

SESSION 2025

**CAPET
CONCOURS EXTERNE ET CAFEP CORRESPONDANT
ET TROISIEME CONCOURS**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Option : INGÉNIERIE DES CONSTRUCTIONS

ÉPREUVE ÉCRITE DISCIPLINAIRE

Durée : 5 heures

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

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

Il appartient au candidat de vérifier qu'il a reçu un sujet complet et correspondant à l'épreuve à laquelle il se présente.

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. Le fait de rendre une copie blanche est éliminatoire.

Tournez la page S.V.P.

A

INFORMATION AUX CANDIDATS

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

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

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

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EDE	1411E	101	9311

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

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EDF	1411E	101	9311

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

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EDV	1411E	101	9311

Présentation du sujet

Sommaire

Page

Présentation du sujet.....	2
Sommaire	2
Présentation du support d'études	3
Étude 1 : CADRE ET CONSÉQUENCES DE LA RE2020	4
Étude 2 : VÉRIFICATION DES ÉLÉMENTS DE CONTREVENTEMENT RETENUS	4
2A/ Étude du cheminement des efforts de vent de pignon. (APD)	5
2B/ Étude et dimensionnement de la liaison contreventement-poteau. (EXE)	6
Étude 3 : ÉTUDE TECHNIQUE DU BARDAGE	6
3A/ Étude économique du bardage	6
3B/ Justification thermique et hygrométrique de la composition du bardage	7
3C/ Étude acoustique du bardage double peau	7
3D/ Réflexion sur une alternative technique	8
ÉTUDE 4 : RE2020 ET BILAN CARBONE	8
4A/ Bilan carbone du bardage	8
4B/ Bilan carbone de la structure métallique	9
4C/ Bilan carbone du bâtiment	9

Nota : Les différentes études de ce sujet sont totalement indépendantes les unes des autres et peuvent être traitées dans un ordre quelconque choisi par le(la) candidat(e).

Toutes les études seront rédigées sur des copies séparées.

Présentation du support d'études

Gymnase de Villeparisis

Le gymnase, se situe dans la ville de Villeparisis (environ 26 000 habitants), au nord-ouest du département Seine et Marne (Région Ile de France). La parcelle se situe sur l'axe est-ouest principal de la ville, à proximité de la N3/D603.

L'attention du projet est particulièrement portée sur :

- une bonne intégration du projet dans le paysage urbain ;
- une réponse cohérente en termes de programmation pour les usagers ;
- l'homogénéité des volumes bâtis et des revêtements de façades. La question de la perception depuis l'entrée du site, mais aussi de la perception offerte aux riverains, sera posée ;
- la composition des façades et leur traitement, ainsi que les extérieurs ;
- l'économie générale du projet.

Le projet est concentré sur une volumétrie générale la plus simple possible. Le travail de façade se situe principalement sur la façade Sud sur rue et sur son retournement en façade Ouest sur le reste du site. Le travail en volume (ombre et lumière) et texture des matériaux offre une façade généreuse.

Figure 1 : Vue en insertion paysagère du projet



Étude 1 : CADRE ET CONSÉQUENCES DE LA RE2020

Contexte : La RE2020 a été mise en place depuis plusieurs années, mais le décret d'application sur les équipements sportifs vient seulement d'être publié.

Objectif : Comprendre dans quel cadre ont lieu les réflexions et justifier les choix de la maîtrise d'œuvre en matière d'environnement.

Question 1
DT1

Présenter les enjeux sociétaux et environnementaux dans lesquels s'inscrit la RE2020.

Définir les axes de la RE2020 et ses leviers d'action.

Question 2
DT1, DT9

Aujourd'hui un seul indicateur environnemental est étudié.

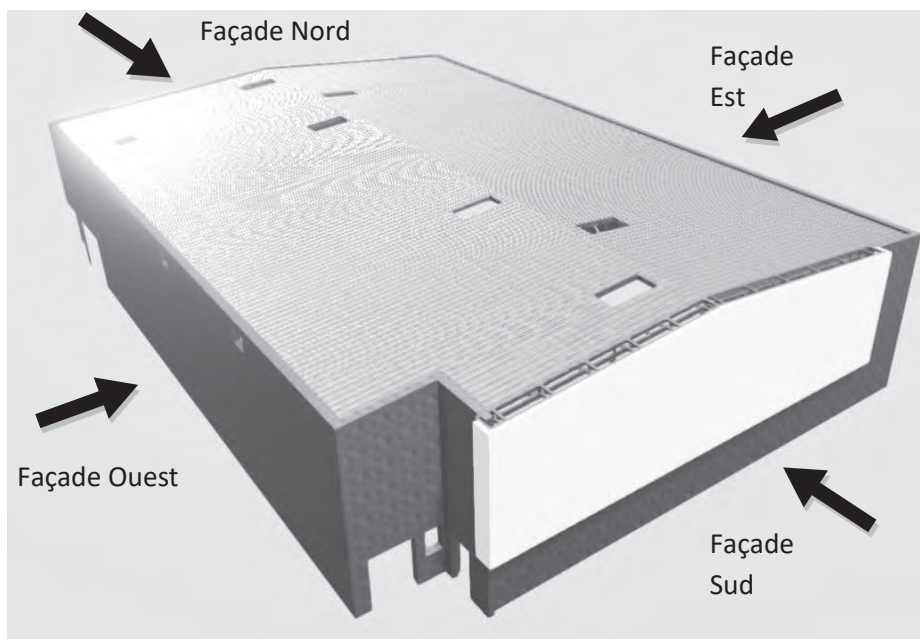
Préciser lequel et pourquoi.

Présenter d'autres indicateurs et les enjeux qu'ils pourraient présenter à l'avenir.

Question 3
DT1, DT2, DT9

Justifier la pertinence (ou son absence) des choix techniques et architecturaux de ce bâtiment vis-à-vis des critères de la RE2020.

Étude 2 : VÉRIFICATION DES ÉLÉMENTS DE CONTREVENTEMENT RETENUS



Contexte : Une structure primaire en acier a été retenue pour ce projet avec une enveloppe dont les détails figurent dans les documents techniques DT.

La stabilité de long pan permet de reprendre les efforts du vent de pignon.

Originellement les pannes sont en IPE 200 et les stabilités en cornières de 70x7. Le démontage d'un bâtiment proche permettrait de récupérer des tubes carrés de 120x4 et de 100x3.

Objectif : Étudier la possibilité de réemploi de profils tubulaires pour le contreventement du vent de pignon initialement en croix de Saint-André sur le long pan. Il s'agit de remplacer deux cornières de 70x7 par un seul tube de 120x4.

Attentes : Les modèles de calcul doivent être décrits précisément en intégrant les hypothèses associées. Ils doivent être cohérents avec la phase d'étude associée (APD = avant-projet détaillé ou EXE = exécution).

Pour simplifier l'étude, il faudra considérer tous les pieds de poteaux au niveau +0.00.

2A/ Étude du cheminement des efforts de vent de pignon. (APD)

- | | |
|--|---|
| Question 4
DT2, DR1 | Identifier sur le DR1 en les repassant en rouge , les pieds de poteaux de la file G qui reprennent les efforts du vent du pignon Sud. Identifier de la même façon tous les éléments de la structure qui permettent de transmettre ces efforts. |
| Question 5
DT2, DT3 | Déterminer et justifier la pression associée à l'action du vent venant de la direction sud sur les pignons sud et nord dans une configuration normale de vent. Calculer les efforts horizontaux de vent repris par la travée de stabilité (entre la file 4 et la file 5 sur le long pan file G). Illustrer votre démarche par des schémas. |
| Question 6
DT2 | Réaliser un modèle mécanique plan en justifiant vos hypothèses pour étudier le contreventement de cette travée par un calcul manuel. Calculer l'effort normal lié au vent dans la diagonale la plus sollicitée à l'état limite ultime. |
| Question 7
DT2 | Comparer la solution en tube carré de 120x4 à celle en cornière de 70x7 en termes d'avantages et d'inconvénients pour le contreventement de long pan file G. |
| Question 8
DT2, DT3,
DT4, DT7 | Donner les vérifications nécessaires pour valider le dimensionnement du tube à l'E.L.U. (État Limite Ultime) en considérant un vent de pignon de Sud et de Nord. |
| Question 9
DT4 | Réaliser une vérification complète du tube à l'état limite ultime. Donner les taux travail maximum en résistance de section et en instabilité (rapport entre l'effort de conception et l'effort résistant). |
| Question 10
DT5 | Décrire une méthode permettant de calculer le déplacement en tête de poteau de la stabilité. Identifier les modèles 1 et 2 sur le DT5.

Caractériser les modèles de liaisons et de relaxation choisis d'après les déformées observées. D'après les résultats de simulation, réaliser une vérification du contreventement du long pan à l'E.L.S. (État Limite de Service). |

2B/ Étude et dimensionnement de la liaison contreventement-poteau. (EXE)

Contexte : Pour un contreventement similaire le bureau d'étude a prévu des plats de 10 en S275 et une attache comprenant 4 boulons ordinaires au minimum de type HM20,8.8.

Question 11
DT2, DT6,
DR2

Compléter le dessin à main levée légendé sur le DR2 afin de définir la liaison entre les tubes de contreventement (buton de 100x100x4 et diagonale en tube carré de 120x120x4 et le poteau en HEA400).

- **représenter** et **repérer** l'ensemble des éléments,
- **représenter** la fixation des différents éléments,
- **indiquer** la cotation d'exécution (pas, pince, points d'épures-trous jeux fonctionnels).

Question 12
DT4, DT5,
cf. DR2

Citer toutes les vérifications nécessaires pour valider le dimensionnement de votre liaison en phase EXE.

L'effort maximal calculé dans la diagonale en phase EXE est de $N_{ED} = 92 \text{ kN}$.

Question 13
DT2, DT4,
DT5,
Cf. DR1

Réaliser les vérifications du gousset ou des plats critiques au cisaillement de bloc et en pression diamétrale ainsi que les boulons au cisaillement. **Indiquer** le taux de travail maximal de votre liaison associé à ces vérifications. **Proposer** des modifications.

Étude 3 : ÉTUDE TECHNIQUE DU BARDAGE

3A/ Étude économique du bardage

Contexte : Dans un objectif d'optimisation des estimatifs, la maîtrise d'œuvre se pose la question d'alternatives au bardage double peau par des panneaux sandwich. Il faut faire un calcul détaillé pour mettre à jour la base de prix en cohérence avec la RE2020.

Objectif : Déterminer le déboursé sec détaillé du complexe de bardage.

Question 14

Expliquer les méthodologies d'usage pour la réalisation d'une estimation économique d'un ouvrage de construction selon les phases d'étude.

Question 15
DT10

Effectuer le calcul du DHMO (Déboursé Horaire de Main d'Oeuvre) d'un ouvrier qualifié N2 en basant votre calcul sur 1 mois de salaire.
Calculer les DHMO moyen de l'équipe de bardage proposée.

Question 16
DT8, DT10 et
DR3

Effectuer le déboursé sec de 1 m² de bardage.
Déterminer le prix de vente hors taxe (PVHT) de 1 m² de bardage.
Expliquer comment et par quels éléments et études complémentaires l'étude de prix aurait pu être affinée.

3B/ Justification thermique et hygrométrie de la composition du bardage

Contexte : La RE2020 limite les déperditions thermiques des bâtiments, dans ce cadre la résistance thermique du complexe de bardage doit être adapté aux besoins. L'étude portera sur les locaux courants.

Objectif : Évaluer la performance thermique du bardage dans le cadre du besoin du projet et vérifier les propositions faites par la maîtrise d'œuvre.

Question 17

DT8, DT9,
DT11
DR4

Expliquer l'intérêt de la certification ACERMI des produits.

Les règles TH-bat proposent une méthode de calcul pour prendre en compte les effets délétères des ponts thermiques locaux liés aux écarteurs du complexe de bardage.

Déterminer la résistance thermique du complexe de bardage.

Calculer le coefficient de transmission thermique du bardage.

Calculer le flux de chaleur à travers la paroi dans sa partie courante pour une température intérieure de 16°C et extérieure de -5°C.

Calculer les températures aux différentes interfaces.

Tracer sur le DR4, le profil des températures aux différentes interfaces.

Question 18

DT8, DT9,
DT11
DR5

Déterminer la résistance à la vapeur du complexe de bardage.

Calculer le flux de vapeur à travers la paroi.

On considérera :

- Humidité relative intérieure HR = 50%
- Humidité relative extérieure HR = 70%

Calculer les pressions de vapeurs saturantes à chaque interface.

Tracer le graphique des pressions de vapeurs saturantes.

Calculer les pressions de vapeurs réelles aux interfaces.

Tracer sur le DR5, le graphique des pressions de vapeurs.

Question 19

Justifier la nécessité, ou non, d'un pare vapeur ou de solutions alternatives.

Commenter quant à la pertinence du bilan hygrométrique de la paroi.

Préciser les cas critique et pathologique pouvant mener à la présence de condensation dans un bardage double peau métallique.

3C/ Étude acoustique du bardage double peau

Contexte : Les infrastructures routières génèrent des bruits aériens pouvant être gênants pour l'utilisation du bâtiment. Dans ce contexte se pose la question des performances acoustiques du pignon du bâtiment.

Objectif : Déterminer les limites réglementaires en termes d'acoustique et la comparer aux valeurs calculées d'affaiblissement acoustique de la façade.

Question 20

DT9, DT12

Vérifier la limite réglementaire de l'isolement acoustique standardisé pondéré $D_{nT, A, tr}$ de la façade du bâtiment selon les normes.

Comparer la valeur à celles proposées par le CCTP.

Tournez la page S.V.P.

Question 21
DT9, DT12

La performance acoustique d'une façade se détermine en fonction des caractéristiques de chacun de ses composants. On négligera la forme complexe et raisonnera par surface uniquement.

Calculer la valeur requise pour l'isolement acoustique du bardage métallique à partir de la contrainte réglementaire et de l'isolement des autres éléments de façade du pignon.

Question 22

Proposer une conclusion.

3D/ Réflexion sur une alternative technique

Contexte : La maîtrise d'œuvre s'interroge sur la pertinence de remplacer le bardage double peau par une alternative panneau sandwich.

Objectif : Comparer deux solutions techniques au regard des besoins du projet

Question 23
DT13

Comparer la solution panneau sandwich à la solution double peau par rapport aux contraintes thermiques, acoustiques et budgétaires.

Conclure quant à la pertinence de l'alternative proposée.

ÉTUDE 4 : RE2020 ET BILAN CARBONE

Contexte : Un décret donnera bientôt les limites réglementaires acceptables du point de vue de la RE2020 pour la réalisation d'un gymnase. En attendant sa parution, nous nous baserons sur le label "E+C-" comme limite, mais nous utiliserons les méthodes de calcul de la RE2020.

Cette partie vise donc à étudier le bilan carbone des deux ouvrages élémentaires précédents, le bardage et la structure métallique, dans le but de vérifier si l'ensemble du bâtiment satisfait le label.

4A/ Bilan carbone du bardage

Contexte : Le choix initial de la maîtrise d'œuvre se tourne vers l'utilisation d'un bardage double peau avec deux couches d'isolant laine de roche.

Objectif : Établir le bilan carbone du bardage

Question 24
DT15

Expliquer l'intérêt de la méthode de calcul dynamique par rapport à une méthode statique dans la réalisation du bilan carbone d'un ouvrage élémentaire.

Calculer le bilan carbone d'un m² de bardage métallique double peau (hors profilés d'arrêt et de départ) à l'aide de la méthode dynamique.

Question 25
DT14, DT15
DR6

Calculer l'impact carbone du bardage double peau dans son intégralité sachant que sa surface est de 824,97 m².

Déterminer le lot de référence auquel se rattache l'impact carbone du bardage double peau.

Compléter le tableau du bilan carbone.

4B/ Bilan carbone de la structure métallique

Contexte : La structure métallique a un impact important en matière de bilan carbone. L'étude portera ici sur les méthodes possibles pour réduire cet impact.

Objectif : Établir le bilan carbone de la structure métallique

Question 26
DT1, DT14,
DT15

À partir des informations du CTICM et de la loi AGEC, **proposer** une solution pour réduire l'impact carbone des pannes et de contreventements (les deux étants réalisés à l'aide de tubes).
Quantifier l'intégralité des tubes dans le projet.
Estimer le gain sur l'impact global de la structure métallique.

Question 27
DR6

Déterminer le lot de référence auquel se rattache l'impact carbone du bardage double peau et celui de la structure.
Compléter sur le DR6, le tableau du bilan carbone.

4C/ Bilan carbone du bâtiment

Contexte : La réglementation RE2020 impose une limite au dioxyde de carbone rejeté par un bâtiment dans l'ensemble de son cycle de vie. Nous procéderons ici à une première estimation de l'impact global du bâtiment, puis à une vérification de sa conformité vis-à-vis de cette réglementation.

Objectif : Établir le bilan carbone global du bâtiment

Question 28
DT15, DT16
DR6

À l'aide du planning, **estimer** la durée de présence de la grue sur le chantier. On estimera que le chantier démarre au premier jour de l'été.
Évaluer la quantité de terre à évacuer sachant que la plateforme fera approximativement 33 x 44 m, une profondeur moyenne de 1,8 m. Les talus seront de 1 pour 3.
Estimer avec la méthode simplifiée le bilan carbone du chantier.
Commenter sur les limites de cette méthode.
Compléter sur le DR6, le tableau du bilan carbone.

Question 29
DR6

Calculer sur le DR6, l'impact total du bâtiment rapporté à sa surface utile dans les deux situations.

Question 30
DR6

La limite du bilan carbone est de 750 kg eq CO₂ /m² de bâtiment.
Compléter sur le DR6, le tableau de bilan carbone dans les deux situations proposées.
Commenter les résultats.

DOCUMENTS TECHNIQUES

Document technique DT1 : Grands principes de la RE2020 et réemploi
Document technique DT2 : Vues et plans du bâtiment
Document technique DT3 : Action du vent
Document technique DT4 : Eurocode 0 et Eurocode 3 – Résistance des sections et des barres
Document technique DT5 : Simulations numériques
Document technique DT6 : Eurocode 3 – Assemblages. NF EN 1993-1-8
Document technique DT7 : Caractéristiques des profils
Document technique DT8 : Données et montage du bardage
Document technique DT9 : Données sur les isolants thermiques
Document technique DT10 : Données économiques et hypothèses
Document technique DT11 : Extrait TH-BAT – Données Thermiques
Document technique DT12 : Données acoustiques
Document technique DT13 : Données techniques du panneau sandwich
Document technique DT14 : Fiches de Données Environnementale et Sanitaire (FDES)- Extraits
Document technique DT15 : Bilan carbone
Document technique DT16 : Planning

Document technique DT1 : Grands principes de la RE2020 et réemploi

En 2022, la France est passée d'une réglementation thermique à une réglementation environnementale, la RE2020, plus ambitieuse et exigeante pour la filière construction.

Son objectif est de poursuivre l'amélioration de la performance énergétique et du confort des constructions, tout en diminuant leur impact carbone. Elle s'articule autour de trois principaux axes :

- poursuivre l'amélioration de la performance énergétique et la baisse des consommations des bâtiments neufs.
- diminuer l'impact sur le climat des bâtiments neufs en prenant en compte l'ensemble des émissions du bâtiment sur son cycle de vie, de la phase de construction à la fin de vie (matériaux de construction, équipements), en passant par la phase d'exploitation (chauffage, eau chaude sanitaire, climatisation, éclairage...), via une Analyse en Cycle de Vie.
- permettre aux occupants de vivre dans un lieu de vie et de travail adapté aux conditions climatiques futures en poursuivant l'objectif de confort en été. Les bâtiments devront mieux résister aux épisodes de canicule, qui seront plus fréquents et intenses du fait du changement climatique.

