

SESSION 2022

CAPET
CONCOURS EXTERNE ET CAFEP CORRESPONDANT
ET TROISIEME CONCOURS

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Option : INGÉNIERIE DES CONSTRUCTIONS

ÉPREUVE ÉCRITE DISCIPLINAIRE

Durée : 5 heures

Calculatrice autorisée selon les modalités de la circulaire du 17 juin 2021 publiée au BOEN du 29 juillet 2021.

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

Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.

NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

A

INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

► **Concours externe du CAPET de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E D E	1 4 1 1 E	1 0 1	9 3 1 1

► **Concours externe du CAFEP/CAPET de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E D F	1 4 1 1 E	1 0 1	9 3 1 1

► **Troisième concours externe du CAPET de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
E D V	1 4 1 1 E	1 0 1	9 3 1 1

SOMMAIRE

Présentation :	Page
Présentation du support d'études	01
Questionnaire :	
Étude 1 : Étude architecturale des bâtiments	02
Étude 2 : Étude géotechnique	03
2A/ Étude du sol en place	
2B/ Choix du soutènement	
Étude 3 : Dimensionnement d'une poutre en béton armé	07
Étude 4 : Étude thermique/environnementale	09
Documents techniques :	
DT 1 : Extrait d'un article de presse	
DT 2 : Plan de situation du projet	
DT 3 : Visuels du projet	
DT 4 : Vue en plan du niveau R+1 du bâtiment de bureaux	
DT 5 : Extrait du plan « RDC- Maison commune »	
DT 6 : Courbe représentative de la fonction $g(x)$	
DT 7 : Résultats de simulation du dimensionnement du soutènement	
DT 8 : Portées utiles de calcul des poutres	
DT 9 : Théorème des trois moments	
DT 10 : Organigramme de calcul des armatures longitudinales en flexion simple, section rectangulaire	
DT 11 : Plaquette commerciale de présentation du bloc « airium »	
DT 12 : Dimensions et propriétés d'un bloc « airium »	
DT 13 : Impacts économiques	
DT 14 : Impacts environnementaux (données issues de la base INIES)	

Présentation du support d'études

Création de bureaux et espaces détente pour LATÉCOÈRE (Toulouse)

Latécoère est un équipementier spécialisé dans la conception et la fabrication d'aérostructures et de systèmes d'interconnexion. L'entreprise se distingue par sa capacité d'innovation et son dynamisme. Elle s'offre un nouveau siège social à Toulouse, à proximité du métro « Roseraie », livré en avril 2021.

Le projet se compose de deux bâtiments : une maison commune, destinée à la restauration et la détente du personnel, et un deuxième bâtiment accueillant les bureaux (Figure 1).

Figure 1 : Vue aérienne du projet



Organisation du sujet et de son questionnement

L'étude 1 permet de présenter le projet d'un point de vue architectural en s'attachant au design des différents bâtiments et à leur ergonomie.

L'étude 2 porte sur le pré dimensionnement de la solution de soutènement retenue par le bureau d'étude géotechnique, la construction du bâtiment étant réalisée en milieu urbain.

L'étude 3 consiste à dimensionner une poutre continue en béton armé située au sous-sol du bâtiment de bureaux.

L'étude 4 permet de comparer une solution innovante de mur intérieur composé de parpaings remplis de mousse isolante, avec une solution plus classique d'isolation par l'intérieur, d'un point de vue économique, écologique et social.

Nota : Les différentes études sont indépendantes les unes des autres et peuvent être traitées dans un ordre quelconque choisi par le(la) candidat(e). Le numéro de chaque question traitée doit être précisé en amont de la réponse.

Étude 1 : ÉTUDE ARCHITECTURALE DES BÂTIMENTS

Durée conseillée : 30 min

Documents à consulter : documents techniques DT 1 à DT5.

Contexte : *La maison commune est un bâtiment R+3 sur deux niveaux de sous-sol, comprenant notamment une salle de restauration et cafétéria, une salle de fitness, sur une surface totale d'accueil d'environ 3000 m². Le second bâtiment R+5 est sur deux niveaux de sous-sol. Le rez-de-chaussée est destiné à l'accueil des visiteurs et à la gestion technique du bâtiment, et les quatre autres niveaux sont principalement composés de bureaux en open space.*

Objectif : Expliquer les différents choix architecturaux des deux bâtiments.

Question 1 : **Expliquer** en quoi l'architecture du bâtiment de bureaux et les matériaux proposés permettent de traduire « le dynamisme et l'innovation » revendiqués par l'entreprise.

Question 2 : **Expliquer** ce qu'on appelle « le noyau ». **Énoncer** les objectifs de l'architecte avec cette conception. **Préciser** dans quel type d'ouvrage on retrouve généralement cette organisation.

Question 3 : **Préciser** quels éléments présents sur le plan du DT5 montrent que l'architecture facilite l'accès aux personnes à mobilité réduite.

Question 4 : **Donner** quelques arguments permettant de justifier la localisation de la pièce « salle de fitness » au rez-de-chaussée de la maison commune au regard de sa distribution dans le bâtiment.

Étude 2 : ÉTUDE GÉOTECHNIQUE

Durée conseillée : 1 heure

Le bâtiment étant dans une zone fortement urbanisée, la solution de talutage est exclue. Il est donc nécessaire de mettre en place un soutènement durant la réalisation des fondations. Le bureau d'étude géotechnique envisage de mettre en place un soutènement avec la mise en œuvre de pieux sécants. Dans cette étude, il s'agit d'exploiter la synthèse géotechnique rendue par le bureau d'étude afin de dimensionner cette paroi de pieux sécants.

2A/ ÉTUDE DU SOL EN PLACE

Contexte : D'après les natures de sols mises en évidence par le bureau d'étude géotechnique et les caractéristiques du projet, il a été retenu des fondations par semelles filantes et isolées ancrées au minimum de 0.50 m dans les molasses altérées. La Figure 2 présente l'un des sondages réalisés in situ et sa localisation vis-à-vis du projet de construction. Le tableau 1 présente le modèle géologique de terrain retenu d'après la synthèse des essais et sondages.

Figure 2 : Plan de masse annoté (à gauche) et sondage extrait de l'étude géotechnique (à droite)

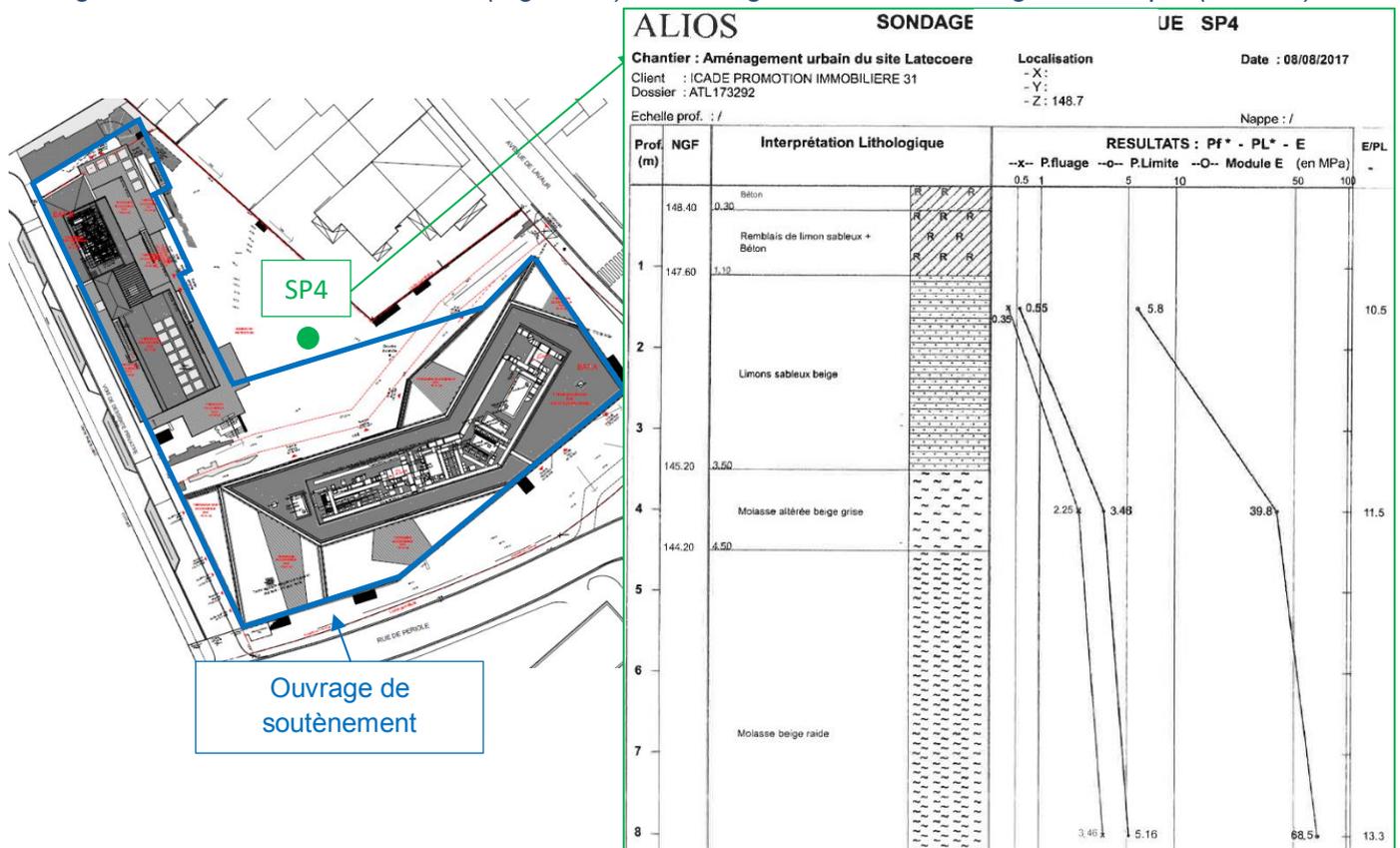


Tableau 1: Modèle géologique retenu

Formation (GTR)	Profondeur base m/TN actuel	Pression pl _e * (MPa)	Module E _M (MPa)
Remblais	0.20/1.30	0.10	1.0
Limons (A2)	2.40/5.00	0.51	5
Molasse altérée	4.00/7.50	2.4	20
Molasse raide	À partir de 4.00/7.50	4.5	64

Objectif : Définir les propriétés des sols en place.

Question 5 : Donner le nom de l'essai réalisé et le **décrire** brièvement. Définir ce que représentent les caractéristiques géotechniques de sol p_{le}^* et E_M , présentées dans le tableau 1.

Contexte : La synthèse géotechnique indique que dans les premiers mètres les formations de pentes, éboulis et solifluxions issus de la molasse sont constitués par des argiles plus ou moins sableuses et que le terrain est situé en zone d'aléas faible à moyen vis à vis du retrait et du gonflement.

Question 6 : Décrire le phénomène de retrait et de gonflement des argiles et **expliquer** les effets et les conséquences que cela pourrait induire sur le bâtiment.

