

SESSION 2017

## AGREGATION CONCOURS EXTERNE

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Option : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR  
ET INGÉNIERIE DES CONSTRUCTIONS

CONCEPTION PRÉLIMINAIRE D'UN SYSTÈME,  
D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE ORGANISATION

Durée : 6 heures

*Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

Textes réglementaires :

*NF en 1990 Eurocode 0 : Bases de calcul des structures ;*

*NF en 1991 Eurocode 1 : Actions sur les structures ;*

*NF en 1992 Eurocode 2 : Calcul des structures en béton ;*

*NF en 1993 Eurocode 3 : Calcul des structures en acier ;*

*NF en 1994 Eurocode 4 : Calcul des structures mixtes acier- béton ; Règles TH-Bât .*

*L'usage de tout autre ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB :** *La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.*

Le sujet proposé porte sur la construction d'une crèche située dans la commune de Gennevilliers. La ville s'est engagée, à construire une crèche de 50 berceaux située au sein du groupe scolaire Anatole France, dans le quartier Chandon Brenu Sévines. La crèche a pour ambition de proposer une flexibilité aux usagés en permettant de déposer et de reprendre ses enfants tout au long de la journée.

Les études qui vous sont proposées sont indépendantes les unes des autres.

La **PARTIE 1** porte sur l'environnement et la description de la structure du bâtiment.

La **PARTIE 2** porte sur l'implantation et la réalisation du soubassement et de la dalle du R-d-C.

La **PARTIE 3** porte sur la vérification et le dimensionnement d'éléments de structure.

La **PARTIE 4** traite du confort thermique du bâtiment.

La **PARTIE 5** est une synthèse du travail fait.



## **Partie 1 : Environnement et description de la structure du bâtiment**

### ***Positionnement et objectif de la partie***

*En tant que conducteur de travaux, découvrir le bâtiment et le cadre dans lequel sont organisés les travaux et les consultations des entreprises sous-traitantes.*

- Q1. Le maître d'ouvrage demande une certification Haute Qualité Environnementale® (HQE®) pour cette construction. Décrire le principe d'obtention de ce label ? Qu'apporte concrètement ce label au maître d'ouvrage ?**
- Q2. Pour analyser la structure du bâtiment, renseigner le tableau suivant en se référant aux plans donnés en annexe. Se limiter aux éléments porteurs de la structure.**

Nom de l'élément	Matériau	Forme	Mise en œuvre	Localisation/Niveau
Pieux	Béton Armé	Colonnes circulaires	Coulés en place	Dans le sol
Élément de structure 2	...	...	...	...
...				
Élément de structure i				
...				

---

*Le maître d'ouvrage impose, dans le dossier d'appel d'offres, que les entreprises traitent le marché dans le cadre d'une démarche B.I.M. (Building Information Modeling).*

**Q3. Expliquer pourquoi le maître d'ouvrage souhaite imposer cette procédure de travail ? Quels sont les bénéfices qu'il peut en attendre ?**

**Q4. Expliquer quels sont les principaux attendus et les principales contraintes imposées aux entreprises, dans le cadre d'un processus B.I.M. Distinguer les trois phases suivantes :**

- Phases de conception
- Phases de réalisation
- Livraison des ouvrages

## **Partie 2 : Implantation et réalisation du soubassement et de la dalle du R-d-C**

### ***Positionnement et objectif de la partie***

*En tant que chef de chantier responsable de la réalisation du bâtiment, lire et comprendre les plans d'exécution, les expliquer aux collaborateurs et déterminer des modes opératoires.*

**Q5. A partir du plan de coffrage des fondations (annexe 6), détailler le mode opératoire permettant d'implanter les longrines. Indiquer également le matériel utilisé.**

*Hypothèses :*

- *L'arase supérieure de la dalle brute est prise égale à 0,000 m.*
- *L'arase supérieure des têtes des pieux 36, 37, 38, 25 est prise égale à - 1,350 m.*
- *Les têtes de pieux sont des dés de 0,400 m de hauteur, avec un débord de 0,050 m de part et d'autre des pieux.*
- *Les pieux ont un diamètre de 0,420 m.*
- *Le radier du fond de la cuvette d'ascenseur fait 0,25 m d'épaisseur.*

**Q6. Dessiner, à main levée à l'échelle 1/20<sup>ème</sup>, la coupe 2-2 repérée sur le plan de coffrage des fondations, jusqu'au niveau 0,10 m.**

*Pour connaître le temps de location de l'engin de levage, déterminer la durée de réalisation de l'ensemble longrines et dalle du rez-de-chaussée.*

*Hypothèses :*

- *Les longrines sont préfabriquées en usine et livrées sur le chantier.*
- *La dalle est portée par les longrines mais coulée sur une forme.*
- *Il n'y a qu'un seul engin de levage mobile sur le chantier.*
- *La cadence de pose et de clavetage des longrines est de 5 unités/jour avec 2 compagnons.*
- *La surface de la dalle est de 650 m<sup>2</sup>.*
- *La cadence de réalisation de la dalle est de 60 m<sup>2</sup>/jour avec 4 compagnons.*

**Q7. En supposant toutes les têtes de pieux réalisées ainsi que la cuvette de la cage d'ascenseur, proposer un phasage sommaire de réalisation de l'ensemble longrines et dalle du rez-de-chaussée. En déduire le temps de réalisation de l'ensemble dalle et longrines.**

**Q8. Proposer une alternative à la réalisation de la dalle. Indiquer les avantages et les inconvénients de cette nouvelle méthode.**

### Partie 3 : Vérification et dimensionnement d'éléments de structure

#### Positionnement et objectif de la partie

En tant qu'ingénieur structure, vérifier la résistance et la stabilité de l'ouvrage.

Hypothèses :

- Les longrines 15 et 16 fonctionnent mécaniquement en continuité.
- La classe d'exposition est XC2 et la durée d'utilisation de l'ouvrage est 50 ans.
- Le béton est un C25/30.
- Les aciers sont de classe B500.
- La dalle du plancher bas du rez-de-chaussée fait 200 mm d'épaisseur.
- Le complexe de plancher chauffant a un poids propre de  $250 \text{ N/m}^2$ .
- La charge d'exploitation  $q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$  est considérée comme constante au rez-de-chaussée de la file A à la file B et de la file 4 à la file 8.
- Le poids volumique du béton armé est pris égal à  $25 \text{ kN/m}^3$ .
- Les cloisons légères sont prises en compte forfaitairement par une charge surfacique de  $0,1 \text{ kN/m}^2$ .
- Le diamètre des aciers les plus gros reste inférieur ou égal à 25 mm.
- $d_G = 25 \text{ mm}$
- On supposera  $\phi_t = 6 \text{ mm}$

**Q9. Déterminer les charges permanentes et d'exploitation appliquées sur la longrine 15.**

**Q10. Justifier la classe d'exposition XC2, puis déterminer l'enrobage  $c_{\text{nom}}$  pour cette longrine (annexe 7).**

**Q11. A l'ELUR le moment agissant au nu de l'appui 22 est  $M_{\text{Ed}} = -205 \text{ kN.m}$ . Déterminer la section  $A_{\text{su}}$  des aciers longitudinaux tendus.**

**Q12. Avec  $V_{\text{Ed}} = 198 \text{ kN}$  au droit de l'appui 22, dimensionner les armatures d'effort tranchant.**

**Q13. Dessiner une section transversale de cette section.**

*La vérification des contraintes dans le béton et dans les aciers inférieurs sur l'appui 21 peut être faite avec la méthode « bielles et tirants » proposée par l'Eurocode 2 (annexe 8).*

**Q14. Expliquer l'intérêt de cette méthode.**

**Q15. A quoi correspondent les zones B et les zones D ? Dans quel cas se trouve-t-on sur l'appui 21 ?**

Hypothèses :

- Les bielles sont inclinées à  $45^\circ$  par rapport à l'horizontale.
- $V_{Ed} = 175$  kN.
- La contrainte de calcul dans le béton est limitée à  $\sigma_{Rd,max} = 0,6v'f_{cd}$  avec  $v' = 1 - f_{ck} / 250$ .
- La contrainte de calcul dans les aciers est limitée à  $f_{yd}$ .
- Le lit d'aciers inférieur est constitué de 3 HA 14.