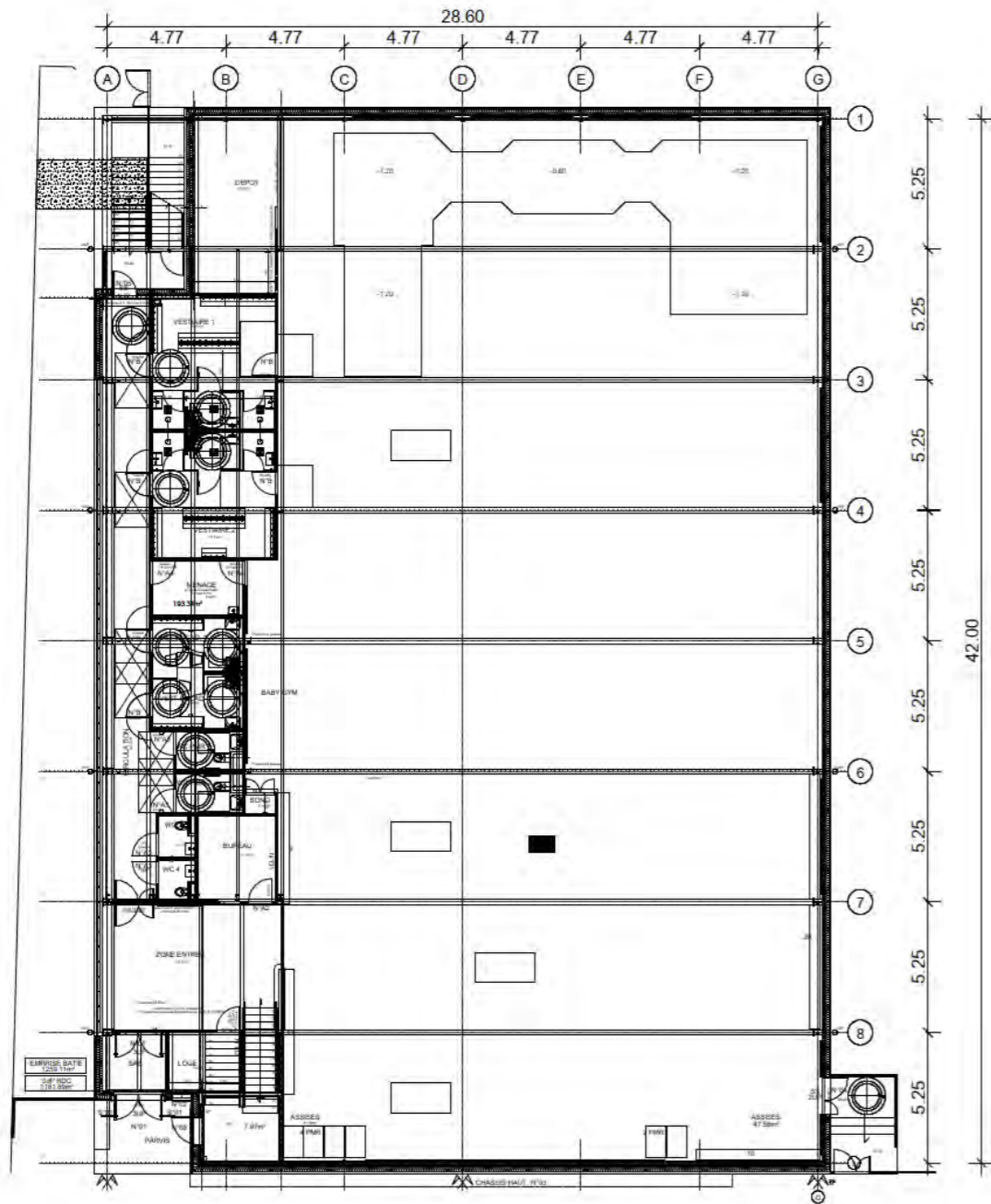
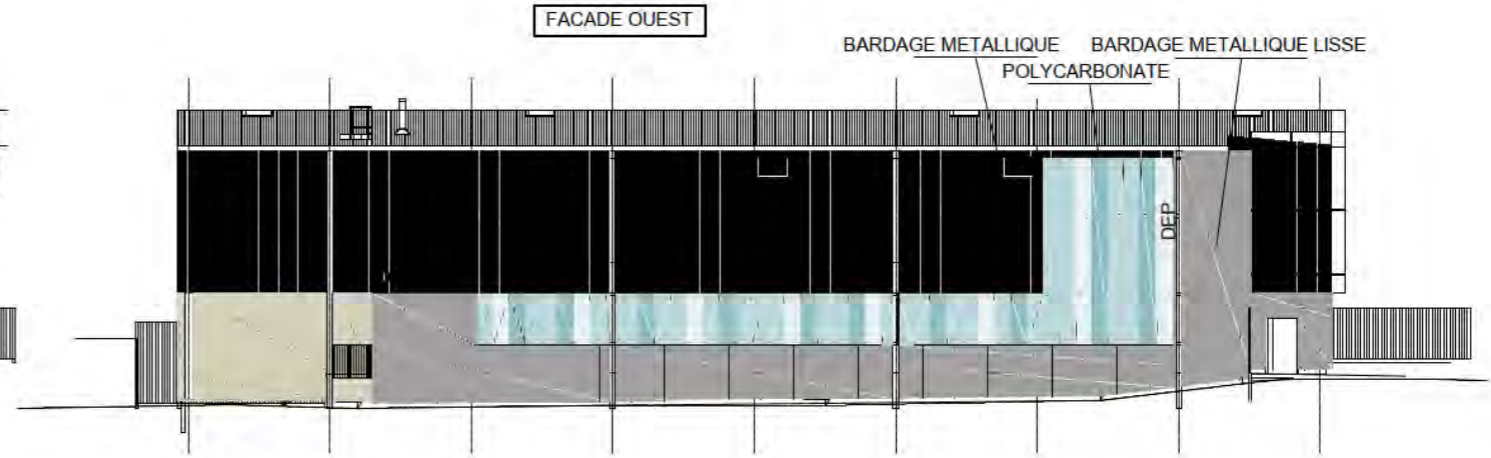
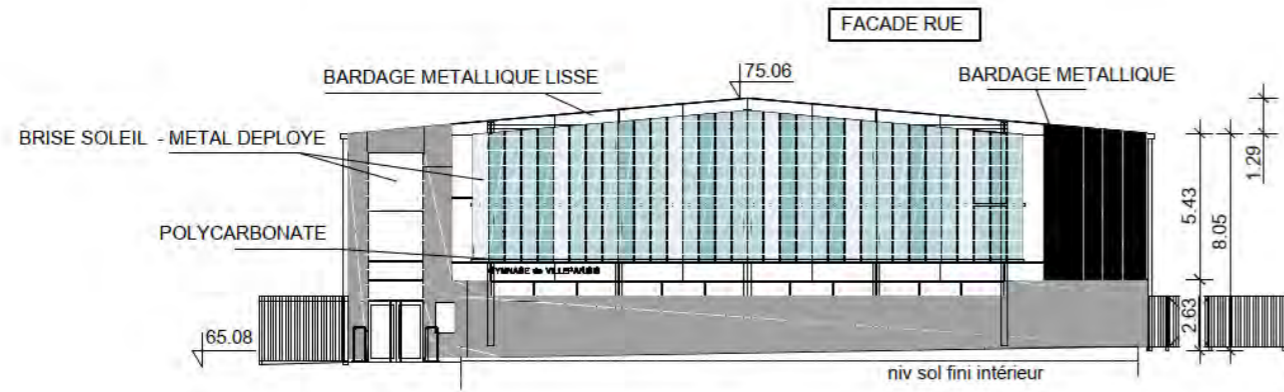
La **RE2020** repose sur une transformation progressive des techniques de construction, des filières industrielles et des solutions énergétiques, afin de maîtriser les coûts de construction et de garantir la montée en compétence des professionnels.

Source : Observatoire de la RE 2020

La loi AGEC relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire a fixé le cadre juridique pour le réemploi et la réutilisation des produits et composants issus de la déconstruction. La réglementation environnementale (RE2020), quant à elle, considère que les produits et équipements issus du réemploi ou d'une opération de réutilisation n'ont aucun impact dans le calcul de la performance environnementale.

Les composants et produits en acier se prêtent bien au réemploi et à la réutilisation, dû notamment aux qualités intrinsèques du matériau.

Source : CICTM



COUPE RDC



**PERSPECTIVE ISO-
STRUCTURE METALLIQUE APS**

SISMIQUE

Zone sismique : 1 - Très faible
Classe de l'ouvrage : III

MATERIAUX

Acier : nuance S275 sauf indication contraire

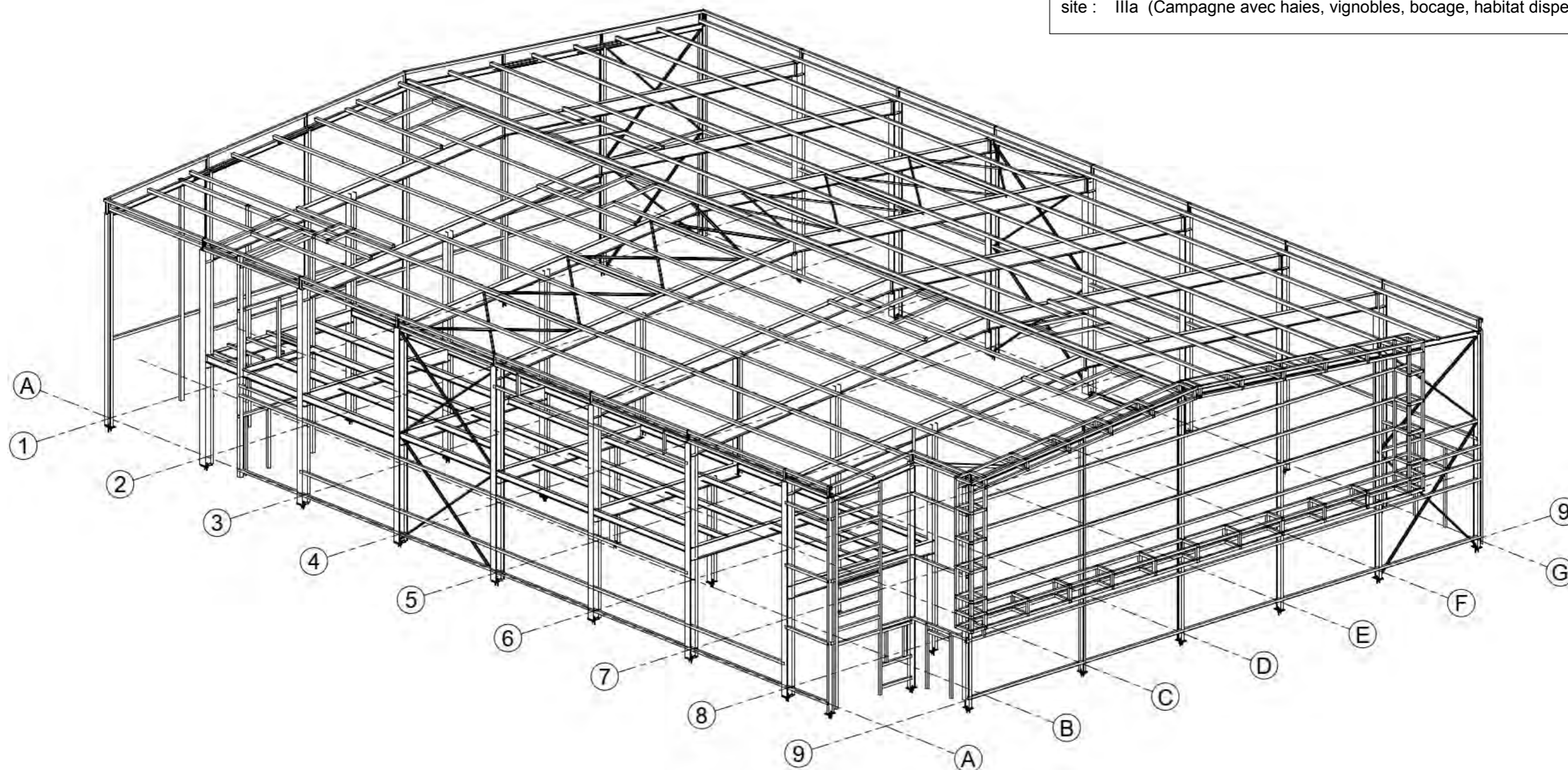
CHARGES CLIMATIQUES

NEIGE :

RÉGION : A1 Normale : $S_n = 45 \text{ daN/m}^2$
ALTITUDE : 111 m Accidentelle : $S_{ad} = \text{Sans objet.}$

VENT :

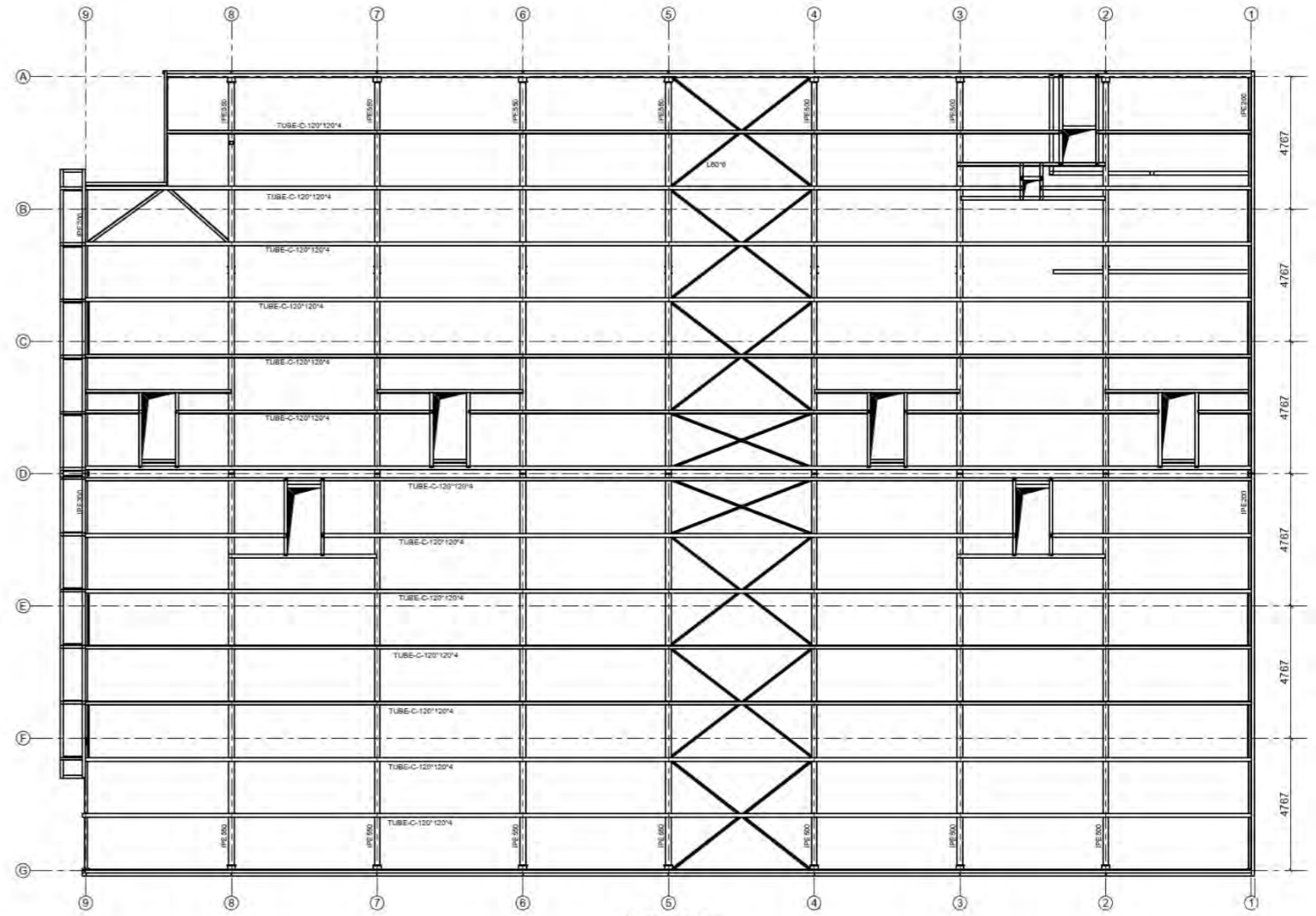
Zone : 2
H du Bâtiment : 10 m ; $C_{dir} = C_{season} = 1$
site : IIIa (Campagne avec haies, vignobles, bocage, habitat dispersé)



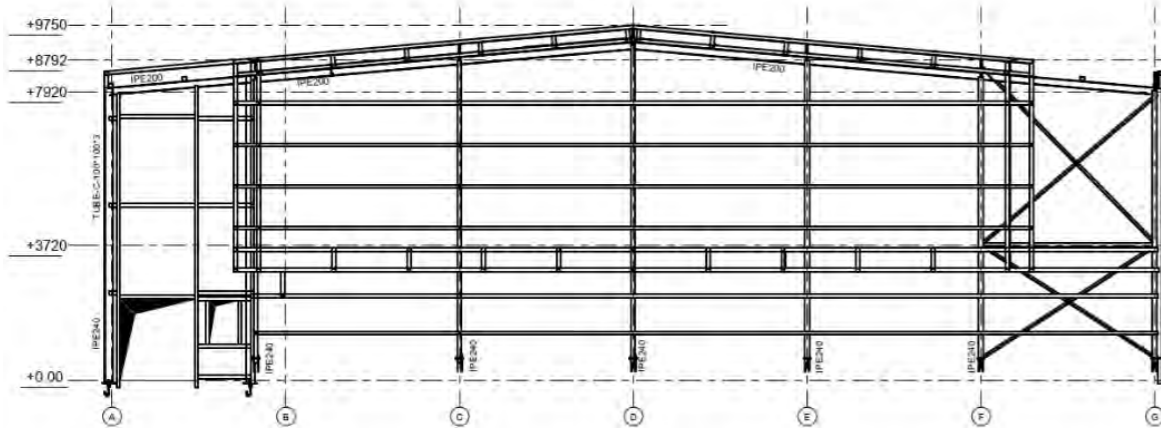
PROFILS APS :

POTEAUX : HEA
PANNES : PANNES IPE 200 ou TUBES
C120 x 4

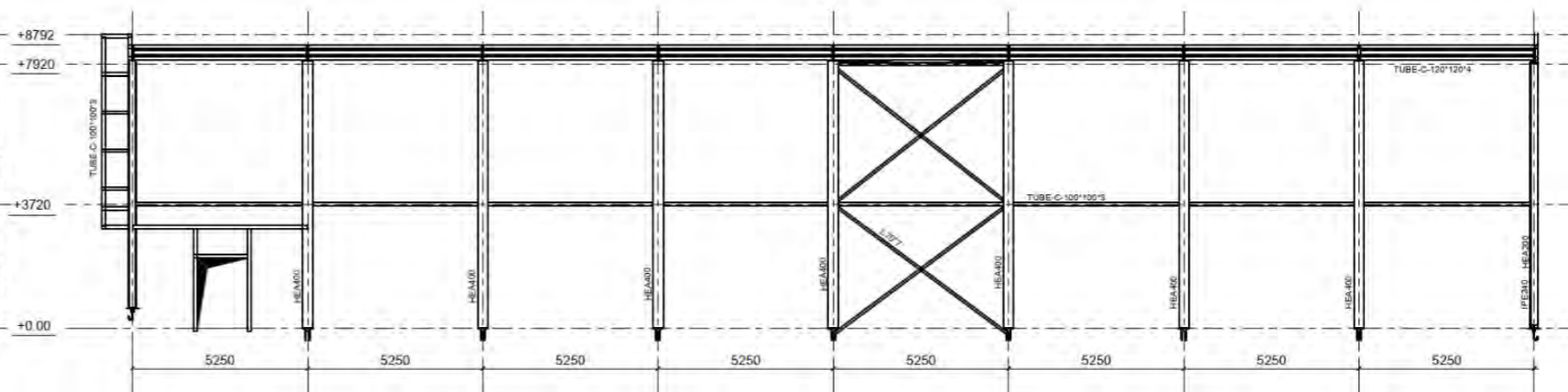
STABILITÉS : L70 x7 ou C100x4



Vue en plan
1:200



Pignon Sud - File 9
1:200



Long pan Est - File G
1:200

4.5 Pression dynamique de pointe

Il y a lieu de déterminer la pression dynamique de pointe $q_p(z)$ à la hauteur z , qui est induite par la vitesse moyenne et les fluctuations rapides de vitesse.

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (4.8)$$

où

- q_b pression dynamique de référence du vent donnée : $q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2$
- ρ masse volumique de l'air, les valeurs de ρ peuvent être données dans l'Annexe Nationale. La valeur recommandée est de **1,225 kg/m³**.
- $c_e(z)$ coefficient d'exposition.

