

Epreuve de Génie Civil

Durée 5 h

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

L'usage de calculatrices est autorisé.

Composition du sujet :

- 1 sujet de 17 pages numéroté de 1 à 17 ;
- 17 annexes numérotées de 1 à 20 ;
- 5 documents réponses à rendre en fin d'épreuve avec la copie.

CONSIGNES :

- Composer lisiblement sur les copies avec un stylo à bille à encre foncée : bleue ou noire.
- L'usage de stylo à friction, stylo plume, stylo feutre, liquide de correction et dérouleur de ruban correcteur est strictement interdit. Les surveillants et surveillantes se réservent le droit de les confisquer.
- Remplir sur chaque copie en MAJUSCULES toutes vos informations d'identification : nom, prénom, numéro inscription, date de naissance, le libellé du concours, le libellé de l'épreuve et la session.
- Une feuille, dont l'entête n'a pas été intégralement renseigné, ne sera pas prise en compte.
- Il est interdit aux candidats de signer leur composition ou d'y mettre un signe quelconque pouvant indiquer sa provenance. La présence d'une information d'identification en dehors du cartouche donnera lieu à un point de pénalité et la page concernée pourra être soustraite de la correction.

Dans le cadre de notre étude nous nous intéresserons exclusivement au bâtiment « la Fabrique ». Il est constitué de 4 niveaux de superstructure et d'un sous-sol partiel dont l'implantation s'articule comme suit :

« La Fabrique » est entourée de trois bâtiments chacun à une distance différente,

- Le bâtiment Ampère, auquel il est accolé et qui fait face à la façade Nord de La Fabrique,
- Les bâtiments voisins, hors du périmètre du campus, faisant face à la façade Sud,
- Le gymnase, situé en face de la façade Est.

Le bâtiment est séparé en deux parties par une voie de circulation. Au nord, un bâtiment pont permet de relier ces deux parties.

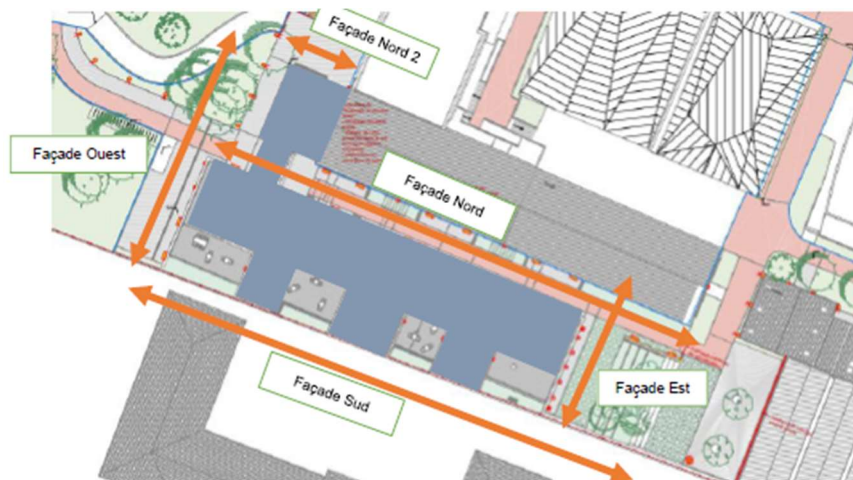


Figure n°2 Vue d'ensemble de la Fabrique et détails des façades

II. Etude thermique

L'école souhaite disposer de bâtiments durables et confortables et s'engager dans une démarche de haute qualité environnementale. Elle vise entre autres, les certifications et labels suivants qui se caractérisent par des niveaux d'exigences visant à satisfaire des critères environnementaux.

- En démarche HQE BD V4, niveau Excellent
- Certification BREEAM V6, niveau Very Good

Dans cette partie, nous nous proposons d'étudier les déperditions de l'ensemble du bâtiment $D_{tot_b\grave{a}ti}$ (kW) sur une année moyennant certaines hypothèses. Nous considérerons que celles-ci sont dues :

- aux déperditions associées aux parois opaques $D_{tot_b\grave{a}ti_parois}$ (kW)
- aux déperditions par renouvellement d'air, $D_{tot_b\grave{a}ti_renouvellement}$ (kW)
- aux déperditions associées aux parois vitrées, $D_{tot_b\grave{a}ti_vitr\acute{e}es}$ (kW)
- aux déperditions dues aux points thermiques, $D_{tot_b\grave{a}ti_pt}$ (kW)

Déperditions associées aux parois opaques

Définition d'un Degré Jour Unifié (DJU)

Un Degré Jour Unifié (exprimé °C.jours) est calculé à partir des températures météorologiques extrêmes du lieu et du jour **J** :

- T_{min} : température minimale du jour J mesurée à 2 mètres du sol sous abri et relevée entre J-1 (la veille) à 18h et J à 18h UTC (temps universel coordonné, en français)
- T_{max} : température maximale du jour J mesurée à 2 mètres du sol sous abri et relevée entre J à 06h et J+1 (le lendemain) à 06h UTC.
- T_s : température souhaitée dans le bâtiment fixée à 18 °C
- $T_m = \frac{T_{min}+T_{max}}{2}$: température moyenne de la journée.

Celle-ci permet par la suite d'établir une estimation sur le besoin en chauffage (et/ou refroidissement) du bâtiment. La valeur ainsi calculée est exprimée en °C. jours **sur une année.**

Nous avons pour ce faire les données météorologiques reconstituées à partir d'années types disponibles recueillies auprès de la station la plus proche de la ville de Cachan. La constitution de ces années types de référence a été effectuée sur la base de fichiers annuels regroupant des données mesurées par Météo-France des périodes déterminées, disponibles en annexe 3.

Méthodes de calcul dite « Méthode Météo »

Pour un calcul de déficits (chauffage) de température par rapport au seuil choisi :

$$T_s \leq T_m \rightarrow \text{DJU} = 0$$

$$T_s > T_m \rightarrow \text{DJU} = (T_s - T_m) * \text{Nombre de jours} = \Delta T * \text{Nombre de jours}$$

Pour un calcul d'excédents (climatisation) de température par rapport au seuil choisi :

$$T_s \geq T_m \rightarrow \text{DJU} = 0$$

$$T_s < T_m \rightarrow \text{DJU} = (T_m - T_s) * \text{Nombre de jours} = \Delta T * \text{Nombre de jours}$$

- Q.1** Compléter « le Document réponse n°1 » fourni dans le document réponse et déterminer (par la méthode de calcul « météo »), le DJU (°C.jours) sur une année pour une période de chauffage de janvier à décembre. Nous prendrons l'hypothèse simplificatrice d'un chauffage continu à 18 °C toute l'année et justifierons les éventuelles hypothèses complémentaires.
- Q.2** Justifier à partir d'une analyse dimensionnelle la relation simple reliant l'énergie consommée $E_{consommée} (kWh/an)$ en fonction du coefficient global de transmission $Up (W.m^{-2}K^{-1})$, la surface déperditive des parois extérieures $S (m^2)$ et les DJU (°C.jours). Il faudra veiller à respecter l'homogénéité de la relation.
- Q.3** En déduire l'énergie consommée $E_{consommée} (kWh/an)$ pour le besoin en chauffage. Pour les besoins du calcul, nous prendrons un coefficient global de transmission $Up = 0,5 W.m^{-2}K^{-1}$ de l'ensemble du bâtiment et une surface déperditive des parois extérieures totale $S = 6400 m^2$. Nous prendrons DJU = 2500°C.jours.
- Q.4** Quel aurait été le gain en énergie si $Up = 0,4 W.m^{-2}K^{-1}$? En déduire le gain économique sur la base de 0,19€/kWh.
- Q.5** Conclure sur les déperditions moyennes dues aux parois opaques $D_{tot_bâti_parois} (kW)$ sur une année. Nous considérerons que les déperditions thermiques sont homogènes sur les différents jours de l'année.

Déperditions dues au renouvellement d'air

Le bâtiment est composé de trois laboratoires nécessitant une ventilation spécifique engendrant des déperditions thermiques complémentaires non négligeables, $D_{tot_lab_renouvellement} (kW)$. Celles-ci représentent à elles seules 6% des déperditions totales moyennes dues aux renouvellements d'air de l'ensemble du bâtiment sur une année, $D_{tot_bâti_renouvellement} (kW)$.

Les surfaces des laboratoires sont explicitées ci-dessous :

- Labo de recherche_Lab_1 : 285,4 m².
- Espace expérimental Lab_2 : 347,5 m².
- Labo Hydraulique Lab_3 : 281,8 m².

Les pertes par renouvellement d'air peuvent être d'origine mécanique (une ventilation naturelle ou forcée) ou dues à des défauts d'étanchéité (infiltrations) de l'enveloppe, celles-ci seront négligées. On assimilera donc les pertes par renouvellement d'air aux pertes liées à la ventilation.

Le débit volumique de ventilation est évalué par le bureau d'étude à $Q_{ventilation} = 1,7 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ pour chacun des laboratoires. Nous donnons l'expression de la déperdition thermique par renouvellement d'air :

$$Dp_{lab_i}(W) = 0,34 \cdot Q_{ventilation} \cdot S_i \cdot \Delta T$$

- ΔT , l'écart de température entre l'extérieur et la température intérieure souhaitée, 6°C
- la constante 0,34 s'exprime en $Wh/(K \cdot m^3)$

Q.6 Déterminer les déperditions par renouvellement d'air $Dp_{lab_i}(W)$ de chaque laboratoire.

Q.7 En déduire la déperdition totale moyenne $D_{tot_bâti_renouvellement}(kW)$ due au renouvellement d'air pour l'ensemble du bâtiment sur une année.

Déperditions associées aux parois vitrées

Les déperditions associées aux parois vitrées $D_{tot_bâti_vitrées}(kW)$ sont du même ordre de grandeur (représentent autant) que les déperditions associées aux parois opaques.

Déperditions associées aux ponts thermiques

Q.8 Décrire les deux types de ponts thermiques avec un exemple pour chacun des cas, après avoir défini le phénomène physique en question.

Q.9 En considérant que les déperditions dues aux ponts thermiques $D_{tot_Pt}(kW)$ représentent 10% de la déperdition totale du bâtiment $D_{tot_bâti}(kW)$, conclure sur la déperdition totale moyenne du bâtiment $D_{tot_bâti}(kW)$ sur une année.

III. ETUDE D'UNE PAROI OPAQUE

L'objectif de cette partie est de déterminer, moyennant certaines hypothèses simplificatrices, un paramètre déterminant pour le confort de l'occupant : la diffusivité thermique α exprimée en $m^2.s^{-1}$. Ce paramètre physique traduit la capacité d'une paroi (ou d'un isolant) à transmettre la chaleur d'une face à une autre.

La diffusivité sera d'autant plus faible que la chaleur aura du mal à traverser la couche isolante et vice versa. Ainsi, pour limiter considérablement l'impact de la chaleur et ses effets indésirables en fin de soirée, nous opterons pour un matériau au pouvoir de diffusivité faible.

L'étude s'articulera en deux temps : une phase dite stationnaire et une autre phase dite transitoire.

- Q.10** Rappeler les deux modes d'échange de chaleur en sus du rayonnement. Explicitez leur principe physique et la loi (relation liant le flux thermique aux autres paramètres physiques) qui les gouverne en explicitant les unités de chacun des termes.

Etude de la phase stationnaire de la paroi multicouche

Dans ce qui suit, seuls les échanges conductifs seront pris en compte.

- Q.11** A partir des caractéristiques thermiques des composantes du MEXT10 - Pavillon Nord R+1 disponible en annexe 4, déterminer l'épaisseur nécessaire de l'isolant pour respecter les préconisations du bureau d'étude. Les résistances superficielles seront négligées. Nous opterons pour une valeur entière de l'épaisseur. Nous considérerons par ailleurs que l'épaisseur de l'isolant (donc du mur) reste inchangée pour la suite.

- Q.12** Cette épaisseur (de l'isolant) est-elle minimale, maximale ? Pourquoi ?

- Q.13** Quel est l'intérêt de la lame d'air ?

Nous nous proposons désormais d'étudier le profil de température au sein du mur MEXT10 - Pavillon Nord R+1 en régime stationnaire.

- Q.14** Proposer en justifiant pas à pas votre démarche, une relation entre la température T_{int} (température côté intérieur) et T_{ext} (température côté extérieur), l'épaisseur e du mur, abscisse x de la paroi, $T_s(x)$ (la température en régime stationnaire à l'abscisse x) à partir de l'équation de Fourier sans source de chaleur externe pour une paroi plane.

$$\frac{\partial T_s(x)}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T_s(x)$$

Avec α , la diffusivité thermique en $m^2.s^{-1}$

$\nabla^2 T$ le laplacien de T , traduisant la diffusion spatiale de la température en $K.m^{-2}$

On donne de manière générale : $\nabla^2 T_s = \frac{\partial^2 T_s(x)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_s(x)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_s(x)}{\partial z^2}$

Nous nous proposons désormais d'étudier le profil de température $T_s(x)$ au sein du mur considéré.

