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

<u>Épreuve E4</u> : ÉTUDE TECHNIQUE

Sous - Épreuve : E. 41

DIMENSIONNEMENT ET VERIFICATION D'OUVRAGES

SESSION 2015

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 qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire n° 99-186, 16/1 1/1999).

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte 16 pages, numérotées de 1/16 à 16/16

BTS BATIMENT		**SESSION 2015**
Dimensionnement et vérification d'ouvrages – E 41	**Code : 15BTE4DVO**	

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

Bâtiment Paramédical
Contenu du dossier

Page 1 : **Présentation de l'ouvrage**

Page 2 : **Caractéristiques des matériaux utilisés sur l'ouvrage et Charges surfaciques**

Pages 3 à 6 : **Travail demandé**

Page 7 : **DT 1** = **Plan masse-toiture / Façades Nord et Est.**

Page 8 : **DT 2** = **Coupes transversales et longitudinales sur la "zone bassin"**

Page 9 : **DT 3** = **Plan de charpente, "zone bassin".**

Page 10 : **DT 4** = **Structure bois, perspective, "zone bassin".**

Page 11 : **DT 5** = **Plan de coffrage du plancher haut niveau "REZ" (RDC) + Coupes CC et EE**

Pages 12 à 16 : **F1 à 10** = **Extraits du "formulaire RDM / Eurocodes".**

Barème

ÉTUDE A	Vérification du contreventement	**11,5 points**
ÉTUDE B	Vérification de la "panne 3", résistance et déformation	**5 points**
ÉTUDE C	Contrôle des aciers longitudinaux de la poutre continue S4-S5 (plancher haut REZ (RDC))	**3,5 points**

Présentation de l'ouvrage *voir l'ensemble du dossier technique DT1 à DT5*

L'étude porte sur un bâtiment dédié à des activités de kinésithérapie, ostéopathie et balnéothérapie.
Il comprend un hall d'accueil, des bureaux, une grande salle de rééducation, des box destinés aux soins de "kiné-ostéo", des vestiaires et une piscine.
Le bâtiment est composé de quatre charpentes en bois LC (lamellé-collé), contreventées par un noyau central en béton armé (zone vestiaire).
Des panneaux de façade, également en bois, forment une ossature qui participe au contreventement longitudinal. En toiture, des "poutres au vent" (transversale et longitudinale) transmettent les efforts horizontaux aux murs de refend B.A., aux panneaux de façade et aux "palées de contreventement".
La couverture, formée de "bacs-acier" est isolée thermiquement et étanchée par un "bi-couche autoprotégé".
La partie centrale du bâtiment, "zone vestiaire", comporte deux niveaux. Les porteurs verticaux sont constitués de murs et de poteaux en B.A. Le premier plancher est un dallage. Les dalles hautes, de 25cm d'épaisseur sont coulées sur des prédalles en béton précontraint de 6 cm d'épaisseur. Le plancher haut du niveau+1 est une toiture terrasse inaccessible.
Les fondations sont constituées de semelles filantes sous les murs B.A. et de massifs isolés sous les poteaux, reliés en façade par des longrines. Les panneaux bois reposent sur un soubassement B.A. ou sur les longrines.
Des tirants antisismiques relient les semelles isolées des poteaux intérieurs. Les longrines, ou le dallage quand il n'y a pas de poteau intérieur, jouent ce rôle en périphérie.
La "zone bassin" comprend un niveau de sous-sol pour loger les locaux techniques de la piscine.



Réseau Canopé - Banque Nationale des Sujets d'Examen professionnel

CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX UTILISÉS SUR L'OUVRAGE :

Béton armé

- ✓ Béton C25/30 : f_{ck} = 25 MPa
- ✓ Armature B500B : f_{yk} = 500 MPa
- ✓ Poids volumique du béton armé : $\gamma_{B.A.}$ = 25 kN/m^3
- ✓ B.A. situés à l'intérieur du bâtiment : classe d'exposition XC1 (ou XC3 "zone bassin")

Acier pour croix de contreventement : S275

- ✓ Limite élastique : f_y = 275 MPa
- ✓ Module d'élasticité longitudinale (module d'Young) : E = 2,1.10^5 MPa
- ✓ Coefficient partiel de sécurité sur les résistances, ELU : γ_{M0} = 1

Bois de charpente en lamellé collé homogène: L.C. GL24h

- ✓ Poids volumique : γ_{GL24h} = 4,4 kN/m^3
- ✓ Résistance caractéristique vis-à-vis de la flexion : $f_{m,k}$ = 24 MPa
- ✓ Résistance caractéristique vis-à-vis du cisaillement : $f_{v,k}$ = 2,7 MPa
- ✓ Valeur caractéristique moyenne du module d'élasticité axiale : $E_{0,mean}$ = 11600 MPa
- ✓ Coefficient γ_M : γ_M = 1,25
- ✓ Coefficient k_{mod} (*action à court terme : neige*) : k_{mod} = 0,9
- ✓ Coefficient k_h (*poutre de 520mm de hauteur < 600*) : k_h = 1,014
- ✓ Coefficient k_{def} : k_{def} = 0,8

("Zone bassin", prenant en compte l'augmentation de la déformation en fonction du temps sous les effets du fluage et de l'humidité. L'élément étudié est situé dans un local dont le taux d'humidité relative est élevé mais <85% donc classe de service 2)

CHARGES SURFACIQUES :

Charges permanentes

- Plancher haut du REZ, "zone vestiaire"(*hors poids de la dalle*)
  - *coté dalle principale sur "prédalles"* : 0 kN/m^2
  - *coté dalle pleine* : 1 kN/m^2
- Plancher haut du N+1, "zone vestiaire"(*hors poids de la dalle*)
  Etanchéité + isolant + gravier : 2 kN/m^2
- Toiture, "zone bassin" :
  Bac acier + isolant + étanchéité : 0,6 kN/m^2

Charges d'exploitation

- Plancher haut du REZ, "zone vestiaire" (*exploitation*) : 2,5 kN/m^2
- Plancher haut du N+1, "zone vestiaire" (*entretien - 10m²*) : 0,8 kN/m^2

Charge de neige

- Altitude 510m (H<1000m), p≤3%, zone E : 1,71 kN/m^2

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

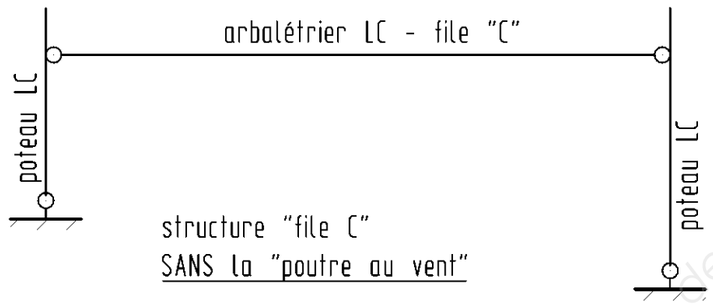
TRAVAIL DEMANDE

ÉTUDE A - Vérification du contreventement.

Dans la "zone bassin" (DT1, DT2), les efforts horizontaux exercés sur la structure bois (voir le plan de charpente DT3, DT4), dans le sens transversal (direction des "files A", "B","C",...), sont transmis par l'intermédiaire d'une "poutre-au-vent" longitudinale, d'un côté (file A) au refend BA de la zone "vestiaire" et de l'autre (file G) à la "palée de stabilité" (croix de contreventement, dite "croix de St André").
La pression du vent est appliquée sur les panneaux de façade qui prennent appui, en pied sur le soubassement en béton et en tête sur les pannes de rives (file 1). Ces dernières s'appuient, selon les files, sur des "butons" (exemple : file B) ou des "arbalétriers" (exemple : file C) qui transmettent les efforts à la "poutre-au-vent " longitudinale.
La pente de 3% de la toiture est négligée.
Vous êtes chargé(e) de vérifier la stabilité d'éléments, ainsi que la résistance et la déformation de la "palée de stabilité".

Q1. Par quels éléments, les charges de vent passent-elles du panneau de façade à la croix de contreventement ?

Soit, ci-dessous, le schéma mécanique modélisant la structure sur la "file C",
SANS la "poutre au vent":

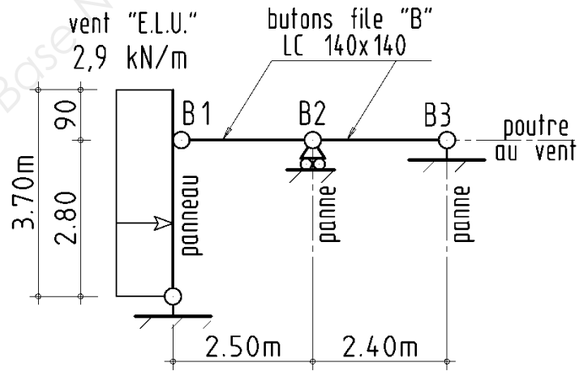


Q2. Démontrer que cette structure est "hypostatique" (instable). Préciser le nombre de degré(s) de liberté que doit bloquer la "poutre au vent" pour la rendre isostatique.

Soit, ci-contre, le schéma mécanique modélisant :
- *la structure de la « file B ».*
- *la charge de vent (à E.L.U.) reprise par la "file B".*

La pression du vent exercée sur les panneaux de façade (long pan, façade nord) est:

W_k = 50,5daN/m²



Q3. Démontrer que la structure est isostatique.

Q4. Justifier la valeur de 2,9 kN/m (pondérée à l'E.L.U.) prise comme charge de vent.

Q5. Calculer l'effort dû au vent dans les deux butons.

