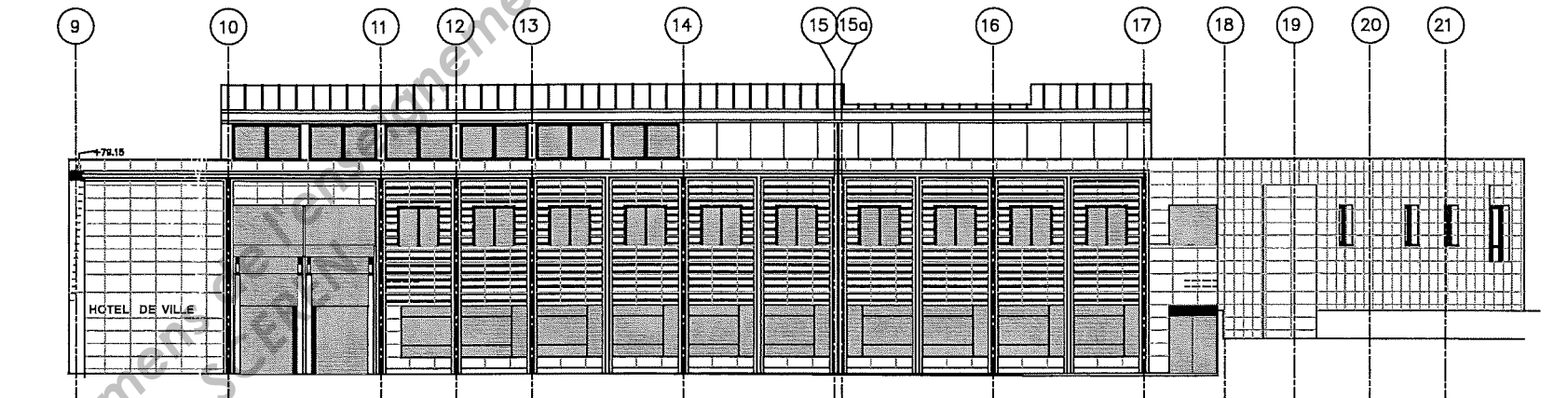




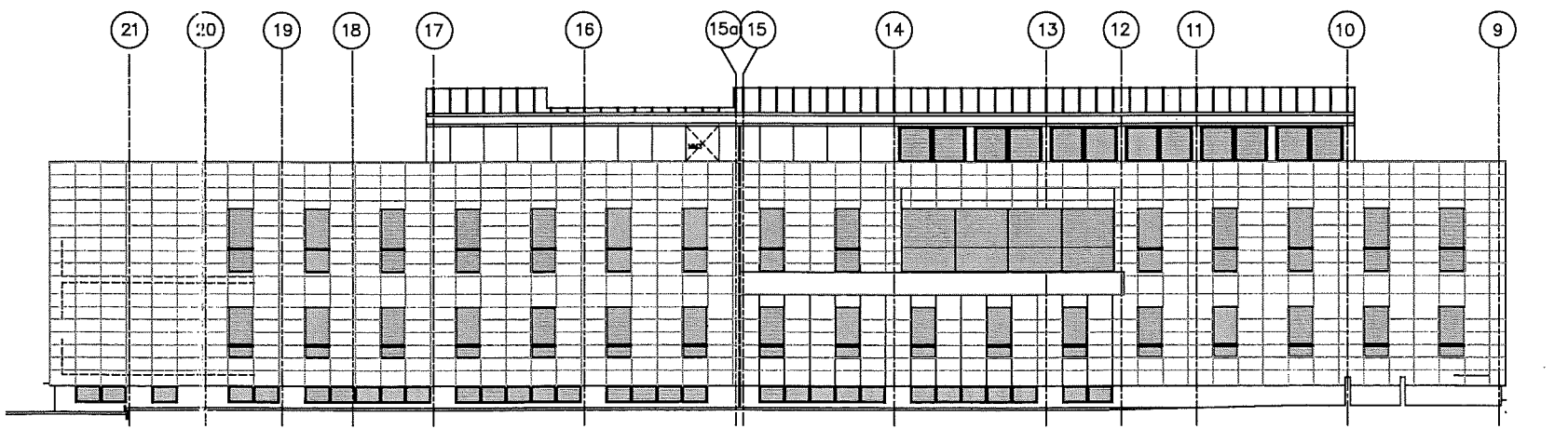
PLAN DE MASSE



ELEVATION SUD-OUEST



ELEVATION SUD-EST

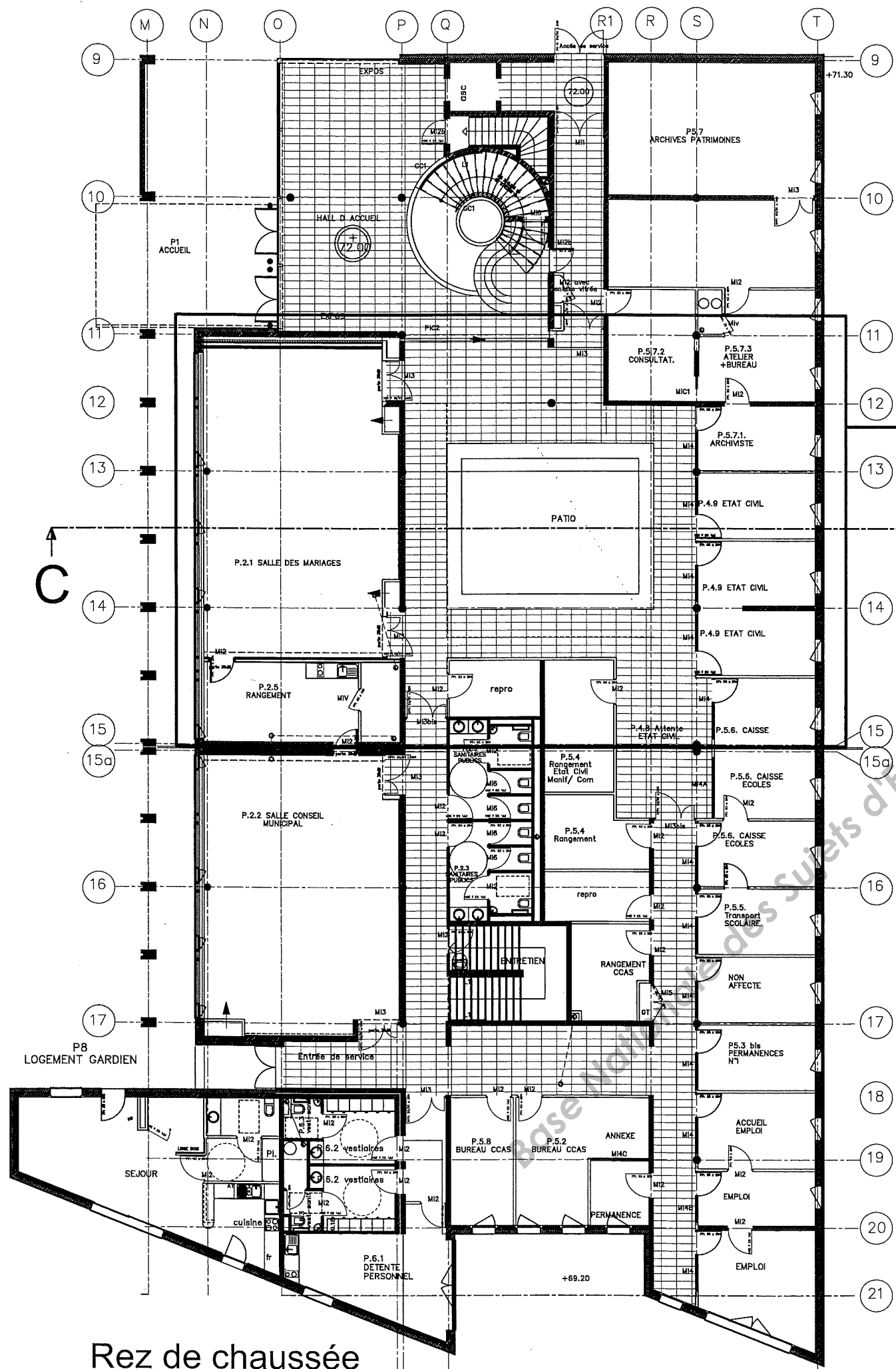


ELEVATION NORD-OUEST

Echelle 1/250

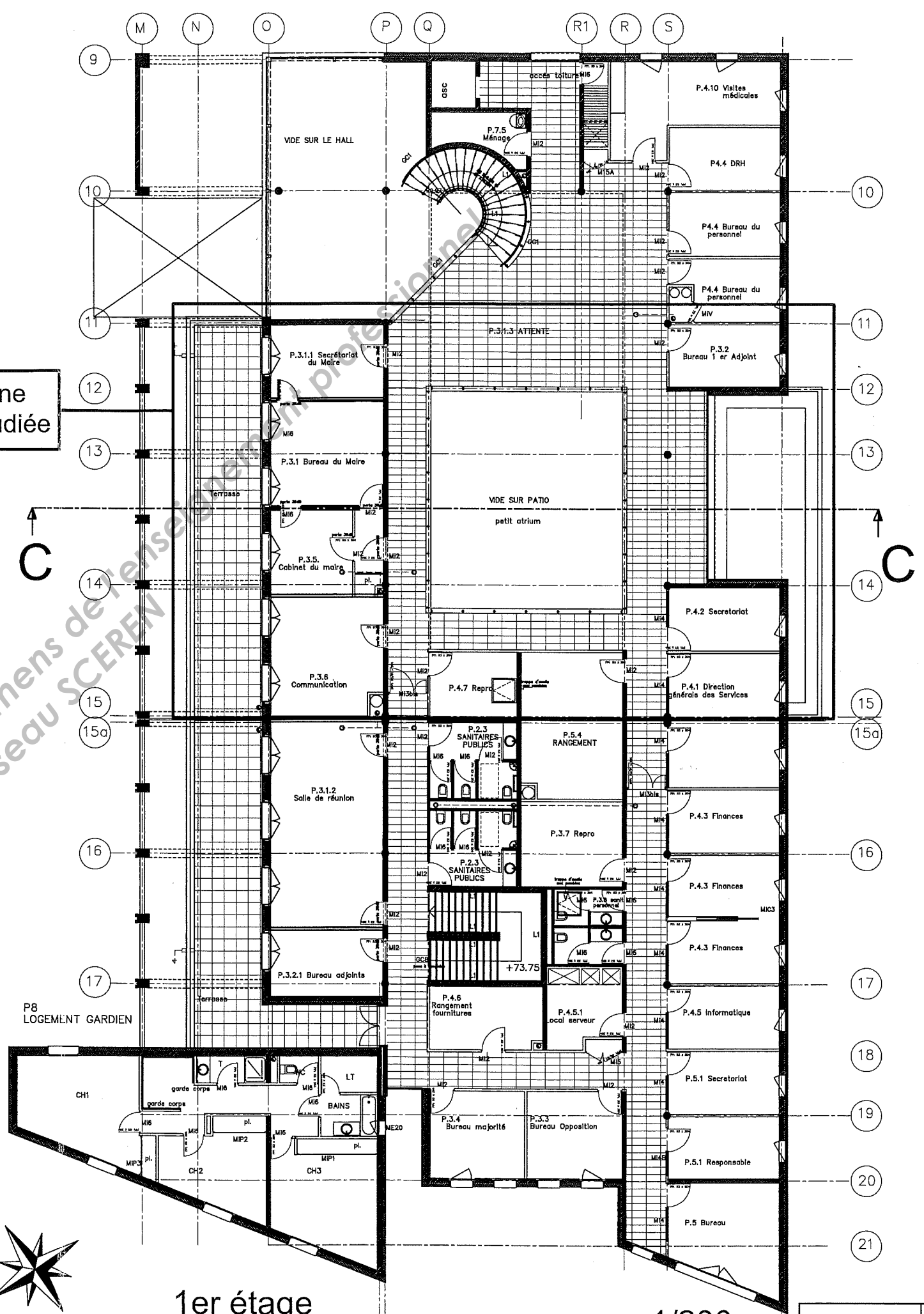


BTE4ENC11



Rez de chaussée

Zone étudiée

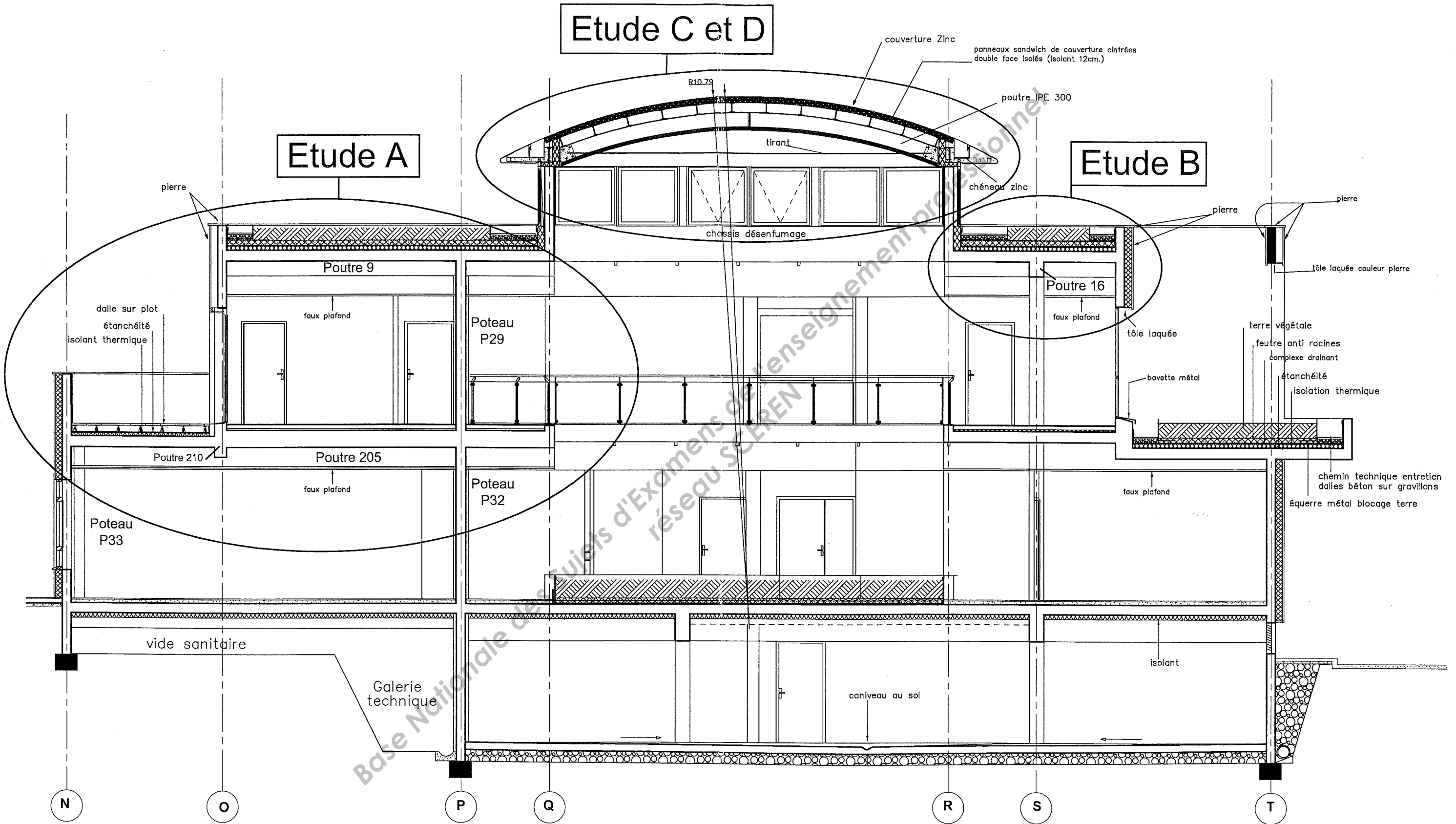


1er étage



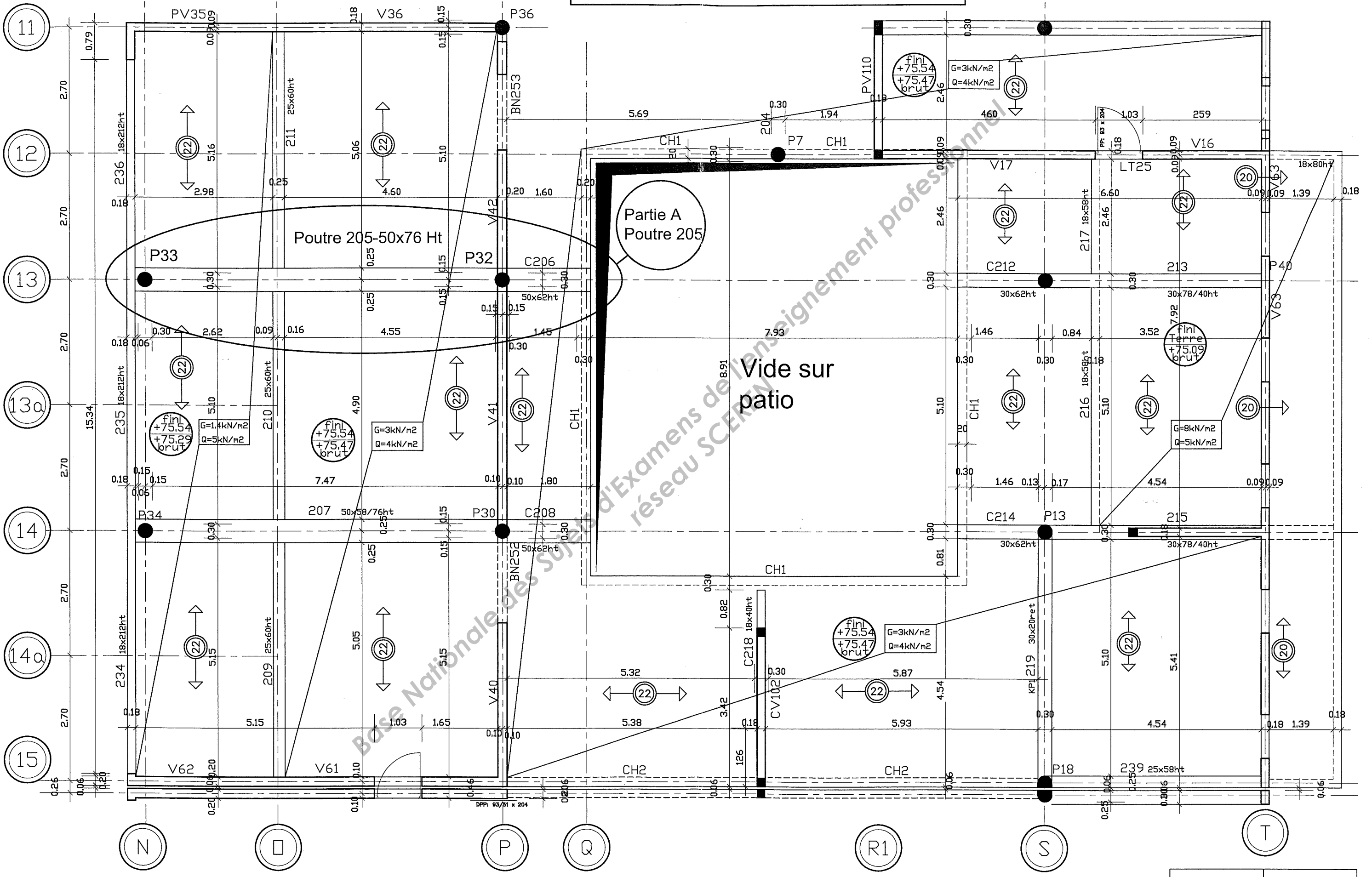
Echelle: 1/200





**coupe C-C** ( Echelle 1/75 )

# Plan de coffrage Haut du RdC



Poutre 205-50x76 Ht

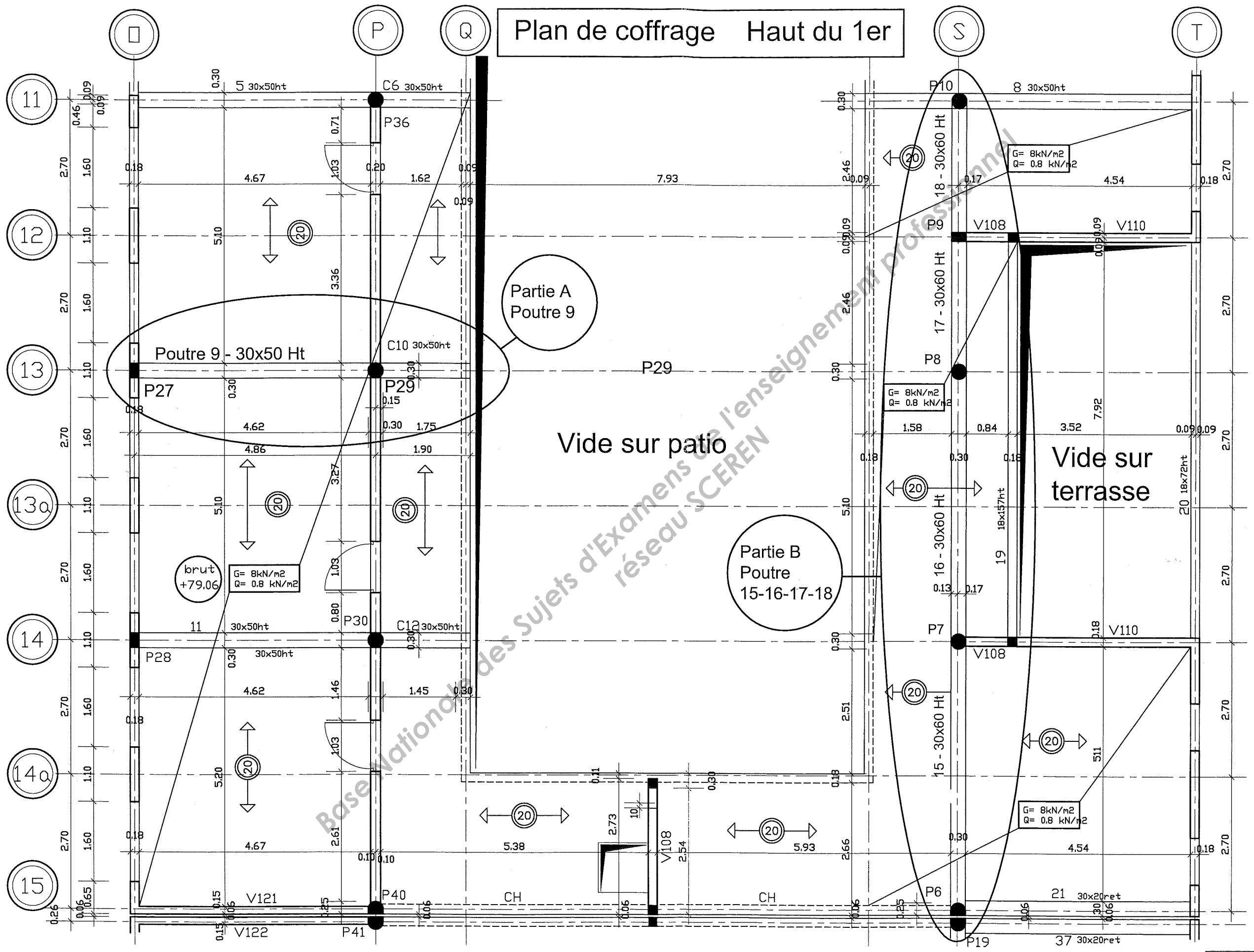
Partie A  
Poutre 205

Vide sur  
patio

Echelle 1/75

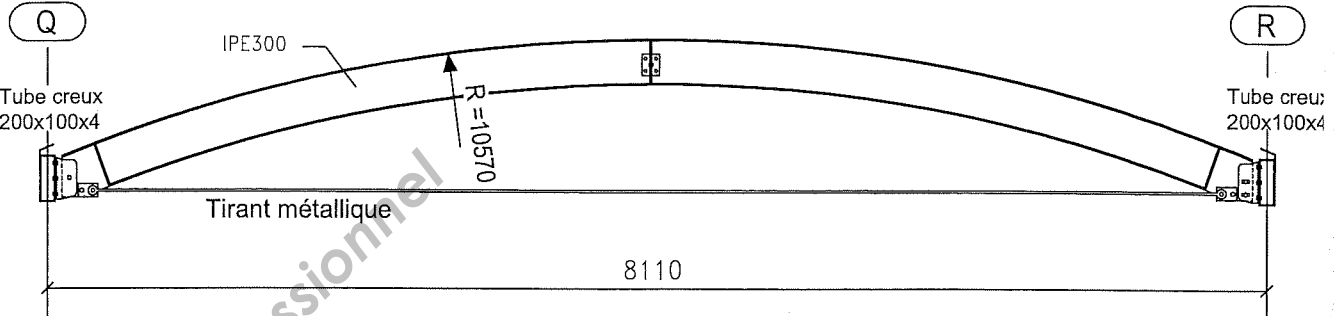
DT4	8/14
-----	------

# Plan de coffrage Haut du 1er

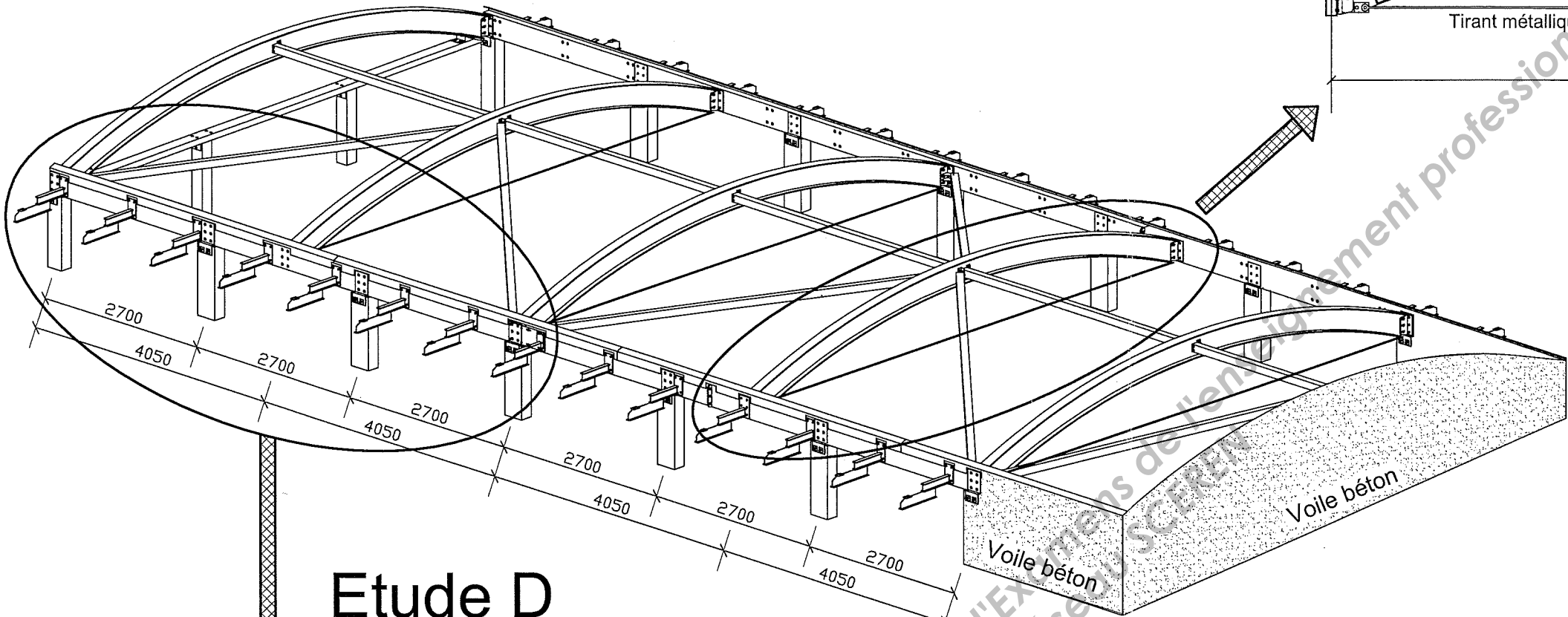


Echelle 1/75

# Etude C

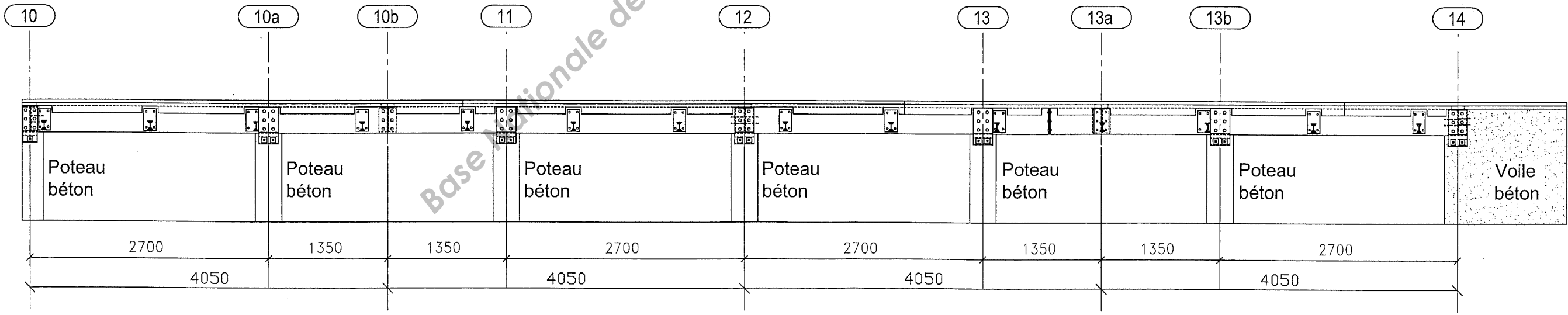


Ferme en arc



Etude D

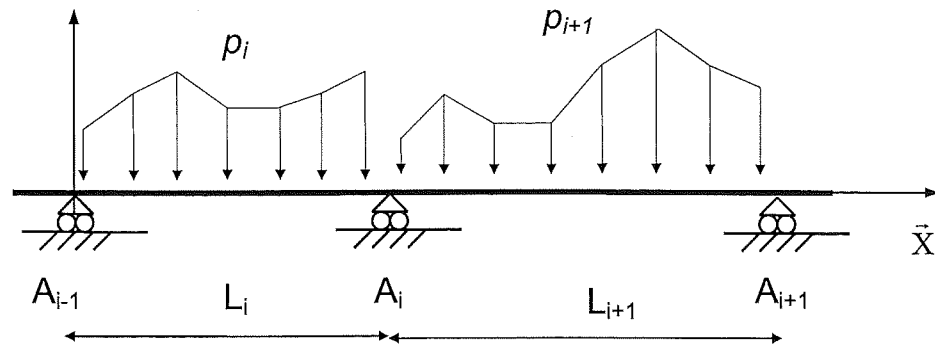
Poutre continue en rive



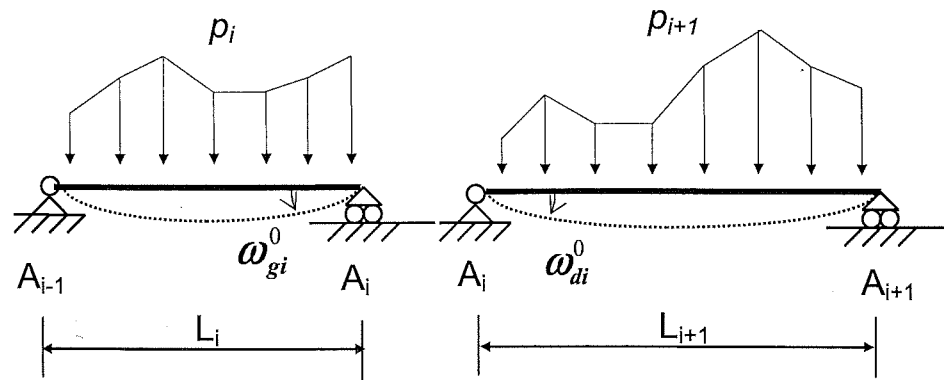
**Théorème des 3 moments (formule de Clapeyron) :**

Hypothèses :  $EI = \text{constante sur l'ensemble de la poutre,}$

