Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV©

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour en savoir plus sur nos formations disponibles, veuillez visiter :
www.formav.co/explorer

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR BÂTIMENT

Épreuve E4 – Étude technique

Sous - épreuve E41

Dimensionnement et vérification d'ouvrages

SESSION 2017

Durée : 4 heures

Coefficient : 2

<u>Matériel autorisé</u> : toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables alphanumériques ou à écran graphique dont le fonctionnement est autonome et à condition qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire n°99-186, 16/11/1999).

« Tous les documents réponses, même vierges, doivent être rendus avec la copie. »

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet. Ce sujet comporte 17 pages numérotées de 1 / 17 à 17 / 17.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

PROJET CHU – Extension des urgences

Contenu du dossier

Dossier sujet

- Présentation de l'ouvrage page 2
- Caractéristiques des matériaux page 3
- Données à prendre en compte pour les descentes de charge page 3
- **Étude A** : Charpente métallique page 4
- **Étude B** : Poutre continue en béton armé page 5
- **Étude C** : Poteau en béton armé intermédiaire P9 page 6

Dossier de plans

- **DT1** Plan de masse page 7
- **DT2** Coupes architecte et vues 3D page 8
- **DT3** Plan de charpente, extrait page 9
- **DT4** Plan de coffrage du plancher haut du N-2, extrait page 10

Dossier annexes et formulaire

- **DT5** Extrait Eurocode 1, combinaisons d'actions ELU et ELS page 11
  Portées utiles
- **DT6** Extrait Eurocode 3 et tableau des caractéristiques des IPE page 12
- **DT7** Théorème des 3 moments (formule de Clapeyron) page 13
  Formulaire de mécanique, rotations aux appuis et flèches
- **DT8** Tableau des aciers HA en barres page 14
  Extrait Eurocode 2, organigramme de calcul – flexion simple
- **DT9** Extrait Eurocode 2, organigramme poteau rectangulaire page 15
  Plan d'armature du poteau incliné P40

Documents réponse

- **DR1** **Étude A** : Poutre isostatique page 16
- **DR2** **Étude B** : Poutre continue page 17

Barème

Les études sont indépendantes.

Étude A	**Charpente métallique**	**7,5** points
Étude B	**Poutre continue en béton armé**	**9** points
Étude C	**Poteau en béton armé**	**3,5** points
TOTAL		**20** points

Présentation de l'ouvrage

Description

L'étude porte sur la construction d'une extension du plateau technique (Urgences) d'un CHU. La nouvelle construction est prévue en connexion avec l'existant et comprend une zone en restructuration. Le programme comporte 7 039 m² de surface plancher en construction neuve.



Modes constructifs

Les documents **DT1** et **DT2** permettent de visualiser le bâtiment, et de localiser les éléments étudiés.

La structure principale du bâtiment est en béton armé.

Le terrain est en pente, et le projet comporte deux zones de fondations :

- niveau -2 : Les fondations sont superficielles, ancrées dans le bon sol (substratum gneissique). Le plancher bas est de type dallage.
- Niveau -1 : Les fondations sont de type puits et longrines. Le plancher bas est de type dalle portée.

L'extension est découpée en 3 blocs séparés par des joints de dilatation.

Les planchers sont de type prédalle ou alvéolaire, selon les portées.
Les refends sont en béton banché, et les voiles de façade en prémurs matricés isolés.

Le déplacement des cuves à fuel près de l'héliport nécessite la réalisation d'un mur de soutènement en paroi berlinoise.

Une toiture végétalisée sur dalle béton couvre les niveaux N-2 et N-1. Le reste est couvert par une toiture zinc à joints debout posée sur voligeage bois porté par une charpente métallique.

Classement du projet

- Classe structurale S4.
- Zone sismique : le permis de construire a été déposé avant le 1er mai 2011, la nouvelle réglementation ne s'applique pas et aucune disposition n'est à prendre.
- Neige : Région A1.
  Altitude ≤ 1000 m au-dessus du niveau de la mer.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Caractéristiques des matériaux utilisés

Béton armé

- Béton armé C25/30 : $f_{ck} = 25$ *MPa*, $f_{cd} = 16,7$ *MPa*, $f_{ctm} = 2,6$ *MPa*, $\gamma_c = 1,5$
- Armatures B500 : $f_{yk} = 500$ *MPa*, $f_{yd} = 435$ *MPa*, $\gamma_s = 1,15$
- Poids volumique du béton armé : $\gamma_{B.A.} = 25$ *kN/m³*
- Béton intérieur : classe d'exposition *XC1*
- Béton de fondation : classe d'exposition *XC2*
- Béton extérieur : classe d'exposition *XC3*
- Enrobage des aciers (poteaux et poutres) : *30 mm*

Charpente métallique

- Acier S355 classe 2
- Coefficient partiel de sécurité sur les résistances aux ELU $\gamma_{Mo} = 1$
- Limite élastique : $f_y = 355$ *MPa*
- Module d'élasticité longitudinale : $E = 210$ *GPa*

Éléments de charpentes en lamellé-collé

- Poids volumique des pannes en lamellé-collé (LC270x65) : $\gamma_{BOIS} = 4$ *kN/m³*

Données à prendre en compte pour les descentes de charge

Charges surfaciques

- Charges permanentes :
  - Complexe couverture zinc (étude A) : *0,30 kN/m²*
  - Poids propre dalle alvéolaire ép. 20 cm, compris chape ép.5 cm : (étude B) *3,89 kN/m²*
  - Poids du complexe d'étanchéité des toitures terrasses (étude B) : *2 kN/m²*
- Charges d'exploitation :
  - Terrasses inaccessibles (étude A) : *0,80 kN/m²*
  - Terrasses inaccessibles (étude B) : *1,5 kN/m²*
- Charge de neige (à prendre en compte seulement pour l'étude A) : $s =$ *0,45 kN/m²*

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Étude A : Charpente métallique

Documents à consulter ou compléter : **DT3**, **DT5**, **DT6**, **DT7** et **DR1**.

L'étude porte sur une partie de la charpente située file 3' (**DT3**).
Des arbalétriers de type IPE360 portent les pannes en lamellé-collé LC270x65. Il s'agit de valider ou non la pertinence de l'utilisation d'un modèle mécanique simplifié pour la vérification de l'arbalétrier.

A1 Questions préliminaires

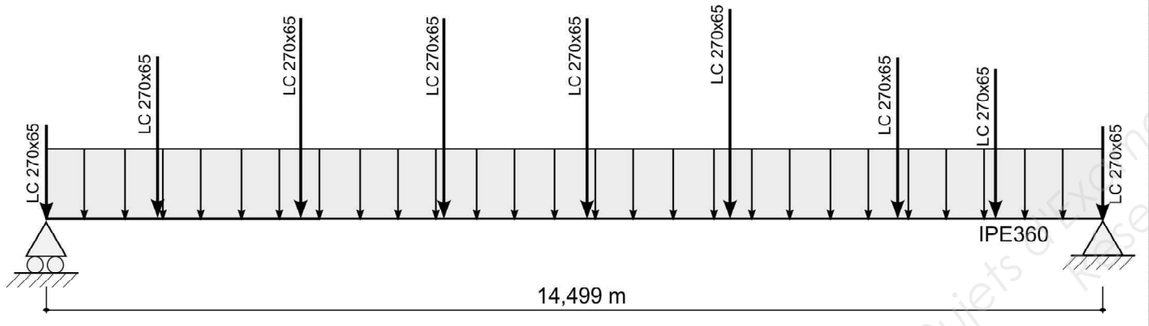
Q1 : Quels sont les deux objectifs de l'étude ? Donner les différentes étapes nécessaires à la note de calculs.

Q2 : Analyse de la charpente : expliquez le rôle des profilés L50x5 situés entre les files O et N (cf. **DT3**)

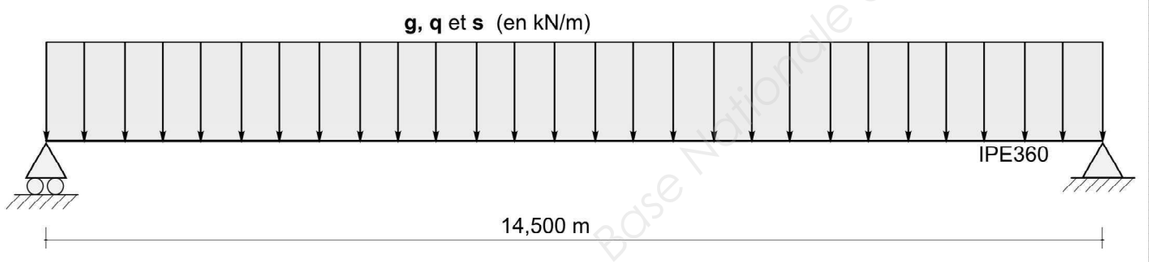
A2 Vérification du profilé IPE360 (modèle mécanique simplifié)

On fait l'hypothèse que la pente de toiture de 5% est négligeable.
Dans un premier temps, on utilisera un modèle simplifié : les efforts ponctuels amenés par les pannes LC270x65 sont linéarisés dans cette partie.

- modèle mécanique non simplifié - *modèle étudié dans la partie A3*



- modèle mécanique simplifié - *modèle étudié dans cette partie*



Q3 : Détermination du chargement uniformément réparti en kN/m :

- Calculer la surface d'influence.

a. Charges permanentes

- On négligera le poids propre des L50x5.
  Après avoir fait l'inventaire des charges permanentes reprises par l'arbalétrier IPE360 (file 3'), calculer les charges amenées par chacun de ces éléments.
- Déterminer la charge permanente totale en kN.
- Linéariser cette résultante g sur la longueur de l'arbalétrier et en déduire la charge uniformément répartie en kN/m.

b. Charges d'exploitation et de neige

- Calculer la charge d'exploitation q en kN/m.
- Calculer la charge de neige s en kN/m.

Q4 : Calculer la charge à prendre en compte aux ELU et celle aux ELS. Les combinaisons d'actions à prendre en compte sont données dans le document **DT5**.

➢ **On prendra pour la suite p_{ELU} = 11,5 kN/m et p_{ELS} = 7,9 kN/m**

Q5 : Vérifier la résistance du profilé vis-à-vis de la flexion aux ELU.