**Q16. Vérifier la contrainte dans la bielle de béton et la contrainte dans les aciers inférieurs.**

*A partir de la maquette B.I.M. du projet, le bureau d'études techniques a produit une étude mécanique du double portique, file 6bis entre les files A et B (annexe 5 et annexe 9).*

**Q17. A quelle interface correspondent les points 22 et 23 ? Indiquer précisément les éléments en contact. Quels sont les risques encourus par la structure en ces points ? Indiquer qualitativement les vérifications qu'il convient de faire.**

**Q18. Faire un croquis de la liaison entre le poteau 7 et la poutre 44-45. Aucun calcul est demandé, seul le principe de la liaison est demandé avec les vues qui semblent nécessaires.**

**Q19. Le profilé 44 HEA 240 est de classe 1. Quels sont les critères à vérifier pour valider le dimensionnement de ce profilé? Quels sont les risques encourus ? En quoi la classe du profilé influe sur la façon de calculer le profilé à l'ELUR (aucun calcul est demandé)?**

Hypothèses :

- La poutre en lamellé collé 34-35-36 est de classe de résistance GL 28H
- Pour la poutre 34 le logiciel de calcul fournit les valeurs suivantes pour le moment agissant maximum :

Poutre 34	$N_x$ (kN)	$M_z$ (kN.m)	$M_y$ (kN.m)
Cas de charge			
1.35 G	0	47,62	0
1.5 $S_n$	0	9,93	0

**Q20. Sous l'effet de la combinaison d'action 1.35 G + 1.5  $S_n$ , vérifier la section de la poutre 34 à l'E.L.U.R. . Indiquer, sans calcul, la vérification complémentaire à effectuer pour valider définitivement la section.**

**Q21. Quel est le rôle du mur en L situé en files D et 5 ? Ce mur est en béton armé, indiquer comment les charges verticales et horizontales sont transmises aux fondations ? Utiliser tous les schémas adaptés pour montrer ce transfert. Déduire un principe de ferrailage de ce mur.**

## Partie 4 : Confort thermique et hygrothermique du bâtiment

### Positionnement et objectif de la partie

En tant qu'ingénieur dans un bureau d'études thermiques, dimensionner les équipements techniques assurant le confort thermique et hygrothermique du bâtiment. Justifier auprès du maître d'ouvrage les choix technologiques retenus (ou proposés).

**Q22.** Expliquer quelles sont les principales informations à modéliser dans le cadre de la démarche B.I.M. pour le lot en responsabilité du confort thermique et hygrométrique.

**Q23.** Expliquer sous la forme de croquis légendés le principe de fonctionnement d'une ventilation double flux avec récupération de chaleur.

**Q24.** Sous la forme d'un tableau, énumérer les avantages et les inconvénients de ce système de renouvellement d'air, aussi bien en condition de confort d'été que de confort d'hiver.

**Q25.** Sur la centrale choisie par le bureau d'étude, le récupérateur de chaleur est un échangeur à plaques, expliquer le principe de fonctionnement de ce système, quels sont ses avantages, quels sont ses inconvénients ?

*Hypothèses :*

- Le débit de l'air neuf est de  $4880 \text{ m}^3/\text{h}$
- Le débit de l'air repris est de  $4415 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- Pour ces débits le récupérateur a une efficacité de 75%.
- Il n'y a pas de perte de puissance dans le récupérateur.
- On supposera que  $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$  et reste constante.
- La chaleur spécifique de l'air est de  $0.34 \text{ Wh}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$ .
- L'efficacité du récupérateur est égale à  $\varepsilon = (\text{sup}(\Delta\theta_1, \Delta\theta_2))/\Delta\theta_e$   
 $\Delta\theta_1$ , la variation de température de l'air soufflé,  
 $\Delta\theta_2$ , la variation de température de l'air repris,  
 $\Delta\theta_e$ , la variation de température entre l'air extérieur et l'air intérieur.
- En hiver le CCTP impose les conditions suivantes:  
Intérieur  $\theta = 20^\circ\text{C}$   $\varphi = 50\%$   
Extérieur  $\theta = -5^\circ\text{C}$   $\varphi = 90\%$

**Q26.** Calculer  $\Delta\theta_1$  et  $\Delta\theta_2$  et tracer les évolutions dans le récupérateur, de l'air neuf et de l'air repris sur le diagramme psychrométrique DR1. L'humidité se condense-t-elle dans le récupérateur ? Existe-t-il un risque de givrage ?

**Q27.** Calculer la puissance récupérée dans ces conditions.

*Pour des raisons de confort, la température de soufflage ne doit pas descendre en dessous de  $15^\circ\text{C}$ . Pour la salle de motricité située au rez-de-chaussée, le débit de soufflage et de reprise est égal à  $360\text{m}^3/\text{h}$ . On suppose que la température intérieure est de  $20^\circ\text{C}$ .*

**Q28.** Calculer la perte de puissance par renouvellement d'air dans le cas le plus défavorable, on supposera que l'efficacité totale du récupérateur de chaleur est égale à 75%.

**Q29.** La réglementation RT 2012, impose une mesure de la perméabilité à l'air de l'enveloppe du bâtiment qui abouti au calcul du débit de fuite  $Q_{4Pa}$ . Indiquer le principe de l'essai qui permet de déterminer ce débit. Indiquez le facteur affecté par ce débit. Quelle déperdition est alors augmentée ?

*Le maître d'ouvrage a choisi de ne pas mettre en œuvre un système de climatisation pour le confort d'été. Néanmoins il a opté pour la mise en place d'un caisson adiabatique sur la prise d'air neuf en amont de l'échangeur.*

**Q30.** D'après les documents en annexe 11, indiquer le principe de fonctionnement de ce caisson adiabatique, quel est son avantage principal ?

**Q31.** Comment est-il possible de rafraîchir le bâtiment en été, à faible coût énergétique. Expliquer comment cela est possible avec la centrale de traitement d'air choisie.

*Un échangeur permet de convertir l'eau du chauffage urbain en eau chaude utilisable pour le chauffage du bâtiment (annexe 10).*

**Q32.** D'après le plan de la sous-station de répartition de l'eau chaude, indiquer quelles sont les trois départs de chaleur dans ce bâtiment. Pourquoi sont elles diversifiées ? Quelle est la fonction et l'intérêt de chacune d'entre elle ?

*Le dortoir 1, situé au premier niveau est chauffé par un plancher rayonnant. Une étude thermique de la pièce donne les résultats suivants pour cette salle :*

$$\begin{aligned}H_{statique} &= 275 \text{ W} \\ H_{dynamique} &= 75 \text{ W}\end{aligned}$$

**Q33.** Définir quelles sont les charges statiques et les charges dynamiques. Détailler le principe de calcul de ces charges.

*Le plancher chauffant est constitué de la technologie DALSEC fabriqué par la marque REHAU (annexe11). Le circuit est constitué de boucles en épingle avec un pas de 250 mm.*

**Q34.** Quelle est la puissance minimum du plancher chauffant dans cette pièce. Indiquer pourquoi cette technologie DALSEC a été choisie ? Sur le DR2 dessiner sur une vue en plan du dortoir 1 du 1<sup>er</sup> étage, le calepinage des plaques isolantes ainsi que le positionnement et le parcours du tube.

