

SESSION 2024

---

**AGREGATION  
CONCOURS EXTERNE**

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

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

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

Durée : 6 heures

---

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

*L'usage de tout autre 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	Section/option	Epreuve	Matière
EAE	1416A	103	1268

## NOUVEAUX LOCAUX DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE D'INGÉNIEURS RÉUNION OCÉAN INDIEN (ESIROI)

### PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Le bâtiment de l'ESIROI est implanté sur le campus universitaire de Terre Sainte, à Saint Pierre de l'île de La Réunion. Ce bâtiment se veut innovant, il a été pensé dans une optique de respect de l'environnement et de résilience énergétique.



Source : LAB Réunion

Vue 3D Sud-Ouest



Source : APA-2APMR

Vue 3D Sud-Est



Source : APA-2APMR

### DÉMARCHE DU MAÎTRE D'OUVRAGE

Soucieux de créer un outil de formation innovant et respectueux de l'environnement, les solutions mises en œuvre ont été adaptées au climat tropical humide où les températures et le niveau d'humidité peuvent être très élevés. Le potentiel de ventilation conséquent et l'irradiation solaire importante toute l'année ont été également exploités afin de réduire l'impact environnemental.

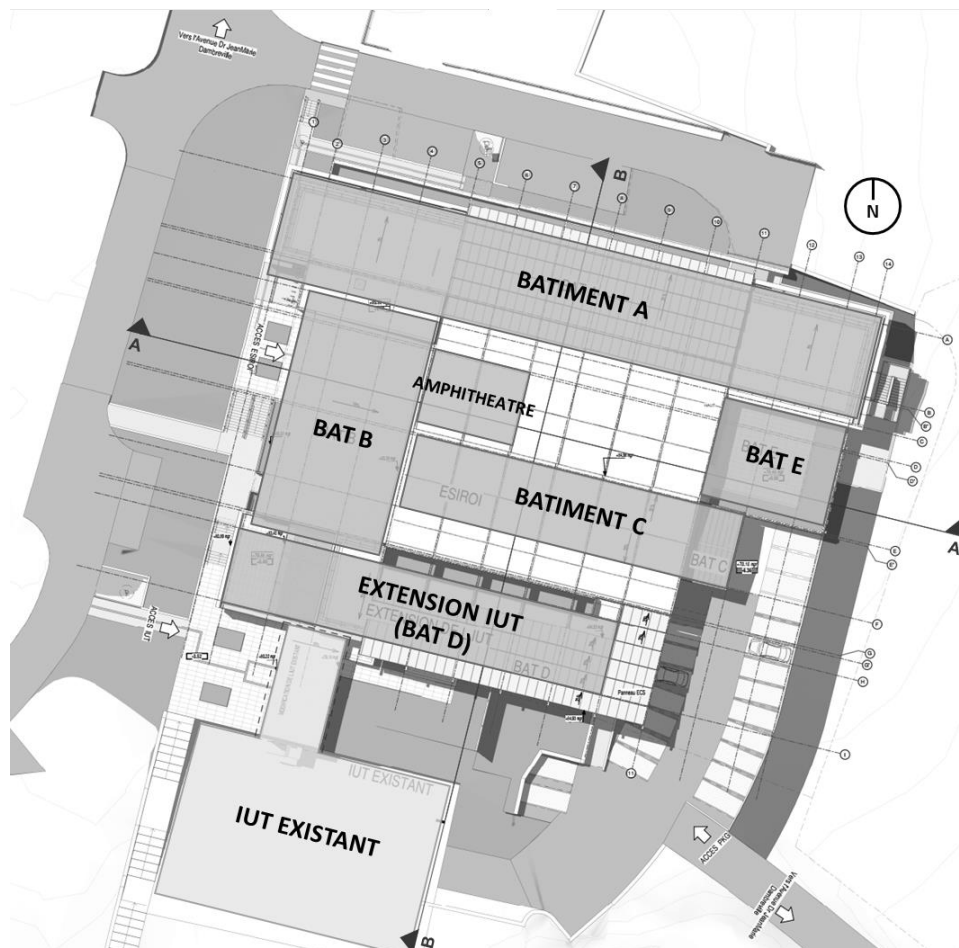
Certaines solutions sont directement inspirées de l'architecture traditionnelle créole : protéger du soleil / ventiler / végétaliser.

Le choix de matériaux mixtes a permis de proposer une alternative au bâtiment tout-béton.



## LE PROJET

Le projet comprend la construction des nouveaux locaux de l'ESIROI, le bâtiment accueille dans son aile sud deux départements de l'IUT (extension). La nouvelle construction est raccordée au bâtiment à énergie positive existant de l'IUT.



## ÉTUDES PROPOSÉES

Les études s'articulent autour de la stratégie de conception bioclimatique en environnement tropical. Elles traitent de la résistance structurelle de la superstructure, ainsi que du confort dans le bâtiment.

Étude	Thème	Temps conseillé
1	<b>Étude de la superstructure</b> 1.1 Étude réglementaire de l'action du vent 1.2 Étude réglementaire de l'action due au séisme 1.3 Étude de la stabilité géométrique 1.4 Vérification d'un élément structurel (Poutre de plancher)	3h00
2	<b>Confort dans la construction bioclimatique en milieu tropical</b> 2.1 Confort hygrothermique 2.2 Confort visuel 2.3 Production d'ECS solaire : dimensionnement	3h00

# ÉTUDE 1 : ÉTUDE DE LA SUPERSTRUCTURE

## 1.1 Étude règlementaire de l'action du vent

L'île de la Réunion est située sur la zone de passage des cyclones tropicaux, avant leur affaiblissement. L'île peut être touchée à n'importe quel stade de leur développement. Les vents soutenus ne dépassent pas  $63 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  pour une dépression tropicale et  $118 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  pour une tempête tropicale tandis que les rafales peuvent dépasser  $250 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

**L'objectif de l'étude est de déterminer règlementairement l'effet de l'action du vent sur les parois du bâtiment A et la canopée pour un vent est ( $V_E, 90^\circ$ ).**

Le bâtiment est implanté dans la région sud de La Réunion à une altitude de 73 m. La toiture du bâtiment culmine à 15 m au-dessus du sol. Un extrait de l'Eurocode 1 (action du vent) est disponible dans le document technique DT3.

**Question 1.** À l'aide des paragraphes 4.2 du document technique DT3, **déterminer** la vitesse de référence du vent,  $v_b$ . **Justifier** les valeurs de  $C_{dir} = 1$  et  $C_{season} = 1$ .

