

SESSION 2020

---

**AGREGATION  
CONCOURS INTERNE  
ET CAER**

**Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR**

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

**ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE  
ORGANISATION**

Durée : 4 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.*

*L'usage de tout autre 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.**

## 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 interne de l'Agrégation de l'enseignement public :**

| Concours | Section/option | Epreuve | Matière |
|----------|----------------|---------|---------|
| EAI      | 1416A          | 102     | 7048    |

► **Concours interne du CAER / Agrégation de l'enseignement privé :**

| Concours | Section/option | Epreuve | Matière |
|----------|----------------|---------|---------|
| EAH      | 1416A          | 102     | 7048    |

## Les documents remis en début d'épreuve doivent comprendre :

- Partie 1 : questionnaire, document de 6 pages format A3
- Partie 2 : plans, extraits de documentations techniques et de réglementations, 20 pages format A3
- Documents réponse DR1, DR2 et DR3 : 4 pages A4

## Indépendance des questions :

| Question               | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9   | 10 |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|----|
| Question indépendante  | x |   |   | x | x | x | x |   |     |    |
| Question dépendante de |   | 1 | 2 |   |   |   |   | 6 | 6 8 | 8  |

| Question               | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Question indépendante  |    |    | x  | x  |    | x  | x  | x  | x  | x  |
| Question dépendante de | 8  | 8  |    |    | 8  |    |    |    |    |    |

| Question               | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27    | 28 | 29 | 30 |
|------------------------|----|----|----|----|----|----|-------|----|----|----|
| Question indépendante  | x  | x  | x  | x  | x  | x  |       | x  | x  | x  |
| Question dépendante de |    |    |    |    |    |    | 25 26 |    |    |    |

| Question               | 31 | 32 | 33 | 34 | 35    | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
|------------------------|----|----|----|----|-------|----|----|----|----|----|
| Question indépendante  | x  | x  | x  | x  |       | x  |    | x  | x  |    |
| Question dépendante de |    |    |    |    | 33 34 |    | 35 |    |    | 39 |

**N.B :** Question indépendante, signifie que la question ne nécessite pas la résolution d'autre(s) question(s), mais il peut être nécessaire de les avoir lues, pour obtenir des données et/ou des informations.

### Avis aux candidats :

La présentation des réponses doit être soignée et toutes les réponses doivent être justifiées. L'évaluation tient compte de la pertinence des justifications.

Les références des questions doivent être clairement indiquées avant chaque réponse.

---

## PRESENTATION DU PROJET SUPPORT

L'étude proposée portera sur la réalisation d'un bâtiment dans une commune de 20 000 habitants. Le projet prévoit la réalisation d'une salle multi-activités pour les habitants ainsi que la construction de nouveaux locaux pour la maison de quartier.

Situé à proximité d'un collège et du centre du quartier, l'entrée du projet s'ouvre sur un espace public existant. D'une forme en « V », un hall commun dessert une première aile accueillant la maison de quartier avec ses bureaux et ses salles d'activités pour les utilisateurs, des plus petits aux plus grands. La deuxième aile contient la grande salle multi-activités et ses locaux techniques. Ces deux parties s'ouvrent largement sur un patio commun.



Figure 1 : Rendu impression Maquette Numérique (MN) © Architecte LOUP&MENIGOZ



Figure 2 : plan d'ensemble

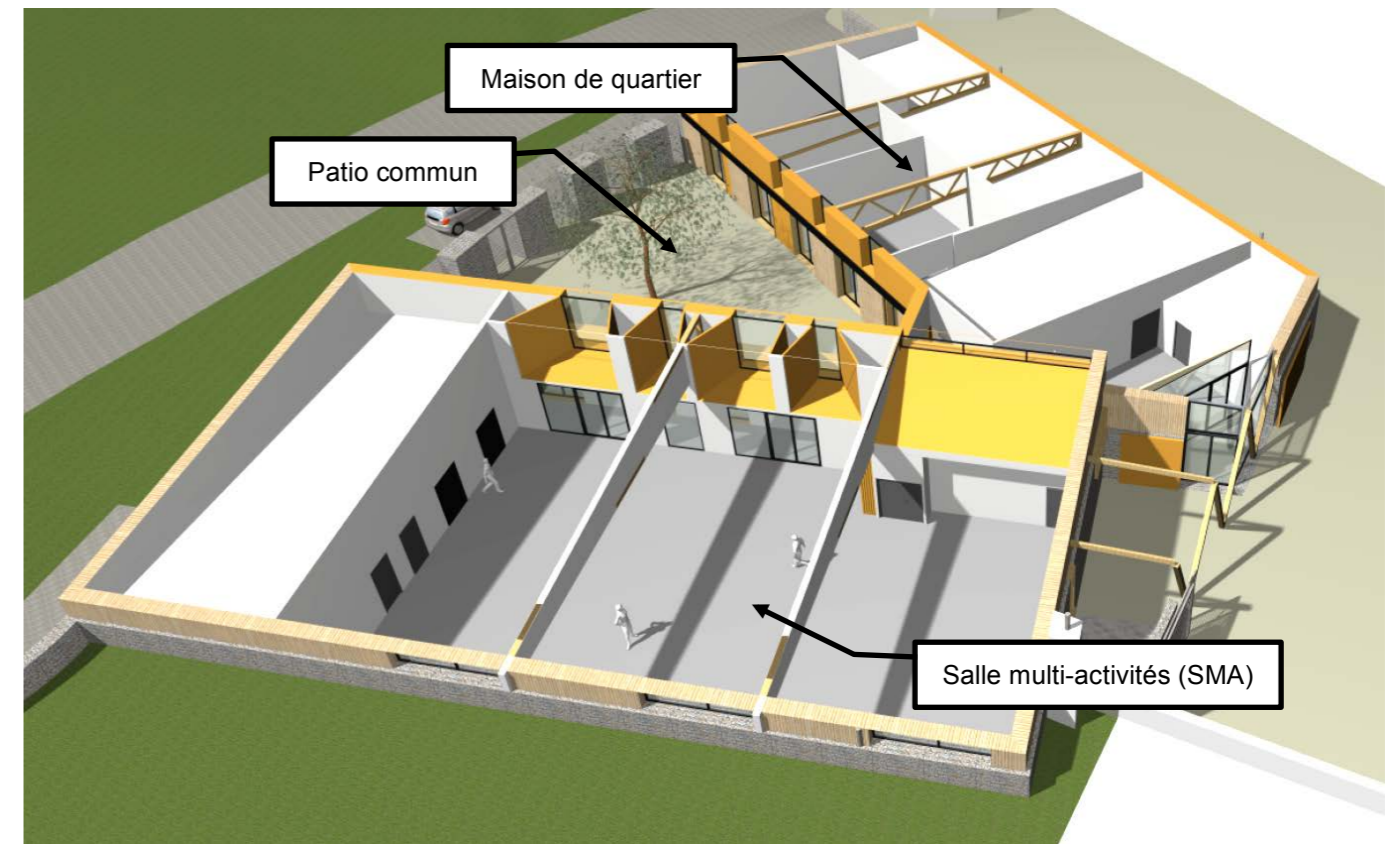


Figure 3 : Rendu impression Maquette Numérique (MN) © Architecte LOUP&MENIGOZ

Le projet comprend également la création de 10 places de parking extérieures.

La salle multi-activités pourra donner lieu à des manifestations diurnes ou nocturnes, avec écoute de musique amplifiée pendant des durées supérieures à 8 heures.

Le projet comprend 860 m<sup>2</sup> de surface de plancher et son coût construction est estimé à 1 800 000 € HT.

La structure sera en béton armé sur fondations superficielles. La charpente métallique est composée de ferme-treillis et de pannes. La couverture sera réalisée à l'aide de complexes comprenant bacs acier, isolants, étanchéité. Les façades, isolées par l'extérieur, seront habillées, selon localisation, de parements briquettes grises ou bardages bois à lames verticales ou bardage en panneaux thermodurcissables. Les menuiseries seront en aluminium laqué avec occultation par volets bois coulissants ou stores intérieurs.



Figure 4 : Photos du projet, après ouverture en juillet 2018

## Partie A – Étude des soutènements en phase avant-projet

Le Cabinet d'architecture a intégré le projet de plain-pied en fonction de la topographie des lieux et des bâtiments existants : la salle multi-activités est semi-enterrée sur une des façades. Nous allons étudier l'influence de cette particularité sur la structure de cette aile du bâtiment. Le projet comprend également la réalisation d'un mur de soutènement.

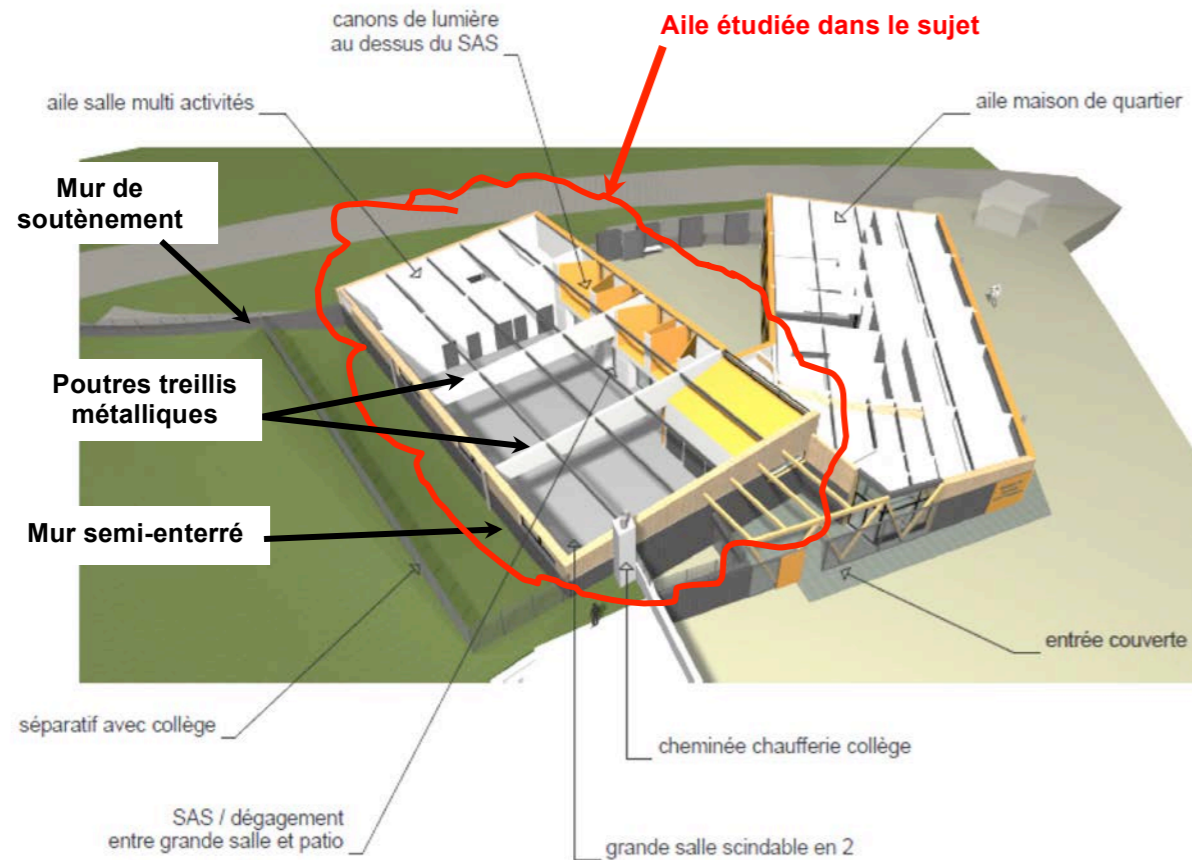


Figure 5 : Rendu impression coupe\_MN © Architecte LOUP&MENIGOZ

### 1.1 : Analyse technologique et mécanique du mur semi-enterré

Le mur semi-enterré sert d'appui aux 2 fermes treillis métalliques (Figure 5). Le second appui de ces fermes est situé sur le voile BA donnant sur le patio commun. Le BET structure propose de modéliser les liaisons du mur avec la charpente d'une part, avec le dallage d'autre part, soit par des appuis élastiques, soit par des appuis glissants, soit par des rotules (ou articulations).

**Question 1.** Sur le document réponse DR1a, pour chacun des 3 cas étudiés, représenter les efforts transmis par la charpente et le dallage sur le mur semi-enterré. Indiquer dans les deux lignes du tableau, l'existence ou pas d'un moment sur la partie supérieure du mur et la possibilité ou impossibilité de déplacement horizontal du mur.

**Question 2.** Sur le document réponse DR1b, effectuer une analyse d'un point de vue mécanique, pour les 3 configurations proposées, selon les critères suivants :

- sollicitation globale du sol support de la fondation du mur,
- effort de poussée du sol, (voir annexe A1)
- déplacement du mur néfaste pour le bon fonctionnement du bâtiment,
- moment apporté par la poutre treillis, en tête du mur, (actions verticales de la toiture),
- sollicitation du mur sous l'effet de la poussée du sol,

- effort normal dans les membrures de la poutre treillis, apporté par la poussée du sol sur le mur,
- effet des liaisons mur-treillis sur la sollicitation de flexion de la poutre treillis,
- sollicitation du dallage par le mur,
- effet « boîte » vis-à-vis du séisme.

Indiquer «--», «-», «+», «++» pour qualifier les effets mécaniques, des moins favorables aux plus favorables, pour le mur semi-enterré, la poutre treillis métallique et le sol support de la fondation du mur.

**Question 3.** Quelle solution est globalement la plus intéressante selon votre analyse de la question 2 ? Argumenter votre réponse en détaillant chacun des critères de la question 2.

**Question 4.** Lors d'une réunion, l'architecte propose d'éloigner les eaux de ruissellement du mur semi-enterré, afin de limiter les éventuelles infiltrations à l'intérieur. Pour cela, il propose un nouveau niveau de terrain fini entre le mur semi-enterré et la clôture (voir figure en annexe A2). Quelles seraient les conséquences pour le mur semi-enterré et la charpente ? (faire un inventaire des avantages et des inconvénients de cette proposition)

Dans la suite de l'étude nous considérons que :

- le mur semi-enterré sera lié avec la charpente et avec le dallage, selon les indications de la configuration du cas B.
- Le maître d'ouvrage tolère que le mur de soutènement puisse se déplacer de 5 mm horizontalement

### 1.2 - Action du sol sur le mur de soutènement et le mur semi-enterré

**Question 5.** A l'aide du document fourni en annexe A3 et de schémas que vous ferez, indiquer quelle(s) hypothèse(s) de poussée-butée du sol vous préconiserez pour ces 2 types de mur ? Quelles conséquences aura (ont) cette (ces) hypothèse(s), pendant la phase de « vie » de ces ouvrages ?



Figure 6 : photo du mur de soutènement

## Partie B – Étude des soutènements en phase projet

### 2.1 – Étude du mur de soutènement

Il s'agit de déterminer les efforts du sol sur le mur de soutènement étudié puis de vérifier sa stabilité interne et externe en situations de projet durables. Les caractéristiques géométriques du mur sont indiquées dans le tableau ci-après :

|   |            |
|---|------------|
| Niveau de la tête du mur                          | 296,05 NGF |
| Niveau le plus haut du Terrain à l'arrière du mur | 295,93 NGF |
| Niveau de la route à l'avant du mur               | 292,70 NGF |
| Niveau BAS de la semelle                          | 291,65 NGF |
| Épaisseur du voile et de la semelle du mur        | 30 cm      |
| Longueur du patin du mur                          | 25 cm      |
| Longueur du talon du mur                          | 1,90 m     |
| Longueur totale de la semelle                     | 2,45 m     |

**Question 6.** A partir des extraits du rapport géotechnique (mission G2AVP) en annexe B1, effectuer une coupe du mur, à l'échelle et cotée, en indiquant les différentes couches de sols reconnus par la campagne de reconnaissance géotechnique. Justifier vos choix ainsi que la valeur du niveau BAS de la semelle. L'objectif de cette coupe, est d'établir un modèle géotechnique du terrain, bidimensionnel à utiliser pour le calcul avec un logiciel métier.

**Question 7.** Déterminer la caractéristique mécanique ( $\phi'$ ) des différentes couches de sols, à l'aide de la formule de

corrélation des CETE :  $pl^* = 0,25 \cdot 2^{\left(\frac{\phi'}{4} - 6\right)}$ . Cette corrélation établit une relation entre la pression limite nette ( $pl^* = pl - p_0$ ) et l'angle de frottement du sol ( $\phi'$ ).

Les valeurs des angles de frottement ( $\phi'$ ) adoptés par l'utilisateur du logiciel métier sont les suivants :

| Couches de sols   | $\phi'$ |
|---|---------|
| TV et limon sableux légèrement graveleux brun             | 25°     |
| Sable limoneux et graves, légèrement argileux, brun clair | 30°     |
| Gravier sableux beige/brun clair                          | 30°     |
| Graviers et sable grésifiés blanc/gris                    | 35°     |

Conclusion. Pour ces différents sols, proposer la valeur de cohésion (en kPa), à adopter dans les calculs.

**Question 8.** De manière à pouvoir vérifier les résultats fournis par le logiciel métier, calculer les actions les plus défavorables sur le mur (actions verticales ; actions horizontales). On pourra adopter les hypothèses suivantes :

|   |   |
|---|---|
| Remblai horizontal à l'arrière du mur.  | Poids volumique du sol de remblai : 20 kN.m <sup>-3</sup>                         |
| Modèle de calcul d'équilibre limite.  | Angle de frottement du sol de remblai : 30°                                       |
| PAS de remblai à l'avant (patin) du mur : <b>cette hypothèse est à justifier dans cette question.</b> | Surcharge uniformément répartie sur la totalité du remblai : 5 kN.m <sup>-2</sup> |
|   | Remblai à l'état ACTIF ( $K_a\gamma$ et $K_aq$ ) : 0,333                          |

En déduire l'effort horizontal total et l'effort vertical total à l'ELS ( $H_{ELS}$  et  $V_{ELS}$ ), s'appliquant sur le mur de soutènement.

**Question 9.** Comparer les valeurs obtenues à la question 8 ( $H_{ELS}$  et  $V_{ELS}$ ) à celles fournies par le logiciel métier :  $H_{ELS} = 68,19$  kN.ml<sup>-1</sup> et  $V_{ELS} = 200,37$  kN.ml<sup>-1</sup>. Représenter ces efforts ( $H_{ELS}$  et  $V_{ELS}$ ) sur le modèle géotechnique de la question 6.

**Question 10.** Effectuer la vérification du renversement du mur à l'ELS (Annexe B2 : Article 12.3 de l'Eurocode 7). Pour cela, calculer l'excentricité du chargement par rapport au centre géométrique de la base du mur ( $e_{ELS}$ ) et la comparer à la valeur obtenue avec le logiciel métier :  $e_{ELS} = 0,43$  m.

**Question 11.** Effectuer la vérification du poinçonnement à l'ELS (Annexe B2 : Article 12.2 de l'Eurocode 7 : critère de limitation de la charge transmise au terrain). Pour cela, calculer la valeur de calcul de la résistance verticale du terrain sous la base du mur ( $R_v ; d$ ) et la comparer à la valeur obtenue avec le logiciel métier :  $R_v ; d = 334,5$  kN.ml<sup>-1</sup>. On prendra :  $q_{net} = 483,9$  kPa. Conclusion.

**Question 12.** Pour vérifier la stabilité interne du mur, calculer les sollicitations les plus défavorables dans le voile du mur (efforts normal, tranchant et moment fléchissant). Ce calcul sera effectué dans la section située à la base du voile (à la jonction avec la semelle) et à l'ELU.

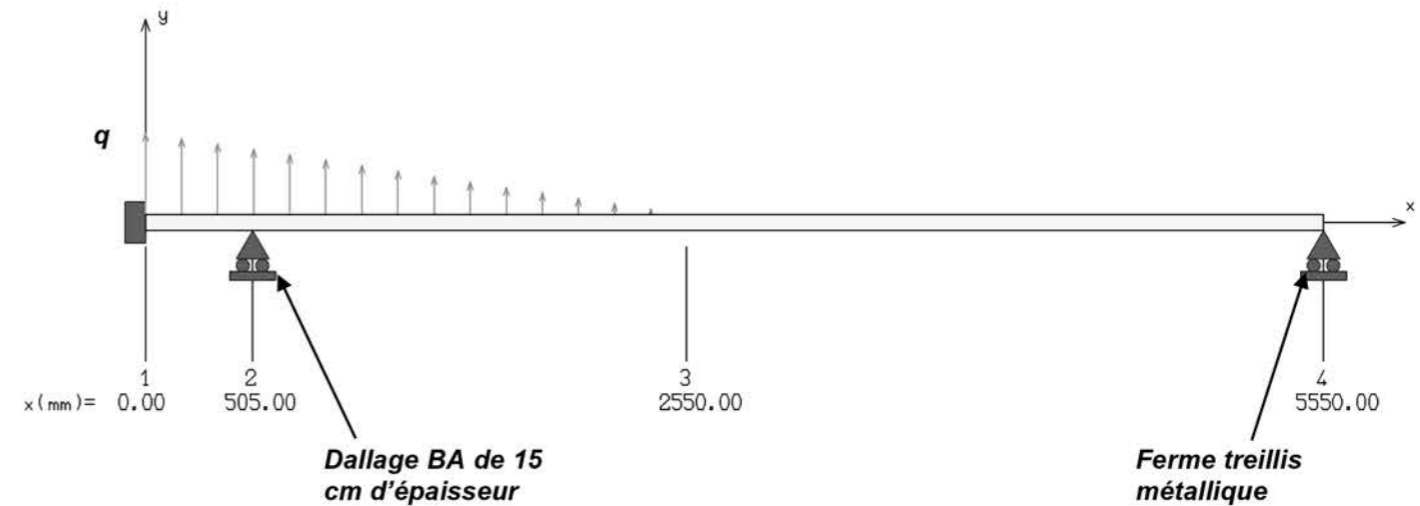
**Question 13.** En utilisant les extraits de l'Eurocode 2 fourni en annexe B5, calculer la section d'acier nécessaire pour la section étudiée en question 12, à l'ELU (On pourra adopter un moment fléchissant à l'ELU de 114 kN.m pour 1 mL). On utilisera un béton C25/30, de l'acier S500B, un enrobage de 4 cm. Comparer avec les résultats du logiciel métier (Section S1) placés en Annexe B3.