## **Partie 5 : Synthèse**

### **Positionnement et objectif de la partie**

*En tant que maître d'ouvrage, faire un bilan sur ce projet. Une fois le bâtiment livré assurer la bonne gestion du bâtiment sur sa durée de vie.*

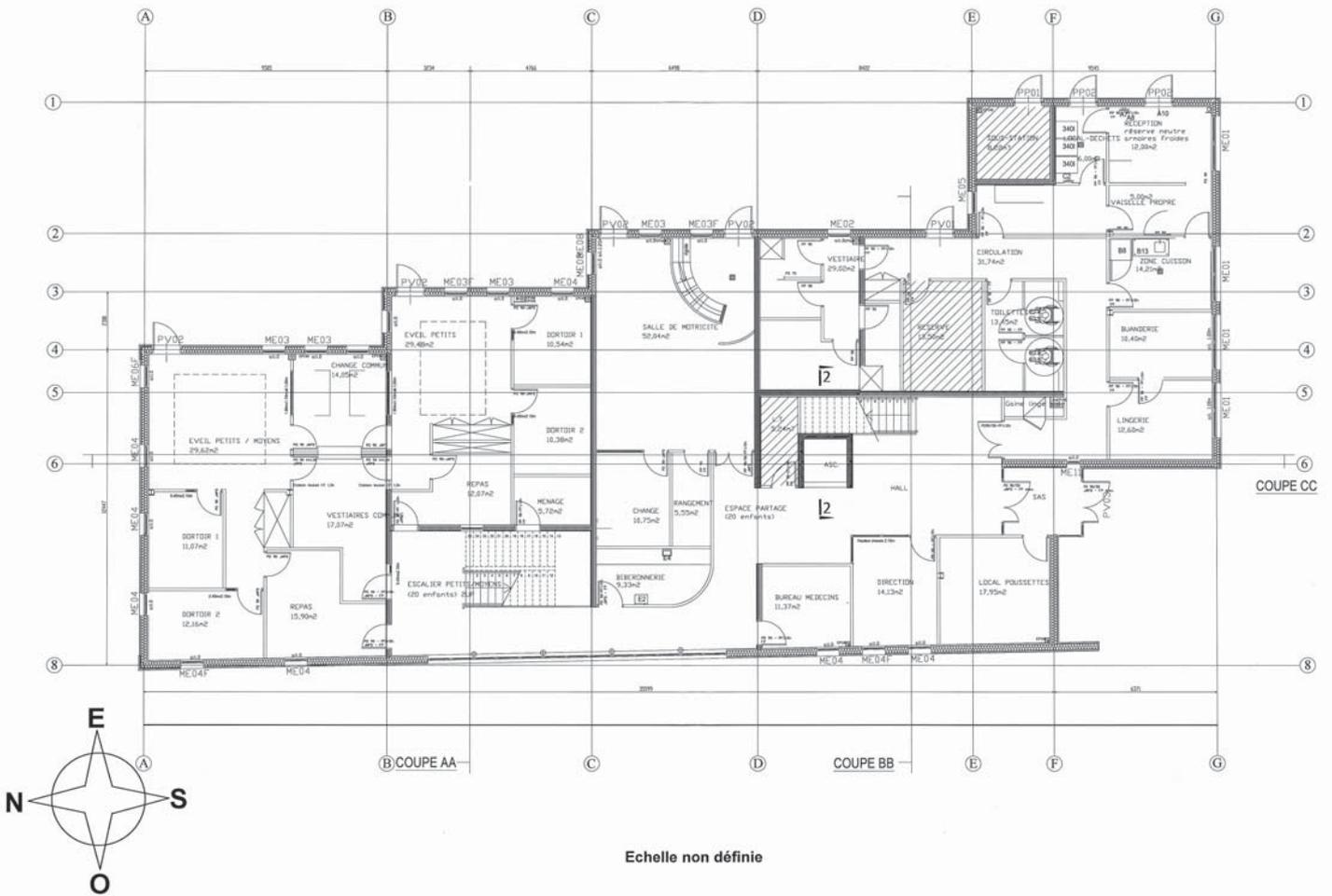
*Cette maison de la petite enfance avait été projetée, dans un premier temps, entièrement en béton armé par la maîtrise d'œuvre. Finalement, le projet initial a été complètement revu et réalisé avec la conception définie dans ce sujet. C'est le coût de l'ouvrage qui est à l'origine de ce changement ainsi que l'influence du bureau d'études chargé du suivi de l'impact environnemental du projet.*

**Q35.** Au vu du travail que vous avez effectué, indiquer quels sont les points forts de ce projet concernant son bilan énergétique et environnemental ? Trouver des explications au coût global plus faible de ce projet remanié par rapport au projet initial ?

## LES ANNEXES

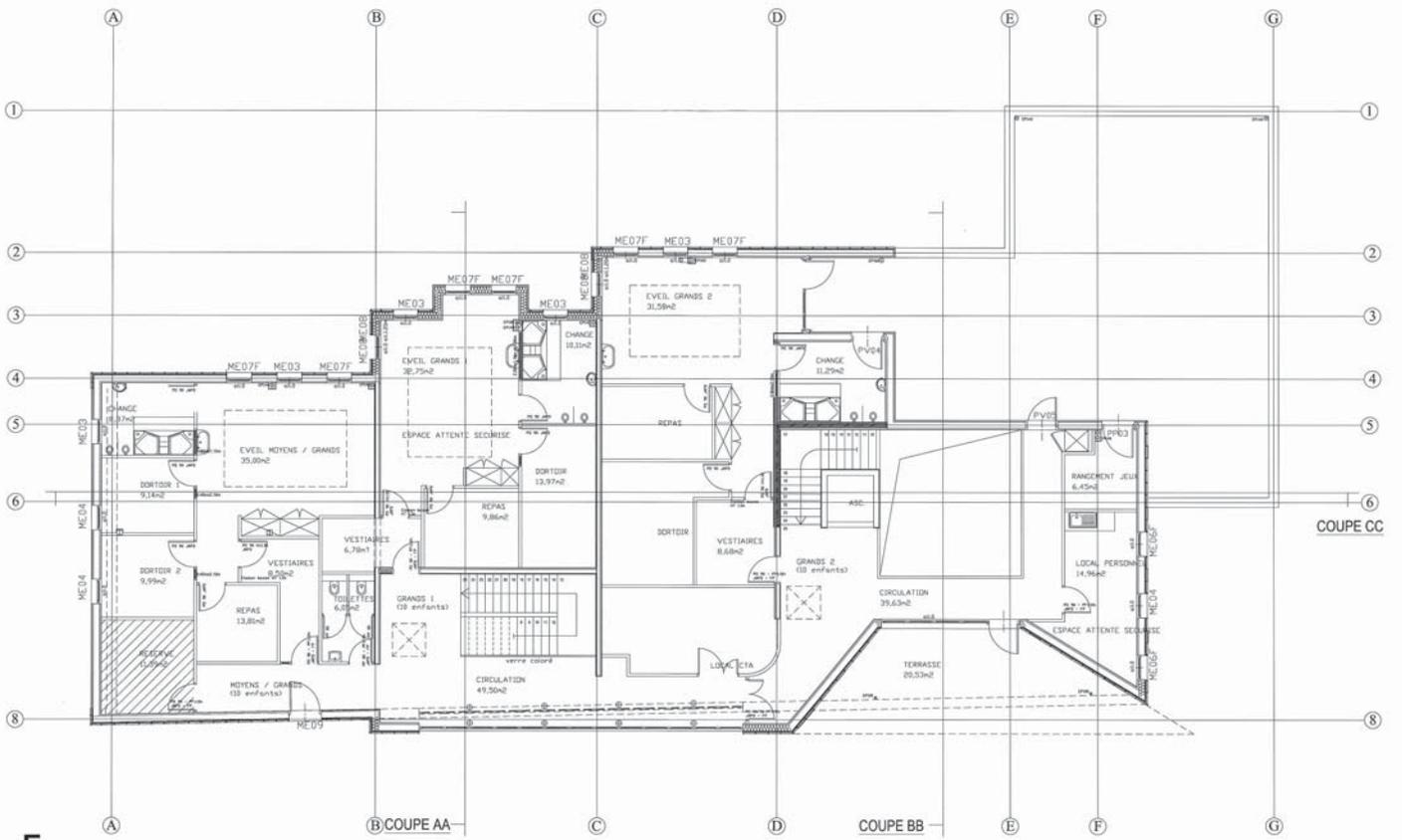
<b>ANNEXE 1 : PLAN ARCHITECTE DU REZ-DE-CHAUSSEE .....</b>	<b>page 1/11</b>
<b>ANNEXE 2 : PLAN ARCHITECTE DU PREMIER ETAGE .....</b>	<b>page 2/11</b>
<b>ANNEXE 3 : PLAN DE TOITURE .....</b>	<b>page 3/11</b>
<b>ANNEXE 4 : FACADES ET COUPE .....</b>	<b>page 4/11</b>
<b>ANNEXE 5 : PLANS DE STRUCTURE ENTRE LES FILES A ET B .....</b>	<b>page 5/11</b>
<b>ANNEXE 6 : PLAN DE FONDATION ET DE REPARTITION DES LONGRINES .....</b>	<b>page 6/11</b>
<b>ANNEXE 7 : BETON ARME : ENROBAGE, DIMENSIONNEMENT .....</b>	<b>page 7/11</b>
<b>ANNEXE 8 : BETON ARME : <i>Tableau des aciers et Modèle BIELLES ET TIRANTS</i> .....</b>	<b>page 8/11</b>
<b>ANNEXE 9 : CONSTRUCTION BOIS : ETUDE DU PORTIQUE DOUBLE FILE 6bis .....</b>	<b>page 9/11</b>
<b>ANNEXE 10 : PLAN SOUS STATION ET DORTOIR 1 PREMIER ETAGE .....</b>	<b>page 10/11</b>
<b>ANNEXE 11 : CAISSON ADIABATIQUE ET PLANCHER CHAUFFANT .....</b>	<b>page 11/11</b>