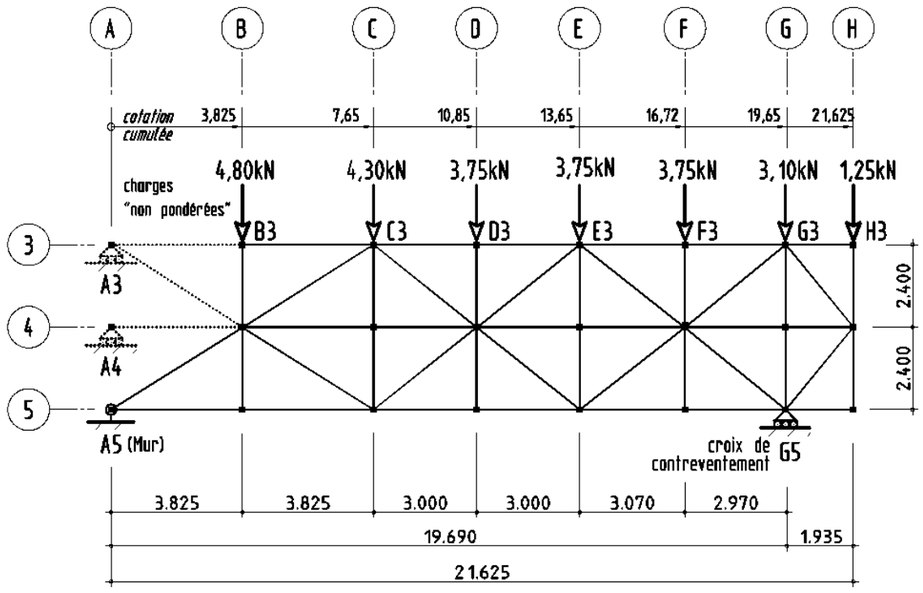
L'effort sismique maxi (pondéré) appliqué par ailleurs aux butons est $N_{sis,Ed}$ = 23,5kN
La résistance de calcul, prenant en compte la sensibilité au flambement du buton (barre "B1-B2") ayant la plus faible capacité portante, est "$K_c . f_{c,0,d}$*" = 17MPa*

Q6. Vérifier la résistance des butons sous l'effort sismique maxi $N_{sis,Ed}$.

Q7. Justifier, sans calcul, la différence de capacité portante des deux butons alors qu'ils ont la même section "140x140".

Q8. Peut-on, sans avoir à reprendre le calcul de la capacité portante, remplacer la section carrée des butons "140x140 mm²", par une section rectangulaire d'aire équivalente "100x196 mm²" ? Justifier.

Soit, ci-dessous, le schéma mécanique modélisant :
- *la structure simplifiée de la "poutre-au-vent". Les appuis "A3" et "A4", sur le refend B.A. de la file "A", ont été négligés. La structure est alors "isostatique extérieurement" (l'articulation en A5 et l'appui simple en G5 stabilisent la "poutre-au-vent").*
- *les charges "au vent" (non pondérées) exercées sur la façade nord ("file 1") et transmises par les butons ou les arbalétriers selon les files.*

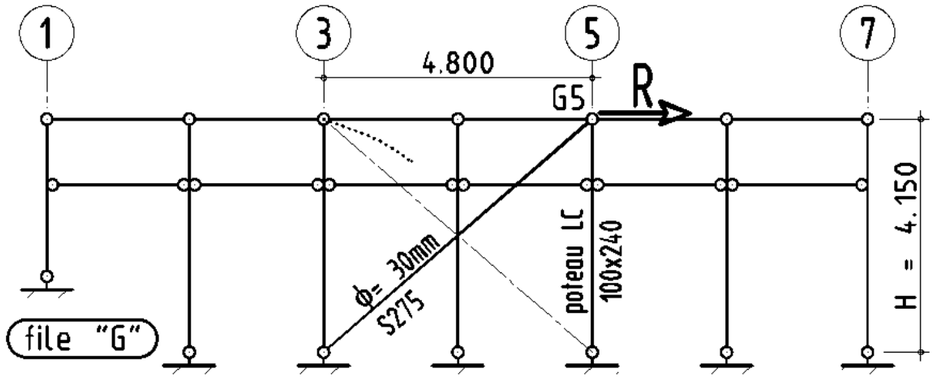


Q9. Déterminer l'action, non pondérée, exercée au point "G5" par la "poutre-au-vent", sur la "croix de contreventement".

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

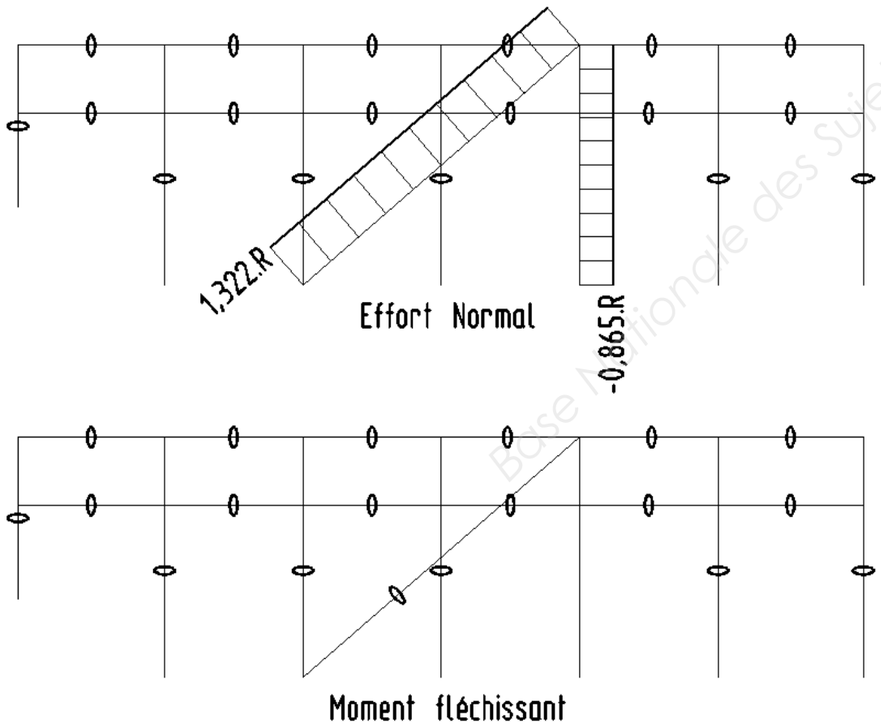
Soit, ci-dessous, le schéma mécanique modélisant :

- *La structure de la « file G ».*
  La barre comprimée de la "croix de St André" n'est pas prise en compte
  L'effort "R" transmis par la "poutre-au-vent" qui représente, selon le cas étudié :
  - ✓ *L'effort de vent combinant les effets "au vent" sur la façade nord ("file 1") et "sous le vent" sur une partie de la façade sud ("file 7"): R_{vent} = 22,5 kN (non pondéré)*
  - ✓ *L'effort sismique: R_{sis} = 72 kN (pondéré)*



Q10. Pourquoi peut-on négliger la barre comprimée de la « croix de St André » ?

Les résultats de l'étude des sollicitations (efforts normaux et moments "fléchissant"), dans les différentes barres de cette structure sont donnés ci-dessous.
Les valeurs sont exprimées en fonction de l'effort "R" appliqué en G5.



Q11. Calculer Δ_H^{G5}, le déplacement horizontal du point "G5" sous l'action du vent "R_{vent}" et vérifier qu'il ne dépasse pas H/500, la valeur limite selon l'E.C.5.

Nota: Le "théorème de Bertrand de Fonviolant" (Formulaire F1 page12), doit être appliqué ici au cas des "poutres bi-articulées".

Q12. Vérifier, selon l'EC3, la résistance de la section (Φ 30mm en acier S275) de la barre de contreventement quand la structure est soumise à l'effort sismique "R_{sis}".

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

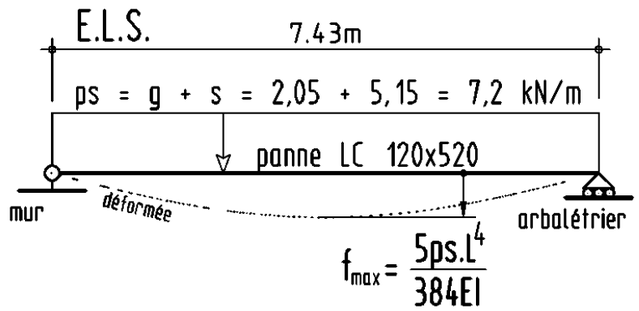
ÉTUDE B - Vérification de la "panne 3", E.L.S. de déformation et E.L.U. de résistance.

La couverture de la "zone bassin" est constituée de "bacs acier" appuyés sur des pannes en bois lamellé collé. Ils sont recouverts d'un isolant thermique et d'une étanchéité de type "bicouche".
La présence des butons à mi-portée empêche la panne de déverser.
*Vous êtes chargé(e) de vérifier la **"panne 3"** (DT3: la panne est sur la file 3, entre les files A et C).*

Q13. Déterminer les charges linéaires (en kN/m), permanente "g" et de neige "s", appliquées à la "panne 3".

*nota: - Pour cette question, on considère un appui "**isostatique**" des bacs sur les pannes.*
- On ne tiendra pas compte de la présence de la « poutre au vent ».