Dans le cas d'un terrain plat, le coefficient d'exposition $c_e(z)$ est représenté sur la figure 4.2 en fonction de la hauteur au dessus du sol et de la catégorie de terrain telle que définie dans le tableau 4.1

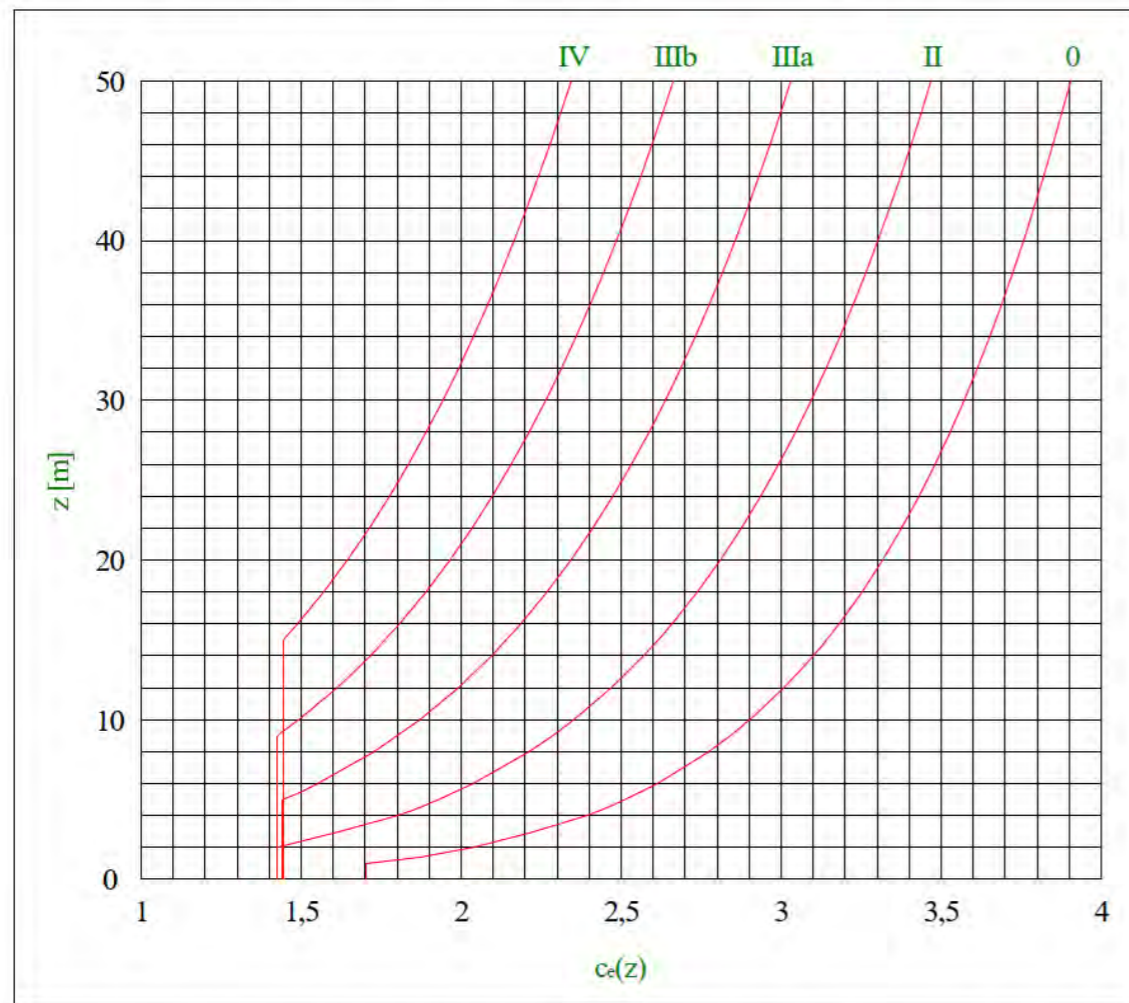


Figure 4.2 : Représentation du coefficient d'exposition $c_e(z)$ pour $c_0=1$ et $k_1=1$

5.2 Pression aérodynamique sur les surfaces

(1) Il convient de déterminer la pression aérodynamique agissant sur les surfaces extérieures, w_e , à partir de l'expression suivante :

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (5.1)$$

où :

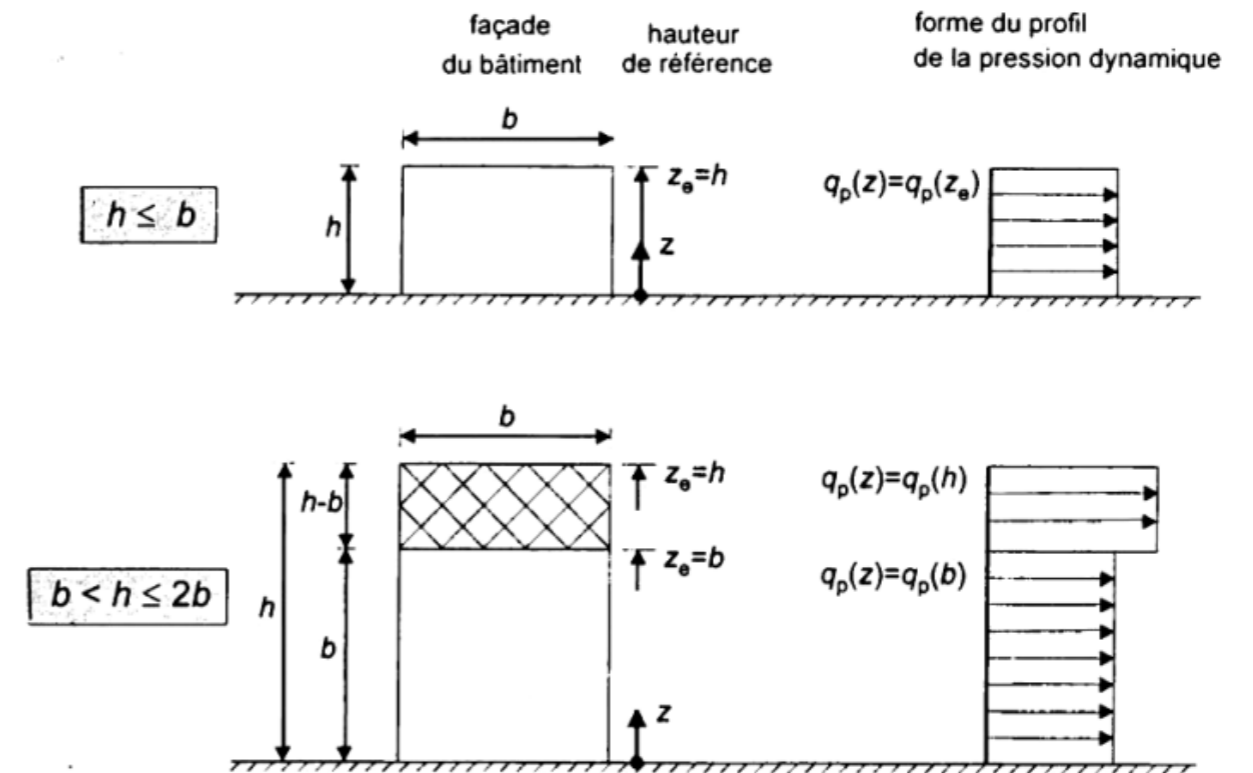
- $q_p(z_e)$ est la pression dynamique de pointe
- z_e est la hauteur de référence pour la pression extérieure définie en section 7.
- c_{pe} est le coefficient de pression pour la pression extérieure.

(2) Il convient de déterminer la pression aérodynamique agissant sur les surfaces intérieures d'une construction w_i à partir de l'expression suivante :

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} \quad (5.2)$$

où :

- $q_p(z_i)$ est la pression dynamique de pointe
- z_i est la hauteur de référence pour la pression intérieure définie en section 7.
- c_{pi} est le coefficient de pression pour la pression intérieure.



Régions :	1	2	3	4
Valeur de base de la vitesse de référence du vent $v_{b,0}$ [m/s]	22	24	26	28

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0}$$

Figure 4.3 (NF) : Carte de la valeur de base de la vitesse de référence en France

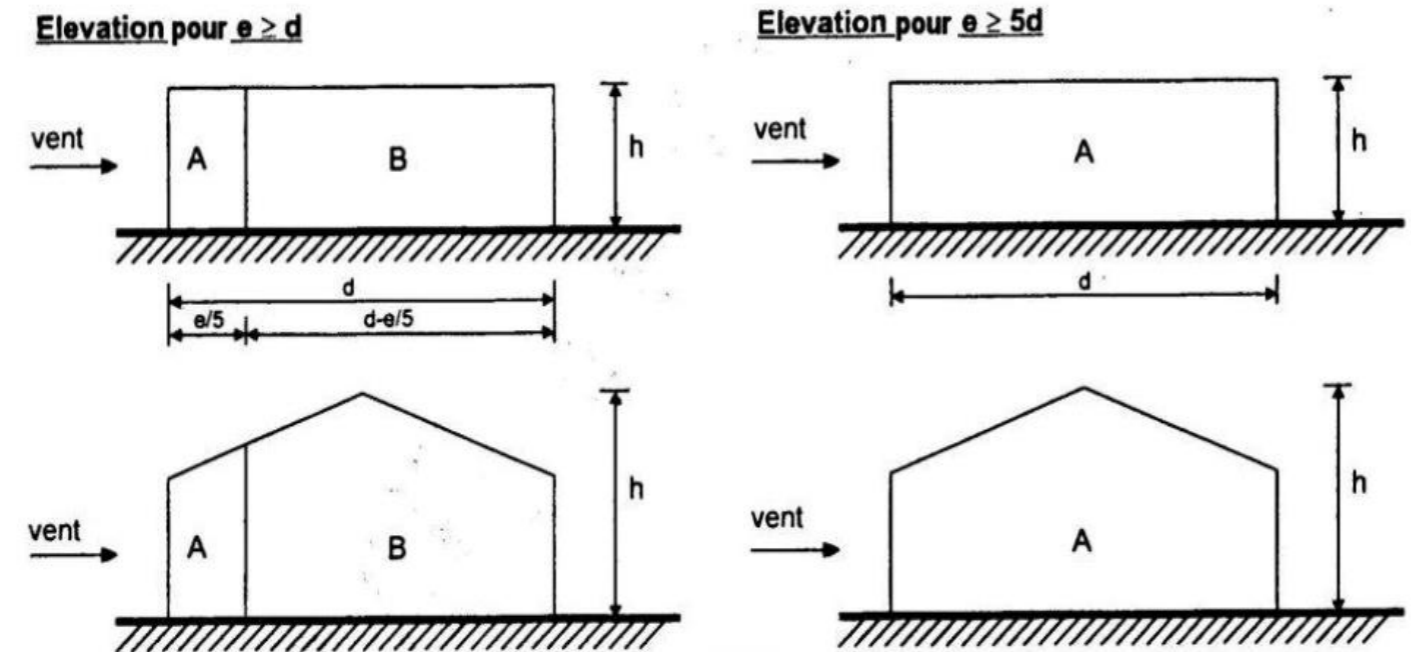
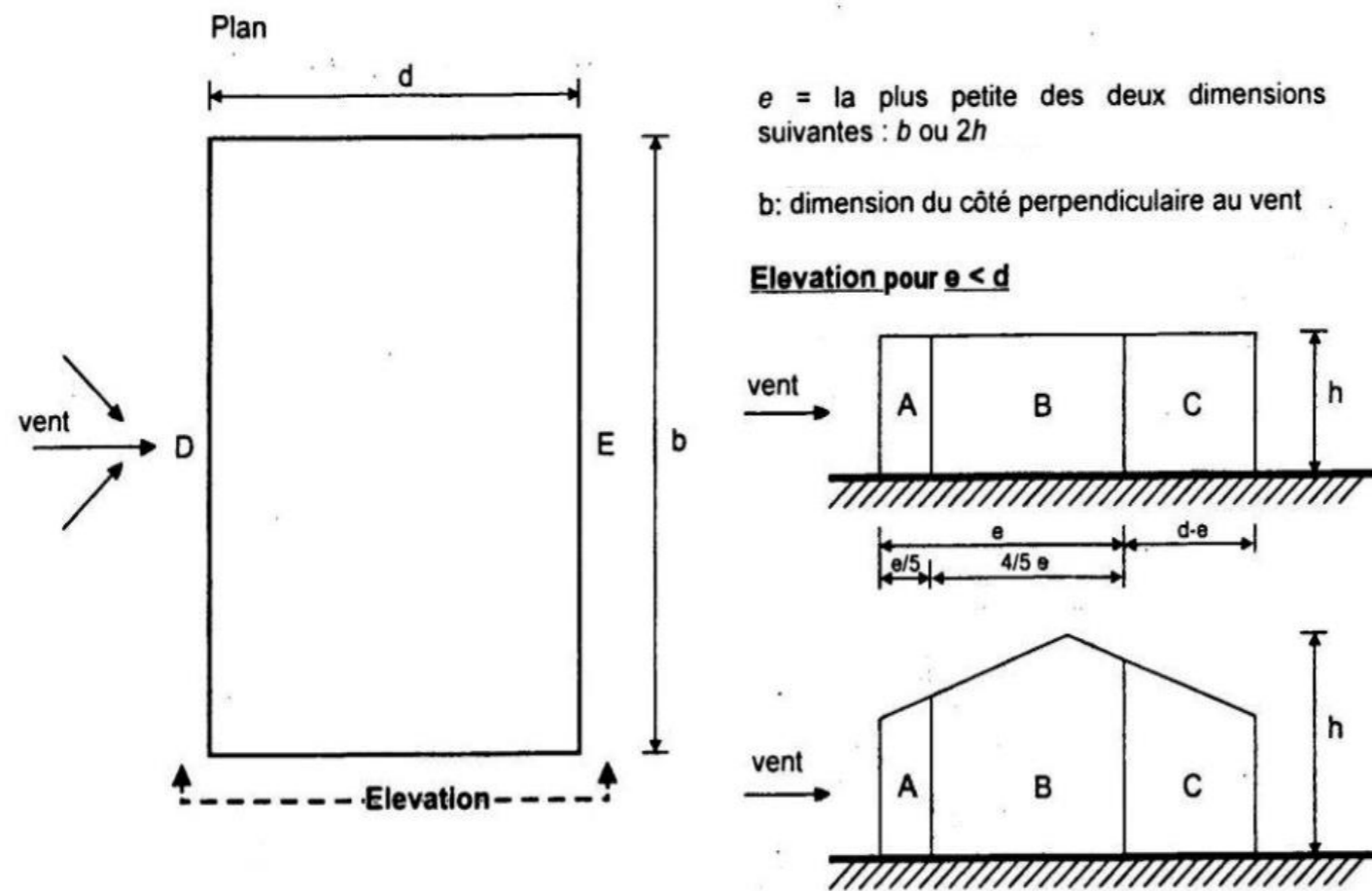


Figure 7.5 — Légende relative aux murs verticaux

Tableau 7.1- Valeurs recommandées des coefficients de pression extérieure pour les murs verticaux des bâtiments à plan rectangulaire

Zones	A		B		C		D		E	
	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$	$c_{pe, 10}$	$c_{pe, 1}$
h/d										
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,5	+0,8	+1,0	-0,7	-0,7
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,5	+0,8	+1,0	-0,5	-0,5
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	-0,5	+0,7	+1,0	-0,3	-0,3

NOTE 1 : Les valeurs de $c_{pe,10}$, et $c_{pe,1}$ peuvent être indiquées dans l'Annexe Nationale. Les valeurs recommandées sont données dans le tableau 7.1, selon le rapport h/d . Une interpolation linéaire peut être appliquée pour les valeurs intermédiaires de h/d . Les valeurs du tableau 7.1 s'appliquent aussi aux murs des bâtiments à toitures inclinées, telles que les toitures à un ou deux versants.

7.2.9 Pression intérieure

(1)P Les pressions intérieure et extérieure doivent être considérées comme agissant simultanément. La combinaison la plus défavorable des pressions extérieure et intérieure doit être envisagée pour chaque combinaison d'ouvertures potentielles et autres sources de fuites d'air.

(2) Le coefficient de pression intérieure, c_{pi} , dépend de la dimension et de la répartition des ouvertures dans l'enveloppe du bâtiment. Lorsque, sur au moins deux faces du bâtiment (façades ou toiture), l'aire totale des ouvertures existant sur chacune des faces représente 30 % de l'aire de cette face, il convient de ne pas calculer les actions exercées sur la construction à partir des règles indiquées dans la présente section, mais il est en revanche recommandé d'utiliser les règles définies en 7.3 et 7.4.

NOTE Les ouvertures d'un bâtiment comprennent des ouvertures de petites dimensions telles que fenêtres ouvertes, ouvrants, cheminées, etc. ainsi qu'une perméabilité de fond telle que fuite d'air autour des portes, fenêtres, équipements techniques et fuites à travers l'enveloppe du bâtiment. La perméabilité de fond se situe généralement dans la plage comprise entre 0,01 % et 0,1 % de l'aire de la face. Des informations supplémentaires peuvent être données dans l'Annexe Nationale.

(3) Lorsqu'une ouverture extérieure, telle qu'une porte ou une fenêtre, est dominante en position ouverte mais est considérée fermée à l'état limite ultime, lors de vents violents extrêmes, il convient de considérer la situation avec la porte ou la fenêtre ouverte comme une situation de projet accidentelle conformément à l'EN 1990.

NOTE La vérification de la situation de projet accidentelle se révèle importante pour les murs intérieurs de grande hauteur (avec un risque élevé de danger) lorsque le mur doit supporter entièrement l'action extérieure du vent du fait de la présence d'ouvertures dans l'enveloppe du bâtiment.

(4) Une face d'un bâtiment est généralement considérée comme dominante lorsque l'aire des ouvertures dans ladite face est au moins égale à deux fois l'aire des ouvertures et des fuites d'air dans les autres faces du bâtiment considéré.

NOTE Ceci peut également s'appliquer aux volumes internes individuels au sein du bâtiment.

(5) Dans le cas d'un bâtiment ayant une face dominante, il convient de considérer la pression intérieure comme une fraction de la pression extérieure au niveau des ouvertures de la face dominante. Il convient d'utiliser les valeurs données par les expressions (7.1) et (7.2).

Lorsque l'aire des ouvertures dans la face dominante est égale à deux fois l'aire des ouvertures dans les autres faces,

$$c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe} \quad \dots (7.1)$$

Lorsque l'aire des ouvertures dans la face dominante est au moins égale à trois fois l'aire des ouvertures dans les autres faces,

$$c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe} \quad \dots (7.2)$$

où :

c_{pe} est la valeur du coefficient de pression extérieure au niveau des ouvertures de la face dominante. Lorsque ces ouvertures sont situées dans des zones avec des valeurs différentes de pressions extérieures, il est recommandé d'utiliser une valeur moyenne pondérée en surface de c_{pe} .

Lorsque l'aire des ouvertures dans la face dominante est comprise entre 2 et 3 fois l'aire des ouvertures dans les autres faces, il peut être fait appel à l'interpolation linéaire pour calculer c_{pi} .

(6) Pour les bâtiments sans face dominante, il convient de déterminer le coefficient de pression intérieure c_{pi} à partir de la Figure 7.13, ledit coefficient étant fonction du rapport de la hauteur à la profondeur du bâtiment, h/d , et du rapport d'ouverture μ pour chaque direction du vent θ , qu'il y a lieu de déterminer à partir de l'expression (7.3) :

NOTE Pour les valeurs comprises entre $h/d = 0,25$ et $h/d = 1,0$, une interpolation linéaire peut être utilisée.

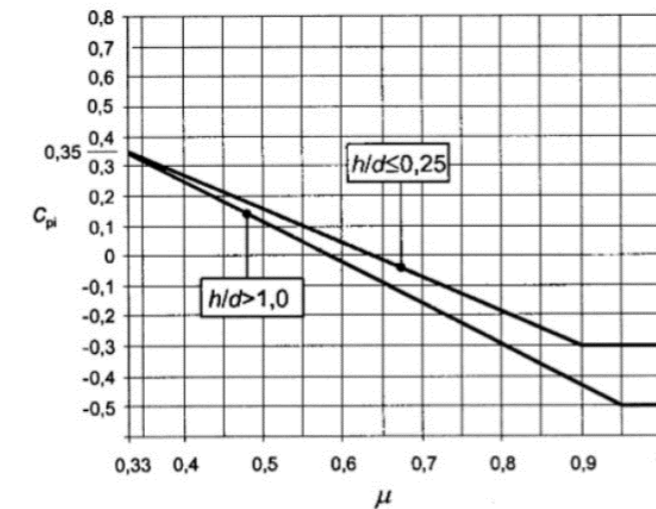


Figure 7.13 — Coefficients de pression intérieure applicables pour des ouvertures uniformément réparties

$$\mu = \frac{\sum \text{aire des ouvertures où } c_{pe} \text{ est négatif ou égal à } 0}{\sum \text{aire de toutes les ouvertures}} \quad \dots (7.3)$$

NOTE 1 Ceci s'applique aux façades et aux toitures des bâtiments avec et sans cloisons intérieures.

NOTE 2 Lorsqu'il se révèle impossible, ou lorsqu'il n'est pas considéré justifié d'évaluer μ pour un cas particulier, il convient alors de donner à c_{pi} la valeur la plus sévère de + 0,2 et - 0,3.

Le tableau suivant donne un aperçu des combinaisons d’actions à envisager pour un **bâtiment en acier** situé en France métropolitaine dans le cadre restrictif suivant :

- Les vérifications ELU ne concernent que la résistance des éléments structuraux en situation de projet durable (ou transitoire).
- Les vérifications ELS ne concernent que les déformations de la structure sous combinaisons caractéristiques.
- Le bâtiment est soumis aux actions suivantes :
 - Actions permanentes G_k limitée à une seule valeur notée G (Gravity load)
 - Actions variables Q_k limitées aux seules actions :
 - Charges d’exploitation notées I (Imposed load)
 - Charges climatiques :
 - Actions dues à la neige notées S (Snow load)
 - Actions dues au vent notées W (Wind load)
- La seule action accidentelle envisagée est S_A

Remarque :

L’Annexe A1 notifie que selon l’utilisation du bâtiment, sa forme et son emplacement, les combinaisons d’actions peuvent être fondées sur 2 actions variables au plus.

L’Annexe Nationale précise que la prise en compte de plus de 2 actions variables est spécifiée, lorsqu’il y a lieu, pour le projet individuel.