ANNEXE 1 PLAN ARCHITECTE DU REZ-DE-CHAUSSÉE



Echelle non définie

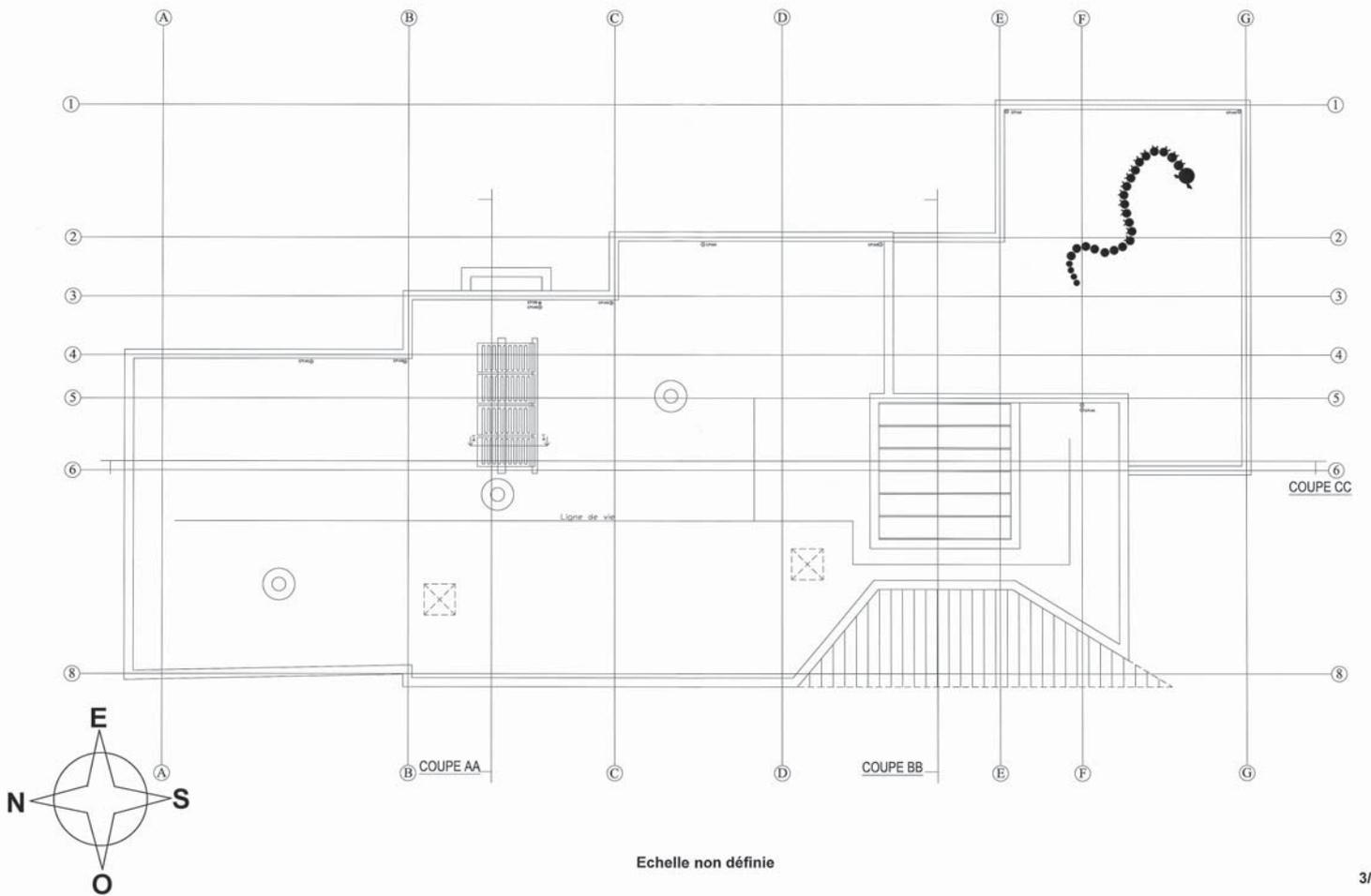
ANNEXE 2 PLAN ARCHITECTE DU PREMIER ETAGE



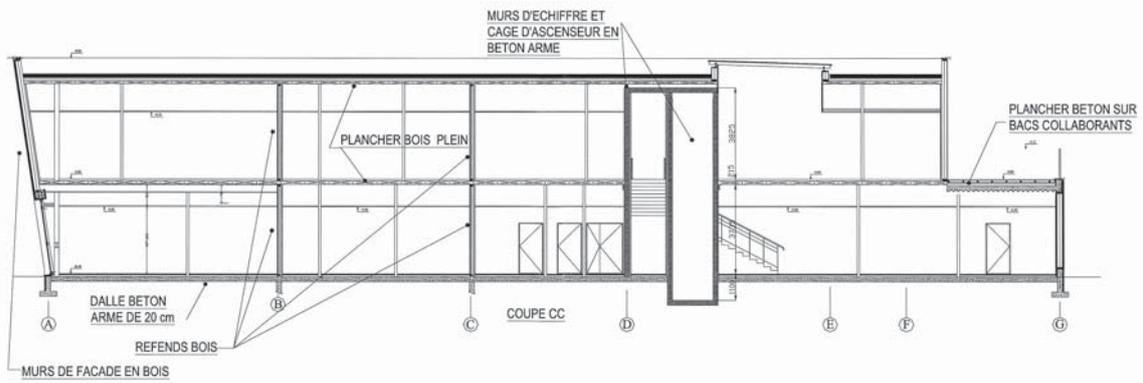
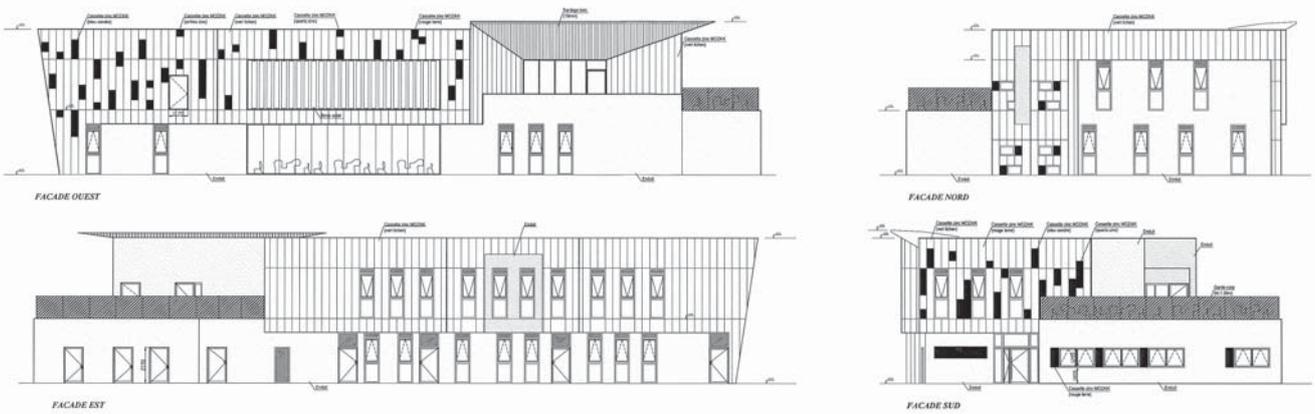
Echelle non définie