Q.15 Proposer de la même manière en justifiant pas à pas votre démarche, une relation entre le flux thermique $\vec{\varphi}$ et les autres paramètres physiques du problème pour une paroi plane à partir de l'équation de la loi de Fourier.

$$\vec{\varphi} = -\lambda \vec{\Delta T}$$

- λ , la conductivité thermique du matériau en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
- $\vec{\varphi}$, le vecteur de densité de flux thermique en $W \cdot m^{-2}$

Q.16 Que signifie d'un point de vue physique, le signe « - » dans l'équation de la loi de Fourier ?

Q.17 Proposer un profil de température de l'ensemble du mur extérieur (approche multicouche). Nous prendrons pour les besoins du calcul, une température extérieure $T_{ext} = -5^\circ C$ et une température intérieure $T_{int} = 19^\circ C$. Nous garderons l'épaisseur de l'isolant trouvée à la question 11. Compléter « le Document réponse n°2 ».

Etude de la paroi stationnaire de la paroi monocouche équivalente

Pour la détermination de la diffusivité thermique α , il est nécessaire de modéliser la paroi multicouche ainsi étudiée par une paroi monocouche (une seule couche) d'épaisseur e_{mur} inchangée, moyennant l'introduction d'une diffusivité thermique équivalente α_{eq} .

L'équation de Fourier devient ainsi simplement :

$$\frac{\partial T_{seq}(x)}{\partial t} = \alpha_{eq} \nabla^2 T_{seq}(x)$$

Avec α_{eq} , la diffusivité thermique en $m^2 \cdot s^{-1}$ de la paroi

$\nabla^2 T$ le laplacien de T, traduisant la diffusion spatiale de la température en $K \cdot m^{-2}$

Q.18 Toujours en régime stationnaire, déterminer le profil de température $T_{seq}(x)$ avec les mêmes conditions aux limites pour la paroi monocouche d'épaisseur e_{mur} . Compléter le document réponse n°3 » en représentant, $T_s(x)$ et $T_{seq}(x)$.

Etude de la phase transitoire

En réalité, (avec apport de chaleur ou non), le système (ici la paroi) met un certain temps à atteindre l'état stationnaire $T_{seq}(x)$ en passant par une phase dite transitoire. L'évolution de la nouvelle température se note avec la prise en compte de la dépendance temporelle notée, $T(x, t)$. Une première approche consiste à apporter un élément correctif $\theta(x, t)$ à la fonction stationnaire $T_{seq}(x)$ précédemment établie de sorte que :

$$T(x, t) = T_{seq}(x) + \theta(x, t)$$

avec

$$\theta(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n e^{-\alpha_{eq} \left(\frac{n\pi}{e}\right)^2 t} \sin\left(\frac{n\pi x}{e}\right)$$

Avec α_{eq} , la diffusivité thermique de la paroi monocouche en $m^2 \cdot s^{-1}$

a_n est une fonction qui dépend de la variable n (inversement proportionnelle)

Q.19 Discuter de manière qualitative de la nouvelle évolution de la température $T(x, t)$ en fonction de n (mode de diffusion).

Q.20 Vérifier les conditions aux bords de $T(x, t)$

Pour la suite, nous considérerons que les conditions initiales sont également satisfaites de sorte que :

$$\begin{aligned} T(x, t = 0) &= T_{int} \\ T(x, t \rightarrow \infty) &= T_{seq}(x) \end{aligned}$$

Q.21 Vérifier que $\theta(x, t)$ est bien solution de l'équation de Fourier sans source de chaleur externe pour une paroi plane.

Q.22 Déterminer l'expression de $\theta(x, t)$ pour le premier mode $n = 1$.

$$\text{On donne } a_1 = \frac{48}{\pi}.$$

Pour le mode $n=1$, le graphique « profil de température de la paroi monocouche $\theta(x, t)$ » est donné en annexe 5.

Q.23 En déduire en exploitant le graphique, le coefficient de diffusivité thermique équivalente α_{eq} de la paroi.

On définit le temps caractéristique τ_1 , le temps de décroissance d'un facteur e de l'amplitude pour le mode 1 tel que :

$$\tau_1 = \frac{1}{\alpha_{eq}} \left(\frac{e_{mur}}{\pi} \right)^2$$

Q.24 En déduire le temps caractéristique en jours de la paroi pour le mode 1.

L'annexe 6 fournit l'évolution de la température $T(x, t)$ pour différents temps, en mode 1.

Q.25 Par simple lecture graphique, donner une estimation du temps (ordre de grandeur) nécessaire pour que le système atteigne le régime stationnaire (modèle monocouche). Exprimer cette durée en fonction de τ_1 .

IV. ETUDE D'UNE POUTRE CONTINUE

Nous nous proposons désormais d'étudier la poutre continue du niveau RDC haut situé en file 2 de « La Fabrique » (voir annexes 7, 7 bis).

Q.26 Déterminer à partir de l'annexe 8, les valeurs des charges CP (charges permanentes) et CE (charge d'exploitation) d'exploitation en kN/m^2 .

Note : Pour simplifier les calculs, on prendra la charge d'exploitation la plus représentative de la zone concernée.

La réglementation aux Eurocodes impose une pondération aux états limites ultimes (ELU) sous la forme $1.35CP+1,5CE$ (la version normative étant $1.35G+1,5Q$).

Q.27 Déterminer la valeur de la charge répartie pondérée p'_{Elu} en kN/m^2 , en déduire la charge linéique p_{Elu} en kN/m que supporte la poutre.

Pour la suite, nous retiendrons la valeur $p_{Elu} = 31kN/m$.

La poutre (seule sans chargement) peut être modélisée suivant le schéma ci-dessous (la justification n'est pas demandée).

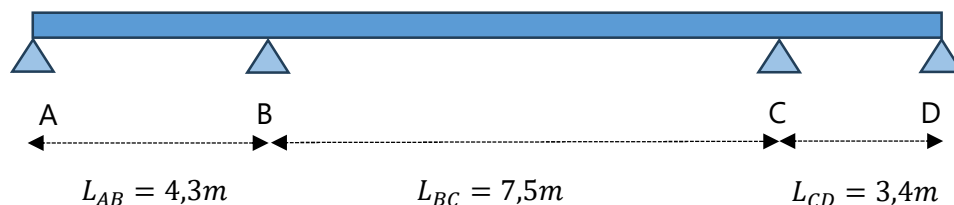


Figure n°3 Modélisation de la poutre continue sans chargement

Q.28 Déterminer le degré d'hyperstaticité, en déduire les inconnues hyperstatiques (le calcul n'est pas demandé)

Q.29 Citez un avantage d'une structure hyperstatique dans le cas de la poutre continue.

Q.30 Retrouver en vous appuyant sur l'annexe 9, la relation fondamentale entre le moment fléchissant $M(x_i)$ et l'effort tranchant $V(x_i)$

Pour la suite, on considèrera, $M_C = -120,48$ kN.m.

- Q.31** En utilisant le théorème des trois moments, déterminer la valeur du moment au point B, noté M_B en vous appuyant sur les annexes 9 et 10. Cette étape nécessite au préalable le calcul des rotations dans les travées isostatiques. (La méthode n'est pas imposée).
- Q.32** En déduire dans l'ordre, l'épure du moment fléchissant $M(x)$, de l'effort tranchant $V(x)$. Les équations doivent être explicitées pour chaque travée.
- Q.33** Déterminer enfin les réactions d'appuis R_A , R_B , R_C et R_D de la poutre hyperstatique respectivement des appuis A, B, C, D.

Nous nous proposons désormais de déterminer l'expression de la déformation au milieu de la travée BC pouvant être modélisée comme suit :

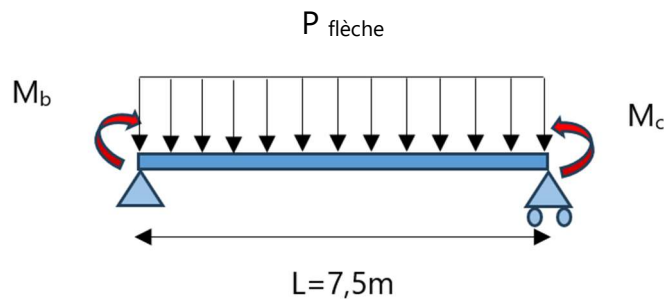


Figure n°4 Modélisation de la travée BC sous chargement

- Q.34** Déterminer l'expression littérale de la flèche δ_f au milieu de la travée BC en vous appuyant sur l'annexe 10 en fonction de $P_{flèche}$, M_b , M_c et EI_z .

Etude du Poteau P0

L'étude porte désormais sur le poteau P0, situé en file B2, voir annexes 11 et annexe 7 bis.

Nous considérerons dans la partie qui suit une compression centrée de valeur $P_v = 220kN$. Pour le besoin de l'exercice, on prendra un poteau doublement articulé dans les deux sens.

Q.35 Qu'est-ce que le phénomène de flambement ? Expliquez le phénomène physique.

Le calcul du flambement théorique requiert la connaissance de la force critique d'Euler (bien que d'autre approche existe).

Q.36 A quoi correspond cette force (l'expression n'est pas demandée). Peut-on l'atteindre en pratique et pourquoi ?

Q.37 Que se passe t'il si la compression n'est pas centrée du point de vue des sollicitations ?

Q.38 L'énoncé précise des conditions d'appuis similaires dans les deux sens. Qu'est-ce que cela signifie et pourquoi est-il important de le mentionner ?

D'un point de vue réglementaire, le calcul au flambement d'un poteau en béton est complexe et se fait en deux étapes :

- Détermination ou non de la prise en compte des effets du second ordre
- Calcul au flambement avec (ou non) la prise en compte de ces effets (qui ne fera pas l'objet de cette partie)

En effet, sous l'effet d'une compression, la charge axiale P_v interagit avec le déplacement latéral Δ , ce qui introduit un moment de flexion supplémentaire $M_2 = P_v \Delta$ dans le poteau. Ce moment de flexion augmente les contraintes internes et diminue la capacité portante. L'effet « $P_v \Delta$ » rend le poteau plus sensible au flambement.

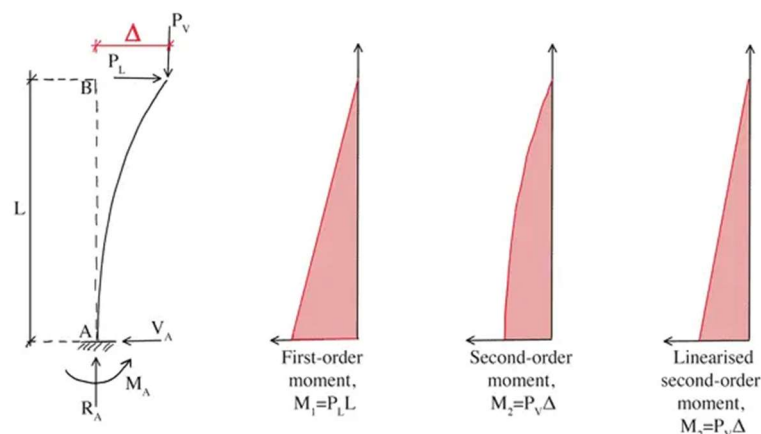


Figure n°5 Mise en évidence des effets du second ordre

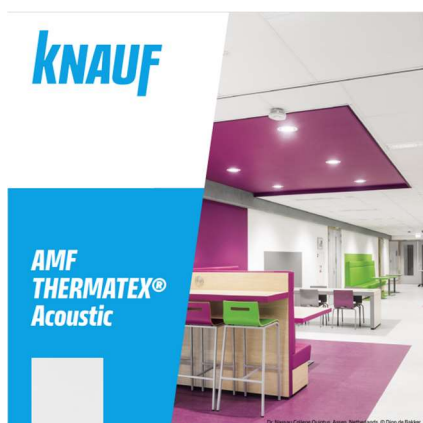
Q.39 Evaluer en vous référant à l'annexe 12, la prise en compte des effets du second ordre. Le poids propre du poteau sera négligé compte tenu des efforts.

V. Confort de l'habitat

La durée de réverbération, notée T_{rev} exprimée en secondes, est définie comme étant le temps nécessaire pour que le niveau sonore en un point décroisse de 60 dB après extinction de la source.

Q.40 En quoi la durée de réverbération est importante du point de vue de l'ambiance ?