	ELU		ELS
	Combinaisons fondamentales	Combinaisons accidentelles	Combinaisons caractéristiques
G + 1 action variable	1,35 G + 1,5 I 1,35 G + 1,5 S 1,35 G + 1,5 W G + 1,5 W (si soulèvement)	G + S _A	G + I G + S G + W
G + 2 actions variables	1,35 G + 1,5 I + 1,5 ψ_{0S} S 1,35 G + 1,5 I + 1,5 ψ_{0W} W 1,35 G + 1,5 S + 1,5 ψ_{0I} I 1,35 G + 1,5 S + 1,5 ψ_{0W} W 1,35 G + 1,5 W + 1,5 ψ_{0I} I 1,35 G + 1,5 W + 1,5 ψ_{0S} S	G + S _A + ψ_{2I} I G + S _A + ψ_{2W} W (mais $\psi_{2W} = 0$)	G + I + ψ_{0S} S G + I + ψ_{0W} W G + S + ψ_{0I} I G + S + ψ_{0W} W G + W + ψ_{0I} I G + W + ψ_{0S} S
G + 3 actions variables (si mentionné dans le projet)	1,35 G + 1,5 I + 1,5 ψ_{0S} S + 1,5 ψ_{0W} W 1,35 G + 1,5 S + 1,5 ψ_{0I} I + 1,5 ψ_{0W} W 1,35 G + 1,5 W + 1,5 ψ_{0I} I + 1,5 ψ_{0S} S	G + S _A + ψ_{2I} I + ψ_{2W} W	G + I + ψ_{0S} S + ψ_{0W} W G + S + ψ_{0I} I + ψ_{0W} W G + W + ψ_{0I} I + ψ_{0S} S

Avec ψ_{0I} et ψ_{2I} dont les valeurs dépendent de la catégorie «d’exploitation», voir tableau A1.1

$\psi_{0S} = 0,7$ si altitude A > 1000 m ; $\psi_{0S} = 0,5$ si altitude A ≤ 1000 m

$\psi_{0W} = 0,6$; $\psi_{2W} = 0$

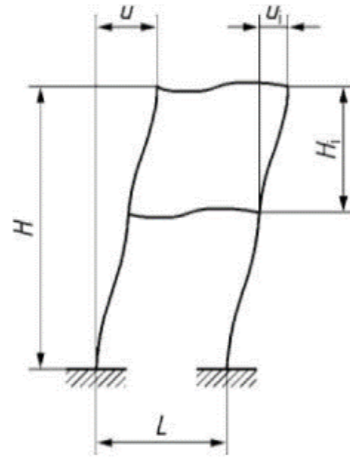
Tableau 2 — Valeurs limites maximales recommandées pour les flèches horizontales

Conditions	Limites (voir Figure 2)
Bâtiments industriels à niveau unique sans pont roulant, avec parois non fragiles ^{a) c) d)} :	
— déplacement en tête de poteaux	$H_i / 150$
— déplacement différentiel en tête entre 2 portiques consécutifs	$L_i / 150$
Eléments supports de bardage métallique (hors encadrements de baies) :	
— lisses	$L_i / 150$
— montants (flèche propre)	$H_i / 150$
Autres bâtiments à niveau unique, sans pont roulant ^{b) d)} :	
— déplacement en tête de poteaux	$H_i / 250$
— déplacement différentiel en tête entre 2 portiques consécutifs	$L_i / 200$
Bâtiments industriels à plusieurs niveaux, sans pont roulant, avec parois non fragiles ^{c) d)} :	
— entre chaque étage	$H_i / 200$
— pour la structure dans son ensemble	si $H \leq 20$ m $H / 200$ 20 m < $H \leq 40$ m $H / (100 + 5H)$ si $H > 40$ m $H / 300$
Autres bâtiments à plusieurs niveaux, sans ponts roulants ^{d)} :	
— entre chaque étage	$H_i / 300$
— pour la structure dans son ensemble	si $H \leq 10$ m $H / 300$ si 10 m < $H \leq 30$ m $H / (200 + 10H)$ si $H > 30$ m $H / 500$
Où H_i est la hauteur du poteau ou de l’étage ou du montant de bardage H est la hauteur totale de la structure L_i est la distance entre deux portiques consécutifs ou la longueur d’une lisse	
Notes :	
a) <u>Bâtiments sans pont roulant</u> : cas des bâtiments avec portiques simples ou à travées multiples, à un niveau, sans exigence particulièrement restrictive en matière de déformation. Pour les portiques avec pont(s) roulant(s), voir la NF EN 1993-6/NA.	
b) <u>Autres bâtiments à niveau unique</u> : ce sont des bâtiments ayant des exigences particulières en matière de déformations (ex. : étanchéité, fragilité des parois, aspect, confort, utilisation). Ils peuvent être simples ou à travées multiples.	
c) On entend par parois fragiles tout système d’enveloppe ou élément de remplissage ayant des exigences plus sévères en termes de déformation ou de compatibilité avec les éléments support.	
d) Dans le cas de parois fragiles, la valeur limite de flèche horizontale peut être supérieure lorsque des dispositions constructives adoptées pour les liaisons des parois à l’ossature le permettent.	

Clause 7.2.2(1)B

Les valeurs limites recommandées données ci-après sont destinées à être comparées aux résultats des calculs et n'ont pas à être interprétées comme étant des critères de performance. Il convient de leur comparer les valeurs calculées à partir des combinaisons caractéristiques.

Pour les bâtiments, les valeurs limites recommandées des flèches horizontales sont données au Tableau 2.



Légende

u Déplacement horizontal général sur la hauteur du bâtiment H

u_i Déplacement horizontal sur la hauteur d'un étage H_i

Figure 2 — Définition des déplacements horizontaux

Tableau 3.1 — Valeurs nominales de limite d'élasticité f_y et de résistance à la traction f_u pour les aciers de construction laminés à chaud

Norme et nuance d'acier	Épaisseur nominale t de l'élément [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	490	335	470
S 450	440	550	410	550

Valeurs des coefficients partiels pour le matériau acier de construction :

$$Y_{M0} = 1 ; Y_{M1} = 1 ; Y_{M2} = 1,25.$$

6.2 Résistance des sections transversales

6.2.1 Généralités

(1)P Dans chaque section transversale, la valeur de calcul d'une sollicitation ne doit pas excéder la résistance de calcul correspondante, et si plusieurs sollicitations agissent simultanément, leurs effets combinés ne doivent pas excéder la résistance pour cette combinaison.

6.2.3 Traction

(1)P La valeur de calcul de l'effort de traction N_{Ed} dans chaque section transversale doit satisfaire la condition suivante :

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad \dots (6.5)$$

(2) Pour les sections comportant des trous, il convient de prendre la valeur de calcul $N_{t,Rd}$ de la résistance à la traction égale à la plus petite des valeurs suivantes :

a) la valeur de calcul de la résistance plastique de la section transversale brute :

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad \dots (6.6)$$

b) la valeur de calcul de la résistance ultime de la section transversale nette au droit des trous de fixation :

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad \dots (6.7)$$

(3) Lorsqu'un dimensionnement en capacité est exigé, voir l'EN 1998, il est recommandé que la valeur de calcul $N_{pl,Rd}$ de la résistance plastique (telle que donnée en 6.2.3(2) a)) soit inférieure à la valeur de calcul $N_{u,Rd}$ de la résistance ultime de la section nette au droit des trous de fixation (telle que donnée en 6.2.3(2)b)).

(4) Dans les assemblages de catégorie C (voir l'EN 1993-1-8, 3.4.1(1)), il convient que la valeur de calcul $N_{t,Rd}$ de la résistance à la traction de la section nette au droit des trous de fixation telle que définie en 6.2.3(1) soit prise égale à $N_{net,Rd}$ où :

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \dots (6.8)$$

(5) Pour les cornières assemblées par une seule aile, voir également l'EN 1993-1-8, 3.10.3. Il convient de traiter de façon similaire les autres types de sections assemblées par des parois en console.

6.2.4 Compression

(1)P La valeur de calcul de l'effort de compression N_{Ed} dans chaque section transversale doit satisfaire la condition suivante :

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad \dots (6.9)$$

(2) Il convient de déterminer la valeur de calcul $N_{c,Rd}$ de la résistance de la section transversale à la compression uniforme de la façon suivante :

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pour les sections transversales de Classe 1, 2 ou 3} \quad \dots (6.10)$$

6.3 Résistance des barres aux instabilités

6.3.1 Barres uniformes comprimées

6.3.1.1 Résistance au flambement

(1) Il convient de vérifier une barre comprimée vis-à-vis du flambement de la façon suivante :

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad \dots (6.46)$$

où :

N_{Ed} est la valeur de calcul de l'effort de compression ;

$N_{b,Rd}$ est la résistance de calcul de la barre comprimée au flambement.

(2) Dans le cas de barres comportant des sections asymétriques de Classe 4, il convient de prendre en compte le moment additionnel ΔM_{Ed} provoqué par l'excentrement de l'axe neutre de la section efficace, voir également 6.2.2.5 (4), et de vérifier l'interaction selon 6.3.4 ou 6.3.3.

(3) Il convient de prendre la résistance de calcul d'une barre comprimée au flambement égale à :

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{pour les sections transversales de Classes 1, 2 et 3} \quad \dots (6.47)$$

6.3.1.2 Courbes de flambement

(1) Dans le cas de barres axialement comprimées, il convient de déterminer, pour l'élongement réduit $\bar{\lambda}$ approprié, la valeur de χ à partir de la courbe de flambement concernée, en appliquant :

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{mais } \chi \leq 1,0 \quad \dots (6.49)$$

où :

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad \text{pour les sections transversales de Classes 1, 2 et 3 ;}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \quad \text{pour les sections transversales de Classe 4 ;}$$

α est un facteur d'imperfection ;

N_{cr} est l'effort normal critique de flambement élastique pour le mode de flambement approprié, basé sur les propriétés de section transversale brute.

(2) Il convient de prendre dans le Tableau 6.1 le facteur d'imperfection α correspondant à la courbe de flambement appropriée tirée du Tableau 6.2.

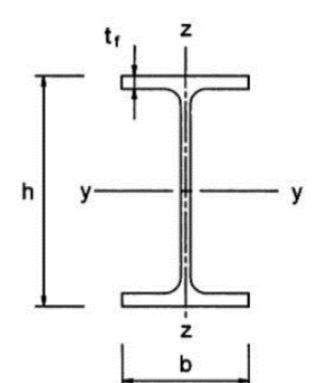
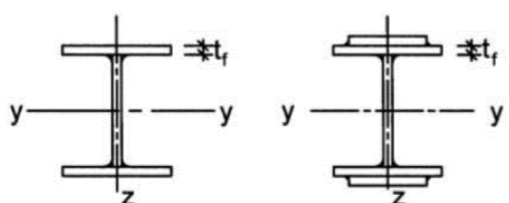

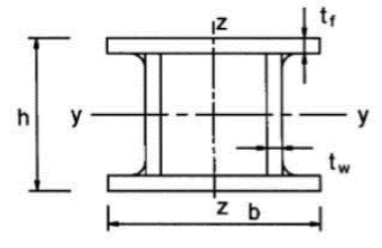
Tableau 6.1 — Facteurs d'imperfection pour les courbes de flambement

Courbe de flambement	a_0	a	b	c	d
Facteur d'imperfection α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

(3) Les valeurs du coefficient de réduction χ pour l'élongement réduit $\bar{\lambda}$ approprié peuvent être tirées de la Figure 6.4.

(4) Pour un élongement $\bar{\lambda} \leq 0,2$ ou pour $\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0,04$, les effets du flambement peuvent être négligés et seules les vérifications de sections transversales s'appliquent.

Tableau 6.2 — Choix de la courbe de flambement pour une section transversale

Section transversale	Limites	Flambement Selon l'axe	Courbe de flambement	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
 Sections en I laminées	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40$ mm y-y z-z	a	a_0
			40 mm < $t_f \leq 100$ y-y z-z	b
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100$ mm y-y z-z	b	a
			$t_f > 100$ mm y-y z-z	d
 Sections en I soudées	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	b	b
	$t_f > 40$ mm	y-y z-z	c	c
 Sections creuses	Finies à chaud	Quelconque	a	a_0
	Formées à froid	Quelconque	c	c
 Sections en caisson soudées	En général (sauf comme indiqué ci-dessous)	Quelconque	b	b
	Soud. épais : $a > 0,5 t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	Quelconque	c	c

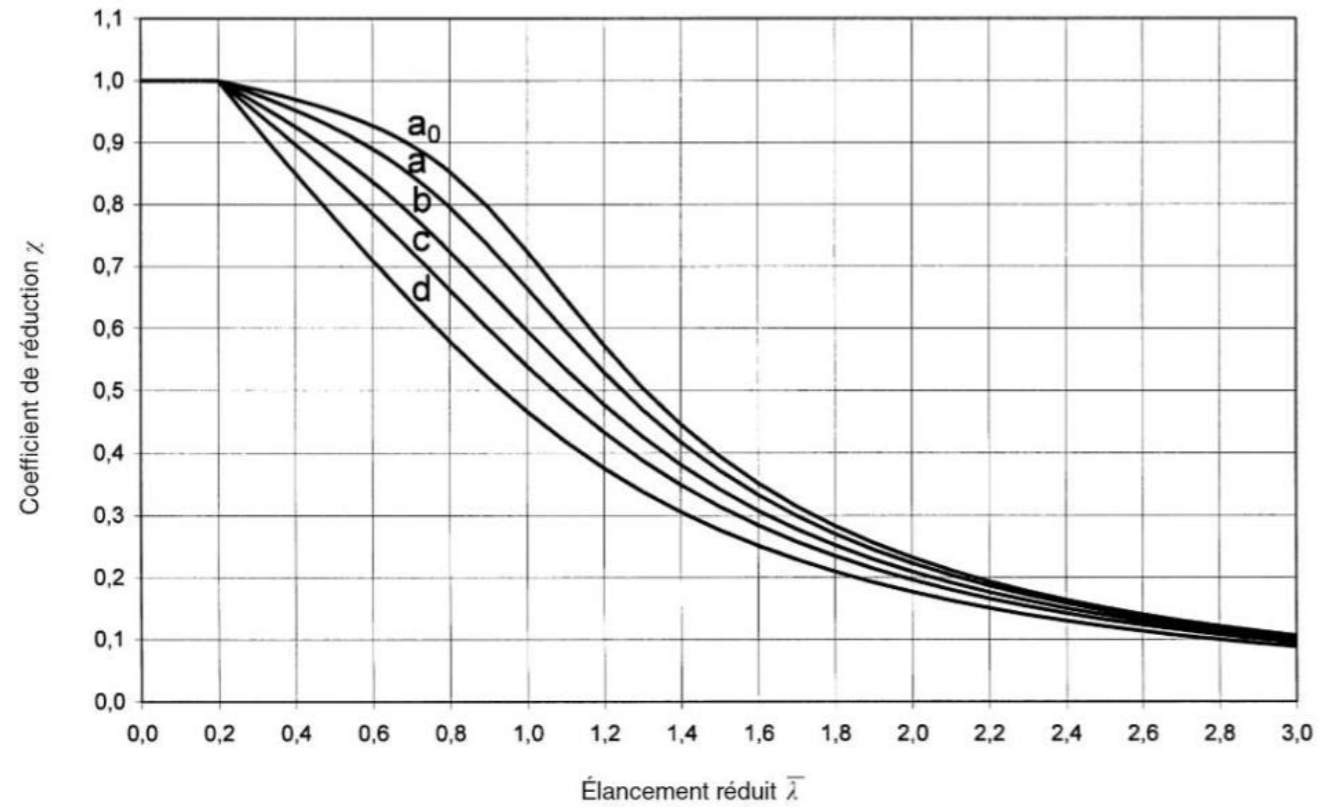


Figure 6.4 — Courbes de flambement

6.3.1.3 Élançement pour le flambement par flexion

(1) L'élançement réduit $\bar{\lambda}$ est donné par les expressions suivantes :

$$\bar{\lambda} = \frac{\sqrt{A f_y}}{\sqrt{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1} \quad \text{pour les sections transversales de Classes 1, 2 et 3} \quad \dots (6.50)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\sqrt{A_{eff} f_y}}{\sqrt{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{\sqrt{\frac{A_{eff}}{A}}}{\lambda_1} \quad \text{pour les sections transversales de Classe 4} \quad \dots (6.51)$$

où :

L_{cr} est la longueur de flambement dans le plan de flambement considéré ;

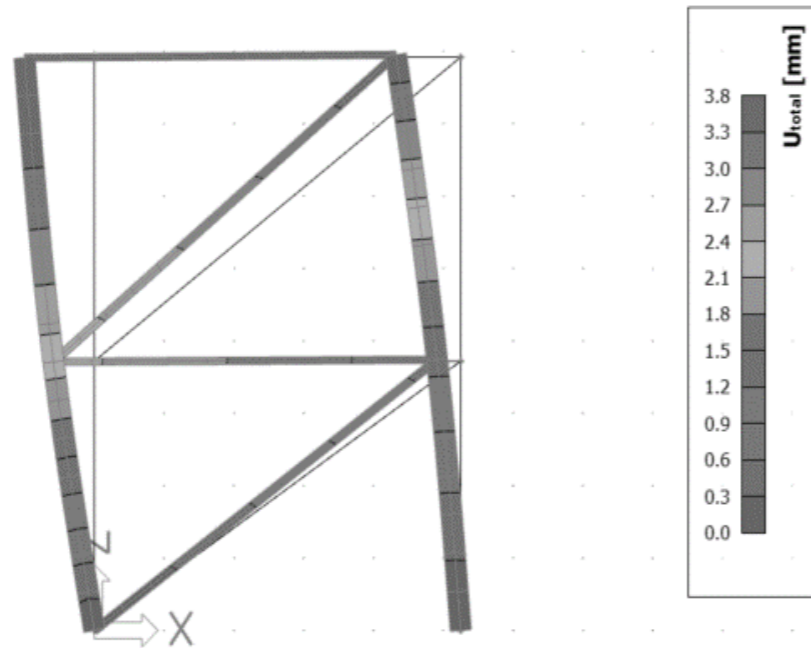
i est le rayon de giration par rapport à l'axe approprié, déterminé en utilisant les propriétés de section transversale brute

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (f_y \text{ en N/mm}^2)$$

Déplacements 3D

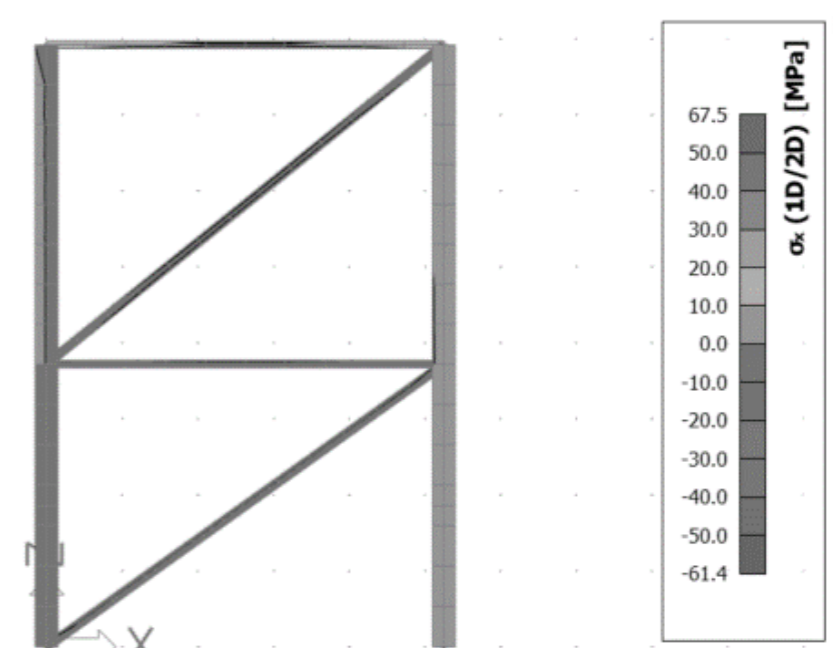
Valeur: U_{total}
 Calcul linéaire
 Combinaison: ELS-Car (auto)2
 Sélection: Tout
 Position: Aux noeuds, pas de
 moyenne. Système: SCL maillage EF



Modèle 1
 Résultats 1

Contraintes 3D

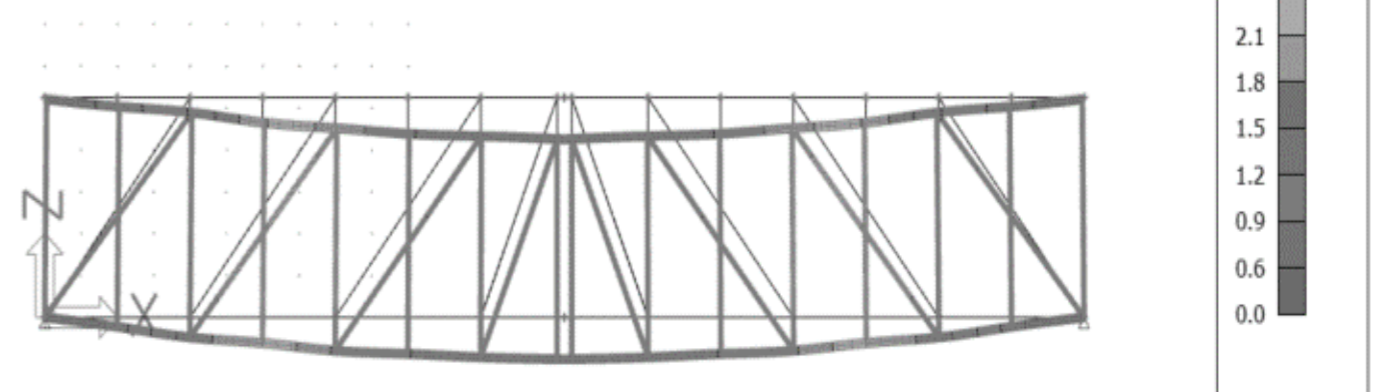
Valeur: σ_x (1D/2D)
 Calcul linéaire
 Combinaison: ELU-Set B (auto)
 Sélection: Tout
 Position: Aux noeuds, pas de
 moyenne. Système: SCL maillage EF
 Valeurs de base



Modèle 1
 Résultats 2

Déplacements 3D

Valeur: U_{total}
 Calcul linéaire
 Combinaison: ELS-Car (auto)2
 Sélection: Tout
 Position: Aux noeuds, moyenne sur
 macro. Système: SCL maillage EF



Modèle 2
 Résultats 1

Tableau 3.3 — Pincés longitudinales et transversales, entraxes minimum et maximum

Distances et entraxes voir Figure 3.1	Minimum	Maximum ^{1) 2) 3)}		
		Structures réalisées en aciers conformes à l'EN 10025 à l'exception des aciers conformes à l'EN 10025-5		Structures réalisées en aciers conformes à l'EN 10025-5
		Acier exposé aux intempéries ou autres influences corrosives	Acier non exposé aux intempéries ou autres influences corrosives	Acier utilisé sans protection
Pince longitudinale e_1	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Maximum de $8t$ ou 125 mm
Pince transversale e_2	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		Maximum de $8t$ ou 125 mm
Distance e_3 pour les trous oblongs	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Distance e_4 pour les trous oblongs	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Entraxe p_1	$2,2d_0$	Minimum de $14t$ ou 200 mm	Minimum de $14t$ ou 200 mm	Minimum de $14t_{\min}$ ou 175 mm
Entraxe $p_{1,0}$		Minimum de $14t$ ou 200 mm		
Entraxe $p_{1,i}$		Minimum de $28t$ ou 400 mm		
Entraxe p_2 ⁵⁾	$2,4d_0$	Minimum de $14t$ ou 200 mm	Minimum de $14t$ ou 200 mm	Minimum de $14t_{\min}$ ou 175 mm

1) Il n'y a pas de valeurs maximales d'entraxe, de pincés longitudinale et transversale, sauf dans les cas suivants :

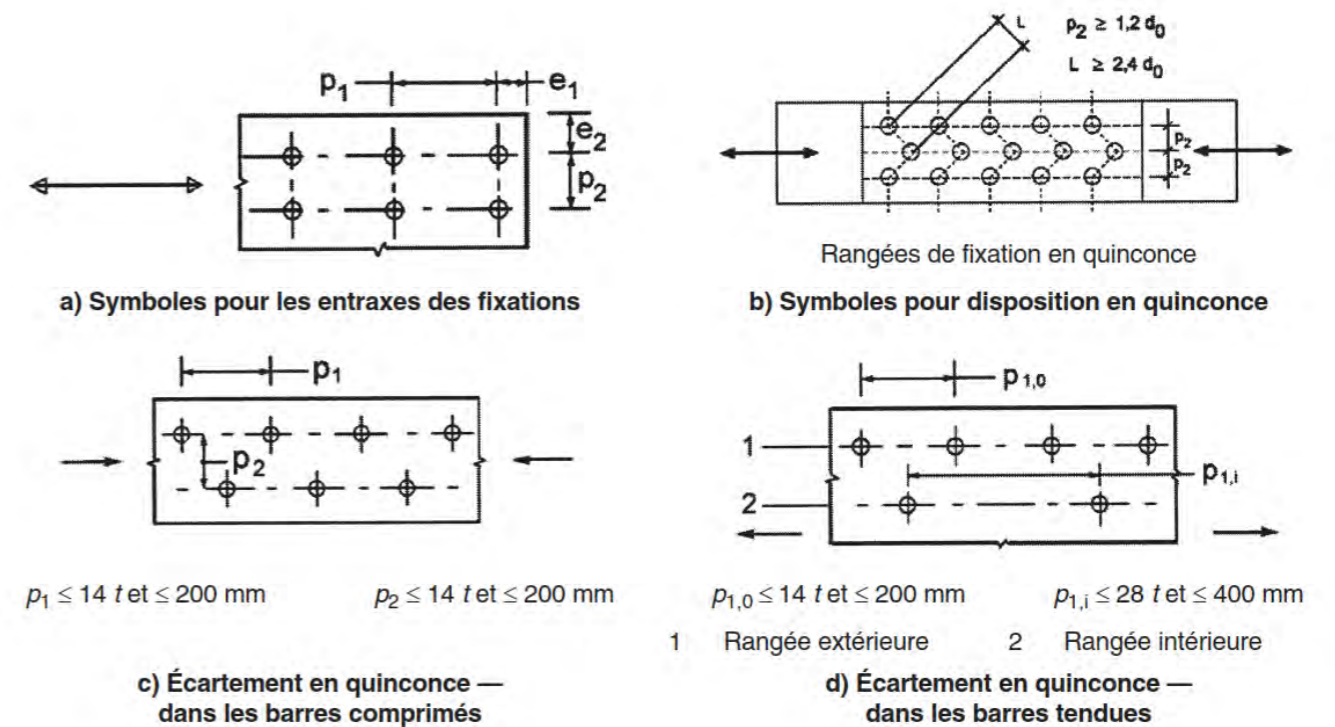
- pour les barres comprimées afin d'éviter le voilement local et prévenir la corrosion dans les barres exposées (les valeurs limites sont données dans le Tableau) et ;
- pour les barres tendues exposées afin de prévenir la corrosion (les valeurs limites sont données dans le Tableau).