ANNEXE 3 PLAN DE TOITURE

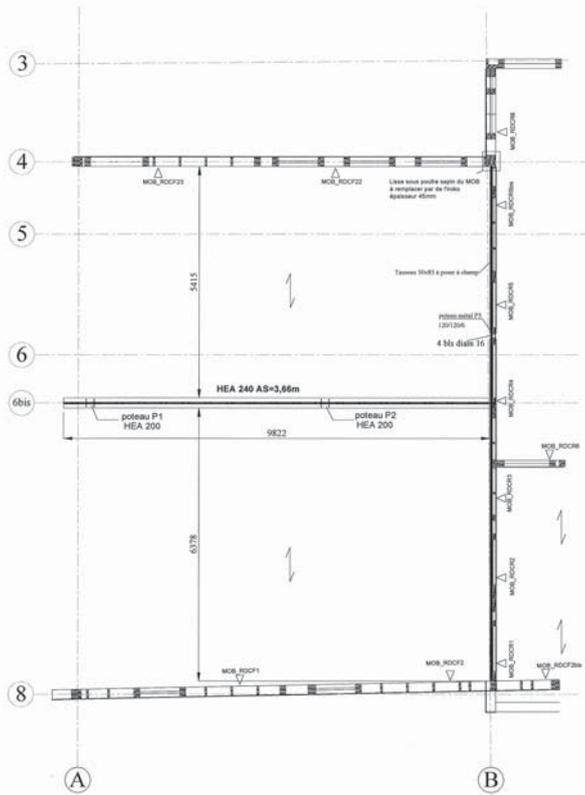


ANNEXE 4 FACADES ET COUPE



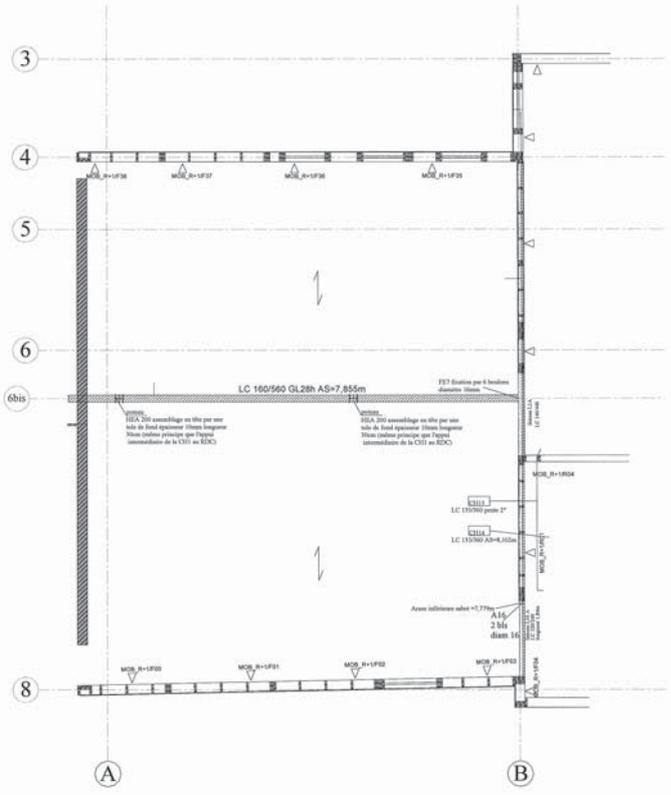
Echelle non définie

ANNEXE 5 PLANS DE STRUCTURE ENTRE LES FILES A ET B



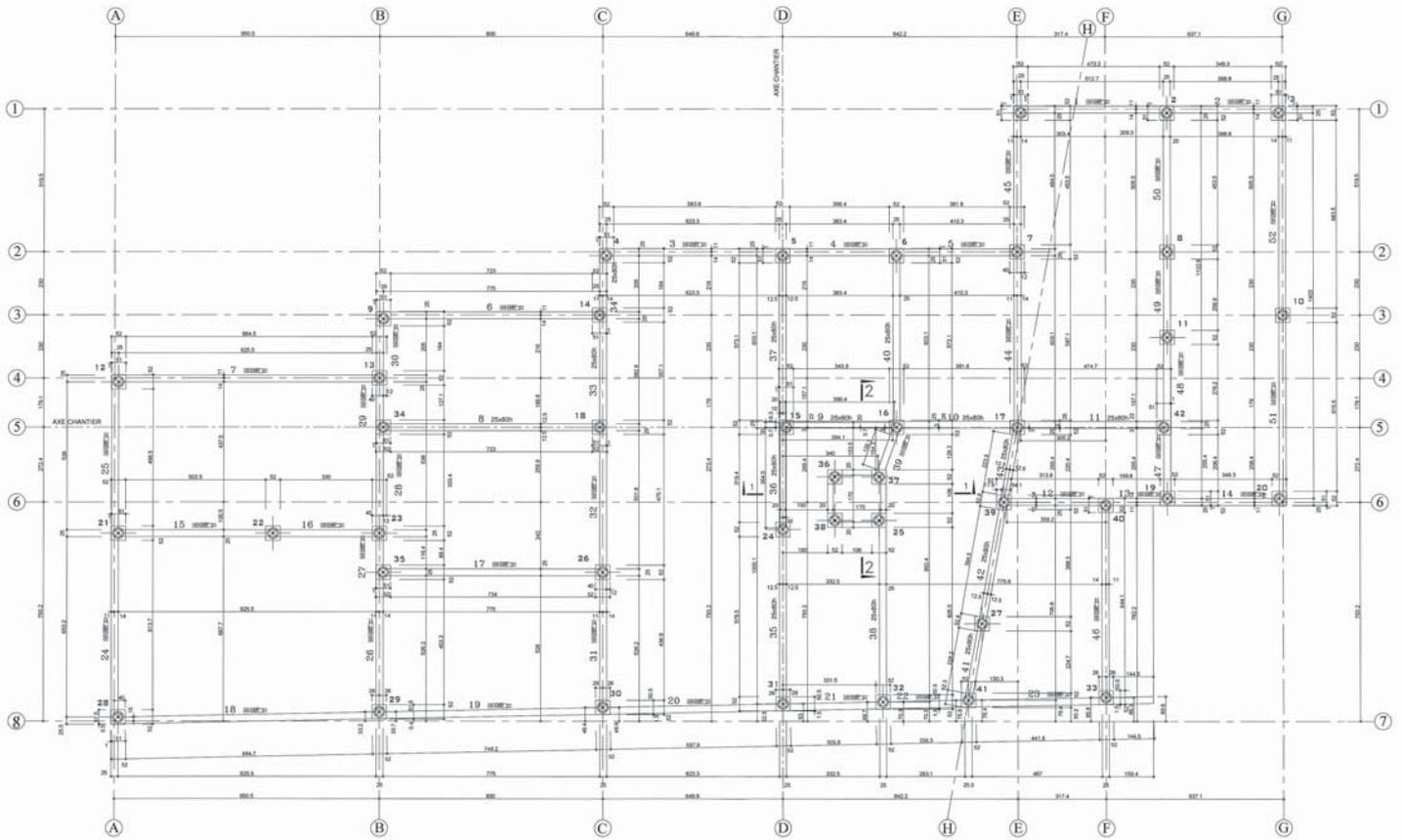
REZ-DE-CHAUSSEE

Echelle non définie



1<sup>er</sup> ETAGE

ANNEXE 6 PLAN DE FONDATION ET DE REPARTITION DES LONGRINES



Echelle non définie

**ANNEXE 7 BETON ARME : ENROBAGE, DIMENSIONNEMENT**

Détermination des enrobages minimaux, pour assurer la durabilité de l'élément  $c_{min,dur}$ .  
La classe structurale de base est S4.