Le bureau d'étude a opté pour des plafonds dalles minérales de type AMF Thermatex Acoustic (Knauf AMF).



Les performances d'absorption acoustique α_p par bande d'octave du plafond de type AMF Thermatex Acoustic (Knauf AMF) sont données dans le tableau ci-dessous.

Fréquence (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Alpha Sabine (α)	0.5	0.45	0.60	0.85	0.95	0.95

Figure n°6 Coefficient d'absorption α_p

Q.41 Pourquoi les coefficients α_p varient en fonction des fréquences ? Citez un phénomène physique mis en jeu.

Pour remédier à cela, les industriels déclarent leurs produits sur la base d'un indice d'absorption pondéré notée α_w .

Q.42 Déterminer le coefficient d'absorption pondérée α_{w_dalle} des dalles minérales de type AMF Thermatex Acoustic (Knauf AMF). Après le premier calcul de déviation, on pourra directement apporter une correction imposée à -0,3. Il faut pour ce faire, dans l'ordre chronologique :

- Prendre connaissance de l'annexe 13
- Compléter le document réponse n°4 en traçant la courbe jaune (absorption acoustique α_p)
- Evaluer la déviation (1ère itération) sur le document réponse n°5

- Tracer la nouvelle courbe de référence corrigée sur le document réponse n°4 (correction de -0,3) et calculer la nouvelle correction (2^{ème} déviation) sur le document réponse n°5
- Si celle-ci est conforme (inférieure à 0,1), en déduire α_{w_dalle} sinon apporter une nouvelle correction (3^{ème} déviation) de -0,35 à la courbe de référence et recalculer la déviation sur le document réponse n°5
- En déduire α_{w_dalle}

Nous nous proposons désormais de déterminer le temps de réverbération T_{rev} du bureau d'enseignant FI05-1M. Celui-ci est donné par :

$$T_{rev} = \frac{0.16V}{\sum \alpha_i S_i}$$

- α_i , le coefficient d'absorption acoustique du matériau considéré
- S_i la surface du matériau considéré m^2
- V le volume de la pièce m^3

Le CCTP impose un sol souple appelé « linoléum » dont le coefficient d'absorption est de $\alpha_{w_sol} = 0,05$.

Q.43 Comment interpréter physiquement ce coefficient d'absorption (est-il conséquent ou non), en d'autres termes, comment réagit le matériau vis-à-vis des ondes sonores ?

Pour les besoins du calcul, nous négligerons l'absorption du sol α_{w_sol} , des murs/plafond $\alpha_{w_mur/plafond}$ (seule l'absorption acoustique α_{w_dalle} sera prise en compte) et les salles seront supposées vides.

Q.44 Déterminer, vis-à-vis de l'absorption acoustique α_{w_dalle} , le critère que doit vérifier les dalles du bureau des enseignants au regard de l'objectif règlementaire (annexes 14, 15). En conclure sur le choix du bureau d'étude.

La surface couverte moyenne par une personne dont le coefficient d'absorption $\alpha_{per} = 0,7$ est de $0,5m^2$.

Q.45 Quel serait le nouveau temps de réverbération de la salle, lorsque celle-ci est comble (30 personnes au sein du local bureau enseignant) ?

Q.46 Nous souhaitons opter pour un temps de réverbération optimal pour une salle comble de la forme $T_{optimal} = \beta V^{1/3}$ en remplaçant le linoléum par un autre matériau absorbant dont le coefficient est α_{w_new} . Montrer que :

$$\alpha_{w_new} = \alpha_{w_dalle} + \frac{0.16}{S_{new}} V^{2/3} \left(\frac{1}{\beta} - \frac{V^{1/3}}{T_{rev}} \right)$$

On remarquera que $S_{new} = S_{dalle}$ (la surface de la dalle reste inchangée)

VI. Etude de fondation

Nous nous proposons désormais de nous intéresser à la fondation de type superficielle au pied du poteau considéré.

Le Bâtiment « Recherche » présente au niveau du rez-de-chaussée un laboratoire qui amplifie considérablement la descente de charge justifiée par la prise en compte des bancs d'essai de travaux pratiques avec prise en compte de multiples charges ponctuelles sur la plancher bas.

Une étude complète de descente de charge estime la charge (que l'on supposera parfaitement centrée), que doit supporter la fondation superficielle à $Q = 190t$ (y compris le poids propre de la semelle).

Q.47 Rappeler en quelques lignes les différents types de fondations ?

La reconnaissance du terrain et l'identification des caractéristiques mécaniques des différentes couches de sol ont été réalisées à l'aide d'essais in-situ dont les résultats sont disponibles en annexe 16. Nous ne nous soucierons pas de la position de la nappe.

Les essais révèlent les caractéristiques suivantes :

Remblais et sols remaniés

A partir du terrain naturel (la tête de sondage est située à 62.5 NGF), une multitude de sondages ont été effectués afin d'apprécier la qualité du sol.

Ces derniers mettent en évidence des Remblais et de la Terre végétale composés d'argile limono-sableuse marron brun avec des cailloux sur des épaisseurs moyennes de 0,5 m.

Eboulis de pente

Sous-les Remblais/sols remaniés, les sondages ont mis en évidence une grave sableuse argileuse marron vers un sable argileux.

Le bureau d'étude préconise un ancrage d'au moins 0,5m dans les Eboulis de pente, au-delà du fond de fouille. Pour les besoins du calcul, nous partirons sur une assise de fondation ancrée à 60.66 NGF. La pression admissible q_u (MPa) est donnée par :

$$q_u = K_p p_{le}^* + \gamma D$$

- q_u , contrainte (pression) admissible MPa
- K_p , facteur de portance, fixé à 0,85
- p_{le}^* , la pression limite équivalente en MPa
- γD , contrainte totale au niveau de la fondation après achèvement des travaux, négligeable dans notre cas d'étude

$$p_{le}^* = p_{le}^*(z_e) \text{ avec } z_e = D + \frac{2}{3}B$$

Q.48 Déterminer en s'appuyant sur les annexes 16 et 17, la pression limite p_{le}^* sous fondation. Nous partirons sur l'hypothèse d'une semelle carrée d'une surface $S = 3,24 \text{ m}^2$.

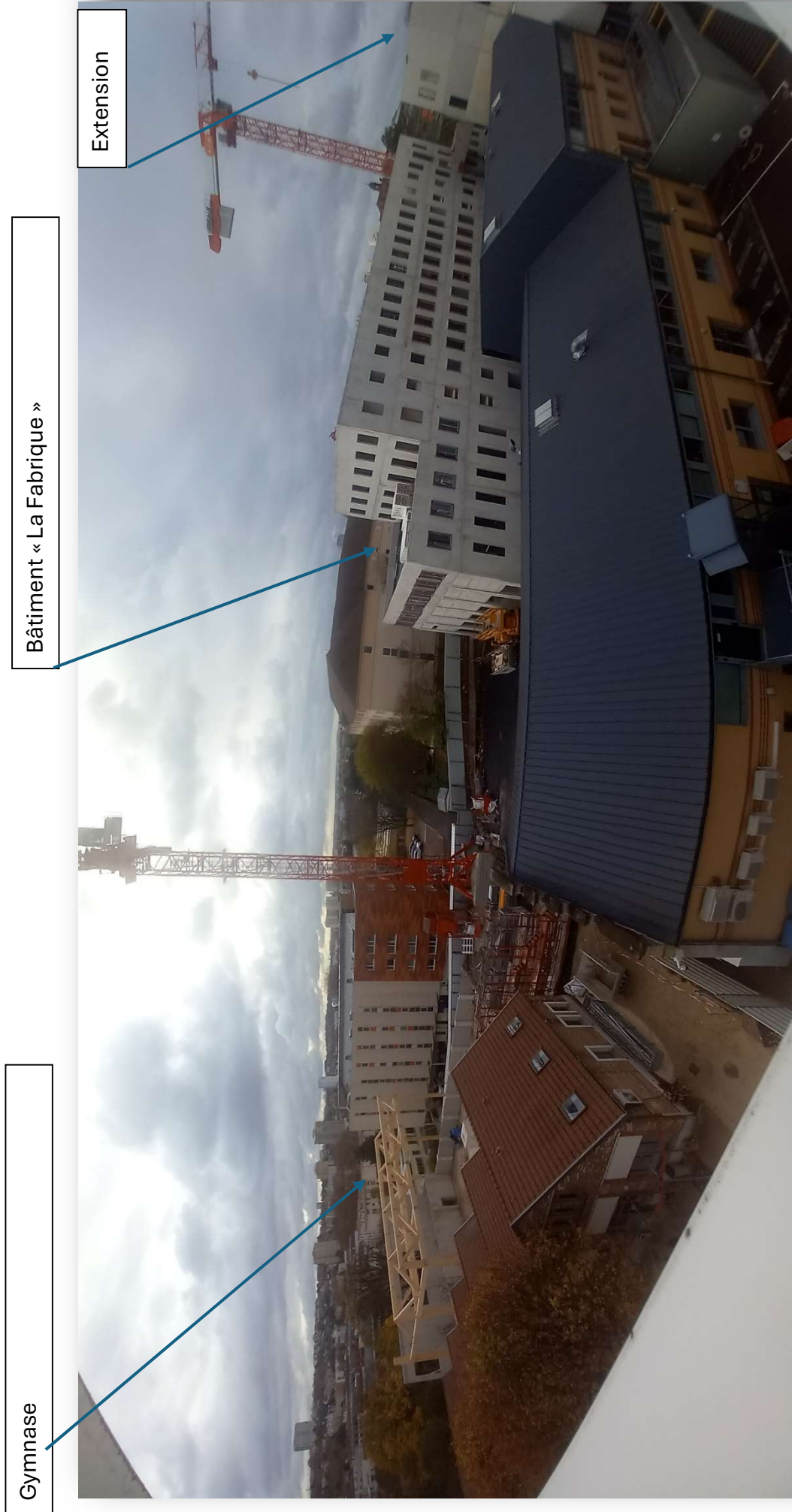
Q.49 Evaluer finalement le risque de rupture de la fondation avec un coefficient de sécurité de $F = 2$. Conclure.

On donne : $F = \frac{Q_{adm}}{Q}$ (le rapport entre la charge admissible et la charge réelle que supporte la fondation)

Q.50 En conclure sur une solution définitive pour les dimensions de la fondation.