**Question 14.** A partir de l'annexe B3 où se trouvent les résultats de calcul béton armé dans le voile et la semelle du logiciel métier (Sections S1 à S7), déterminer si le ferrailage proposé par le BET structure pour les sections étudiées (Schéma de ferrailage fourni en annexe B4) est conforme ? Conclure.

## 2.2 – Etude de l'interaction du mur semi-enterré avec la charpente

On fournit ci-après le modèle mécanique du mur semi-enterré ainsi que les actions transmises par le sol.

**Question 15.** A l'aide de l'annexe B6 qui fournit les étapes de calcul et les valeurs de coefficients d'influence, calculer les actions de liaison produites par la ferme treillis et par le dallage, sur le mur. On négligera les contributions de l'effort tranchant et de l'effort normal pour ces calculs menés à l'ELS. Conclusion.



**Figure 7 :** modèle **mécanique** du mur semi-enterré (représenté à l'horizontale, avec des appuis simples car seuls les efforts selon l'axe « y » sont étudiés dans cette partie - Ces appuis ont été inversés pour des raisons pratiques de modélisation).

### HYPOTHESES :

#### Mur semi-enterré :

\*Béton : C25/30 - Module d'élasticité : on adoptera pour simplifier,  $E = E_{cm} = 31\,000$  MPa

\*Acier S500 B : **5HA 12** pour 1 mètre linéaire de mur - Coefficient d'équivalence acier-béton pris égal à 15.

\*Les calculs seront menés pour 1 mètre linéaire de mur (mL) - épaisseur du mur : 23 cm et enrobage de 3 cm.

**Action triangulaire du sol** de remblai sur le mur :  $q = 25,5$  kN.ml<sup>-1</sup>

## 2.3 – Étude du contreventement de la charpente

**Question 16.** Un calcul analogue à celui de la question 15, pour le cas étudié à la question 4 (remblai à +3,24 m), montre que la valeur de l'effort imposé aux fermes treillis qui servent d'appuis en tête du mur, sera environ de 47 kN pour chaque ferme treillis. Expliquer comment ces efforts seront transmis par les 2 fermes treillis de la charpente, jusqu'aux fondations du bâtiment. La réponse devra être justifiée par des schémas de principe, clairs et explicites.

## Partie C – Étude des soutènements en phase exécution

### 3.1 – Étude du mur de soutènement et du mur enterré

**Question 17.** Proposer un phasage de principe des travaux de remblaiement à l'arrière des murs. Il doit permettre de respecter notamment, les indications du paragraphe 3.6 du rapport de sol (annexe B1).

### 3.2 – Étude d'une variante

L'entreprise de gros œuvre propose d'utiliser des murs préfabriqués de type Prémur, pour réaliser tous les voiles du projet.

**Question 18.** Quels seraient les avantages (au minimum 5) et les inconvénients (au minimum 5) de cette solution pour l'entreprise ? Quelles précautions devront être prises si l'entreprise adopte cette solution, tant au niveau du BET structure et du fournisseur, que de l'entreprise ? (au minimum 5)

### 3.3 – Étude de solutions techniques

**Question 19.** Proposer une solution technologique de liaison entre le haut du mur BA (23cm) semi-enterré et les membrures (HEA 200) d'une des fermes treillis. La solution technologique proposée devra être présentée à l'aide de dessins à l'échelle.

**Question 20.** Réaliser un schéma de ferrailage de la jonction entre le dallage et le mur semi-enterré.

## Partie D– Étude du complexe de couverture

On se propose d'étudier la conception du complexe de couverture de l'aile abritant la salle multi-activités. L'étude portera essentiellement sur la validation du complexe de couverture choisi vis-à-vis des réglementations thermiques et acoustiques.

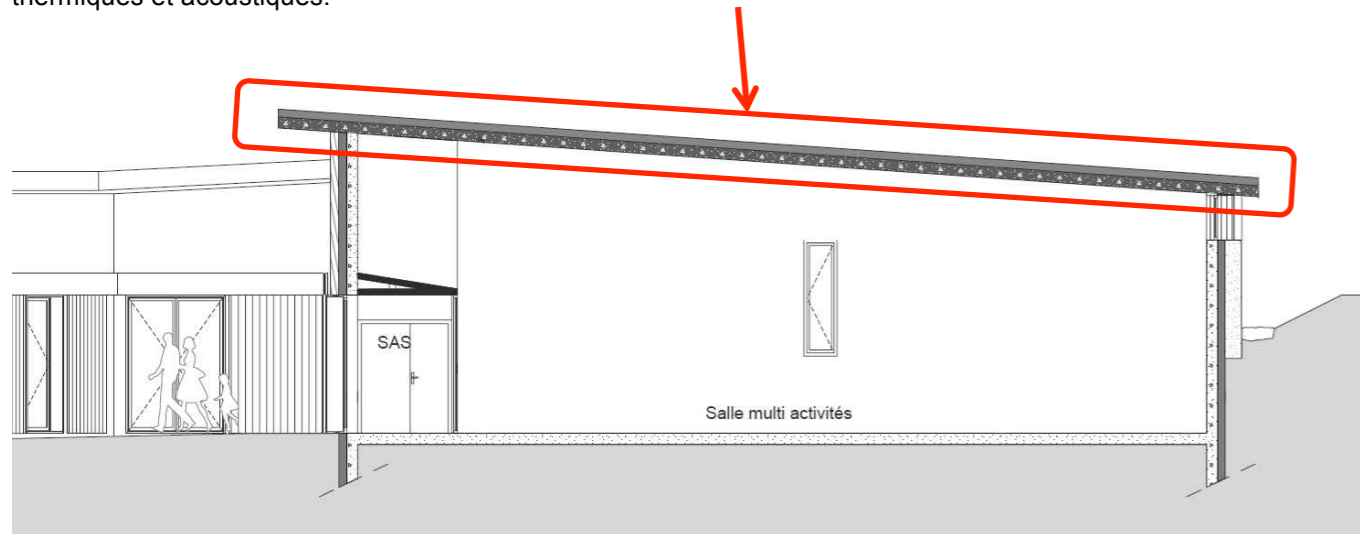
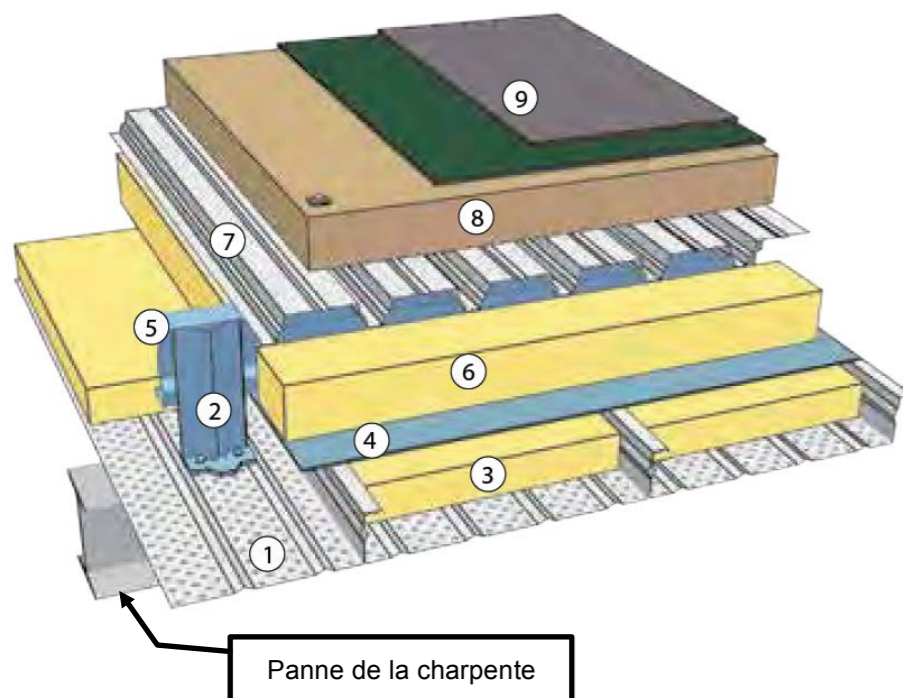


Figure 7 : Coupe sur salle multi activités

Question 21. Recenser l'ensemble des fonctions que doit assurer cette paroi.

Le système constructif retenu sera un complexe de couverture composé de différentes couches comme le montre la figure ci-dessous :



Légende :

- 1 - bac acier perforé épaisseur 0,75 mm, largeur 500 mm
- 2 - échantignolle, entraxe 2 mètres
- 3 - laine minérale SOROCK ép. 90 mm
- 4 - membrane viscoélastique Stickson
- 5 - panne acier tôle pliée, entraxe 3 m
- 6 - laine minérale TOROCK ép 120 mm
- 7 - bac acier ép. 0,75 mm
- 8 - laine minérale ROCKACIER ép. 120 mm
- 9 - étanchéité bicouche bitumineuse

Question 22. Identifier et expliquer le rôle de chacun des 9 composants de ce complexe listés sur la figure précédente

Le choix du complexe de couverture doit être validé notamment vis à vis de plusieurs aspects réglementaires :

- Isolation thermique,
- Correction acoustique de la salle,
- Isolation acoustique vis-à-vis de la transmission des bruits intérieurs vers l'extérieur.

### Données complémentaires relatives au complexe de couverture

- Pont thermique linéique généré par les remontées verticales des bacs perforés :  $0,010 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Pont thermique linéique généré par les pannes acier en tôle pliée :  $0,023 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Pont thermique ponctuel généré par les échantignolles en acier :  $0,030 \text{ W.K}^{-1}$
- On estimera que les ponts thermiques ponctuels induits par les vis et fixations génèrent un coefficient de transmission surfacique de  $0,008 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
- Résistance thermique de la lame d'air située dans les ondes du bac acier ép. 0,75 mm :  $0,16 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$
- Coefficient de conductivité thermique de l'acier :  $50 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Coefficients d'absorption acoustique :

| α par octave (hertz) (conversion d'essais en 1/3 d'octave) |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|
| 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 |
| 0,40   | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,94 | 0,82 |

- Indice d'affaiblissement acoustique, R, en décibels

| R (dB) par octave (Hertz)<br>(conversion d'essais en 1/3 d'octave) |     |     |      |      |      |
|--|-----|-----|------|------|------|
| 125  | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| 30   | 46  | 65  | 86   | 99   | 95   |

- Extraits de documentation techniques des isolants fournis en annexe D1

### Partie 4.1 : isolement thermique

Question 23. Calculer le coefficient de transmission thermique surfacique du complexe de couverture, en prenant en compte les différents ponts thermiques intégrés conformément à la RT 2012 (extraits fournis en annexe D2)

Question 24. A partir de l'extrait de l'étude thermique fourni en annexe D3 et en prenant une valeur de coefficient de transmission thermique surfacique du complexe de couverture égale à  $0,15 \text{ W/m}^2.\text{K}$ , vérifier que le complexe est compatible avec les hypothèses de l'étude thermique.

### Partie 4.2 : correction acoustique

Le temps de réverbération sera calculé à l'aide de la formule de SABINE :  $T_r = \frac{0,16 \times V}{A}$

Avec :  $T_r$  = temps de réverbération en seconde  
 $V$  = volume du local  
 $A$  = aire d'absorption équivalente des parois du local

L'aire d'absorption équivalente est calculée par où les  $S_i$  sont les différentes surfaces des parois entourant l'espace, affectées de leur coefficient d'absorption acoustique  $\alpha_i$

Les aires d'absorption équivalentes de l'ensemble des parois de la salle autres que la couverture, sont données dans le tableau suivant :

|                 |     |      |      |
|-----------------|-----|------|------|
| Fréquence en Hz | 500 | 1000 | 2000 |
|                 | 7,5 | 10,7 | 22,0 |

**Question 25.** Sachant que la surface de la sous-face de la couverture, pour la partie salle multi-activités, est de 324 m<sup>2</sup> et que le volume de ce local est de 1 501 m<sup>3</sup>, calculer le temps de réverbération théorique de la salle à vide.

**Question 26.** A l'aide de l'extrait de l'Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement (extraits fournis en annexe D4), déterminer la plage optimale pour le temps de réverbération de la grande salle, considérée comme une salle polyvalente.

**Question 27.** Le système choisi satisfait-il l'exigence réglementaire ?

**Question 28.** Les éléments liés à l'usage des locaux (présence de personnes et de mobilier) modifieront-ils le résultat obtenu précédemment et si oui, quelles seront les évolutions pour le confort acoustique ?

### Partie 4.3 : isolation acoustique vis-à-vis de la transmission des bruits intérieurs vers l'extérieur

La réglementation concernant les bruits de voisinage se réfère au Décret n° 2006-1099 du 31 août 2006 (*extraits fournis en annexe D5*). D'après ce texte, la potentialité de gêne se traduit en termes d'émergence du bruit incriminé par rapport à l'ambiance sonore habituelle dans la zone considérée. La réglementation en vigueur limite l'émergence du bruit comprenant la source sonore particulière (niveau de bruit ambiant), par rapport au niveau de bruit habituel sans cette source (niveau de bruit résiduel).

La démarche de calcul s'organise en trois phases principales :

- Détermination de l'impact acoustique autorisé (écart entre le niveau de bruit ambiant autorisé et le niveau de bruit résiduel) pour la zone étudiée (questions 29 à 33)
- Calcul du niveau de puissance acoustique émis par le bâtiment étudié (question 34)
- Calcul de l'impact acoustique reçu par le voisinage (question 35)

Pour le reste de l'étude, on se place dans les conditions les plus défavorables (période nocturne), pour une durée d'usage des locaux pouvant être supérieure à 8 heures consécutives.

#### Rappels d'acoustique :

Calcul du niveau de pression acoustique en décibels :  $L_p = 10 \cdot \text{Log}_{10} \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right)$   
avec  $p$  = pression acoustique et  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa

Si  $n$  sources de bruit non corrélées (fréquences pouvant être différentes) engendrent en un point les pressions  $p_i$ , la pression efficace résultante est obtenue par la somme algébriques des pressions efficaces :

$$p^2 = \sum_{i=1}^n (p_i^2)$$

Pondération A :

|                 |      |       |       |      |      |      |
|-----------------|------|-------|-------|------|------|------|
| Fréquence en Hz | 125  | 250   | 500   | 1000 | 2000 | 4000 |
|                 | - 16 | - 8,6 | - 3,2 | 0    | 1,2  | 1    |

**Question 29.** Indiquer, sur le DR2, les valeurs réglementaires des émergences spectrales et globales à ne pas dépasser.

**Question 30.** Après avoir rappelé la différence entre un niveau de bruit spectral et un niveau de bruit résultant (ou global), montrer que le niveau de bruit résultant est obtenu par la relation de calcul suivante :

$$L_R = 10 \cdot \text{log}_{10} \left[ \sum_{i=1}^n \left( 10^{\frac{L_i}{10}} \right) \right]$$

avec  $L_i$  niveau de bruit dans une bande de fréquence du spectre et  $n$  le nombre de bandes de fréquence.

On donne le niveau de bruit résiduel nocturne de la zone où est construit le projet :

|                 |     |      |     |      |      |      |
|-----------------|-----|------|-----|------|------|------|
| Fréquence en Hz | 125 | 250  | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|                 | 44  | 40,5 | 38  | 32   | 29,5 | 26,2 |

avec un niveau de bruit résultant de 39,1 dB(A).

**Question 31.** Calculer la valeur spectrale pour l'octave de 125 Hz du bruit ambiant à ne pas dépasser. En utilisant les résultats complémentaires fournis sur le DR2, calculer la valeur globale du bruit ambiant à ne pas dépasser. Vous noterez vos résultats sur le DR2.

**Question 32.** Montrer que le niveau de bruit de l'impact autorisé est obtenu par la relation de calcul suivante :

$$L_{p \text{ impact}} = 10 \cdot \text{log}_{10} \left( 10^{\frac{L_{p \text{ ambiant}}}{10}} - 10^{\frac{L_{p \text{ résiduel}}}{10}} \right)$$

**Question 33.** Calculer l'impact autorisé pour l'octave de 125 Hz, puis en utilisant les résultats complémentaires fournis sur le DR2, calculer la valeur du niveau de bruit global de l'impact autorisé. Vous noterez vos résultats sur le DR2.

On donne les niveaux de pression acoustique à l'intérieur de la salle :

|                 |     |     |     |      |      |      |
|-----------------|-----|-----|-----|------|------|------|
| Fréquence en Hz | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|                 | 104 | 104 | 103 | 100  | 96   | 93   |

avec un niveau de bruit résultant de 105,0 dB(A).

Le niveau de puissance acoustique rayonné par l'enveloppe du bâtiment sera calculé conformément à la norme NF EN ISO 12354 (voir extraits en annexe D6).

On formule les hypothèses suivantes :

- Les parois verticales, réalisées en béton armé et isolées, sont plus isolantes que la couverture. **Notre étude sera donc menée uniquement pour la paroi de la couverture.**
- La couverture sera assimilée à une source sonore ponctuelle de substitution unique, ne comportant pas d'ouverture, et considérée non directive (ou omnidirectionnelle).
- Diffusivité pour le champ intérieur  $C_d = - 5$  dB pour toutes les bandes de fréquences.
- Surface de la couverture 427 m<sup>2</sup>.
- Indice d'affaiblissement acoustique,  $R$ , donné en page 5

**Question 34.** Calculer, pour l'octave de 125 Hz, le niveau de puissance acoustique  $L_w$  émis par la toiture. Vous noterez votre résultat sur le DR2.



Le bâtiment voisin le plus proche est situé à 35 m, il s'agit d'un bâtiment d'habitation. Le sol séparant les différents bâtiments est essentiellement minéralisé et sera donc considéré comme acoustiquement non absorbant. Il n'y a pas d'écran (végétal ou autre) entre le bâtiment étudié et son voisinage le plus proche.

Le calcul sera mené en conditions nocturnes d'été, avec une température de 15 °C et l'humidité relative la plus défavorable.

La norme ISO 9613 (extraits fournis en annexe D7) propose une méthode de calcul pour les atténuations du son lors de sa propagation à l'air libre.

**Question 35.** Calculer, pour l'octave de 125 Hz, l'impact de bruit reçu par le voisinage le plus proche, puis en utilisant les résultats complémentaires fournis sur le DR2, calculer la valeur du niveau de bruit global de l'impact reçu. Vous noterez vos résultats sur le DR2.  
La réglementation est-elle respectée ?

Le maître d'œuvre propose au maître d'ouvrage de mettre en place une protection de l'étanchéité par végétalisation en bacs pré-cultivés.

**Question 36.** Donner les avantages et inconvénients d'une telle protection.

L'industriel fournisseur du système de couverture a fait procéder à des essais acoustiques pour évaluer les gains apportés par une protection végétalisée, des extraits des résultats d'essais sont fournis en annexe D8.

**Question 37.** En faisant l'hypothèse que les gains apportés par la végétalisation soient identiques pour le système de couverture étudié pour ce projet, déterminer si l'ajout de la végétalisation permet de respecter la réglementation acoustique.

#### **Partie 4.4 : empreinte carbone de la construction**

La loi relative à la transition énergétique fixe l'objectif d'une réglementation ambitieuse pour les bâtiments neufs. Bien que ce bâtiment ne soit soumis qu'à la réglementation RT 2012, le maître d'ouvrage souhaite limiter l'empreinte carbone de cette construction en visant le classement C1 du label E+ C- pour l'impact environnemental du contributeur « Produits de construction et équipements » (*I PCE*) **uniquement**.

L'impact environnemental du contributeur « Produits de construction et équipements » de l'ensemble de la construction hors couverture de la salle multi-activités est estimé à 838 500 kg éq. CO<sub>2</sub>. (Impact liés aux émissions de fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes énergétiques compris).

La surface de plancher du projet est de 860 m<sup>2</sup>. La surface de la couverture de la salle sera prise égale à 427 m<sup>2</sup>, auxquels s'ajoutent des débords de 89 m<sup>2</sup>.

Des extraits des fiches FDES de chaque composant de la couverture sont fournis en annexe D9. Les durées de vie estimées (DVE) retenues pour chaque produit seront prises égales aux durées de vies de référence (DVR) données dans les fiches FDES.