Critère	Classe d'exposition selon Tableau 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1/ XA1 <sup>3)</sup>	XD2/XS2/ XA2 <sup>3)</sup>	XD3/XS3/ XA3 <sup>3)</sup>
Durée d'utilisation de projet	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2	100 ans : majoration de 2
	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1	25 ans et moins : minoration de 1
Classe de résistance <sup>4)</sup>	≥ C30/37 minoration de 1 point ≥ C50/60 : minoration de 2	≥ C30/37 minoration de 1 point ≥ C50/60 : minoration de 2	≥ C30/37 minoration de 1 point ≥ C55/67 : minoration de 2	≥ C35/45 minoration de 1 point ≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C40/50 minoration de 1 point ≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C40/50 minoration de 1 point ≥ C60/75 : minoration de 2	≥ C45/55 minoration de 1 point ≥ C70/85 : minoration de 2
Nature du liant		Béton de classe ≥ C35/45 à base de CEM I sans cendres volantes : minoration de 1	Béton de classe ≥ C35/45 à base de CEM I sans cendres volantes : minoration de 1	Béton de classe ≥ C35/45 à base de CEM I sans cendres volantes : minoration de 1			
Enrobage compact <sup>4)</sup>	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1	minoration de 1

Exigence environnementale pour $c_{min,dur}$ (mm)							
Classe structurale	Classe d'exposition selon Tableau 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Calcul de  $c_{min,b} = \max$  (r max des armatures longitudinales ou  $r_s$ , des paquets de barres ;  $d_s$ , plus gros granulats)

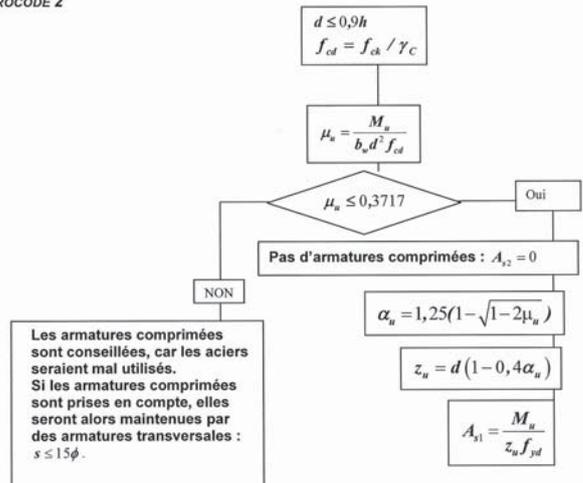
$c_{min} = \max$  ( $c_{min,b}$  ;  $c_{min,dur}$  ; 10 mm)

Tolérances :  $\Delta c_{dev} = 10$  mm

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

**EUROCODE 2**

**DIMENSIONNEMENT A L'ELUR EN FLEXION SIMPLE ARMATURES LONGITUDINALES**

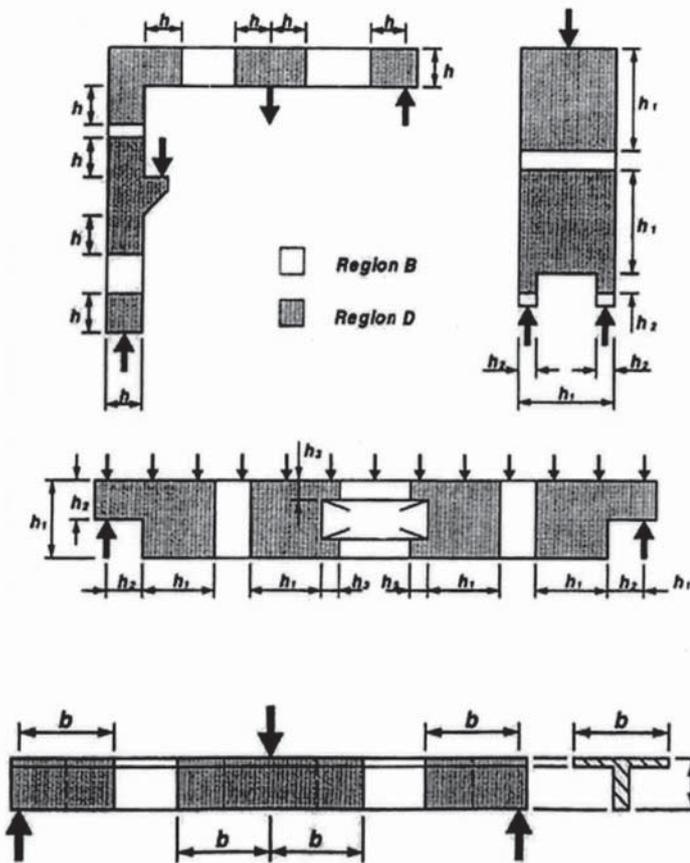


Sections minimale et maximale d'armatures longitudinales tendues :  
Avec  $\epsilon_{s,min} = 0,3\epsilon_{sk}$   
 $A_{s1} > A_{s,min} = \max \left[ 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_w d ; 0,0013 b_w d \right]$   
 $A_{s1} < 0,04 A_c$  avec  $A_c$  aire de la section droite de béton

**DIMENSIONNEMENT A L'ELUR DES ARMATURES TRANSVERSALES**

Choix de la section d'acier de la section d'un cours d'armature  $A_{sw}$ .  
 $V_{Ed}$  est l'effort tranchant agissant dans la section étudiée  
 Calcul de l'espacement s avec :  $s \leq \frac{A_{sw} f_{ywd}}{V_{Ed}}$  on prendra  
 $z = 0,9d$   
 $s \leq \min \left[ \frac{A_{sw} f_{ywd}}{V_{Ed}} ; \frac{A_{sw}}{b_w \rho_{w,min}} ; s_{l,max} \right] ; s_{l,max} = 0,75d$   
 $\rho_w \geq \rho_{w,min} = \frac{0,08 \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$

ANNEXE 8 BETON ARME : Tableau des aciers et Modèle BIELLES ET TIRANTS



**Principes généraux du modèle bielles et tirants**

La norme Eurocode 2 NF EN 1992-1-1 définit les principes généraux comme suit :

La modélisation par bielles et tirants consiste à définir des bielles, qui représentent des zones où transitent les contraintes de compression, des tirants, qui représentent les armatures, et des nœuds, qui assurent leur liaison. Il convient de déterminer les efforts dans ces éléments de telle sorte qu'à l'état limite ultime, ils continuent à équilibrer les charges appliquées. Un modèle bielles et tirants d'une partie ou de l'ensemble de la structure doit être en équilibre.

Une modélisation par bielles et tirants peut être utilisée pour le dimensionnement à l'ELU des régions sans discontinuité (état fissuré des poutres et des dalles) ainsi que pour le dimensionnement à l'ELU et la définition des dispositions constructives des régions de discontinuité. Une région de discontinuité est une région où le principe de conservation des sections planes ne s'applique pas.

Des modèles bielles-tirants adaptés peuvent être définis par exemple à partir des isostatiques de contrainte et des répartitions de contraintes obtenues en application de la théorie de l'élasticité linéaire, ou bien encore, ils peuvent être obtenus en appliquant la méthode basée sur le cheminement des charges. Tous les modèles bielles-tirants peuvent par ailleurs être optimisés en faisant appel à des critères d'énergie. Il peut exister plusieurs modèles pour une même situation.

**MODELE BIELLES-TIRANTS**

**REGIONS B :**

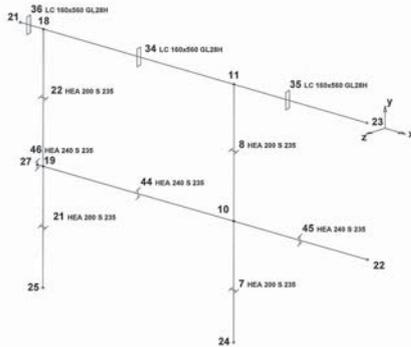
Les régions de la structure où l'hypothèse de Bernoulli est acceptable.

**REGIONS D :**

Les régions de la structure où la distribution des déformations est non linéaire : les zones d'appui, les zones d'application des forces concentrées, les discontinuités géométriques, les ouvertures.

Diamètre mm	Masse kg/m	Périmètre cm	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

ANNEXE 9 ETUDE DU DOUBLE PORTIQUE FILE 6bis



Caractéristiques	Symbole	Lamellé collé homogène				Lamellé collé combiné			
		GL24H	GL28H	GL32H	GL36H	GL24C	GL28C	GL32C	GL36C
Propriétés de résistance en N / mm <sup>2</sup> = 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 / mm <sup>3</sup> = 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 <sup>3</sup>									
Masse volumique moyenne évaluée en fonction de la masse volumique caractéristique : $\rho_{mean} = 1,15\rho_{g,k}$	$\rho_{mean}$	440	470	495	520	405	440	470	495
Pour simplifier : poids volumique		5 kN/m <sup>3</sup>				5 kN/m <sup>3</sup>			

DIMENSIONNEMENT EN FLEXION SIMPLE DES POUTRES DROITES  
EUROCODE 5 RESISTANCE A L'ELUR

Taux de travail limite dimensionnant

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

Avec

$\sigma_{m,d}$  la contrainte normale agissante maximum dans la poutre étudiée, calculée dans le domaine élastique.

$$f_{m,d} = f_{m,k} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \cdot k_{sys} \cdot k_h$$

$f_{m,k}$  la contrainte caractéristique de résistance en flexion en MPa.