2) Il convient de calculer la résistance au voilement local de la plaque comprimée entre les fixations conformément à l'EN 1993-1-1 en utilisant $0,6 p_i$ comme longueur de flambement. Il est inutile de vérifier le voilement local entre les fixations si p_i/t est inférieur à 9. Il convient que la pince transversale n'excède pas les exigences concernant le voilement local pour un élément en console dans les barres comprimées, voir l'EN 1993-1-1. La pince longitudinale n'est pas affectée par cette exigence.

3) t est l'épaisseur de la pièce attachée extérieure la plus mince.

4) Les limites dimensionnelles des trous oblongs sont données en 1.2, Normes de Référence : Groupe 7.

5) Pour les rangées de fixations en quinconce, un écartement minimum entre rangées $p_2 = 1,2d_0$ peut être utilisé, à condition que la distance minimum, L , entre deux fixations quelconques soit supérieure ou égale à $2,4d_0$, voir Figure 3.1 (b).



Clause 2.2(2)

Les valeurs à utiliser sont les suivantes :

$$\gamma_{M2} = 1,25 ; \gamma_{M3} = 1,1 ; \gamma_{M3,ser} = 1,25 ; \gamma_{M4} = 1,0 ; \gamma_{M5} = 1,0 ; \gamma_{M6,ser} = 1,0 ; \gamma_{M7} = 1,1 .$$

NOTE Dans l'état actuel de l'EN 1993-1-8:2005 et de son corrigendum AC :2005, le coefficient γ_{M7} n'est pas directement utilisé dans les formules de dimensionnement des assemblages.

Tableau 3.4 — Résistance de calcul individuelle pour les fixations sollicitées au cisaillement et/ou à la traction

Mode de ruine	Boulons	Rivets
Résistance au cisaillement par plan de cisaillement	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ <ul style="list-style-type: none"> — lorsque le plan de cisaillement passe par la partie filetée du boulon (A est l'aire de la section résistante en traction du boulon A_s) : <ul style="list-style-type: none"> - pour les classes 4.6, 5.6 et 8.8 : $\alpha_v = 0,6$ - pour les classes 4.8, 5.8, 6.8 et 10.9 : $\alpha_v = 0,5$ — lorsque le plan de cisaillement passe par la partie non filetée du boulon (A est l'aire de la section brute du boulon) : $\alpha_v = 0,6$ 	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$
Résistance en pression diamétrale 1), 2), 3)	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u dt}{\gamma_{M2}}$ <p>où α_b est la plus petite des valeurs de α_d ; $\frac{f_{ub}}{f_u}$ ou 1,0 ; dans la direction des efforts :</p> <ul style="list-style-type: none"> — pour boulons de rive : $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$; pour boulons intérieurs $\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$ <p>perpendiculairement à la direction des efforts :</p> <ul style="list-style-type: none"> — pour boulons de rive : k_1 est la plus petite valeur de $(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7)$, $(1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7)$ et 2,5 — pour boulons intérieurs : k_1 est la plus petite valeur de $(1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7)$ et 2,5 	
Résistance à la traction 2)	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>où $k_2 = 0,63$ pour un boulon à tête fraisée, sinon $k_2 = 0,9$.</p>	$F_{t,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$
Résistance au poinçonnement	$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$	Vérification sans objet
Cisaillement et traction combinés	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$	

- 1) La résistance en pression diamétrale $F_{b,Rd}$ pour les boulons utilisés
- dans des trous surdimensionnés, est 0,8 fois la résistance en pression diamétrale des boulons utilisés dans des trous normaux.
 - dans des trous oblongs, lorsque l'axe longitudinal du trou oblong est perpendiculaire à la direction des efforts, est 0,6 fois la résistance en pression diamétrale des boulons utilisés dans des trous circulaires normaux.
- 2) Pour les boulons à tête fraisée :
- il convient de calculer la résistance en pression diamétrale $F_{b,Rd}$ avec une épaisseur de plaque t égale à l'épaisseur de la plaque attachée diminuée de la moitié de la profondeur de fraisage.
 - pour la détermination de la résistance à la traction $F_{t,Rd}$ il convient que l'angle et la profondeur de fraisage soient conformes aux dispositions données en 1.2.4, Normes de Référence: Groupe 4, sinon il convient d'adapter la résistance à la traction $F_{t,Rd}$ en conséquence.
- 3) Lorsque la charge appliquée sur un boulon n'est pas parallèle au bord de la pièce, la résistance en pression diamétrale peut être vérifiée séparément pour les composants de l'effort appliqué au boulon parallèlement et perpendiculairement au bord.

Tableau 3.1 — Valeurs nominales de limite d'élasticité f_{yb} et de résistance ultime à la traction f_{ub} pour les boulons

Classe de boulon	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1 000

NOTE L'Annexe Nationale peut exclure certaines classes de boulons.

3.10.2 Calcul du cisaillement de bloc

(1) Le cisaillement de bloc consiste en une ruine par cisaillement au niveau de la rangée de boulons le long de la partie cisailée du contour du groupe de trous, accompagnée d'une rupture par traction le long de la file de trous de boulons sur la partie tendue du contour du groupe de boulons. La Figure 3.8 donne un exemple de cisaillement de bloc.

(2) Pour un groupe de boulons symétrique soumis à un chargement centré, la résistance de calcul au cisaillement de bloc, $V_{eff,1,Rd}$ est donnée par :

$$V_{eff,1,Rd} = f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1 / \sqrt{3}) f_y A_{nv} / \gamma_{M0} \quad \dots (3.9)$$

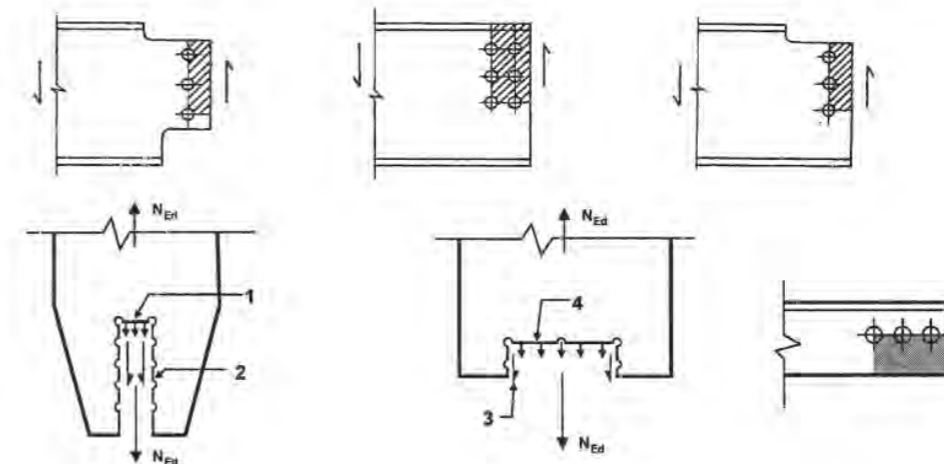
où :

A_{nt} aire nette soumise à la traction ;

A_{nv} aire nette soumise au cisaillement.

(3) Pour un groupe de boulons soumis à un chargement excentré, la résistance de calcul au cisaillement de bloc $V_{eff,2,Rd}$ est donnée par :

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 f_u A_{nt} / \gamma_{M2} + (1 / \sqrt{3}) f_y A_{nv} / \gamma_{M0} \quad \dots (3.10)$$



Légende

- 1 Effort de traction faible
- 2 Effort tranchant fort
- 3 Effort tranchant faible
- 4 Effort de traction fort

Figure 3.8 — Cisaillement de bloc

Principales caractéristiques géométriques des boulons										
Caractéristiques géométriques (mm, mm ²)										
Désignations	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
d	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
d ₀ trou normal	11	13	15	18	20	22	24	26	30	33
A	78,5	113	154	201	254	314	380	452	573	707
A _s	58	84,3	115	157	192	245	303	353	459	561
Φ rondelle	20	24	27	30	34	37	40	44	50	52
d _m	17,24	19,39	22,63	25,86	29,09	32,32	36,63	38,79	44,17	49,56

d diamètre nominal du boulon (celui de la partie non filetée).
d₀ diamètre du trou normal
A aire de la section de la tige lisse du boulon
A_s section résistante de la partie filetée
d_m moyenne entre surangle et surplat pour le calcul de B_{p,Rd} (valeurs pour les boulons HM uniquement).



PROFILS CREUX DE CONSTRUCTION FINIS À FROID

Norme de référence : NF EN 10219

État de surface : noir

Qualité de base : S235JRH

SECTIONS CARRÉES FORMÉES À FROID

DIAMÈTRE DE FLEXION mm	ÉPAISSEUR mm	MASSE LINÉIQUE kg/ m	AIRE DE SECTION TRANSVERSALE cm ²	MOMENT D'INERTIE DE FLEXION cm ⁴	RAYON DE GIRATION cm
60 x 60	4	6,71	8,55	43,55	3,26
	5	8,13	10,36	50,5	2,21
70 x 70	2	4,19	5,34	40,7	2,76
	3	6,13	7,81	57,52	2,71
	4	7,97	10,15	72,12	2,67
	5	9,7	12,36	84,63	2,62
80 x 80	2	4,82	6,14	61,7	3,17
	3	7,07	9,01	87,84	3,12
	3,5	8,16	10,4	99,8	3,1
	4	9,22	11,75	111,04	3,07
	5	11,27	14,36	131,44	3,03
	6	13,21	16,83	149,18	2,98
90 x 90	3	8,01	10,21	127,28	3,53
	4	10,48	13,35	161,91	3,48
	5	12,84	16,36	192,92	3,43
	6	15,1	19,23	220,47	3,39
100 x 100	3	8,96	11,41	177,04	3,94
	4	11,73	14,95	226,34	3,89
	5	14,41	18,36	271,09	3,84
	6	16,98	21,63	311,46	3,79
	7	19,1	24,4	337	3,72
120 x 120	3	10,84	13,81	312,33	4,76
	4	14,25	18,15	402,26	4,71
	5	17,55	22,36	485,45	4,66

DIAMÈTRE EXTÉRIEUR mm	ÉPAISSEUR mm	Module de flexion élastique cm ³	Module de flexion plastique cm ³	Moment d'inertie de torsion cm ⁴	Module de torsion cm ³	Surface superficielle par m de long. m ² /m	Longueur nominale par tonne m
60 x 60	4	14,52	17,64	72,64	21,97	0,235	149
	5	16,83	20,88	86,42	25,61	0,235	123
70 x 70	2	11,6	13,5	64	17,5	0,273	239
	3	16,44	19,41	92,42	24,74	0,275	163
	4	20,6	24,75	118,52	31,11	0,275	126
	5	24,18	29,55	142,21	36,65	0,275	103
80 x 80	2	15,4	17,8	96,3	23,2	0,313	208
	3	21,96	25,78	139,93	33,02	0,315	141
	3,5	25	29,5	161	37,6	0,308	123
	4	27,76	33,07	180,44	41,84	0,315	108
	5	32,86	39,73	217,83	49,68	0,315	89
	6	37,29	45,78	252,07	56,59	0,315	76
90 x 90	3	28,28	33,04	201,42	42,51	0,355	125
	4	35,98	42,58	260,8	54,17	0,355	95
	5	42,87	51,41	316,26	64,7	0,355	78
	6	48,99	59,54	367,76	74,16	0,355	66
100 x 100	3	35,41	41,21	278,68	53,19	0,395	112
	4	45,27	53,3	362,01	68,1	0,395	85
	5	54,22	64,59	440,52	81,72	0,395	69
	6	62,29	75,09	514,16	94,12	0,395	59
	7	67,4	82,7	583	105	0,370	52,3
120 x 120	3	52,06	60,23	487,72	78,15	0,475	92
	4	67,04	78,32	636,57	100,75	0,475	70
	5	80,91	95,44	778,5	121,75	0,475	57

Document technique DT8 : Données et montage du bardage

Extrait du CCTP du lot 03 – Couverture – Bardage – Etanchéité :

03.3.2 1 – Bardage métallique double peau : première peau et isolation

Fourniture et pose d'un bardage extérieur à double peau, dont la première peau et l'isolation comprendra les éléments suivants :

- Un plateau support de bardage en acier laqué perforé de type Hacierba d'Arcelor Mittal ou équivalent, fixé sur la structure de la façade, adapté à l'épaisseur de l'isolant. Hauteur 400mm. Référence suivant portée entre poteaux épaisseur de l'isolant.
- Une bavette en aluminium thermolaqué en parties haute et basse,
- Une isolation en 2 couches croisées de laine de verre de type Isobardage 32 d'épaisseur 12 cm d'une part et Cladipan 32 d'épaisseur 13 cm d'autre part, ou similaires respectant les résultats de l'étude thermique,
- Un pare-pluie rigide non-tissé, sous forme de membrane bicouche, de chez DÖRKEN ou équivalent, constitué d'un géotextile polyester très résistance à la rupture et à l'abrasion, associé à une résine polyacrylique noire perméable à la vapeur d'eau. Le produit sera conforme aux Critères Généraux de choix des Matériaux du D.T.U. 31.2. et présentant un coefficient de résistance à la diffusion de la vapeur μ et une résistance mécanique conformes à la réglementation.

Étanchéité W1 (EN 13859-2 et EN 1928).

Réaction au feu : M1 (ou Euroclasse B).

Isolation acoustique : $R_w + C_{tr} \geq 31$ dB pour les locaux courants.

Isolation acoustique : $R_w + C_{tr} \geq 41$ dB pour les locaux bruyants (local CTA)

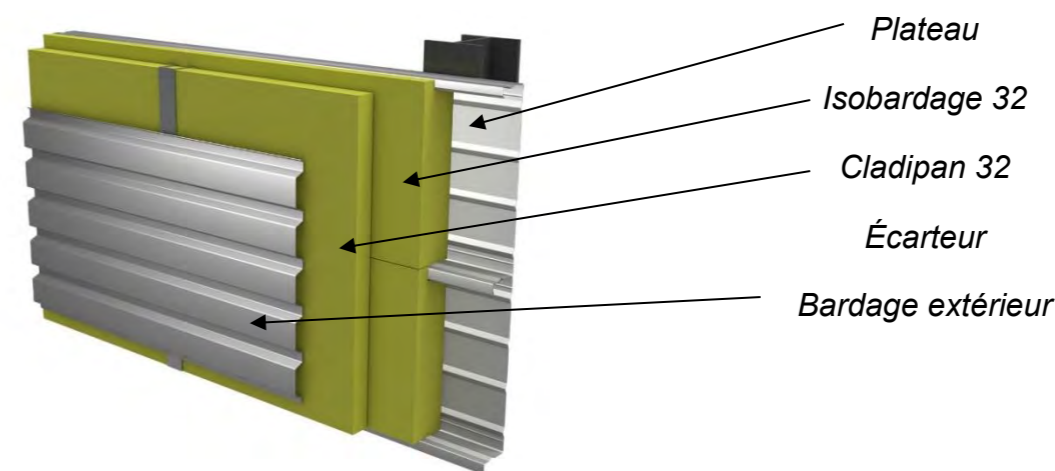
Le pare-pluie devra impérativement être continu sur toute la surface de l'enveloppe des bâtiments, compris liaisons sur soubassements et toutes sujétions de raccords aux niveaux des ouvertures en façades.

03.3.4 1 - Bardage métallique en bacs acier laqué

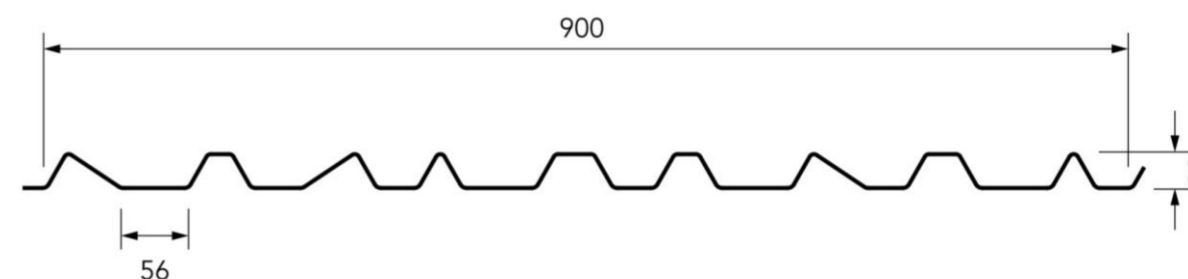
Fourniture et pose d'un bardage métallique type Trapeza ou Eclectic en acier laqué de chez Arcelor Mittal ou similaire.

Référence et couleur au choix de l'architecte dans la gamme du fabricant.

Mise en œuvre du bardage par vissage sur une ossature verticale



Principe Première peau avec finition bardage



Coupe de profil Panneaux Eclectic® ArcelorMittal

Données techniques complémentaires :

- Dimensions des plateaux : hauteur : 400 mm, profondeur : 90 mm
- Entraxe des écarteurs « Z » : 1 m
- Masse linéique des écarteurs Z : 2.15 kg/m
- Vissage : une fixation par croisement plateau/ossature Z et une fixation par croisement onde/écarteur
- Valeur estimée des ponts thermiques localisés :
 - Lèvres du plateau : $\psi_{\text{levres plateaux}} = 0.036$ W/m.K
 - Écarteur : $\psi_{\text{écarteur}} = 0.018$ W/m.K
 - Liaison ponctuelle plateau avec écarteur : $\chi_{\text{plat-ecart}} = 0.018$ W/K
 - Vis : $\chi_{\text{vis}} = 0.022$ W/K

Quantités totales en Œuvre :

Surface de bardage Eternite :

Surface de bardage métallique :

Surface de première peau :

Surface de bardage Polycarbonate :

Périmètre de bardage :

Document technique DT9 : Données sur les isolants thermiques

Isobardage 32



ASSOCIATION POUR LA CERTIFICATION DES MATERIAUX ISOLANTS
ASSOCIATION DECLAREE (LOI DU 1ER JUILLET 1901) ORGANISME CERTIFICATEUR DECLARE (LOI 94-442 DU 3 JUIN 1994)
CSTB - LNE



CERTIFICAT ACERMI
N° 08/018/544

Licence n° 08/018/544

CARACTÉRISTIQUES CERTIFIÉES

Certified properties

ACCREDITATION
N°5-0019
PORTEE
DISPONIBLE SUR
WWW.COFRAC.FR
Édition 17

CONDUCTIVITÉ THERMIQUE CERTIFIÉE : $\lambda_0 = 0.032$ W/(m.K)

Certified thermal conductivity:

Épaisseur (mm)	Résistance thermique - <i>Thermal resistance</i>										
	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
R (m ² .K/W)	1,85	2,00	2,15	2,30	2,50	2,65	2,80	2,95	3,10	3,25	3,40
Épaisseur (mm)	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
R (m ² .K/W)	3,55	3,75	3,90	4,05	4,20	4,35	4,50	4,65	4,80	5,00	5,15
Épaisseur (mm)	170	175	180	185	190	195	200	-	-	-	-
R (m ² .K/W)	5,30	5,45	5,60	5,75	5,90	6,05	6,25	-	-	-	-

Unité fonctionnelle : 1m² d'isolant en laine de verre permettant d'assurer la fonction d'isolation thermique avec une résistance thermique de R = 4.10 K.m²/W (hors accessoires de pose) pour une application d'isolation thermo-acoustique des bardages métalliques, sur la base d'une durée de vie de référence de 50 ans.