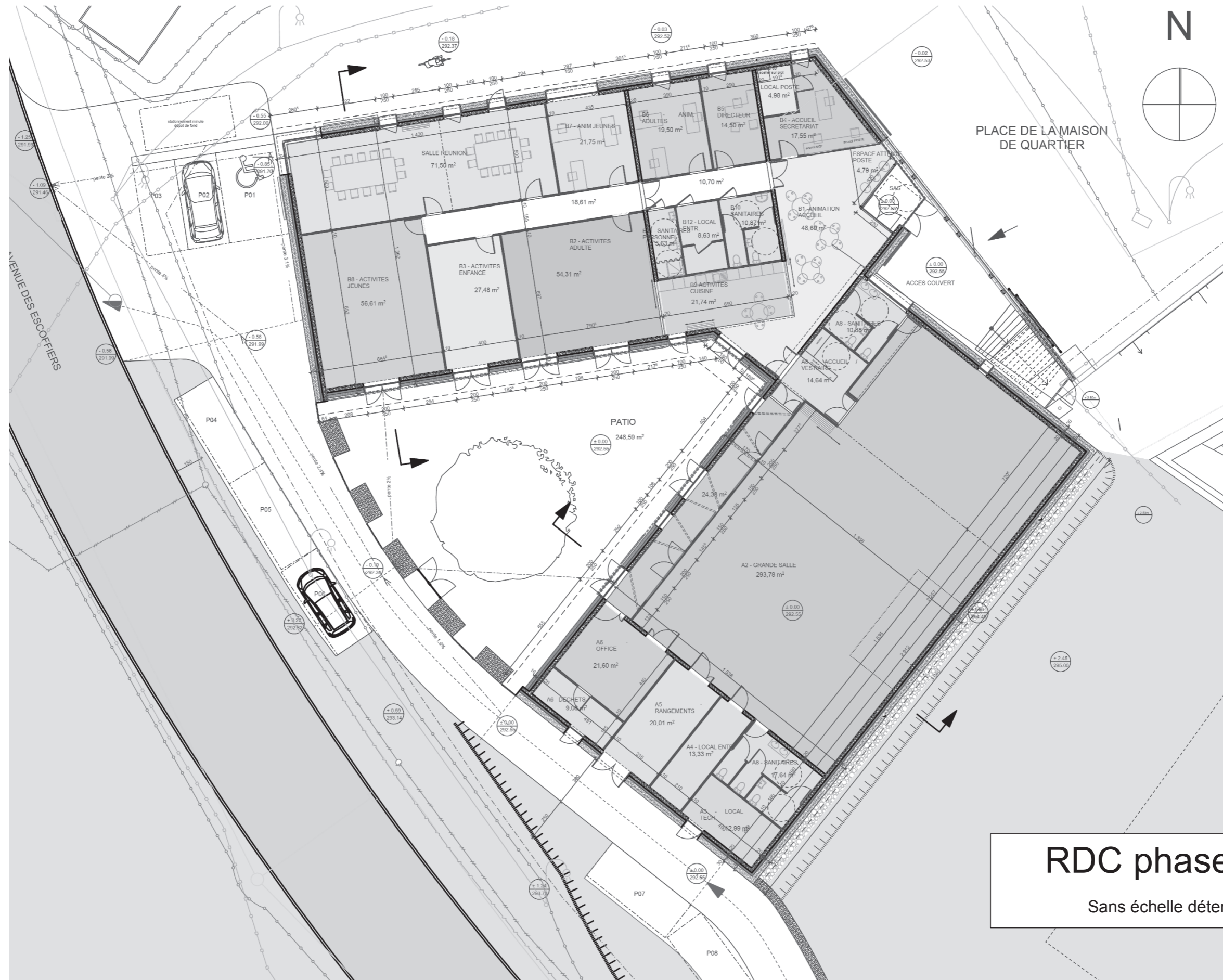
La période d'étude de référence sera prise égale à 50 ans.

Le projet comprend également la création de 10 places de parking extérieures.

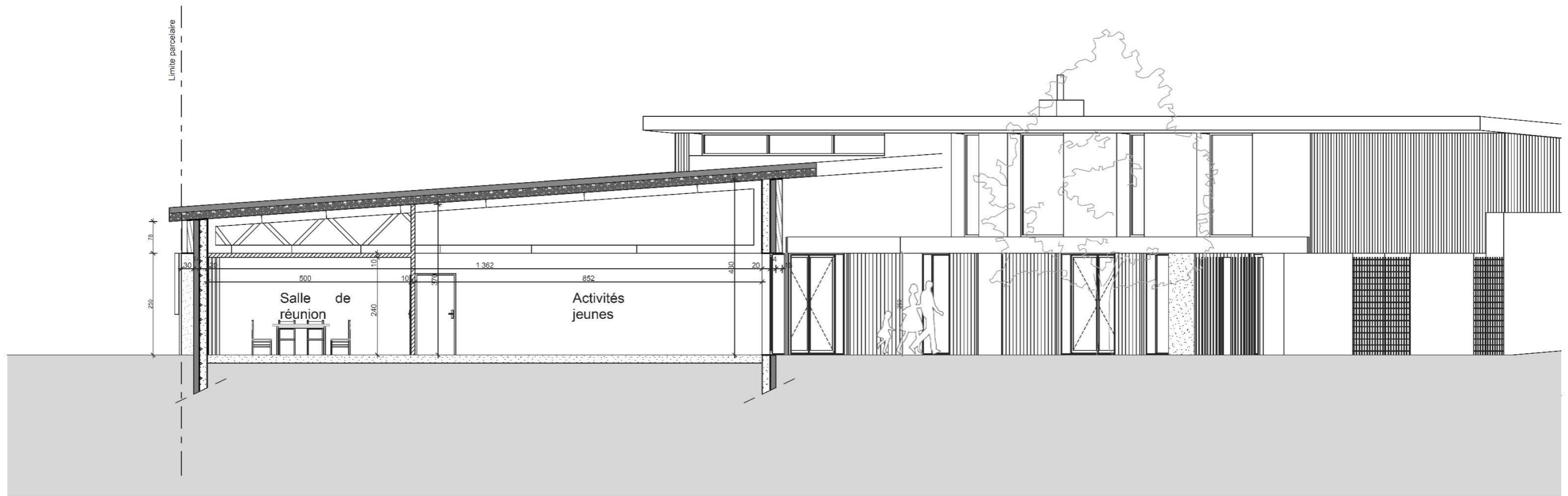
**Question 38.** Rappeler les objectifs principaux poursuivis par les deux volets de performance du label E+ C-.

**Question 39.** En utilisant le DR3, calculer l'impact environnemental lié au réchauffement climatique (en kg éq. CO<sub>2</sub>) des matériaux utilisés pour la couverture de la grande salle. Vous pourrez faire l'hypothèse que les couches sont identiques pour l'ensemble de la couverture, y compris pour les zones en débord extérieur.

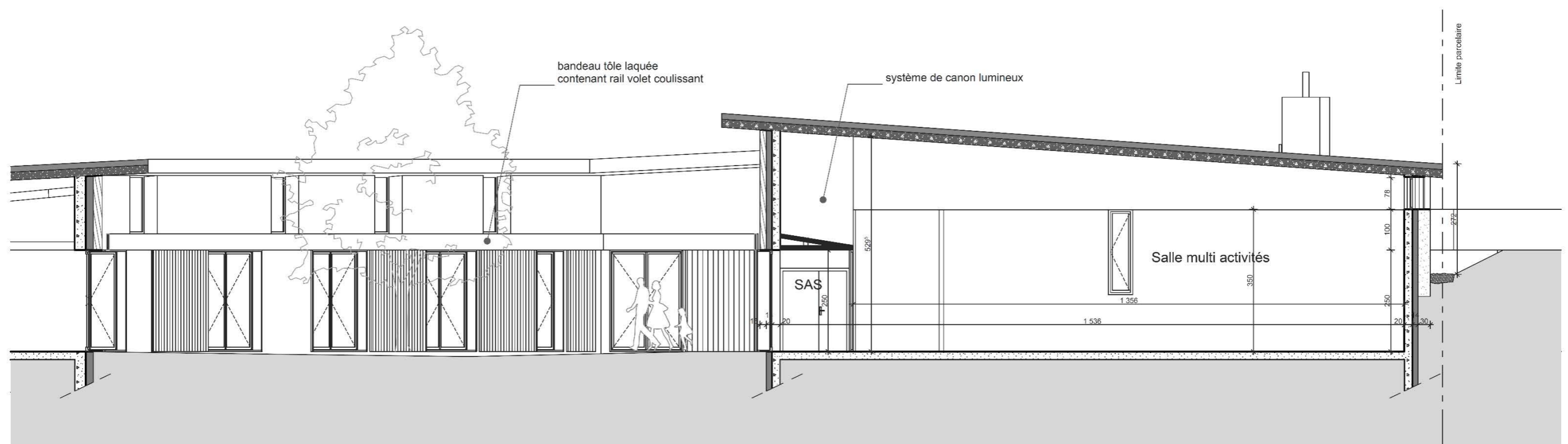
**Question 40.** A partir des extraits du référentiel « Energie – Carbone » fourni en annexe D10, calculer, sur le DR3, l'indicateur  $E_{gesPCE,max}$  pour le projet étudié et pour un niveau de performance « carbone 1 ». Vous conclurez en indiquant si le projet étudié respecte le niveau de performance attendu par le maître d'ouvrage ?



**RDC phase APS**  
Sans échelle déterminée

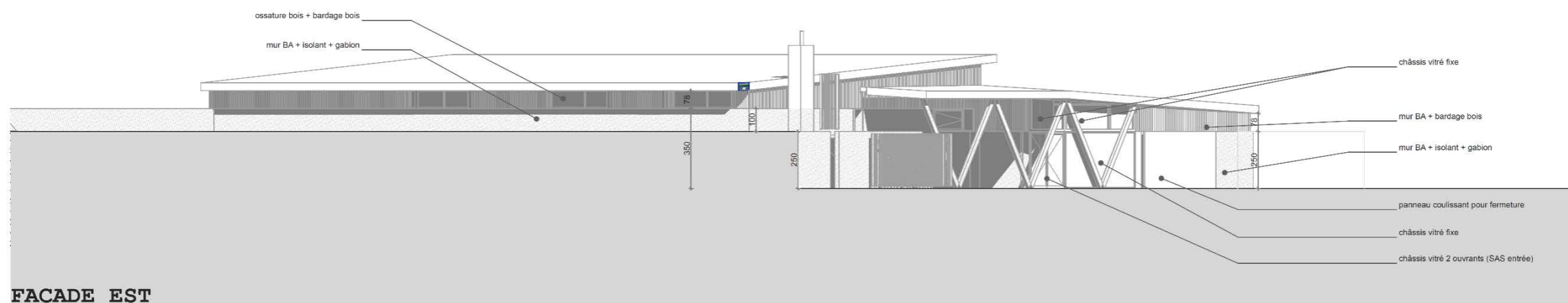
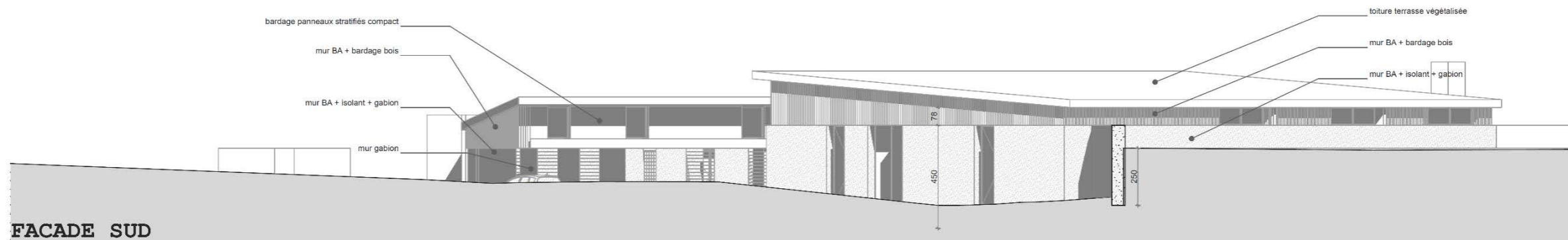
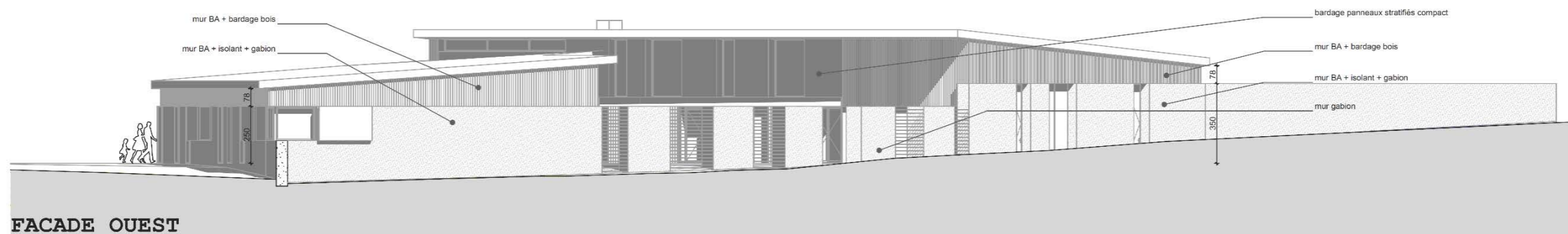
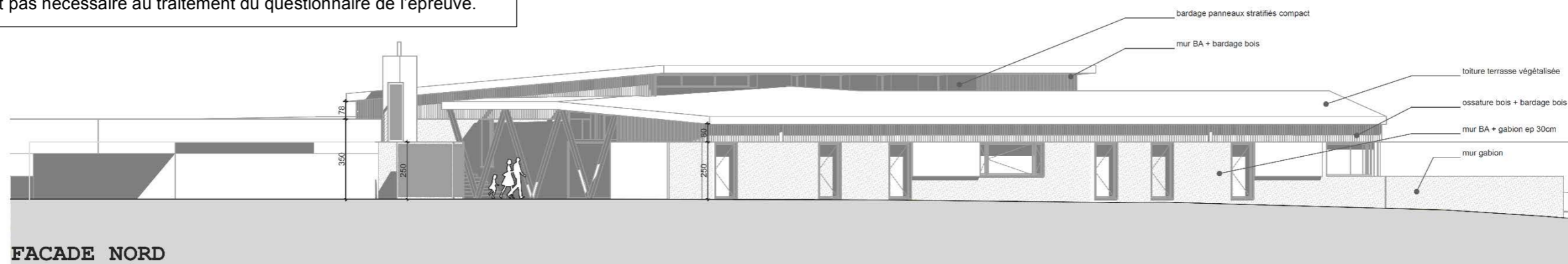


COUPE TRANSVERSALE : MAISON DE QUARTIER



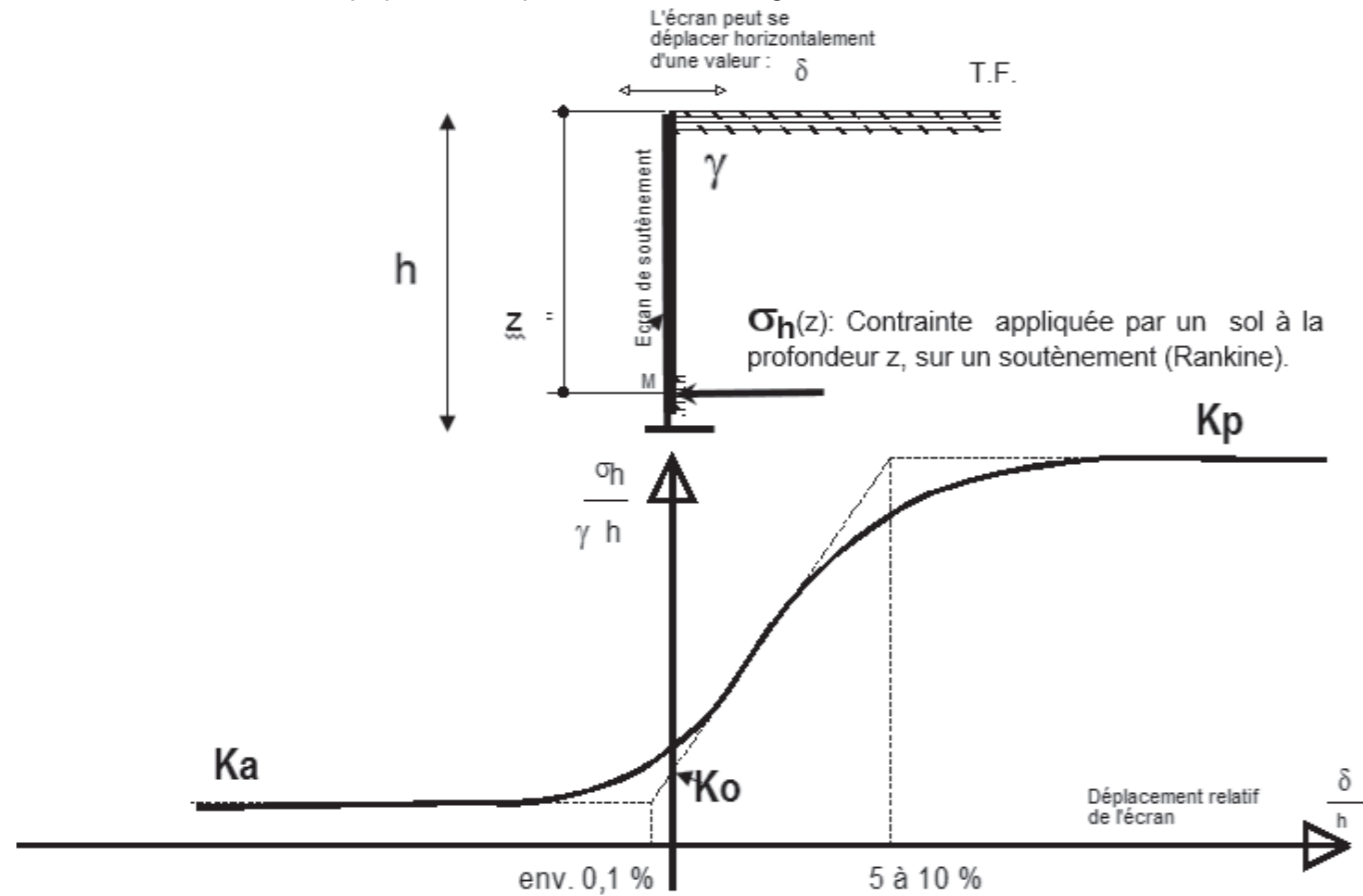
COUPE TRANSVERSALE : SALLE MULTIACTIVITES

Nota : la lecture des textes indiqués sur les vues disposées ci-dessous n'est pas nécessaire au traitement du questionnaire de l'épreuve.



## Annexe A1 : Annexe poussée/butée d'un sol sur un écran de soutènement.

La détermination des valeurs de la pression des terres doit tenir compte des modes et amplitudes admissibles des mouvements et déformations qui peuvent se produire dans l'ouvrage de soutènement à l'état limite considéré.



### Valeurs de la pression des terres (extrait Eurocode 7) :

Lorsqu'il ne se produit aucun mouvement relatif du mur ou écran par rapport au terrain, la pression des terres doit être calculée à partir de l'état de contraintes au repos.

Dans les sols normalement consolidés, il convient normalement d'admettre que le terrain est dans les conditions dites de repos derrière un ouvrage de soutènement lorsque le mouvement de l'ouvrage est inférieur à  $5 \cdot 10^{-4} h$ . ( $h$  : hauteur des terres exerçant une contrainte sur le mur)

Des valeurs intermédiaires de la pression des terres peuvent exister lorsque les mouvements du mur ou de l'écran ne sont pas suffisants pour mobiliser les valeurs limites.