Fin de l'épreuve

ANNEXE



Annexe 1 Vue panoramique, façade nord

B

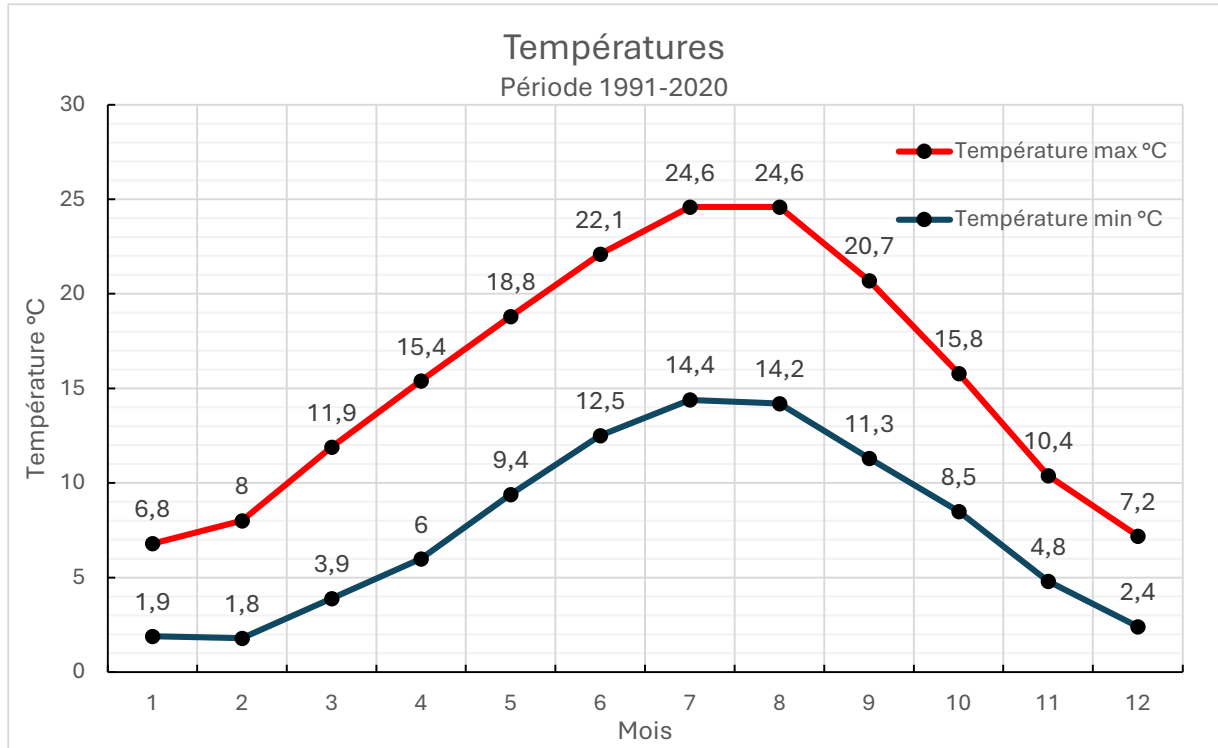
ANNEXE



Annexe 2 Vue façade nord 2

ANNEXE

Environnementale et thermique



Annexe 3 Données météorologiques

ANNEXE

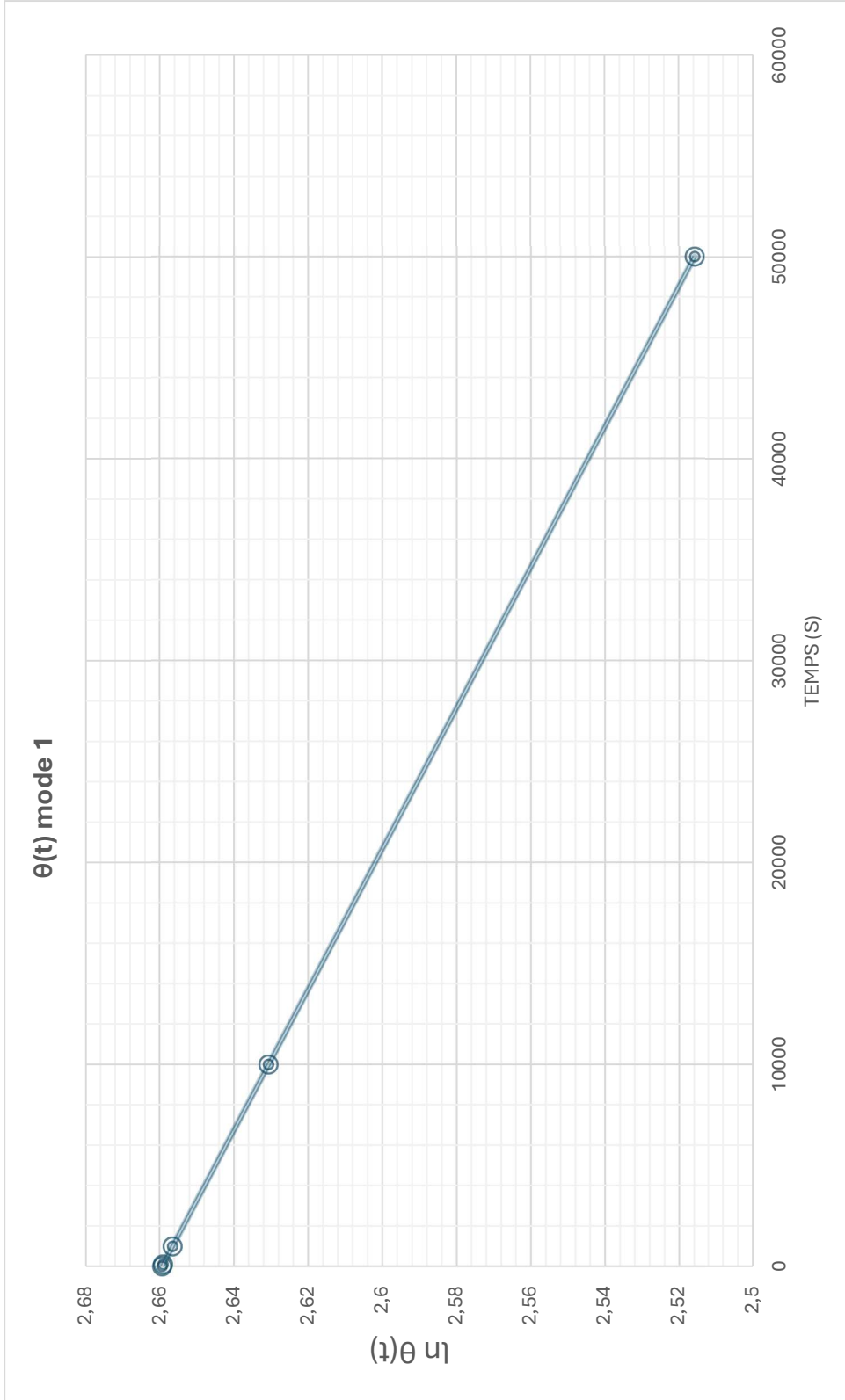
Etude d'une paroi opaque

	MEXT09	MEXT10	MEXT11	MEXT13
R(m ² .K/W)	> 4	> 5	> 10	> 6

MEXT10		
Composante	Epaisseur (cm)	λ W/(m.k)
Brique pleine	15	1
Air	2	0,025
Laine de roche	à définir	0,036
Béton plein armé	20	2,5

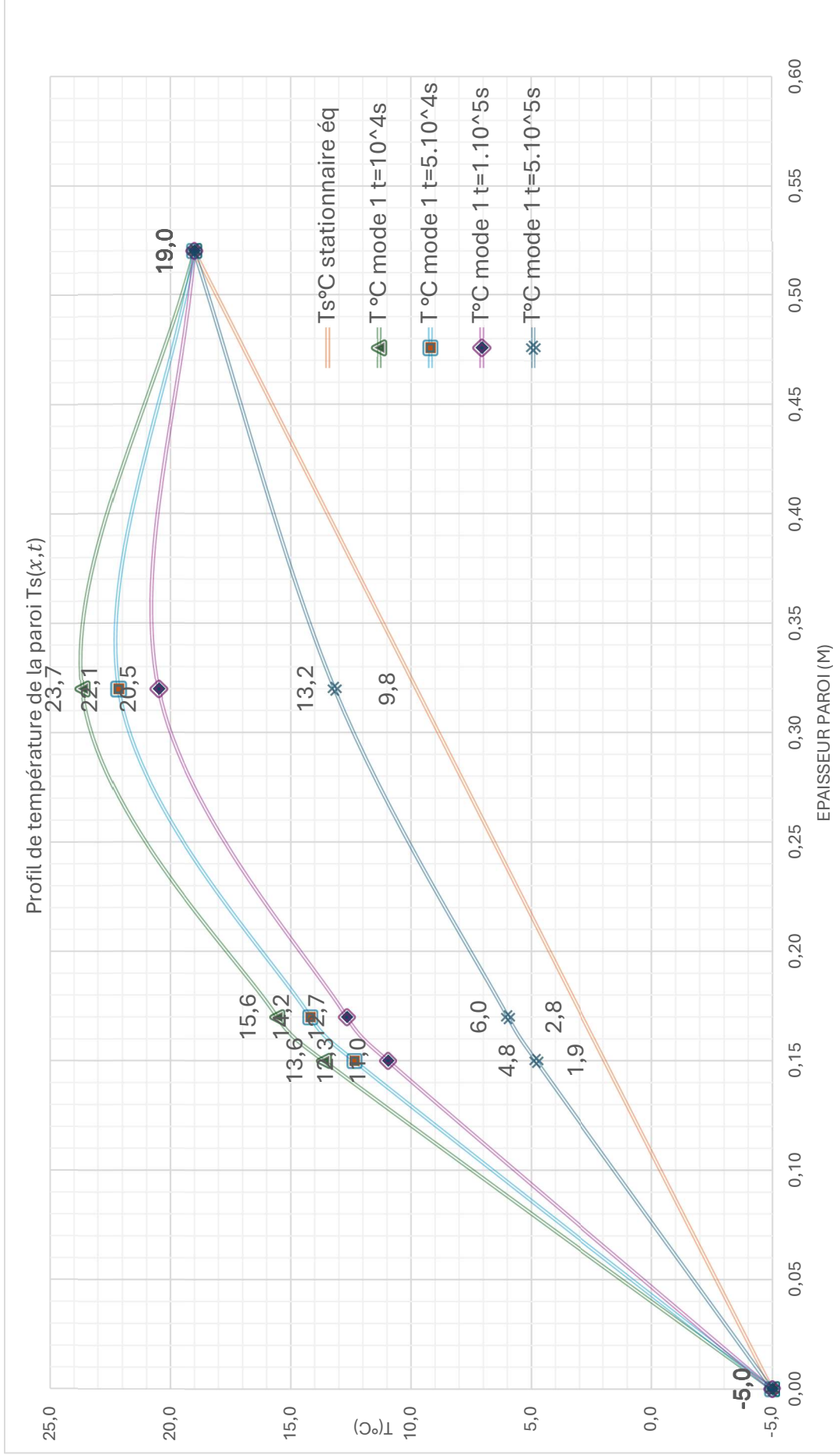
Annexe 4 Composition du mur extérieur pavillon nord 10 et exigences du cahier des charges

ANNEXE



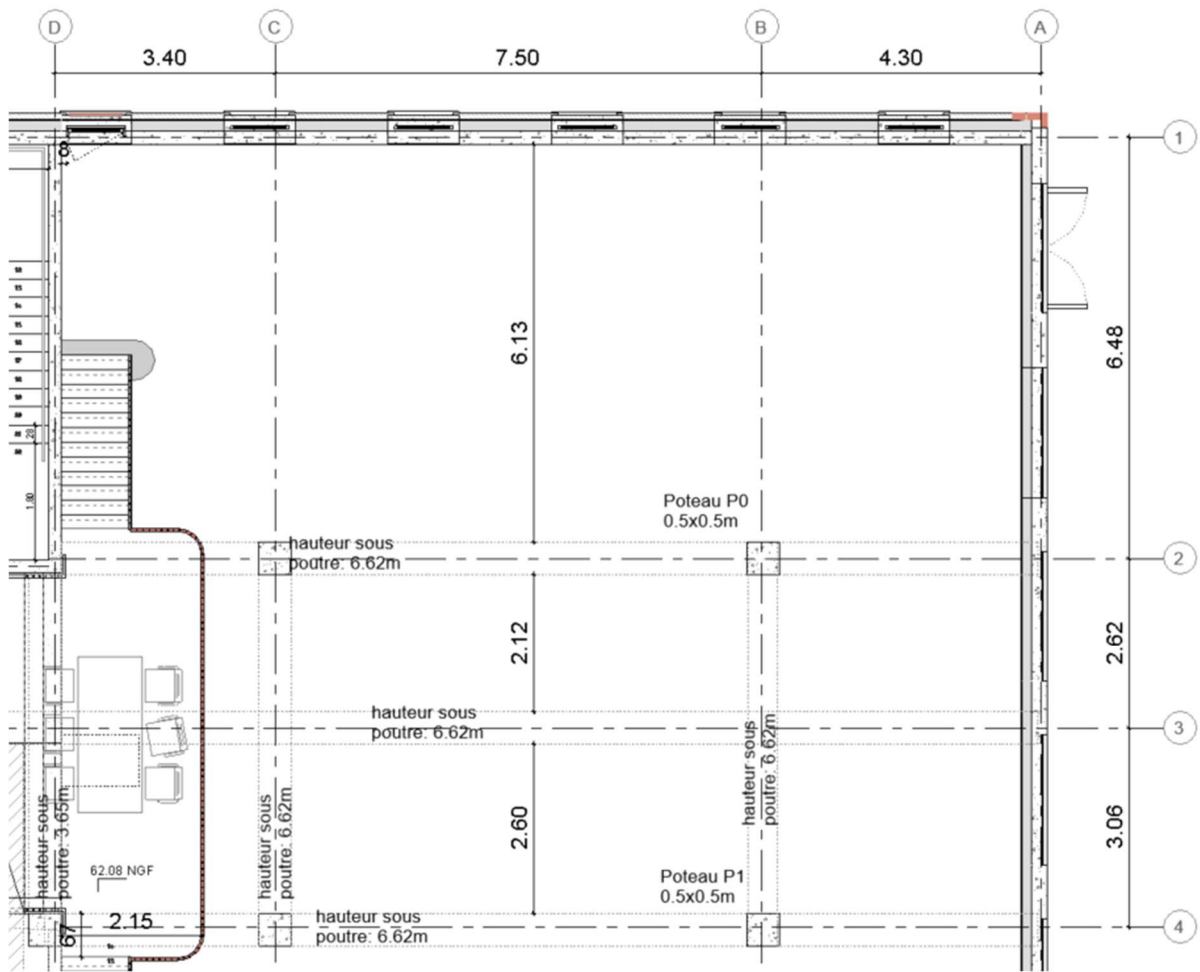
Annexe 5 Profil de température de la paroi monocouche équivalente $\theta(x, t)$