	Étape de production	Étape du process de construction	Étape d'utilisation	Étape de fin de vie	Total cycle de vie
Réchauffement climatique (kg CO2 eq.)	6,63e+0	1,74e+0	0,00e+0	3,69e-2	8,40e+0
Appauvrissement de la couche d'ozone (kg CFC-11 eq.)	5,45e-7	2,79e-7	0,00e+0	9,65e-9	8,34e-7
Acidification des sols et de l'eau (kg SO2 eq.)	2,41e-2	4,43e-3	0,00e+0	1,95e-4	2,87e-2
Eutrophisation (kg (PO4)3- eq.)	6,22e-3	1,16e-3	0,00e+0	4,66e-5	7,43e-3
Formation d'ozone photochimique (kg C2H4 eq.)	1,33e-3	2,73e-4	0,00e+0	1,63e-5	1,62e-3
Épuisement des ressources abiotiques - éléments (kg Sb eq.)	2,53e-4	5,26e-6	0,00e+0	1,90e-7	2,58e-4
Épuisement des ressources abiotiques - combustibles fossiles (MJ)	1,07e+2	2,27e+1	0,00e+0	8,04e-1	1,31e+2
Pollution de l'air (m ³)	5,65e+2	1,45e+2	0,00e+0	4,88e+0	7,15e+2
Pollution de l'eau (m ³)	1,80e+0	7,80e-1	0,00e+0	2,66e-2	2,61e+0

Cladipan 32



ASSOCIATION POUR LA CERTIFICATION DES MATERIAUX ISOLANTS
ASSOCIATION DECLAREE (LOI DU 1ER JUILLET 1901) ORGANISME CERTIFICATEUR DECLARE (LOI 94-442 DU 3 JUIN 1994)
CSTB - LNE



CERTIFICAT ACERMI
N° 06/018/428

Licence n° 06/018/428

CARACTÉRISTIQUES CERTIFIÉES

Certified properties

ACCREDITATION
N°5-0019
PORTEE
DISPONIBLE SUR
WWW.COFRAC.FR
Édition 13

CONDUCTIVITÉ THERMIQUE CERTIFIÉE : $\lambda_0 = 0.032$ W/(m.K)

Certified thermal conductivity:

Épaisseur (mm)	Résistance thermique - <i>Thermal resistance</i>									
	90	100	110	120	130	140	150	-	-	-
R (m ² .K/W)	2,80	3,15	3,45	3,75	4,10	4,40	4,70	-	-	-

Unité fonctionnelle : 1 m² d'isolant en laine de verre permettant d'assurer la fonction d'isolation thermique avec une résistance thermique de R = 3,7 K.m²/W (hors accessoires de pose) pour une application d'isolation par l'extérieur des bardages, sur la base d'une durée de vie de 50 ans.

	Étape de production	Étape du processus de construction	Étape d'utilisation	Étape de fin de vie	Total cycle de vie
Réchauffement climatique (kg CO2 eq.)	4,78E+00	6,20E-01	0,00E+00	4,24E-02	5,44E+00
Appauvrissement de la couche d'ozone (kg CFC-11 eq.)	4,06E-07	8,74E-08	0,00E+00	9,10E-09	5,02E-07
Acidification des sols et de l'eau (kg SO2 eq.)	3,38E-02	1,85E-03	0,00E+00	2,24E-04	3,58E-02
Eutrophisation (kg (PO4)3- eq.)	9,02E-03	4,88E-04	0,00E+00	4,82E-05	9,56E-03
Formation d'ozone photochimique (kg C2H4 eq.)	4,44E-03	1,63E-04	0,00E+00	1,85E-05	4,62E-03
Épuisement des ressources abiotiques - éléments (kg Sb eq.)	2,66E-04	5,38E-06	0,00E+00	1,74E-07	2,70E-04
Épuisement des ressources abiotiques - combustibles fossiles (MJ)	7,70E+01	7,64E+00	0,00E+00	8,48E-01	8,56E+01
Pollution de l'air (m ³)	1,33E+03	6,70E+01	0,00E+00	5,42E+00	1,40E+03
Pollution de l'eau (m ³)	1,76E+00	2,56E-01	0,00E+00	2,62E-02	2,04E+00

Document technique DT10 : Données économiques et hypothèses

Prix fournisseurs :

Plateau de Bardage Hacierba 1.400.90BS longueur 6 m	82,30 € TTC
Panneaux Eclectic® ArceloMittal longueur 6 m	135,32 € TTC
Profil écarteur Zed ArcelorMittal longueur 5m	84.50 € TTC
Vis fixation bardage sur écarteurs, boîte de 100 pièces	90.90 € TTC
Vis fixation plateau sur ossature, boîte de 100 pièces	91.20 € TTC
Vis fixation écarteur sur plateaux, boîte de 100 pièces	76.80 € TTC
Panneau Cladipan ep.130 mm, 1,50 m x 0,51 m	89,71 € TTC
Rouleau Isobardage ep.120 mm, 1,50 m x 0,51 m	32,58 € TTC
Bavette de départ bardage thermolaqué aluminium 3,00 m	38,25 € TTC
Bavette bardage en tête thermolaqué aluminium 3,00 m	42,35 € TTC
Pare pluie, rouleau de 50 m x 1.75 m	459.95 € TTC

Temps unitaires :

Montage plateau	0,40 h/m ²
Montage lisses	0,17 h/m ²
Montage Peau extérieure	0.32 h/m ²
Pose isolant (y compris panneau et rouleau et pare pluie)	0,20 h/m ²
Pose des bavettes	0.10 h/m

Location de matériel :

Location nacelle élévatrice	211,60 € HT/jour
-----------------------------	------------------

Prise en compte des pertes et recouvrements estimés :

Sur les plateaux et bardages (y compris recouvrement) :	10 %
Sur les profilés :	5 %
Sur la visserie :	10 %
Sur les isolants et pare pluie :	15 %

Main d'œuvre :

Équipe composée de 3 ouvriers (1 CE + 2 N2)

DHMO productif du CE : 42.55 €/h

Données Pour ouvrier N2 :

Estimation des cotisations patronales : 78 %

Horaires travaillés : 40 h/semaine

Improductivité : 0,25 h/jour

Indice de rémunération : 185, base Fixe à 150,00 € et valeur du point à 8.98 €

Prime de panier : 13,30 € (25% soumise aux cotisations patronales)

Indemnité de transport zone 3 : 4,05 €/jour

Indemnité de trajet 3 : 4,35 €/jour

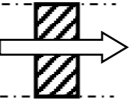
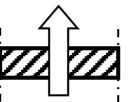
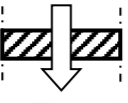
Prime d'outillage : 55 €/mois

Majoration des heures supplémentaires : 25% pour le 8 premières heures/semaine

Données pour calcul du coefficient de vente

Les frais de chantier prévisionnels s'élèvent à	6,00%	De DS
Les frais d'opération prévisionnels s'élèvent à	3,00%	De DS
Les frais généraux prévisionnels s'élèvent à	24,00%	Du CR du chantier
La marge bénéficiaire escomptée sur cette opération est de	2,50%	De PVHT

Résistance thermiques superficielles :

Paroi donnant sur : - l'extérieur - un passage ouvert - un local ouvert ⁽¹⁾	R_{si} m ² ·K·W ⁻¹	R_{se} ⁽²⁾ m ² ·K·W ⁻¹	R_{si} + R_{se} m ² ·K·W ⁻¹
Paroi verticale : Flux horizontal 	0,13	0,04	0,17
Paroi horizontale : Flux ascendant  Flux descendant 	0,10	0,04	0,14
	0,17	0,04	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 m²/m³. Ce peut être le cas par exemple, d'une circulation à l'air libre, pour des raisons de sécurité contre l'incendie.

(2) Si la paroi donne sur un autre local non chauffé, un comble ou un vide sanitaire, R_{si} s'applique des deux côtés.

Prise en compte des ponts thermiques interne au bardage :

ψ_i est le coefficient linéique du pont thermique intégré i, en W/(m.K) ;

L_i est le linéaire du pont thermique i, en m ;

χ_j est le coefficient ponctuel du pont thermique intégré j, en W/K ;

A est la surface totale de la paroi, en m². (le calcul sera pour 1m² courant)

On peut aussi réécrire cette relation sous la forme :

$$U_p = U_c + \Delta U$$

Le calcul du coefficient de transmission global d'une paroi peut se calculer au choix par utilisation de la formule (15) et des valeurs tabulées des coefficients ψ_i (W/(m.K)) et χ_j (W/K)

$$\Delta U = \frac{\psi_{levresplateaux} \cdot L_{levresplateaux} + \psi_{ecarteur} \cdot L_{ecarteur} + \chi_{plat-ecart} \cdot n_{plat-ecart}}{A} + \chi_{vis} \cdot d$$

Valeurs des pressions de vapeur saturante

Température sèche de l'air (°C)	Pression de vapeur saturante (Pa)	Température sèche de l'air (°C)	Pression de vapeur saturante (Pa)	Température sèche de l'air (°C)	Pression de vapeur saturante (Pa)	Température sèche de l'air (°C)	Pression de vapeur saturante (Pa)
-8	309	0	611	8	1073	16	1817
-7	337	1	657	9	1148	17	1937
-6	368	2	705	10	1228	18	2063
-5	401	3	758	11	1312	19	2197
-4	437	4	813	12	1402	20	2337
-3	476	5	872	13	1497	21	2486
-2	517	6	934	14	1598	22	2643
-1	562	7	1001	15	1705	23	2809

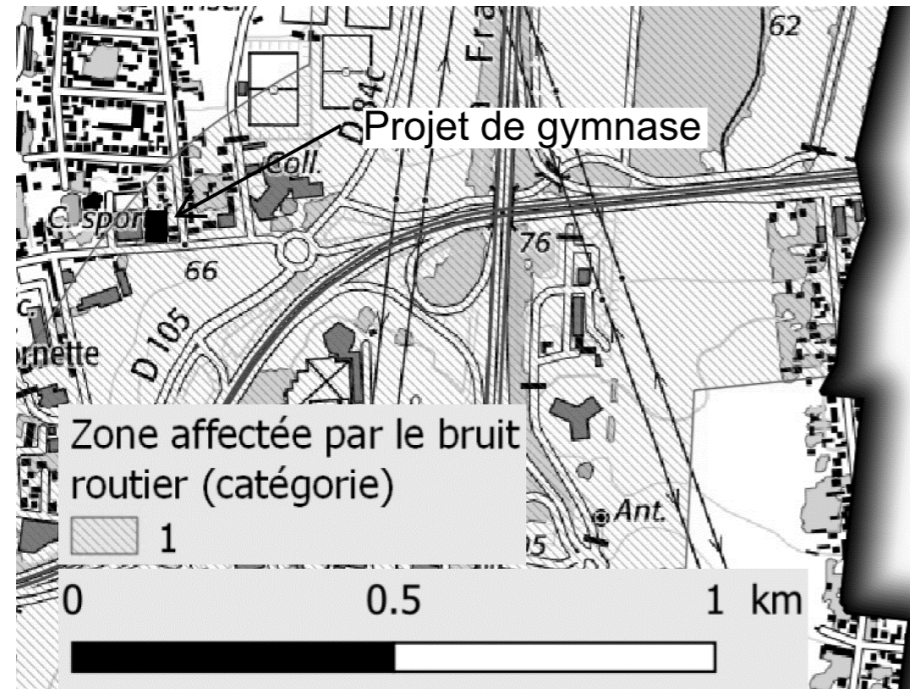
Perméabilité à la vapeur d'eau des produits du bardage :

Plateau perforé dans locaux courants
Isobardage
Cladipan
Delta®-Fassade 20
Eclectic® ArceloMittal

Négligeable
 $2,925 \cdot 10^{-7}$ kg/m · s · Pa
 $2,925 \cdot 10^{-7}$ kg/m · s · Pa
 $6,500 \cdot 10^{-9}$ kg/m · s · Pa
 $8,500 \cdot 10^{-9}$ kg/m · s · Pa

Document technique DT12 : Données acoustiques

Zonage des bruits routiers de Villeparisis



Arrêté du 23 juillet 2013 relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique $D_{nT,A,tr}$ des bâtiments dans les secteurs affectés par le bruit :

Distance (m)	10	15	20	25	30	40	50	65	80	100	125	160	200	250	300	
CATEGORIE	1	45	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32
	2	42	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	
	3	38	38	37	36	35	34	33	32	31	30					
	4	35	33	32	31	30										
	5	30														

La valeur requise est modulée selon les situations suivantes :

Angle de vue de l'axe α depuis la façade étudiée du bâtiment :

ANGLE DE VUE	CORRECTION
$\alpha < 135^\circ$	- 0 dB
$110^\circ < \alpha \leq 135^\circ$	- 1 dB
$90^\circ < \alpha \leq 110^\circ$	- 2 dB
$60^\circ < \alpha \leq 90^\circ$	- 3 dB
$30^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	- 4 dB
$15^\circ < \alpha \leq 30^\circ$	- 5 dB
$0^\circ < \alpha \leq 15^\circ$	- 6 dB
$\alpha = 0^\circ$ (façade arrière)	- 9 dB

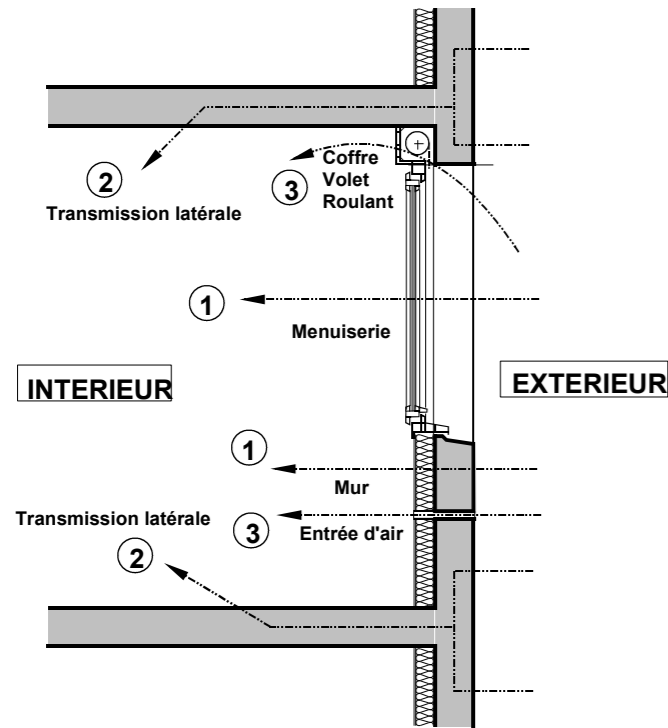
Protection des façades du bâtiment considéré par des écrans acoustiques ou des merlons continus en bordure de l'infrastructure

PROTECTION	CORRECTION
Pièce en zone de façade non protégée	- 0 dB
Pièce en zone de façade peu protégée	- 3 dB
Pièce en zone de façade très protégée	- 6 dB

Données complémentaires sur les performances acoustique des bardages du projet

Bardage Polycarbonate	$R_w + C_{tr} = 30$ dB	Surface = 105.86 m ²
Paroi verre Emalit	$R_w + C_{tr} = 29$ dB	Surface = 59.92 m ²
Bardage Equiton	$R_w + C_{tr} = 33$ dB	Surface = 78.27 m ²
Bardage métallique	à déterminer	Surface = 21.58 m ²
Volume espace sportif		Volume = 7212 m ³

TRANSMISSION DU BRUIT AU TRAVERS D'UNE FAÇADE



La puissance acoustique dans le local de réception provient des transmissions :

(1) Transmission directe au travers de l'élément façade : (puissance X_1)
Mur de façade ; menuiserie extérieure, ...

(2) Transmissions latérales par les parois liées à la façade : (puissance X_2)

(2) Transmission par les équipements situés en façade : (puissance X_3)
Entrée d'air, coffre de volet roulant, ...

(2) Transmission par les équipements situés en façade : (puissance X_3)
Entrée d'air, coffre de volet roulant, ...

Entrée d'air, coffre de volet roulant, ...

La puissance acoustique totale dans le local de réception sera :

$$X_4 = X_1 + X_2 + X_3$$

Nota : Le niveau de bruit perçu dans le local de réception dépend, aussi, de sa durée de réverbération

Pour chaque partie de l'élément de façade, la puissance acoustique : X_1 en μW est :	EN VERIFICATION	EN DETERMINATION
	$X_1 = S \cdot 10^{6 - \frac{[R_w + C_{tr}]}{10}}$	$[R_w + C_{tr}] \geq 60 - 10 \cdot \log \left[\frac{X_1}{S} \right]$

Si la paroi comporte plusieurs parties, la puissance totale est : $X_1 \text{ totale} = \sum X_1 \text{ élément}$.

TRANSMISSIONS LATÉRALES (Puissance X_2)

Négligé dans cette phase du projet devant l'ensemble des autres flux.

TRANSMISSION PAR LES EQUIPEMENTS (Puissance X_3)

Négligé dans cette phase du projet devant l'ensemble des autres flux.

EXPRESSION DE L'ISOLEMENT ACOUSTIQUE DE LA FAÇADE (AE 2)

En considérant une durée de réverbération de référence de 0,5 sec. , l'isolement, $D_{nT,A,tr}$ en dB, de l'élément de façade étudiée a pour expression :

EN VERIFICATION	EN DETERMINATION
$D_{nT,A,tr} = 10 \cdot \log \left[\frac{0,32 \cdot V}{X_4} \cdot 10^6 \right] \geq D_{nT,A,tr} \text{ exig.}$	$X_4 \leq 0,32 \cdot V \cdot 10^{6 - \frac{D_{nT,A,tr} \text{ exig}}{10}}$

V = volume du local de réception en m^3 .

$X_4 = X_1 + X_2 + X_3$ = puissance acoustique totale en μW

TRANSMISSIONS DIRECTES PAR LES PAROIS (Puissance X_1)

Chaque partie de paroi est caractérisée par :

$[R_w + C_{tr}]$ = son indice d'affaiblissement acoustique en dB.

S = sa surface en m^2 .

Promisole V

Déboursé sec estimé pour Promisol (pose comprise)

100 mm	120 mm	140 mm	160 mm	170 mm	180 mm	200 mm
150,51 €	160,91 €	171,31 €	181,71 €	186,91 €	192,11 €	202,51 €

Données thermiques pour Promisol



ASSOCIATION POUR LA CERTIFICATION DES MATERIAUX ISOLANTS
ASSOCIATION DECLAREE (LOI DU 1ER JUILLET 1901) ORGANISME CERTIFICATEUR DECLARE (LOI 94-442 DU 3 JUIN 1994)
CSTB - LNE

CERTIFICAT ACERMI
N° 16/193/1152
Licence n° 16/193/1152
CARACTÉRISTIQUES CERTIFIÉES
Certified properties



CONDUCTIVITÉ THERMIQUE CERTIFIÉE : $\lambda_p = 0.023$ W/(m.K)
Certified thermal conductivity:

Épaisseur (mm)	Résistance thermique - <i>Thermal resistance</i>										
	40	50	60	80	100	120	140	160	170	180	200
R (m².K/W)	1,65	2,10	2,55	3,40	4,30	5,15	6,00	6,90	7,30	7,75	8,65

RÉACTION AU FEU : Euroclasse **B-s1,d0** - Promisol V AMC 01 - de 40 à 200 mm
Reaction to fire: Euroclasse **B-s2,d0** - Frigotherm AMC 01 - de 40 à 50 mm
Euroclasse **B-s1,d0** - Frigotherm AMC 01 - de 60 à 200 mm

Données Acoustiques pour Promisol

Référence	Indice d'affaiblissement			R(dB) par octave (Hz) (Conversion d'essai en 1/3 d'octave)					
	Rw (c ;Ctr) dB	RA dB	RA,Tr dB	125	250	500	1000	2000	4000
Ondatherm T Promisao V et Promisol S	25(-1 ; -3)	24	22	13	21	22	21	29	38

Document technique DT14 – Fiches de Données Environnementale et Sanitaire (FDES)- Extraits.