$k_{mod}$  le coefficient modificatif en fonction qui dépend de la durée d'application des charges et de la classe de service.

Classe	Structure intérieure en milieu sec Milieu protégé (local chauffé)			Matériau	Classe de durée de charge	Classe de service		
	Milieu extérieur non exposé					1	2	3
Classe 1	Taux d'humidité de l'air : < 65%			BM : bois massif LC : lamellé collé	Permanente Long terme Moyen terme Court terme Instantanée	0,60 0,70 0,80 0,90 1,10	0,60 0,70 0,80 0,90 1,10	0,50 0,55 0,65 0,70 0,90
	Taux d'humidité du bois : 7% < H% < 13%							
Classe 2	Taux d'humidité de l'air : < 85%							
	Taux d'humidité du bois : 13% < H% < 20%							
	Milieu extérieur exposé							
Classe 3	Taux d'humidité du bois : H% > 20%							
	Liaisons avec le sol, l'eau.							

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
Court terme	< une semaine	Neige : altitude H ≥ 1000 m
Instantanée		Neige : altitude H < 1000 m
		Vent
		Situations et actions accidentelles : neige exceptionnelle,...

$k_{crit} = 1$  dans le cas étudié.

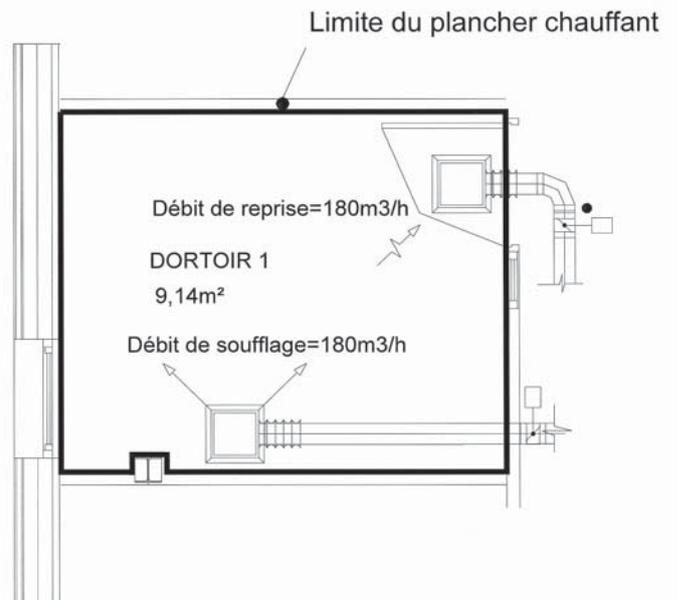
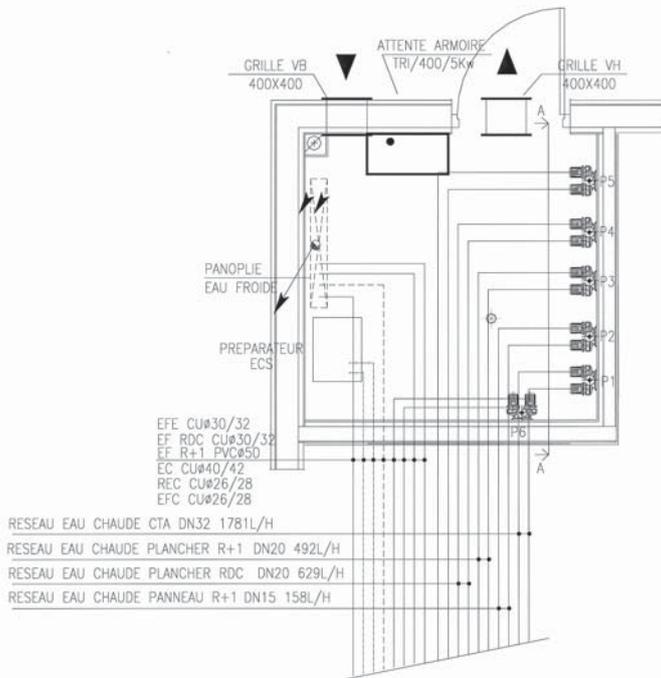
$k_h = 1$  si  $h \geq 600$  mm, pour le bois lamellé collé avec une section de hauteur h.

$k_h = \min(1.1 ; (600/h)^{0.1})$  si  $h \leq 600$ mm

$k_{sys} = 1$  pour le cas étudié

$\gamma_M = 1.25$  pour le bois lamellé collé ou  $\gamma_M = 1.3$  pour le bois massif

ANNEXE 10 PLAN SOUS STATION ET DORTOIR 1 PREMIER ETAGE



## ANNEXE 11 CAISSON ADIABATIQUE ET PLANCHER CHAUFFANT

Extrait d'un article du magazine *Chaud Froid Performance* à propos des équipements de confort thermique dans la maison de la petite enfance de Gennevilliers.

« ... Par ailleurs l'accent a été fortement porté sur la ventilation permanente des locaux. Le bâtiment a été équipé d'une centrale double flux Wesper PR 0612 à échangeur à roue d'une capacité de 4900 m<sup>3</sup>/h sous 200 Pa. Ce matériel d'un rendement de récupération thermique donné pour au moins 75%, présente l'avantage dans cette construction de réchauffer l'air soufflé. Associé à la batterie chaude, l'échangeur rotatif garantit un maintien de confort dans l'ensemble des espaces. Son intérêt est surtout remarquable en intersaisons et en été.

Les services techniques de la ville ont opté pour l'installation sur la prise d'air neuf d'un caisson adiabatique Adiabox NF (figure 1) du fournisseur Cooléa. Ce système sans ventilateur (NF signifie « no fan ») est doté d'échangeurs en profil nid d'abeille, d'une épaisseur de 100 mm. D'une capacité de 10 000 m<sup>3</sup>/h, il limite ainsi les pertes de charge à un niveau raisonnable, pour 4900 m<sup>3</sup>/h, elles sont d'environ 5 Pa. Ce module permet d'assurer le rafraîchissement des locaux sans système thermodynamique. L'air neuf traverse le média (un ensemble Munters Celdek 5090 d'une efficacité d'échange de 80%, voir figure 2) et au-delà d'une température de consigne, est rafraîchi par ruissellement d'eau de ville. Une partie de l'eau est recyclée, l'autre partie étant évacuée pour éviter l'encrassement par les minéraux. Le tableau 1 donne des indications d'efficacité selon la température et l'humidité relative des volumes traités. Cette solution a aussi pour intérêt de rééquilibrer l'humidité relative des volumes traités. A noter que ce ruissellement ne produit pas de gouttelettes dans le flux d'air et n'entraîne pas de risque lié aux légionelloses.

En outre cette pré-filtration de la ventilation des locaux est suivie en permanence par une régulation : gestion de l'eau, gestion des consignes par raccordement de sondes extérieures/intérieures, asservissement des moteurs des ventilateurs. La mairie de Gennevilliers, très active dans les démarches concernant l'éco-bâtiment, équipera prochainement d'autres bâtiments avec l'Adiabox NF... »

Figure 1  
Adiabox

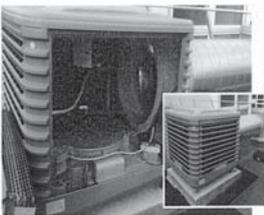
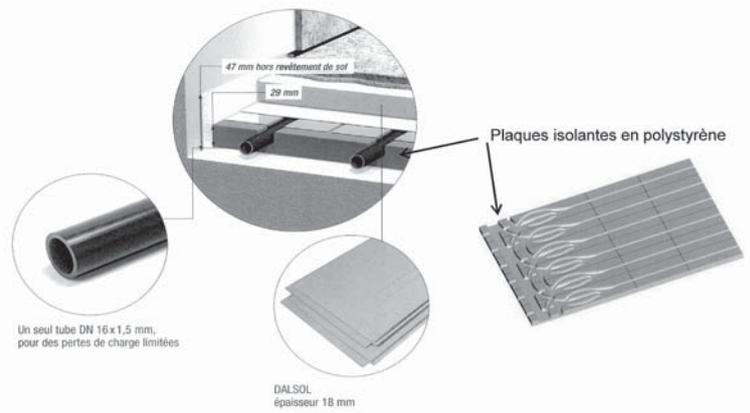
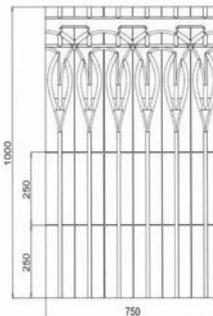