ANNEXE



Annexe 6 Profil de température de la paroi monocouche équivalente $T_s(x,t)$

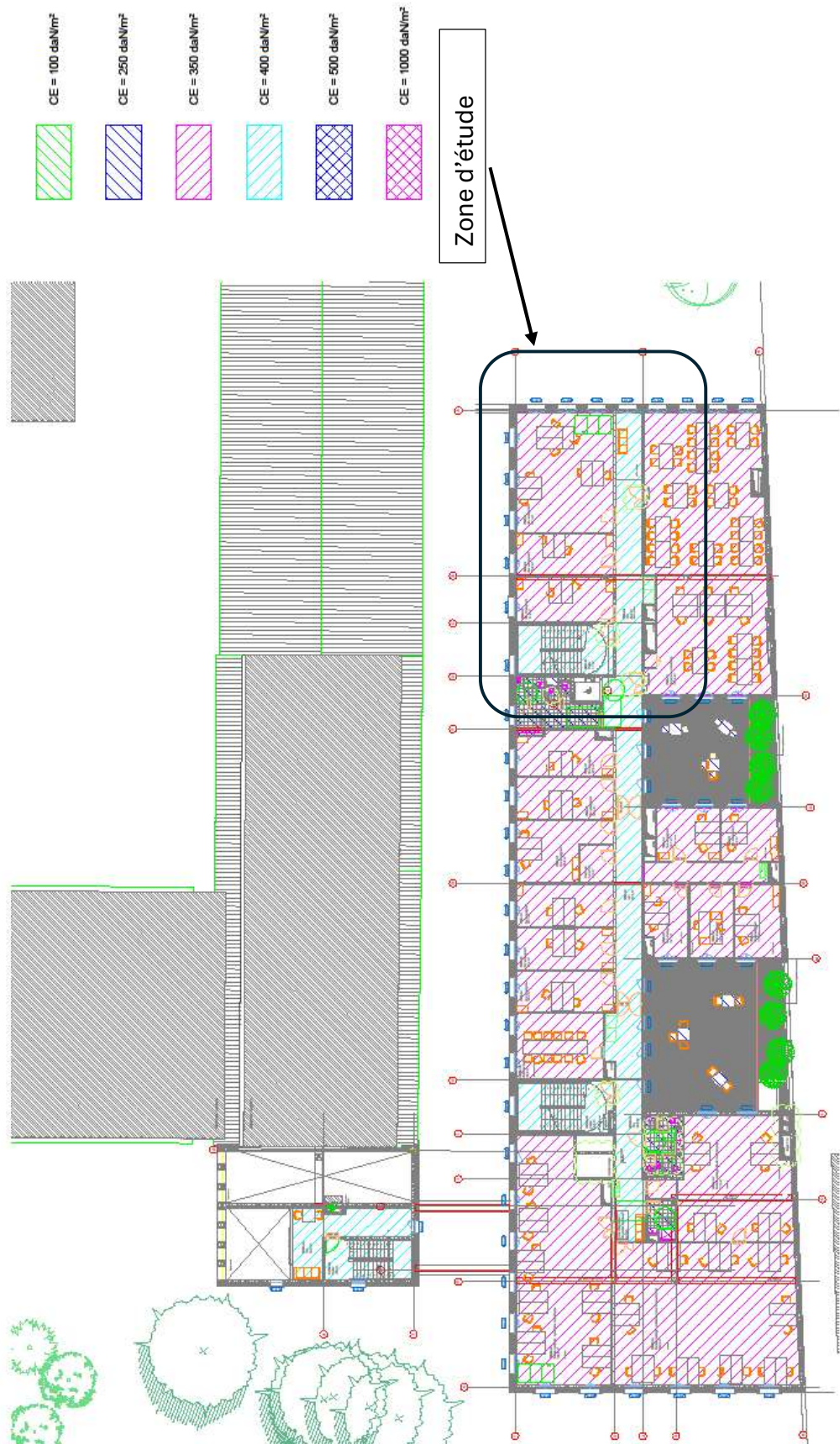
ANNEXE



Annexe 7 Bis Plan niveau RDC Haut

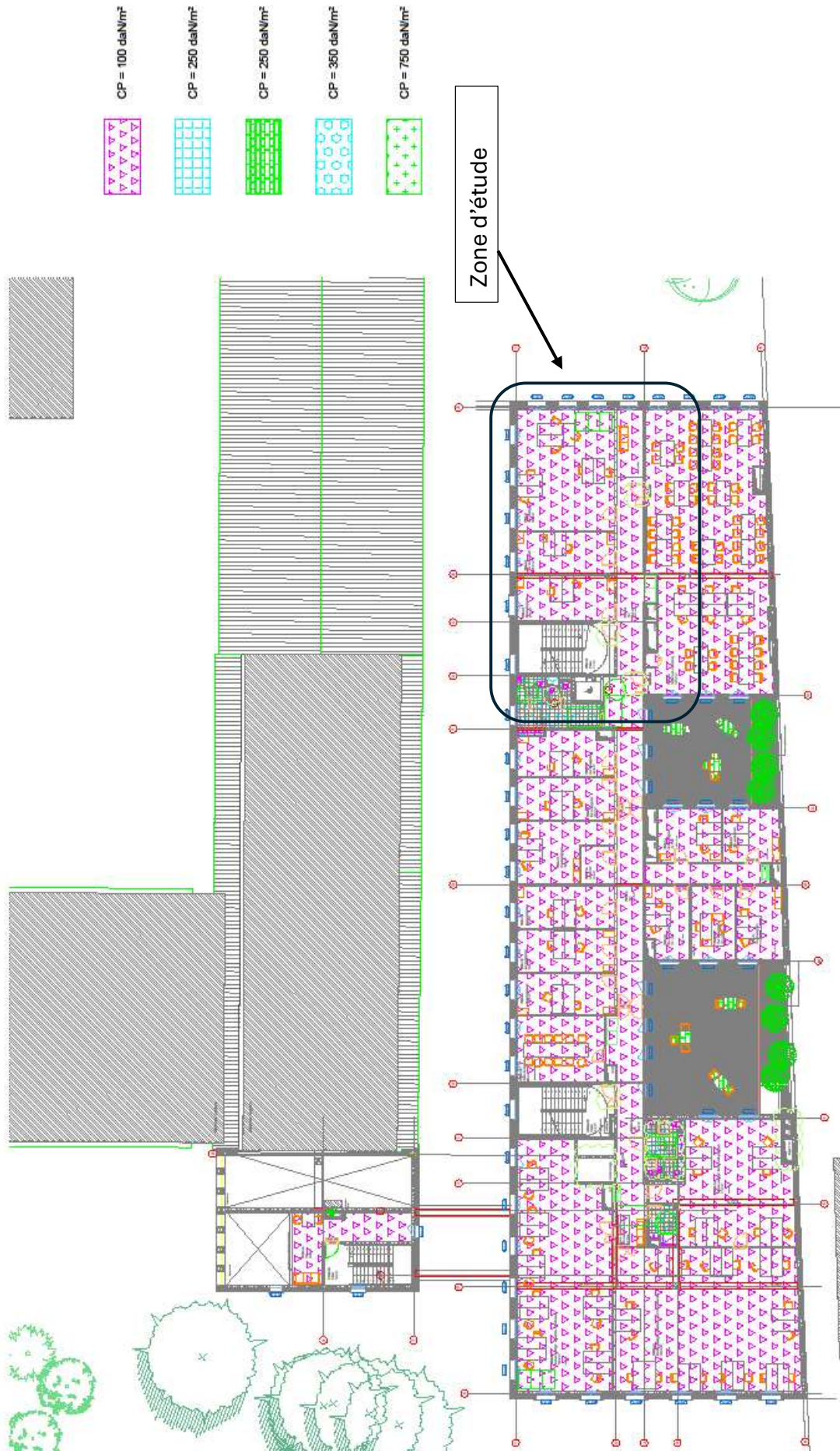
ANNEXE

Annexe 8 Charges d'exploitation (CE) et permanentes (CP) RDC haut (niveau R+1)



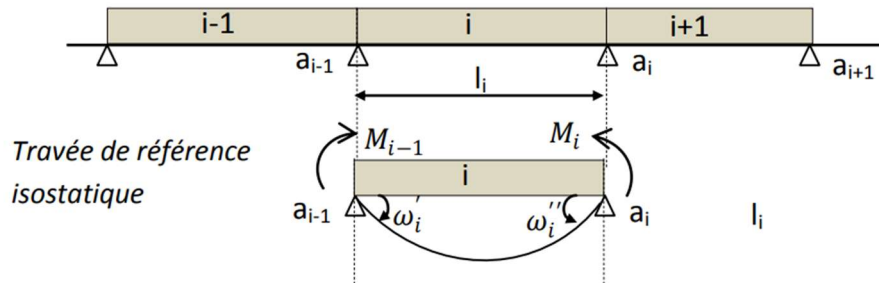
Charges d'exploitation - R+1

ANNEXE



ANNEXE

Etude d'une poutre continue



Poutre continues avec N appuis

$$M_{i-1}L_i + 2M_i(L_{i+1} + L_i) + M_{i+1}L_{i+1} = 6EI(\omega'_{i+1} - \omega''_i)$$

ω'_{i+1} : la rotation de la travée i+1 pour l'appui gauche dans la travée isostatique associée

ω''_i : la rotation de la travée i pour l'appui droite dans la travée isostatique associée

$$M(x_i) = m(x_i) + M_{i-1} \left(1 - \frac{x_i}{L_i}\right) + M_i \left(\frac{x_i}{L_i}\right)$$

$$V(x_i) = v(x_i) + \frac{M_{i-1} - M_i}{L_i}$$

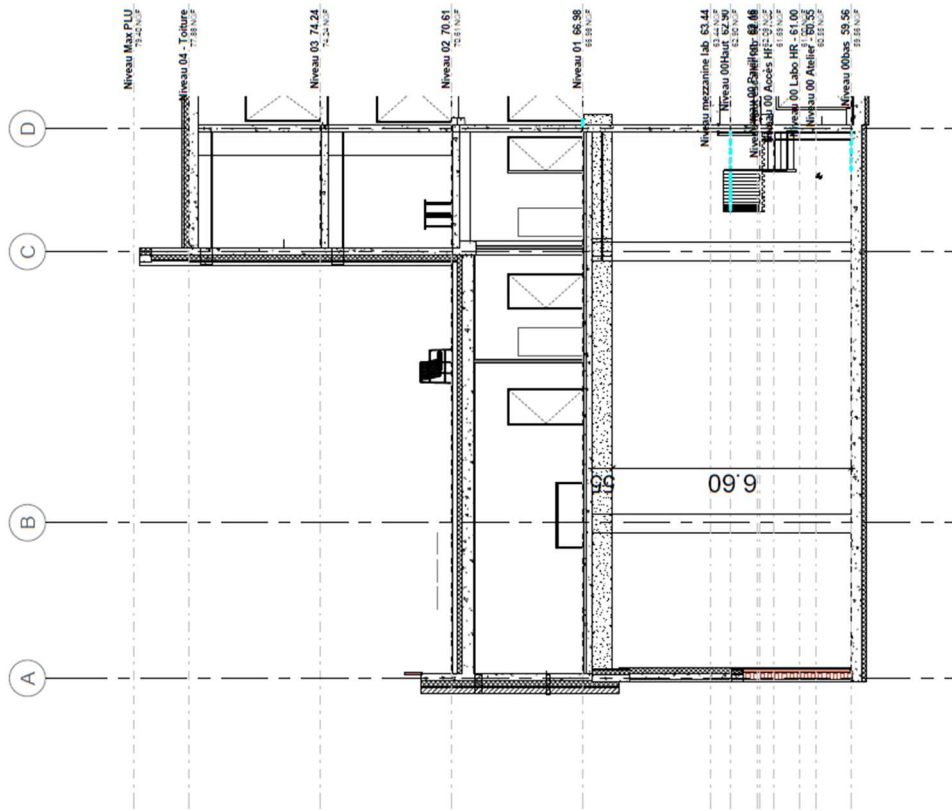
$$R_i = v_{g,i} - v_{d,i}$$

$v_{d,i}$ réaction d'appui à droite de l'appui(i) dans la structure isostatique

$v_{g,i}$ réaction d'appui à gauche de l'appui(i) dans la structure isostatique

Annexe 9 Equations des trois moments

ANNEXE



Annexe 11 Elévation du poteau P0.