2B/ CHOIX DU SOUTÈNEMENT

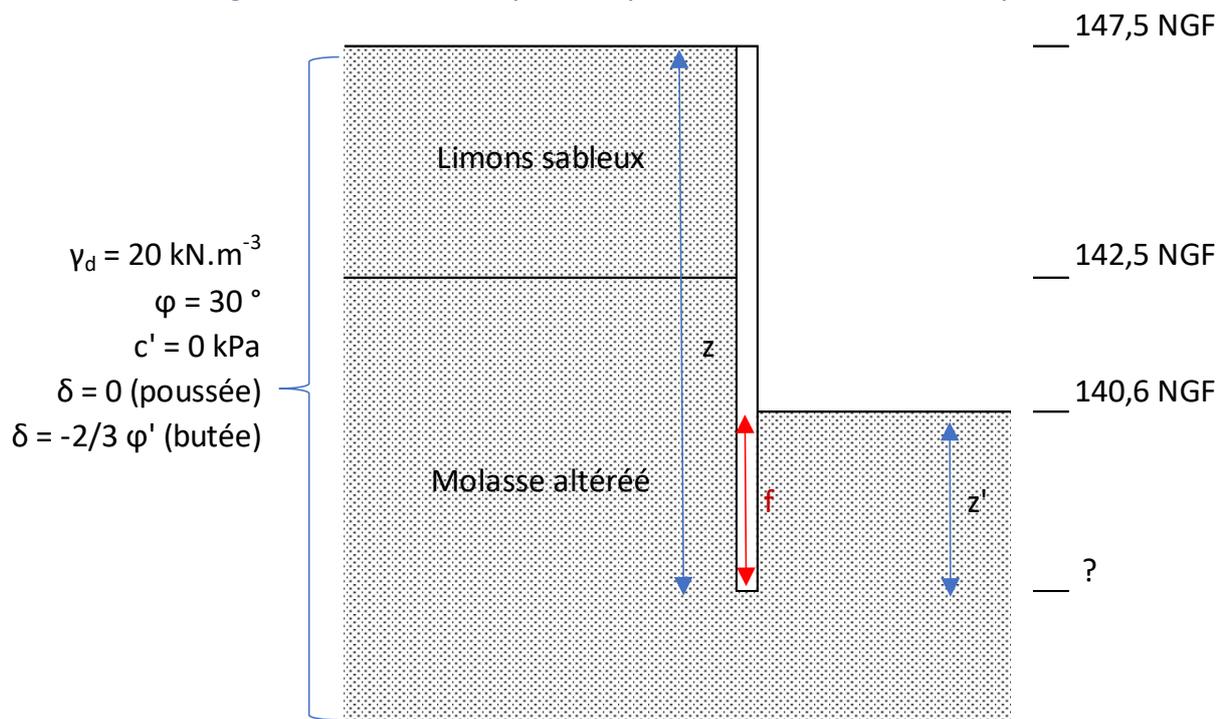
Documents à consulter : documents techniques DT 6 et DT 7.

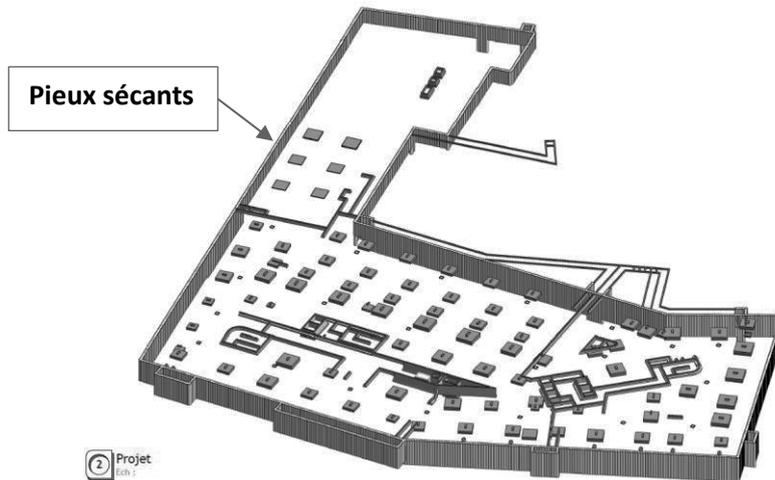
Contexte : Pour simplifier le phasage des opérations et pour limiter les coûts, il s'agit d'étudier et de conclure sur la possibilité de réalisation d'une paroi auto-stable.

L'ouvrage de soutènement est encastré dans un sol homogène sans nappe et le massif est constitué de limons sableux et de molasses altérées dont les propriétés figurent sur le schéma ci-dessous. On suppose que la poussée est complètement mobilisée. La paroi de pieux sécants est supposée semi-rigide.

Objectif : Déterminer la hauteur de fiche de la paroi de pieux sécants notée f , permettant de réaliser le soutènement.

Figure 3 : Modèle de la paroi de pieux sécants et caractéristiques





Question 7 : Justifier la mise en œuvre de pieux sécants choisis pour ce projet puis expliquer le mode de réalisation de pieux sécants.

On rappelle les différentes expressions des contraintes de poussée et de butée :

$$\sigma_a = K_a \cdot \gamma_d \cdot z \text{ (poussée)} \quad \text{et} \quad \sigma_p = \frac{K_p \cdot \gamma_d \cdot z'}{F_{But}} \text{ (butée)}$$

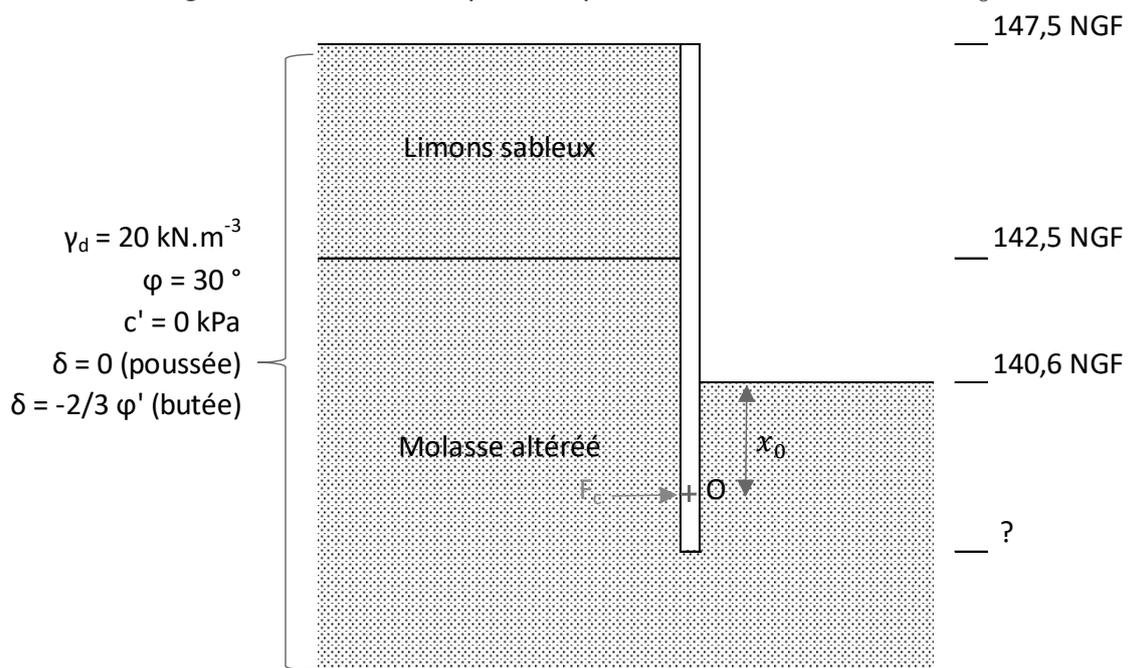
Avec $K_a = 0,35$ (coefficient de poussée) et $K_p = 5$ (coefficient de butée)

Question 8 : Exprimer les contraintes de poussée σ_a et de butée σ_p en fonction des profondeurs z et z' , en choisissant un coefficient de sécurité de $F_{But} = 2$ pour la butée.

Question 9 : Tracer l'évolution des contraintes de poussée et de butée et représenter les forces résultantes.

Soit x_0 la distance située entre le fond de fouille et le centre de rotation de la paroi noté O, visible sur la Figure 4 ci-dessous. Cette distance se détermine par un équilibre en moment en supposant que la contre-butée F_c est en O (méthode de Blum).

Figure 4 : Modèle de la paroi en pieux sécants avec distance x_0

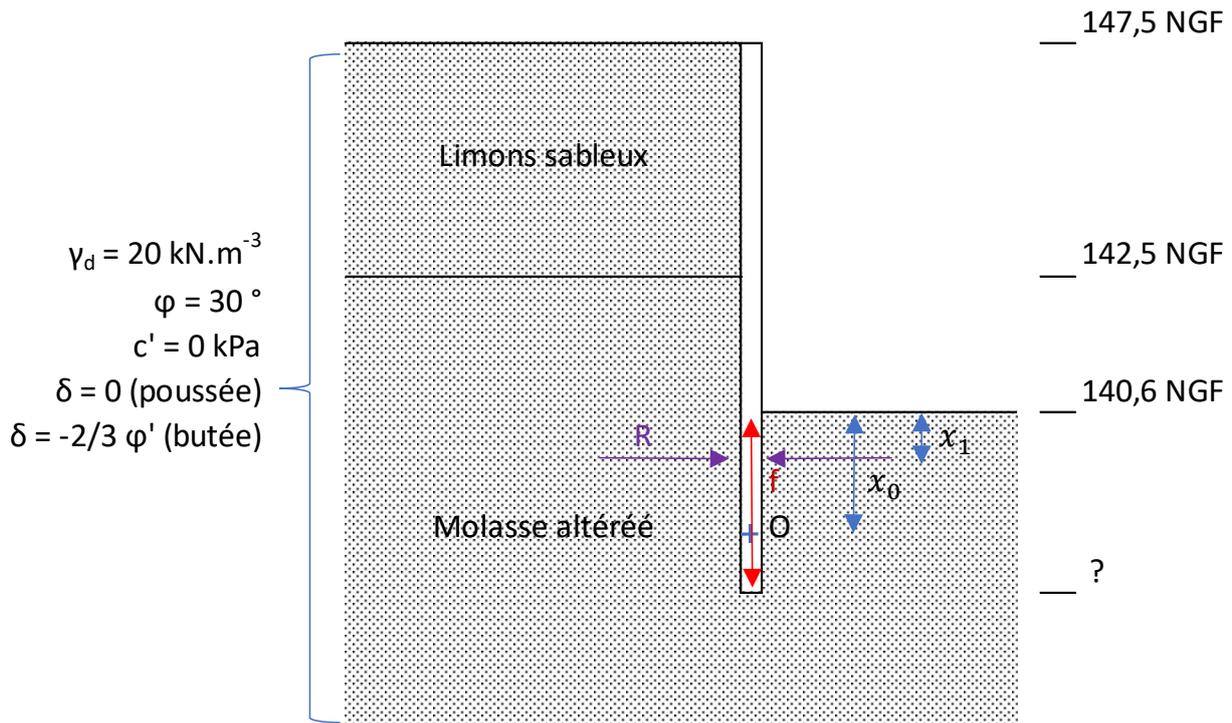


Question 10 : Exprimer les valeurs des forces, les bras de levier des forces, puis les moments en fonction de x_0 , la distance entre le fond de fouille et le centre de rotation de l'écran O.

Question 11 : L'équation à résoudre afin de déterminer la valeur de x_0 est la suivante : $g(x_0) = -7,1 x_0^3 + 24,2 x_0^2 + 166,6 x_0 + 383,3 = 0$. À l'aide du DT 6, **déterminer** une valeur approchée de x_0 .