Q6 : Vérifier la résistance du profilé vis-à-vis de l'effort tranchant aux ELU.

Q7 : Vérifier la flèche à l'ELS. Pour cela, utiliser le formulaire donné en **DT7** et le critère de flèche suivant :

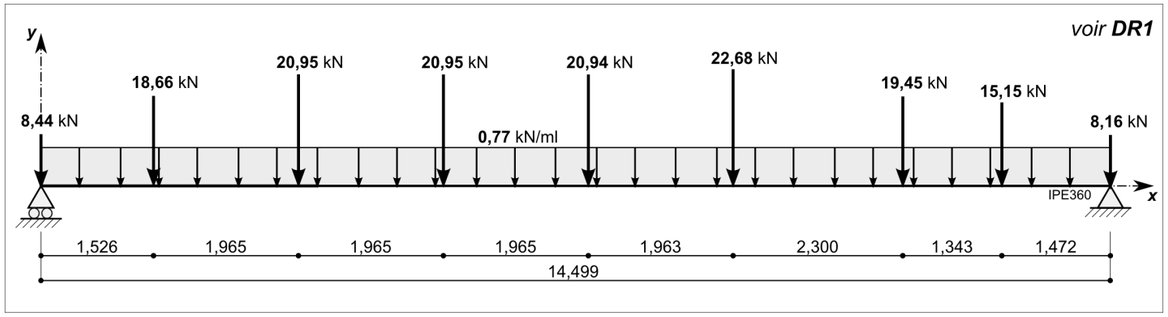
$$f \leq L / 200$$

Q8 : Conclure.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

A3 Vérification du profilé (modèle mécanique non simplifié)

On donne le modèle mécanique suivant :



Q9 : Calculer les actions de liaison, puis compléter sur le document réponse **DR1** les diagrammes des sollicitations (moment fléchissant et effort tranchant).

Q10 : Comparez les sollicitations maximales (effort tranchant et moment fléchissant) des deux modèles, et concluez quant à la pertinence ou non de la première modélisation (dite « simplifiée »).

Étude B : Poutre continue en béton armé et joint de dilatation

Documents à consulter ou compléter : **DT4**, **DT5, DT7, DT8** et **DR2**.

L'étude porte sur la poutre continue à trois travées, A16-17-18, située file 8, entre les files O et S (**DT4**). Les retombées de ces trois poutres sont préfabriquées. Il s'agit de dimensionner une partie des armatures de cette poutre.

B1 Questions préliminaires

Q11 : Quels sont les objectifs de la note de calculs de cette poutre en béton armé ?

Q12 : Quelle est la fonction des goujons file 0 ?

Q13 : Le choix a été fait par le bureau d'études d'utiliser des goujons. Proposer des solutions alternatives (sans goujon) permettant d'assurer la dilatation de la poutre vis-à-vis du poteau.

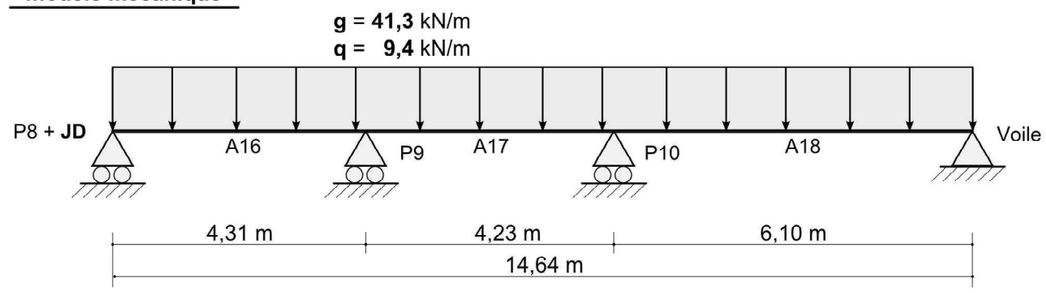
Q14 : Dessiner à main levée le principe de liaison par goujons entre le poteau P8 et la poutre A16.

Q15 : Dessiner et coter (cotation verticale et niveau des arases) à main levée sur la copie la coupe 1 (repérée sur le document **DT4**). Ne représenter sur la coupe que les planchers hauts et la poutre, et préciser la nature des planchers coupés.

B2 Poutre 3 travées : courbe enveloppe des moments et section d'armatures

Q16 : Vérifier que la portée utile de la travée A17 vaut 4,23 m (cf. **DT5**).
Justifier par le calcul la valeur des charges g et q suivantes (on ne tiendra pas compte de la charge de neige) :

- modèle mécanique -

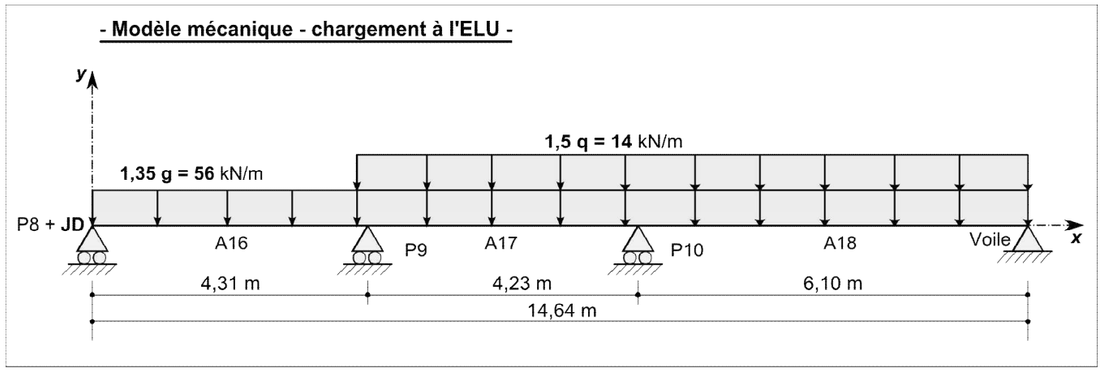


Q17 : Dans chacun des trois cas suivant, dessiner le cas de charge permettant d'obtenir (aucun calcul n'est demandé) :

- le moment fléchissant maximal sur l'appui P9 ;
- le moment maximal en travée A16 ;
- la réaction d'appui maximale sur l'appui « P8 + JD » .

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Q18 : On considère le cas de charge suivant :



Sachant que le moment sur appui en P9 vaut -83,9 kN.m, calculer le moment sur appui P10.

Q19 : Le document **DR2** comporte deux courbes enveloppe : la première est obtenue par un logiciel de RdM, la deuxième par un logiciel de calcul de poutre en béton armé.
Repérer les écarts et expliquer leur nature (aucun calcul n'est demandé).

➢ **On utilisera pour la suite, questions Q20 à Q21, la deuxième courbe enveloppe du document DR2** (celle donnée par le logiciel de béton armé)

Q20 : Dessiner à main levée les aciers longitudinaux de la poutre sur le document réponse **DR2**.
Faire ce schéma de principe sans dessiner les armatures de montage (aucun calcul n'est demandé ici).

Q21 : Calculer la section d'armatures longitudinales au niveau de l'appui P9, effectuer un choix des barres, et compléter la coupe C du plan d'armatures dans le document **DR2**.

Étude C : Poteau béton armé intermédiaire P9

Documents à consulter ou compléter : **DT2**, **DT4** et **DT9**.

Il s'agit de dimensionner les armatures du poteau voisin de rive P9.

On donne l'effort normal à l'ELU repris par le poteau P9 : $\mathbf{N_{ED} = 327\ kN}$, et la longueur efficace (ou de flambement) $\mathbf{l_o = 3,15\ m}$.

Q22 : Donner les différentes étapes nécessaires à la rédaction de la note de calculs permettant d'établir le plan d'armatures du poteau en béton armé.

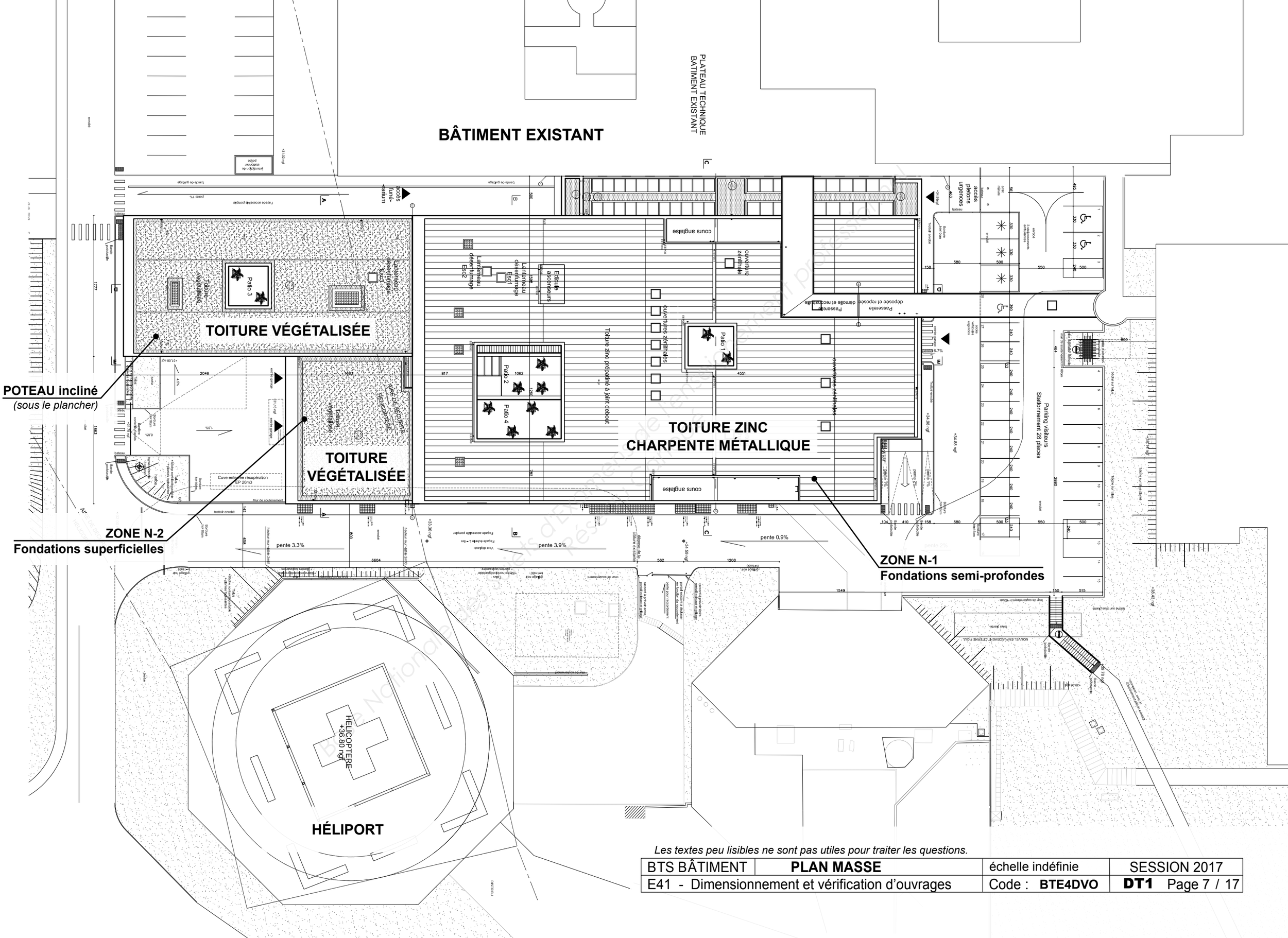
Q23 : Calculer la section d'armatures longitudinales du poteau.
Choisir les aciers.