Il convient de calculer suivant les équations suivantes les valeurs limites de la pression des terres sur un écran vertical dans le cas d'un sol de masse volumique ( $\gamma$ ), d'angle de frottement ( $\varphi$ ) et de cohésion ( $c$ ) ainsi que dans le cas d'une surcharge verticale uniforme sur la surface à l'arrière de l'écran ( $q$ ) :

- état limite de poussée :

$$\sigma_a(z) = K_a [\int \gamma dz + q - u] + u - c K_{ac} \quad \dots (C.1)$$

où l'intégration est réalisée depuis la surface du terrain jusqu'à la profondeur  $z$

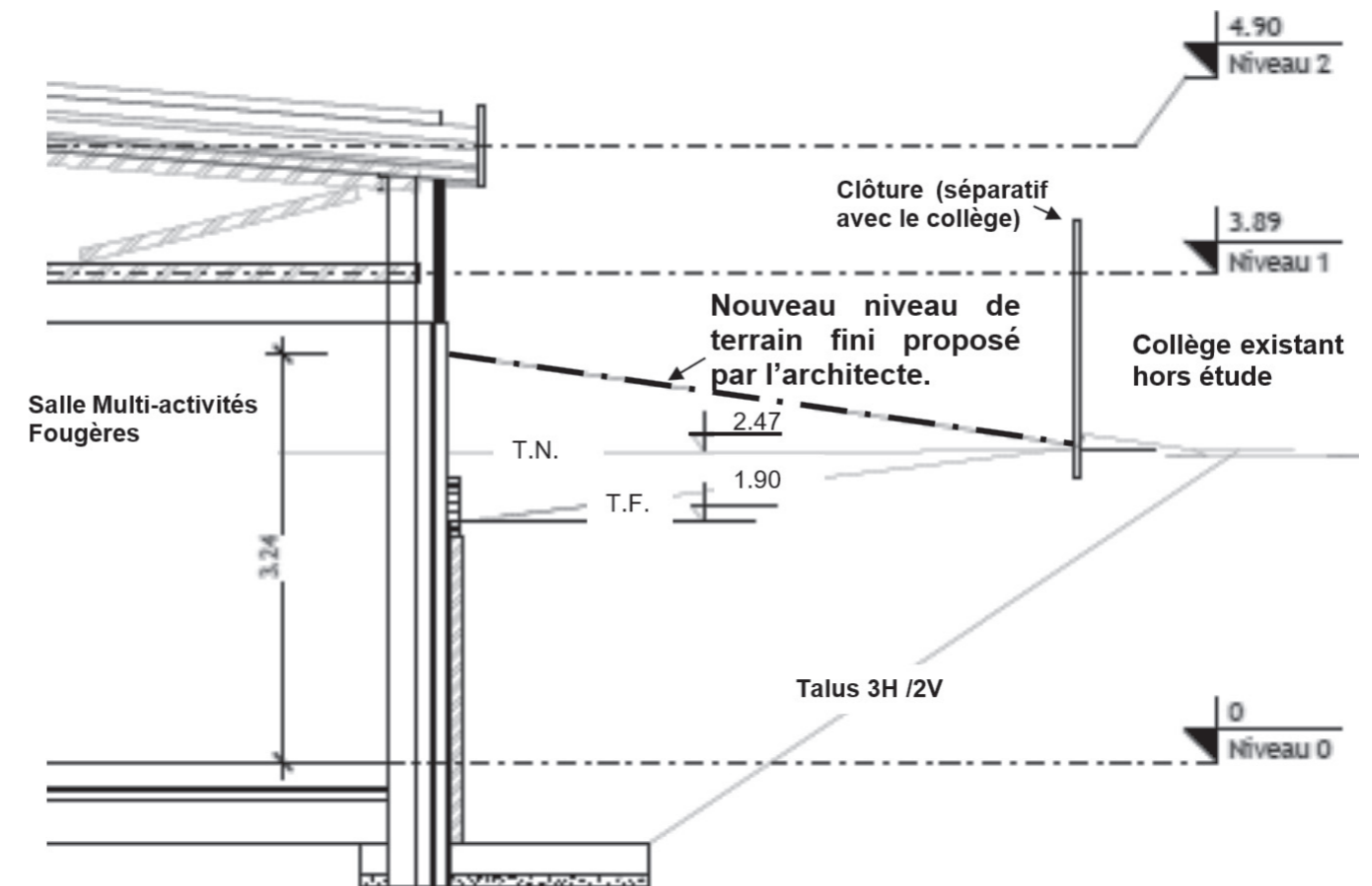
$K_{ac} = 2\sqrt{K_a(1+a/c)}$ , limité à  $2,56\sqrt{K_a}$  où :

- $a$  est l'inclinaison des contraintes (entre le terrain et le mur)
- $c$  est la cohésion

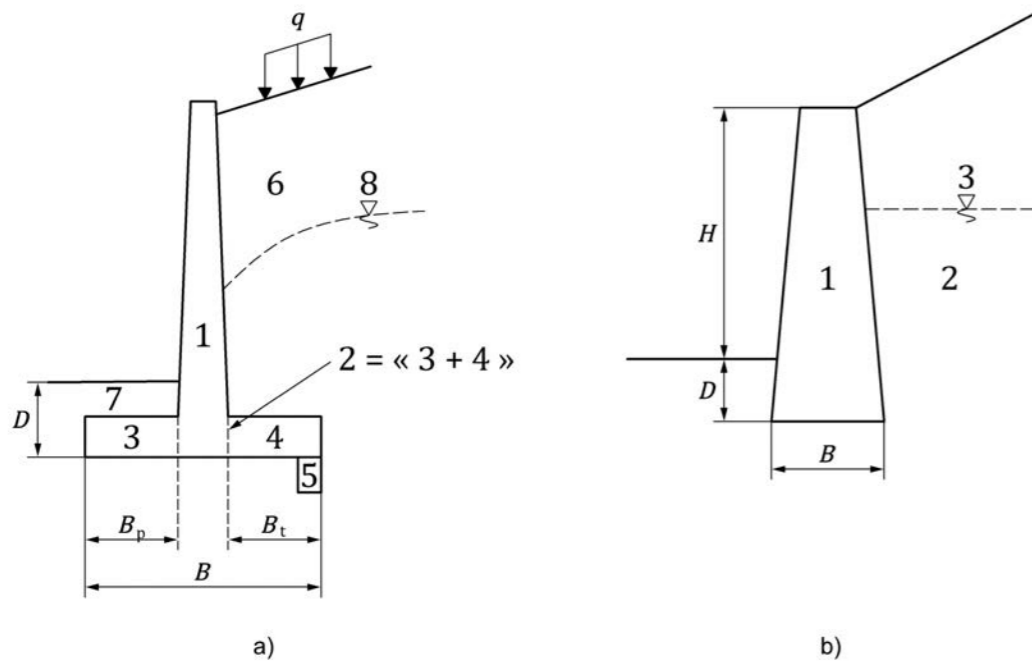
- $K_a$  est le coefficient de poussée horizontale des terres
- $q$  est la charge verticale appliquée en surface
- $z$  est la distance verticale le long de la surface l'écran
- $\beta$  est l'angle de la pente du terrain derrière le mur (positif vers le haut)
- $\delta$  est l'angle de frottement entre le terrain et le mur
- $\gamma$  est le poids volumique du terrain soutenu
- $\sigma_a(z)$  est la contrainte totale normale à l'écran (état limite de poussée)

Pour un sol en condition drainée,  $K_a$  est une fonction de l'angle de frottement  $\varphi'$  et de la cohésion effective  $c = c'$ . Pour un sol en condition non drainée,  $K_a = 1$  et la cohésion non drainée vaut  $c = C_u$ .

## Annexe A2 : Proposition de nouveau terrain fini par l'architecte.



**Annexe A3 : Extraits Eurocode 7 et NF P94-281.**



- Légende**
- 1 voile
  - 2 semelle
  - 3 patin
  - 4 talon
  - 5 bêche
  - 6 terrain soutenu saturé ou non
  - 7 terrain résistant saturé ou non
  - 8 surface libre de la nappe

- Légende**
- 1 massif du mur
  - 2 terrain soutenu saturé ou non
  - 3 surface libre de la nappe

**9.5 Détermination de la pression des terres**

**9.5.2 Valeurs de la pression des terres au repos**

Pour un sol à surface horizontale, il convient de déterminer le coefficient de pression des terres au repos  $K_o$  au moyen de la formule : ( $R_{oc}$  : rapport de sur-consolidation)  $K_o = (1 - \sin \varphi) \sqrt{R_{oc}}$

**9.5.3 Valeurs limites de la pression des terres**

Lorsque des butons, ancrages ou éléments similaires limitent les mouvements de l'ouvrage de soutènement, il convient de considérer que les valeurs limites de poussée et de butée et leurs distributions ne sont pas nécessairement les plus défavorables.

**9.5.5 Effets du compactage**

La détermination des pressions des terres derrière un ouvrage de soutènement doit tenir compte des pressions supplémentaires créées par la mise en place du remblai et des procédures adoptées pour le compacter. Les mesures indiquent que les pressions supplémentaires dépendent de l'énergie de compactage appliquée, de l'épaisseur des couches compactées et de l'itinéraire des déplacements de l'engin de compactage. Il se peut que la pression horizontale sur le mur ou de l'écran dans une couche diminue lorsque la couche suivante est mise en place et compactée. Lorsque le remblaiement est terminé, la surpression n'agit normalement que sur la partie supérieure du mur ou de l'écran.

(2)P Des procédures de compactage appropriées doivent être spécifiées afin d'éviter des pressions des terres excessives qui pourraient provoquer des mouvements inacceptables de l'ouvrage.

Annexe C (informative) Exemples de procédures de détermination de la pression des terres

**C.3 Mouvements nécessaires pour mobiliser les pressions des terres**

| Type de mouvement de l'écran  | $v_a/h$<br>sol lâche<br>% | $v_a/h$<br>sol dense<br>% |
|---|---------------------------|---------------------------|
| a)  | 0,4 à 0,5                 | 0,1 à 0,2                 |
| b)  | 0,2                       | 0,05 à 0,1                |
| c)  | 0,8 à 1,0                 | 0,2 à 0,5                 |
| d)  | 0,4 à 0,5                 | 0,1 à 0,2                 |
| où :<br>$v_a$ est le mouvement de l'écran pour mobiliser l'état de poussée<br>$h$ est la hauteur de l'écran |                           |                           |

(1) Il est d'usage de tenir compte de la relation entre la pression des terres et le mouvement de l'écran pour les états de poussée. L'importance de ce mouvement dépend du type de mouvement de l'écran, de l'état initial des pressions des terres et de la densité du sol. Supposant un état initial des contraintes avec  $K_o < 1$ , le tableau C.1 fournit des estimations du rapport  $v_a/h$  pour des pressions effectives de poussée des terres entièrement mobilisées dans le cas d'un écran vertical avec un sol drainé non cohésif et une surface du terrain horizontale.

(3) Des valeurs intermédiaires de la pression effective des terres entre l'état limite et l'état de pression des terres au repos peuvent être obtenues par une interpolation linéaire.

Tableau C.1 Rapports  $v_a/h$  pour des sols non cohésifs

## Présentation de notre mission

### 1 - Mission selon la norme NF P 94-500

Il s'agit d'une mission de type G2AVP au sens de la norme NFP 94-500 (Missions Géotechniques Types – Révision Novembre 2013).

### 2 - Programme d'investigations

A cet effet, nous avons réalisé pour la présente mission G2 AVP :

- 2 sondages destructifs et pressiométriques notés PRA et PRB descendus à 10 m avec 6 essais pressiométriques chacun,
- 3 sondages de reconnaissance géologique à la pelle notés PMA à PMC et descendus entre 2.75 m et 3.3 m de profondeur.

## Descriptif général du site et approche documentaire

### 1 - Description du site

Le terrain est une plateforme enherbée calée entre 295.2 NGF et 293.2 NGF. Elle est bordée du Nord-est au Sud-ouest par un talus d'environ 1.2 à 1.9 m de haut. Au Sud-est la plateforme reste inchangée.

## Résultats des investigations in situ

### 1 - Géologie

Les sondages réalisés ont permis de mettre en évidence la structure géologique suivante :

- De la **terre végétale** relayée par un limon sur 0.3 à 0.4 m environ,
- Des **limons sableux légèrement graveleux** rencontrés jusqu'aux profondeurs et cotes suivantes :

| Sondage                 | PRA   | PRB   | PMA   | PMB   | PMC   |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Prof. de la base (en m) | 1.3   | 1.1   | 2.2   | 0.6   | 1.95  |
| Cote de la base (NGF)   | 293.8 | 294.0 | 292.8 | 294.0 | 293.1 |

- Du **sable fin (ou limoneux) légèrement argileux très graveleux** rencontrés jusqu'aux profondeurs et cotes suivantes :

| Sondage                 | PRA   | PRB   | PMA               | PMB               | PMC              |
|-------------------------|-------|-------|-------------------|-------------------|------------------|
| Prof. de la base (en m) | 4.0   | 4.1   | 3.15 <sup>A</sup> | 2.75 <sup>A</sup> | 3.3 <sup>A</sup> |
| Cote de la base (NGF)   | 291.1 | 291.0 | ≤291.9            | ≤291.9            | ≤291.7           |

<sup>A</sup> : arrêt du sondage

- Au-delà, des **graviers sableux** rencontrés jusqu'à 7.5 à 8 m (soit 287.1 à 287.6 NGF) relayés par des **graviers sableux grésifiés** jusqu'à l'arrêt des sondages à 10 m

### 2 - Géomécanique

Nous avons réalisé 12 essais pressiométriques afin de mesurer in-situ les caractéristiques de portance et de déformabilité des sols.

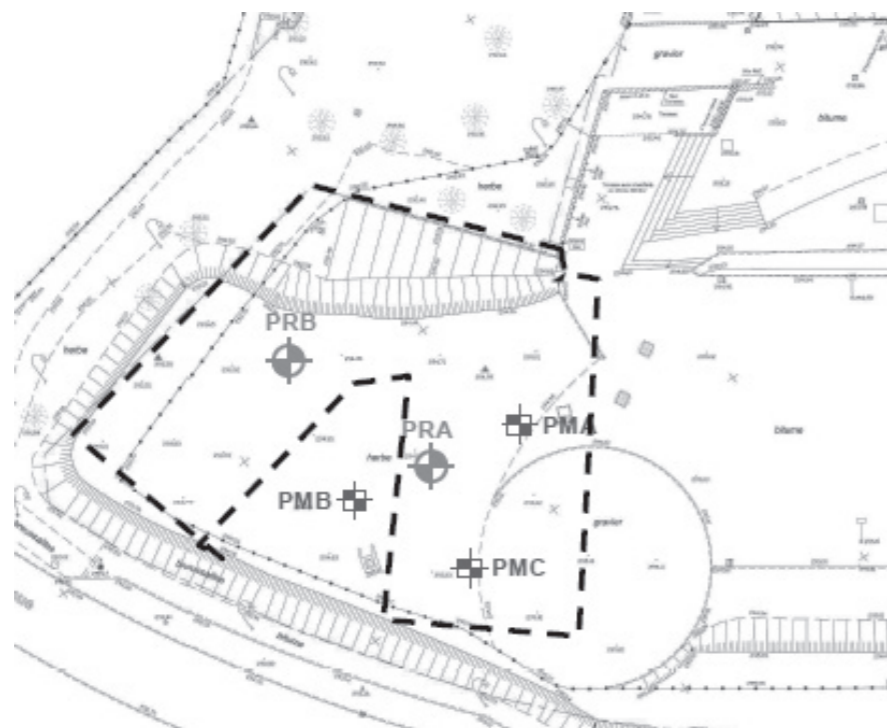
Ces essais ont été conduits selon la norme NF P 94-110. Les notations relatives à ces essais figurent en annexe.

Les caractéristiques mécaniques mesurées sont présentées ci-dessous :

- **Moyennes** dans les limons sableux légèrement graveleux (1 essai) :  
Em ≈ 6.8 MPa  
pl – po ≈ 0.74 MPa
- Variables, **bonnes** dans les sables fins (ou limoneux) légèrement argileux très graveleux avec (3 essais) :  
18.8 MPa < Em < 94.9 MPa  
1.72 MPa < pl – po < 4.76 MPa

- **Bonnes** dans les graviers sableux (5 essais) :  
 $37.0 \text{ MPa} < E_m < 63.0 \text{ MPa}$   
 $3.52 \text{ MPa} < p_l - p_o < 5.08 \text{ MPa}$

puis **Très bonnes** dans les graviers sableux grésifiés (3 essais) :  
 $122 \text{ MPa} < E_m < 234 \text{ MPa}$   
 $p_l - p_o \geq 4.58 \text{ MPa}$



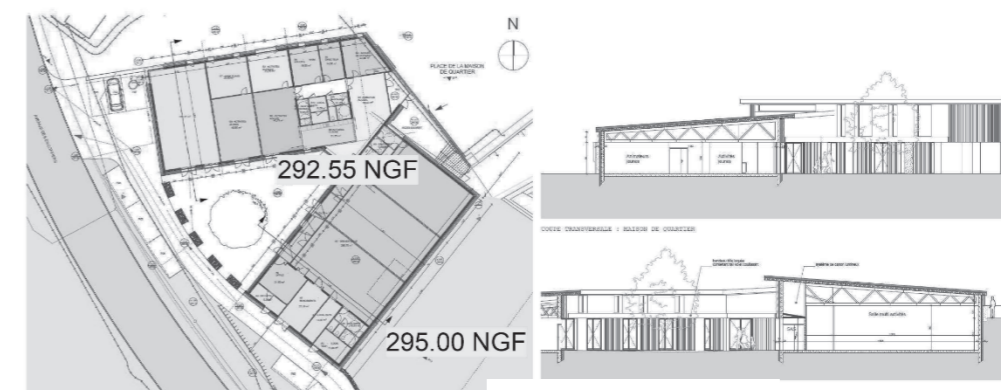
### 3 - Niveaux d'eau

Lors de notre intervention en août 2014, l'eau a été mesurée dans le sondage PRA en fin de chantier à 8.5 m de profondeur (soit 286.6 m NGF). Les autres sondages sont restés secs.

## Application au projet

### I - Description générale du projet

Il est envisagé la construction d'une salle multi-activités sur la commune de



Le bâtiment sera de type rez-de-chaussée (calé à 278.0 cote plan) à R+1. Le bâtiment Sud sera semi-enterré sur ses façades Est. Le niveau RDC est projeté à 292.55 NGF.

Un terrassement en déblai pouvant aller jusqu'à 2.7 m sera nécessaire pour ancrer le projet dans le terrain.

Compte tenu de la configuration du site, le niveau RDC se situe a niveau en partie Nord, à environ +1.25 m/l'avenue en partie Nord-ouest, à -1.35 m/ l'avenue en partie Sud et à -2.55m/terrain en partie Est (d'où un bâtiment semi-enterré).

Nous n'avons pas d'indication concernant les descentes de charges, ni concernant les surcharges sur dallage au stade actuel de l'étude.

### 2 - Principes généraux de fondation

Dans le contexte géotechnique observé, une solution de fondations superficielles pourrait être envisagée avec un ancrage dans les sables fins (ou limoneux) légèrement argileux très graveleux. On s'ancrera alors de 0.3 m minimum dans cet horizon.

La cote d'assise (ancrage compris) sera au droit de nos sondages de :

| Sondages                         | PRA      | PRB      | PMA   | PMB      | PMC      |
|----------------------------------|----------|----------|-------|----------|----------|
| Cote d'assise NGF                | 293.5    | 293.7    | 292.5 | 293.7    | 292.8    |
| Profondeur (en m) <sup>(1)</sup> | Atteinte | Atteinte | 0.05  | Atteinte | Atteinte |

<sup>(1)</sup> Profondeur par rapport au niveau bas à la cote 292.55 NGF

Le sol d'assise est probablement sujet à des variations altimétriques et le niveau d'assise des fondations sera adapté pour respecter l'ancrage prescrit. Il faudra provisionner des quantités de béton de rattrapage permettant de prendre en compte cet aléa.

Une **profondeur de mise à l'abri des effets du gel minimale de 0.9 m** est à prendre en compte pour les fondations pouvant être impactées (annexe 0.4 de la norme NF P 94 261).



### 3 - Fondations superficielles

#### 3.1. Contraintes de calcul

Les contraintes de calcul sont, en négligeant  $q_0$ :

$$q'_{ELS} = 0.62 \text{ MPa}$$

$$q'_{ELU} = 1.02 \text{ MPa}$$

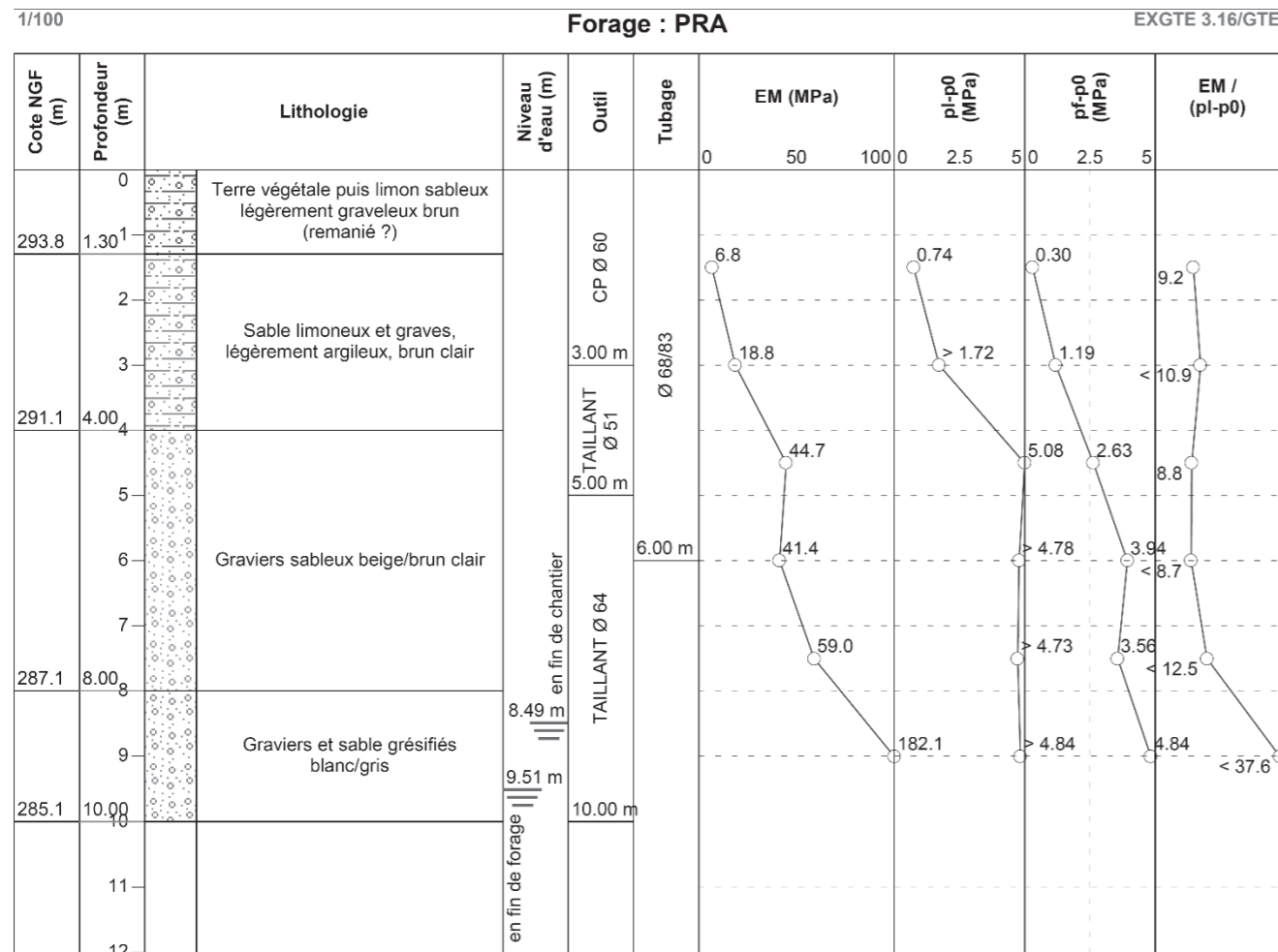
#### 3.6. Sujétions d'exécution liées aux parties semi-enterrées

Les parties enterrées seront calculées en soutènement en prenant le coefficient des terres au repos  $k_0$ .