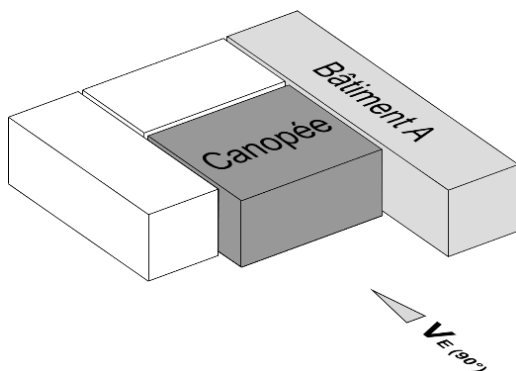
Le terrain est de catégorie IIIa / campagne avec haies - habitat dispersé pour toutes les directions de vent. L'orographie est considérée comme complexe car elle est constituée d'obstacle et de formes variées, on adopte donc la procédure 1 de l'annexe nationale pour la détermination de  $c_0(z)$ . Cette procédure est précisée dans le paragraphe 4.3.3 du document technique DT3. La figure 1 précise les relevés altimétriques à considérer dans le calcul du coefficient orographique  $c_0(z)$ .

	Nord	Est	Sud	Ouest
Altitude du lieu de construction $A_c = 73 \text{ m}$				
Altitudes aux points situés dans les 4 directions cardinales à une distance de 500 m du lieu de construction	$A_{N1} = 106 \text{ m}$	$A_{E1} = 91 \text{ m}$	$A_{S1} = 53 \text{ m}$	$A_{O1} = 73 \text{ m}$
Altitudes aux points situés dans les 4 directions cardinales à une distance de 1000 m du lieu de construction	$A_{N2} = 130 \text{ m}$	$A_{E2} = 105 \text{ m}$	$A_{S2} = 28 \text{ m}$	$A_{O2} = 27 \text{ m}$

*Figure 1 : Relevés altimétriques suivant les quatre directions cardinales à considérer pour le calcul de  $c_0(z)$*

**Question 2.** À l'aide des paragraphes 4.3.1, 4.3.2 et 4.3.3 du document technique DT3 et de la figure 1, **déterminer** le coefficient de rugosité  $c_r(z)$  et d'orographie  $c_0(z)$ , puis **calculer** la vitesse moyenne du vent  $v_m(z)$ .

**Question 3.** À l'aide des paragraphes 4.4 et 4.5 du document technique DT3, **Déterminer** l'intensité de la turbulence du vent  $I_v(z)$ , puis **calculer** la pression dynamique de pointe  $q_p(z)$ .



*Figure 2 : Segmentation des zones d'étude de vent*

Étude A : Effets du vent sur le bâtiment A seul

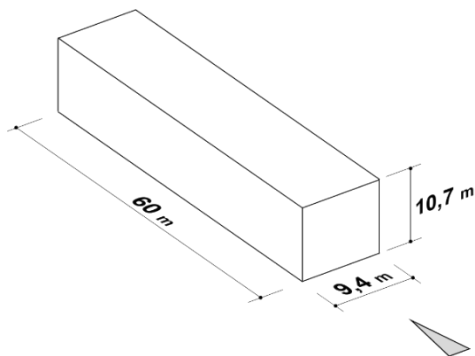
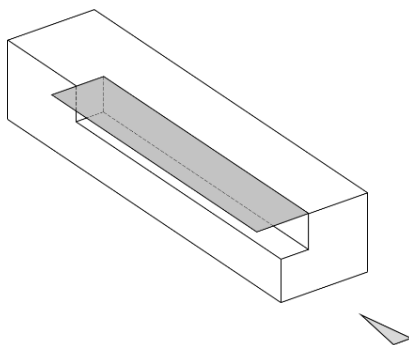


Figure 3 : Modélisation du bâtiment A

**Question 4.** À l'aide de la figure 3 et des paragraphes 7.2.2 et 7.2.3 du document technique DT3, **déterminer** les coefficients de pression extérieure ( $c_{pe,10}$ ) sur les parois verticales et la toiture. **Compléter** le document réponse DR1.



Hypothèses : Le bâtiment est considéré fermé en surpression ( $c_{pi} = +0,2$ )

Figure 4 : Modélisation du bâtiment A avec débord de toiture

**Question 5.** À l'aide de la figure 4, du modèle de répartition des coefficients de pression extérieure  $c_{pe}$  de la figure 5 et du paragraphe 6.2 du document technique DT3, **déterminer** les coefficients de pression nette sur la toiture. **Compléter** le document réponse DR1.

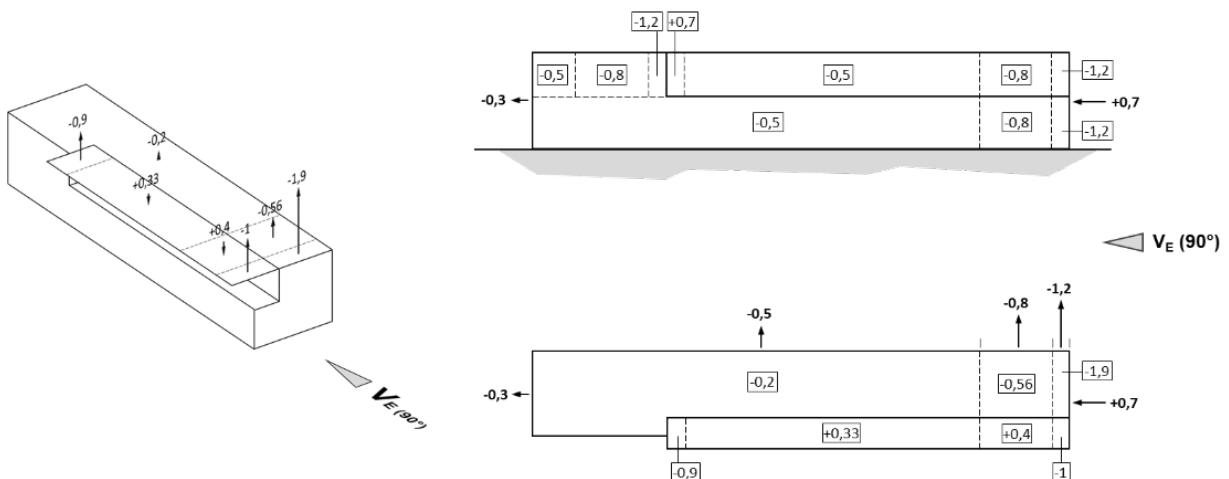
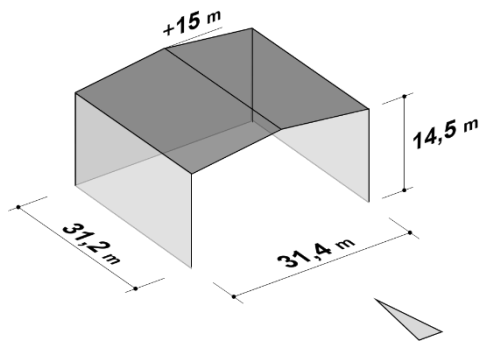


Figure 5 : Modèle de répartition des coefficients de pression extérieure  $c_{pe}$  sur les parois (Visible sur le document technique DT2)

**Question 6.** À l'aide du paragraphe 4.5 du document technique DT3, **déterminer** la valeur locale maximale de la pression aérodynamique ( $daN \cdot m^{-2}$ ) au niveau de la toiture.