Q24 : Choisir les armatures transversales en partie courante. Calculer l'espacement des cadres en partie courante.

Q25 : Faire le schéma d'une section transversale du poteau en représentant toutes les armatures.

Q26 : La façade inclinée en rive de bâtiment est portée par des poteaux qui eux-mêmes sont inclinés. Le plan d'armatures du poteau incliné P40 est donné sur le document **DT9**. Quelle est la fonction des armatures repérées 5, 6, 7 et 8 ? Quel est le type de liaison assuré en tête de poteau ?

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

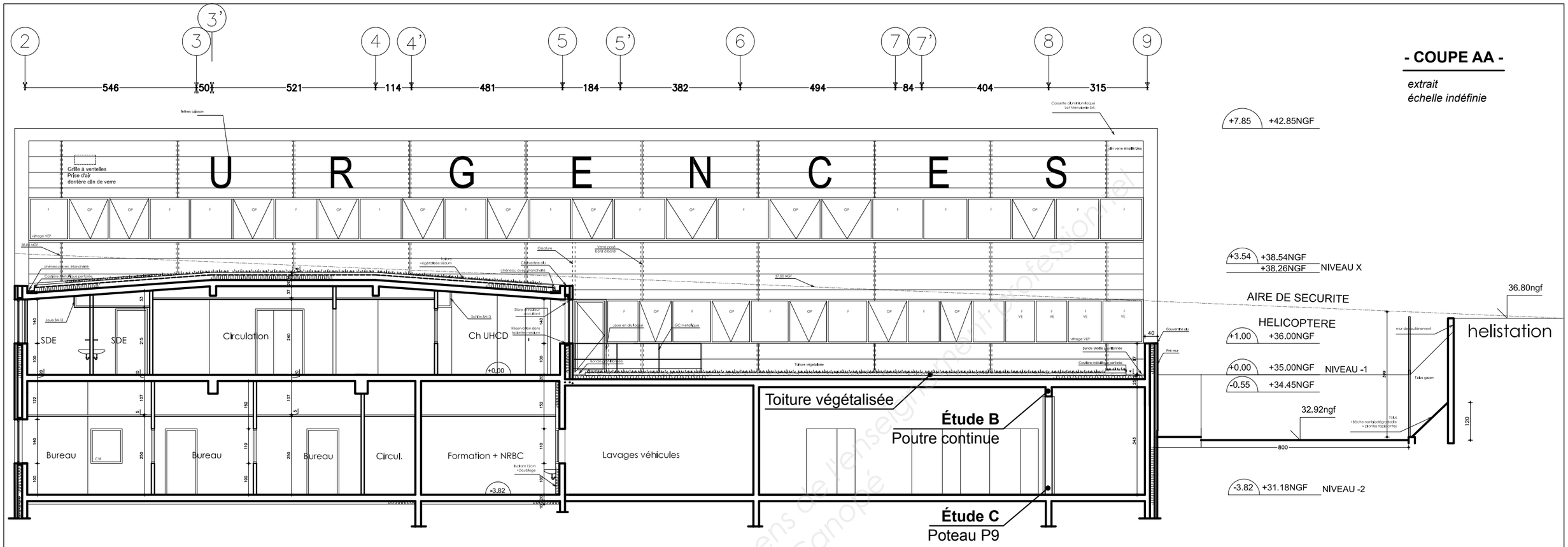


Les textes peu lisibles ne sont pas utiles pour traiter les questions.

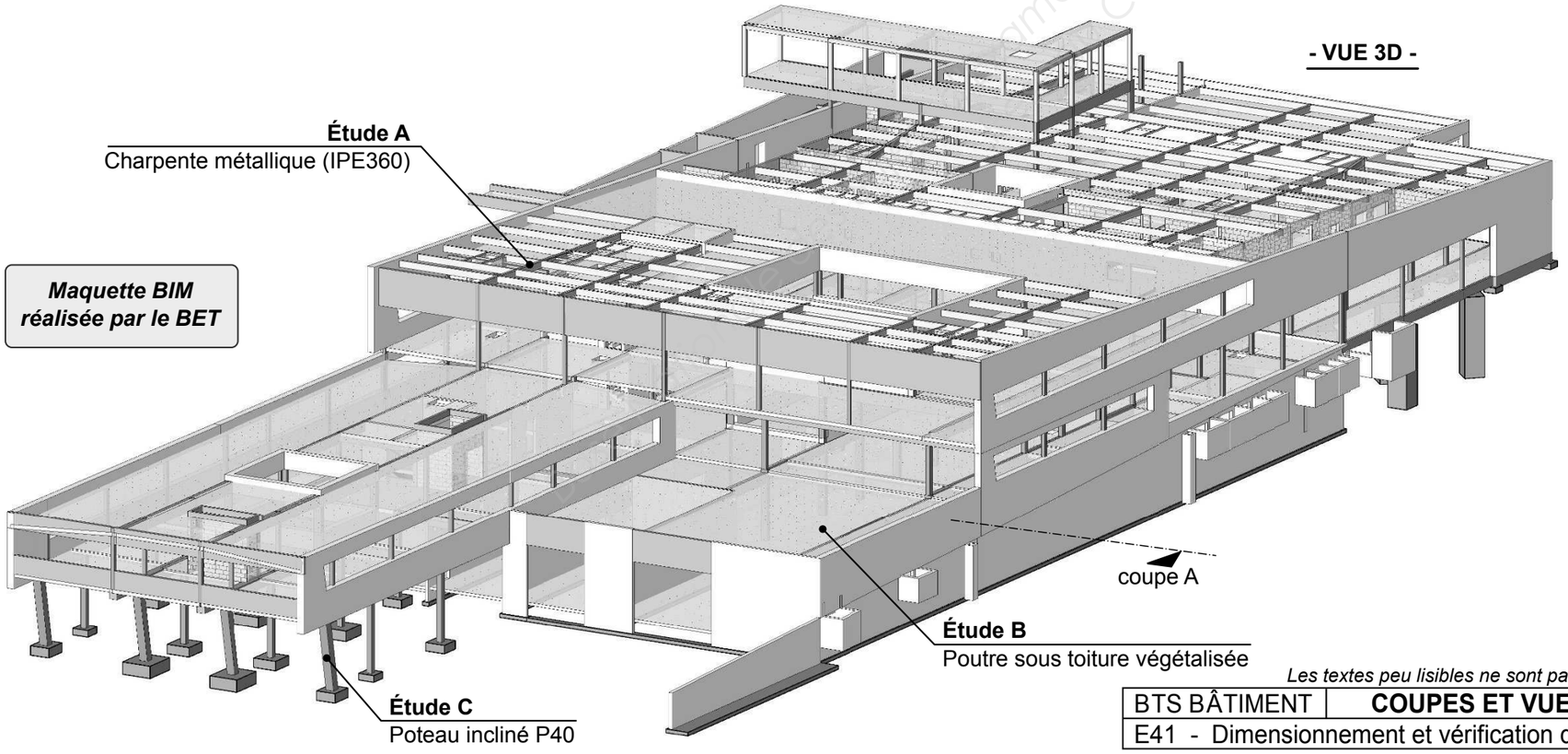
BTS BÂTIMENT	**PLAN MASSE**	échelle indéfinie	SESSION 2017
E41 - Dimensionnement et vérification d'ouvrages		Code : **BTE4DVO**	**DT1** Page 7 / 17