Soit x_1 la distance située entre le fond de fouille et la contrainte résultante nulle notée R, visible sur la Figure 5 ci-dessous.

Figure 5 : Modèle de paroi en pieux sécants avec distance x_1



Question 12 : Donner l'expression du point de contrainte résultante nulle notée R en fonction de x_1 , puis **calculer** x_1 .

Question 13 : En admettant que l'expression de la fiche est $f = 1,2 (x_0 - x_1) + x_1$ **calculer** la hauteur de fiche et **conclure** sur la hauteur totale de la paroi.

Question 14 : En supposant que la contre-butée est au point O, **calculer** alors la valeur de la force de contre-butée F_c , produite lors de la rotation de la paroi.

Question 15 : D'après les résultats de simulation fournis (cf. DT7), **expliquer** pourquoi la solution de paroi auto-stable doit être exclue.

Question 16 : Le bureau d'étude a préconisé la mise en œuvre d'un butonnage. **Justifier** la pertinence de ce choix vis-à-vis de la mise en œuvre de tirants d'ancrage.

Étude 3 : DIMENSIONNEMENT D'UNE POUTRE EN BÉTON ARMÉ

Durée conseillée : 1 heure et 30 min

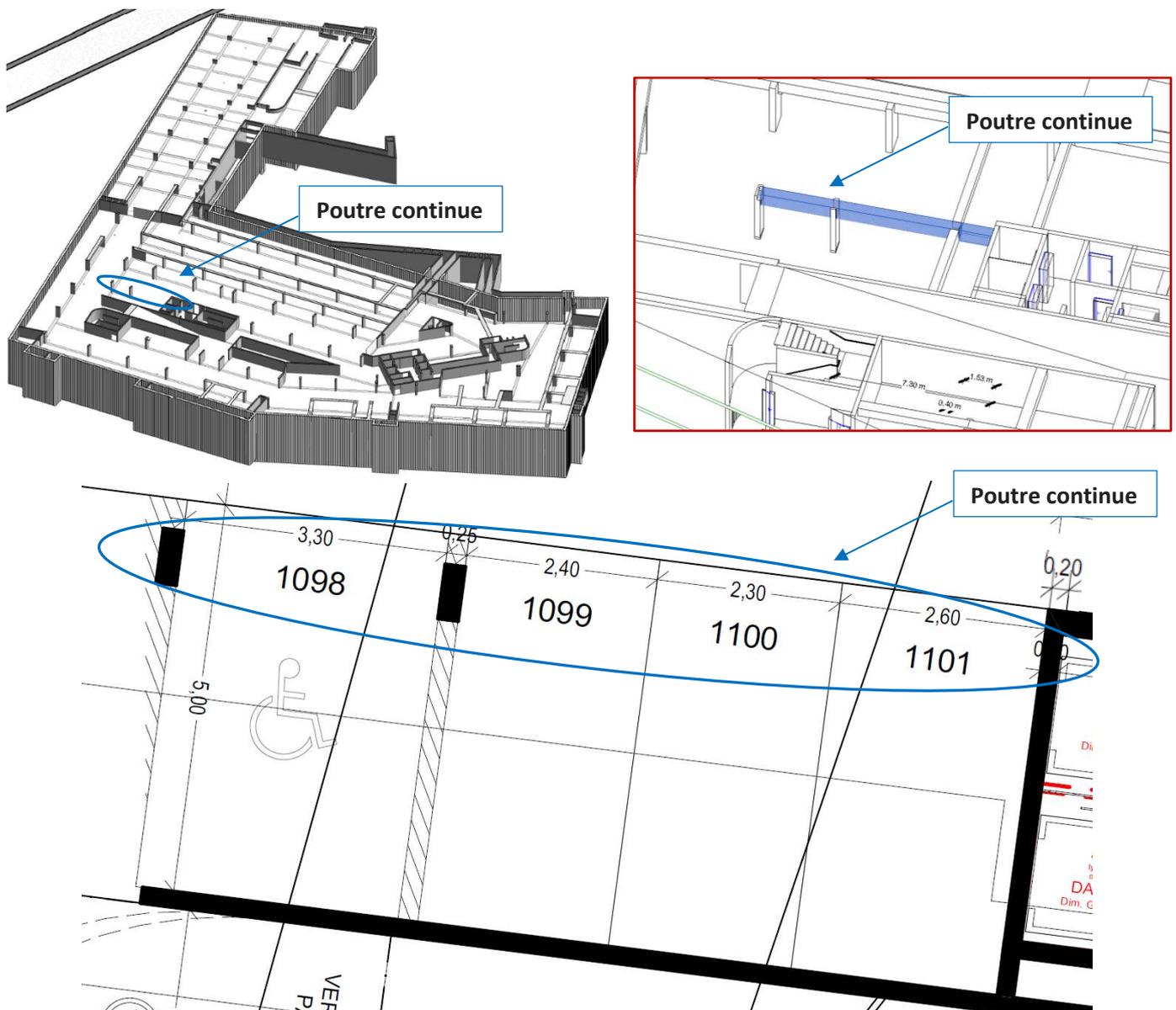
L'étude géotechnique précédente a permis de mettre en évidence la solution de soutènement la plus avantageuse au niveau du sous-sol du projet de construction. Il convient également de définir un dimensionnement au niveau de la partie structurale. Au travers de cette étude, il s'agit de dimensionner l'une des poutres continues située au niveau du sous-sol.

Documents à consulter : documents techniques DT 8 à DT 10.

Contexte : La poutre continue à dimensionner se situe dans le parking du bâtiment à usage de bureaux, au niveau du sous-sol 1.

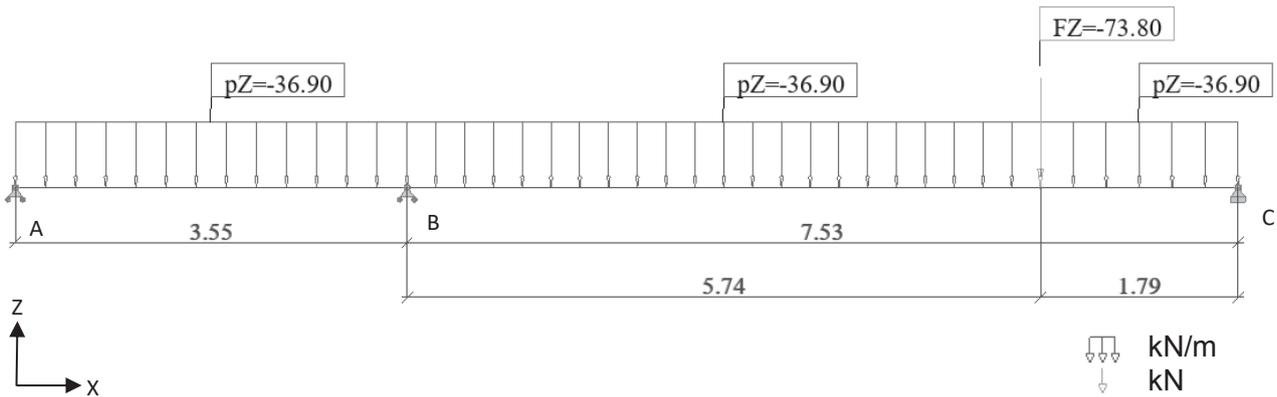
Objectif : Dimensionner une poutre continue et établir un plan de ferrailage de celle-ci.

Figure 6 : Extraits de la maquette BIM permettant de situer la poutre continue



Le modèle mécanique retenu par le bureau d'étude pour la poutre continue est le suivant :

Figure 7 : Modèle mécanique retenu (chargement ELU)



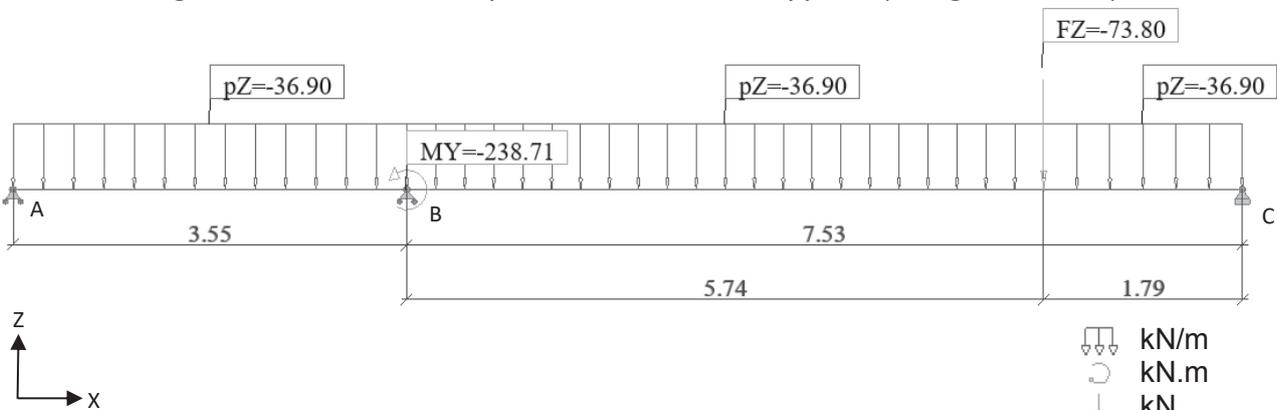
Question 17 : Expliquer les raisons qui ont conduit le bureau d'étude à modéliser une poutre continue vis-à-vis d'un modèle à deux travées isostatiques.

Question 18 : Justifier le modèle mécanique retenu par le bureau d'étude en ce qui concerne les appuis et le chargement. À l'aide du DT 8 et des données du DT10, justifier les portées utiles 3,55 m et 7,53 m.

Question 19 : Calculer à l'aide du théorème des trois moments (cf. DT 9), la valeur du moment sur l'appui B.

Le résultat de l'étude précédente a conduit aux modèles mécaniques suivants :

Figure 8 : Modèle mécanique avec moment sur appui B (chargement ELU)



Question 20 : À l'aide du principe de superposition, calculer les actions mécaniques de liaison, Z_A , Z_B et Z_C .

Question 21 : Tracer l'allure des diagrammes des efforts tranchants $V(x)$ et des moments fléchissants $M(x)$. Préciser sur chacun d'eux les valeurs extrêmes, ainsi que les valeurs aux nus des appuis.

Question 22 : Déterminer la section des aciers longitudinaux nécessaires dans la travée à l'aide du DT 10. Choisir les aciers correspondants.

Question 23 : Proposer un croquis de principe de ferrailage avec une vue en élévation et une vue de la section de la poutre continue. Expliquer le rôle des armatures que vous avez représentées.

Étude 4 : ÉTUDE THERMIQUE/ENVIRONNEMENTALE

Durée conseillée : 1 heure et 30 min

Documents à consulter : documents techniques DT 11 à DT 14.