Le cas de charges à prendre en compte pour la vérification de la "panne 3" à l'E.L.S. de déformation est défini ci-dessous (les valeurs calculées à la question "Q13." ont été ici majorées pour tenir compte de la continuité d'appui des bacs sur les pannes)



Voir les extraits de l'E.C.5 (bois)

Q14. Vérifier la flèche instantanée sous charge variable (neige)

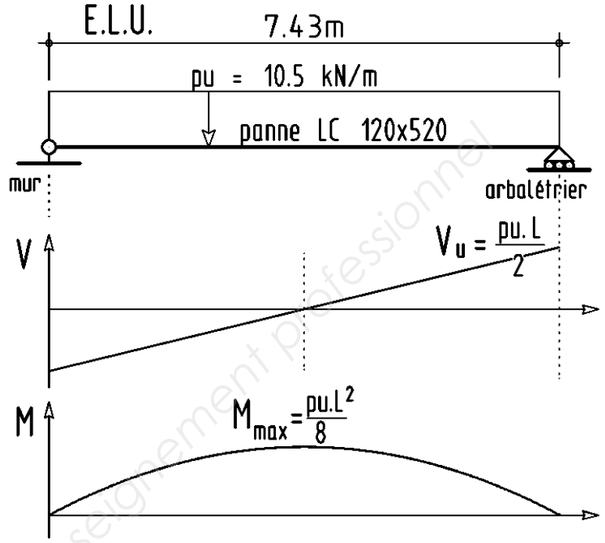
$$v_{inst}(Q) = v_{inst}(s)$$

Q15. Vérifier la flèche finale

$$v_{net,fin} = v_{fin} = v_{inst}(g).(1 + k_{def}) + v_{inst}(s)$$

Q16. Justifier que le fluage sous charge variable ne soit pas pris en compte pour ce calcul.

Le cas de charges à prendre en compte pour la vérification de la "panne 3" à l'E.L.U. de résistance est défini ci-dessous.



Cas des sections rectangulaires:

- Contraintes tangentielles

$$\tau_d = 1{,}5.\frac{V_{Ed}}{b.h}$$

- Contraintes normales

$$\sigma_{m,d} = 6.\frac{M_{Ed}}{b.h^2}$$

Q17. Vérifier le critère de résistance de la section sous "contraintes de cisaillement ".

Q18. Vérifier le critère de résistance de la section sous "contraintes normales ".

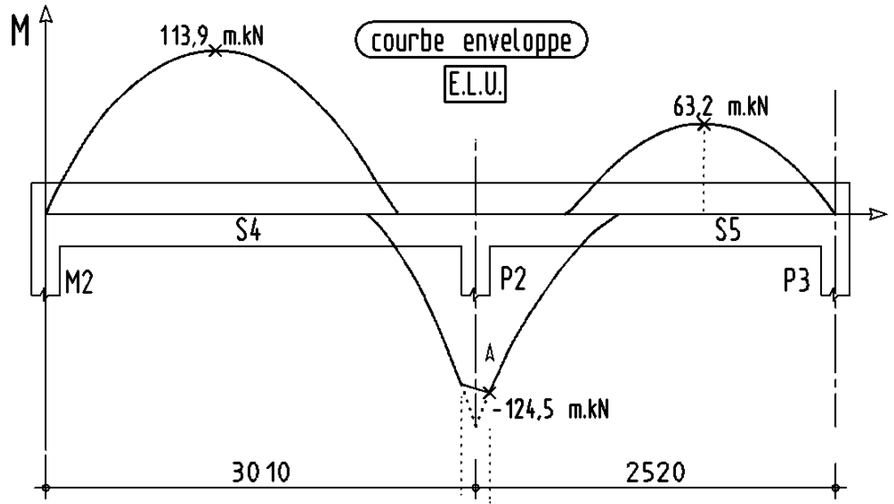
Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

ÉTUDE C - Contrôle des aciers longitudinaux - poutre S4-S5 (plancher haut RDC)

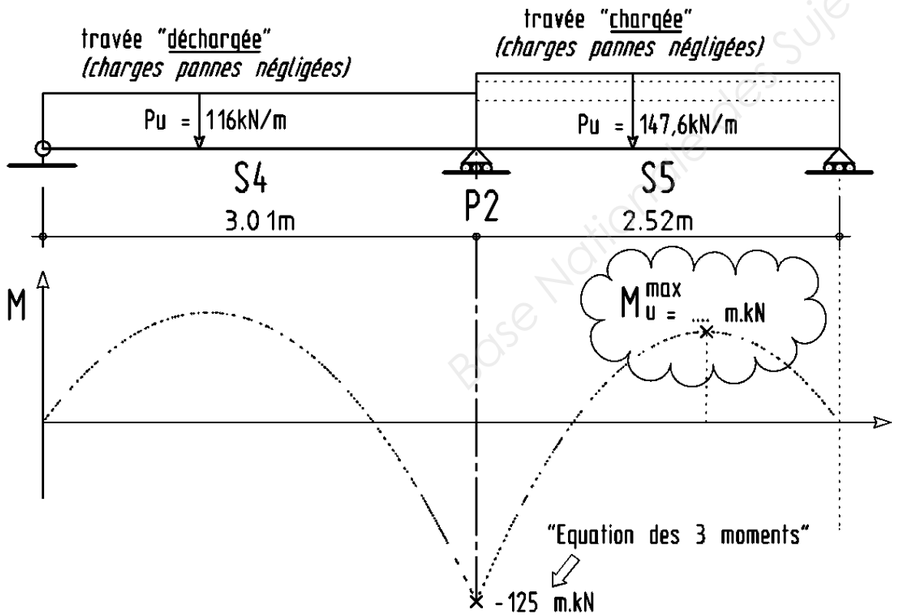
(DT5) Vous êtes chargé(e) de vérifier :
- *le moment maxi en travée "S5"*
- *la section d'aciers longitudinaux réelle proposée pour la "travée S4"*

➢ Moment maximum en travée "S5"

Ci-dessous, la courbe enveloppe des moments "fléchissant" à l'E.L.U.sur la poutre continue.



On souhaite vérifier rapidement l'ordre de grandeur du moment maxi en "travée S5" (63,2mkN).
Pour cela on adopte un schéma mécanique simplifié (ci-dessous) qui néglige les charges amenées par les "pannes 2&3" dans la "travée S4".

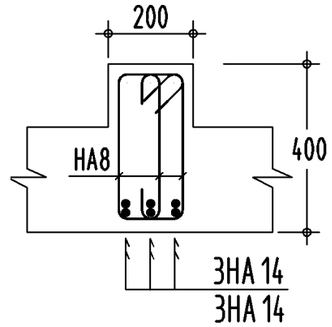


Le moment sur l'appui intermédiaire "P2" a été déterminé en appliquant "l'équation des 3 moments " à ce schéma mécanique: M_{p2} = -125 m.kN

Q19. Calculer la valeur du moment maximum en "travée S5" et comparer avec la valeur de la courbe enveloppe. Conclure sur l'influence des charges amenées par les pannes.

➢ Vérification de la section d'aciers longitudinaux proposée pour la "travée S4"

La section d'aciers réelle proposée en "travée S4" (ci-contre) a été déterminée en prenant l'hypothèse d'une hauteur utile "d = 0,9h" (hypothèse couramment admise pour une poutre).



Cette poutre est située dans la zone "piscine", ce qui l'expose à un taux d'humidité relative "moyen à élevé".
La classe d'exposition est alors XC3, ce qui porte l'enrobage à 35mm.
En prenant en compte la proposition de 6HA14, l'enrobage de 35mm et un HA8 pour les cadres, la hauteur utile réelle est estimée à **"$d_{réel}$" =** *343mm.*

Q20. Comparer la valeur de "$d_{réel}$" à la valeur "d= 0,9h" et expliquer pourquoi le calcul de la section d'aciers longitudinaux doit être repris.

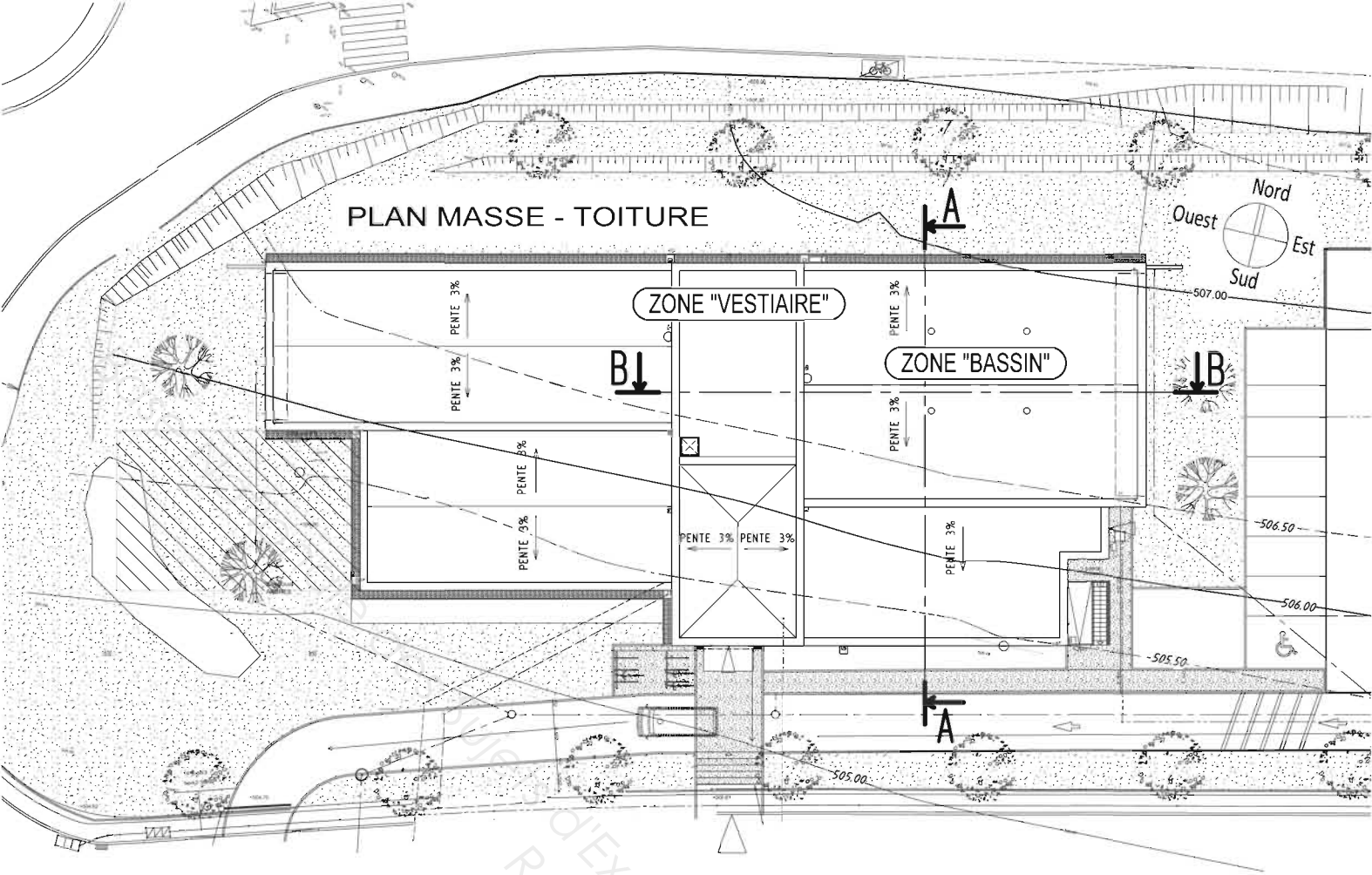
Ci-dessous le détail du calcul initial de la section d'aciers avec l'hypothèse "d = 0,9h".