- COUPE AA -

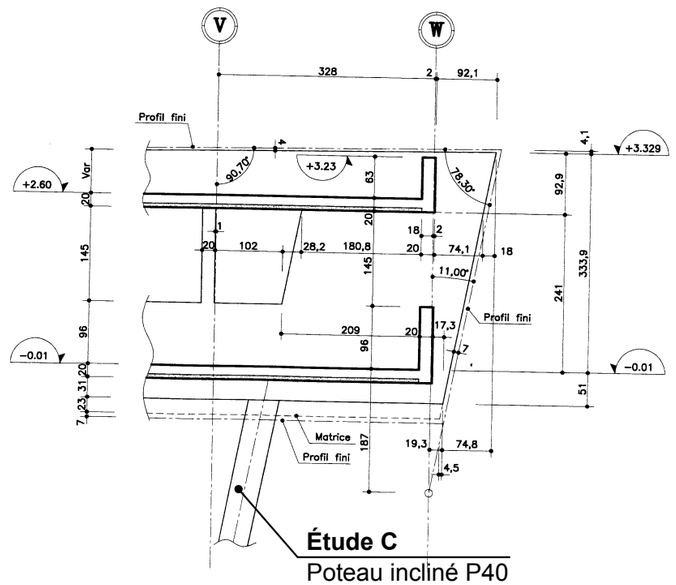
extrait
échelle indéfinie



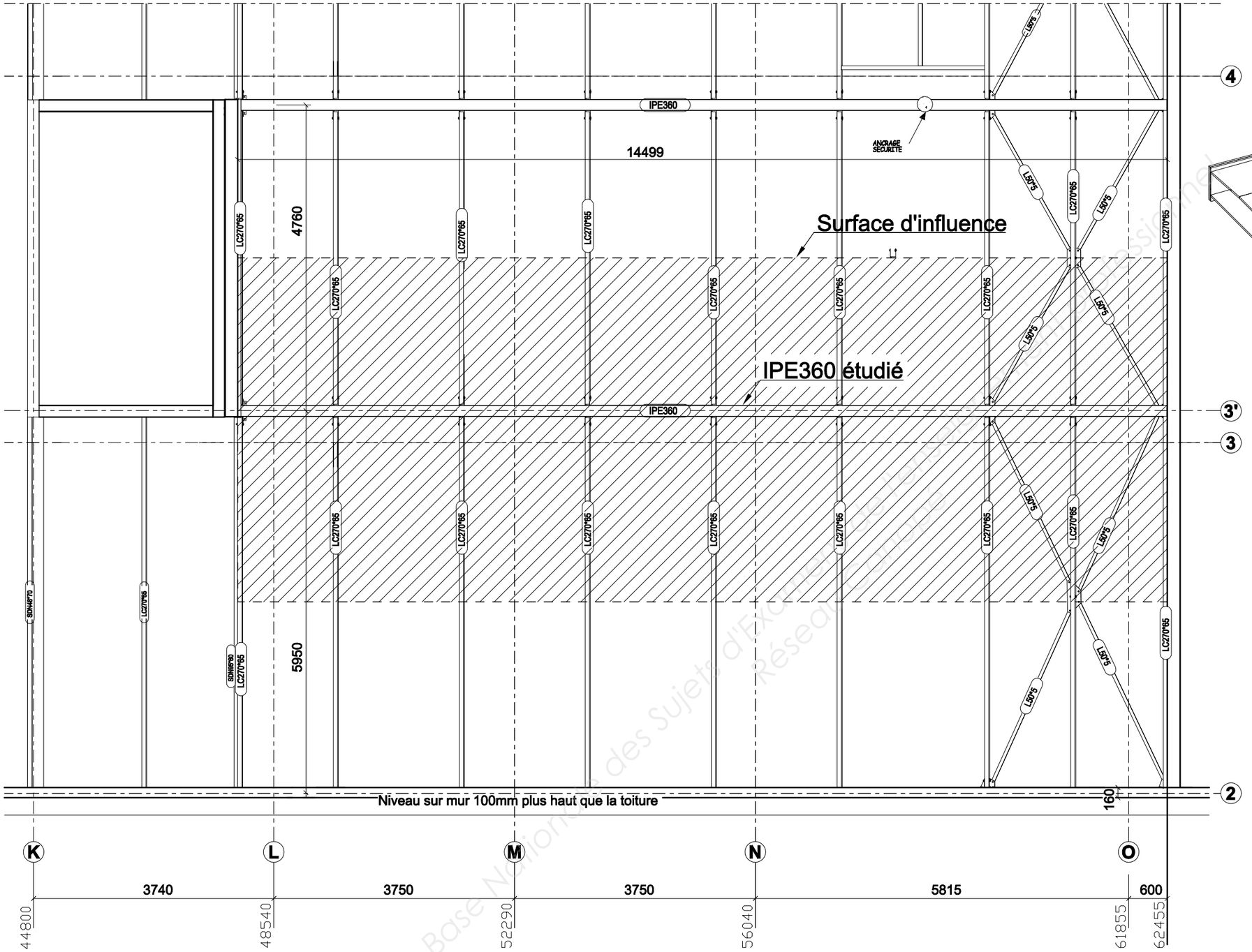
- VUE 3D -

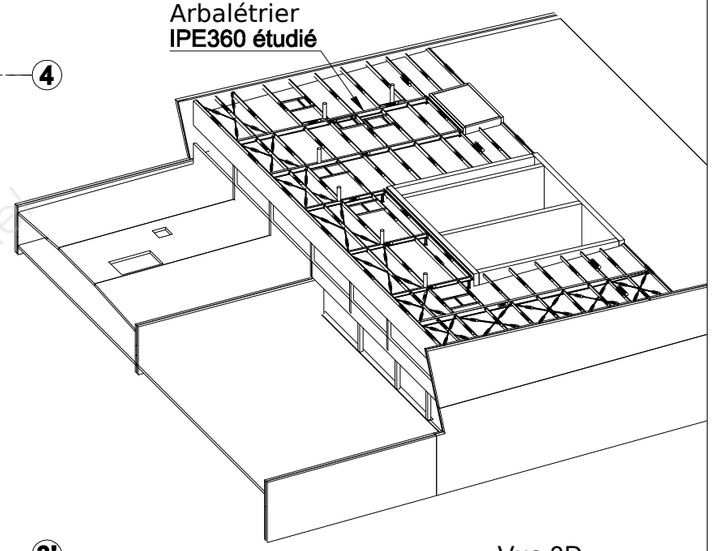


- vue en coupe (structure) de la façade inclinée -



Les textes peu lisibles ne sont pas utiles pour traiter les questions.





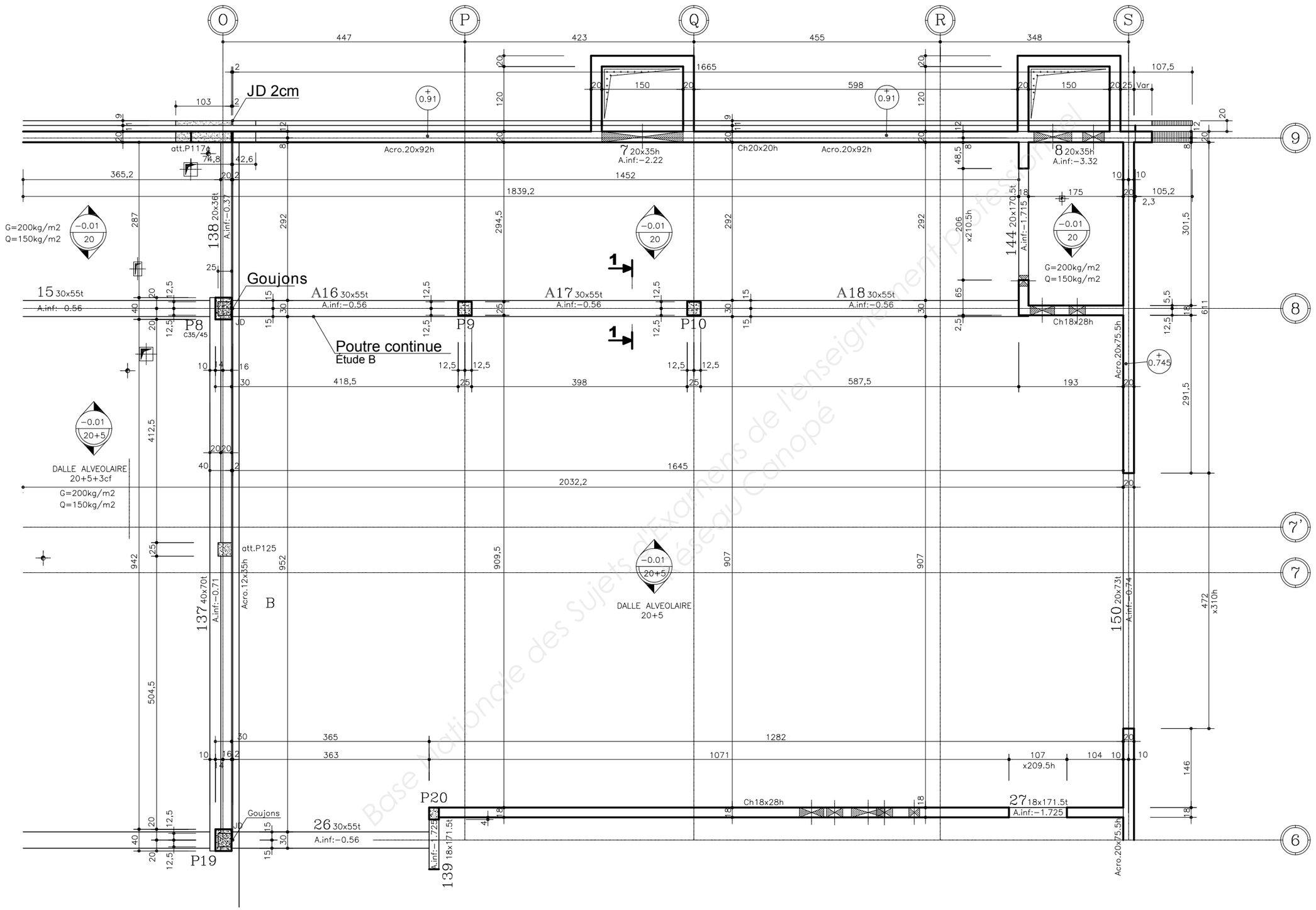
- Vue 3D -

-Légende -

IPE360 Arbalétrier IPE360

LC270*65 Panne en lamellé collé 270x65

Base Nationale des Sujets d'Examen - Réseau CANOPE



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

FORMULAIRE Extrait Eurocode 1

Combinaisons fondamentales

Etats limites ultimes, pour les situations de projet durables et transitoires.
Lorsque la précontrainte est absente {6.10} **se réduit à :**

$$\sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad \{6.10\}$$

le symbole « + » signifie « doit être combiné à »

avec :

- $G_{k,j}$: valeur caractéristique de **l'action permanente** j ;
- $\gamma_{G,j}$: coefficient de sécurité partiel de l'action permanente j ;
- $Q_{k,1}$: valeur caractéristique **de l'action variable dite dominante ;**
- $Q_{k,i}$: valeurs caractéristiques des autres **actions variables dites d'accompagnement** (avec $i \geq 2$) ;
- $\gamma_{Q,1}$: coefficient de sécurité partiel affecté à l'action dominante ;
- $\gamma_{Q,i}$: coefficient de sécurité partiel affecté à chaque type d'action d'accompagnement ;
- $\psi_{0,i}$: coefficients traduisant le fait qu'il soit très improbable que plusieurs actions variables atteignent toutes ensemble et au même moment leurs valeurs caractéristiques.