Peau extérieure d'un bardage double peau de masse surfacique comprise entre 8 et 13,3 kg / m² (y compris fixation)

UF : Bardage - 1 m² - 50 ans

Indicateurs décrivant les impacts environnementaux	Unité	Étape de production	Étape de mise en œuvre	Étape de vie en œuvre	Étape de fin de vie	Total	D
Réchauffement climatique	kg eq, CO2	2,55E+01	1,89E+00	6,33E-03	1,19E-01	2,75E+01	-11,53
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg eq, CFC11	2,74E-07	2,05E-07	3,78E-10	1,84E-07	6,64E-07	6,46E-08
Acidification des sols et de l'eau	kg eq, SO2	7,27E-02	4,94E-03	3,42E-05	1,51E-03	7,92E-02	-2,28E-02
Eutrophisation	kg eq, PO43	6,21E-03	6,71E-04	1,94E-05	3,38E-04	7,24E-03	-1,84E-03
Formation d'ozone photochimique	kg eq, C2H4	1,83E-02	1,12E-03	3,16E-06	1,68E-04	1,96E-02	-5,24E-03

Plateau de bardage ou de couverture en acier de masse surfacique comprise entre 7,6 et 10,99 kg / m² (y compris fixation)

UF : Bardage - 1 m² - 50 ans

Indicateurs décrivant les impacts environnementaux	Unité	Étape de production	Étape de mise en œuvre	Étape de vie en œuvre	Étape de fin de vie	Total	D
Réchauffement climatique	kg eq, CO2	2,40E+01	1,50E+00	6,33E-03	1,16E-01	2,75E+01	-11,53
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg eq, CFC11	2,09E-07	2,03E-07	3,78E-10	1,78E-07	6,64E-07	6,46E-08
Acidification des sols et de l'eau	kg eq, SO2	6,75E-02	4,71E-03	3,42E-05	1,46E-03	7,92E-02	-2,28E-02
Eutrophisation	kg eq, PO43	5,85E-03	6,35E-04	1,94E-05	3,11E-04	7,24E-03	-1,84E-03
Formation d'ozone photochimique	kg eq, C2H4	1,59E-02	1,00E-03	3,16E-06	1,62E-04	1,96E-02	-5,24E-03

Pare pluie pour façade (y compris fixation)

UF : Étanchéité à l'eau liquide d'1 m² de façade pour une durée de vie de référence de 30 ans,

Indicateurs décrivant les impacts environnementaux	Unité	Étape de production	Étape de mise en œuvre	Étape de vie en œuvre	Étape de fin de vie	Total	D
Réchauffement climatique	kg eq, CO2	3,46e+0	3,00e-1	0,00e+0	3,83e-1	4,14e+0	
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg eq, CFC11	9,36e-8	2,12e-8	0,00e+0	2,30e-9	1,17e-7	
Acidification des sols et de l'eau	kg eq, SO2	1,86e-2	1,29e-3	0,00e+0	2,77e-4	2,01e-2	
Eutrophisation	kg eq, PO43	1,79e-3	1,87e-4	0,00e+0	3,64e-4	2,34e-3	
Formation d'ozone photochimique	kg eq, C2H4	3,83e-3	2,55e-4	0,00e+0	2,59e-4	4,34e-3	

Profilé métalliques (poutres, poutrelles... y compris fixation)

UF : Utiliser 1 kg de poutrelle en acier pour une durée de vie de référence de 50 ans

Indicateurs décrivant les impacts environnementaux	Unité	Étape de production	Étape de mise en œuvre	Étape de vie en œuvre	Étape de fin de vie	Total	D
Réchauffement climatique	kg eq, CO2	3,88e-1	5,78e-2	0,00e+0	4,50e-2	4,91e-1	
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg eq, CFC11	3,29e-9	8,57e-9	0,00e+0	7,45e-9	1,93e-8	
Acidification des sols et de l'eau	kg eq, SO2	9,23e-4	2,28e-4	0,00e+0	1,92e-4	1,34e-3	
Eutrophisation	kg eq, PO43	9,95e-5	3,88e-5	0,00e+0	3,37e-5	1,72e-4	
Formation d'ozone photochimique	kg eq, C2H4	1,31e-4	3,89e-5	0,00e+0	3,02e-5	2,00e-4	

Poutre en éléments minces formés à froid en acier à taux de recyclé minimum garanti utilisée comme panne, lisse ou solive (y compris fixation)

UF : Utiliser 1 kg de poutre en éléments minces en acier pour réaliser une fonction de panne, lisse ou solive, de forme Z, sigma ou C pour une durée de vie de référence de 50 ans

Indicateurs décrivant les impacts environnementaux	Unité	Étape de production	Étape de mise en œuvre	Étape de vie en œuvre	Étape de fin de vie	Total	D
Réchauffement climatique	kg eq, CO2	2,16e+0	3,59e-1	0,00e+0	6,27e-2	2,58e+0	
Appauvrissement de la couche d'ozone	kg eq, CFC11	2,17e-7	3,61e-8	0,00e+0	1,18e-8	2,65e-7	
Acidification des sols et de l'eau	kg eq, SO2	2,38e-2	2,93e-3	0,00e+0	3,36e-4	2,70e-2	
Eutrophisation	kg eq, PO43	4,44e-3	5,21e-4	0,00e+0	6,36e-5	5,02e-3	
Formation d'ozone photochimique	kg eq, C2H4	2,23e-3	4,17e-4	0,00e+0	5,10e-5	2,70e-3	

Méthode dynamique pour le calcul du bilan carbone d'ouvrage élémentaires

Dans la méthode dynamique, les impacts des émissions des gaz à effet de serre sont pondérés par un coefficient $f_{CO_2}(i)$ (graphique ci-contre) de pondération dont la valeur est dépendante de la date des émissions.

DVE_p et la durée de vie prévue du produit et PER la durée de vie estimée du bâtiment construit. DE_p^i est la donnée environnementale, ici, l'impact carbone.

Le calcul est décomposé en 4 modules de A à D.

Module A – Production et construction

$$\sum_{i=1}^{DVE_p} (DE_p^{Exploitation} + DE_p^{Mise\ en\ oeuvre}) \cdot f_{CO_2}(i) \cdot QT_{Util}$$

Avec $QT_{Util} = 1$ si élément utilisé sur tout son cycle,

ou $QT_{Util} = (\frac{PER}{DVE_p} - \text{Partie entière de } \frac{PER}{DVE_p})$ si l'élément est utilisé partiellement (et donc valorisé dans un autre bâtiment après déconstruction de l'ouvrage étudié)

Module B – Exploitation

$$\sum_{i=1}^{DVE_p} \frac{DE_p^{Exploitation}}{DVE_p} \cdot f_{CO_2}(i)$$

Module C – fin de vie

$$\sum_{i=1}^{DVE_p} DE_p^{Fin\ de\ vie} \cdot f_{CO_2}(i) \cdot QT_{Util}$$

Avec QT_{Util} calculé comme au module A

Module D – Valorisation et recyclage (seulement si données disponibles et validées)
Négligé pour l'instant devant les autres données.

Données d'impact carbone complémentaires issues de la base INIES

$I_{eau\ potable} = 2,35 \cdot 10^{-1} \text{ kg eq CO}_2/\text{m}^3$

$I_{eaux\ usées} = 3,62 \cdot 10^{-1} \text{ kg eq CO}_2/\text{m}^3$

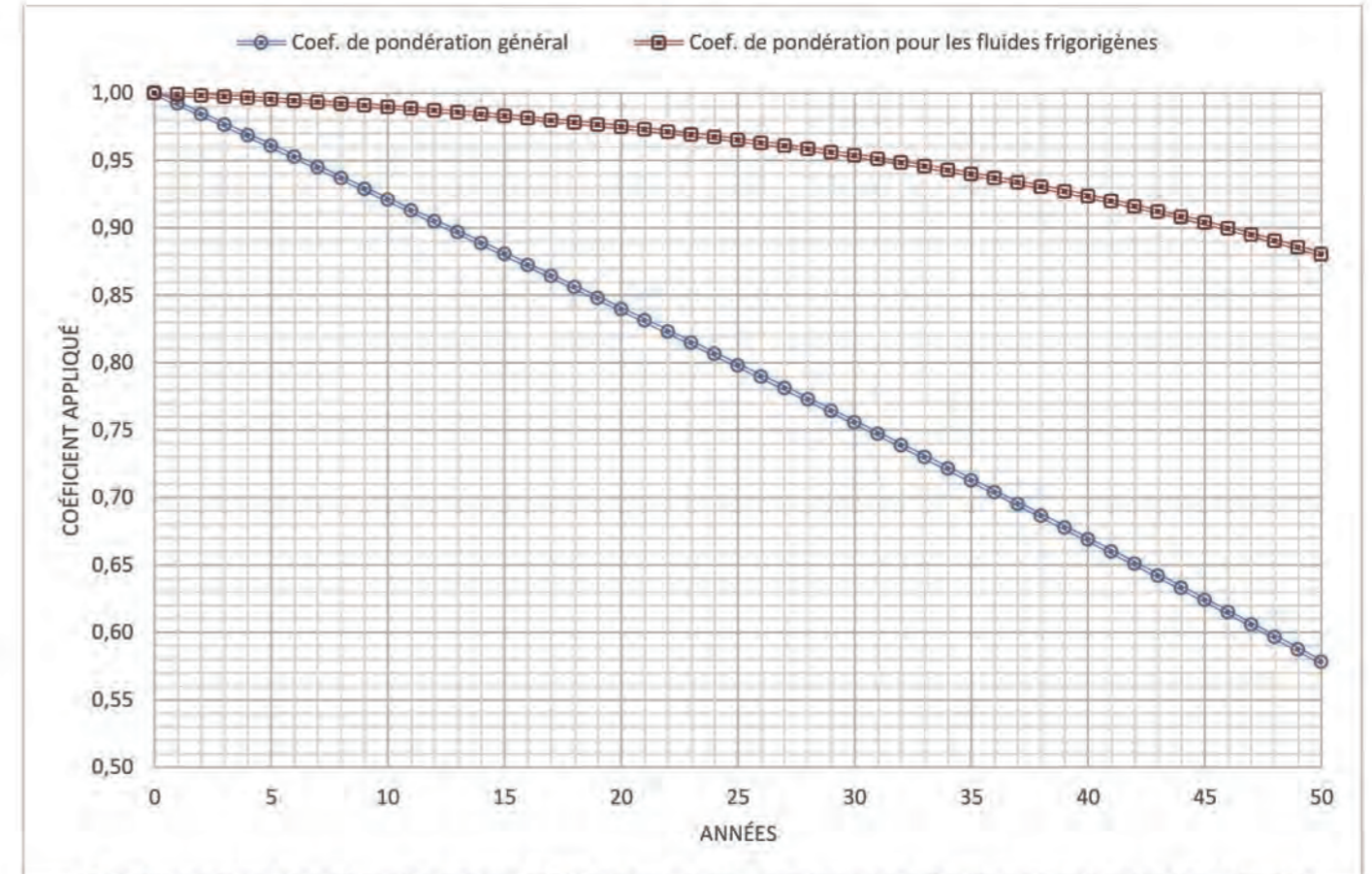
$I_{gasoil} = 3,37 \text{ kg eq CO}_2/\text{L}$

$I_{électricité} = 6,60 \cdot 10^{-2} \text{ kg eq CO}_2/\text{kWh}$

$I_{transport} = 1,70 \cdot 10^{-1} \text{ kgeqCO}_2/(\text{t}\cdot\text{km})$

Somme des coefficients de pondérations pour ACV

$$\sum_{i=1}^{DVE_p} f_{CO_2}(i) = 40.54$$



Coefficient de pondération pour ACV dynamique en fonction de l'année d'émission $f_{CO_2}(i)$

Méthode simplifiée d'estimation du bilan carbone du chantier

$$I_{chantier} = I_{énergie} + I_{eau} + I_{terres}$$

Pôle 1 : Énergie électrique :

Le calcul se base sur la présence de la grue, principale consommatrice, avec une séparation été hiver. Avec n exprimé en mois (été d'avril à septembre ; hiver d'octobre à mars).

$$Conso_{énergie} = 10400 \cdot n_{été\ grue} + 19500 \cdot n_{hiver\ grue} + 5200 \cdot n_{été\ sans\ grue} + 10400 \cdot n_{hiver\ sans\ grue}$$

$$I_{énergie} = Conso_{énergie} \cdot I_{électricité}$$

Avec : n : Nombre de mois, Ic : Impact carbone, Conso_{énergie} en (en kW·h).

Pôle 2 : Consommation d'eau potable et production d'eaux usées :

La consommation d'eau usée est équivalente à celle d'eau potable.

$$Conso_{EP} = Conso_{EU} = 60 \cdot n_{grue} + 40 \cdot n_{sans\ grue}$$

$$I_{eau} = Conso_{EP} \cdot (I_{eau\ potable} + I_{eaux\ usées})$$

Pôle 3 : Évacuation des terres :

Les terres importées sont prises en compte dans les ouvrages élémentaires.

$$I_{terres} = Vol_{terres\ évacuées} \cdot \epsilon_1 \cdot I_{gasoil}$$

Avec $\epsilon_1 = 1$ en litre de gasoil par m³ par défaut ; Vol_{terres évacuées} en m³.

(Semaines)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56						
Préparation				■																																																										
Installation - Terrassement - GO				■																	■																																									
Charpente métallique																				■																																										
Bardage - Couverture - Etanchéité																												■																																		
Menuiseries Aluminium - serrurerie																														■							■														■											
Menuiseries Bois																																						■																			■					
Cloisons - Doublage - Plafonds																																					■																									
Carrelage - Faïences - Résines - Peintures																																									■																					
Electricité				■									■																					■					■																							
Plomberie - Chauffage - Ventilation																																				■			■										■													
VRD										■																																																				
Réception																																																				■										

DOCUMENTS RÉPONSES

Tous les documents réponses doivent être rendus avec la ou les copies, mêmes non complétés

Document réponse DR1 : Contreventement – vent pignon
Document réponse DR2 : Liaison contreventement poteau
Document réponse DR3 : Déboursé sec pour 1m² de bardage
Document réponse DR4 : Température
Document réponse DR5 : Pressions saturantes et pressions réelles
Document réponse DR6 : Bilan carbone du bâtiment

Modèle CMEN v3

Nom de famille : (Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Candidat : **Né(e) le :** / /

Cadre réservé aux candidats de concours de recrutement et examens professionnels

Concours : **Option / Section :** **N° d'inscription :**

Cocher une seule case parmi les six types de concours suivants :

externe 3^e externe externe spécial interne ou 1^{er} interne 2nd interne 2nd interne spécial

Cocher public OU privé UNIQUEMENT pour les concours enseignants : public privé

Examen professionnel pour l'avancement au grade de :

Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général

Examen : **Série / Spécialité :**

Epreuve - Matière : **Session :**

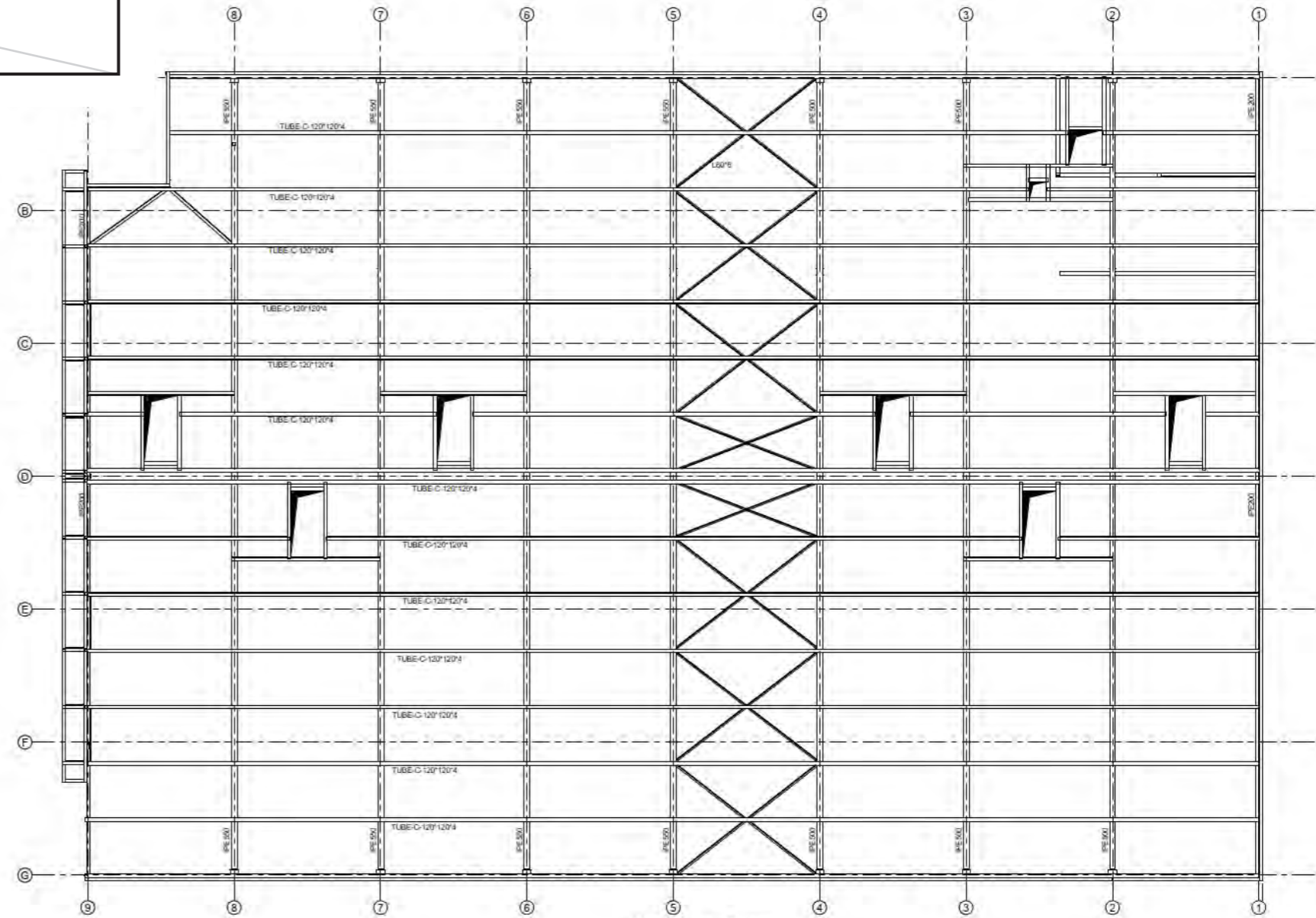
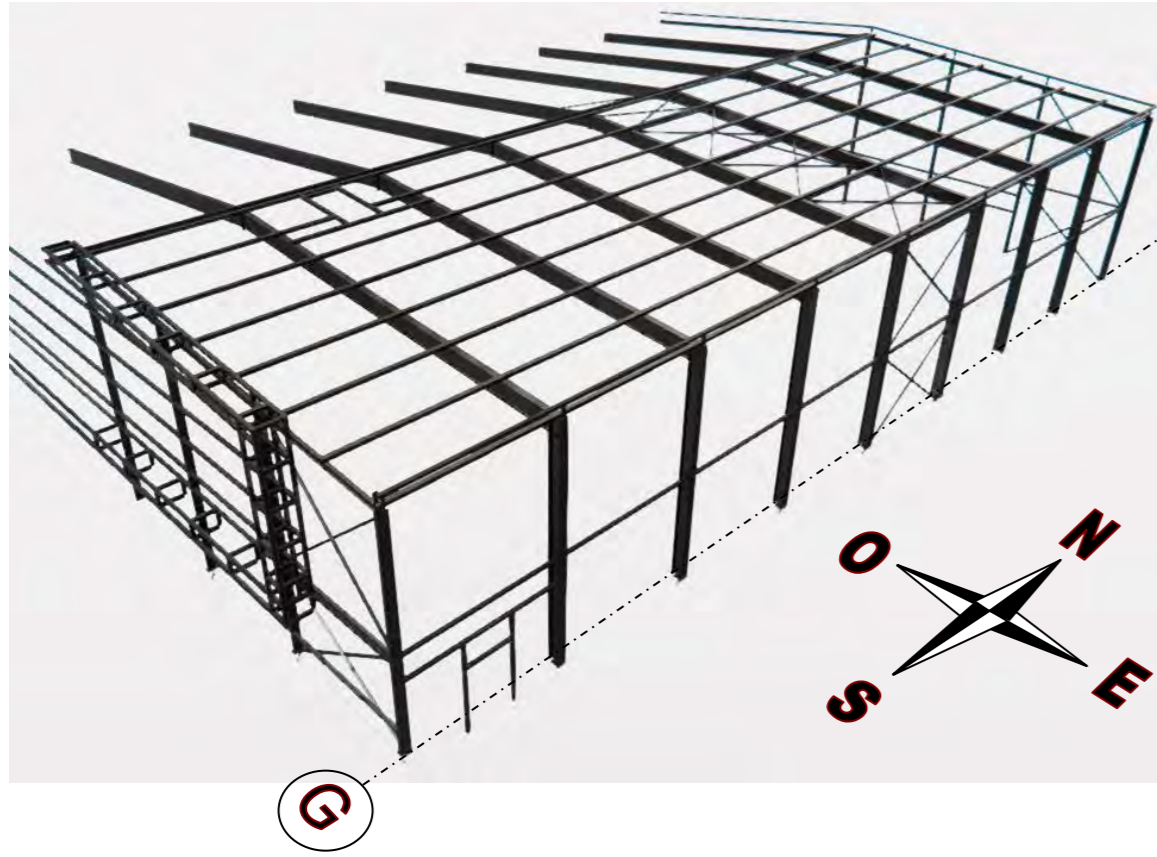
EDE ARC 1

DR1

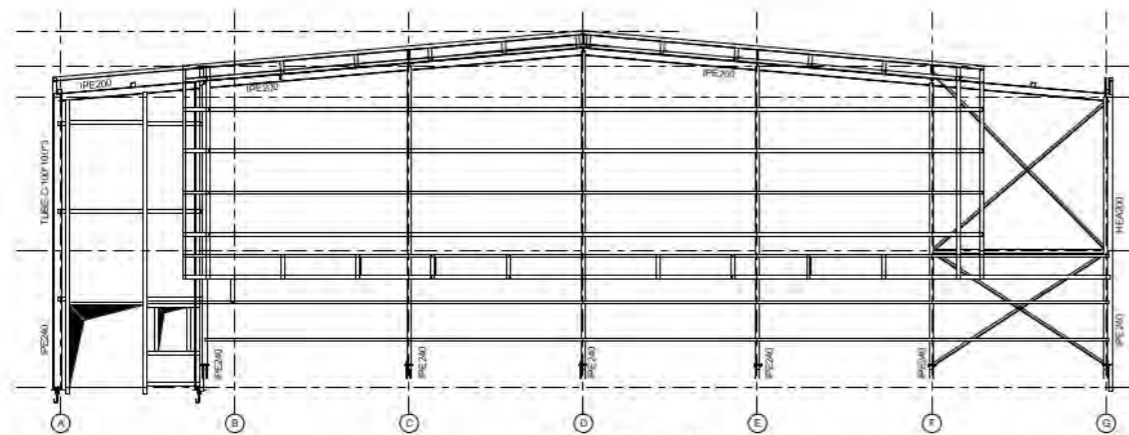
Tous les documents réponses sont à rendre, même non complétés.