Dans la suite de l'étude, on considère que  $q_p(z) = 150 \text{ daN}\cdot\text{m}^{-2}$ .

### Étude B : Effets du vent sur la canopée seule



Hypothèses : La canopée est modélisée par une toiture isolée à un versant avec obstruction.

Figure 6 : Modélisation de la canopée

**Question 7.** À l'aide de la figure 6 et du paragraphe 7.3 du document technique DT3, **déterminer** les coefficients de force et les coefficients de pression nette réglementaires à considérer pour la toiture isolée. **Comparer** les coefficients de pression réglementaires avec les pressions obtenues par les essais en soufflerie (voir le document technique DT2), puis **expliquer** les écarts. **Compléter** le document réponse DR1.

**Question 8.** **Justifier** le modèle de répartition de charge de vent uniforme retenu (voir figure 7) pour la canopée par le bureau d'étude à partir des résultats des essais en soufflerie.

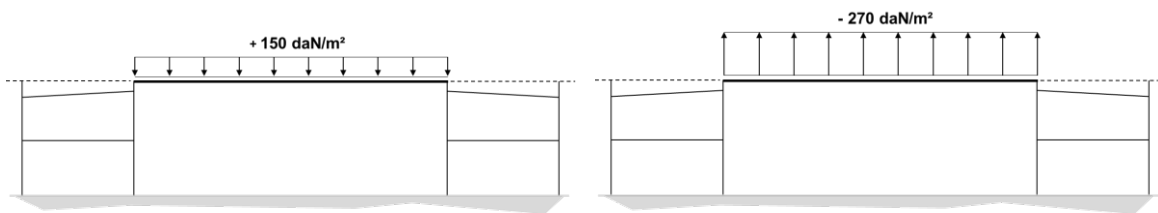
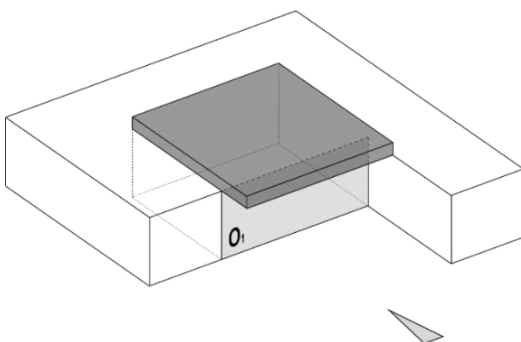


Figure 7 : Modèle de répartition de charge de vent retenu pour la canopée par le bureau d'étude

### Étude C : Effets du vent sur l'ensemble de la construction



Hypothèses : Bâtiment présentant un décrochement en plan avec une ouverture  $O_1$  ouverte sur la canopée. Les résultats de l'étude sont disponibles dans document DT2.

Figure 8 : Modélisation de l'ouvrage dans son ensemble

**Question 9.** **Montrer** que les études A et B permettent d'envisager le dimensionnement de la structure canopée-bâtiment A d'un point de vue sécuritaire vis-à-vis d'une modélisation d'ensemble telle que proposée par l'étude C.



## 1.2 Étude réglementaire des charges dues au séisme

L'objectif de l'étude est de déterminer les paramètres de calcul sismique afin de définir le spectre de calcul réglementaire. Ces résultats seront utilisés pour le calcul des composantes horizontales de l'action sismique à l'aide de l'outil informatique.

Données :

- le sol est de classe B ;
- le facteur d'amplification topographique est  $S_T = 1,0$  ;
- le bâtiment est assimilé à une école avec salles de réunion ;
- la structure est faiblement dissipative (classe de ductilité DCL) avec un coefficient de comportement,  $q = 1,5$  ;
- la structure est en acier avec assemblages boulonnés, l'amortissement critique est  $\xi = 4\%$ .

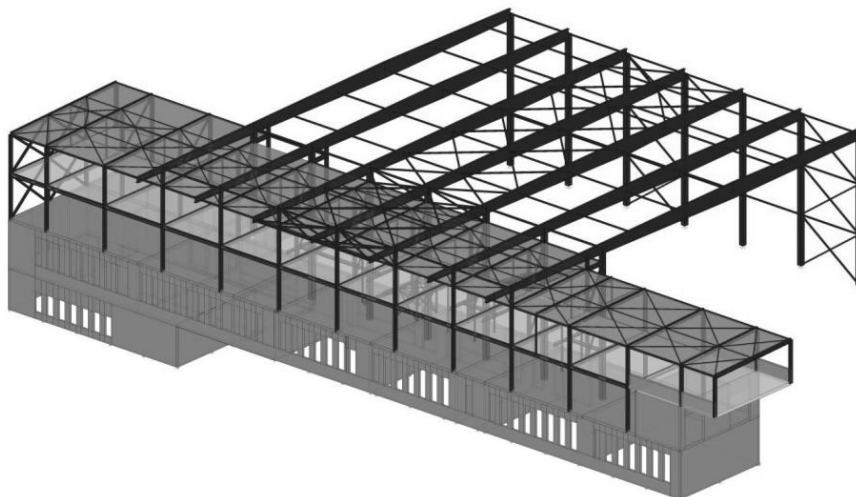
Un extrait réglementaire relatif à l'action sismique est disponible dans le document technique DT4.

**Question 10.** À l'aide du document technique DT4, **déterminer** les paramètres sismiques ( $a_{gr}$  : accélération au niveau du sol,  $\gamma_I$  : coefficient d'importance,  $S$  : coefficient de sol) du projet, puis **calculer** l'accélération ( $a_g$ ) à prendre en compte au niveau du sol.

**Question 11.** À l'aide du document technique DT4, **déterminer** les périodes propres réglementaires  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  à considérer.

**Question 12.** À l'aide du document technique DT4, **tracer**, sur le document réponse DR2, l'allure du spectre de calcul réglementaire pour l'analyse élastique  $S_d(T)$  à utiliser pour l'étude dynamique (on considère  $\beta = 0,2$ ).

La figure 9 illustre la modélisation retenue pour le bloc « canopée + bâtiment A ».