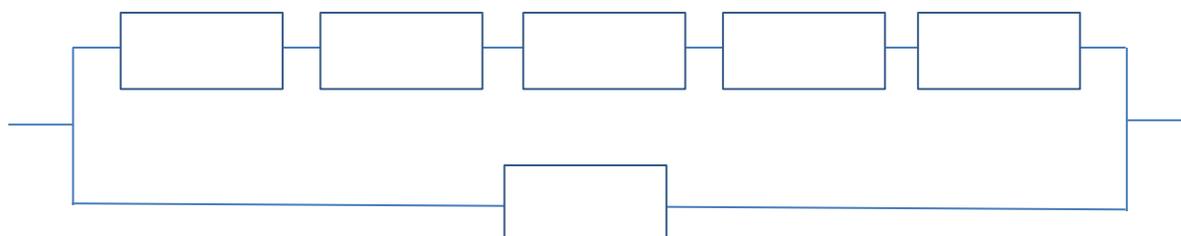
Contexte : Pour la réalisation des murs intérieurs en contact avec des pièces non chauffées, plutôt qu'utiliser un système d'isolation classique type parpaing et isolant, il pourrait être envisagé d'utiliser des blocs « airium ». Ce produit consiste à remplir un parpaing classique avec une mousse minérale isolante. Les blocs sont pré remplis en usine et livrés ensuite sur le chantier. Dans cette étude, pour chercher à atteindre les futurs objectifs de la Réglementation Environnementale 2020 (RE 2020), on s'attache à estimer le gain écologique et économique de ce produit, par rapport à une solution classique de parpaing avec doublage type laine de bois.

Question 24 : Donner deux objectifs majeurs de la RE 2020 qui diffèrent de la Réglementation Thermique 2012 (RT2012).

Question 25 : Expliquer en quelques mots, l'intérêt de la solution « airium », par rapport à des parpaings non remplis.

Objectif : Évaluer la résistance thermique d'un parpaing « airium ».

Figure 9 : Analogie électrique du modèle de conduction thermique dans un parpaing "airium"



Question 26 : Compléter les blocs de l'analogie électrique proposée Figure 9 avec les expressions littérales des résistances thermiques de conduction, en supposant le régime permanent établi.

Question 27 : En déduire l'expression littérale et la valeur numérique de la résistance thermique équivalente du parpaing rempli de mousse minérale.

Pour la suite, on prendra la valeur commerciale de résistance thermique donnée par le fabricant de $1 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.

Question 28 : Le parpaing classique, ayant une résistance thermique de $0,23 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, déterminer l'épaisseur d'isolant type laine de bois ($\lambda=0,04 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) gagnée avec la solution « airium ».

Objectif : Calculer le coût financier de cette solution.

Question 29 : À partir des données fournies dans le DT13, **calculer** le prix en euros d'un m² d'un mur avec la solution « airium », puis **conclure**.

Objectif : Évaluer l'impact environnemental de cette solution.

Question 30 : Pour réaliser une analyse d'impacts environnementaux, on commence par définir une unité fonctionnelle. **Identifier** l'unité fonctionnelle pour la solution « airium » dans le DT14.

Question 31 : À partir de l'unité fonctionnelle trouvée précédemment et du DT14, **comparer**, sous forme d'un tableau, les impacts environnementaux de la solution « parpaing+ isolant » avec la solution « airium » d'un point de vue écologique.

Question 32 : Vis-à-vis des 5 critères évalués pour ces deux solutions, **justifier** si l'on est ou non en mesure de conclure sur la solution « airium » d'un point de vue écologique.

Synthèse

Question 33 : **Discuter** de l'utilisation de cette solution « airium » dans un projet s'inscrivant dans une démarche développement durable.

DOCUMENTS TECHNIQUES

- DT 1 : Extrait d'un article de presse**
- DT 2 : Plan de situation du projet**
- DT 3 : Visuels du projet**
- DT 4 : Vue en plan du niveau R+1 du bâtiment de bureaux**
- DT 5 : Extrait du plan « RDC- Maison commune »**
- DT 6 : Courbe représentative de la fonction $g(x)$**
- DT 7 : Résultats de simulation du dimensionnement de la paroi de soutènement**
- DT 8 : Portées utiles de calcul des poutres**
- DT 9 : Théorème des trois moments**
- DT 10 : Organigramme de calcul des armatures longitudinales en flexion simple, section rectangulaire**
- DT 11 : Plaquette commerciale de présentation du bloc « airium »**
- DT 12 : Dimensions et propriétés d'un bloc « airium »**
- DT 13 : Impacts économiques**
- DT 14 : Impacts environnementaux (données issues de la base INIES)**

DT 1 : Extrait d'un article de presse

Siège de Latécoère

—
Bureaux
Toulouse

—
Livraison 2021
Client ICADE
Surface 12 800 m²
Cout 19 M€ HT
Éco-conception BBC

La construction d'un siège social nécessite une grande attention. Il s'agit tout à la fois de constituer un lieu de travail, mais aussi de définir le cadre d'accueil des visiteurs, des partenaires et au-delà de requalifier l'image de Latécoère dans la ville.

Le contexte de la transformation du site historique de Latécoère ajoute à cela une dimension particulière, celle de l'adaptation d'une entreprise à son époque.

C'est la richesse de points de vue, et l'esprit Campus qui définissent le mieux le génie du lieu ; ce contexte qui mêle architecture et paysage est ainsi devenu le point de départ

de notre projet. La visibilité de l'édifice et son rôle dans l'articulation des géométries présentes sur le site constituent également un des éléments majeurs dans nos choix architecturaux.

La réflexion sur l'espace de travail contemporain ne peut cependant pas être exclue d'un tel programme, cet objectif nous a orientés vers la recherche de plateaux génériques et flexibles tramés tous les 1,35 m afin que chaque culture d'entreprise puisse trouver sa place : cloisonné ou paysagé. Ces espaces standards sont cependant complétés par des « troisième lieux », nouveaux territoires de sociabilité, de créativité et de sérendipité. Ces espaces d'échange sont devenus essentiels. Présents à chaque niveau, ces espaces permettent de diversifier et enrichir sa volumétrie tout en valorisant la qualité de vie au travail comme valeur de l'entreprise. Intégrant la notion de climat, les tiers-lieux sont également présents à l'extérieur, de nombreuses terrasses végétalisées animent l'édifice comme autant de lieux de travail informels.

En écho à la géométrie d'implantation des bâtiments, le principe des façades repose sur une lecture cinématique de l'édifice, aussi avons-nous recherché une texture, un relief qui accroche la lumière et offre une lecture de l'édifice changeante, en fonction du déplacement du spectateur. Pour cela trois matériaux ont été choisis : le verre, l'aluminium anodisé et l'alucobond poli miroir.

L'architecture que nous avons choisie pour le nouvel édifice, souhaite accompagner le prestige de Latécoère dont le nom est associé à l'aéronautique de pointe et à l'innovation.