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

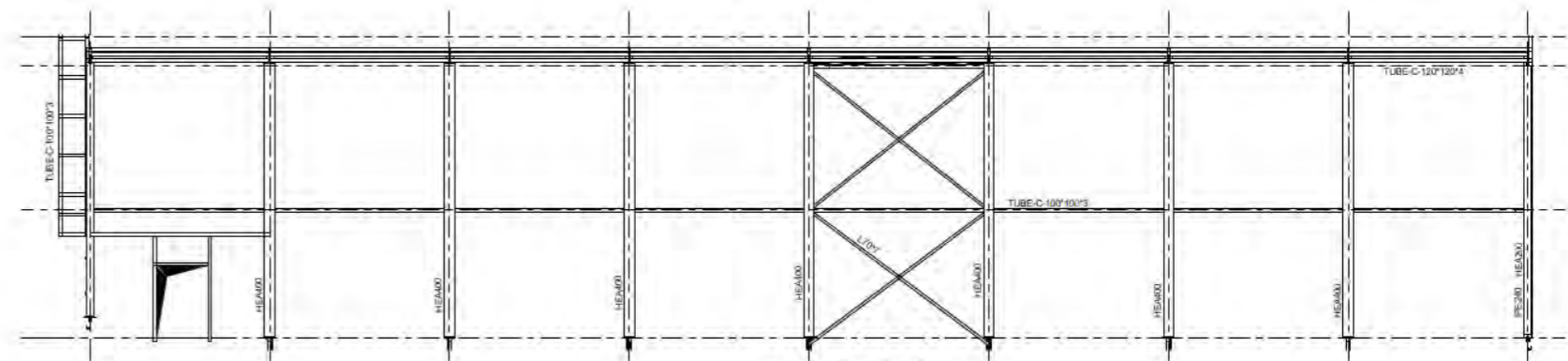
Document réponse DR1 : Contreventement- vent de pignon.



Vue en plan - Toiture



Pignon Sud - File 9



Long pan Est - File G

Modèle CMEN v3

Nom de famille : (Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Candidat : **Né(e) le :** / /

Cadre réservé aux candidats de concours de recrutement et examens professionnels

Concours : **Option / Section :** **N° d'inscription :**

Cocher une seule case parmi les six types de concours suivants :

externe 3^e externe externe spécial interne ou 1^{er} interne 2nd interne 2nd interne spécial

Cocher public OU privé UNIQUEMENT pour les concours enseignants : public privé

Examen professionnel pour l'avancement au grade de :

Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général

Examen : **Série / Spécialité :**

Epreuve - Matière : **Session :**

EDE ARC 1

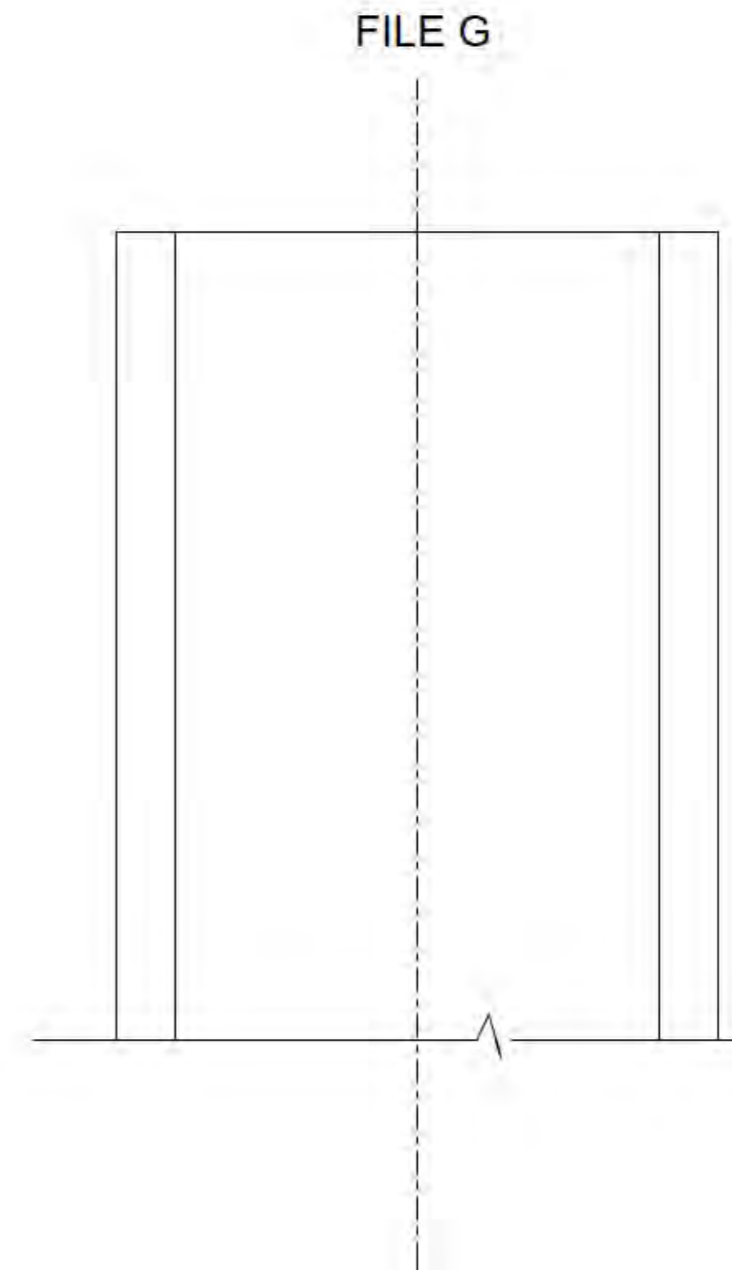
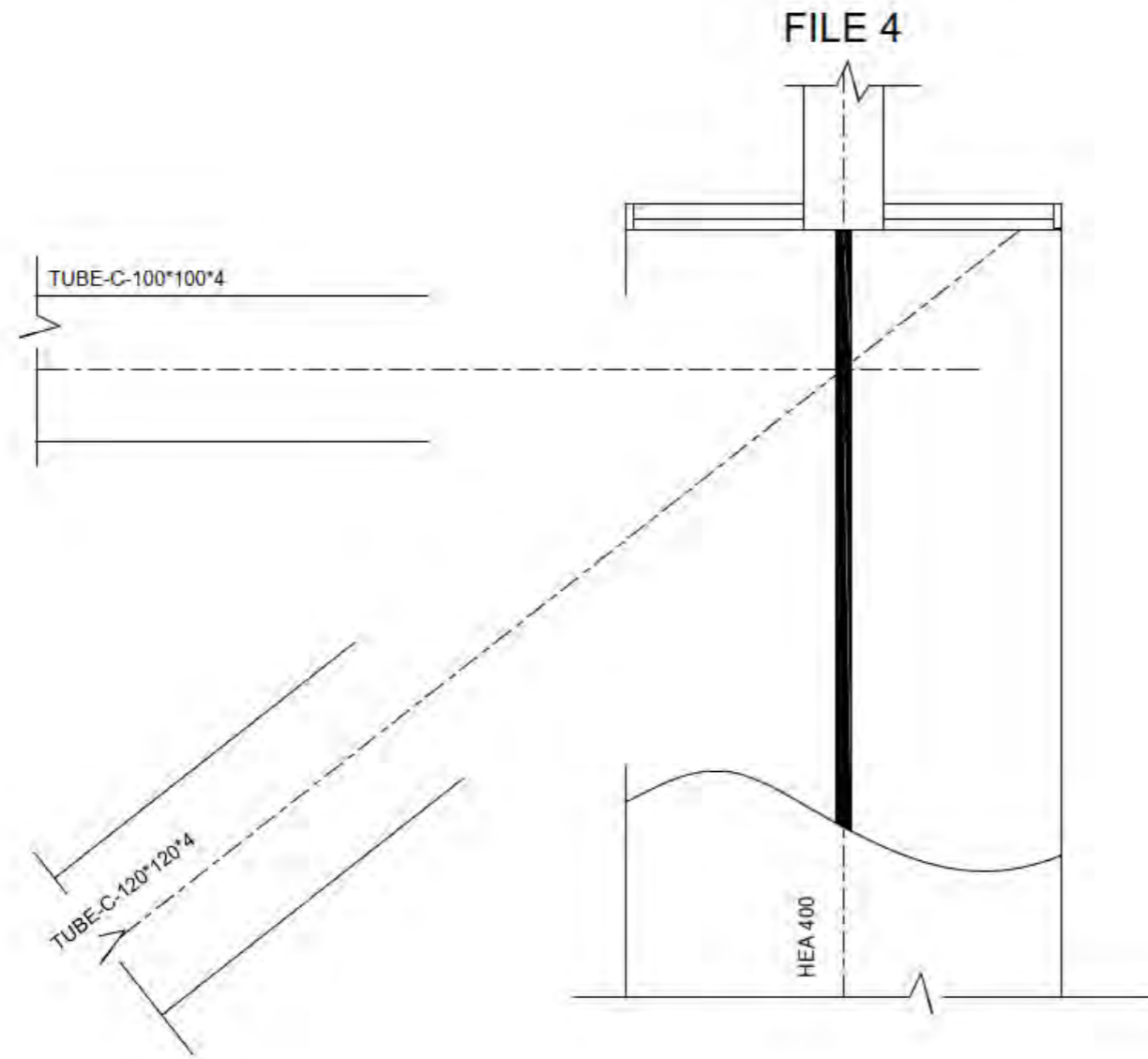
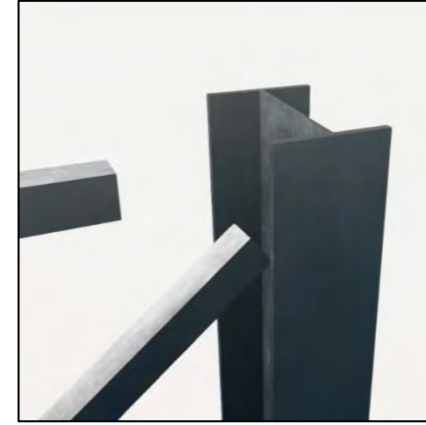
DR2

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

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Document réponse DR2 : LIAISON CONTREVENTEMENT POTEAU

ECH 1: 5



Nom de famille : (Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Candidat : **Né(e) le :** / /

Cadre réservé aux candidats de concours de recrutement et examens professionnels

Concours : **Option / Section :** **N° d'inscription :**
Cocher une seule case parmi les six types de concours suivants :
 externe 3^e externe externe spécial interne ou 1^{er} interne 2nd interne 2nd interne spécial
Cocher public OU privé UNIQUEMENT pour les concours enseignants : public privé
Examen professionnel pour l'avancement au grade de :

Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général

Examen : **Série / Spécialité :**
Epreuve - Matière : **Session :**

DR3 - DR4

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



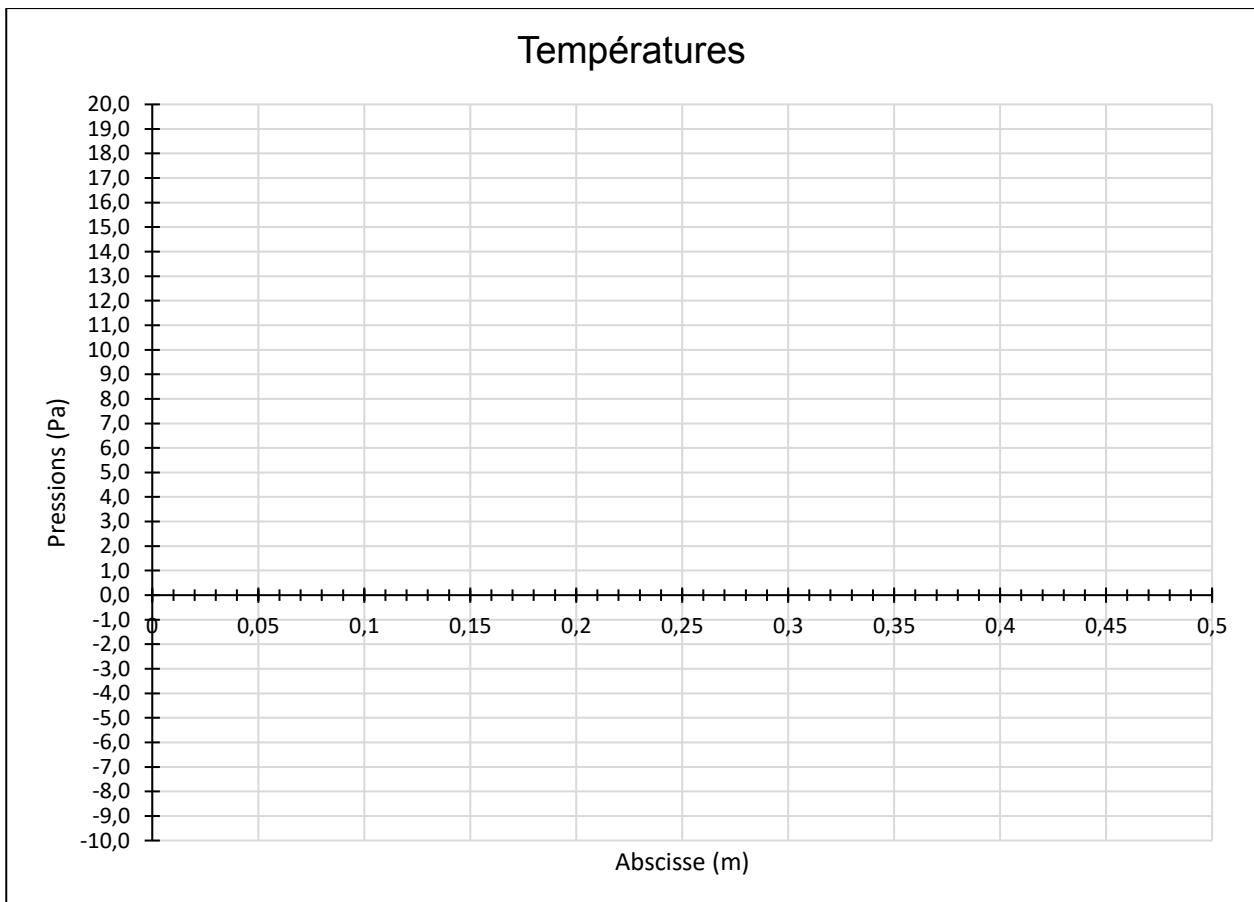
NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Document réponse DR4 : Température

Pressions saturantes aux interfaces des matériaux

matériaux	abscisse (m)	T (°C)	pression saturante (Pa)
ambiance intérieure			
ISO bardage 32	0		
Cladipan 32			
Pare Pluie			
ambiance extérieure			

Courbe des pressions saturantes et réelles dans le complexe de couverture



Modèle CMEN v3

Nom de famille :
(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



Prénom(s) :

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Numéro
Candidat :

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Né(e)
le :

		/			/																	
--	--	---	--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Cadre réservé aux candidats de concours de recrutement et examens professionnels

Concours : Option / Section :

N° d'inscription :

--	--	--

Cocher une seule case parmi les six types de concours suivants :

externe 3^e externe externe spécial interne ou 1^{er} interne 2nd interne 2nd interne spécial

Cocher public OU privé
UNIQUEMENT pour les
concours enseignants : public privé

Examen professionnel pour l'avancement au grade de :

Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général

Examen : Série / Spécialité :

Epreuve - Matière : Session :

EDE ARC 1

DR5

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

Tournez la page S.V.P.

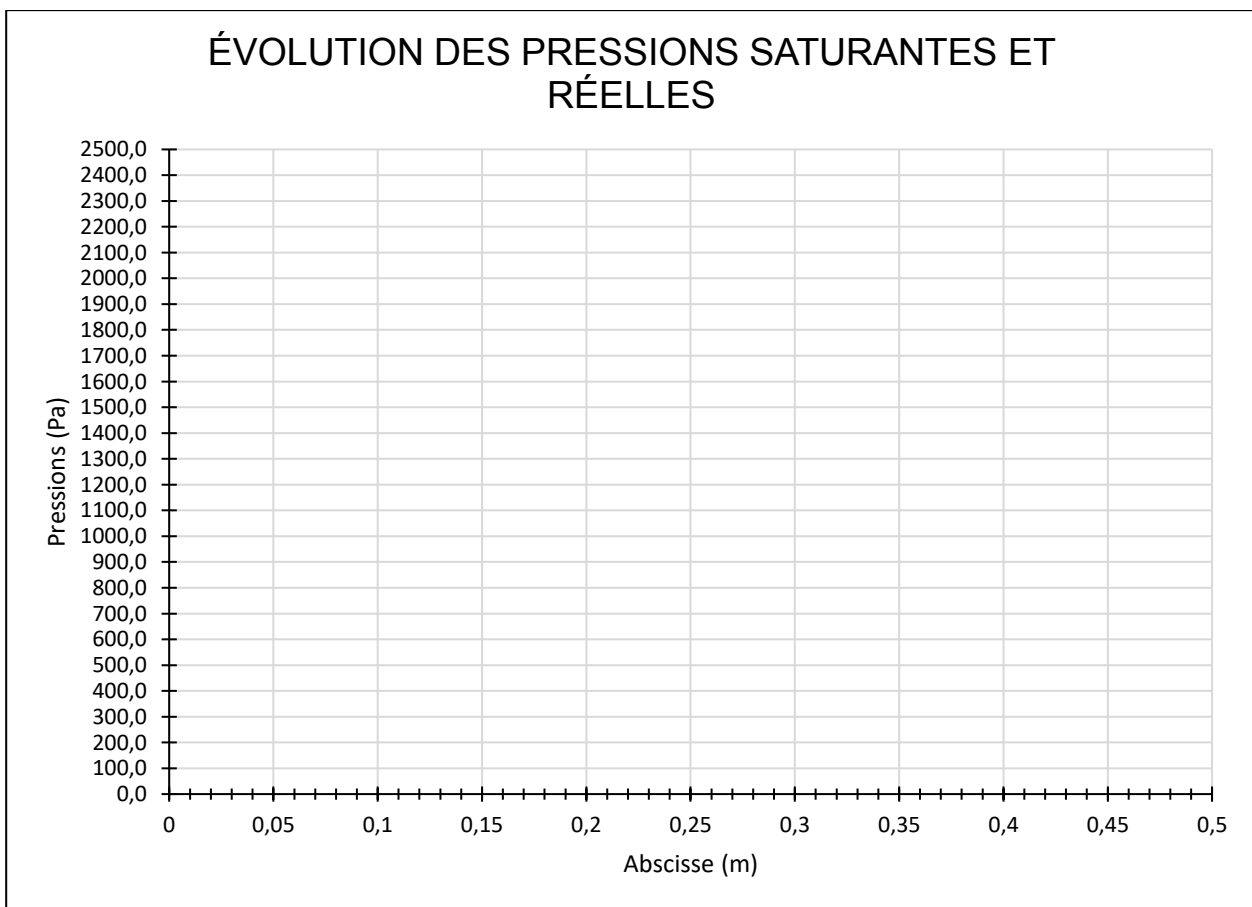


NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Pressions saturantes aux interfaces des matériaux

matériaux	abscisse (m)	T (°C)	pression saturante (Pa)
ambiance intérieure			
ISO bardage 32	0		
Cladipan 32			
Pare Pluie			
ambiance extérieure			

Courbe des pressions saturantes et réelles dans le complexe de couverture



Pressions réelles aux interfaces des matériaux

matériaux	abscisse (m)	coefficient de résistance à la diffusion de vapeur μ	ép. (m)	S_d (m)	pression réelle (Pa)
ambiance intérieure					
	0				
Plateau Hacierba					
ISO bardage 32					
Cladipan 32					
Pare Pluie					
Peau extérieure Trapeza					
ambiance extérieure					

Modèle CMEN v3

Nom de famille : (Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Candidat : **Né(e) le :** / /

Cadre réservé aux candidats de concours de recrutement et examens professionnels

Concours : **Option / Section :** **N° d'inscription :**

Cocher une seule case parmi les six types de concours suivants :

externe 3^e externe externe spécial interne ou 1^{er} interne 2nd interne 2nd interne spécial

Cocher public OU privé UNIQUEMENT pour les concours enseignants : public privé

Examen professionnel pour l'avancement au grade de :

Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général

Examen : **Série / Spécialité :**

Epreuve - Matière : **Session :**

EDE ARC 1

DR6

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

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Document technique DR6 : Bilan carbone du bâtiment

Lot de référence	Bilan carbone initial (Sans bardage)	Cas 1 : avec bardage ajouté		Cas 2 : avec récupération de profilés métalliques	
	<i>Kg eq CO₂</i>	<i>Kg eq CO₂</i>	<i>Kg eq CO₂ /m²</i>	<i>Kg eq CO₂</i>	<i>Kg eq CO₂ /m²</i>
1. VRD,	37679				
2. Fondations et infrastructures,	82171				
3. Superstructure – Maçonnerie,	243795				
4. Couverture – Etanchéité – Charpente – Zinguerie,	31408				
5. Cloisonnement – Doublage – Plafonds suspendus – Menuiseries intérieures,	35137				
6. Façades et menuiseries extérieures,	135640				
7. Revêtements des sols, murs et plafonds – Chape –Peintures – Produits de décoration	62081				
8. CVC (Chauffage – Ventilation – Refroidissement – Eau Chaude Sanitaire),	188400				
9. Installations sanitaire,	10800				
10. Réseaux d'énergie (courant fort),	139200				
11. Réseaux de communication (courant faible),	14400				
12. Appareils élévateurs et autres équipements de transport intérieur.	0				
13. Equipements de production locale d'électricité.	0				
Impact du chantier					
Total du Bilan					
Limite réglementaire proposée					