ANNEXE

Annexe 12 Prise en compte des effets du second ordre

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} \text{ et } i = \sqrt{\frac{I}{S}}$$

Avec S la section du poteau

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}}$$

$$A = 0,7 ; B = 1,1 ; C = 1$$

$$n = \frac{P_v}{S f_{cd}}$$

avec :

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

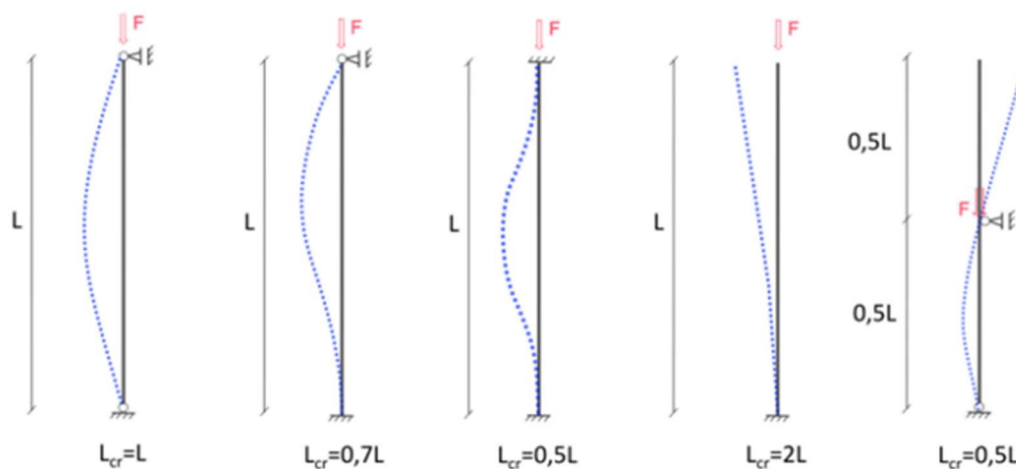
$$\gamma_c = 1,5$$

Critère de prise en compte des effets du second ordre :

$\lambda < \lambda_{lim}$ non prise en compte des effets du second ordre

$\lambda > \lambda_{lim}$ prise en compte des effets du second ordre

Longueur de flambement L_{cr} d'une barre comprimée



ANNEXE

Annexe 13

Confort de l'habitat

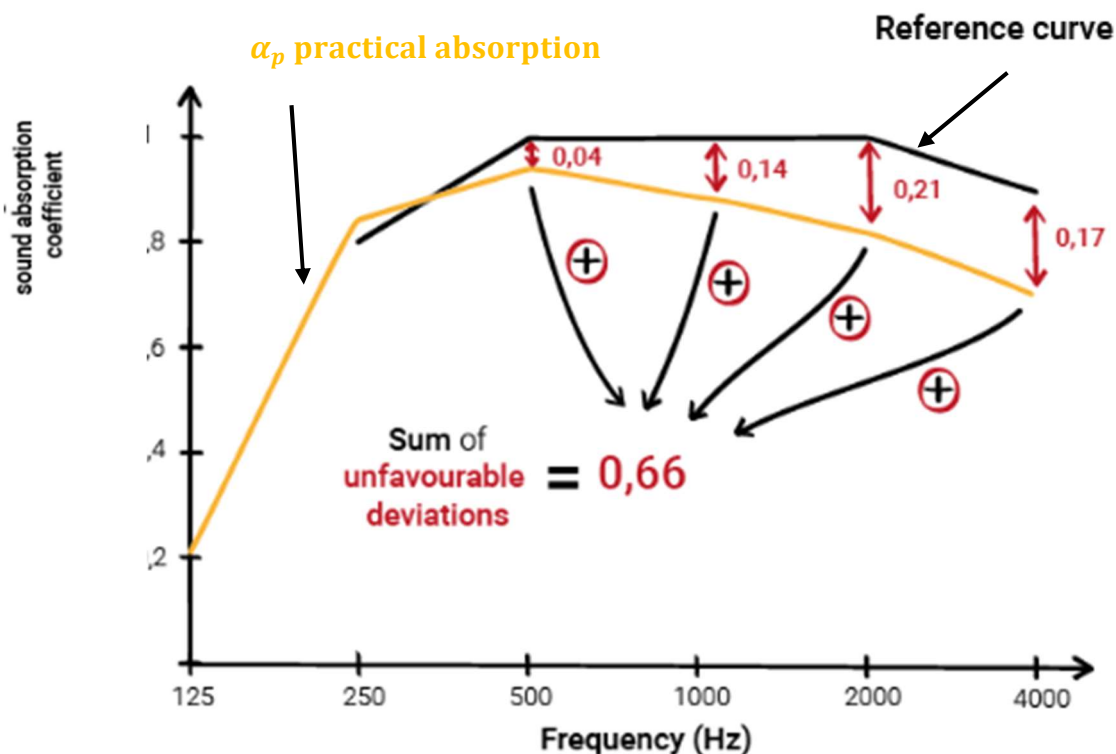
Détermination de α_w

L'indice pondéré α_w n'est pas une moyenne arithmétique des α_p . C'est une valeur unique calculée selon une méthode normalisée (ISO 11654) en comparant les valeurs de l'absorption pratiques α_p mesurées en laboratoires (en jaune) à **une courbe de référence (en noir)**. Elle s'exécute en 4 étapes :

- La première étape consiste à reporter les coefficients à mesurer α_p sur la courbe de référence (voir document réponse n°4). Celle-ci constituera la courbe jaune.
- La seconde étape consiste à déterminer les déviations par octave (en rouge). Pour une fréquence donnée, une déviation est obtenue par **différence entre la courbe noir et la courbe jaune**. Celle-ci est :
 - défavorable lorsque, la valeur mesurée **est inférieure** à la courbe de référence.
 - favorable lorsque la valeur mesurée **est supérieure** à la courbe de référence. (voir graphe ci-dessous)

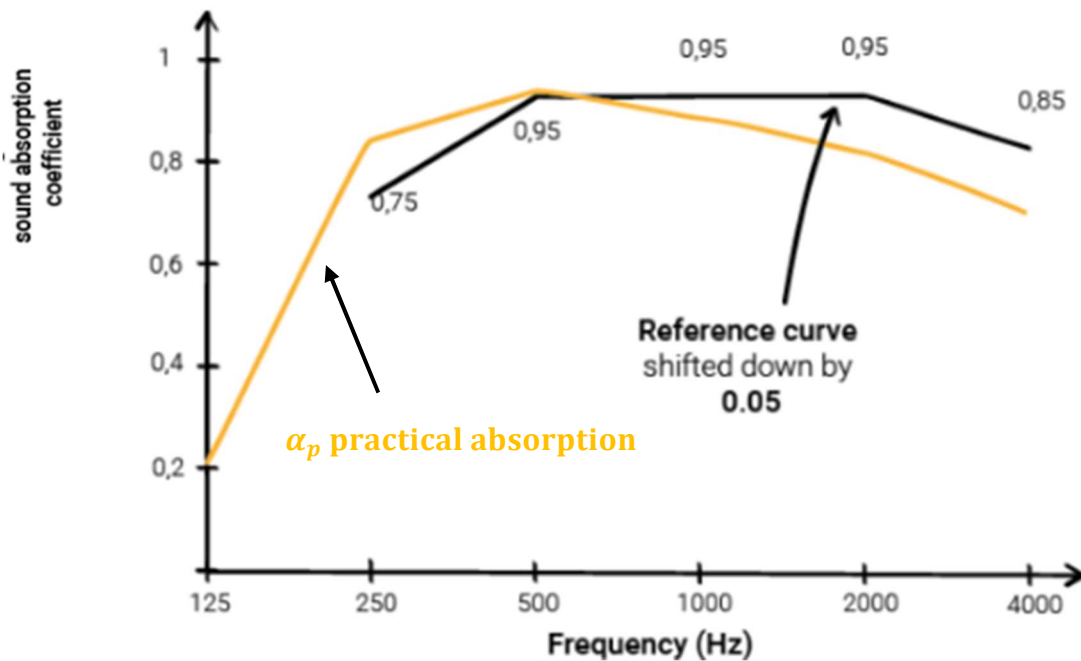
La méthode ne comptabilise que les déviations défavorables.

- La troisième étape consiste à sommer les déviations défavorables par bande d'octave comme suit :

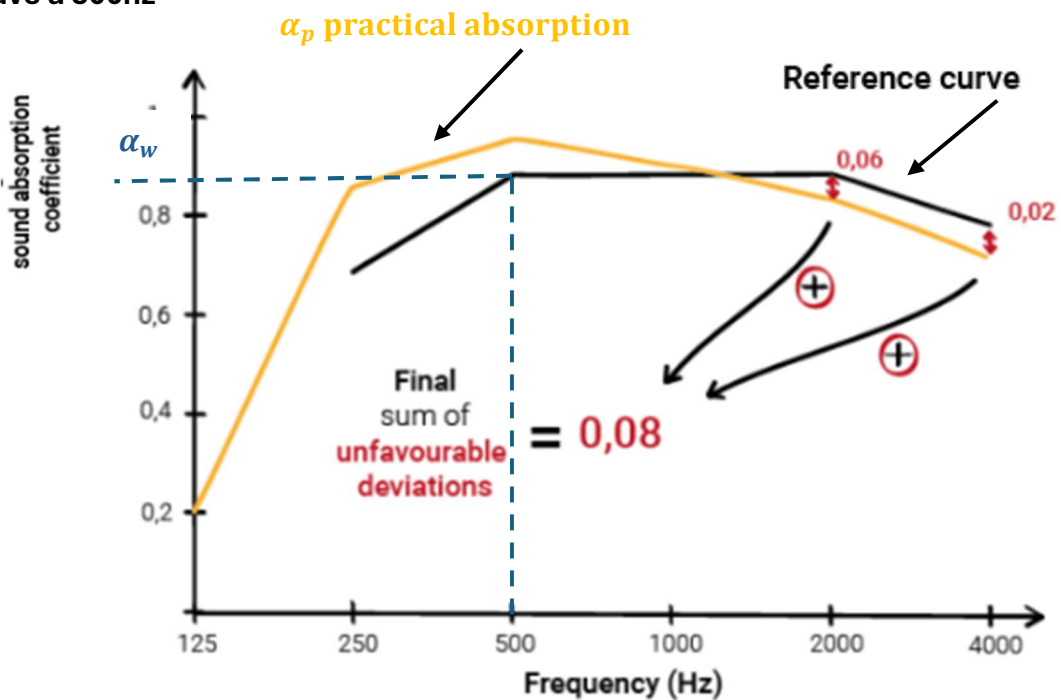


ANNEXE

- La dernière étape consiste à translater la courbe de référence par pas de 0,05 (autant de fois que nécessaire) afin que la somme précédemment calculée n'excède pas 0,1.



Le coefficient pondéré α_w se lit alors sur la courbe de référence corrigée, pour la bande d'octave à 500hz