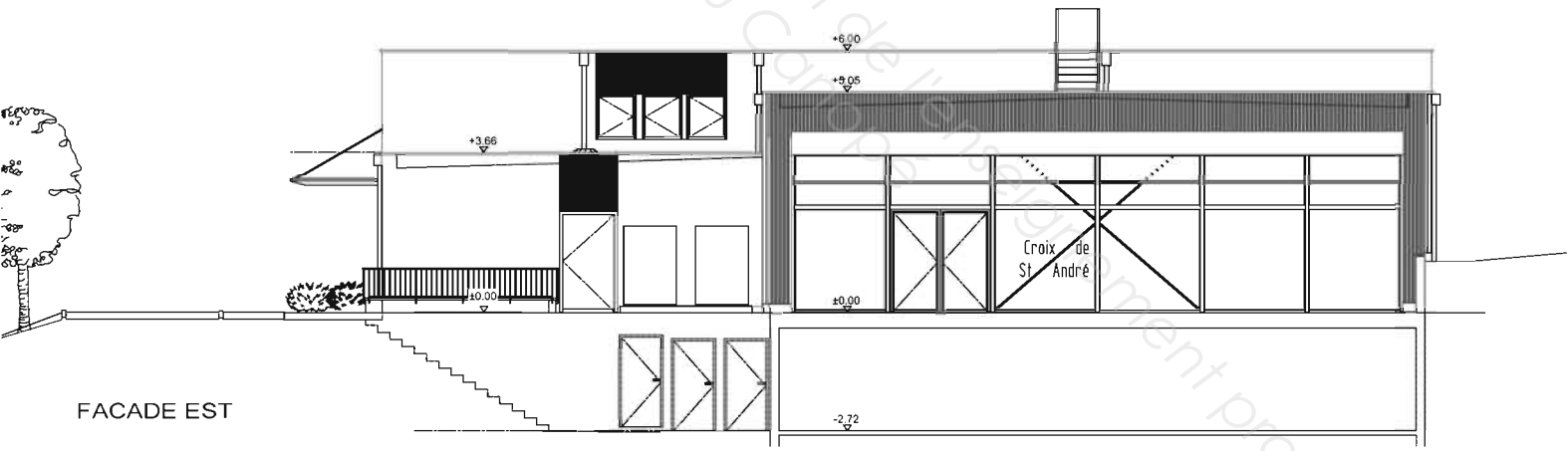
moment E.L.U.	hauteur utile	moment réduit	proportion béton comp.	hauteur (mm) béton comp.	bras levier (mm)	sect. (cm²) calculée	sect. (cm²) minimum	sect. (cm²) maximum	sect. (cm²) réelle
Mu (m.kN)	d (mm)	μ_u	α_u	χ_u	Z_u	$A_{s,cal.}$	$A_{s,min}$	$A_{s,max}$	$A_{s,rél.}$
113,9	0,9h=360	0,2637	0,3906	140,62	303,75	8,62	0,96	32	6HA 14
	$d_{réel}$=343	*reprise des calculs*			*avec la hauteur utile réelle*				

Q21. Reprendre le calcul de la section d'aciers $A_{s,cal}$ en utilisant "$d_{réel}$" = 343mm, puis comparer cette nouvelle valeur avec :
- **la section $A_{s,cal}$ du premier calcul**
- **la section $A_{s,réelle}$ = 6HA14 (9,24 cm²)**

et conclure.

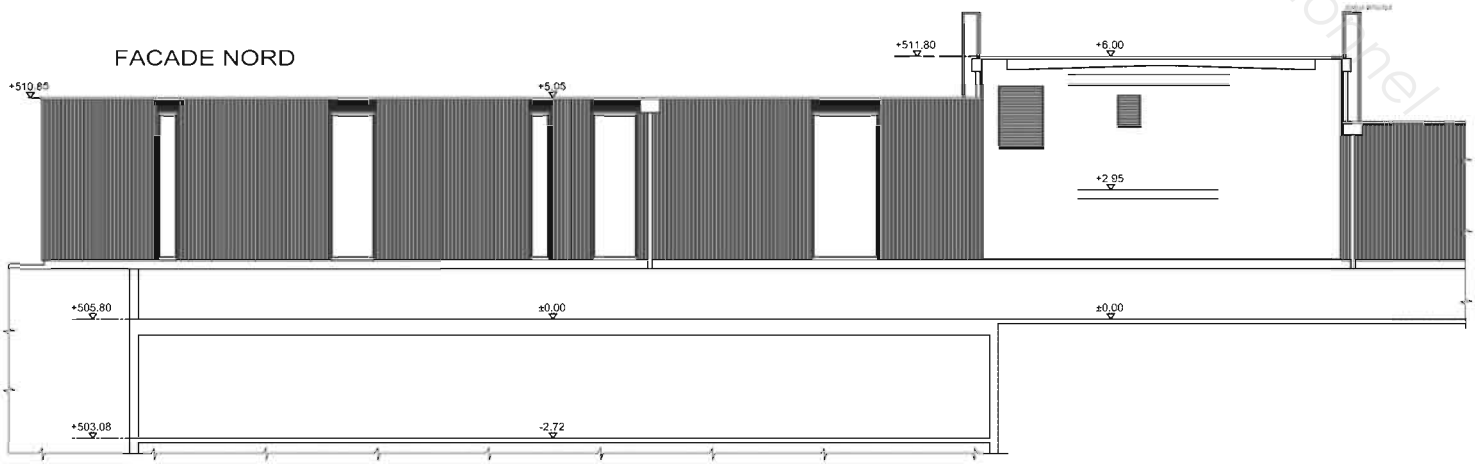
Base Nationale Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé





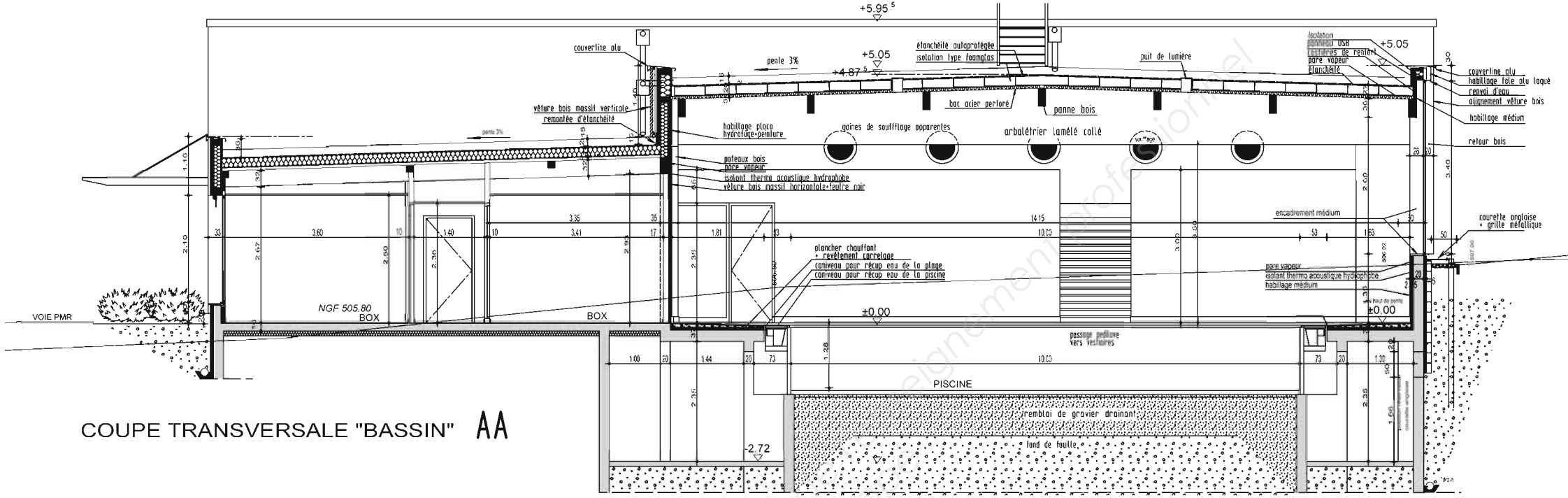
FACADE EST

FACADE NORD

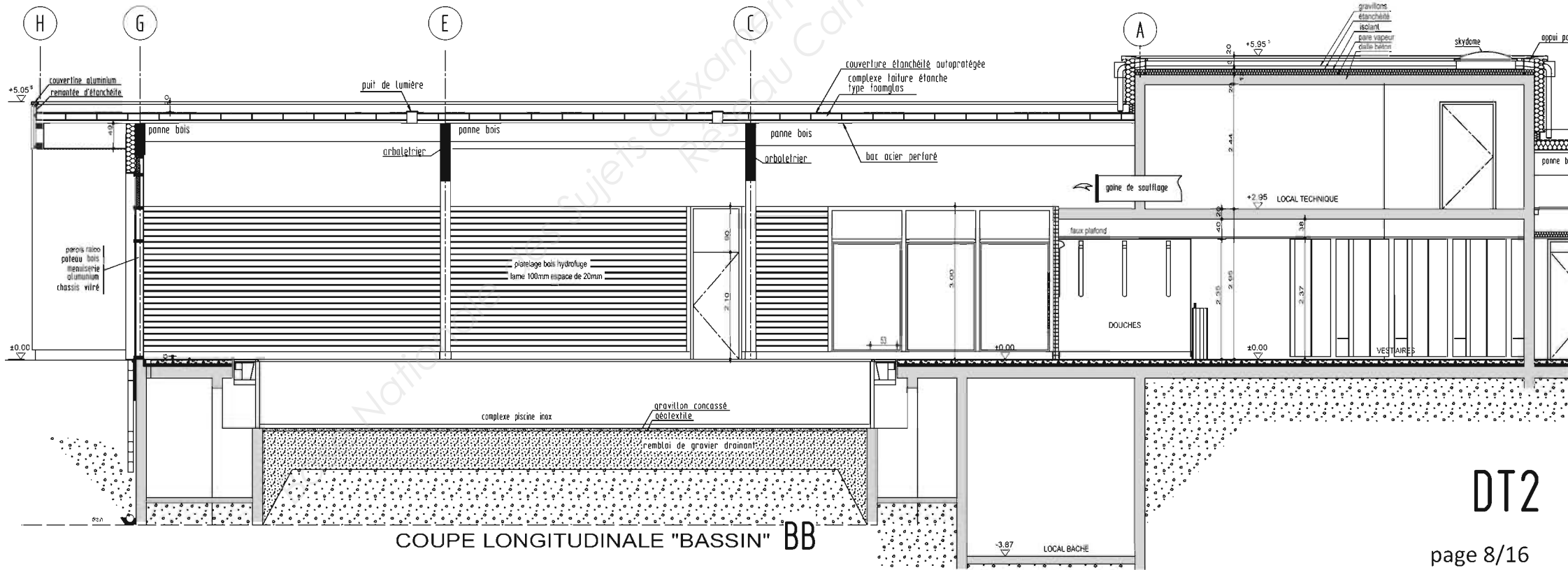


Dossier d'Examen de l'Aménagement professionnel
Réseau Canopé

DT1

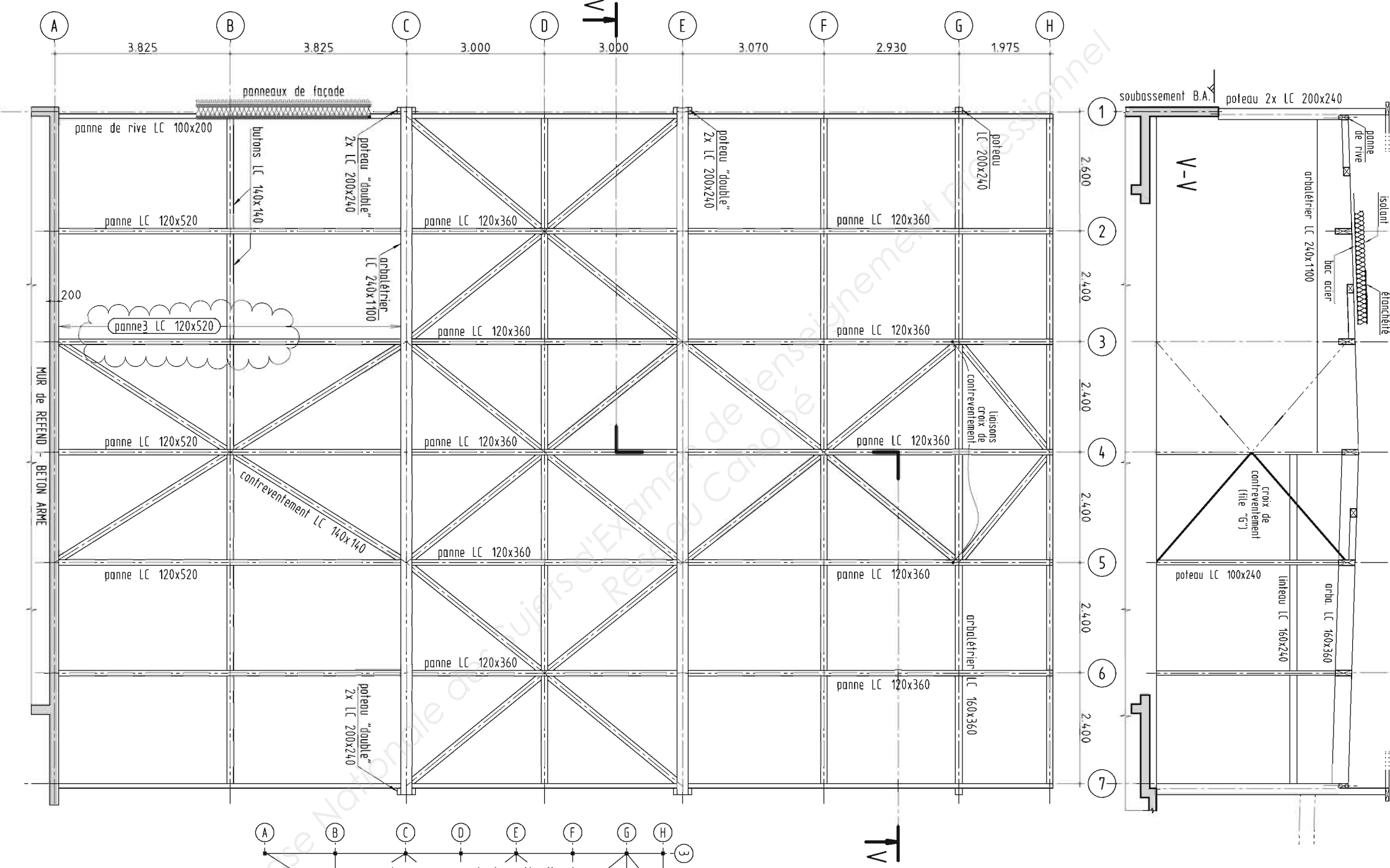


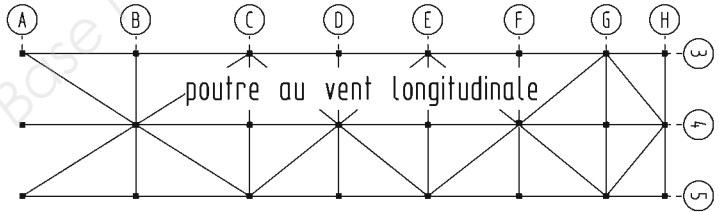
COUPE TRANSVERSALE "BASSIN" AA



COUPE LONGITUDINALE "BASSIN" BB

DT2

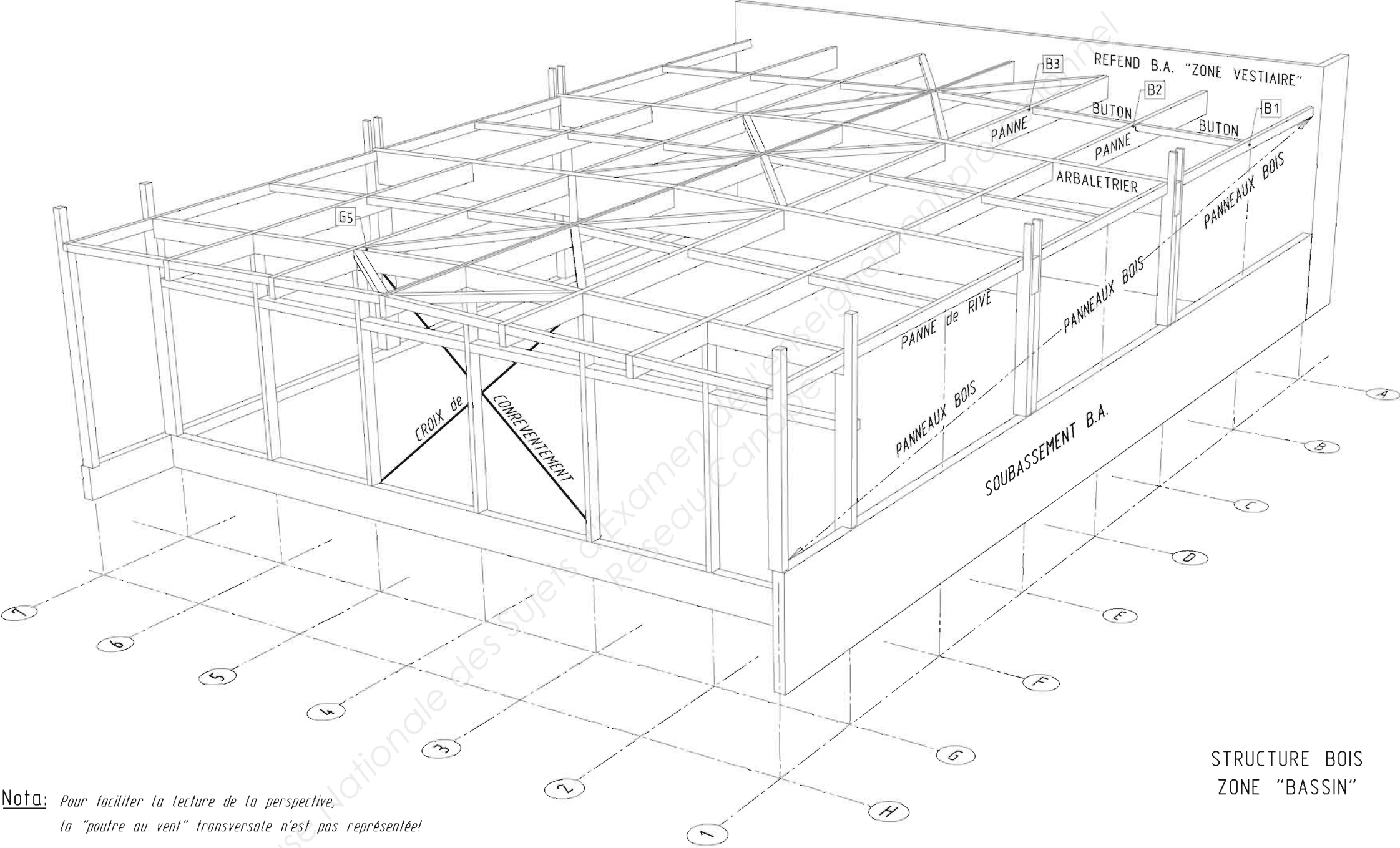




PLAN DE CHARPENTE
"ZONE BASSIN"

DT3

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

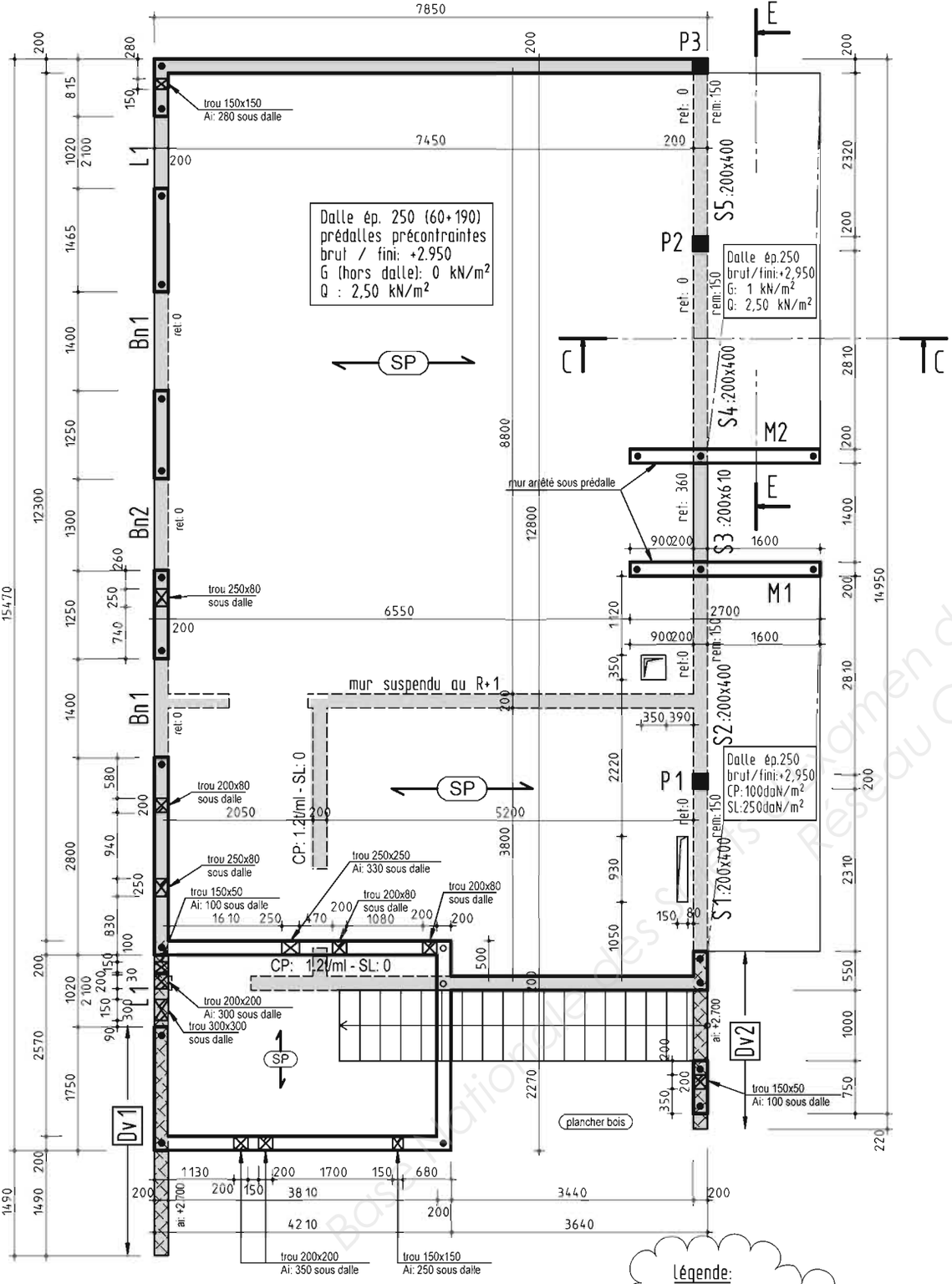


STRUCTURE BOIS
ZONE "BASSIN"

Nota: *Pour faciliter la lecture de la perspective,*
la "poutre au vent" transversale n'est pas représentée!