*Figure 9 : Modélisation du bloc canopée + bâtiment A (Source A3 Structures)*

**Question 13.** **Justifier** le classement de la structure comme une structure irrégulière en plan et en élévation, puis **déterminer** la méthode d'analyse à adopter pour l'étude dynamique du bloc canopée + bâtiment A (figure 9).

### 1.3 Étude de la stabilité géométrique de la superstructure canopée + bâtiment A

L'objectif de l'étude est d'identifier et d'analyser les solutions retenues pour assurer la stabilité mécanique de l'ossature principale en acier vis-à-vis des charges climatiques (vent) et accidentelles (séisme) afin de définir les cas de charges qui dimensionneront les fondations.

La figure 10 illustre le portique étudié.

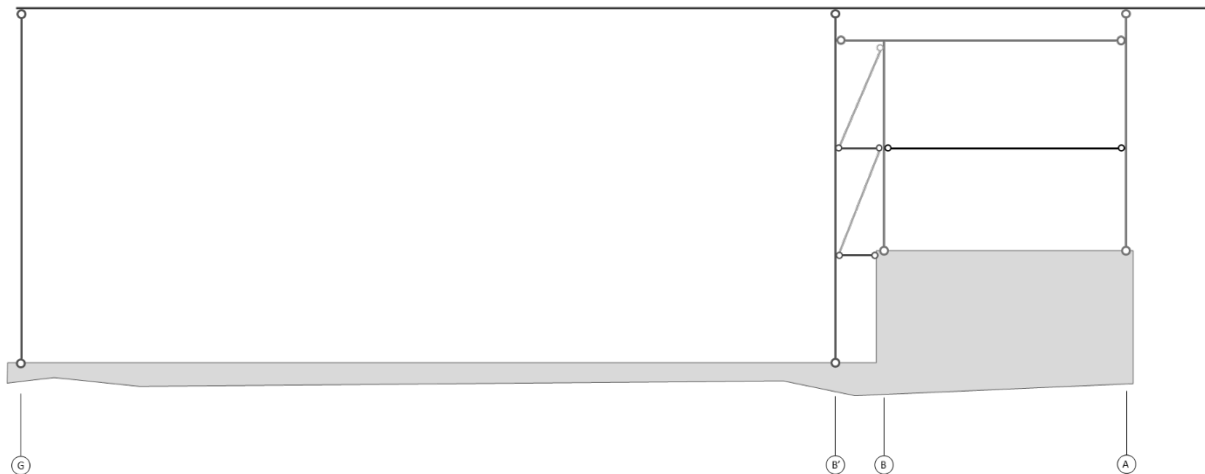


Figure 10 : Modélisation mécanique du bloc « canopée + bâtiment A » file 8

#### Effets du vent

**Question 14.** À l'aide du document technique DT2, **calculer** le degré d'hyperstaticité (noté  $h$ ) du portique courant file 8 (figure 10). **Conclure** sur l'information apportée par la valeur de  $h$ .

**Question 15.** **Repérer** les éléments (barres) permettant d'assurer la stabilité horizontale et verticale pour le cas d'un vent est ( $V_{E, 90^\circ}$ ) puis **indiquer** par des flèches le cheminement des efforts vers les fondations. **Compléter** le document réponse DR3.

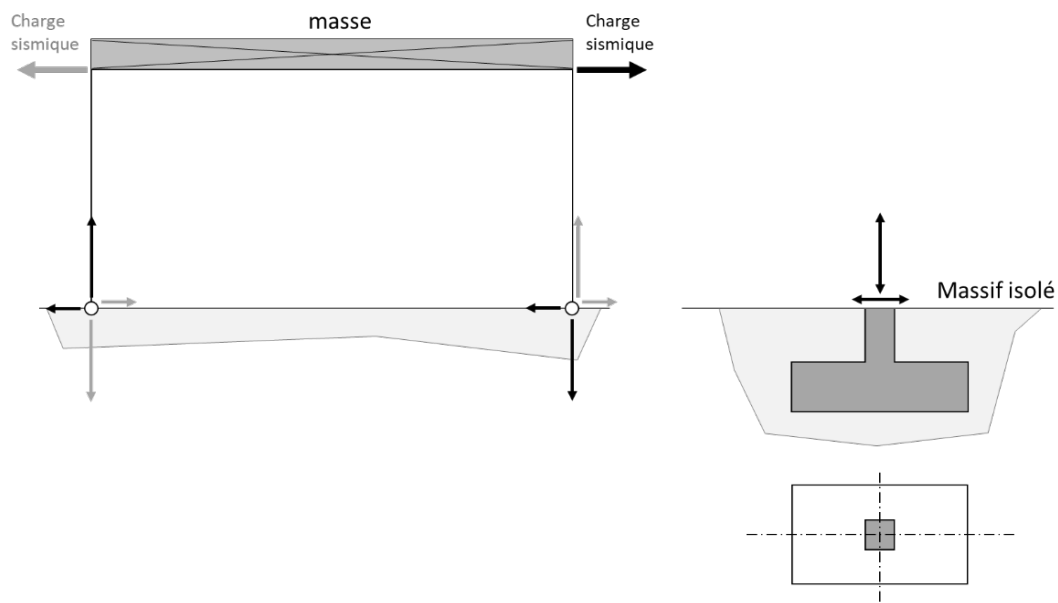
**Question 16.** À l'aide du paragraphe 2 et des coupes de principe A-A et B-B du document technique DT1, **proposer** des liaisons mécaniques entre les poteaux et (les butons, poutres, diagonales, traverses) pour les files B' et A. **Compléter** le document réponse DR3 en représentant les liaisons entre les barres en pointillées et les poteaux.

#### Effets du séisme

Lors de l'étude des effets du séisme sur les structures métalliques, il convient d'apporter une attention particulière aux effets de la torsion dans une structure soumise au séisme. Ceux-ci peuvent avoir des conséquences très néfastes sur la résistance du bâtiment.

**Question 17.** **Déterminer** les règles de conception parasismique à mettre en œuvre vis à vis des contreventements pour que la structure résiste aux phénomènes de torsion.

La figure 11 illustre les efforts transmis en pied de poteau sous l'action d'un séisme.



*Figure 11 : Représentation des efforts au niveau des fondations*

**Question 18.** D'après l'illustration de la figure 11 représentant les efforts au niveau des fondations, **décrire** les étapes nécessaires au dimensionnement d'un massif isolé rectangulaire sous charges centrées. Aucun calcul règlementaire n'est demandé.

## 1.4 Vérification d'un élément structurel (poutre de plancher) du bâtiment A (file 7)

L'objectif de l'étude est de vérifier le dimensionnement des éléments de la superstructure et d'analyser les solutions retenues pour assurer les exigences réglementaires relatives à la résistance structurelle ainsi que le confort des usagers.