DT 2 : Plan de situation du projet

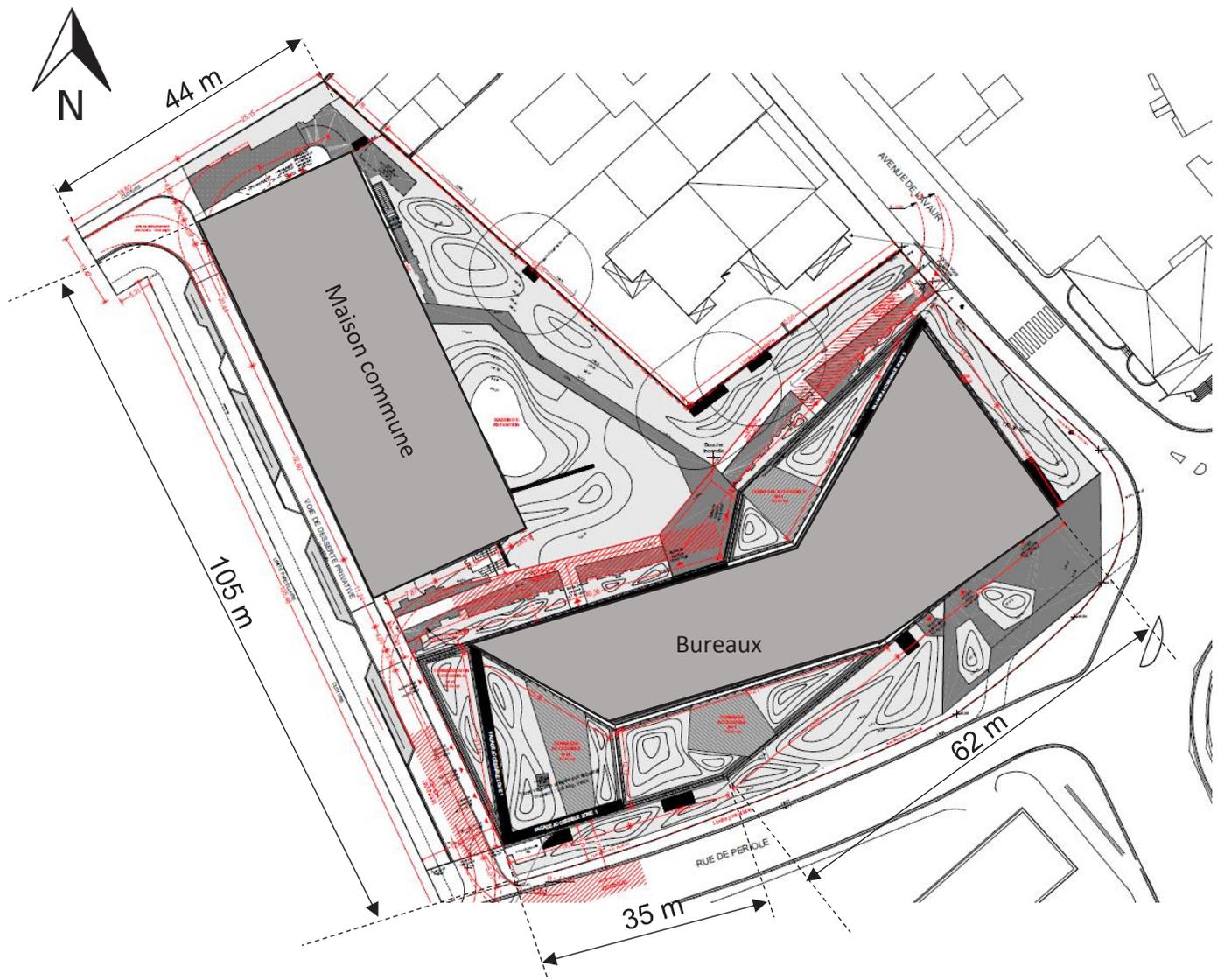


Figure 1 : Vue aérienne depuis la rue du Périole

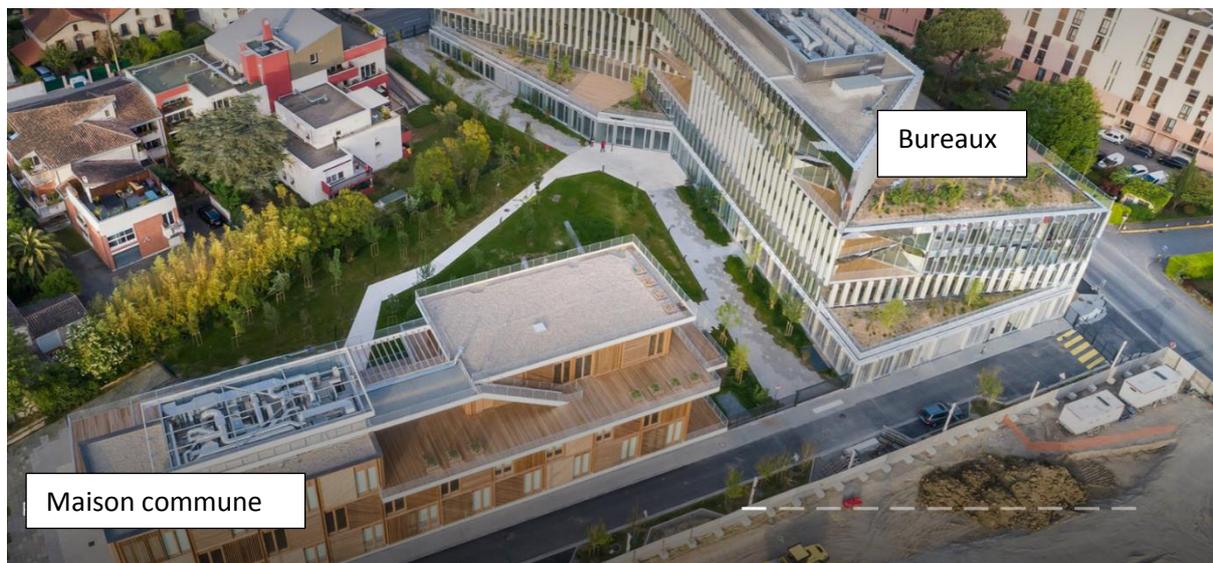


Figure 2 : Face sud-ouest

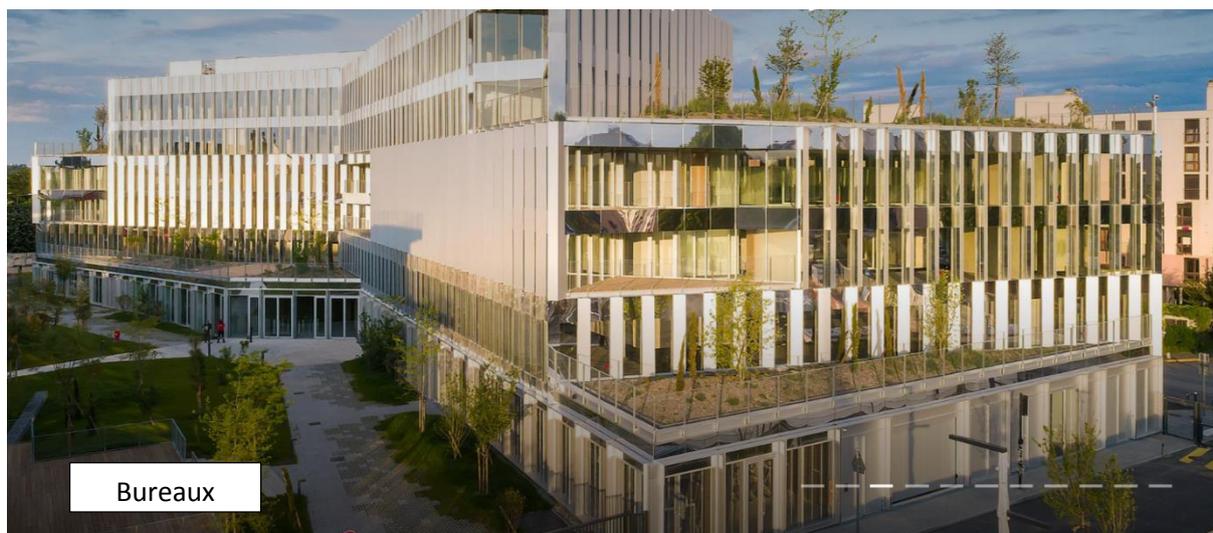


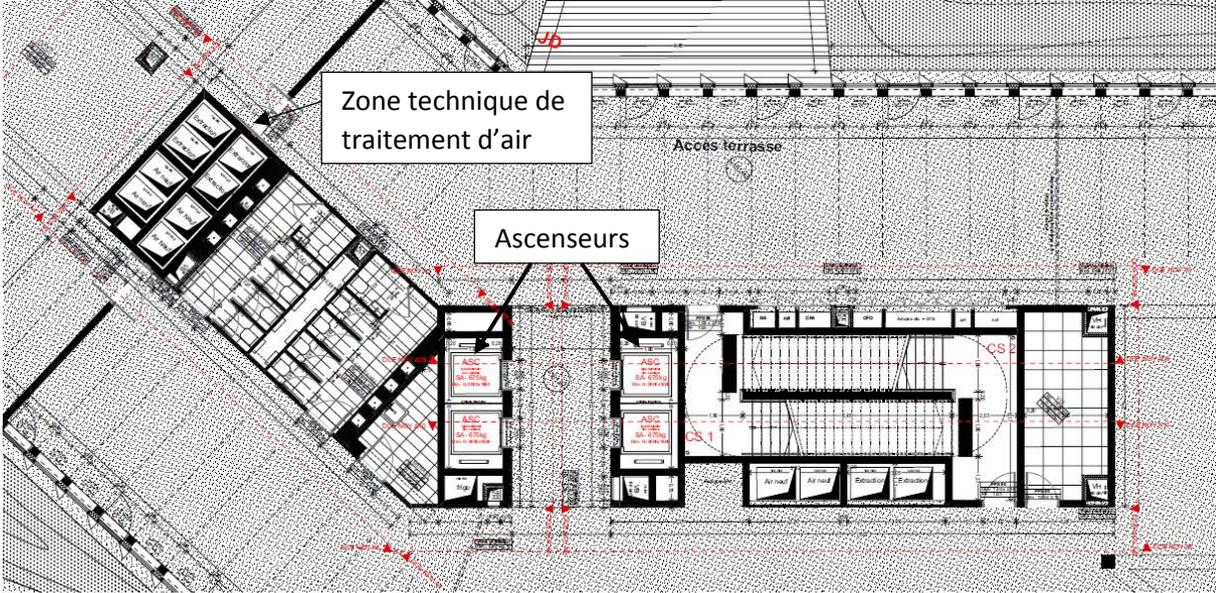
Figure 3 : Face nord-ouest (entrée principale du bâtiment)



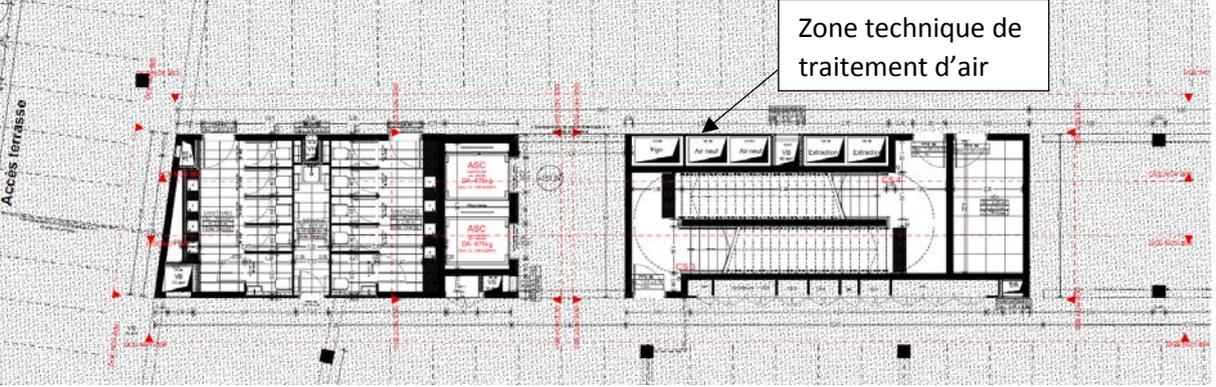
Figure 4 : Intérieur du bâtiment de bureaux