(S)



(S<sup>0</sup>)



$$L_i M_{i-1} + 2(L_i + L_{i+1}) M_i + L_{i+1} M_{i+1} = 6EI(\omega_{di}^0 - \omega_{gi}^0)$$

**Théorème de Pasternak :**

$$\Delta_j = \int_{\text{structure}} \frac{M(x) \times \bar{M}_j^0(x)}{EI} dx$$

$M(x)$  : 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 (= 1) appliqué au point  $J$ .

$E$  : Module d'élasticité longitudinale ou module d'Young

$I$  : Moment quadratique

$\Delta_j$  : Déplacement au point  $j$ ,

Extrait de l'eurocode 03

**Flexion simple : Moment fléchissant et effort tranchant ( $M$  et  $V$ ) vérification simplifiée**

Pour le moment de flexion :

On doit vérifier :  $M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$

où  $M_{Ed}$  = Moment fléchissant (agissant) de calcul sollicitant la section droite à l'ELU ;

$M_{c,Rd}$  = Résistance de calcul à la flexion de la section à l'ELU.

pour une section de classe 1 ou 2	pour une section de classe 3
$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd}$ (moment résistant plastique)	$M_{c,Rd} = M_{el,Rd}$ (moment résistant élastique)
$M_{pl,Rd} = W_{pl} \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$	$M_{el,Rd} = W_{el,min} \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Pour l'effort tranchant

On doit vérifier :  $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$

Calcul plastique  $V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = A_v \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,58 A_v \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

où  $V_{Ed}$  : effort tranchant (agissant) de calcul à l'E.L.U. ;

$V_{pl,Rd}$  : effort tranchant résistant à l'E.L.U. ;

$A_v$  : aire de cisaillement donnée dans les catalogues des caractéristiques des profilés.

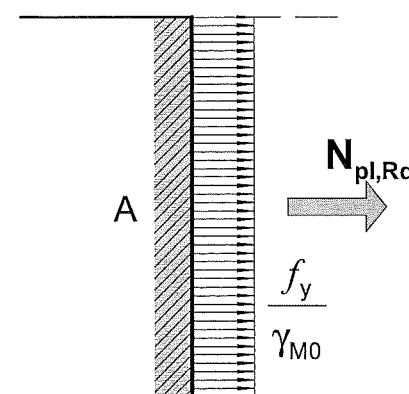
**Effort axial de traction ( $N$ ) (vérification de la section brute uniquement)**

On doit vérifier :  $N_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$  où

$N_{Ed}$  = Effort de traction (agissant) sollicitant la section