la "poutre au vent" longitudinale est représentée avec sa "croix de cronteventement"

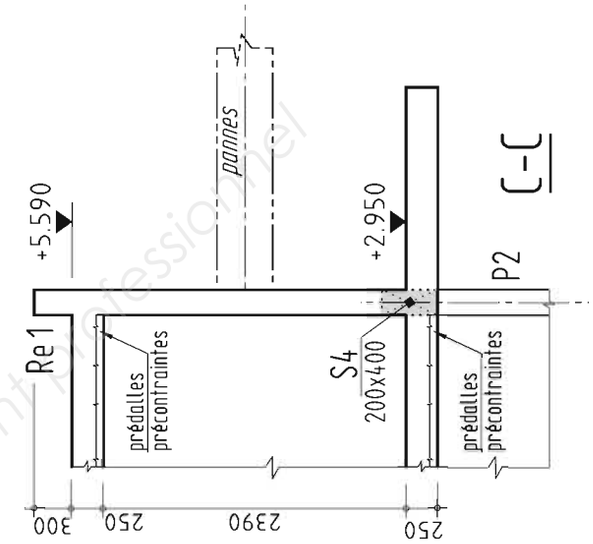
Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

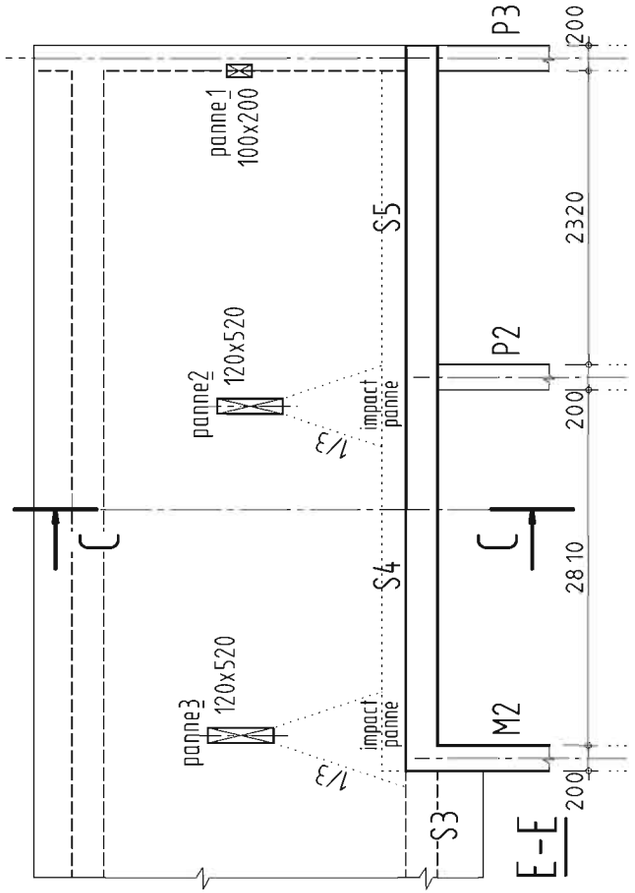
DT4



PH Niveau REZ Echelle au 1/75è

COFFRAGE





Echelle 1/50

DT5

Base nationale des sujets d'examen de l'enseignement professionnel
Réseau Canopé

Théorème de Muller-Breslau (autre forme du théorème de Castigliano ou théorème de Bertrand de Fonviolant)

$$\Delta_j = \int_{structure} \frac{M \times \bar{M}_j}{EI} dx$$

E : Module d'élasticité longitudinale ou module d'Young
I : Moment quadratique
Δ_j : Déplacement au point j,