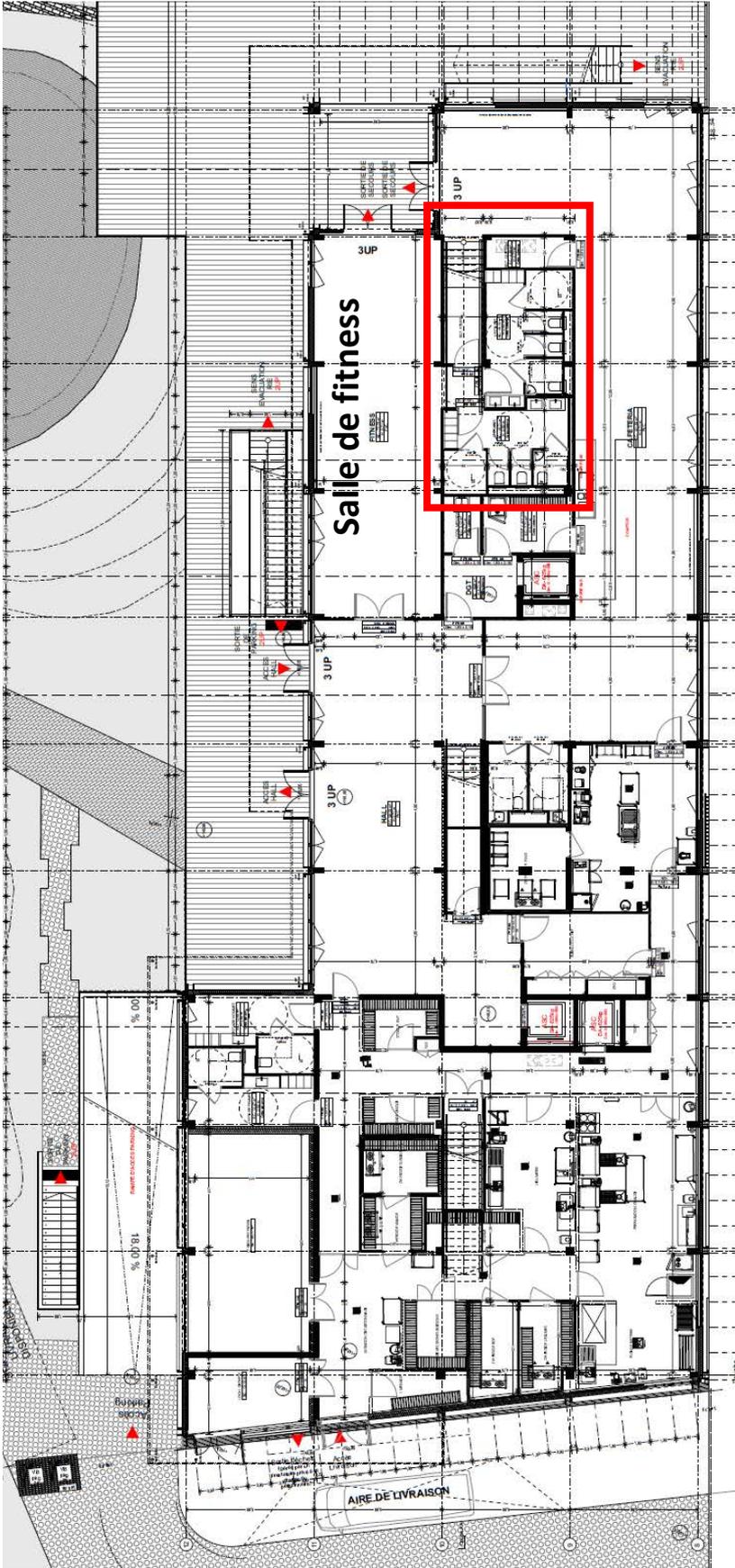
Vue en plan du noyau A R+1



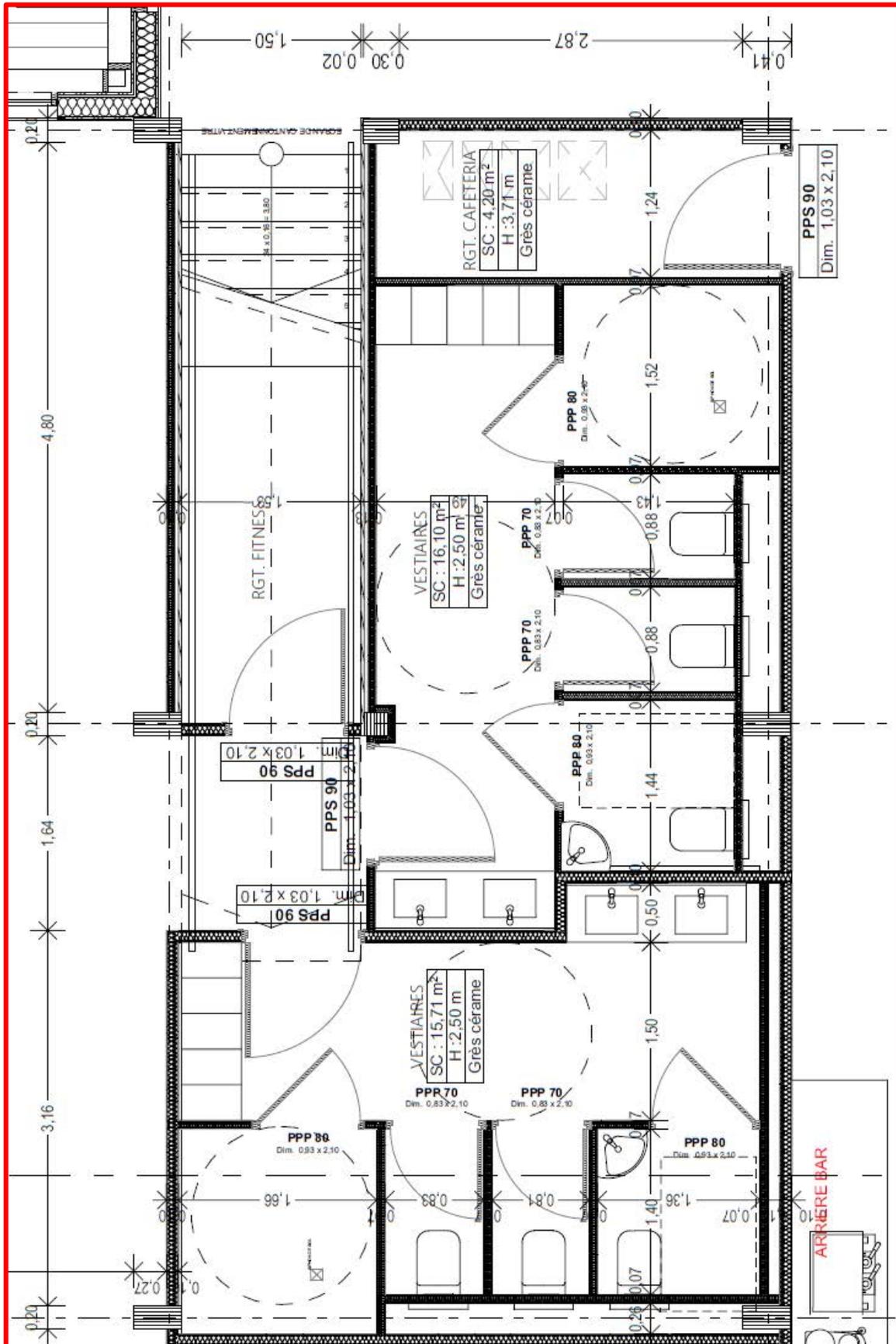
Vue en plan du noyau B R+1



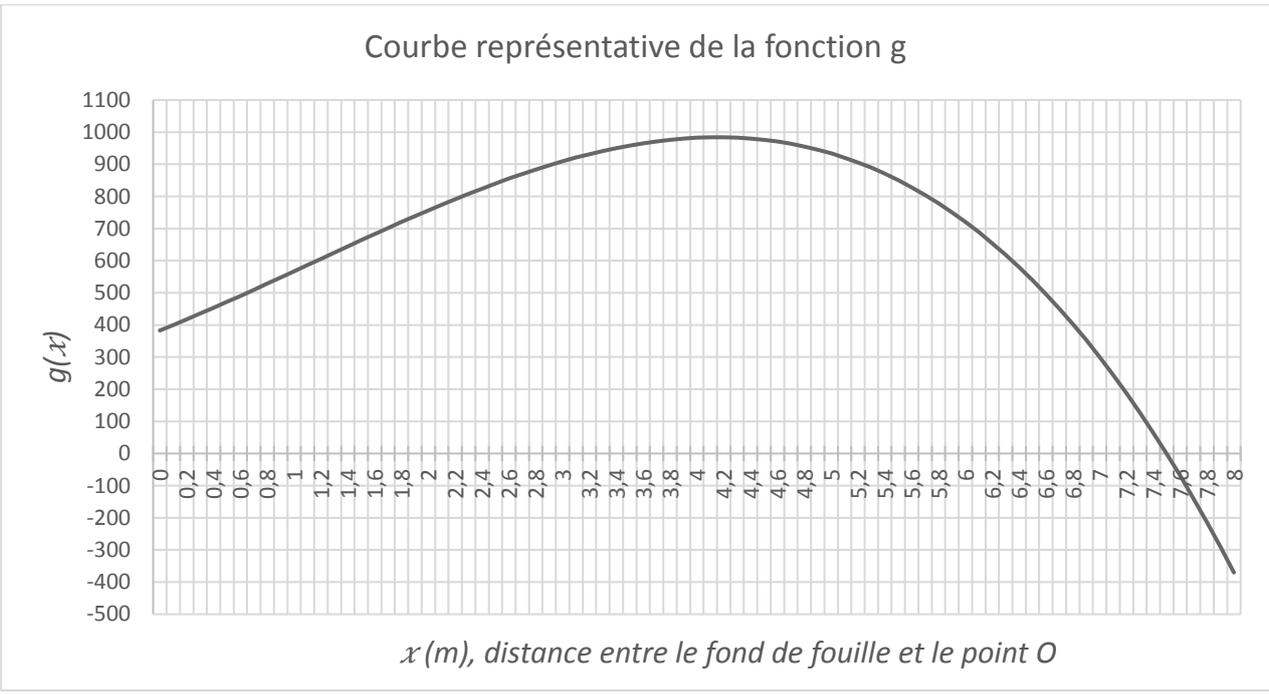
Notes : les informations non lisibles ne sont pas utiles pour répondre au questionnement.



DT5 2/2 : Extrait du plan « RDC- Maison commune »