$N_{pl,Rd}$  = Résistance de calcul à la traction de la section brute

On considère que l'état de plastification est atteint sur toute la section transversale.



Résistance plastique de calcul de la section brute

$$N_{pl,Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$



**Organigramme de calcul des armatures longitudinales en flexion simple, section rectangulaire :**

Données :  
 Largeur :  $b_w$ , hauteur :  $h$   
 béton  $f_{ck} = 30$  MPa  
 acier B500  $f_{yk} = 500$  MPa  
 diagramme élasto-plastique parfait  
 $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435$  MPa  
 $p_u = 1,35g + 1,5q$  kN/m  
 moment de flexion ELU  $M_{Ed} = M_u$

$d \leq 0,9h$   
 $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$  avec  $\gamma_c = 1,5$   
 $c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10mm\}$   
 Enrobage nominal :  $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_w d^2 f_{cd}}$$

Decision:  $\mu_u \leq 0,3717$  (Oui/Non)

Pas d'armatures comprimées :  $A_{s2} = 0$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u})$$

$$z_u = d(1 - 0,4\alpha_u)$$

$$A_{s1} = \frac{0,8\alpha_u b_w d f_{cd}}{f_{yd}}$$
  

$$A_{s1} = \frac{M_u}{z_u f_{yd}}$$
  

$$\rho_{s1} = \frac{A_{s1}}{b_w d} = 0,8\alpha_u \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Les armatures comprimées sont conseillées, car les aciers seraient mal utilisés. Si les armatures comprimées sont prises en compte, elles seront alors maintenues par des armatures transversales :  $s \leq 15\phi$ .

Le pourcentage d'armatures  $\rho_{s1} = \frac{A_{s1}}{b_w d}$

Sections minimale et maximale d'armatures longitudinales tendues : Clause 9.2.1.1  
 $A_{s1} > A_{s,min} = \max\left[0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d ; 0,0013 b_t d\right]$  condition de non-fragilité.  
 $A_{s1} < 0,04 A_c$  avec  $A_c$  aire de la section droite de béton  
 $b_t$  : la valeur moyenne de la largeur tendue, pour une section rectangulaire et une section en T:  $b_t = b_w$