<u>Approche 2</u> : Application de valeurs de calcul provenant du Tableau A1.2 (B) aux actions géotechniques ainsi qu'aux autres actions appliquées à la structure ou en provenance de celle-ci.
Équation $\{A1.2B\}$ pour toutes les actions.

STR/GEO **SITUATIONS DURABLES ET TRANSITOIRES**	**6.10 tableau A1.2 (B)(F)**	**Pour le dimensionnement des éléments structuraux non soumis à des actions géotechniques (EN 1990 A1.3.1 (4)).** $\{A1.2B\}$ $1{,}35G_{k,sup} + 1{,}00G_{k,inf} + 1{,}50Q_{k,1} + 1{,}50\sum_{i>1}\psi_{0,i}Q_{k,i}$ **Les valeurs caractéristiques de toutes les actions permanentes d'une même origine sont multipliées par $\gamma_{G,sup} = 1{,}35$ si l'effet total résultant de ces actions est défavorable, et $\gamma_{G,inf} = 1{,}00$ si cet effet est favorable.** **Par exemple, toutes les actions provenant du poids propre de la structure peuvent être considérées comme émanant d'une même origine ; cela s'applique également si différents matériaux sont concernés.**

Tableau A1.1 (F): Valeurs des coefficients ψ pour les bâtiments

Valeur caractéristique : ψ_0 ; valeur fréquente : ψ_1 ; valeur quasi-permanente : ψ_2

Action	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Charges d'exploitation des bâtiments, catégorie (voir EN 1991-1.1)			
- Catégorie **A** : habitation, zones résidentielles	**0,7**	**0,5**	**0,3**
- Catégorie **B** : bureaux	**0,7**	**0,5**	**0,3**
- Catégorie **C** : lieux de réunion	**0,7**	**0,7**	**0,6**
- Catégorie **D** : commerces	**0,7**	**0,7**	**0,6**
- Catégorie **E** : stockage	**1,0**	**0,9**	**0,8**
- Catégorie **F** : zone de trafic, véhicules de poids ≤ 30 kN	**0,7**	**0,7**	**0,6**
- Catégorie **G** : zone de trafic, véhicules de poids compris entre 30 et 160 kN	**0,7**	**0,5**	**0,3**
- Catégorie **H** : toits	**0**	**0**	**0**
Charges dues à la neige sur les bâtiments (voir EN 1991-1-3) :			
- pour lieux situés à une altitude H > 1000 m au-dessus du niveau de la mer et pour Saint-pierre et Miquelon	**0,70**	**0,50**	**0,20**
- pour lieux situés à une altitude H ≤ 1000 m au-dessus du niveau de la mer	**0,50**	**0,20**	**0**
Charges dues au vent sur les bâtiments (voir EN 1991-1-4)	**0,6**	**0,2**	**0**
Température (hors incendie) dans les bâtiments (voir EN 1991-1-5)	**0,6**	**0,5**	**0**

États limites de service

Combinaison caractéristique $\sum_{j\geq 1} G_{k,j} \text{"+"} Q_{k,1} \text{"+"} \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ **elle correspond à un état limite irréversible**

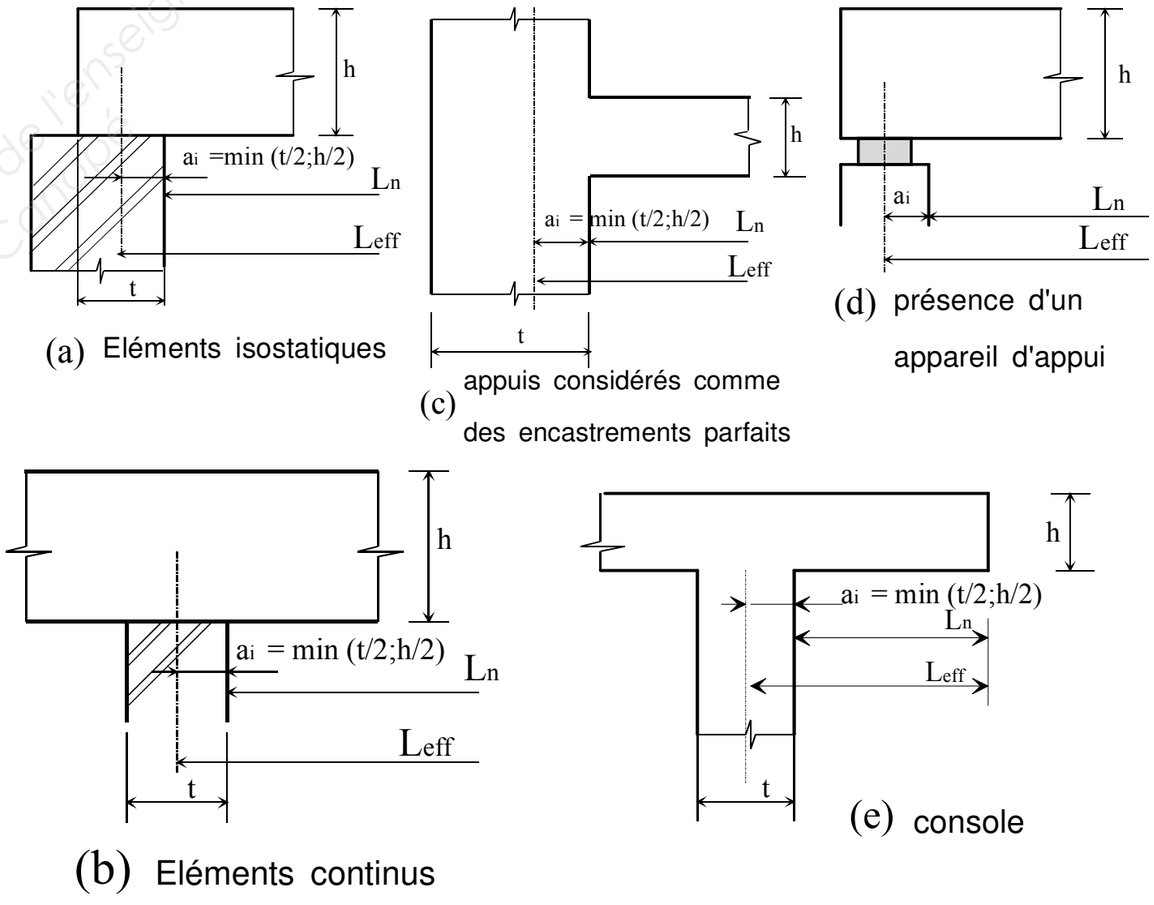
Portées utiles (de calcul) des poutres et dalles dans les bâtiments

Différents cas sont envisagés :

a) **éléments isostatiques**
b) **éléments continus**
c) **Appuis considérés comme des encastrements parfaits**
d) **Présence d'un appareil d'appui**
e) **Console**

La portée utile l_{eff} d'un élément peut être calculée de la manière suivante ; $l_{eff} = l_n + a_1 + a_2$ {5.8 }
Avec l_n : distance libre entre les nus d'appuis.
Les valeurs a_1 et a_2 à chaque extrémité de la portée, peuvent être déterminées à partir des valeurs correspondantes a_i de la figure 5.4.

Figure 5.4 : Détermination de la portée de calcul L_{eff} d'après l'expression 2.15, pour différents cas d'appuis.



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

FORMULAIRE - Extrait Eurocode 3

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.

Laminés marchands :
Les valeurs de l'aire plastifiée (A_v) sont données dans les tableaux de caractéristiques des profilés.

Profilés Reconstitués Soudés :
Pour les P.R.S., la valeur de A_v est celle de l'âme seule

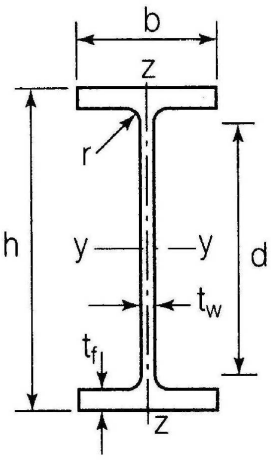
Profilés Reconstitués Soudés :
Pour les P.R.S., la valeur de A_v est celle de l'âme seule

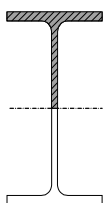
Caractéristiques des profilés

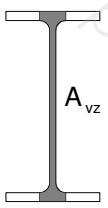
Profilés de type IPE

Caractéristiques des profilés IPE

Les axes et désignations sont conformes à l'Eurocode 3.







⇩ ⇩

Profil.	h	b	t_w	t_f	r	Masse par mètre P	Aire de la section A	Moment quadratique I_y	Module de résistance élastique à la flexion $W_{el.y}$	Rayon de giration i_y	$2\times S_y$ / Module plastique $W_{pl.y}$	A_{vz}	I_z	$W_{el.z}$	i_z	$2\times S_z$ / $W_{pl.z}$	A_{vy}
	mm	mm	mm	mm	mm	kg/m	cm^2	cm^4	cm^3	cm	cm^3	cm^2	cm^4	cm^3	cm	cm^3	cm^2
80	80	46	3,8	5,2	5	6,0	7,64	80,1	20,0	3,24	23,2	3,6	8,48	3,69	1,05	5,8	5,1
100	100	55	4,1	5,7	7	8,1	10,3	171,0	34,2	4,07	39,4	5,1	15,91	5,78	1,24	9,1	6,7
120	120	64	4,4	6,3	7	10,4	13,2	317,8	53,0	4,90	60,7	6,3	27,65	8,64	1,45	13,6	8,6
140	140	73	4,7	6,9	7	12,9	16,4	541,2	77,3	5,74	88,3	7,6	44,90	12,30	1,65	19,2	10,6
160	160	82	5,0	7,4	9	15,8	20,1	869,3	108,7	6,58	123,9	9,7	68,28	16,65	1,84	26,1	12,8
180	180	91	5,3	8,0	9	18,8	23,9	1 317,0	146,3	7,42	166,4	11,3	100,81	22,16	2,05	34,6	15,3
200	200	100	5,6	8,5	12	22,4	28,5	1 943,2	194,3	8,26	220,6	14,0	142,31	28,46	2,24	44,6	18
220	220	110	5,9	9,2	12	26,2	33,4	2 771,8	252,0	9,11	285,4	15,9	204,81	37,24	2,48	58,1	21,3
240	240	120	6,2	9,8	15	30,7	39,1	3 891,6	324,3	9,97	366,6	19,1	283,58	47,26	2,69	73,9	14,8
270	270	135	6,6	10,2	15	36,1	45,9	5 789,8	428,9	11,23	484,0	22,1	419,77	62,19	3,02	97,0	29
300	300	150	7,1	10,7	15	42,2	53,8	8 356,1	557,1	12,46	628,4	25,7	603,62	80,48	3,35	125,2	33,7
330	330	160	7,5	11,5	18	49,1	62,6	11 766,9	713,1	13,71	804,3	30,8	788,00	98,50	3,55	153,7	38,7
360	360	170	8,0	12,7	18	57,1	72,7	16 265,6	903,6	14,95	1 019,1	35,1	1 043,20	122,73	3,79	191,1	45,3
400	400	180	8,6	13,5	21	66,3	84,5	23 128,4	1 156,4	16,55	1 307,1	42,7	1 317,58	146,40	3,95	229,0	51,1
450	450	190	9,4	14,6	21	77,6	98,8	33 742,9	1 499,7	18,48	1 701,8	50,8	1 675,35	176,35	4,12	276,4	58,3
500	500	200	10,2	16,0	21	90,7	116	48 198,5	1 927,9	20,43	2 194,1	59,9	2 140,90	214,09	4,30	335,9	67,2
550	550	210	11,1	17,2	24	106	134	67 116,5	2 440,6	22,35	1 390	72,3	2 666,49	253,95	4,45	400,5	76,1
600	600	220	12,0	19,0	24	122	156	92 083,5	3 069,4	24,30	1 760	83,8	3 385,78	307,80	4,66	485,6	87,9