Les figures 12 et 13 illustrent les éléments structurels du bâtiment A suivant la coupe B-B.

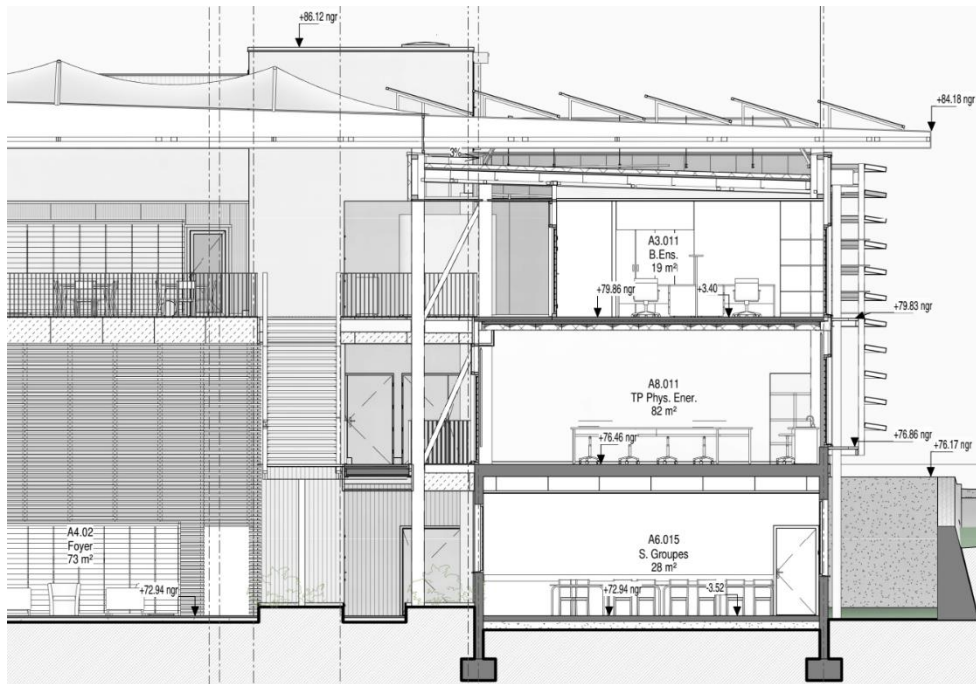


Figure 12 : Coupe transversale du bâtiment A

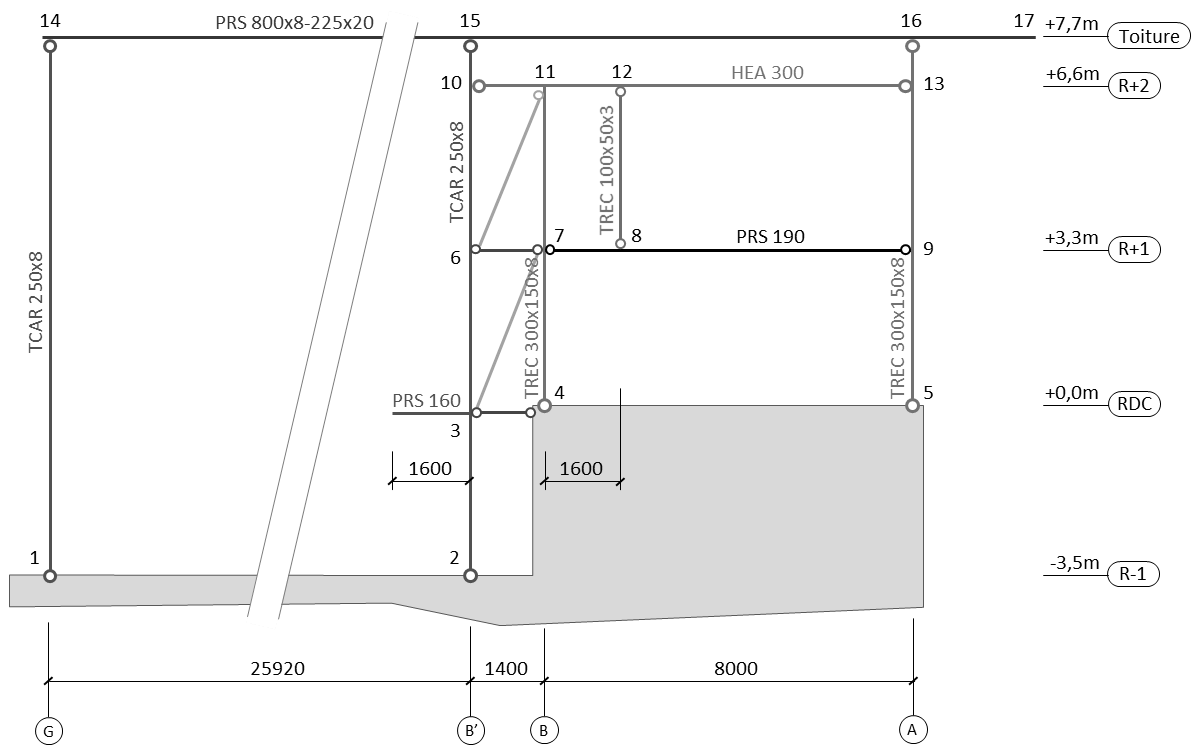


Figure 13 : Modélisation mécanique du portique file 7 du bâtiment A

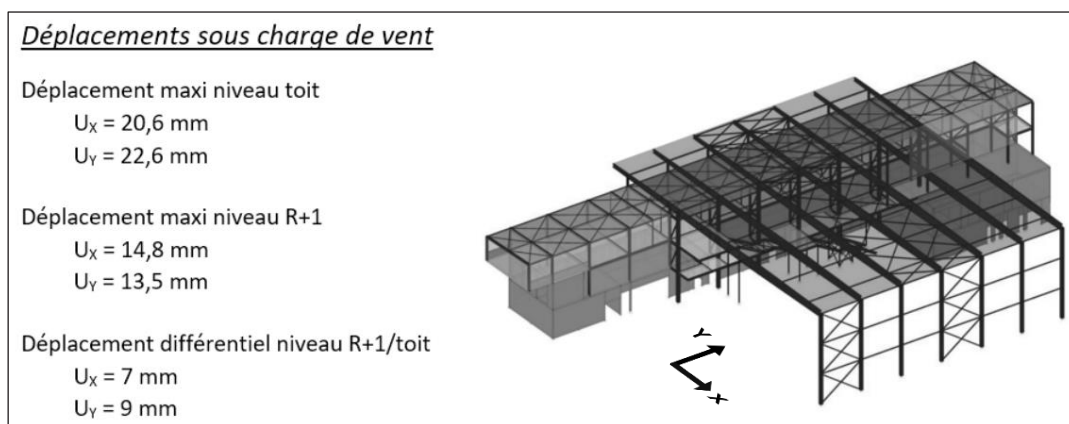
## Structure globale

Afin de déterminer les effets des combinaisons d'actions en tout point de la structure, on doit envisager une analyse structurale à trois niveaux, en utilisant différents modèles : l'analyse globale, l'analyse d'élément et l'analyse locale.