Les parties enterrées du projet seront au minimum soigneusement drainées : drain aval avec exutoire gravitaire ou pompe de relevage par exemple.

Nous préconisons de mettre en œuvre derrière les murs enterrés des matériaux insensibles à l'eau et infragmentables lors de leur mise en œuvre. Ces matériaux seront de type D21 ou D31 ou équivalent avec un écrêtage de la granulométrie ( $D \leq 80 \text{ mm}$ ).

Il conviendra de réaliser un compactage modéré des matériaux à proximité de ces murs pour prévenir tout désordre sur la structure.



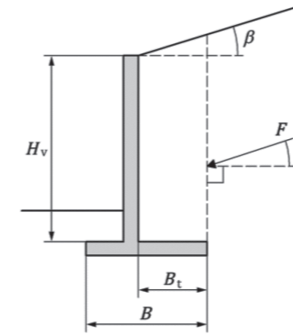
## Annexe B2 : Extraits Eurocode 7 et NF P94-281.

### 8.5 Modèles de comportement

#### 8.5.1 Contour du bloc monolithique – Écrans fictifs de poussée et de butée

(1) Le bloc monolithique à considérer pour le calcul des efforts de poussée des terrains et des surcharges (NOTE 1) nécessite la définition d'un plan fictif à l'arrière de la semelle du mur (NOTE 2) :

- pour des murs en T ou des murs à redans, ce plan est en général considéré comme vertical (NOTE 3, Figure 8.5.1.1 et Tableau 8.5.1) ;



a) Mur en T

Figure 8.5.1.1 Exemples d'écrans fictifs habituellement adoptés pour le calcul de la poussée des terres.

On adoptera :  $\delta = \beta$

(3) Il convient de déterminer les actions (poids de l'ouvrage, poids des terres supporté par le mur, efforts dus aux surcharges, efforts de poussée, effort de butée, etc.) en considérant un bloc monolithique constitué par le mur, complété le cas échéant par le volume de terrain compris entre le plan fictif de calcul de la butée des terres et le plan fictif de calcul de la poussée des terres.

### 12 Justification à l'état limite de service (ELS)

#### 12.1 Principes

(3) Dans la mesure où les éventuels mouvements du mur ne sont pas préjudiciables (paragraphe 8.3 (4)), ceux-ci ne sont pas à calculer et il convient, pour justifier un mur de soutènement à l'ELS quasi-permanent et caractéristique, de vérifier les critères suivants :

- un critère de limitation de la charge transmise au terrain de manière à prévenir les phénomènes de fluage ;
- un critère relatif à l'excentrement.

#### 12.2 Limitation de la charge transmise au sol par le mur de soutènement

(1) Le critère de limitation de la charge transmise au terrain est à vérifier à l'ELS quasi-permanent et caractéristique et nécessite de satisfaire les relations suivantes :

$$V_d - R_0 \leq R_{v;d} \quad (12.2.1)$$

$$R_{v;d} = \frac{R_{v;k}}{\gamma_{R;v}} \quad (12.2.2)$$

$$R_{v;k} = \frac{A' q_{net}}{\gamma_{R;d;v}} \quad (12.2.3)$$

où :

- $V_d$  est la valeur de calcul de la charge verticale transmise par le mur de soutènement au terrain ;
- $R_0$  est la valeur du poids de volume de sol constitué du volume de la fondation sous le terrain après travaux et des sols compris entre la fondation et le terrain après travaux ;
- $R_{v;d}$  est la valeur de calcul de la résistance nette du terrain sous la fondation du mur de soutènement ;
- $A'$  est la valeur de la surface effective de la semelle

Pour une semelle filante :

$$A' = A \left( 1 - 2 \frac{e}{B} \right) = LB \left( 1 - 2 \frac{e}{B} \right) = LB' \quad (Q.1)$$

- $\gamma_{R,v}$  est le facteur partiel à considérer, il est égal à 2,3 à l'ELS quasi-permanent et à l'ELS caractéristique et sa valeur ne dépend pas de la méthode de calcul ;
- $R_{v,k}$  est la valeur caractéristique de la résistance nette du terrain sous la fondation du mur de soutènement;
- $q_{net}$  est la valeur de la contrainte associée à la résistance nette du terrain sous la fondation du mur de soutènement calculée selon une méthode de calcul appropriée;
- $\gamma_{R;d,v}$  est le coefficient de modèle associée à la méthode de calcul utilisée.

(2) La valeur du coefficient de modèle  $\gamma_{R;d,v}$  à considérer dépend du modèle de calcul utilisé et est égale à :

- 1,0, lorsque la portance est estimée à partir de données pressiométriques ou pénétrométriques,

NOTE 2

La valeur  $R_0$  est égale à :

$$R_0 = Aq_0 \quad (9.2.1.2)$$

où :

- $q_0$  est la contrainte totale verticale que l'on obtiendrait à la fin des travaux à la base aval du mur en l'absence de celui-ci.
- A surface totale de la base de la fondation d'un mur de soutènement.

### 12.3 Excentrement du chargement

(1) Pour des combinaisons de charge à l'ELS quasi-permanent et à l'ELS caractéristique, afin de limiter l'excentrement, il convient, pour une semelle filante de largeur B, de vérifier la relation suivante :

$$1 - \frac{2e}{B} \geq \frac{1}{2} \quad (12.3.1)$$

## Annexe C (informative) Stabilité interne d'un mur en T :

### C.1 Préambule

(1) Cette annexe a pour objet la vérification de la stabilité **interne** d'un mur en T en béton armé. Elle permet de déterminer dans toutes les sections du mur le torseur d'efforts (N, V, M – effort normal, effort tranchant, moment fléchissant).

(2) La justification des sections en béton armé doit être réalisée selon les prescriptions de la norme NF EN 1992.

### C.2 Principes

(1) La méthode de calcul proposée permet de déterminer les efforts dans le voile, le patin puis le talon.

(2) Ces calculs doivent être conduits pour tous les cas de charge: ELU, ELS caractéristique et ELS quasi permanent.

#### C.2.1 Calcul des efforts dans le voile

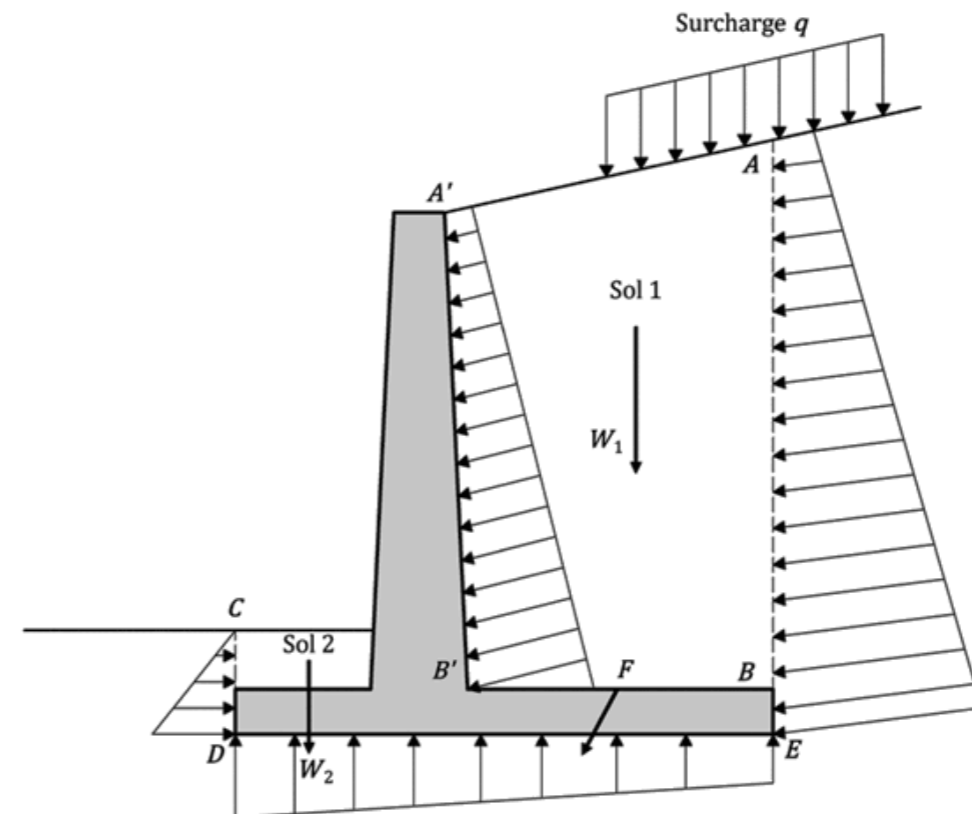
(1) Le voile est soumis à des contraintes dont la répartition est trapézoïdale (segment A'B' sur la [Figure C.1](#)). Il est alors possible depuis le haut vers le bas du voile de déterminer en chaque section du voile l'effort tranchant et le moment fléchissant.

(2) Le champ de contraintes s'appliquant sur le segment A'B' ([Figure C.1](#)) présente une inclinaison  $\delta$  par rapport à la normale. Cette valeur d'inclinaison est à définir selon les conditions de cisaillement entre le volume de sol 1 et le voile (NOTE).

NOTE

En général, la valeur d'inclinaison  $\delta$  est prise égale à :

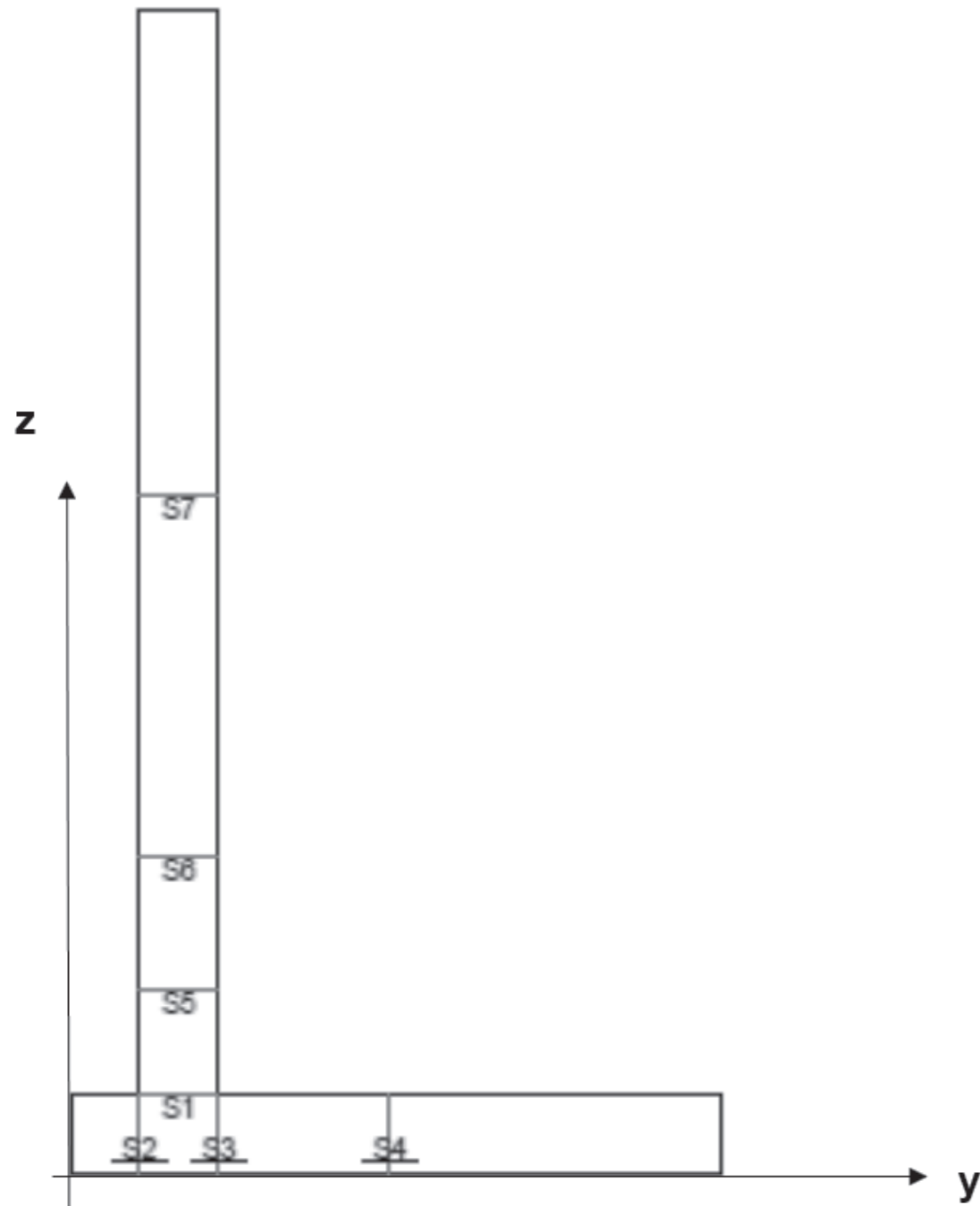
- $2/3\phi$  dans le cas d'une interface rugueuse entre le mur et le terrain ;
- 0 dans le cas d'une interface lisse.



$W_1, W_2$  sont les poids des volumes de sol 1 et 2

Figure C.1 Contraintes et efforts à considérer pour la stabilité interne d'un mur en T

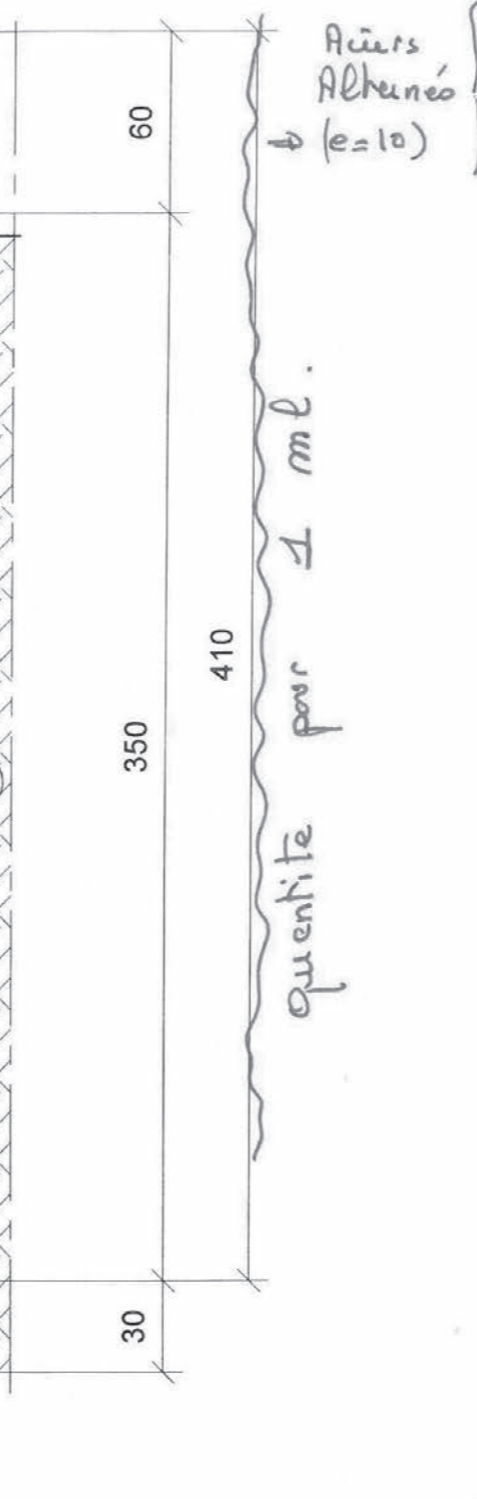
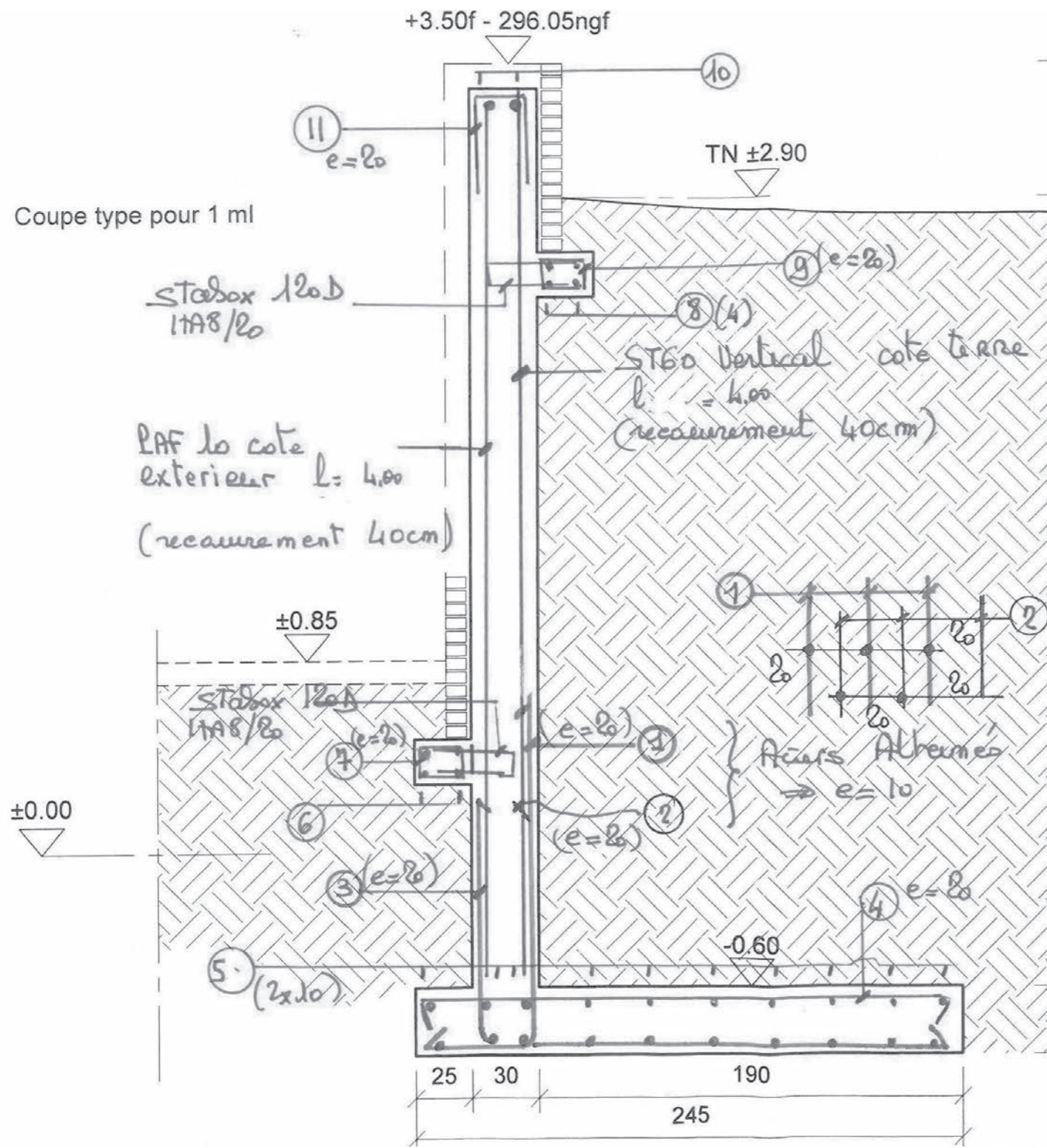
**Annexe B3 : Stabilité interne du mur de soutènement.**



| Section étudiée | Abscisse "y" en mètres | Ordonnée "z" en mètres |
|-----------------|------------------------|------------------------|
| S1              |                        | 0.30                   |
| S2              | 0.25                   |                        |
| S3              | 0.55                   |                        |
| S4              | 1.20                   |                        |
| S5              |                        | 0.70                   |
| S6              |                        | 1.20                   |
| S7              |                        | 2.57                   |

| Section | EC2 : EN 1992-1-1 |                               |               |                               |                               |
|---------|-------------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|
|         | M elu<br>kN.m     | As elu<br>cm <sup>2</sup> /ml | M els<br>kN.m | As els<br>cm <sup>2</sup> /ml | As min<br>cm <sup>2</sup> /ml |
| S1      | 113,6             | 10,58                         | 83,11         | 7,608                         | 4,001                         |
| S2      | 5,085             | 0,3945                        | 3,731         | 0,32                          | 4,001                         |
| S3      | 121,6             | 9,846                         | 88,9          | 8,16                          | 4,001                         |
| S4      | 80,42             | 6,408                         | 58,88         | 5,323                         | 4,001                         |
| S5      | 84,57             | 6,75                          | 61,81         | 5,597                         | 4,001                         |
| S6      | 55,34             | 4,37                          | 40,37         | 3,606                         | 4,001                         |
| S7      | 11,11             | 0,8639                        | 8,03          | 0,6945                        | 4,001                         |