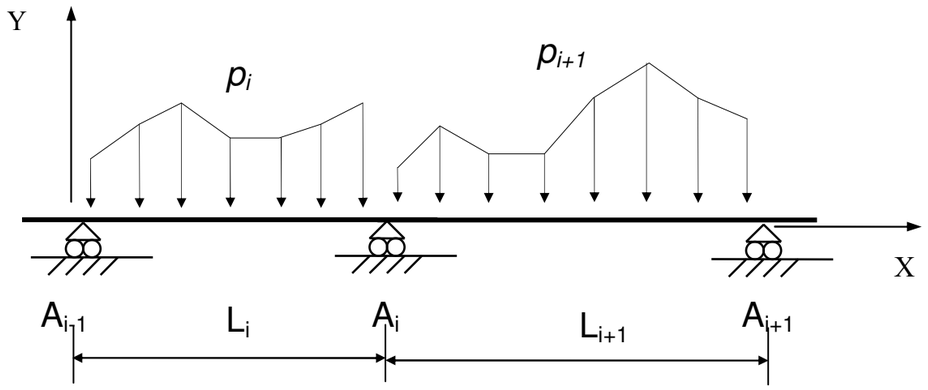
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel Réseau Canopé

FORMULAIRE de mécanique

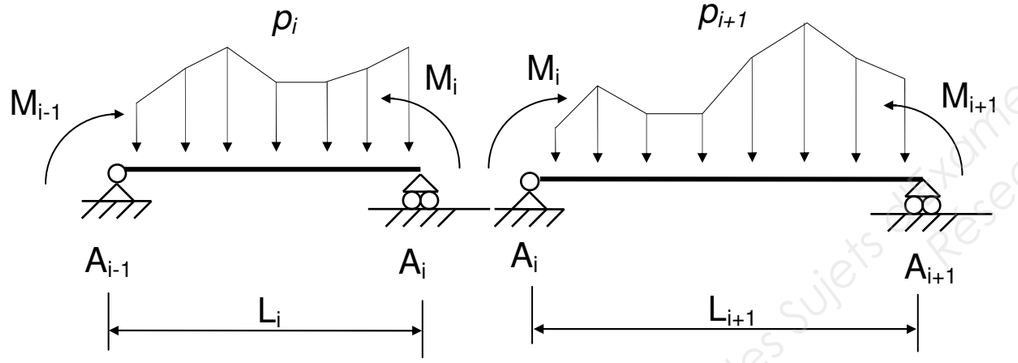
Théorème des 3 moments (formule de Clapeyron)

Hypothèses : **EI = constante sur l'ensemble de la poutre, en l'absence de dénivellations d'appuis.**

(S)

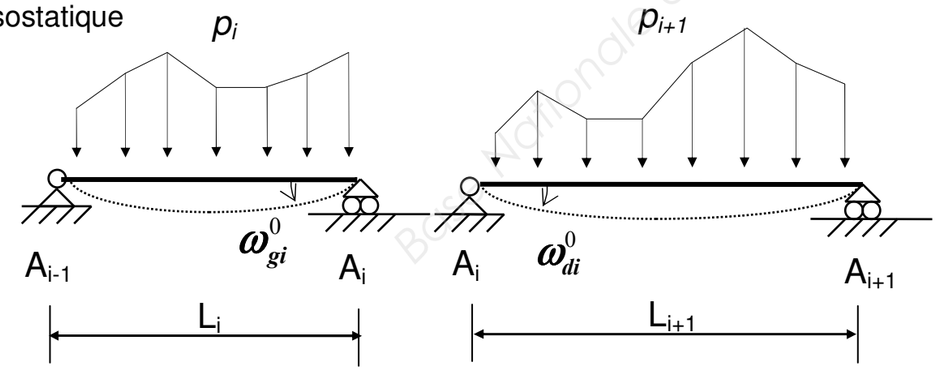


(S)



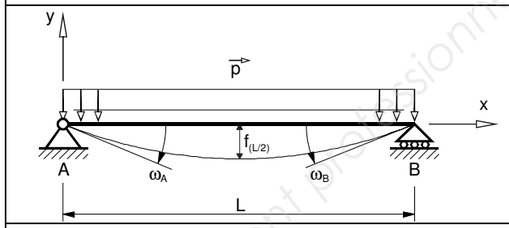
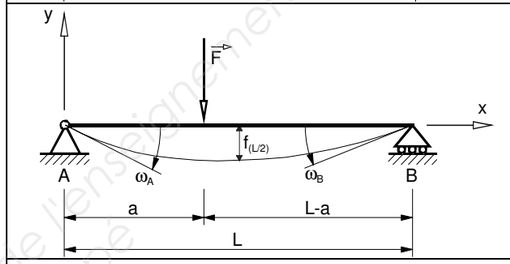
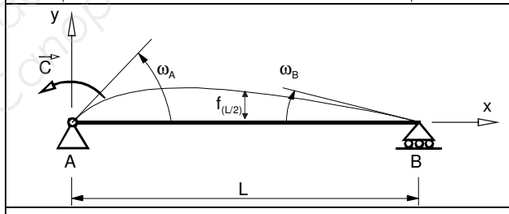
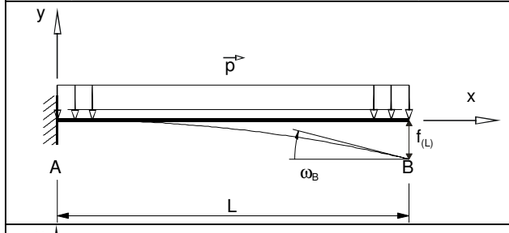
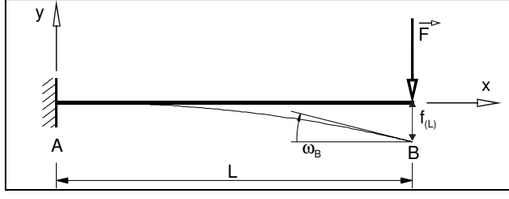
Système isostatique associé

(S^0)



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

Rotations et flèches des poutres isostatiques courantes

Schéma mécanique	Rotation aux appuis	Flèche
	$\omega_A = -\frac{pL^3}{24EI}$ $\omega_B = \frac{pL^3}{24EI}$	$f_{(L/2)} = \frac{5pL^4}{384EI}$
	$\omega_A = -\frac{Fa}{6EIL}(L-a)(2L-a)$ $\omega_B = \frac{Fa}{6EIL}(L^2-a^2)$	pour $a \le \frac{L}{2}$ $f_{(L/2)} = \frac{Fa}{48EI}(3L^2-4a^2)$
	$\omega_A = \frac{CL}{3EI}$ $\omega_B = -\frac{CL}{6EI}$	$f_{(L/2)} = \frac{CL^2}{16EI}$
	$\omega_B = -\frac{pL^3}{6EI}$	$f_{(L)} = \frac{pL^4}{8EI}$
	$\omega_B = -\frac{FL^2}{2EI}$	$f_{(L)} = \frac{FL^3}{3EI}$

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Aciers en barres HA

Diamètre	Poids	Périmètre	Section pour N barres en cm²											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
mm	kg/m	cm												
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		

FORMULAIRE Extrait Eurocode 2

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

Données
Catégorie de durée d'utilisation de projet : 4
Environnement :Classe d'exposition $X..$
b_w ; h
béton $C../..$ f_{ck}
acier B500 $f_{yk} = 500 \quad MPa$
diagramme élasto-plastique parfait

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S} = \frac{500}{1{,}15} = 435 \quad MPa$$

$p_u = 1{,}35g + 1{,}5q \quad kN/m$
moment de flexion ELU $M_{Ed} = M_u$

$d \le 0{,}9h$
$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_C$

$c_{min} = max\{c_{min,b} ; c_{min,dur} ; 10mm\}$
Enrobage nominal : $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

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

$\mu_u \le 0{,}3717$? — Oui

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

NON

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 : $s \le 15\phi$.

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

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

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

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

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

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 Té: $b_t = b_w$

Équation alternative du bras de levier $z_u = d(1 - 0{,}4\alpha_u) = d\frac{(1 + \sqrt{1 - 2\mu_u})}{2}$

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

FORMULAIRE Extrait Eurocode 2

Organigramme poteau rectangulaire

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 $b \times h$, avec $b \leq h$ (ou b en mètre, correspondant au sens du flambement)
- Enrobage relatif $\delta = \frac{d'}{b}$ avec $d' = c_{nom} + \phi_t + \frac{\phi_l}{2}$

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

- 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 ℓ_0 = longueur libre du poteau notée l

Élancement : $\lambda = \frac{\ell_0 \sqrt{12}}{b}$

$\lambda \leq 120$? — **NON** : il faut redimensionner le poteau

OUI

$\lambda \leq 60$?