**Question 19.** Décrire le principe et l'objectif des différentes analyses à envisager.

**Question 20.** À partir des hypothèses de calcul indiquées dans le document technique DT3, **déterminer** les descentes de charges ( $\text{daN}\cdot\text{m}^{-1}$ ) dues aux charges permanentes et d'exploitation sur le portique file 7. **Compléter** le document réponse DR4 en représentant la répartition des charges sur les éléments de la structure.

La figure 14 illustre les déplacements de la structure sous l'effet des charges de vent.



*Figure 14 : Déplacements longitudinaux et transversaux de la structure*

**Question 21.** À partir des résultats informatiques (figure 14), **vérifier** les déplacements de la structure à l'ELS.

### Poutre de plancher PRS 190 (R+1)

**Question 22.** À l'aide des caractéristiques de la poutre (document technique DT2) et de la classification des sections transversales (document technique DT5), **montrer** que la section transversale de la poutre est de classe 1 pour une sollicitation en flexion simple suivant l'axe fort y-y.

#### Phase 1 : construction (Coulage)

On suppose que la poutre de 7,7 mètres de long est articulée sur les poteaux avec une charge uniformément répartie, celle-ci n'est pas étayée et n'est pas maintenue latéralement lors de la phase de coulage. Une surcharge temporaire de chantier  $Q_c$  de  $150 \text{ daN}\cdot\text{m}^{-2}$  est prise en compte. La charge permanente à considérer est le poids du système « COFRADAL + poutre ».

#### Vérification à l'ELU

**Question 23.** À l'aide des paragraphes 6.2.5, 6.2.6 et 6.2.8 du document DT5, **vérifier** la résistance de la section transversale de la poutre.

*Caractéristiques de la section transversale PRS 190x30-160x20-400x25 (voir document technique DT2)*

Données : Moment critique de déversement,  $M_{cr} = 111\,395 \text{ daN}\cdot\text{m}$

**Question 24.** À l'aide du paragraphe 6.3.2.1 du document DT5, **vérifier** la résistance de la poutre au déversement.

Vérification à l'ELS

Données : Contreflèche  $w_c = 50 \text{ mm}$

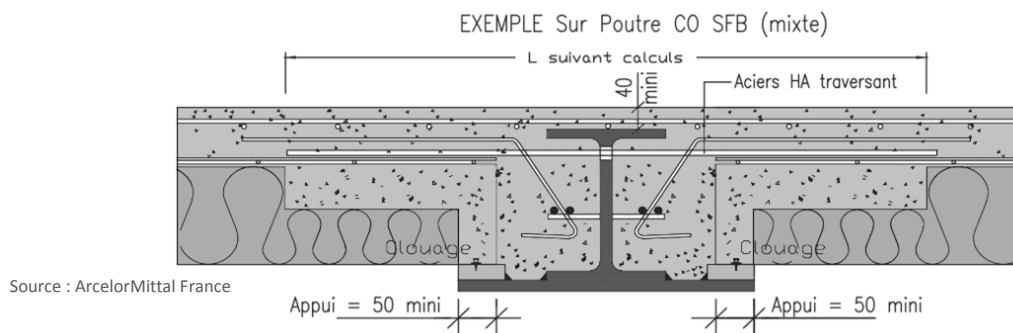
**Question 25.** **Vérifier** la flèche verticale maximale de la poutre, puis conclure.

Phase 2 : utilisation (Exploitation)

**On considère que la poutre en acier est en liaison avec la dalle**

On suppose que le plancher est collaborant, la poutre est considérée comme un élément mixte acier-béton. L'étude est menée à long terme (avec fluage) et les effets de retrait du béton seront négligés.

La figure 15 représente une coupe de principe du plancher collaborant



**Figure 15 :** Coupe transversale de la poutre mixte

Vérification à l'ELU

Données :  $G = 2\,384,3 \text{ daN}\cdot\text{m}^{-1}$  ;  $Q = 1\,300 \text{ daN}\cdot\text{m}^{-1}$  ;  $M_{ply,Rd, Mixte} = 70\,586 \text{ daN}\cdot\text{m}$

**Question 26.** Déterminer le gain (en %) de la résistance plastique de la section lorsque la poutre est considérée mixte, puis à l'aide des paragraphes 6.2.5, 6.2.6 et 6.2.8 du document DT5, **vérifier** la résistance de celle-ci en phase d'exploitation.

**Question 27.** Montrer que la vérification de la poutre vis-à-vis du déversement n'est pas nécessaire.

Vérification à l'ELS

On suppose que le calcul de la flèche est identique à celui d'une poutre homogène dont les propriétés sont l'inertie de la poutre mixte équivalente (pour les surcharges permanentes et d'exploitation) et le module élastique de la poutre en acier.

Données : Contreflèche  $w_c = 50 \text{ mm}$

Facteur de majoration à court terme,  $k_c = 1,232$

Facteur de majoration à long terme,  $k_L = 1,127$

$I_{y, \text{acier}} = 13\,700 \text{ cm}^4$  ;  $I_{y, \text{Mixte court terme}} = 30\,150 \text{ cm}^4$  ;  $I_{y, \text{Mixte long terme}} = 20\,333 \text{ cm}^4$

**Question 28.** À l'aide du document technique DT2, **vérifier** la flèche verticale maximale de la poutre mixte.

**Question 29. Vérifier** la limite de la fréquence propre de vibration de la poutre.

L'exigence réglementaire (§ 7.3.2 - NF EN 1993-1-1/NA) impose que la fréquence propre verticale de la poutre sous charge  $G + 0,2Q$  doit être supérieure à la fréquence minimale de 2,6 Hz. La période propre de la poutre est déterminée par l'expression :

$$T = \lambda \cdot L^2 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{g \cdot E \cdot I}}$$

T (s) : période propre de la poutre (Mode 1)

L (m) : longueur de la poutre

$\rho$  ( $N \cdot m^{-1}$ ) : poids par unité de longueur

Pesanteur :  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

I ( $m^4$ ) : moment quadratique (Section mixte à long terme)

E ( $N \cdot m^{-2}$ ) : module d'élasticité (acier)