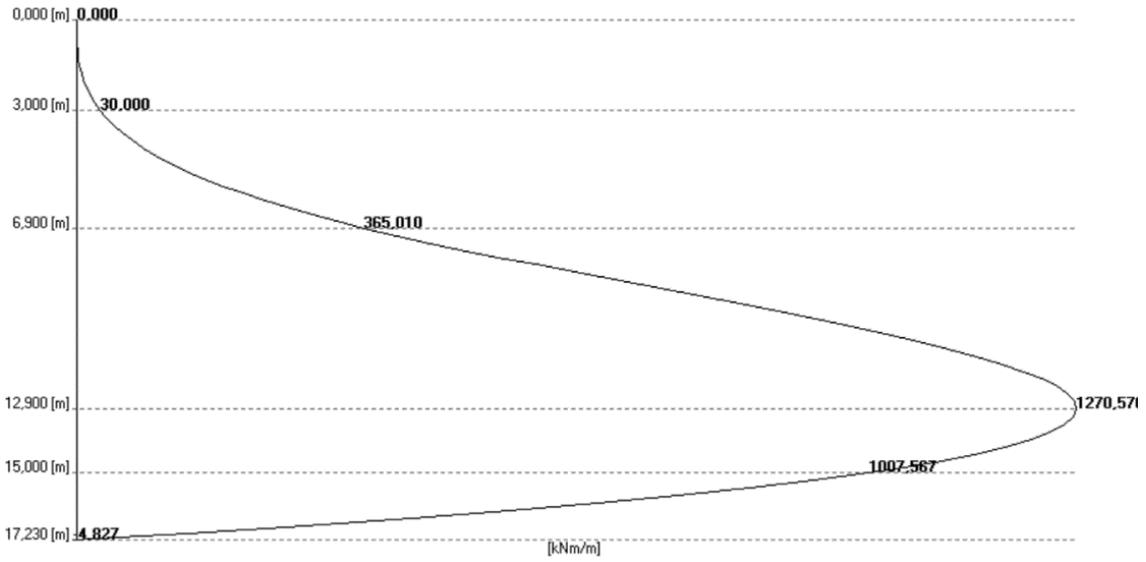


DT 6 : Courbe représentative de la fonction $g(x)$

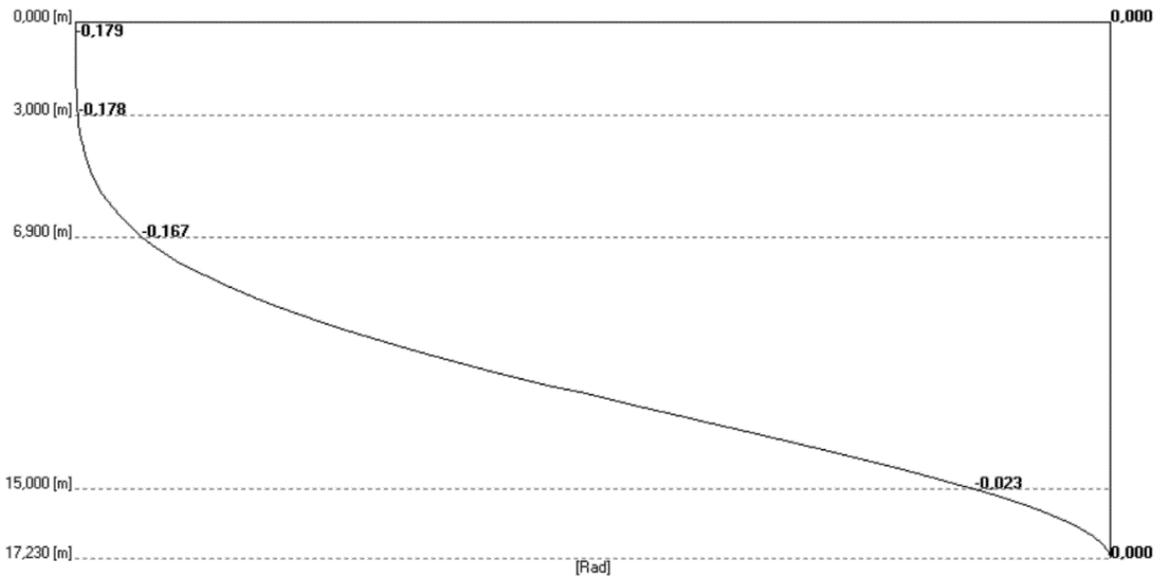


DT 7 : Résultats de simulation du dimensionnement de la paroi de soutènement

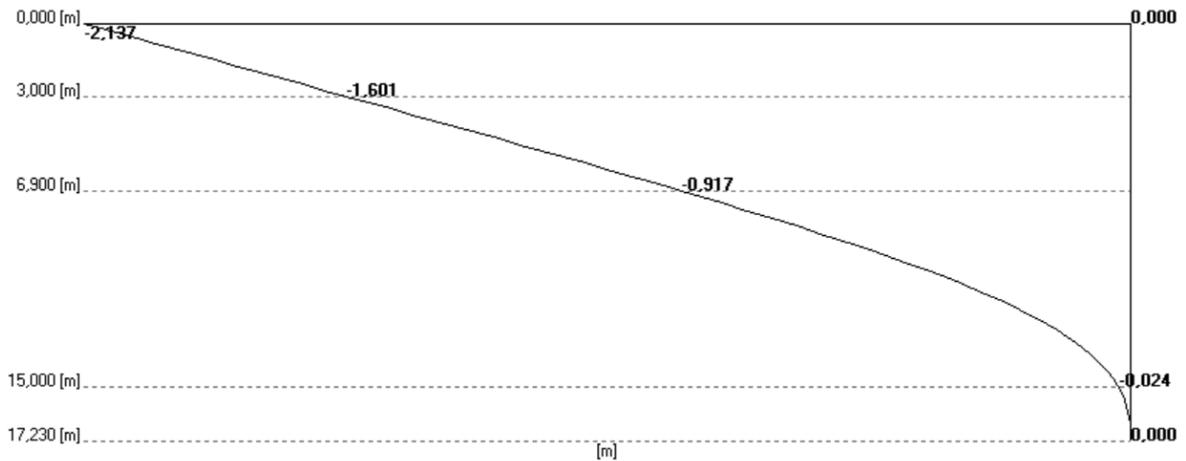
Moments [kN.m/m]



Rotations [rad]



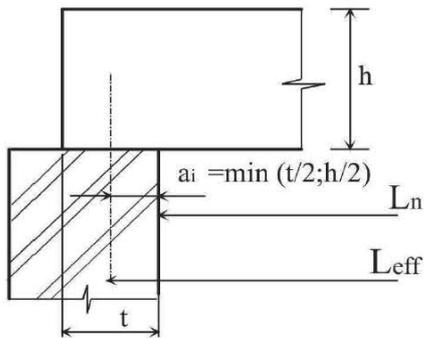
Déplacements (m)



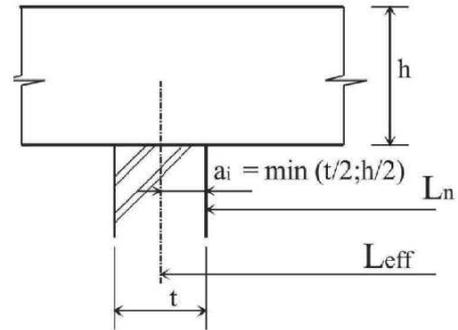
DT 8 : Portées utiles de calcul des poutres

Différents cas sont envisagés :

- a) éléments isostatiques
- b) éléments continus



(a) Eléments isostatiques



(b) Eléments continus

La portée utile l_{eff} d'un élément peut être calculée de la manière suivante ; $l_{eff} = l_n + a_1 + a_2$

Avec l_n : distance libre entre les nus d'appuis.

Les valeurs a_1 et a_2 à chaque extrémité de la portée, peuvent être déterminées à partir des valeurs correspondantes a_i

ROTATIONS AUX APPUIS

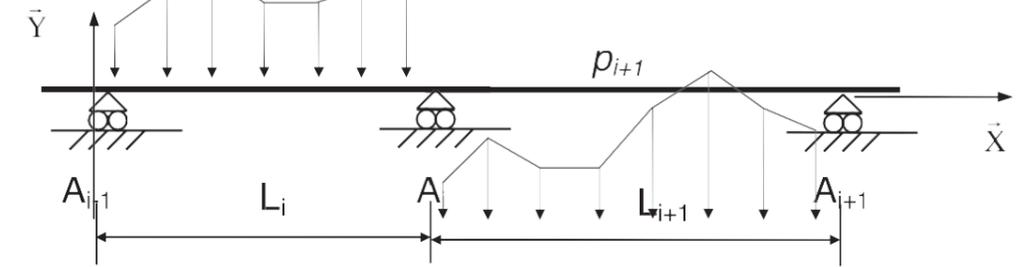
Schéma mécanique	Rotation aux appuis
	$\omega_A = -\frac{pL^3}{24EI}$ $\omega_B = \frac{pL^3}{24EI}$
	$\omega_A = -\frac{Fa}{6EIL}(L-a)(2L-a)$ $\omega_B = \frac{Fa}{6EIL}(L^2-a^2)$
	$\omega_A = \frac{CL}{3EI}$ $\omega_B = -\frac{CL}{6EI}$
	$\omega_B = -\frac{pL^3}{6EI}$
	$\omega_B = -\frac{FL^2}{2EI}$

THÉORÈME DES TROIS MOMENTS (Formules de Clapeyron)

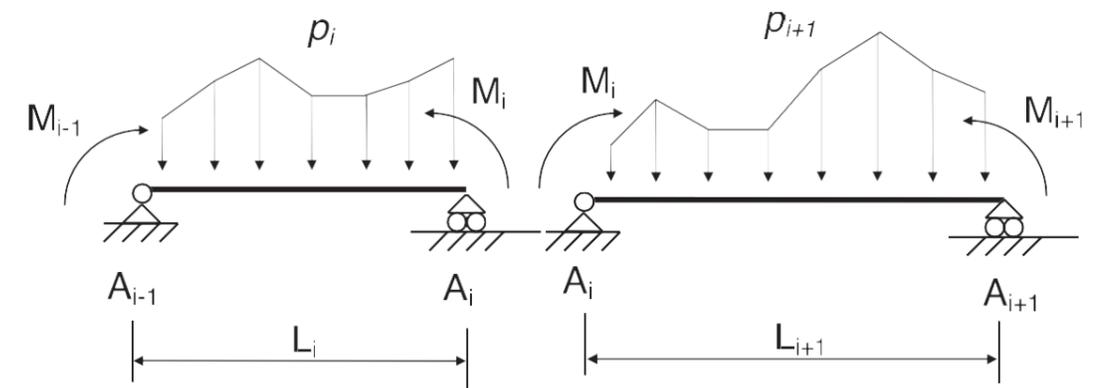
Hypothèses :

(S)

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

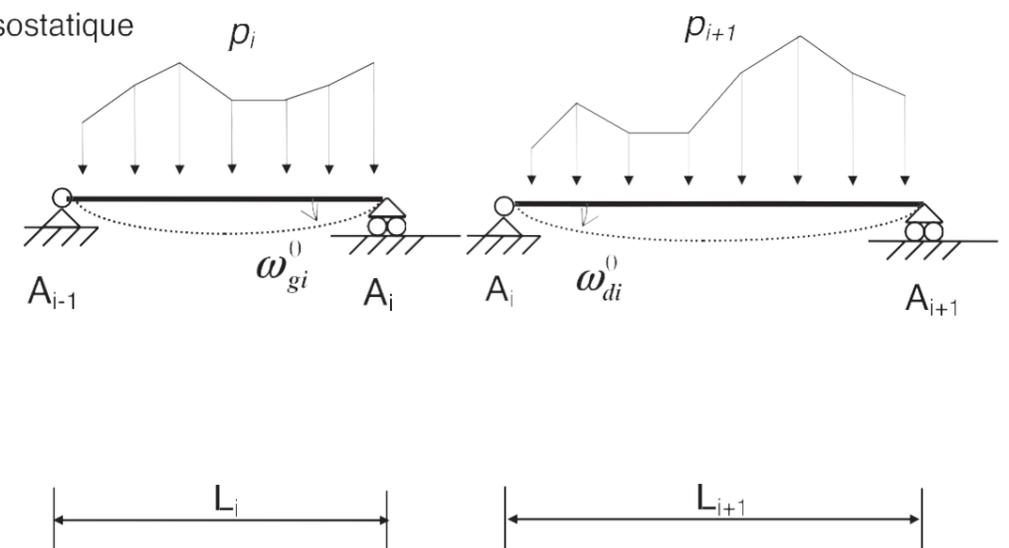


(S)



Système isostatique associé

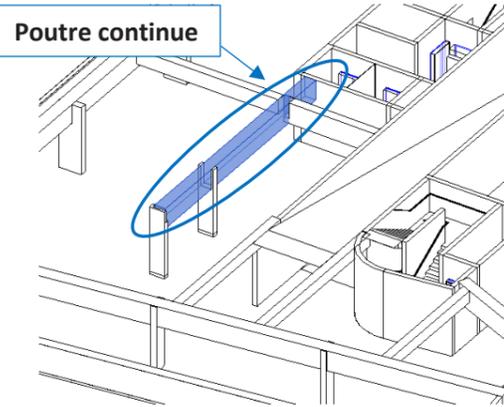
(S⁰)



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

DT 10 : Organigramme de calcul des armatures longitudinales en flexion simple, section rectangulaire

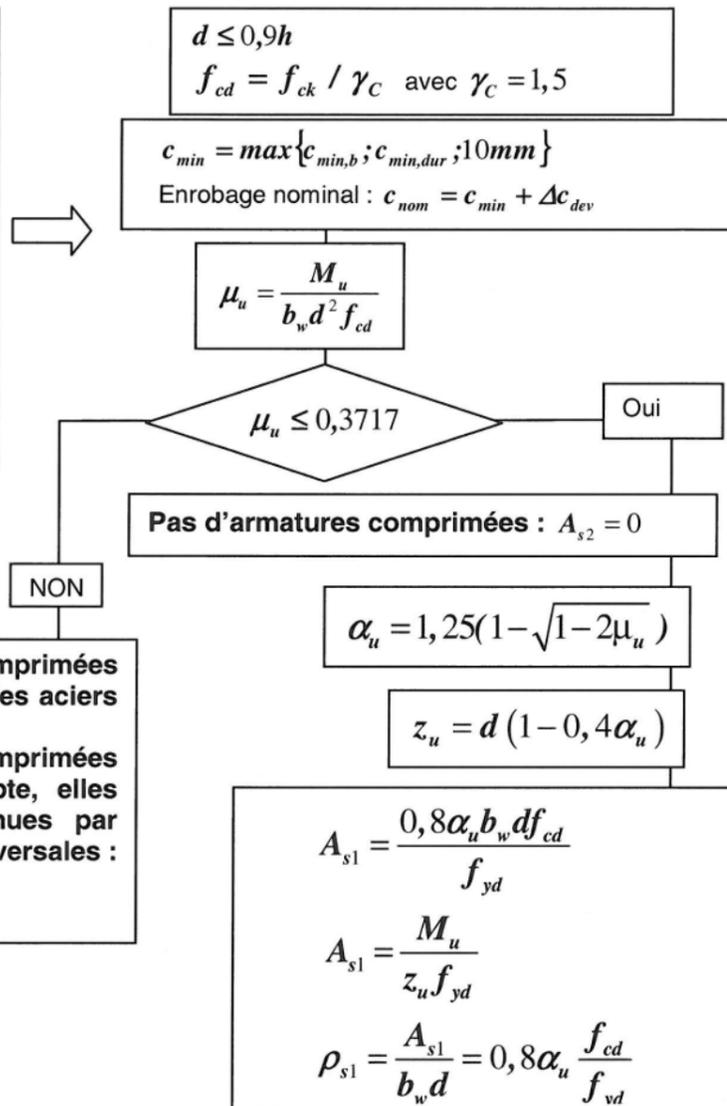
Données :