OUI : $\alpha = \frac{0{,}86}{1 + \left(\frac{\lambda}{62}\right)^2}$

NON : $\alpha = \left(\frac{32}{\lambda}\right)^{1{,}3}$

$N_{Ed} \leq N_{Rd}$ et $N_{Rd} = \alpha k_h \left[A_c f_{cd} + A_s f_{yd} \right]$ ou $N_{Rd} = \alpha k_h A_c \left[f_{cd} + \rho f_{yd} \right]$

avec $\rho = \frac{A_s}{A_c}$ et si $b < 0{,}500$ m alors $k_h = \left[0{,}75 + 0{,}5 b^{[m]} \right] \left[1 - 6 \rho \delta \right]$ sinon $k_h = 1$

La valeur de As est obtenue en résolvant l'équation du 2e degré suivante :

$$\left(6 \frac{\delta}{A_c} f_{yd}\right) A_s^2 - \left(f_{yd} - 6 \delta f_{cd}\right) A_s + \left(\frac{N_{Ed}}{K} - A_c f_{cd}\right) = 0 \quad \text{avec } K = \alpha \left(0{,}75 + 0{,}5 b^{[m]}\right) \text{ avec } b \text{ en m}$$

En première approximation pour obtenir une valeur approchée de A_s : $N_{Ed} = \alpha k_h A_c \left[f_{cd} + \rho f_{yd} \right]$ avec $k_h = 0{,}93$

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 :

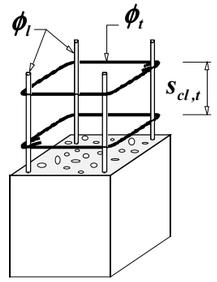
$\phi_t \geq max \left[6 \; mm ; \phi_{l,max} / 4 \right]$

espacement: $s_{cl,t} \leq s_{cl,t\,max} = min \left[400 \; mm \; ; \; 20 \phi_{l,min} \; ; \; b \right]$

$\phi_{l\,min}$ = diamètre de la plus petite armature longitudinale résistante

b = plus petite dimension transversale

Les armatures transversales doivent maintenir toutes les barres prises en compte dans les calculs de résistance.



ÉTUDE C - Question Q26 - Poteau incliné

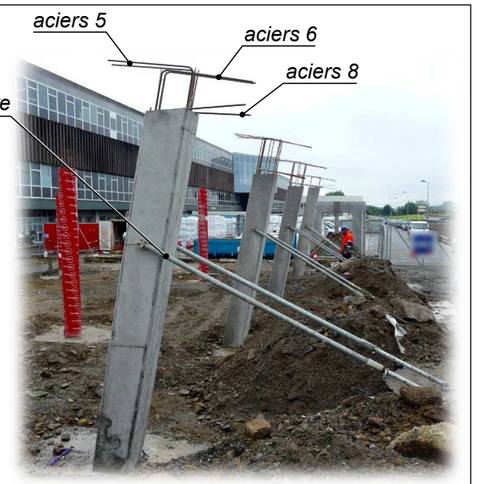
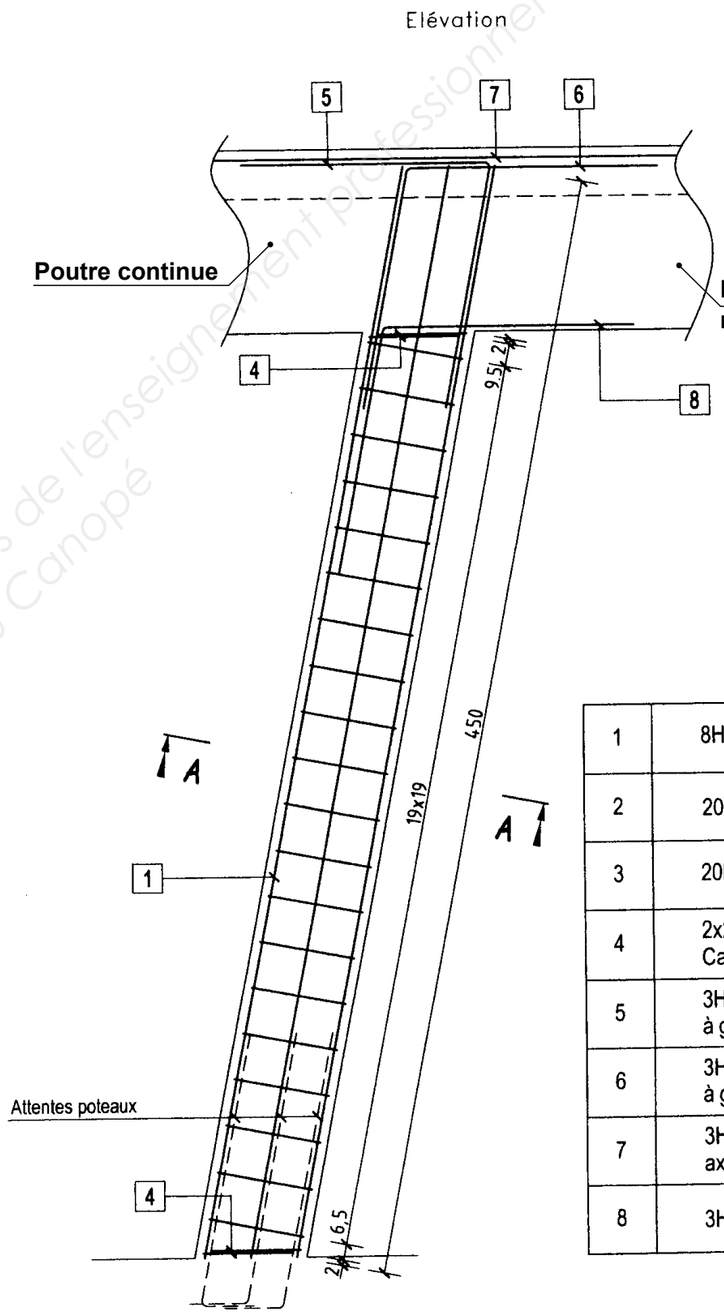
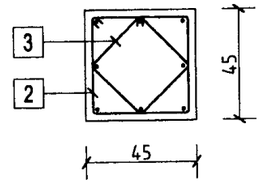


Photo des poteaux inclinés après décoffrage, et avant pose des poutres préfabriquées

- Plan d'armatures du poteau incliné P40 -



Coupe AA Courante



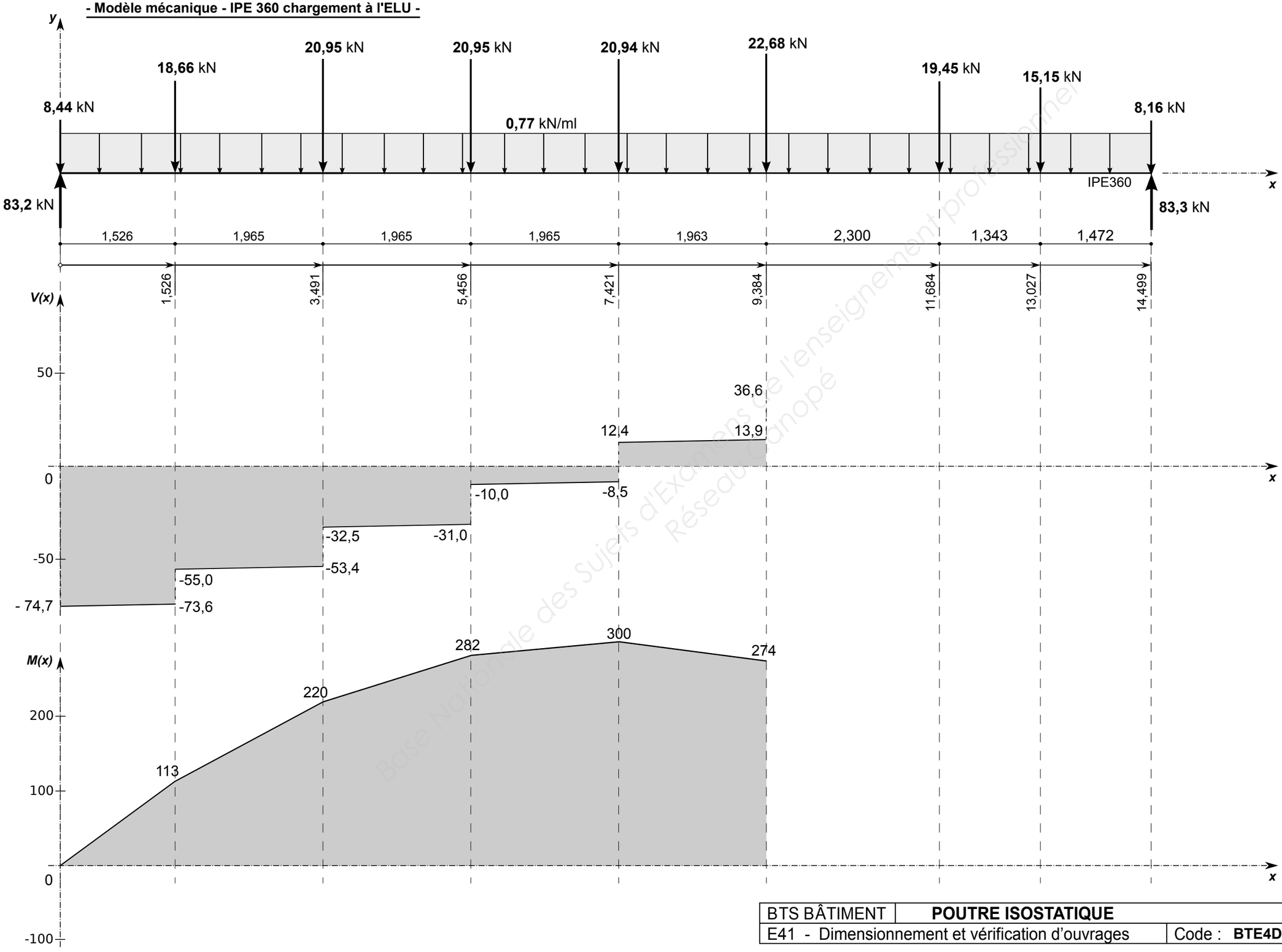
1	8HA16 x450	450
2	20HA6 x166	39 / 39
3	20HA6 x125	29 / 29
4	2x2HA6 x119 Cadres façonné en U.	39 / 35
5	3HA16 x200 à glisser sur chantier.	100 / 100
6	3HA16 x200 à glisser sur chantier.	100 / 100
7	3HA16 x300 axés sur le poteau	300
8	3HA16 x200	100 / 100