ANNEXE

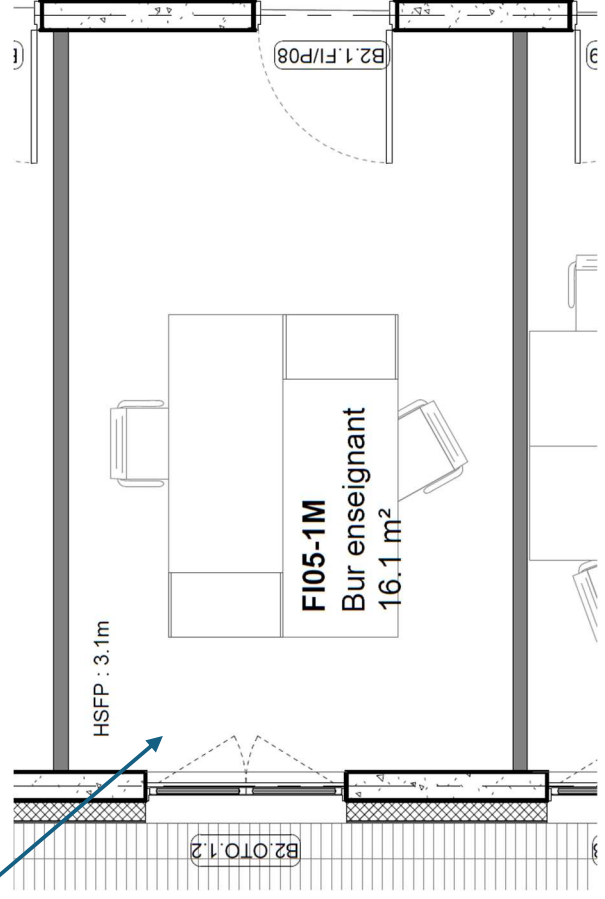
Bâtiment 2 : La Fabrique

Locaux meublés non occupés	Objectif réglementaire	Objectif HQE – Classe C	Objectif retenu :Durée de réverbération moyenne [500-1000-2000] Hz ou AAE
Hall et autres circulations horizontales de V < 250 m ³ espaces capables	$Tr \leq 1.2 \text{ s si } V \leq 512 \text{ m}^3$	Non visé	$AAE \geq 0,5 \times S_{(\text{surface au sol})}$
<u>Bureaux individuels</u> : bureau de la direction, bureaux de passage	$0,4 \text{ s} \leq Tr \leq 0,8 \text{ s}$	$Tr > 0,7 \text{ s}$	$Tr \leq 0,8 \text{ s}$
<u>Bureaux collectifs</u> : bureaux des enseignants permanents	$0,4 \text{ s} \leq Tr \leq 0,8 \text{ s}$	$0,5 \text{ s} \leq Tr \leq 0,6 \text{ s}$	$Tr \leq 0,6 \text{ s}$
<u>Salles de réunion cloisons fixes</u> : salles de travail petits groupes 6 pers.	$0,4 \text{ s} \leq Tr \leq 0,8 \text{ s}$	$0,4 \text{ s} \leq Tr \leq 0,8 \text{ s}$	$0,4 \text{ s} \leq Tr \leq 0,8 \text{ s}$
Sanitaires	$0,4 \text{ s} \leq Tr \leq 0,8 \text{ s}$	-	$0,4 \text{ s} \leq Tr \leq 0,8 \text{ s}$
<u>Salles d'enseignement ou de TP V ≤ 250 m³</u> : Espace de cours MIS, CHC, MTEG, MOGI, salles de cours VAE (FC-17)	$0,4 \text{ s} \leq Tr \leq 0,8 \text{ s}$	$0,4 \text{ s} \leq Tr \leq 0,8 \text{ s}$	$0,4 \text{ s} \leq Tr \leq 0,8 \text{ s}$
<u>Salles d'enseignement ou de TP V > 250 m³</u> : Espace de cours MOGI, AMEC, espace expérientiel HR-07 et LH-04, labo de recherche transversale HR-08, ateliers 1 et 2	$0,6 \text{ s} \leq Tr \leq 1,2 \text{ s}$	$0,6 \text{ s} \leq Tr \leq 1,2 \text{ s}$	$0,6 \text{ s} \leq Tr \leq 1,2 \text{ s}$
<u>Espaces ouverts V < 250 m³</u> : Bureaux des directeurs pédagogiques, administration bureaux repartis en open-space, bureau partagé multiphysique, espace numérique, espace de travail collaboratif, bureau partagé	$0,4 \text{ s} \leq Tr \leq 0,8 \text{ s}$	$0,6 \text{ s} \leq Tr \leq 0,8 \text{ s}$	$0,6 \text{ s} \leq Tr \leq 0,8 \text{ s}$
<u>Espaces ouverts V > 250 m³</u> : Bureau partagé matériaux pour la construction, systèmes numériques, coworking	$0,6 \text{ s} \leq Tr \leq 1,2 \text{ s}$	$1,0 \text{ s} \leq Tr \leq 1,2 \text{ s}$	$1,0 \text{ s} \leq Tr \leq 1,2 \text{ s}$

BAT B2 : circulations horizontales et espaces capables des niveaux 01, 02 et 03, sanitaires, bureaux de passages, bureaux de dir. Pédagogiques, salle de travail, bureaux administration, bureaux direction, bureaux enseignants, bureaux partagés (X3), labos de recherche inter-thématique, espace expérientiel HR-07, espace réunion, espace numérique/ collaboratif, espace bureau, ateliers 1 et 2, salle des impressions, vestiaires.