M : Moment de flexion, dans la structure étudiée (S)

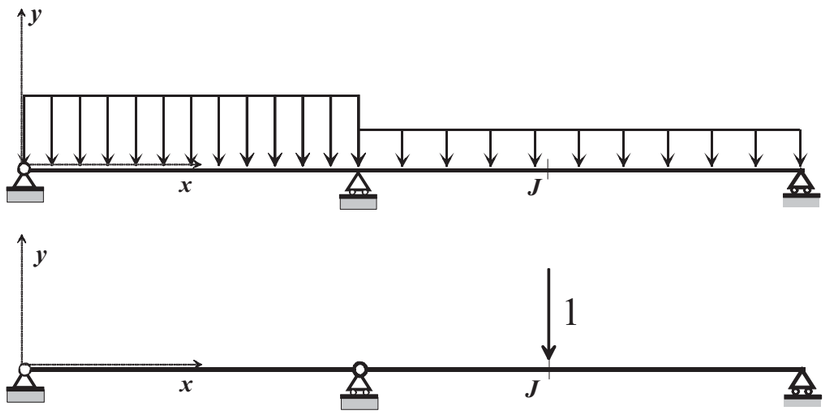
$\bar{M}_j$: Moment de flexion, dans $(\bar{S}_j)$ qui correspond à la structure initiale (S) soumise à un facteur sollicitant unité (force unité ou couple unité =1) appliqué au point j.

Dans le cas de structures composées de poutres et de barres bi-articulées :

$$\Delta_j = \int_{structure} \frac{M \times \bar{M}_j}{EI} dx + \sum_{poutres\ bi-articulées} \frac{N \times \overline{N}_j}{EA} L$$

Théorème 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) $(\bar{S}_J^0)$

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

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

$M(x)$: ***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 ***.***

Dans le cas de structures composées de poutres et de barres bi-articulées :

$$\Delta_j = \int_{structure} \frac{M \times \bar{M}_j^0}{EI} dx + \sum_{poutres\ bi-articulées} \frac{N \times \overline{N}_j^0}{EA} L$$

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

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

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.

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

Résistance des sections transversales TENDUES

Caractéristiques géométriques des sections transversales

Aire brute (A)

Elle est calculée en utilisant les dimensions nominales sans déduire les trous pratiqués pour les fixations, mais il faut tenir compte des ouvertures plus importantes.

Aire nette (A_{net})

Elle est égale à l'aire brute diminuée des aires des trous et autres ouvertures.

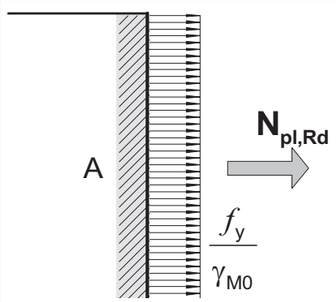
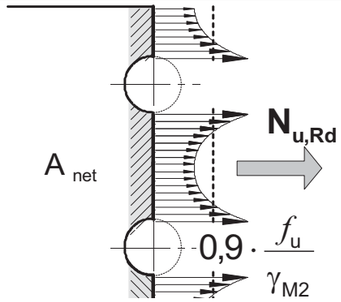
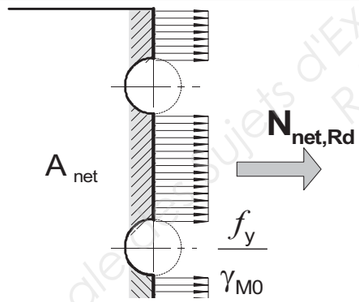
Effort axial de traction (N)

On doit vérifier : $N_{Ed} \le N_{t.Rd} = min(N_{pl,Rd}, N_{u,Rd}, N_{net,Rd})$ où

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

$N_{t,Rd}$ = Résistance de calcul à la traction de la section, prise comme la plus petite des valeurs suivantes :

Lorsqu'un comportement ductile est requis, c'est à dire lorsque la section brute doit se plastifier avant la rupture de la section nette, il convient de vérifier la condition supplémentaire : $N_{u,Rd} \ge N_{pl,Rd}$

SECTION BRUTE (en partie courante)	**SECTION NETTE** (perçages déduits au droit des assemblages)	
On considère que l'état de plastification est atteint sur toute la section transversale.	**Assemblage par boulons ordinaires :** *Il y a amplification des contraintes de traction au droit des perçages.*	**Assemblage par boulons précontraints (HR) :** *L'étreinte latérale permet une répartition quasi uniforme des contraintes de traction*
		
Résistance plastique de calcul de la section brute $N_{pl,Rd} = A\frac{f_y}{\gamma_{M0}}$	**Résistance ultime de calcul de la section nette au droit des trous de fixations** $N_{u,Rd} = 0{,}9A_{net}\frac{f_u}{\gamma_{M2}}$ Validité de cette expression : attaches symétriques. Pour des cornières assemblées par une seule aile et autres types de sections assemblées par des parois en console, se référer à : EN 1993-1-8 clause 3.6.3	**Résistance plastique de la section nette, à considérer dans le cas d'assemblages par boulons HR précontraints 8.8 ou 10.9 (attaches boulonnées de catégorie C) pour lesquels aucun glissement n'est autorisé.** $N_{net,Rd} = A_{net}\frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

COMBINAISONS FONDAMENTALES :

États 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 $i \ge 2$) ;
- $\gamma_{Q,1}$: 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.

Approche 2 : 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**

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

EXTRAIT de l'Eurocode NF EN 1995- BOIS / E.C.5

Tableau des caractéristiques mécaniques et physiques du bois Lamellé collé

Caractéristiques	Symbole	Lamellé collé homogène GL24h	GL28h	GL32h	GL36h	Lamellé collé combiné GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
Propriétés de résistance en N / mm² = MPa									
Flexion	$f_{m,k}$	24	28	32	36	24	28	32	36
Cisaillement	$f_{v,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3	2,2	2,7	3,2	3,8
Propriétés de rigidité en KN / mm² = GPa									
Module moyen d'élasticité axiale	$E_{0,mean}$	11,6	12,6	13,7	14,7	11,6	12,6	13,7	14,7
Masse volumique en Kg/m^3									
Masse volumique moyenne évaluée en fonction de la masse volumique caractéristique : $\rho_{mean} = 1{,}15\rho_{g,k}$	ρ_{mean}	440	470	495	520	405	440	470	495
Pour simplifier : poids volumique		5 KN/m^3				5 KN/m^3			

Tableau des caractéristiques mécaniques et physiques du BM (bois massif type résineux)

Caractéristiques	Symbole	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30
Propriétés de résistance en N / mm² = MPa								
Flexion	$f_{m,k}$	14	16	18	22	24	27	30
Cisaillement	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2	2,4	2,5	2,8	3
Propriétés de rigidité en kN / mm² = GPa								
Module moyen d'élasticité axial	$E_{0,mean}$	7	8	9	10	11	11,5	12
Masse volumique en Kg/m^3								
Masse volumique moyenne	ρ_{mean}	350	370	380	410	420	450	460

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

Vérification simplifiée des contraintes normales selon l' Eurocode NF EN 1995 limitée à la flexion simple

Critère de résistance d'une section / contraintes normales $\dfrac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$

$f_{m,d}$: **Résistance de calcul à la flexion du bois :** $f_{m,d} = k_h \times k_{mod} \times \dfrac{f_{m,k}}{\gamma_M}$

$\sigma_{m,d}$: **contrainte max. de calcul en flexion (sur les fibres extrêmes) engendrée par le moment de flexion M à l'E.L.U. ;**

$f_{m,k}$: **résistance caractéristique à la flexion du bois ;**

γ_M : **coefficient partiel de propriété du matériau pour le bois à l'E.L.U. ;**

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.**

Vérification simplifiée des contraintes de cisaillement selon l' Eurocode NF EN 1995

Critère de résistance d'une section au cisaillement : $\dfrac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$

$f_{v,d}$: **résistance de calcul au cisaillement du bois** $f_{v,d} = k_{mod} \times \dfrac{f_{v,k}}{\gamma_M}$

τ_d : **contrainte max. de cisaillement engendrée par l'effort tranchant V à l'E.L.U. ;**

$f_{v,k}$: **résistance caractéristique au cisaillement du bois ;**

γ_M : **coefficient partiel de propriété du matériau pour le bois à l'E.L.U. ;**

k_{mod} : **coefficient modificatif pour classes de service (pour tenir compte de l'humidité du matériau) et classes de durée de chargement.**

valeurs des principaux coefficients

Classes de service

Classe 1	**Structure intérieure en milieu sec Milieu protégé (local chauffé)**
	Taux d'humidité de l'air : < 65%
	Taux d'humidité du bois : 7% < H% < 13%
Classe 2	**Milieu abrité Milieu extérieur non exposé**
	Taux d'humidité de l'air : < 85%
	Taux d'humidité du bois :13 % < H% < 20%
Classe 3	**Milieu extérieur exposé**
	Taux d'humidité du bois : H% > 20% Liaisons avec le sol, l'eau.