Paramètres IFC	
Type IfcGUID	1rhKAh45c4AewjclAPDZ\$p
IfcName	Struct. - B.A. Poutre-008

- Classe d'exposition : XC4
- Béton C30/35 : $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
- Enrobage $c_{min} = 30 \text{ mm}$
- Section poutre 008 : $0,35 \text{ m} \times 0,7 \text{ m}$

Données
 Catégorie de durée d'utilisation de projet : 4
 Environnement : Classe d'exposition X..
 $b_w ; h$
 béton C.. / .. f_{ck}
 acier B500 $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
 diagramme élasto-plastique parfait
 $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$
 $p_u = 1,35g + 1,5q \text{ kN / m}$
 moment de flexion ELU $M_{Ed} = M_u$



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

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

$$A_{s1} < 0,04 A_c \text{ avec } A_c \text{ aire de la section droite de béton}$$

b_t : la valeur moyenne de la largeur tendue, pour une section rectangulaire et une section en T: $b_t = b_w$

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DU BETON

Caractéristiques mécaniques du béton														
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,0	3,2	3,4	3,5
$f_{ctk,0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6
E_{cm} (MPa)	27085	28608	29962	31476	32837	34077	35220	36283	37278	38214	39100	40743	42244	43631
ϵ_{c2} (‰)	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,20	2,29	2,42	2,52	2,60
ϵ_{cu2} (‰)	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,13	2,88	2,66	2,60	2,60
n	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,75	1,59	1,44	1,40	1,40

SECTION DES ACIERS EN BARRES

Diamètre	Poids	Périmètre	Section pour N barres en cm ²									
			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

DT 11 : Plaquette commerciale de présentation du bloc « airium »

La mousse AIRIUM® est une mousse minérale isolante développée par LafargeHolcim.

6 bonnes raisons d'adopter AIRIUM®:



+ isolant

Avec un lambda pouvant atteindre la valeur de 0.037 W/m.K, AIRIUM® est doté d'un meilleur coefficient d'isolation que les autres isolants.



+ sûr

Résistant au feu, AIRIUM® offre une sécurité optimale en cas d'incendie puisqu'il est ininflammable et incombustible (Euroclass A1).



+ sain

La mousse AIRIUM® ne dégage aucun COV et ne présente donc aucun risque pour les utilisateurs.



+ vert et durable

Airium est un produit 100% recyclable et doté d'une durée de vie comparable au béton. Il est imputrescible, ne se tasse pas et n'attire pas les rongeurs.

AIRIUM® présente un bilan CO₂ réduit de 26Kg CO₂/m³ pour les plus faibles densités.



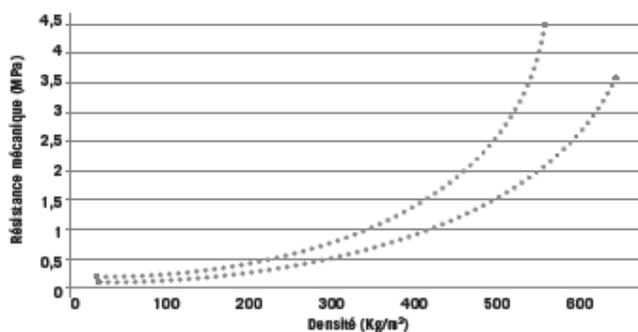
+ simple

La mousse est fabriquée sur chantier, puis pompée. AIRIUM® offre une manipulation et une installation plus simple, plus rapide et ajustable aux besoins du client.

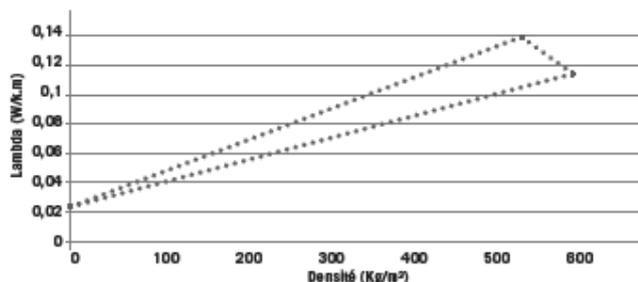


+ abordable

La mousse étant créée sur site, les coûts de transport de matières premières sont fortement optimisés (pas d'air transporté). De plus, étant une solution industrialisable, les coûts de main d'œuvre sont également réduits.



Plus la densité de la mousse AIRIUM® augmente, plus la résistance mécanique augmente.



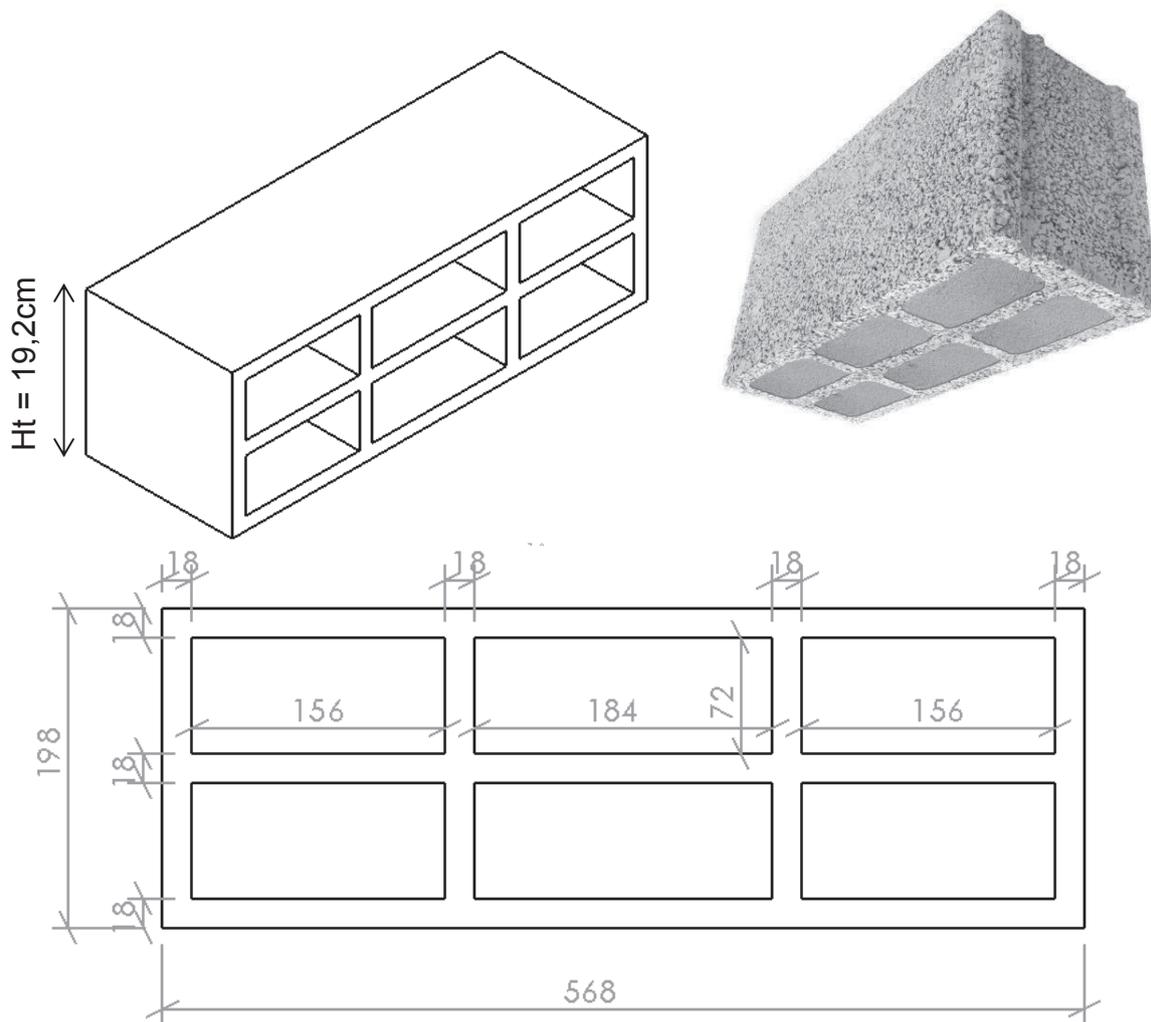
Plus la densité est faible, plus la mousse AIRIUM® est isolante.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES AIRIUM®

Masse volumique	40 à 500 Kg/m ³
Conductivité thermique	de 0.037 à 0,12 W/m.K
Résistance mécanique	de 0 à 4 Mpa
Résistance feu	Euroclass A1
Energie grise	Jusqu'à 26 Kg CO ₂ /m ³ (très faible)
Perméabilité à la vapeur d'eau (μ)	de 3 à 10
Durée de vie	Durée de vie comparable au béton Résistant au vent et tassement
Type de pose	Pompage sur site
Applications possibles	Solutions d'isolation, ravoilage, remplissage...
Certifications	ETPM, ACERMI (en cours), Avis technique (en fonction des applications)



DT 12 : Dimensions et propriétés d'un bloc « airium »



Conductivités thermiques λ :

- béton : $\lambda_{\text{béton}} = 0,952 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$;
- mousse minérale isolante : $\lambda_{\text{mousse isolante}} = 0,044 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

DT 13 : Impacts économiques

	Coût de pose $\text{€}.\text{m}^{-2}$	Coût de fabrication $\text{€}.\text{m}^{-2}$
Parpaing classique	40	15
Isolant type laine de bois	20	1 cm^{-1}
Parpaing « airium »	40	16

DT 14 : Impacts environnementaux (données issues de la base INIES)

□ Parpaing classique

Assurer la fonction de mur porteur (structure et clos) sur 1m² de paroi, tout en assurant une isolation thermique (résistance thermique de 0,25 K.m².W⁻¹) pendant 100 ans.

Parpaing seul	Agent polluant de référence	Total
Réchauffement climatique	kgCO ₂	9,92
Appauvrissement couche d'ozone	kg CFC	9,99.10 ⁻⁷
Pollution de l'eau	m ³	2,35
Pollution de l'air	m ³	936
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable	MJ	137

□ Parpaing « airium »

Assurer la fonction de mur porteur (structure et clos) sur 1m² de paroi, tout en assurant une isolation thermique (résistance thermique de 1 K.m².W⁻¹) pendant 100 ans.

Parpaing airium	Agent polluant de référence	Total
Réchauffement climatique	kgCO ₂	14,5
Appauvrissement couche d'ozone	kg CFC	1,73.10 ⁻⁶
Pollution de l'eau	m ³	22,5
Pollution de l'air	m ³	1190
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable	MJ	189

□ Isolant : laine de bois

Réaliser une fonction d'isolation thermique sur 1m² de paroi en assurant la résistance thermique de 2,75 K.m².W⁻¹ pour une application d'isolation des murs par l'intérieur pendant 50 ans.

Isolant type laine de bois	Agent polluant de référence	Total
Réchauffement climatique	kgCO ₂	7
Appauvrissement couche d'ozone	kg CFC	7,7.10 ⁻⁷
Pollution de l'eau	m ³	14
Pollution de l'air	m ³	1059
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable	MJ	133