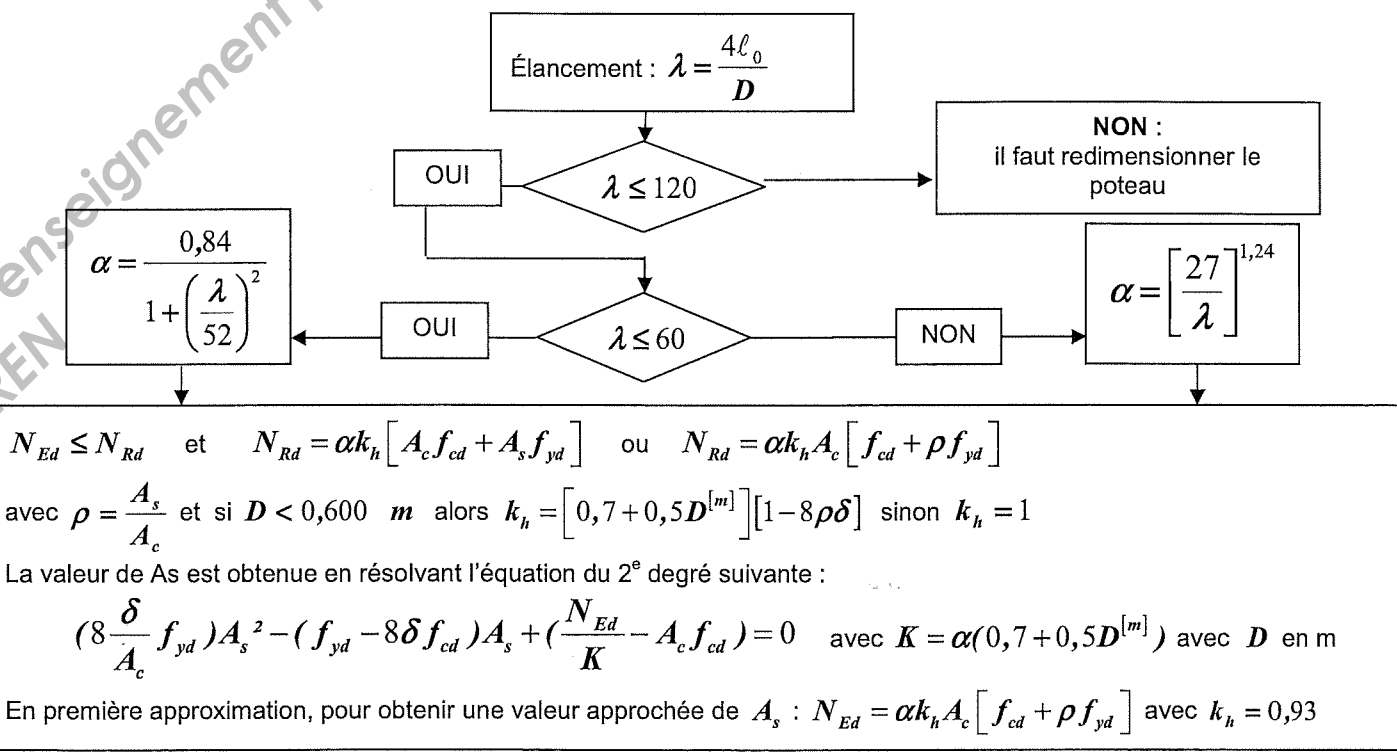
Équation alternative du bras de levier :  $z_u = d(1 - 0,4\alpha_u) = d \frac{(1 + \sqrt{1 - 2\mu_u})}{2}$   
 Il faut déterminer la hauteur utile réelle  $d_{réelle}$ , celle-ci doit être supérieure à la valeur forfaitaire considérée.

**ORGANIGRAMME POTEAUX CIRCULAIRES**

Données : Catégorie de durée d'utilisation de projet : 4 ; Classe d'exposition X ... donnant un enrobage nominal  $c_{nom}$

- $N_{Ed}$ , effort normal centré aux ELU
- $A_c$ , aire du béton  $A_c = \frac{\pi D^2}{4}$ , D en mètres
- Enrobage relatif  $\delta = \frac{d'}{D}$  avec  $d' = c_{nom} + \phi_t + \frac{\phi_t}{2}$
- Classe du béton C... donnant  $f_{ck}$  et  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5}$  (âge du béton > 28 jours)
- Acier B500 donnant  $f_{yk} = 500$  MPa et  $f_{yd} = f_{yk}/1,15 = 434,8$  MPa
- Longueur efficace (ou de flambement) notée =  $\ell_0$  = longueur libre du poteau notée  $l$

Si  $d'$  est inconnu, prendre :  
 40 mm pour XC1  
 55 mm pour XC4



**Section minimale des armatures longitudinales**

$$A_{s,min} = \max\left[0,10 \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} ; 0,002 A_c\right]$$
 {9.12N}

$A_c$  = aire de la section brute transversale de béton  
 $f_{yd}$  limite élastique de calcul de l'armature  
 Le diamètre des barres longitudinales  $\phi_l \geq \phi_{l,min} = 8$  mm

**Section maximale des armatures longitudinales**

en dehors des zones de recouvrement  $A_{s,max} = 0,04 A_c$  dans les zones de recouvrement  $A_{s,max} = 0,08 A_c$

**Armatures transversales :**

$\phi_t \geq \max[6 \text{ mm}; \phi_{l,max}/4]$   
 espacement:  $s_{cl,t} \leq s_{cl,t,max} = \min[400 \text{ mm}; 20\phi_{l,min}; D]$   
 $\phi_{l,min}$  = diamètre de la plus petite armature longitudinale  
 D = diamètre du poteau  
 Les armatures transversales doivent maintenir toutes les barres prises en compte dans les calculs de résistance.

Tableau des intégrales de MOHR :  $\int_0^L m_i(x) \times m_j(x) \times dx$

$m_i(x)$								
	$LM_iM_j$	$\frac{1}{2}LM_iM_j$	$\frac{1}{2}LM_i(M_j + M'_j)$	$\frac{2}{3}LM_iM_j$	$\frac{2}{3}LM_iM_j$	$\frac{2}{3}LM_iM_j$	$\frac{1}{3}LM_iM_j$	$\frac{1}{3}LM_iM_j$
	$\frac{1}{2}LM_iM_j$	$\frac{1}{3}LM_iM_j$	$\frac{1}{6}LM_i(2M_j + M'_j)$	$\frac{1}{3}LM_iM_j$	$\frac{5}{12}LM_iM_j$	$\frac{1}{4}LM_iM_j$	$\frac{1}{4}LM_iM_j$	$\frac{1}{12}LM_iM_j$
	$\frac{1}{2}LM_iM_j$	$\frac{1}{6}LM_iM_j$	$\frac{1}{6}LM_i(M_j + 2M'_j)$	$\frac{1}{3}LM_iM_j$	$\frac{1}{4}LM_iM_j$	$\frac{5}{12}LM_iM_j$	$\frac{1}{12}LM_iM_j$	$\frac{1}{4}LM_iM_j$
	$\frac{1}{2}LM_i(M_j + M'_j)$	$\frac{1}{6}LM_j(2M_i + M'_i)$	$\frac{1}{6}L(2M_iM_j + M_iM'_j + M'_iM_j + 2M'_iM'_j)$	$\frac{1}{3}LM_j(M_i + M'_i)$	$\frac{1}{12}LM_j \times (5M_i + 3M'_i)$	$\frac{1}{12}LM_j \times (3M_i + 5M'_i)$	$\frac{1}{12}LM_j \times (3M_i + M'_i)$	$\frac{1}{12}LM_j \times (M_i + 3M'_i)$
	$\frac{1}{2}LM_iM_j$	$\frac{1}{6}LM_iM_j \left(1 + \frac{x'}{L}\right)$	$\frac{1}{6}LM_i \left[ M_j \left(1 + \frac{x'}{L}\right) + M'_j \left(1 + \frac{x}{L}\right) \right]$	$\frac{1}{3}LM_iM_j \left(1 + \frac{xx'}{L^2}\right)$	$\frac{1}{12}LM_iM_j \times \left(3 + \frac{3x'}{L} - \frac{x'^2}{L^2}\right)$	$\frac{1}{12}LM_iM_j \times \left(3 + \frac{3x}{L} - \frac{x^2}{L^2}\right)$	$\frac{1}{12}LM_iM_j \times \left(\frac{3x'}{L} + \frac{x^2}{L^2}\right)$	$\frac{1}{12}LM_iM_j \times \left(\frac{3x}{L} + \frac{x'^2}{L^2}\right)$
	$\frac{1}{2}LM_iM_j$	$\frac{1}{4}LM_iM_j$	$\frac{1}{4}LM_i(M_j + M'_j)$	$\frac{5}{12}LM_iM_j$	$\frac{17}{48}LM_iM_j$	$\frac{17}{48}LM_iM_j$	$\frac{7}{48}LM_iM_j$	$\frac{7}{48}LM_iM_j$

Dans le tableau,  $M_i$ ,  $M_j$ ,  $M'_i$ ,  $M'_j$ , sont les extremums des fonctions  $m_i(x)$  et  $m_j(x)$ . Ils sont à prendre en valeurs algébriques.