**Annexe B4 : Schéma de ferrailage proposé.**



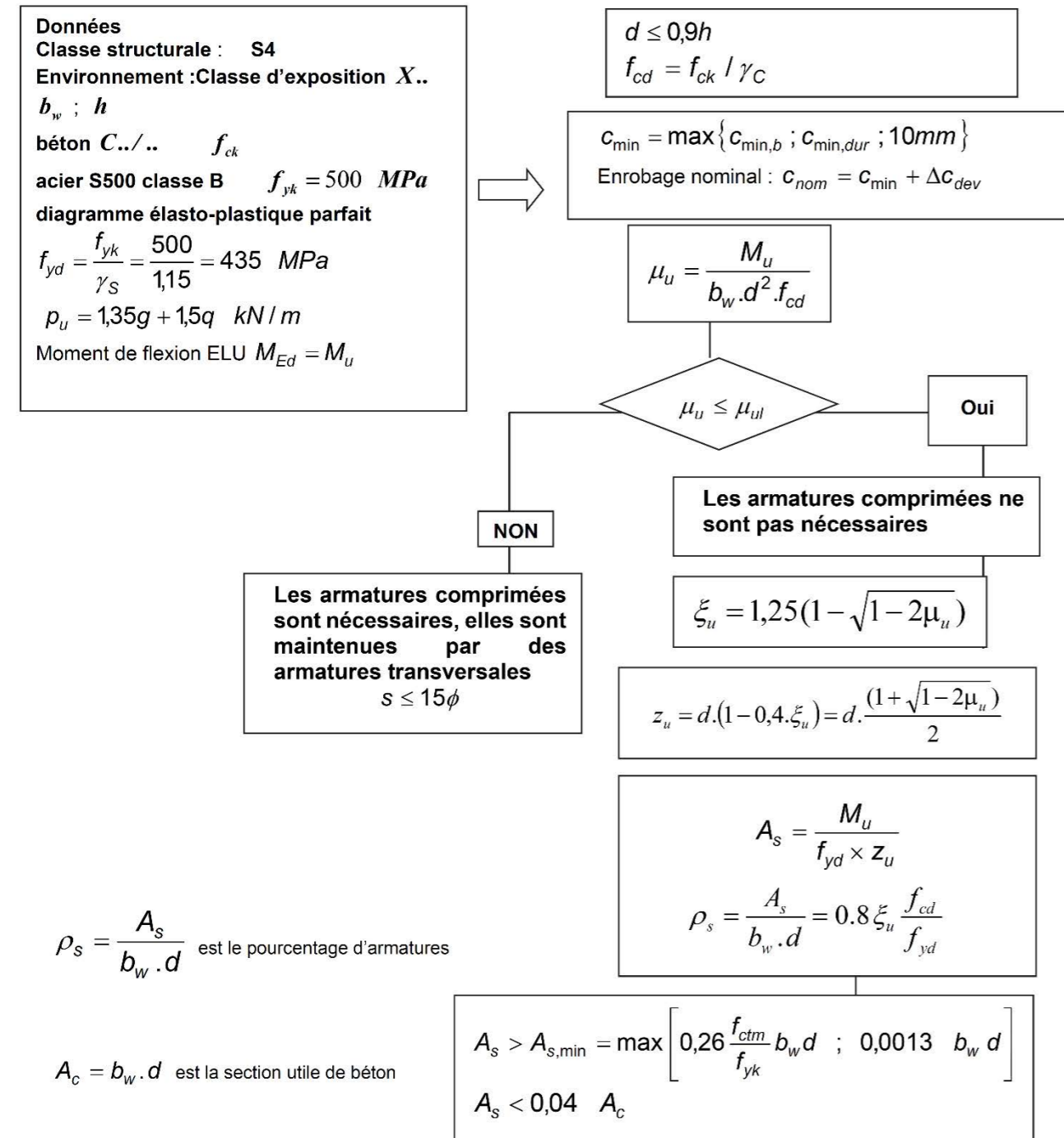
| Barres | Lg     | Forme             |
|--------|--------|-------------------|
| 1      | 511A12 | 230<br>150 (e=20) |
| 2      | 511A12 | 180<br>100 (e=20) |
| 3      | 511A8  | 335<br>210 (e=20) |
| 4      | 511A16 | 287<br>237 (e=20) |
| 5      | 2011A8 | 100               |
| 6      | 411A8  | 100               |
| 7      | 511A8  | 85<br>14 (e=20)   |
| 8      | 411A8  | 100               |
| 9      | 511A8  | 85<br>14 (e=20)   |
| 10     | 211A10 | 100<br>20         |
| 11     | 511A8  | 100<br>40 (e=20)  |

**Ex :** barres N°3, constituées de 5 barres d'acier Haute Adhérence de diamètre 8 mm par mètre linéaire de mur, de longueur totale dépliée 335 cm, avec une forme d'équerre de 100 cm de hauteur avec retour de 10 cm et de 210 cm de longueur à l'horizontale avec retour de 15 cm, et donc espacées de 20 cm.

10

## Annexe B5 : Extraits Eurocodes

### Organigramme de calcul des Armatures longitudinales en flexion simple, section rectangulaire :



Il faut ensuite déterminer la hauteur utile réelle  $d_{réelle}$ , celle-ci doit être supérieure à la valeur estimée  $\leq 0.9h$  considérée.



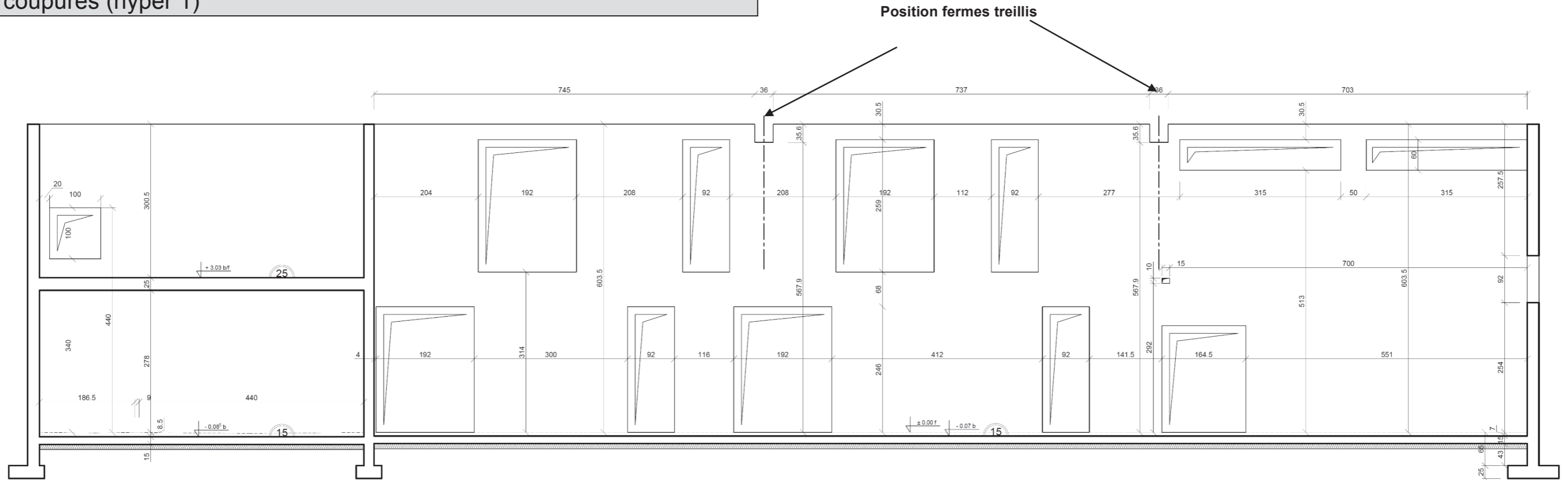
| TREILLIS SOUDÉS DE SURFACE        |                   |              |            |            |                            |                |                                      |                        |                        |                      |          |                     |
|-----------------------------------|-------------------|--------------|------------|------------|----------------------------|----------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|----------|---------------------|
| ( NF A 35-024 de nuance B600A ) * |                   |              |            |            |                            |                | ( NF A 35-080-2 de nuance B500A ) ** |                        |                        |                      |          |                     |
| Désignation panneau ADETS         | Section S (cm²/m) | S s (cm²/m)  | E e (mm)   | D d (mm)   | Abouts AV AR ad ag (mm/mm) | Nb de fils N n | Longueur L Largeur l (m)             | Masse nominale (kg/m²) | Surface 1 panneau (m²) | Masse 1 panneau (kg) | Colisage | Masse 1 paquet (kg) |
| * PAF R®                          | 0,80              | 0,80<br>0,53 | 200<br>300 | 4,5<br>4,5 | 150/150<br>100/100         | 12<br>12       | 3,60<br>2,40                         | 1,042                  | 8,64                   | 9,00                 | 100      | 900                 |
| * PAF C®                          | 0,80              | 0,80<br>0,80 | 200<br>200 | 4,5<br>4,5 | 100/100<br>100/100         | 12<br>18       | 3,60<br>2,40                         | 1,250                  | 8,64                   | 10,80                | 100      | 1080                |
| * PAF V®                          | 0,99              | 0,80<br>0,99 | 200<br>160 | 4,5<br>4,5 | 135/25<br>100/100          | 12<br>16       |                                      |                        | 7,68                   | 9,60                 | 100      | 960                 |
| ** PAF 10®                        | 1,19              | 1,19<br>1,19 | 200<br>200 | 5,5<br>5,5 | 100/100<br>100/100         | 12<br>21       | 4,20<br>2,40                         | 1,870                  | 10,08                  | 18,85                | 70       | 1319                |

| TREILLIS SOUDÉS DE STRUCTURE                            |                   |              |            |          |                            |                |                          |                        |                        |                      |          |                     |
|---|-------------------|--------------|------------|----------|----------------------------|----------------|--------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|----------|---------------------|
| ( NF A 35-080-2 de nuance B500A et/ou de nuance B500B ) |                   |              |            |          |                            |                |                          |                        |                        |                      |          |                     |
| Désignation panneau ADETS                               | Section S (cm²/m) | S s (cm²/m)  | E e (mm)   | D d (mm) | Abouts AV AR ad ag (mm/mm) | Nb de fils N n | Longueur L Largeur l (m) | Masse nominale (kg/m²) | Surface 1 panneau (m²) | Masse 1 panneau (kg) | Colisage | Masse 1 paquet (kg) |
| ST 15 C®  | 1,42              | 1,42<br>1,42 | 200<br>200 | 6<br>6   | 100/100<br>100/100         | 12<br>20       | 4,00<br>2,40             | 2,220                  | 9,60                   | 21,31                | 70       | 1492                |
| ST 20®  | 1,89              | 1,89<br>1,28 | 150<br>300 | 6<br>7   | 150/150<br>75/75           | 16<br>20       | 6,00<br>2,40             | 2,487                  | 14,40                  | 35,81                | 40       | 1432                |
| ST 25®  | 2,57              | 2,57<br>1,28 | 150<br>300 | 7<br>7   | 150/150<br>75/75           | 16<br>20       | 6,00<br>2,40             | 3,020                  | 14,40                  | 43,49                | 40       | 1740                |
| ST 25 C®  | 2,57              | 2,57<br>2,57 | 150<br>150 | 7<br>7   | 75/75<br>75/75             | 16<br>40       | 6,00<br>2,40             | 4,026                  | 14,40                  | 57,98                | 30       | 1739                |
| ST 25 CS®   | 2,57              | 2,57<br>2,57 | 150<br>150 | 7<br>7   | 75/75<br>75/75             | 16<br>20       | 3,00<br>2,40             | 4,026                  | 7,20                   | 28,99                | 40       | 1160                |
| ST 35®  | 3,85              | 3,85<br>1,28 | 100<br>300 | 7<br>7   | 150/150<br>50/50           | 24<br>20       | 6,00<br>2,40             | 4,026                  | 14,40                  | 57,98                | 30       | 1739                |
| ST 40 C®  | 3,85              | 3,85<br>3,85 | 100<br>100 | 7<br>7   | 50/50<br>50/50             | 24<br>60       | 6,00<br>2,40             | 6,040                  | 14,40                  | 86,98                | 20       | 1740                |
| ST 50®  | 5,03              | 5,03<br>1,68 | 100<br>300 | 8<br>8   | 150/150<br>50/50           | 24<br>20       | 6,00<br>2,40             | 5,267                  | 14,40                  | 75,84                | 20       | 1517                |
| ST 50 C®  | 5,03              | 5,03<br>5,03 | 100<br>100 | 8<br>8   | 50/50<br>50/50             | 24<br>60       | 6,00<br>2,40             | 7,900                  | 14,40                  | 113,76               | 15       | 1706                |
| ST 60®  | 6,36              | 6,36<br>2,54 | 100<br>250 | 9<br>9   | 125/125<br>50/50           | 24<br>24       | 6,00<br>2,40             | 6,986                  | 14,40                  | 100,60               | 16       | 1610                |
| ST 65 C®  | 6,36              | 6,36<br>6,36 | 100<br>100 | 9<br>9   | 50/50<br>50/50             | 24<br>60       | 6,00<br>2,40             | 9,980                  | 14,40                  | 143,71               | 10       | 1437                |

**Note 1 :** Il convient que la longueur d'about ne soit pas inférieure à 25 mm ( NF A 35-080-2 ).

**Note 2 :** Les treillis soudés de structure de nuance B500B répondent aux exigences des règles Eurocode 8 pour le renforcement parasismique.

**Annexe B6 : Coupe Salle Multi-activités et méthode des forces ou des coupures (hyper 1)**



Coupe EE Salle multi activités

Équation fondamentale pour des structures composées de barres (poutres) sollicitées en flexion :

$$A_{10}^0 + X_1 \delta_{11}^0 = 0$$

$$A_{10}^0 = \int_{structure} \frac{\bar{M}_1^0 \times M_0^0}{EI} dx \quad \delta_{11}^0 = \int_{structure} \frac{(\bar{M}_1^0)^2}{EI} dx$$

L'exposant 0 signifie "dans la structure isostatique associée ( $S^0$ ) (ou de référence)".

Lorsque la structure est constituée de barres sollicitées uniquement en flexion :

$$A_{10}^0 = \int_{structure} \frac{\bar{M}_1^0 \times M_0^0}{EI} dx$$

$$\delta_{11}^0 = \int_{structure} \frac{(\bar{M}_1^0)^2}{EI} dx$$

Lorsque la structure est constituée de barres sollicitées en flexion ainsi que de barres bi-articulées donc sollicitées uniquement à un effort normal, il faut utiliser :

$$A_{10}^0 = \int_{structure} \frac{\bar{M}_1^0 \times M_0^0}{EI} dx + \sum_{barres\ bi-articulées} \frac{\bar{N}_1^0 \times N_0^0}{EA} L$$

$$\delta_{11}^0 = \int_{structure} \frac{(\bar{M}_1^0)^2}{EI} dx + \sum_{barres\ bi-articulées} \frac{(\bar{N}_1^0)^2}{EA} L$$

Intégrales de Mohr:  $\int_0^L m_i(x) \cdot m_j(x) dx$

| $m_i(x)$ | $m_j(x)$ | $M_j$                  | $M_j$                  | $M_j$                  | $M_j$                   | $M_j$                   |
|----------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
|          |          | $L$                    | $L$                    | $L$                    | $L$                     | $L$                     |
|          |          | $\frac{1}{2} LM_i M_j$ | $\frac{1}{3} LM_i M_j$ | $\frac{2}{3} LM_i M_j$ | $\frac{2}{3} LM_i M_j$  | $\frac{1}{3} LM_i M_j$  |
|          |          | $\frac{1}{2} LM_i M_j$ | $\frac{1}{3} LM_i M_j$ | $\frac{1}{3} LM_i M_j$ | $\frac{5}{12} LM_i M_j$ | $\frac{1}{4} LM_i M_j$  |
|          |          | $\frac{1}{2} LM_i M_j$ | $\frac{1}{6} LM_i M_j$ | $\frac{1}{3} LM_i M_j$ | $\frac{1}{4} LM_i M_j$  | $\frac{1}{12} LM_i M_j$ |

Dans le tableau,  $M_i$ ,  $M_j$ ,  $M_i'$ ,  $M_j'$ , sont les extremums des fonctions  $m_i(x)$  et  $m_j(x)$ . Ils sont à prendre en valeurs absolues. La valeur algébrique du résultat de l'intégration dépend du signe des diagrammes.

## Calcul des actions de la ferme treillis et du dallage sur le mur semi-enterré :

On négligera la contribution de l'effort tranchant et celle de l'effort normal.  
Les calculs seront menés à l'ELS, pour 1 mL de mur.

Le système étant hyperstatique de degré 2, il est nécessaire d'établir 2 équations en plus de celles du Principe Fondamental de la Statique.

On appellera Y1, l'action du dallage selon l'axe  $\vec{y}$  sur le mur semi-enterré et Y2, l'action d'une ferme treillis selon l'axe  $\vec{y}$ , pour 1 mL de mur.

Ces 2 équations supplémentaires seront ici établies à partir de la méthode des forces. On peut alors écrire :

$$\Delta_{10}^0 + Y1 \cdot \delta_{11}^0 + Y2 \cdot \delta_{12}^0 = 0$$

$$\Delta_{20}^0 + Y1 \cdot \delta_{21}^0 + Y2 \cdot \delta_{22}^0 = 0$$

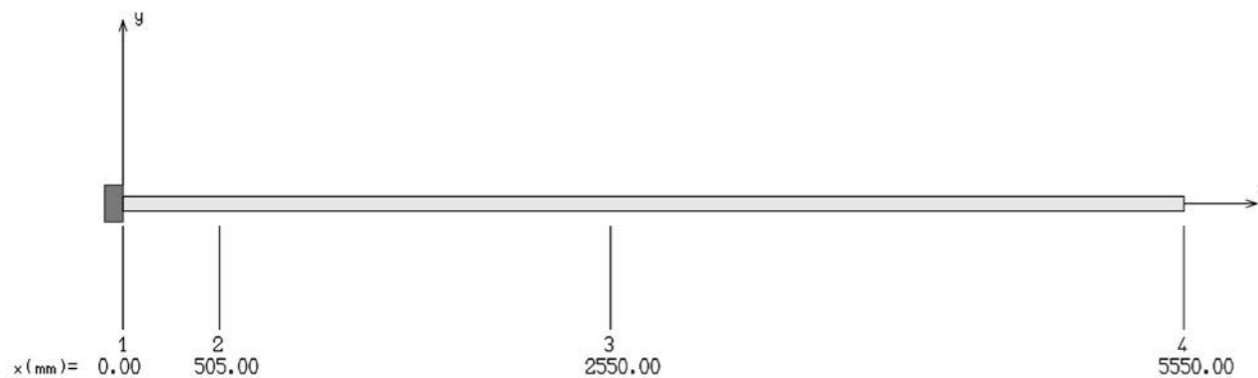
$\Delta_{10}^0$  : Déplacement produit par le chargement appliqué sur la structure isostatique associée suivant la direction de Y1 (dallage) dans l'état  $S_{10}$ .

$\delta_{11}^0$  : Déplacement produit par la charge Y1 = 1, appliquée sur la structure isostatique associée suivant la direction de Y1, dans l'état  $S_1$ .

$\delta_{12}^0$  : Déplacement produit par la charge Y2 = 1, appliquée sur la structure isostatique associée suivant la direction de Y1, dans l'état  $S_1$ .

$\delta_{21}^0$  : Déplacement produit par la charge Y1 = 1, appliquée sur la structure isostatique associée suivant la direction de Y2, dans l'état  $S_2$ .

La structure isostatique associée ( $S^0$ ) choisie est :



Les valeurs obtenues avec un logiciel de calcul de structures sont :

| $\Delta_{10}^0$ (m)   | $\Delta_{20}^0$ (m)   | $\delta_{11}^0$ (m/MN) | $\delta_{21}^0$ (m/MN) | $\delta_{22}^0$ (m/MN) | $\delta_{12}^0$ (m/MN) |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| $4,289 \cdot 10^{-4}$ | $13,16 \cdot 10^{-3}$ | $-6,366 \cdot 10^{-3}$ | $-1,017 \cdot 10^{-1}$ | -8,45                  | $-1,017 \cdot 10^{-1}$ |

## Déroulement proposé pour répondre à la question 15 :

### Etape 1 :

Montrer que la valeur de l'inertie homogénéisée de la section de 1 mL de mur semi-enterré est de l'ordre de:  
 $I_{Gy} = 2,17542 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

### Etape 2 :

A l'aide du tableau des intégrales de Mohr (Annexe B7), vérifier la valeur de  $\delta_{22}^0$ .

### Etape 3 :

Vérifier la valeur de  $\Delta_{10}^0$  : on pourra utiliser la méthode de la force unité. Conclusion.

### Etape 4 :

Calculer les valeurs de Y1 (dallage) et de Y2 (ferme treillis) pour 1 mL de mur.

### Etape 5 :

A l'aide de la coupe de l'annexe B7, déterminer la largeur maximale de voile reprise par une ferme treillis.

### Etape 6 :

En déduire l'effort appliqué par le mur sur une ferme et sur le dallage. Conclusion.