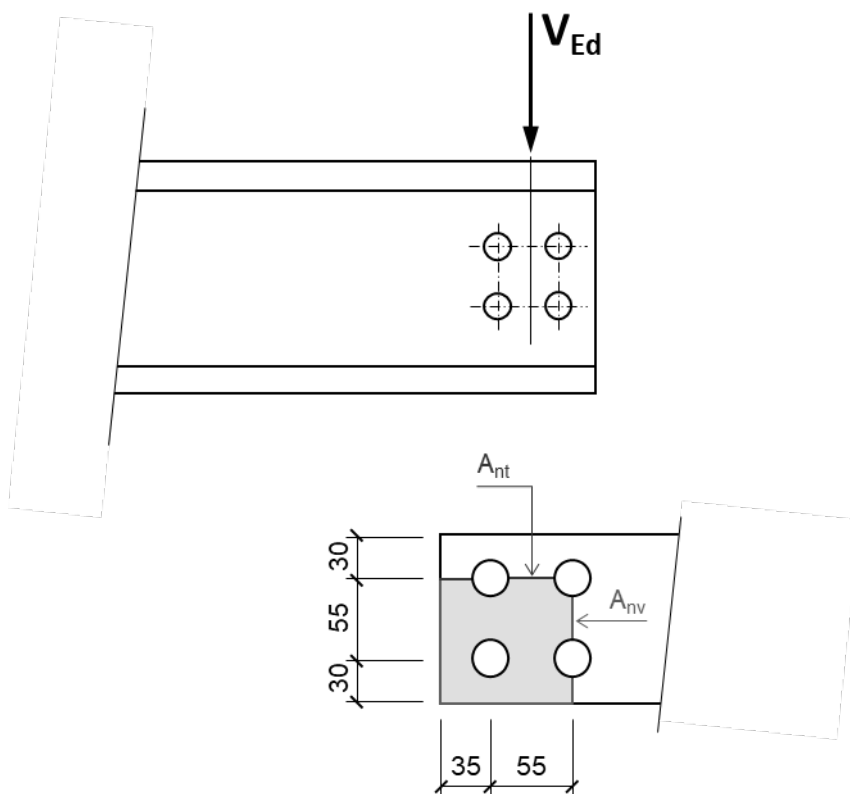
Poutre bi-articulée (Mode 1)  $\lambda = 0,636$

**Question 30. Conclure** sur la validation de la poutre aux états limites.

### Liaison Poteau-Poutre (File 7A)

**Question 31.** Montrer que la solution A illustrée sur le document technique DT2 est la plus appropriée pour l'assemblage (9) (voir figure 13) au regard du modèle d'étude retenu pour la vérification de la poutre de plancher PRS 190.

La figure 16 représente la modélisation des actions mécaniques au niveau de la liaison.



*Figure 16 : Dispositions constructives de l'assemblage*

Hypothèses : Attache de catégorie A – Le plan de cisaillement passe par la partie non filetée

Données :  $V_{Ed} = 19\,952$  daN

Boulon : Diamètre  $d = 20$  mm ; Classe 8.8 ( $f_{ub} = 800$  MPa) ;  $A = 314$  mm<sup>2</sup> ;  $A_s = 245$  mm<sup>2</sup>

Diamètre de perçage :  $d_0 = 22$  mm

Éclisse : 2 éclisses 265x115x10 (S355) ;  $f_u = 510$  MPa ; épaisseur  $t = 10$  mm

$\gamma_{M0} = 1,00$  ;  $\gamma_{M2} = 1,25$

**Question 32.** À l'aide du paragraphe 3.4.2 du document DT5, **vérifier** la résistance des boulons.

**Question 33.** À l'aide des paragraphes 3.4.2 du document DT5, **vérifier** la résistance d'une éclisse en pression diamétrale pour un boulon de rive.

**Question 34.** À l'aide des paragraphes 3.10.2 du document DT5, **vérifier** la résistance de l'éclisse au cisaillement de bloc.



## ÉTUDE 2 : Confort dans la construction bioclimatique en milieu tropical

La construction bioclimatique s'inscrit dans une démarche de développement durable permettant de réduire les besoins énergétiques, s'adaptant au climat et participant au confort et à la santé des occupants de par la nature des matériaux utilisés.

La conception et le dimensionnement de l'enveloppe et des équipements vis-à-vis du confort des occupants s'appuient entre autres sur les méthodes énoncées dans le référentiel PERENE 2009. Il s'agit de règles de conception thermique et énergétique des bâtiments tertiaires et résidentiels adaptées aux zones climatiques de l'île de La Réunion.

Cette partie sera limitée à l'étude du confort hygrothermique et visuel ainsi qu'à l'étude de la production chaude sanitaire (ECS) solaire.

### 2.1 Confort hygrothermique

#### 2.1.1 Étude de la ventilation naturelle

Une construction bioclimatique en environnement tropical se traduit en grande partie par l'usage de la **ventilation naturelle** afin de favoriser le confort hygrothermique des occupants par le biais de solutions passives comme le système de puits dépressionnaire (ici situé au niveau du bâtiment D), la ventilation traversante, etc.

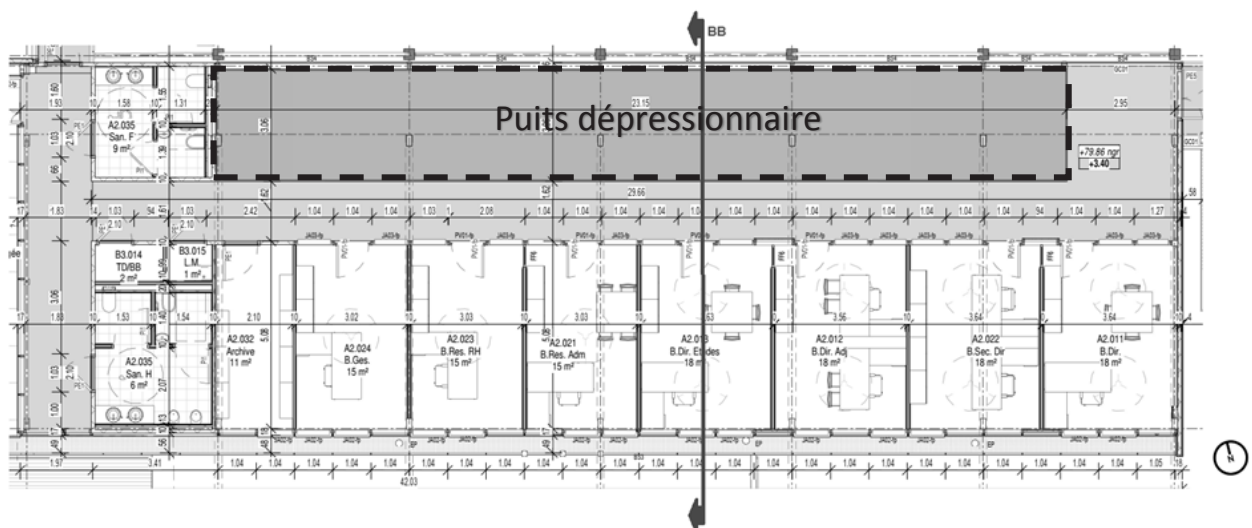


Figure 17 : extrait de la vue en plan R+1 du bâtiment D – Localisation du puits dépressionnaire