Annexe 14 Objectif pour le calcul du temps de réverbération

ANNEXE

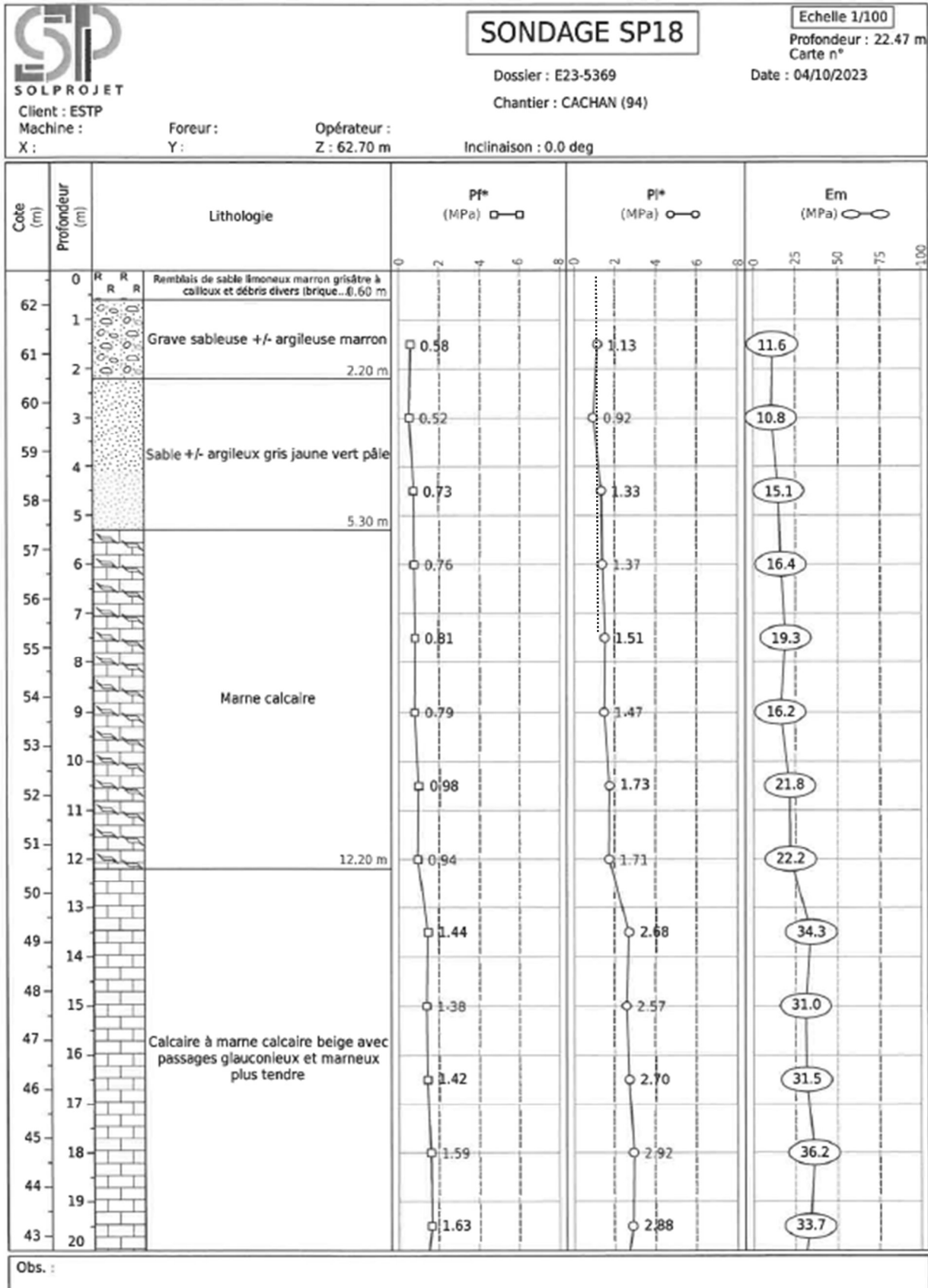


Annexe 15 Bureau des enseignants niveau R+1

ANNEXE

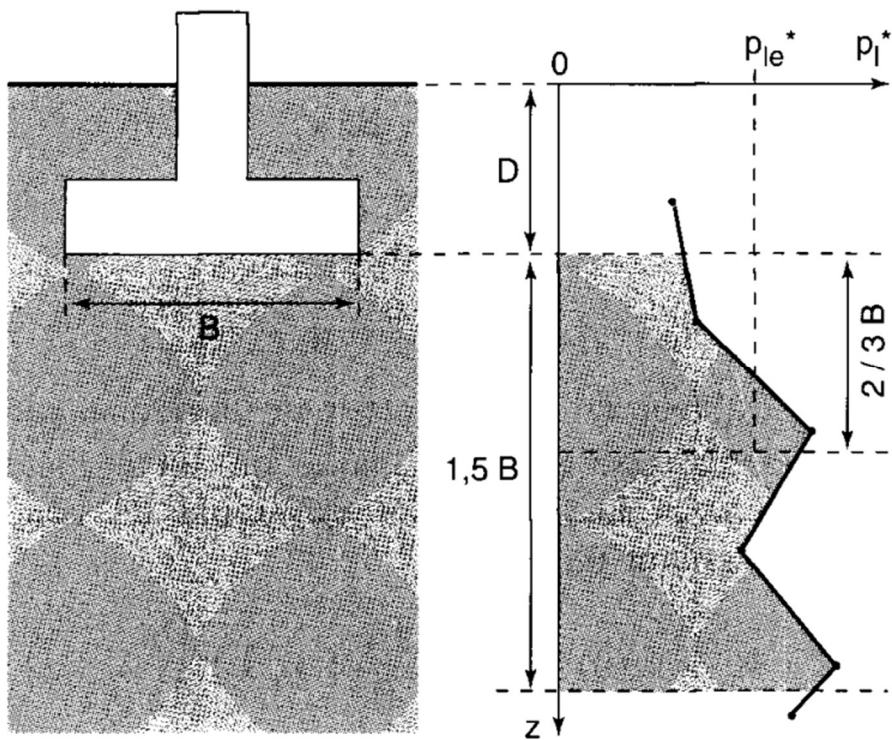
Etude de fondation

Annexe 16 Reconnaissance terrain sondage SP18

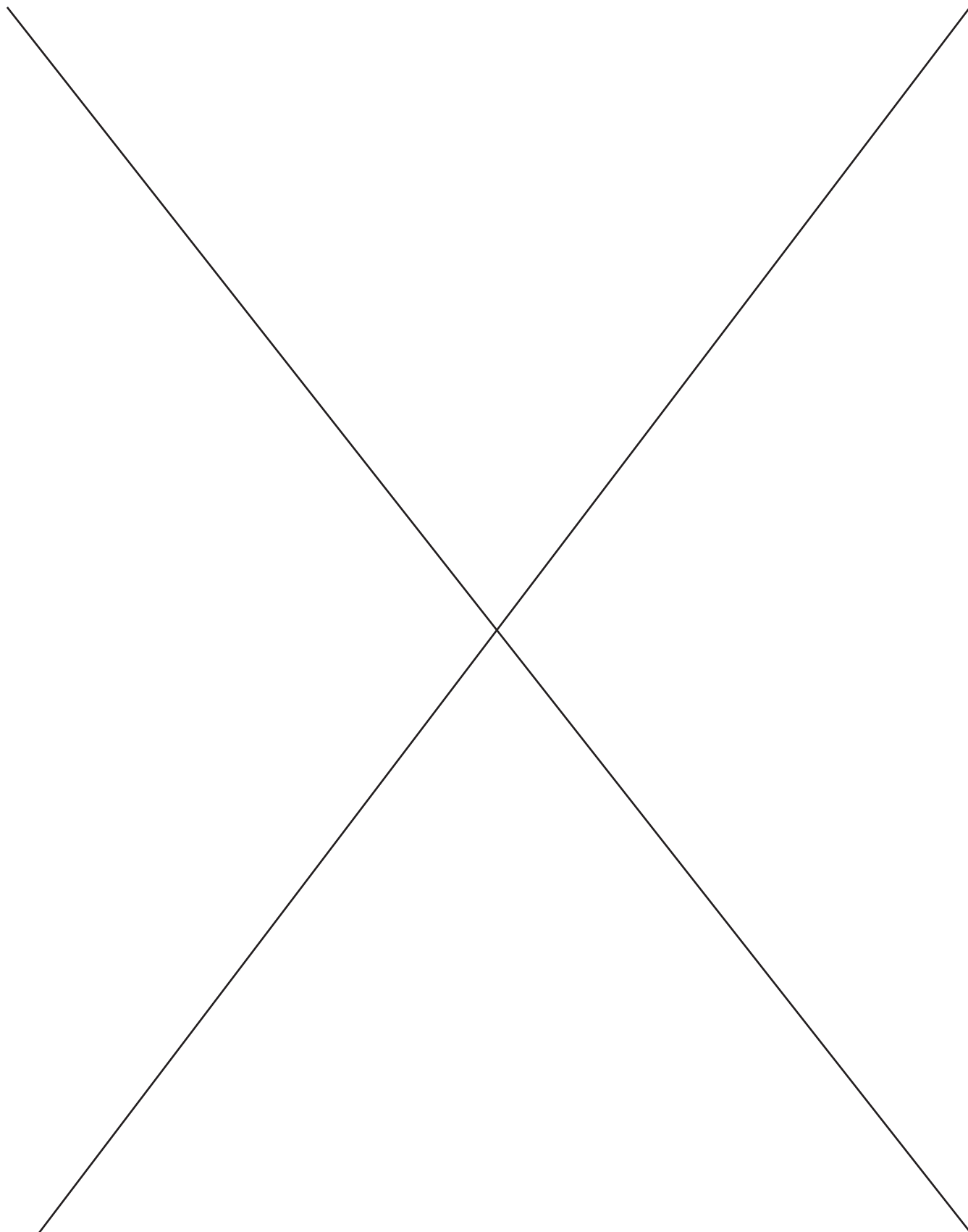


ANNEXE

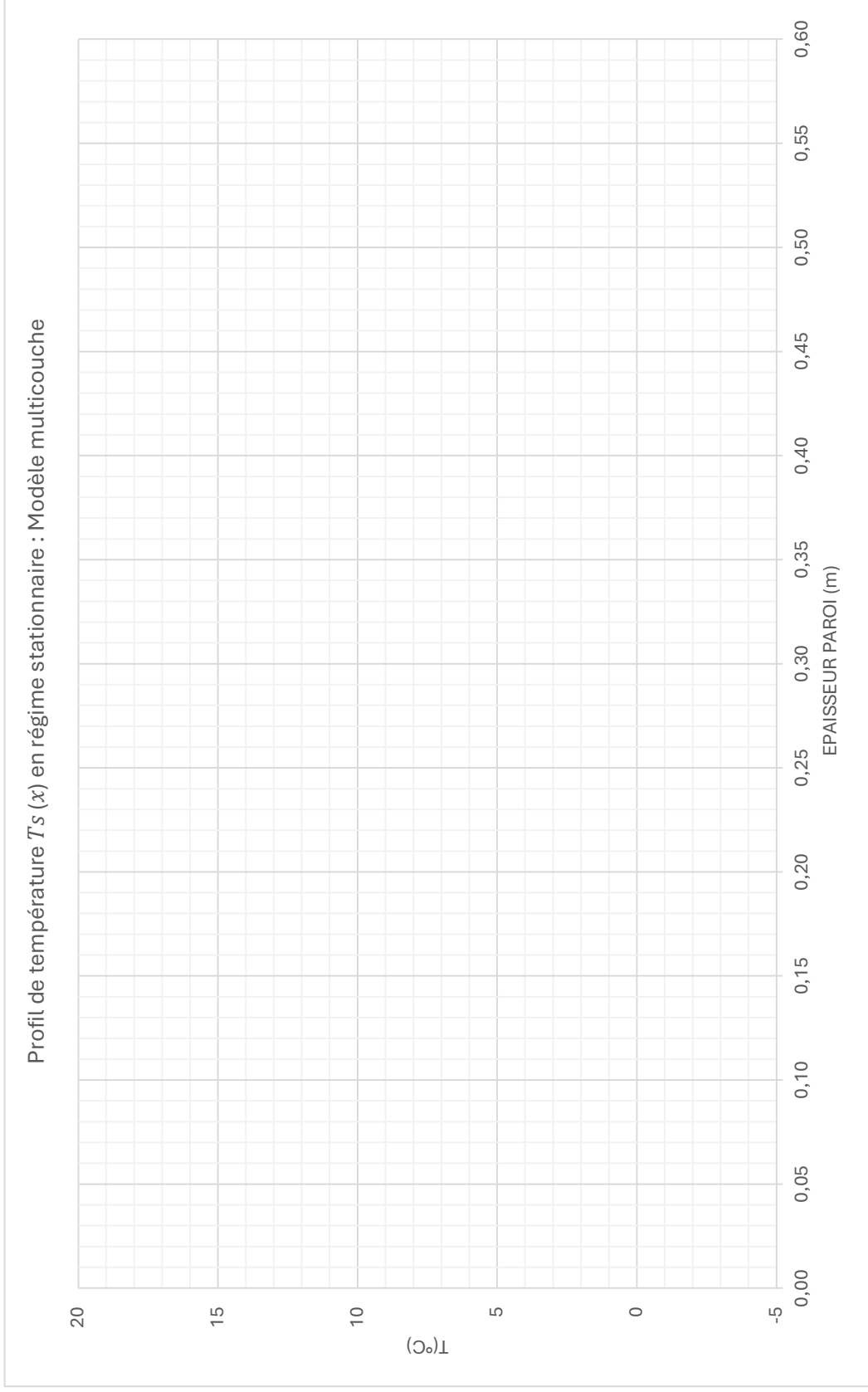
Annexe 17 Détermination de p_{le}^*



NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE



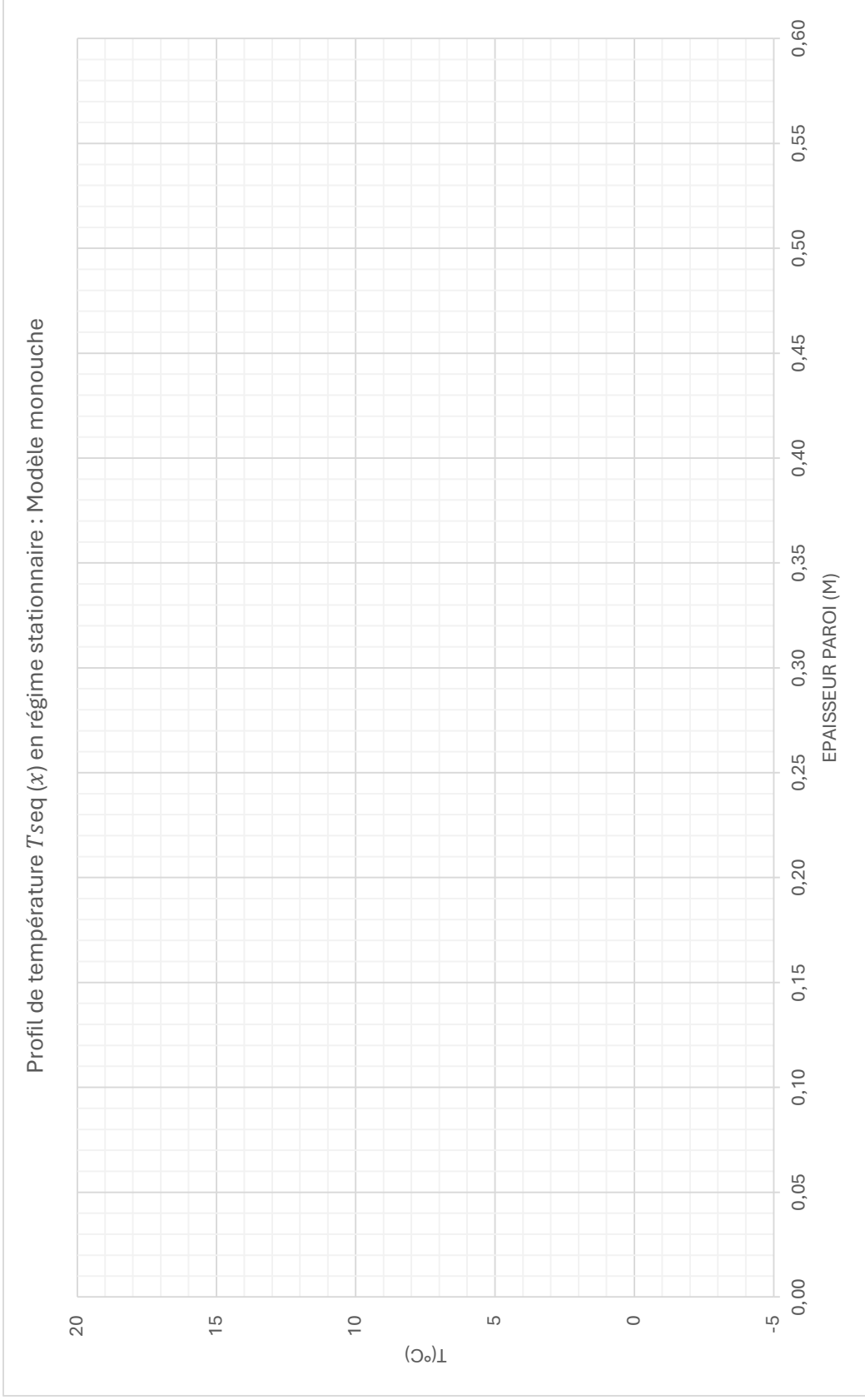
DOCUMENT REPOSE



Document réponse n°2 Profil de température multicouche en régime stationnaire

DOCUMENT REPONSE

Profil de température $T_{seq}(x)$ en régime stationnaire : Modèle monocouche

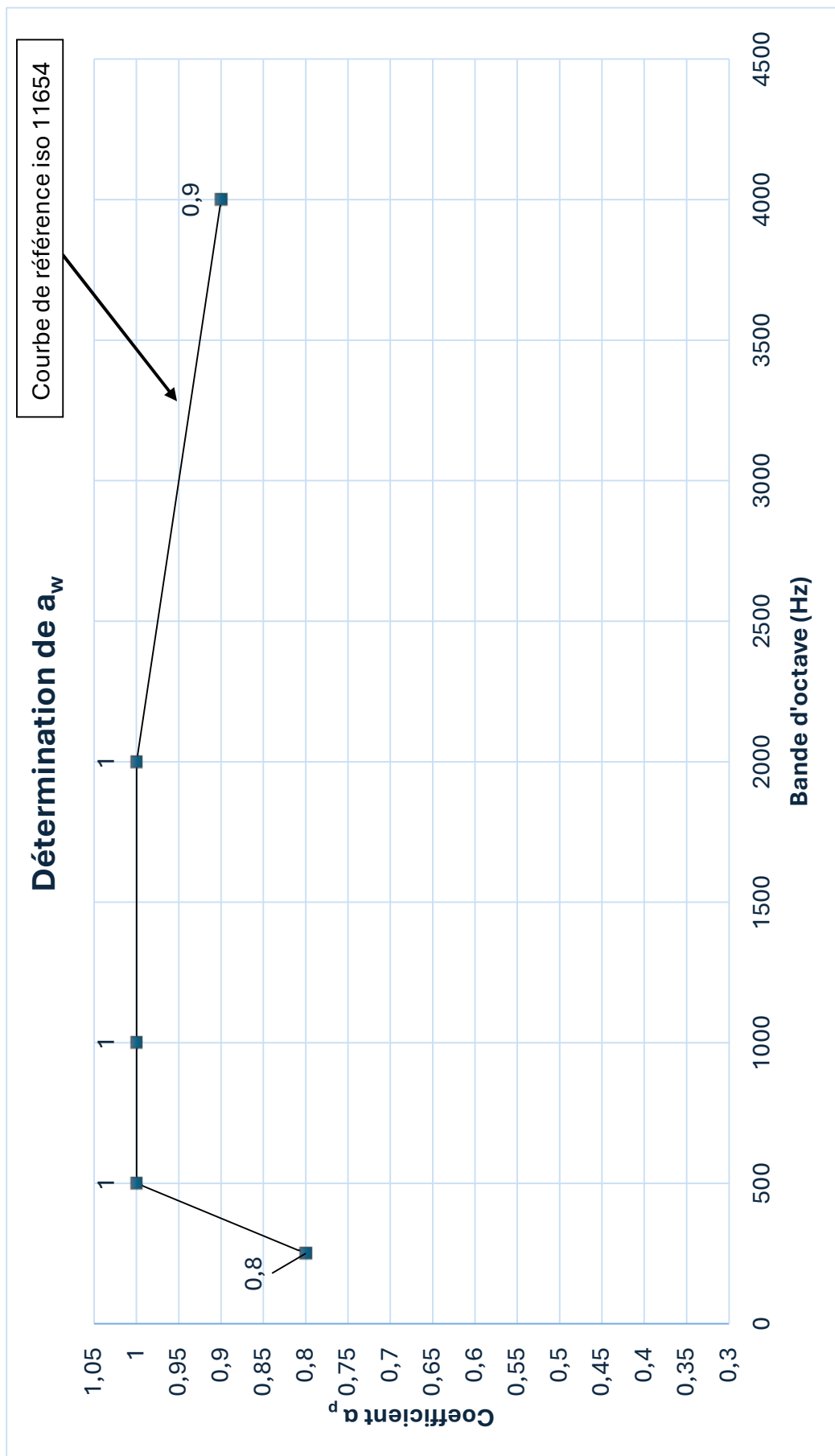


NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Document réponse n°3 Profil de température monocouche équivalent en régime stationnaire

DOCUMENT REPONSE

Confort de l'habitat



Document réponse n°4 Détermination de a_w