## Annexe D1 : Extraits documentations techniques des composants de la couverture

### SOROCK



Panneau isolant nu en laine de roche destiné à être intégré dans un plateau de bac donc pour une toiture double peau métallique ou un bardage métallique double peau

#### DOMAINES D'APPLICATION



| CARACTÉRISTIQUES                                       | PERFORMANCES                  |
|--|-------------------------------|
| Réaction au feu  | Euroclasse A1 (incombustible) |
| Conductivité thermique (W/m.K)                         | 0,034                         |
| Longueurs (mm)   | 1350                          |
| Largeurs (mm)  | 400 - 450 - 500 - 600         |
| Ép. (mm)   | 50 - 70 - 90                  |
| Tolérance d'ép.  | T3                            |
| Masse volumique nominale (kg/m <sup>3</sup> )          | 50                            |
| Semi-rigidité  | Critère certifié              |
| Stabilité dimensionnelle                               | DS(70,90)                     |
| Absorption d'eau à long terme par immersion partielle  | WL(P)                         |
| Transmission de vapeur d'eau                           | MU1                           |
| Absorption d'eau à court terme par immersion partielle | WS                            |

### TOROCK



Panneau isolant nu en laine de roche destiné à être rajouté entre le plateau et le bac métallique d'une toiture double peau métallique

#### DOMAINES D'APPLICATION



| CARACTÉRISTIQUES                                       | PERFORMANCES                  |
|--|-------------------------------|
| Réaction au feu  | Euroclasse A1 (incombustible) |
| Conductivité thermique (W/m.K)                         | 0,035                         |
| Dimensions (mm)  | 1350 x 600                    |
| Ép. (mm)   | 70 - 120 - 140 - 200          |
| Tolérance d'ép.  | T3                            |
| Masse volumique nominale (kg/m <sup>3</sup> )          | 39                            |
| Semi-rigidité  | Critère certifié              |
| Stabilité dimensionnelle                               | DS(70,90)                     |
| Absorption d'eau à long terme par immersion partielle  | WL(P)                         |
| Transmission de vapeur d'eau                           | MU1                           |
| Absorption d'eau à court terme par immersion partielle | WS                            |

### ROCKACIER B NU



Panneau isolant nu en laine de roche

#### DOMAINES D'APPLICATION



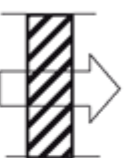

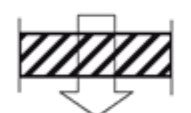
| CARACTÉRISTIQUES                                       | PERFORMANCES   |
|--|--|
| Réaction au feu  | Euroclasse A1 (incombustible)                            |
| Conductivité thermique (W/m.K)                         | 0,039  |
| Dimensions (mm)  | 1200 x 1000<br>2400 x 600<br>2400 x 1200                 |
| Ép. (mm)**   | 40 - 90 - 120  |
| Tolérance d'ép.  | T5   |
| Masse volumique nominale (kg/m <sup>3</sup> )          | 40 à 45 mm = 157<br>50 à 80 mm = 135<br>85 à 90 mm = 125 |
| Stabilité dimensionnelle                               | DS(70,90)  |
| Contrainte en compression à 10 %                       | CS(10/Y)50 de 40-80 mm<br>CS(10/Y)40 de 85-90 mm         |
| Classe de compressibilité (UEATc)                      | B  |
| Résistance à la traction perpendiculairement aux faces | TR10   |
| Charge ponctuelle                                      | PL(5)400   |



## Annexe D2 - Extraits RT2012, règles TH U fascicule 4

### 1.3.3 Résistances superficielles

En absence d'informations spécifiques sur les conditions aux limites des surfaces planes, les résistances superficielles, intérieure ( $R_{si}$ ) et extérieure ( $R_{se}$ ), suivantes doivent être utilisées :

| Paroi donnant sur :<br>- l'extérieur<br>- un passage ouvert<br>- un local ouvert <sup>(1)</sup>  | $R_{si}$<br>m <sup>2</sup> .K/W | $R_{se}$<br>m <sup>2</sup> .K/W | $R_{si}+R_{se}$<br>m <sup>2</sup> .K/W |
|--|---------------------------------|---------------------------------|--|
| <b>Paroi verticale</b><br><br>Inclinaison $\geq 60^\circ$<br><br>Flux horizontal    | 0,13                            | 0,04                            | 0,17                                   |
| <b>Paroi horizontale</b><br><br>Inclinaison $< 60^\circ$<br><br>Flux ascendant<br><br><br>Flux descendant<br>   | 0,10<br><br>0,17                | 0,04                            | 0,14<br><br>0,21                       |
| 1. Un local est dit « ouvert » si le rapport de la surface totale de ses ouvertures permanentes sur l'extérieur, à son volume, est égal ou supérieur à 0,005 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> . Ce peut être le cas, par exemple, d'une circulation à l'air libre, pour des raisons de sécurité contre l'incendie.<br>2. Si la paroi donne sur un autre local non chauffé, $R_{si}$ s'applique des deux côtés. |                                 |                                 |  |

### 3.9.2 Ponts thermiques intégrés courants présents dans les systèmes d'isolation

#### 3.9.2.1 Méthode générale

Le coefficient de transmission thermique surfacique  $U_p$  d'une paroi intégrant un système d'isolation se calcule d'après la formule suivante :

$$U_p = U_c + \sum_i (\psi_i / E_i) + n \cdot \chi_j$$

où

- $U_c$  est le coefficient de transmission thermique surfacique en partie courante, en W/(m<sup>2</sup>·K) ;
- $\psi_i$  est le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique intégré  $i$ , en W/(m·K) ;
- $E_i$  est l'entraxe du pont thermique linéique  $i$ , en m ;
- $n$  est le nombre de ponts thermiques ponctuels par m<sup>2</sup> de paroi.
- $\chi_j$  est le coefficient de transmission thermique ponctuel du pont thermique intégré  $j$ , en W/K.

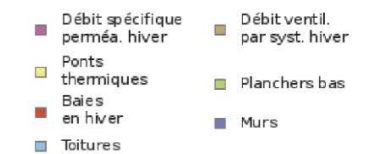
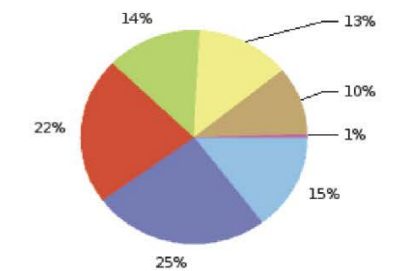
## Annexe D3 - Extrait étude thermique

### Répartition des déperditions en condition d'hiver sur les mois de janvier et février

#### Zone : Bureaux (zone 1)

|   | Quantités               | Déperditions  |
|---|-------------------------|---------------|
|   | en m <sup>2</sup> ou ml | en W/K        |
| Toitures  | 423,8                   | 75,4          |
| Murs  | 264                     | 131,23        |
| Baies en hiver  | 78                      | 115,05        |
| Planchers bas   | 423,8                   | 69,93         |
| Ponts thermiques  | 345                     | 69,37         |
| Débit ventilation par système en hiver                        |                         | 52,81         |
| Débit spécifique perméabilité en hiver                        |                         | 3,14          |
| <b>Total déperditions en W/K</b>                              |                         | <b>516,93</b> |
| <b>Total déperditions ramené à la SRT en W/m<sup>2</sup>K</b> |                         | <b>1,13</b>   |

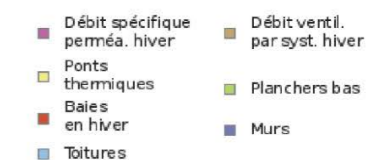
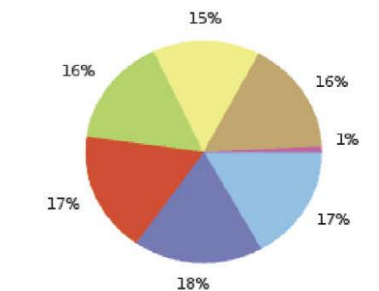
Répartitions déperditives %  
Zone 1 : bureaux



#### Zone : Multiactivités (zone 2)

|   | Quantités               | Déperditions  |
|---|-------------------------|---------------|
|   | en m <sup>2</sup> ou ml | en W/K        |
| Toitures  | 427,4                   | 76,03         |
| Murs  | 400,3                   | 78,76         |
| Baies en hiver  | 51,8                    | 77,76         |
| Planchers bas   | 427,4                   | 70,51         |
| Ponts thermiques  | 352,2                   | 65,27         |
| Débit ventilation par système en hiver                        |                         | 72,53         |
| Débit spécifique perméabilité en hiver                        |                         | 4,3           |
| <b>Total déperditions en W/K</b>                              |                         | <b>445,16</b> |
| <b>Total déperditions ramené à la SRT en W/m<sup>2</sup>K</b> |                         | <b>0,92</b>   |

Répartitions déperditives %  
Zone 2 : multiactivités



## Annexe D4 : Extraits de l'arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement.

### Article 5

Les valeurs des durées de réverbération, exprimées en seconde, à respecter dans les locaux sont données dans le tableau ci-après. Elles correspondent à la moyenne arithmétique des durées de réverbération dans les intervalles d'octave centrés sur 500, 1 000, et 2 000 Hz. Ces valeurs s'entendent pour des locaux normalement meublés et non occupés.

| LOCAUX MEUBLES NON OCCUPES  | DUREE DE REVERBERATION MOYENNE<br>(exprimée en secondes)   |
|---|--|
| Salle de repos des écoles maternelles ; salle d'exercice des écoles maternelles ; salle de jeux des écoles maternelles.<br>Local d'enseignement ; de musique ; d'études ; d'activités pratiques ; salle de restauration et salle polyvalente de volume $\leq 250 \text{ m}^3$<br>Local médical ou social, infirmerie ; sanitaires ; administration ; foyer ; salle de réunion ; bibliothèque ; centre de documentation et d'information | $0,4 \text{ s} \leq T_r \leq 0,8 \text{ s}$  |
| Local d'enseignement, de musique, d'études ou d'activités pratiques d'un volume $> 250 \text{ m}^3$ , sauf atelier bruyant  | $0,6 \text{ s} \leq T_r \leq 1,2 \text{ s}$  |
| Salle de restauration d'un volume $> 250 \text{ m}^3$   | $T_r \leq 1,2 \text{ s}$   |
| Salle polyvalente d'un volume $> 250 \text{ m}^3$   | $0,6 \text{ s} \leq T_r \leq 1,2 \text{ s}$  |
| Autres locaux et circulations accessibles aux élèves d'un volume $> 250 \text{ m}^3$  | $T_r \leq 1,2 \text{ s}$ si $250 \text{ m}^3 < V \leq 512 \text{ m}^3$<br>$T_r \leq 0,15 \sqrt[3]{V}$ si $V > 512 \text{ m}^3$ |
| Salle de sport  | $0,4 \text{ s} \leq T_r \leq 0,8 \text{ s}$  |

## Annexe D5 : Extraits du décret 2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage

### Art. R. 1334-33.

L'émergence globale dans un lieu donné est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant, comportant le bruit particulier en cause, et le niveau du bruit résiduel constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement habituel des équipements, en l'absence du bruit particulier en cause.

Les valeurs limites de l'émergence sont de 5 décibels A en période diurne (de 7 heures à 22 heures) et de 3 dB (A) en période nocturne (de 22 heures à 7 heures), valeurs auxquelles s'ajoute un terme correctif en dB (A), fonction de la durée cumulée d'apparition du bruit particulier :

- 6 dB(A) pour  $T \leq 1$  minute,
- 5 dB(A) pour  $1 \text{ minute} < T \leq 5$  minutes ;
- 4 dB(A) pour  $5 \text{ minutes} < T \leq 20$  minutes ;
- 3 dB(A) pour  $20 \text{ minutes} < T \leq 2$  heures ;
- 2 dB(A) pour  $2 \text{ heures} < T \leq 4$  heures ;
- 1 dB(A) pour  $4 \text{ heures} < T \leq 8$  heures ;
- 0 dB(A) pour  $T > 8$  heures.

### Art. R. 1334-34.

L'émergence spectrale est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant dans une bande d'octave normalisée, comportant le bruit particulier en cause, et le niveau de bruit résiduel dans la même bande d'octave, constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, correspondant à l'occupation normale des locaux, en l'absence du bruit particulier en cause.

Les valeurs limites de l'émergence spectrale sont de 7 dB dans les bandes d'octave normalisées centrées sur 125 Hz et 250 Hz et de 5 dB dans les bandes d'octave normalisées centrées sur 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz et 4 000 Hz.

## Annexe D6 : Extraits de la norme NF EN ISO 12354 relative à la transmission du bruit intérieur à l'extérieur

### 4.3 Détermination du niveau de puissance acoustique pour une source ponctuelle de substitution

#### 4.3.2 Segment d'éléments structuraux de l'enveloppe du bâtiment

Le niveau de puissance acoustique de la source ponctuelle de substitution est déterminé selon la formule :

$$L_w = L_{p,in} + C_d - R' + 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{S}{S_0} \right)$$

Où :

- $L_{p,in}$  est le niveau de pression acoustique entre 1 m et 2 m de l'intérieur du segment, en décibels;
- $C_d$  est le terme de diffusivité pour le champ acoustique intérieur, au niveau du segment, en décibels;
- $R'$  est l'indice d'affaiblissement acoustique apparent pour le segment, en décibels;
- $S$  est la surface du segment, en mètres carrés;
- $S_0$  est la surface de référence, en mètres carrés;  $S_0 = 1 \text{ m}^2$ .

## Annexe D7 : Extraits de la norme ISO 9613 relative à l'atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre

### 6 Equations de base

Le niveau de pression acoustique continu équivalent par bande d'octave au niveau d'un récepteur  $L_{fT}$  est calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$L_{fT} = L_w + D_c - A$$

où :

- $L_w$  est le niveau de puissance acoustique par bande d'octave, en décibels, produit par la source sonore ponctuelle
- $D_c$  est la correction de directivité, en décibels. Pour une source ponctuelle omnidirectionnelle rayonnant dans un espace libre  $D_c = 0 \text{ dB}$
- $A$  est l'atténuation par bande d'octave, en décibels, lors de la propagation de la source au récepteur

Le terme d'atténuation est donné par l'équation suivante :

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{sol} + A_{écran}$$

où :

- $A_{div}$  est l'atténuation due à la divergence géométrique (voir 7.1)
- $A_{atm}$  est l'atténuation due à l'absorption par l'air (voir 7.2)
- $A_{sol}$  est l'atténuation due à l'effet de sol
- $A_{écran}$  est l'atténuation due à l'effet d'écran

### 7.1 Divergence géométrique $A_{div}$

Pour une source sonore ponctuelle, la divergence géométrique correspond à l'atténuation en champ libre de l'onde sphérique. L'atténuation, en décibels, est égale à :

$$A_{div} = 20 \cdot \log_{10}(d) + 11 \text{ dB}$$

où :

- $d$  est la distance, en mètres, entre la source et le récepteur

### 7.2 Absorption atmosphérique $A_{atm}$

L'atténuation due à l'absorption atmosphérique, en décibels, lors de la propagation sur une distance  $d$ , en mètres, est donnée par :

$$A_{atm} = \frac{\alpha \cdot d}{1000}$$

où :

- $\alpha$  est le coefficient d'atténuation atmosphérique, en décibels par kilomètre, à la fréquence centrale pour chaque bande d'octave, donné dans le tableau suivant

| Température | Humidité relative | Coefficient d'atténuation atmosphérique, $\alpha$ , dB/km |     |     |     |      |      |      |       |
|-------------|-------------------|---|-----|-----|-----|------|------|------|-------|
|             |                   | Fréquence centrale nominale (Hz)                          |     |     |     |      |      |      |       |
| (°C)        | (%)               | 63  | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000  |
| 10          | 70                | 0,1   | 0,4 | 1,0 | 1,9 | 3,7  | 9,7  | 32,8 | 117,0 |
| 20          | 70                | 0,1   | 0,3 | 1,1 | 2,8 | 5,0  | 9,0  | 22,9 | 76,6  |
| 30          | 70                | 0,1   | 0,3 | 1,0 | 3,1 | 7,4  | 12,7 | 23,1 | 59,3  |
| 15          | 20                | 0,3   | 0,6 | 1,2 | 2,7 | 8,2  | 28,2 | 88,8 | 202,0 |
| 15          | 50                | 0,1   | 0,5 | 1,2 | 2,2 | 4,2  | 10,8 | 36,2 | 129,0 |
| 15          | 80                | 0,1   | 0,3 | 1,1 | 2,4 | 4,1  | 8,3  | 23,7 | 82,8  |

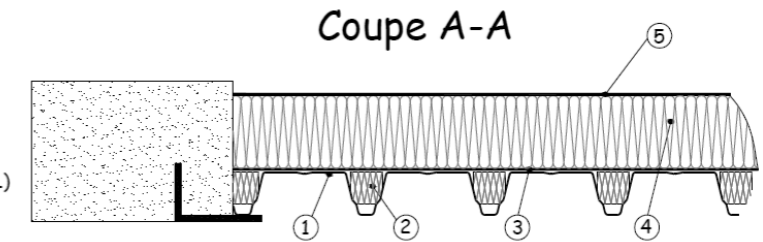
## Annexe D8 : résultats d'essais acoustiques conduits pour évaluer la performance d'une protection végétalisée

**CSTB**  
le futur en construction

RAPPORT D'ESSAIS N° AC08-26016840/1

Modèle testé :

- ① Support d'étanchéité HACIERCO 74 SPA ép.0.75mm (Arval ArcelorMittal)
- ② Bande will 55x55 à 35kg/m3 (ROCKWOOL)
- ③ Sopravap Stick alu S 16 (SOPREMA)
- ④ Laine de roche Rockacier C soudable ép.120mm (ROCKWOOL) collée à la SOPRACOLLE 300N (SOPREMA)
- ⑤ Etanchéité bicouche à base de bitume élastomère SBS : Elastophène flam 70.25 + Elastophène (flam) 25 AR (SOPREMA)



Résultats des mesures :  $R_w (C;C_{tr}) = 38(-1;-4) \text{ dB}$

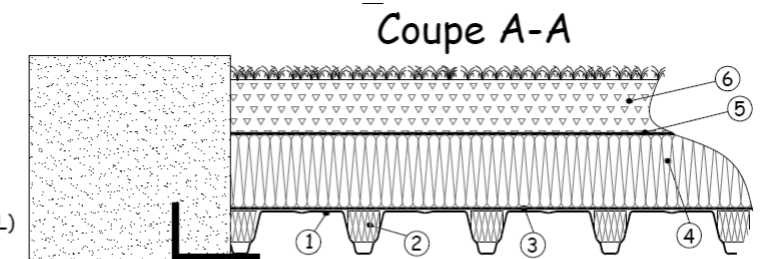
| Fréquence en Hz | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|-----------------|-----|-----|-----|------|------|------|
| R en dB         | 24  | 31  | 38  | 40,5 | 41   | 41   |

**CSTB**  
le futur en construction

RAPPORT D'ESSAIS N° AC08-26016840/2

Modèle testé :

- ① Support d'étanchéité HACIERCO 74 SPA ép.0.75mm (Arval ArcelorMittal)
- ② Bande will 55x55 à 35kg/m3 (ROCKWOOL)
- ③ Sopravap Stick alu S 16 (SOPREMA)
- ④ Laine de roche Rockacier C soudable ép.120mm (ROCKWOOL) collée à la SOPRACOLLE 300N (SOPREMA)
- ⑤ Etanchéité bicouche anti-racine : Elastophène Flam 25 + Sopralène Flam Jardin (SOPREMA)
- ⑥ Système SOPRANATURE type TOUNDRA par plantation : Substrat Sopraflor M ép.8cm + plantation de micromottes de sedum (SOPREMA)



Résultats des mesures :  $R_w (C;C_{tr}) = 44(-1;-3) \text{ dB}$

| Fréquence en Hz | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|-----------------|-----|-----|-----|------|------|------|
| R en dB         | 28  | 37  | 44  | 47   | 48   | 48   |

## Annexe D9 : Extraits des fiches FDES des composants de la couverture

Bac acier perforé ep 0,75 mm - Unité fonctionnelle 1 m<sup>2</sup> de paroi, Durée de vie de référence : 50 ans

| RESULTATS DE L'ACV - Valeurs des indicateurs pour toute la DVR : Support - 1 m <sup>2</sup> - 50 ans |            |                     |                        |                       |                     |                       |
|--|------------|---------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
|  |            | ETAPE DE PRODUCTION | ETAPE DE MISE EN ŒUVRE | ETAPE DE VIE EN ŒUVRE | ETAPE DE FIN DE VIE | TOTAL DU CYCLE DE VIE |
| Indicateurs décrivant les impacts environnementaux   | Unités     | Total A1-A3         | Total A4-A5            | Total B1-B7           | Total C1-C4         | Total                 |
| Réchauffement climatique   | kg éq. CO2 | 25,5                | 1,33                   | 0                     | 1,2E-01             | 26,9                  |

Laine minérale SOROCK ép. 90 mm - Unité fonctionnelle 1 m<sup>2</sup> de paroi, Durée de vie de référence : 50 ans

| Impacts/Flux unité                                     | Etape de production | Etape de construction | Etape d'utilisation | Etape de fin de vie | Total cycle de vie |
|--|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Impacts environnementaux                               |                     |                       |                     |                     |                    |
| Réchauffement climatique - kg CO <sub>2</sub> equiv/UF | 5.2                 | 4.8E-01               | 0                   | 8.5E-03             | 5.7                |