Classes de durée de charge

Classe de durée de charge	Ordre de grandeur de la durée cumulée de l'application d'une action	Exemple d'action
Permanente	> 10 ans	Poids propre
Long terme	six mois à 10 ans	Stockage, équipements fixes.
Moyen terme	une semaine à six mois	Charges d'exploitation Charge d'entretien Neige : altitude H≥ 1000 m
Court terme	< une semaine	Neige : altitude H < 1000 m
Instantanée		Vent Situations et actions accidentelles : neige exceptionnelle,…

Valeur du coefficient k_{mod}

Matériau	Classe de durée de charge	Classe de service 1	2	3
BM : bois massif LC :lamellé collé	Permanente	0,60	0,60	0,50
	Long terme	0,70	0,70	0,55
	Moyen terme	0,80	0,80	0,65
	Court terme	0,90	0,90	0,70
	Instantanée	1,10	1,10	0,90

Nota : lorsque dans une combinaison, on a des charges de durée variable, on prend le k_{mod} de la plus faible durée.

Coefficients partiels pour les propriétés des matériaux γ_M

ÉTATS LIMITES ULTIMES		
MATERIAUX	Bois massifs	1,30
	Lamellé collé	1,25
ÉTATS LIMITES DE SERVICES		1,00

coefficient de hauteur k_h

est la hauteur de la pièce (pour la flexion).

h	k_h BM bois massif	k_h LC lamellé collé
	si $h \geq 150$ mm $k_h = 1$	si $h \geq 600$ mm $k_h = 1$
	si $h \leq 150$ mm $k_h = min\left[1{,}3;\left(150/h\right)^{0,2}\right]$	si $h \leq 600$ mm $k_h = min\left[1{,}1;\left(600/h\right)^{0,1}\right]$

Coefficient k_h pour BM

	150	145	140	135	130	125	120	115	110	105	100	95
k_h	1,00	1,01		1,02	1,03	1,04	1,05		1,06	1,07	1,08	1,10

	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35
k_h	1,11	1,12	1,13	1,15	1,16	1,18	1,20	1,22	1,25	1,27	1,30	

Coefficient k_h pour LC

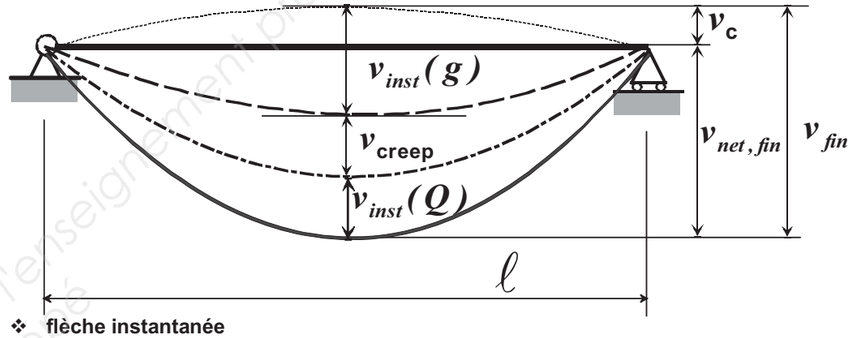
	600 à 575	570 à 520	515 à 470	465 à 430	425 à 390	385 à 355	350 à 320	315 à 300
k_h	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07

Calcul de la flèche E.L.S.

Notations et définitions

- La contreflèche, si elle existe, est notée : v_c .
- La flèche instantanée : v_{inst} .
- La flèche différée (fluage), v_{creep} uniquement sous charges permanentes ou quasi permanentes
- La flèche finale $v_{fin} = v_{inst} + v_{creep}$
- La flèche résultante finale $v_{net,fin} = v_{fin} - v_c = v_{inst} + v_{creep} - v_c$

Dans le cas d'éléments sans contreflèche : $v_{net,fin} = v_{fin} = v_{inst} + v_{creep}$



❖ **flèche instantanée**

flèche instantanée due aux charges permanentes : $v_{inst}(g)$

flèche instantanée due aux charges variables : $v_{inst}(Q)$, part de la flèche instantanée due uniquement aux actions variables.

Q représente soit les charges variables d'exploitation q, soit les charges variables de neige s, soit les charges variables de vent w, soit une combinaison de plusieurs de ces actions variables.

Il convient de calculer la déformation, à partir d'une combinaison d'actions, comme la combinaison des contributions des actions individuelles. La possibilité d'avoir deux actions variables simultanées peut être prise en compte au travers des facteurs ψ_0 .

$v_{inst}(q)$ flèche instantanée due aux charges variables d'exploitation

$v_{inst}(s)$ flèche instantanée due aux charges variables de neige

$v_{inst}(w)$ flèche instantanée due aux charges variables de vent

❖ **La déformation du bois sous l'effet des charges permanentes s'accroît avec le temps, c'est le phénomène de fluage**. On calculera la flèche due au fluage notée v_{creep} uniquement pour les charges permanentes ou quasi permanentes de la manière suivante :

Actions permanentes (g) $v_{creep}(g) = k_{def} \times v_{inst}(g)$;

Actions quasi permanentes partie de q = $\psi_2 \times q$, ou partie de s = $\psi_2 \times s$ (si altitude > 1000 m)

$$v_{creep}(Q) = k_{def}\psi_2 \times v_{inst}(Q)$$

k_{def} coefficient prenant en compte l'augmentation de la déformation en fonction du temps sous les effets du fluage pour les 3 classes de service (fonction de l'humidité).

Réseau National des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel
Tous droits réservés

❖ **flèches finales**

flèche finale due aux charges permanentes prenant en compte le fluage et l'humidité

$$v_{fin}(g) = v_{inst}(g) + v_{creep}(g) \qquad \text{soit} \qquad v_{fin}(g) = v_{inst}(g) \times (1 + k_{def})$$

flèche finale due aux charges variables prenant en compte le fluage et l'humidité

$$v_{fin}(Q) = v_{inst}(Q) + v_{creep}(Q) \qquad \text{soit} \qquad v_{fin}(Q) = v_{inst}(Q) \times (1 + \psi_2 k_{def})$$

flèche finale due aux charges variables de neige prenant en compte le fluage et l'humidité

- si l'altitude de la construction est inférieure à 1000 m $v_{fin}(s) = v_{inst}(s)$
- si l'altitude de la construction est supérieure à 1000 m $v_{fin}(s) = v_{inst}(s) \times (1 + 0{,}2 k_{def})$

flèche finale due aux charges variables d'exploitation prenant en compte le fluage et l'humidité

$$v_{fin}(q) = v_{inst}(q) \times (1 + \psi_2 k_{def})$$

les valeurs de ψ_2 sont données dans le tableau A1.1(F) du paragraphe 8.2.2

flèche finale due aux charges variables de vent

$$v_{fin}(w) = v_{inst}(w)$$

On vérifiera que les flèches $v \le v_{lim}$ (flèches verticales ou horizontales limites)

Valeurs de k_{def}

Valeurs de k_{def}

MATERIAU	Classe de service		
	1	2	3
Bois Massif	**0,60**	**0,80**	**2,00**
Lamellé Collé	**0,60**	**0,80**	**2,00**

Valeurs limites recommandées de flèches : tableau 7.2 de l'EC5

Valeurs limites pour les flèches verticales ou horizontales	Bâtiments courants		
Type d'ouvrage	$v_{inst}(Q)$	$v_{net,fin}$	v_{fin}
Chevrons	-	ℓ /150	ℓ /125
Éléments structuraux	ℓ /300	ℓ /200	ℓ /125

- Les trois valeurs doivent être vérifiées.

ℓ portée de la poutre ou la hauteur de l'élément étudié pour la flèche horizontale.

- Pour les poutres en porte à faux, la longueur fictive ℓ à considérer est égale à deux fois la longueur réelle du porte à faux ; la valeur limite minimum est de 5 mm.
- Panneaux de planchers ou supports de toiture : $v_{net,fin} \le \ell / 250$.
- **Dans le cas d'éléments sans contreflèche, la vérification relative à $v_{net,fin}$ est plus défavorable que celle relative à v_{fin}.**
- **La flèche horizontale est limitée à ℓ /200 pour les éléments individuels soumis au vent ; pour les autres applications, les valeurs limites sont celles données dans le tableau 7.2 de l'EC5.**

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 $f_{yk} = 500$ MPa

diagramme élasto-plastique parfait

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

$p_u = 1{,}35g + 1{,}5q$ kN/m

moment de flexion ELU $M_{Ed} = M_u$

$d \le 0{,}9h$

$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_C$ avec $\gamma_C = 1{,}5$

$c_{min} = max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10mm\}$

Enrobage nominal : $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$

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

$\mu_u \le 0{,}3717$?

Oui

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

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

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

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

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

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

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 : $s \le 15\phi$.

📖 **9.2.1.2 (3)**

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

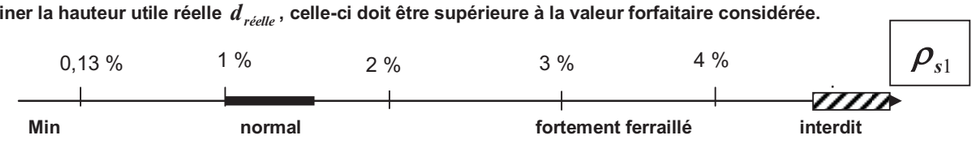
$A_{s1} > A_{s,min} = max\left[0{,}26\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d \;;\; 0{,}0013 \; b_t d\right]$ condition de non-fragilité.

$A_{s1} < 0{,}04 \; A_c$ 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 $z_u = d(1 - 0{,}4\alpha_u) = d\frac{(1 + \sqrt{1 - 2\mu_u})}{2}$

Il faut déterminer la hauteur utile réelle $d_{réelle}$, celle-ci doit être supérieure à la valeur forfaitaire considérée.



Base nationale des Sujets d'Examen 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.