Figure 2  
Média d'échange CELDEK



Plancher chauffant DALSEC de la marque REHAU



Vue en plan d'une plaque isolante

Phasage de pose des plaques isolantes selon l'Avis Technique 13/15-1285



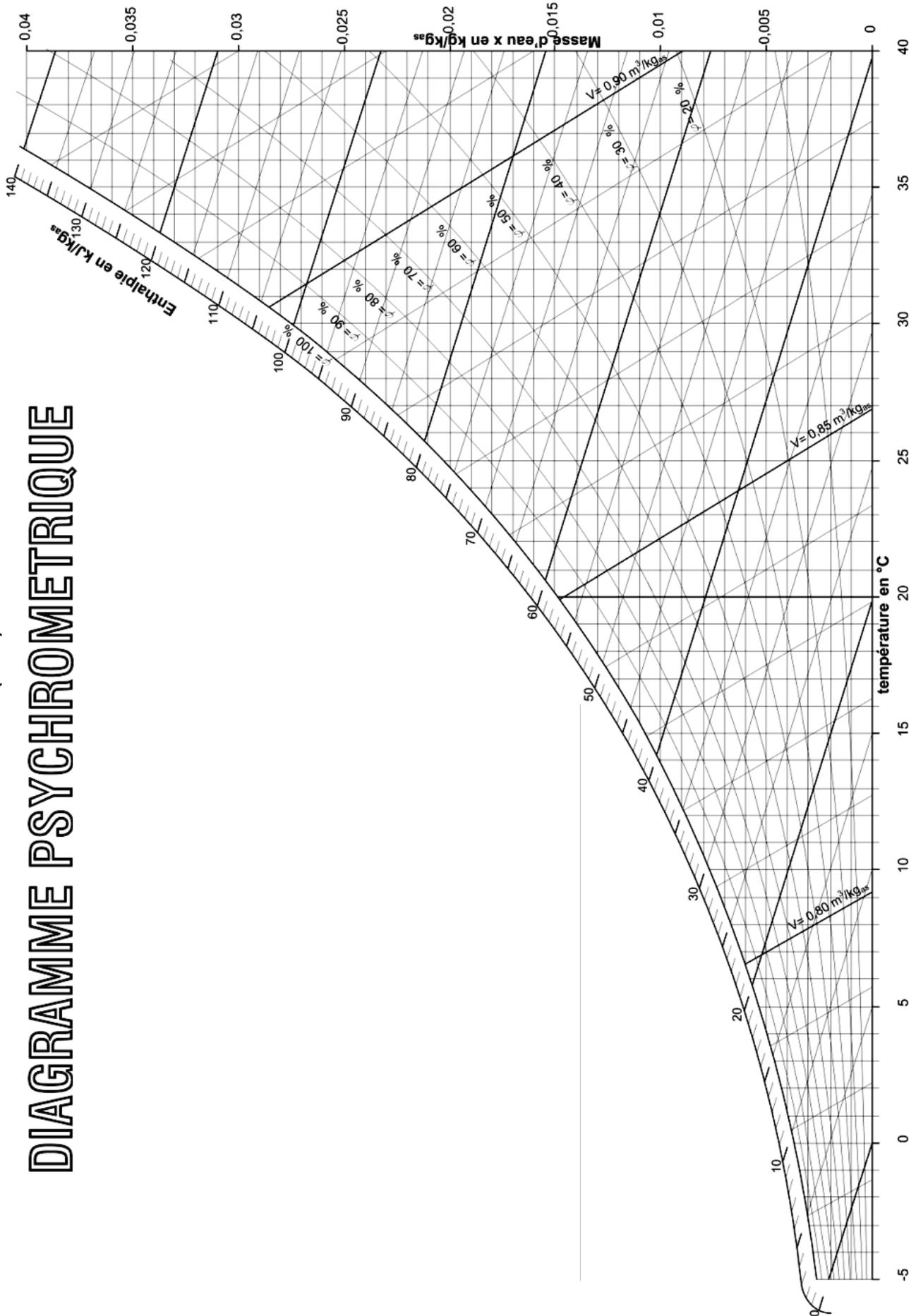
Toujours des plaques entières aux extrémités.



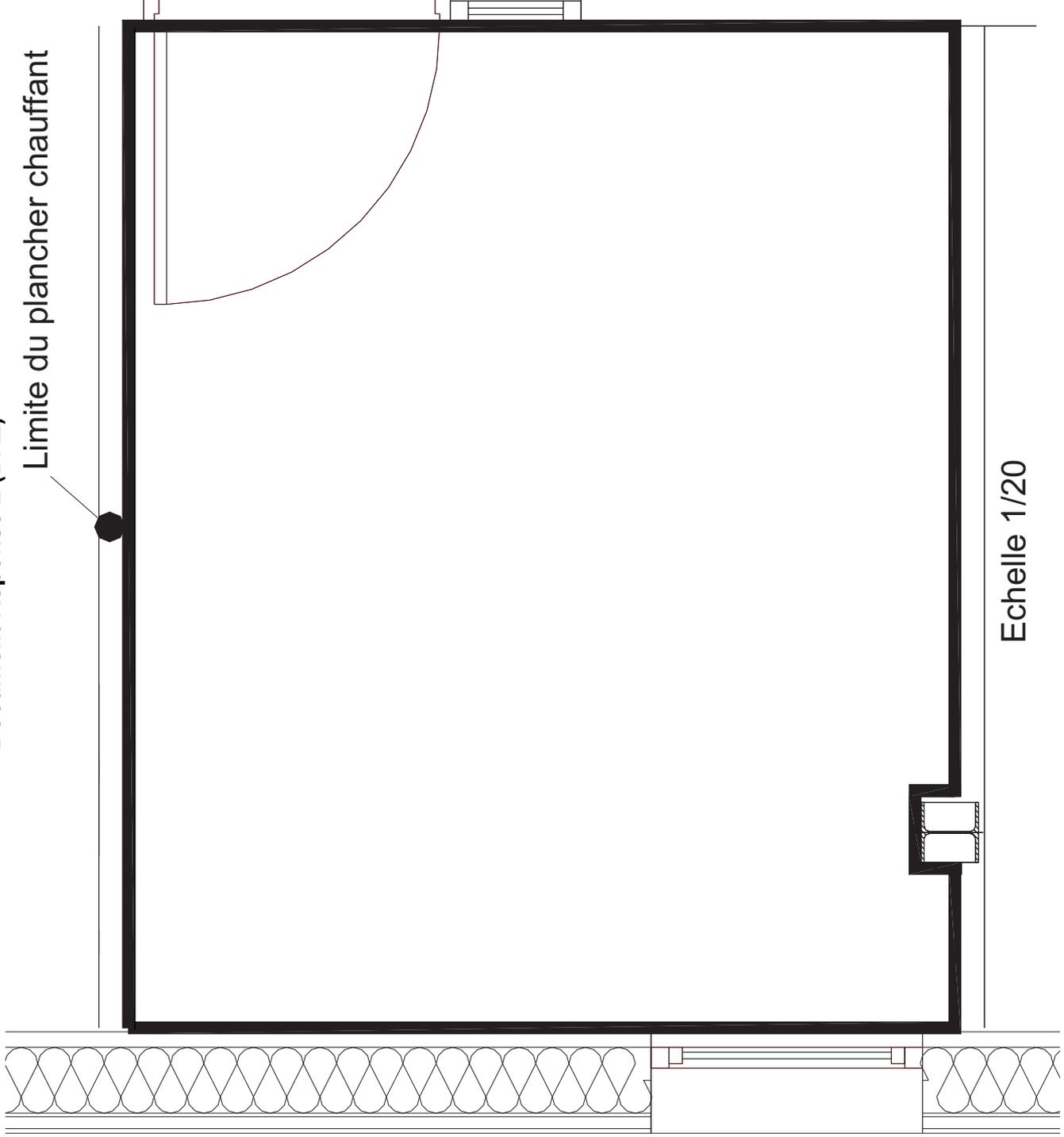
NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Document Réponse 1  
(DR1)

# DIAGRAMME PSYCHROMETRIQUE



Limite du plancher chauffant



Echelle 1/20