Membrane viscoélastique Stickson - Unité fonctionnelle 1 m<sup>2</sup> de paroi, Durée de vie de référence : 50 ans

| Catégorie d'impact / flux | Unité                    | Total Fabrication | Total Mise en œuvre | Total Vie en œuvre | Total Fin de vie | Total Cycle de vie |
|---------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| Réchauffement climatique  | kg CO <sub>2</sub> eq/UF | 3,67E+00          | 1,81E+00            | 0,00E+00           | 7,02E-01         | 6,19E+00           |

Panne tôle pliée, entraxe 5 m, échantignolles comprises - Unité fonctionnelle 1 m de panne, Durée de vie de référence : 50 ans

| RESULTATS DE L'ACV - UF : 1 m de profil - Valeurs des indicateurs pour toute la DVR de 50 ans |            |                     |         |         |                        |         |         |                       |             |         |         |                     |    |             |       |                       |
|---|------------|---------------------|---------|---------|------------------------|---------|---------|-----------------------|-------------|---------|---------|---------------------|----|-------------|-------|-----------------------|
|   |            | ETAPE DE PRODUCTION |         |         | ETAPE DE MISE EN ŒUVRE |         |         | ETAPE DE VIE EN ŒUVRE |             |         |         | ETAPE DE FIN DE VIE |    |             |       | TOTAL DU CYCLE DE VIE |
| Indicateurs décrivant les impacts environnementaux  | Unités     | A1                  | A2      | A3      | Total A1-A3            | A4      | A5      | Total A4-A5           | Total B1-B7 | C1      | C2      | C3                  | C4 | Total C1-C4 | Total |                       |
| Réchauffement climatique  | kg éq. CO2 | 9,45                | 6,6E-02 | 3,3E-02 | 9,55                   | 8,8E-02 | 2,1E+00 | 2,2E+00               | 0           | 5,5E-02 | 5,5E-02 | 0                   | 0  | 1,1E-01     | 11,83 |                       |

Laine minérale TOROCK ép 120 mm - Unité fonctionnelle 1 m<sup>2</sup> de paroi, Durée de vie de référence : 50 ans

| Impacts/Flux unité                                     | Etape de production | Etape de construction | Etape d'utilisation | Etape de fin de vie | Total cycle de vie |
|--|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Impacts environnementaux                               |                     |                       |                     |                     |                    |
| Réchauffement climatique - kg CO <sub>2</sub> equiv/UF | 2.6                 | 4.8E-01               | 0                   | 8.8E-03             | 3.1                |

Bac acier ép. 0,75 mm - Unité fonctionnelle 1 m<sup>2</sup> de paroi, Durée de vie de référence : 50 ans

| Indicateurs décrivant les impacts environnementaux | Unités     | ETAPE DE PRODUCTION |         |         |             | ETAPE DE MISE EN ŒUVRE |      |             | ETAPE DE VIE EN ŒUVRE | ETAPE DE FIN DE VIE |         |    |    | TOTAL DU CYCLE DE VIE |      |
|--|------------|---------------------|---------|---------|-------------|------------------------|------|-------------|-----------------------|---------------------|---------|----|----|-----------------------|------|
|  |            | A1                  | A2      | A3      | Total A1-A3 | A4                     | A5   | Total A4-A5 |                       | Total B1-B7         | C1      | C2 | C3 |                       | C4   |
| Réchauffement climatique                           | kg éq. CO2 | 20,1                | 1,7E-01 | 1,8E-01 | 20,5        | 3,0E-02                | 1,04 | 1,07        | 0                     | 0                   | 9,7E-02 | 0  | 0  | 9,7E-02               | 21,6 |

Laine minérale ROCKACIER ép. 120 mm. - Unité fonctionnelle 1 m<sup>2</sup> de paroi, Durée de vie de référence : 50 ans

| Impacts/Flux unité                                     | Etape de production | Etape de construction | Etape d'utilisation | Etape de fin de vie | Total cycle de vie |
|--|---------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| Impacts environnementaux                               |                     |                       |                     |                     |                    |
| Réchauffement climatique - kg CO <sub>2</sub> equiv/UF | 17                  | 2.1                   | 0                   | 2.1E-01             | 20                 |

Étanchéité bicouche bitumineuse - Unité fonctionnelle 1 m<sup>2</sup> de toiture, Durée de vie de référence : 30 ans

| Catégorie d'impact / flux | Unité                    | Total Fabrication | Total Mise en œuvre | Total Vie en œuvre | Total Fin de vie | Total Cycle de vie |
|---------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| Réchauffement climatique  | kg CO <sub>2</sub> eq/UF | 4,88E+00          | 3,30E+00            | 0,00E+00           | 9,56E-01         | 9,13E+00           |

Protection de toiture terrasse végétalisée - Unité fonctionnelle 1 m<sup>2</sup> de toiture - Durée de vie de référence : 40 ans

| Résultats d'indicateurs environnementaux                            |  |                                      |   |                                |                                |
|---|--|--------------------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------|
|   | Total cycle de vie [modules A - B - C] | Étape de production [module A1 - A3] | Étape du processus de construction [module A4 - A5] | Étape d'utilisation [module B] | Étape de fin de vie [module C] |
| Indicateurs décrivant les impacts environnementaux                  |  |                                      |   |                                |                                |
| Potentiel de réchauffement climatique (GWP) (kg CO <sub>2</sub> eq) | 6,87E-01                               | 3,60E-01                             | 2,62E-01  | 0,00E+00                       | 6,56E-02                       |

## Annexe D10 : Extraits du référentiel Energie-Carbone

### 2.PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE : NIVEAUX DE PERFORMANCE RELATIFS AUX EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE

L'évaluation de la performance du bâtiment relative aux émissions de gaz à effet de serre est faite par comparaison avec un niveau d'émission de gaz à effet de serre maximal sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment,  $Eges_{max}$ , et avec un niveau d'émissions de gaz à effet de serre relatif aux produits de construction et équipements,  $Eges_{PCE,max}$ .

$$Eges \leq Eges_{max} \text{ et } Eges_{PCE} \leq Eges_{PCE,max}$$

L'échelle des niveaux de performance relatifs aux émissions de gaz à effet de serre comporte deux niveaux :

- le niveau « Carbone 1 » se veut accessible à tous les modes constructifs et vecteurs énergétiques ainsi qu'aux opérations qui font l'objet de multiples contraintes (zone sismique, nature du sol...) ; il vise à embarquer l'ensemble des acteurs du bâtiment dans la démarche d'évaluation des impacts du bâtiment sur l'ensemble de son cycle de vie et de leur réduction ;
- le niveau « Carbone 2 » vise à valoriser les opérations les plus performantes ; il nécessite un travail renforcé de réduction de l'empreinte carbone des matériaux et équipements mis en oeuvre, ainsi que des consommations énergétiques du bâtiment.

#### • NIVEAUX « CARBONE 1 » ET « CARBONE 2 »

Pour les niveaux « Carbone 1 » et « Carbone 2 », les émissions de gaz à effet de serre maximales sur l'ensemble du cycle de vie,  $Eges_{max,1}$  et  $Eges_{max,2}$  respectivement, et les émissions de gaz à effet de serre maximales de l'ensemble des produits de construction et équipements du bâtiment,  $Eges_{PCE,max,1}$  et  $Eges_{PCE,max,2}$  respectivement, sont définies par :

$$Eges_{max,i} = A_i + m_i + M_{park} \text{ et } Eges_{PCE,max,i} = A_{PCE,i} + M_{park}$$

Pour i allant de 1 à 2.

Où :

-  $A_i$  et  $A_{PCE,i}$ , les valeurs pivot (kg eq. CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>SDP) associées respectivement au seuil global d'émissions de gaz à effet de serre et au niveau relatif aux produits de construction et équipements. Les valeurs de  $A_i$  et  $A_{PCE,i}$  sont données ci-dessous en fonction du niveau de performance visé et du type de bâtiment :

| En kg eq. CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> SDP | Niveau de performance visé | Maisons individuelles ou accolées | Bâtiments collectifs d'habitation | Bâtiments à usage de bureau | Autres bâtiments soumis à la réglementation thermique |
|---|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| $A_1$   | <b>Carbone 1</b>           | 1350                              | 1550                              | 1500                        | 1625  |
| $A_2$   | <b>Carbone 2</b>           | 800                               | 1000                              | 980                         | 850   |
| $A_{PCE,1}$                                   | <b>Carbone 1</b>           | 700                               | 800                               | 1050                        | 1050  |
| $A_{PCE,2}$                                   | <b>Carbone 2</b>           | 650                               | 750                               | 900                         | 750   |

-  $M_{park}$ , modulation, exprimée en kg eq. CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>SDP, relative aux places de parking imposées par les contraintes d'urbanisme et effectivement réalisées, selon la formule suivante :

$$M_{park} = \frac{Nb \text{ Places Surface} \times 700 + Nb \text{ Places Souterrain} \times 3000}{SDP}$$

Où :

- $Nb \text{ Places Surface}$ , le nombre de places de parking en surface,
- $Nb \text{ Places Souterrain}$ , le nombre de places de parking en souterrain,
- $SDP$ , la surface de plancher du bâtiment.

### 3. CALCUL DES INDICATEURS DE PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE

#### 3.1.1. Contributeur « Produits de construction et équipements »

L'impact environnemental du contributeur « Produits de construction et équipements » ( $I_{PCE}$ ) est calculé selon la formule suivante :

$$I_{PCE} = \sum_{k=1}^{13} I_{lot\ k} + I_{fluides\ frigorigènes}$$

Où :

-  $I_{lot\ k}$  = Impact environnemental du lot k

$$I_{lot\ k} = \sum I_{sous\ lot\ n}$$

Et où, pour les différents sous lots

-  $I_{sous\ lot\ n}$  = Impact environnemental du sous lot n au sein du lot k

$$I_{sous\ lot\ n} = \sum I_p = \sum (Q_p \times DE_p \times R_p)$$

o  $I_p$  = Impact environnemental du produit ou équipement p

o  $Q_p$  = Quantité de produit ou équipement p utilisée dans le sous lot n

o  $DE_p$  = Impact issu de la donnée environnementale du produit ou équipement p utilisé dans le sous lot n

o  $R_p$  = Facteur de renouvellement du produit ou équipement p au sein du sous lot n

$$R_p = \max(1, PER / DVE)$$

▪  $PER$  = Période d'étude de référence du bâtiment en années (50 ans)

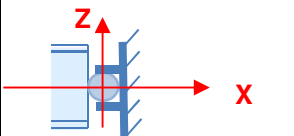


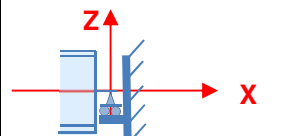


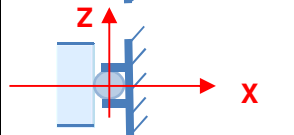


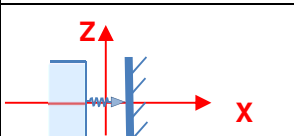


▪  $DVE$  = Durée de vie estimée du produit ou équipement en années telle que définie dans la donnée environnementale utilisée

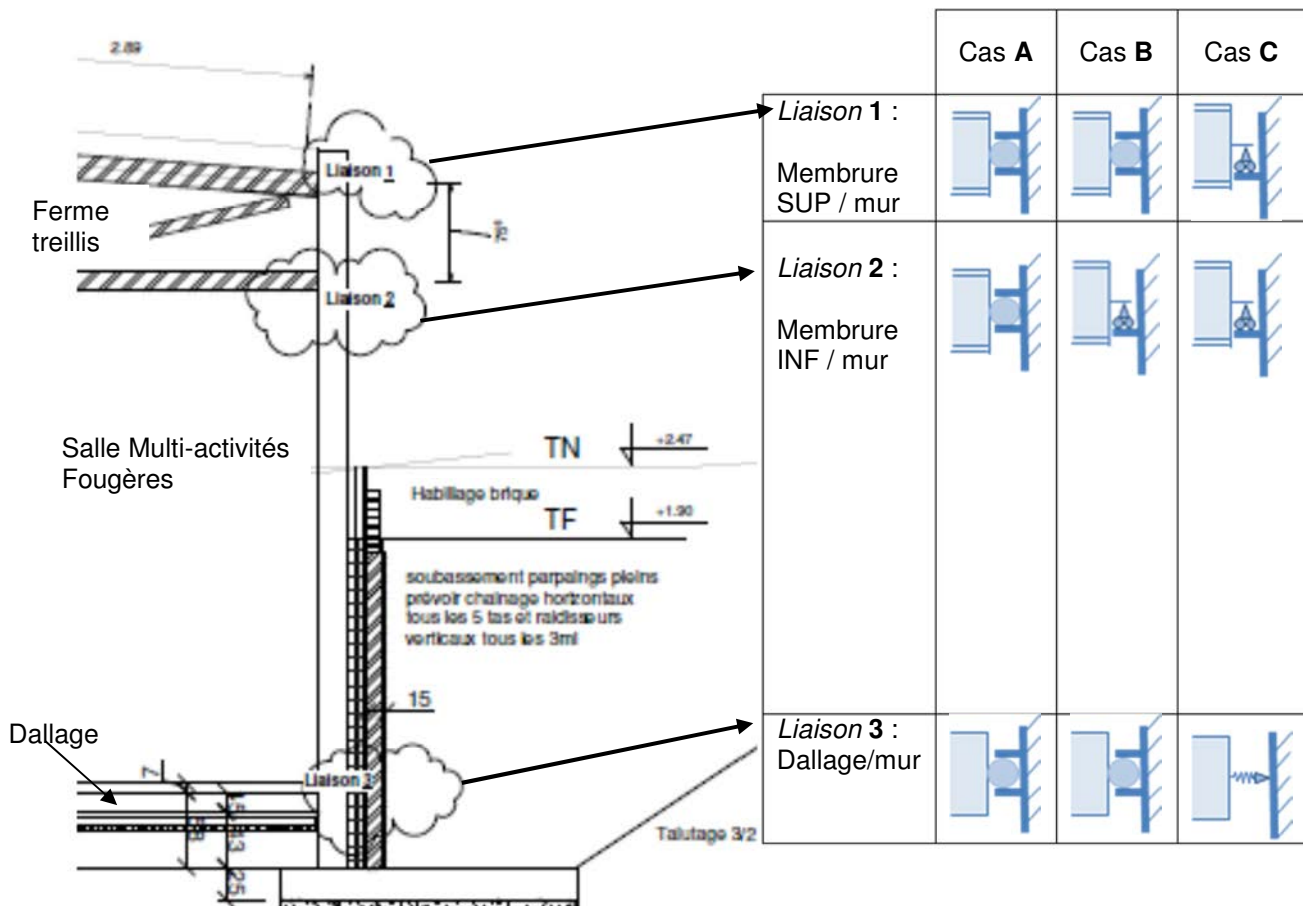
-  $I_{fluides\ frigorigènes}$  = Impact liés aux émissions de fluides frigorigènes utilisés dans les systèmes énergétiques.



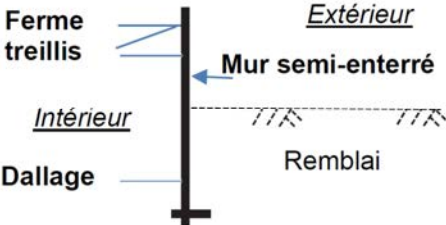



**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

**DR1: Analyse d'un point de vue mécanique, des 3 configurations proposées pour les liaisons du mur semi-enterré avec la poutre treillis et le dallage**

| Modélisations des Liaisons   | Mur semi-enterré   | Système extérieur au mur semi-enterré  | Nom de la liaison correspondante |
|--|--|--|----------------------------------|
|   |   | <br>Extrémité de la <b>membrure</b> | <b>Articulation</b>              |
|   |   | <br>Extrémité de la <b>membrure</b> | <b>Appui glissant</b>            |
|   |   | <br><b>Dallage</b>                  | <b>Articulation</b>              |
|  |  | <br><b>Dallage</b>                 | <b>Appui élastique</b>           |





| DR1a :  | Cas A   | Cas B   | Cas C   |
|---|---|---|---|
| <p>Représenter les <b>efforts</b> transmis par la ferme treillis et le dallage sur le mur semi-enterré. (« 0 », si pas d'effort)</p>                     |  |  |  |
| <p>Y-a-t-il un <b>moment</b> (couple de forces) conséquent appliqué sur la partie supérieure du <b>mur</b>, par les <b>membres</b> de la <b>ferme treillis</b>, sous l'effet des actions permanentes de la toiture ? <b>Oui / Non</b></p> |   |   |   |
| <p>Y-a-t-il un <b>déplacement</b> horizontal possible du <b>mur</b> vers l'intérieur du bâtiment ? <b>Oui / Non</b></p>   |   |   |   |

### DR1b :

|  | Cas A | Cas B | Cas C |
|--|-------|-------|-------|
| Sollicitation globale du sol support de la fondation du mur, sous l'ensemble des actions, y.c. le remblai.         |       |       |       |
| Effort de poussée du sol du remblai.   |       |       |       |
| Déplacement du mur <b>néfaste</b> au bon <b>fonctionnement</b> du bâtiment.  |       |       |       |
| Moment apporté par la poutre treillis, en tête du mur sous l'effet des actions verticales appliquées à la toiture. |       |       |       |
| Sollicitation du mur sous l'effet de la poussée du sol du remblai.   |       |       |       |
| Effort normal dans les membrures de la poutre treillis, <b>apporté par la poussée du sol sur le mur.</b>           |       |       |       |
| Effet des <b>liaisons mur-treillis</b> sur la sollicitation de flexion de la poutre treillis.                      |       |       |       |
| Sollicitation du dallage <b>par le mur.</b>  |       |       |       |
| Effet « boîte » vis-à-vis du séisme.   |       |       |       |

Indiquer «- -», «-», «+», «++» pour qualifier les effets **mécaniques**, des **moins favorables** aux **plus favorables**, pour le mur semi-enterré, la poutre treillis métallique et le sol support de la fondation du mur.

**Nom de famille :**

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

**Prénom(s) :**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

**Numéro  
Inscription :**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

**Né(e) le :**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

**Concours / Examen :** ..... **Section/S spécialité/Série :** .....**Epreuve :** ..... **Matière :** ..... **Session :** .....**CONSIGNES**

- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
- Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
- Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
- Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
- N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

EAI SIC 2

**DR2 - DR3**

**Tous les documents réponses sont à rendre,  
même non complétés.**

**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

## DR2 : isolation acoustique vis-à-vis de la transmission des bruits intérieurs vers l'extérieur

Les cases grisées ne sont pas à remplir.

| freq. (Hz)                             | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | niveaux globaux en db(A) |
|--|------|------|------|------|------|------|--------------------------|
| résiduel nocturne (dB)                 | 44,0 | 40,5 | 38,0 | 32,0 | 28,5 | 25,0 | 39,1 dB(A)               |
| Emergence réglementaire (dB)           |      |      |      |      |      |      | dB(A)                    |
| niveau de bruit à ne pas dépasser (dB) |      |      |      |      |      |      | dB(A)                    |
| Impact autorisé (dB)                   |      | 46,5 | 41,3 | 35,3 | 31,8 | 28,3 | dB(A)                    |
|  |      |      |      |      |      |      |                          |
| Lp, in (dB)                            | 104  | 104  | 103  | 100  | 96   | 93   |                          |
| Cd (dB)                                |      |      |      |      |      |      |                          |
| R' (dB)                                |      |      |      |      |      |      |                          |
| 10 log (S/S0) (dB)                     |      |      |      |      |      |      |                          |
| Lw (dB)                                |      |      |      |      |      |      |                          |
| A div (dB)                             |      |      |      |      |      |      |                          |
| coeff atténuation géom. (dB/km)        |      |      |      |      |      |      |                          |
| A atm (dB)                             |      |      |      |      |      |      |                          |
| LfT (dB)                               |      | 38,4 | 17,3 | 0    | 0    | 0    | niveau global en db(A)   |
| LfT pondéré A (dB)                     |      |      |      |      |      |      | dB(A)                    |

La réglementation est-elle respectée ?

## DR3 : empreinte carbone de la construction

| Composants de la couverture de la salle multi activités (SMA) | UF | Qp | DE p<br>(kg équi CO2) | DVE<br>(années) | PER<br>(années) | Rp | Impact<br>environnemental<br>(kg équi CO2) |
|---|----|----|-----------------------|-----------------|-----------------|----|--|
| Bac acier perforé ép 0,75 mm                                  |    |    |                       |                 |                 |    |  |
| Laine minérale SOROCK ép. 90 mm                               |    |    |                       |                 |                 |    |  |
| Membrane viscoélastique Stickson                              |    |    |                       |                 |                 |    |  |
| Panne tôle pliée, entraxe 5 m, échantignolles comprises       |    |    |                       |                 |                 |    |  |
| Laine minérale TOROCK ép 120 mm                               |    |    |                       |                 |                 |    |  |
| Bac acier ép. 0,75 mm   |    |    |                       |                 |                 |    |  |
| Laine minérale ROCKACIER ép. 120 mm                           |    |    |                       |                 |                 |    |  |
| Étanchéité bicouche bitumineuse                               |    |    |                       |                 |                 |    |  |
| Protection de toiture terrasse végétalisée                    |    |    |                       |                 |                 |    |  |
| <b>TOTAL pour la couverture de la SMA</b>                     |    |    |                       |                 |                 |    |  |

|   |   |
|---|---|
| <p>Calcul de Eges<sub>S<sub>PCE</sub>,max</sub> :</p> | <p>Calcul de Eges<sub>S<sub>PCE</sub></sub> :</p> |
|   |   |
| <p>Conclusion :</p>                                   |   |