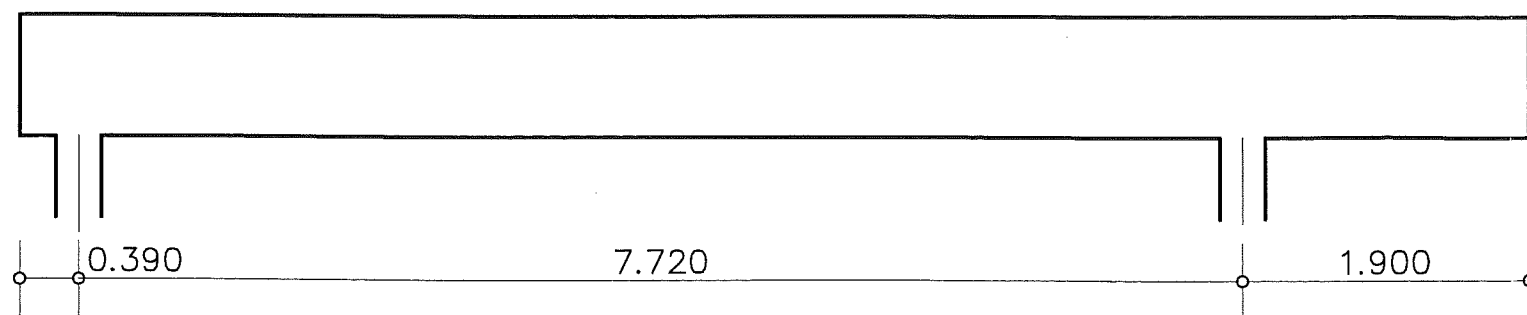
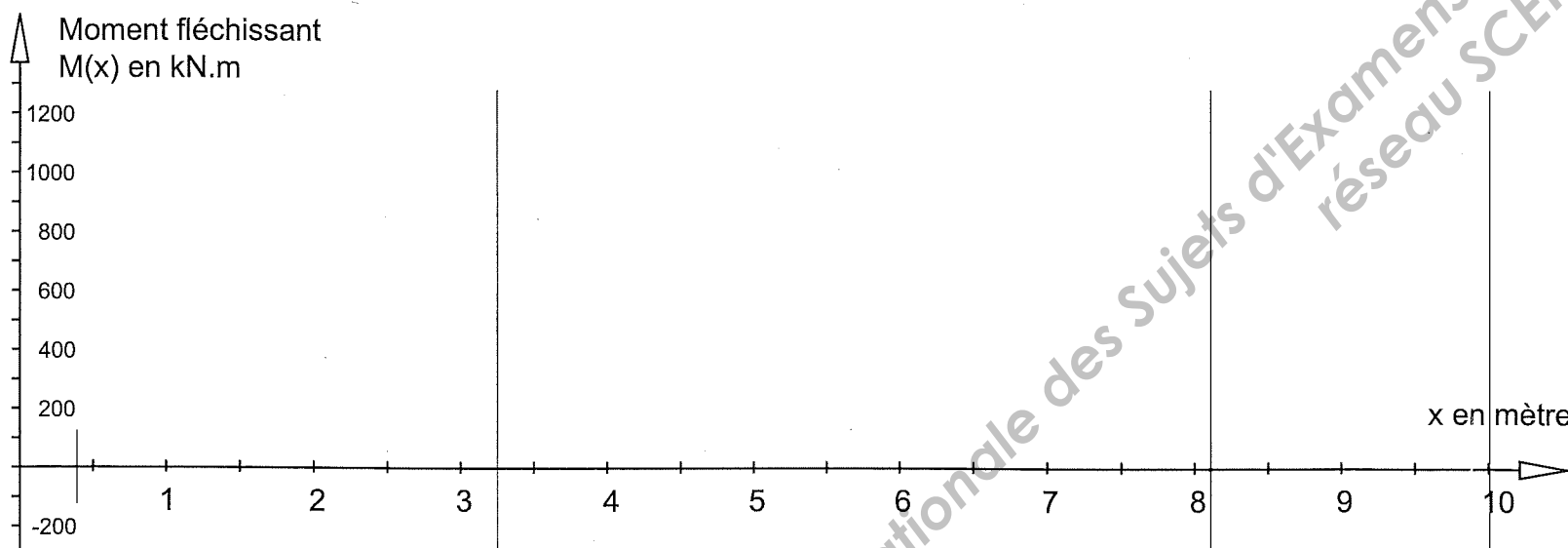
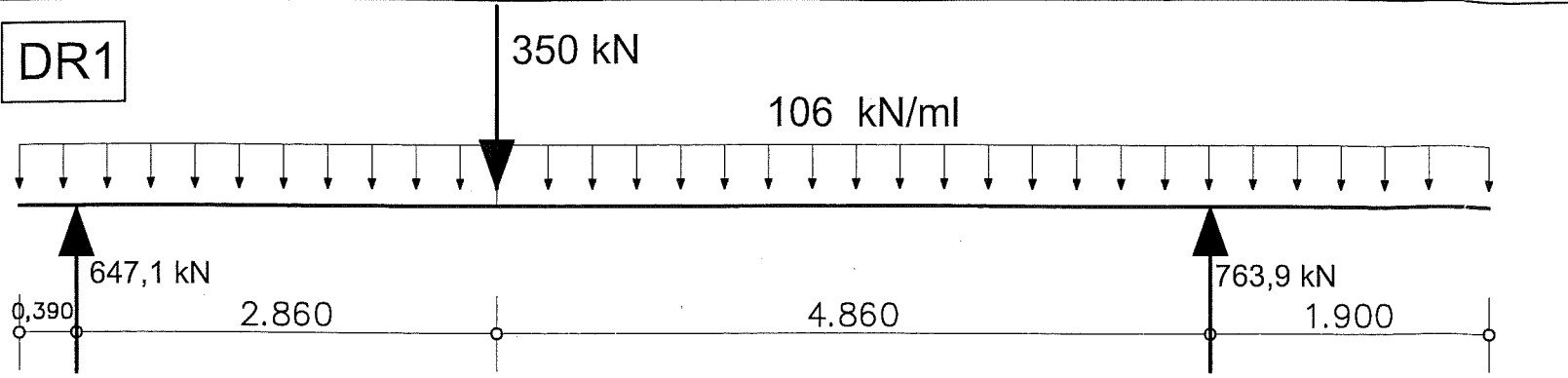
BIEFENC11

Diamètre	Poids	Périmètre	Section pour N barres en cm <sup>2</sup>									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0,154	1,57	0,196	0,393	0,589	0,785	0,982	1,18	1,37	1,57	1,77	1,96
6	0,222	1,88	0,283	0,565	0,848	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83
8	0,395	2,51	0,503	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03
10	0,617	3,14	0,785	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85
12	0,888	3,77	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31
14	1,208	4,40	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,32	13,85	15,39
16	1,578	5,03	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11
20	2,466	6,28	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42
25	3,853	7,85	4,91	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09
32	6,313	10,05	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42
40	9,865	12,57	12,57	25,13	37,70	50,27	62,83	75,40	87,96	100,53	113,10	125,66