échelle indéfinie

Réseau National des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

ÉTUDE A - Question Q9 - Diagramme des sollicitations

- Modèle mécanique - IPE 360 chargement à l'ELU -

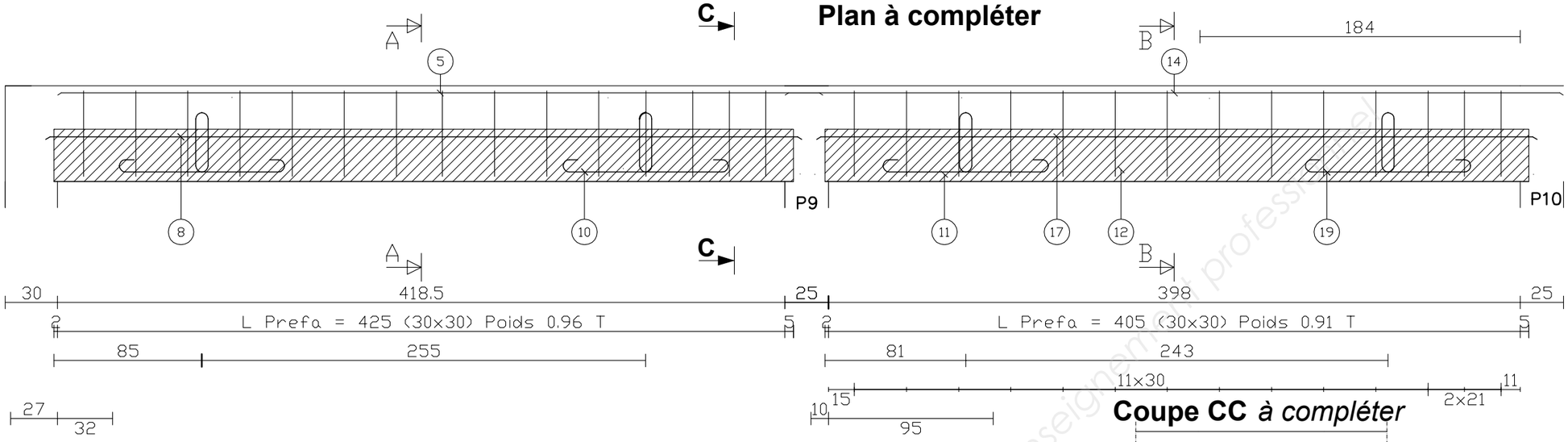


Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

ÉTUDE B - Question Q20 et Q21 - Plan d'armatures à compléter

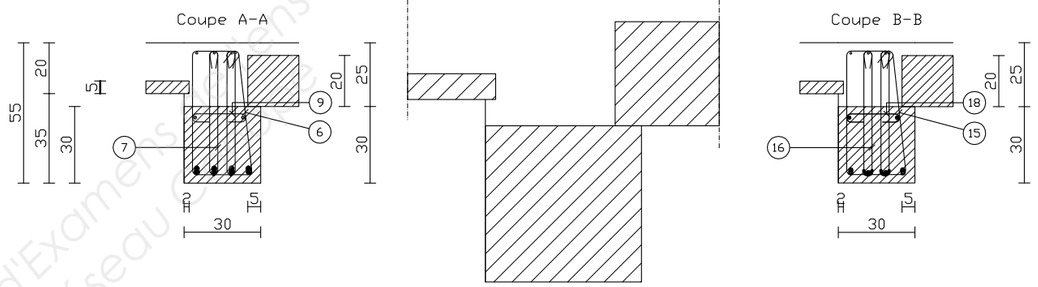
Poutre continue niveau N-2	A17 A18	Béton=0.41 m3 (0.36 Préfa)	Eb=3.0 cm
A16-18-19		Acier=70.3 kg d=170.4 kg/m3	Eh=3.0 cm
		Fi=9.9 mm Cof=3.8 m²	El=3.0 cm
Section : 30 x 55ht			
fck= 25 MPa fyk= 500 MPa Classe de ductilité A			

Plan à compléter



échelle non définie

Coupe CC *à compléter*

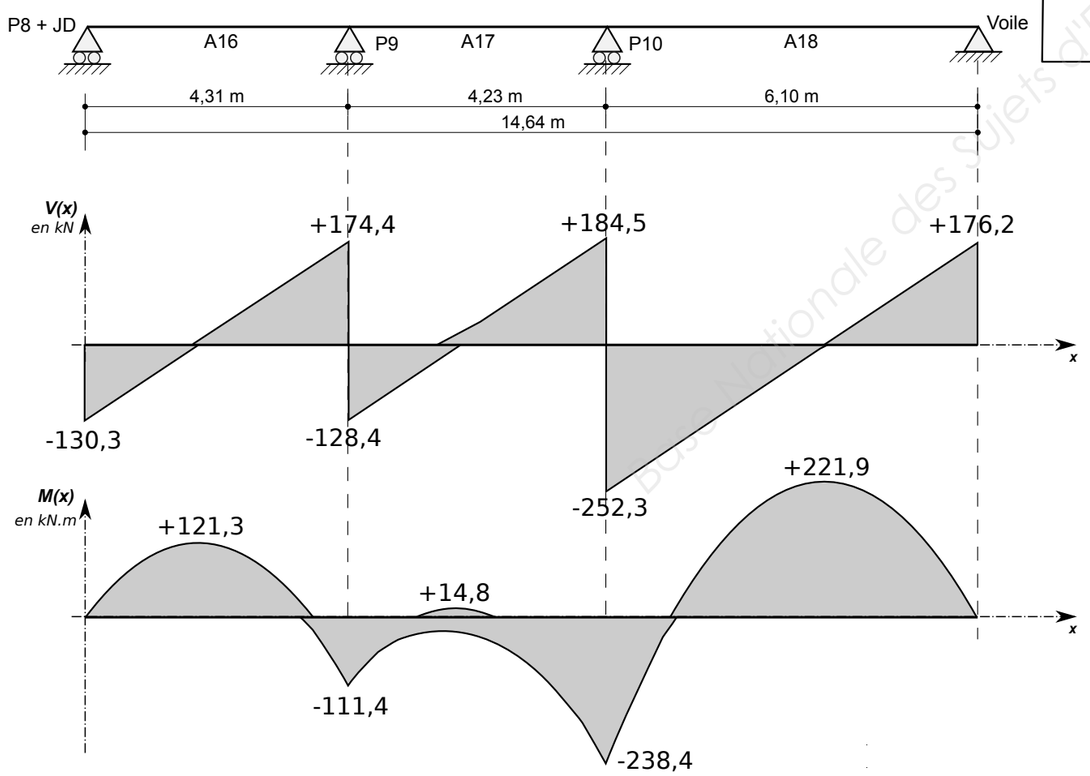


Barre	Lg	Forme
1 4HA12	467	135° 10 6 6 458
2 4HA10	297	297
3 4HA8	139	8 8 130 135°
4 armatures à calculer		
5 4HA8	441	441
6 15HA6	151	5 49 24
7 30HA6	116	49
8 2HA10	435	435
9 9HA6	38	21
10 2Dx10	196	35 96
11 4HA8	418	418
12 2HA8	135	135
13 4HA20	358	358
14 4HA8	448	448
15 14HA6	151	5 49 24
16 28HA6	116	49
17 2HA10	415	415
18 9HA6	38	21
19 2Dx10	196	35 96

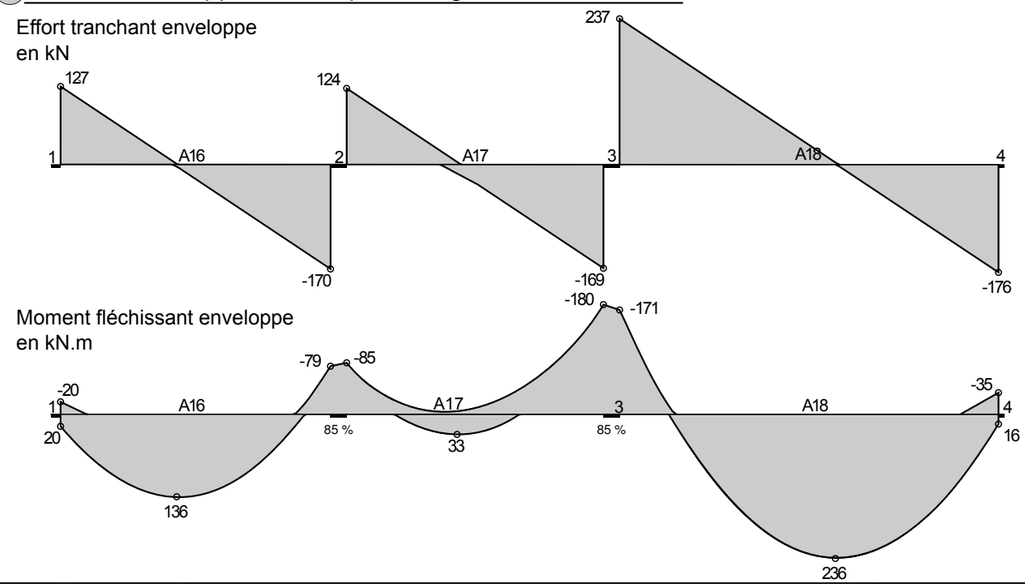
Barre	Lg/Poids
HA6	57.0/12.6
HA8	37.3/14.8
HA10	8.3/5.1
HA20	14.3/35.3
Dx10	3.9/2.4

ÉTUDE B - Question Q19 - Courbes enveloppe

1 Courbe enveloppe donnée par un logiciel de RDM



2 Courbe enveloppe donnée par un logiciel de béton armé *(à utiliser pour les questions Q19, Q20 et Q21)*



Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

Ce document a été élaboré par FormaV© avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV©, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV© se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.