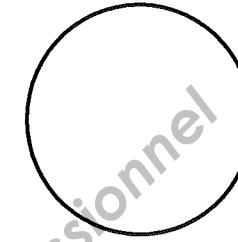
DAS

13/14

DR1

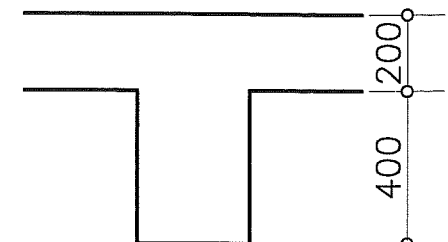


Poteau P33 - coupe transversale  
Echelle : 1/10



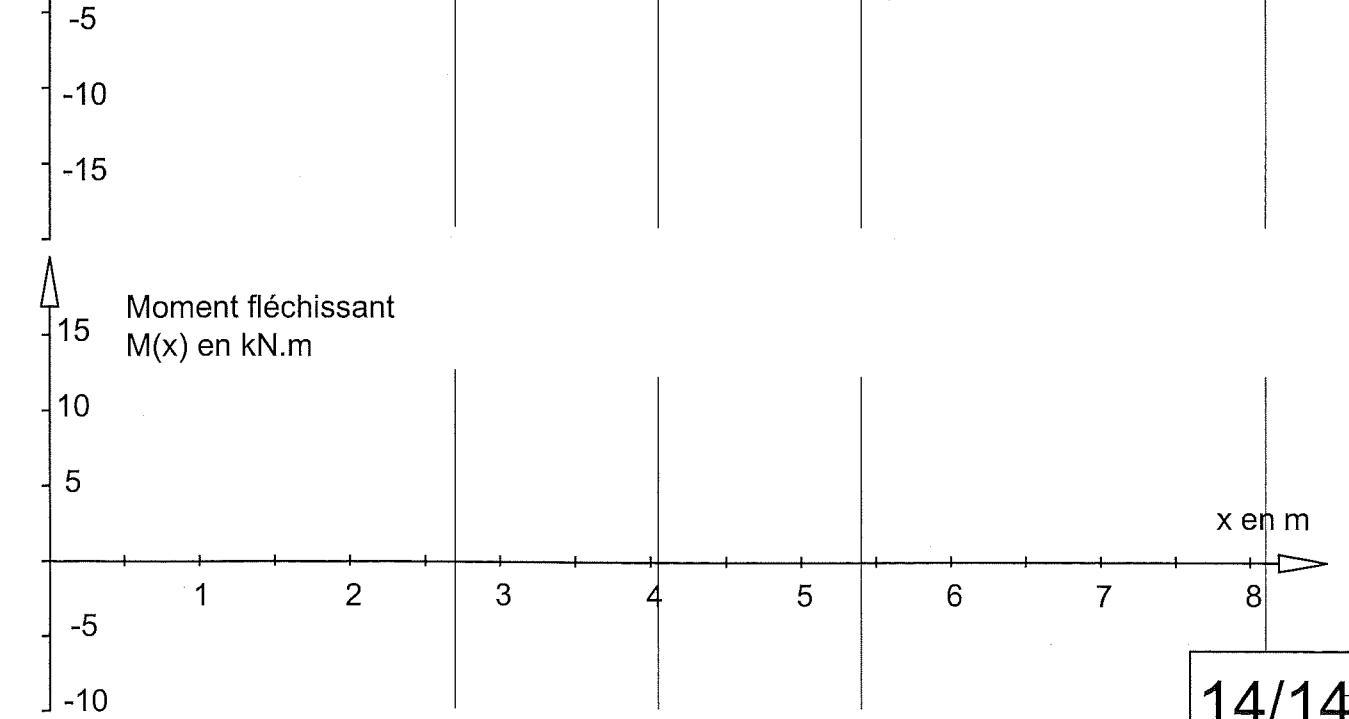
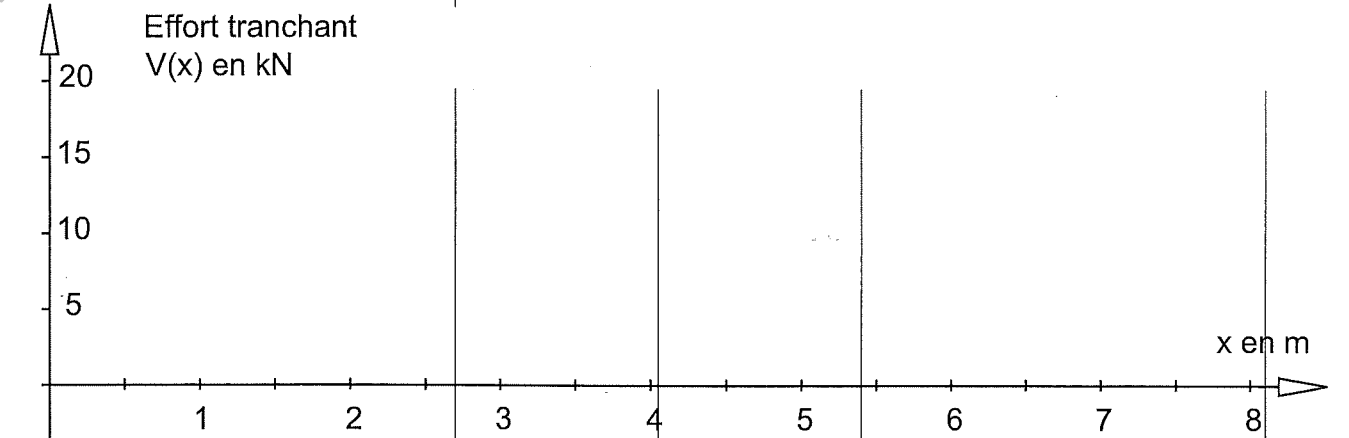
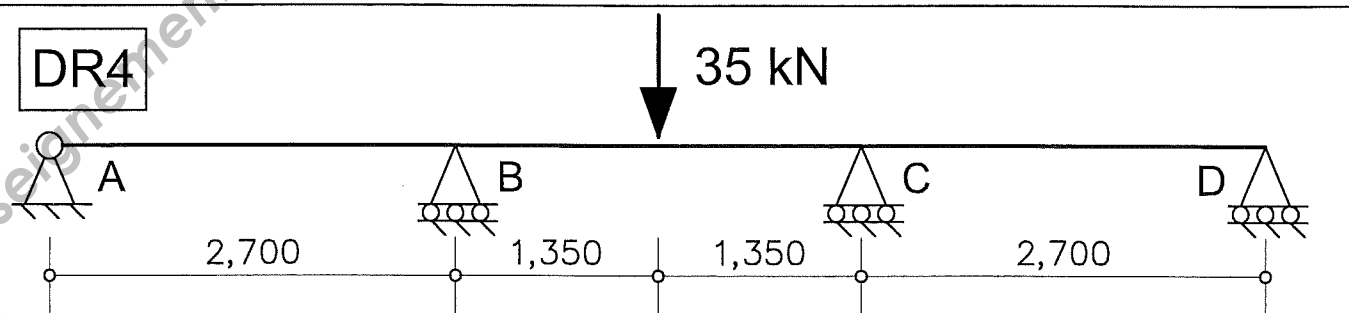
DR2

Poutre 15 - coupe transversale  
Echelle 1/20



DR3

DR4



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel  
réseau SCEREN