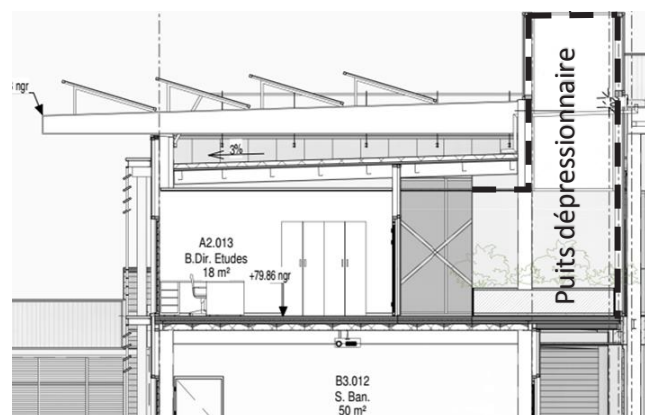


Figure 18 : coupe BB sur puits dépressionnaire (bâtiment D)

Afin d'optimiser le potentiel de ventilation naturelle de confort, l'orientation des bâtiments doit permettre de profiter de l'intensité des vents dominants.

Selon le référentiel PERENE, le projet est implanté en zone climatique 1 (zone littorale sous le vent).

**L'objectif de l'étude est d'identifier et d'analyser l'une des solutions techniques favorisant la ventilation naturelle pour répondre aux besoins de confort thermique.**

**Question 35. Expliquer** par quels mécanismes la ventilation naturelle permet d'améliorer le confort thermique des occupants.

**Question 36. Expliquer** le principe de la ventilation naturelle par système de puits dépressionnaire à l'aide d'un schéma.

**Question 37.** À l'aide du document technique DT6, **identifier** parmi les bâtiments A, B et C ceux qui permettent de bénéficier d'une ventilation naturelle traversante (voir le plan de masse de la présentation générale du sujet). **Justifier** la réponse.

Le taux d'ouverture appelé porosité caractérise la capacité d'une paroi verticale à être traversée par les écoulements d'air.

**Question 38.** À l'aide des documents techniques DT6 et DT7, **calculer** la porosité moyenne de la salle banalisée (A6.014). **Conclure** quant au potentiel de ventilation traversante de ce local.

**Question 39. Proposer** une solution à faible consommation d'énergie pouvant être couplée à la ventilation naturelle afin d'améliorer le confort hygrothermique des occupants.

### 2.1.2. Étude du système de climatisation, complémentaire à la ventilation naturelle

La stratégie de ventilation naturelle n'a pas pu être appliquée à tous les locaux du projet. En effet, elle demeure inefficace pour les locaux centraux situés au cœur du préau qui devront avoir recours à la climatisation artificielle.

**L'objectif de l'étude est de dimensionner la CTA de l'amphithéâtre pour une occupation maximale et de justifier les choix techniques retenus.**

**Question 40.** D'après les indications du CCTP fournies dans le document technique DT8, **établir** le schéma de principe de la CTA.

**Question 41. Indiquer** la différence entre un filtre G4 et un filtre F7.

**Question 42. Préciser** les risques liés au manque de maintenance des filtres.

**Question 43. Déterminer** les caractéristiques des points de mélange et de soufflage suivantes :

- Débit d'air en kg/s
- Température, Hygrométrie, Enthalpie spécifique, Teneur en eau

**Compléter** le document réponse DR5.

**Question 44. Tracer** les évolutions de l'air dans la CTA sur le diagramme de l'air humide (document réponse DR6). **Justifier** les résultats obtenus.

**Question 45. Déterminer** la puissance de la batterie froide à mettre en œuvre, son efficacité ainsi que le débit d'eau condensée (en L/h).

Afin de réduire les consommations énergétiques liées à la climatisation, le maître d'ouvrage s'interroge sur la nécessité d'équiper la CTA d'un échangeur statique à plaques (efficacité de 65 %).

**Question 46. Calculer** la puissance récupérée grâce à l'échangeur. **Tracer** les évolutions de l'air dans la CTA « avec échangeur » sur le diagramme de l'air humide (document réponse DR7). **Préciser** si la puissance de la batterie froide doit évoluer pour répondre aux besoins de climatisation. **Conclure** sur l'intérêt de cette modification.

### 2.1.3. Vérification de la performance thermique de l'enveloppe

La conception du bâtiment bioclimatique doit donc favoriser la circulation de l'air mais aussi éviter l'accumulation de la chaleur. Ainsi, une attention particulière a été portée sur l'enveloppe extérieure afin de **limiter les apports solaires** et de réduire ainsi les besoins en climatisation.

**L'objectif de l'étude est de vérifier la performance de l'enveloppe permettant de limiter les surcharges thermiques conformément aux recommandations spécifiques au climat tropical.**

Les études thermiques réalisées en APS et APD ont mis en évidence que pour les locaux situés au R-1 avec une structure en béton, les températures opératives sont moindres par rapport aux températures d'air. On constate le contraire pour les locaux disposant de façades rideaux avec une proportion conséquente de vitrage en polycarbonate.

**Question 47. Préciser** la différence entre la phase APS et la phase APD.

**Question 48. Indiquer** ce qu'est la température opérative. **Expliquer** les différences de température pour ces locaux.

**Question 49. Préciser** les dispositions constructives permettant de limiter en général les apports solaires.

**Question 50. Préciser** ce que représente le facteur solaire d'une paroi.

**Question 51.** À partir des documents techniques DT9 à DT11, **calculer** le facteur solaire pour les éléments de l'enveloppe de la façade Nord du bâtiment A et **compléter** le document réponse DR8. **Préciser** si les choix effectués pour les éléments de l'enveloppe permettent de respecter les recommandations préconisées pour la zone climatique de ce projet.

Une étude STD a été réalisée afin de tester plusieurs typologies de façade en polycarbonate (DANPALON) avec des propriétés thermiques et optiques différentes. Afin d'avoir un bon compromis entre performance thermique et confort lumineux, il a été décidé d'opter pour une façade mixte DANPALON CRISTAL + DANPALON CRISTAL OPACIFIANT.

**Question 52.** À l'aide du document technique DT12, **justifier** ce choix à partir des caractéristiques.

## 2.2 Confort visuel

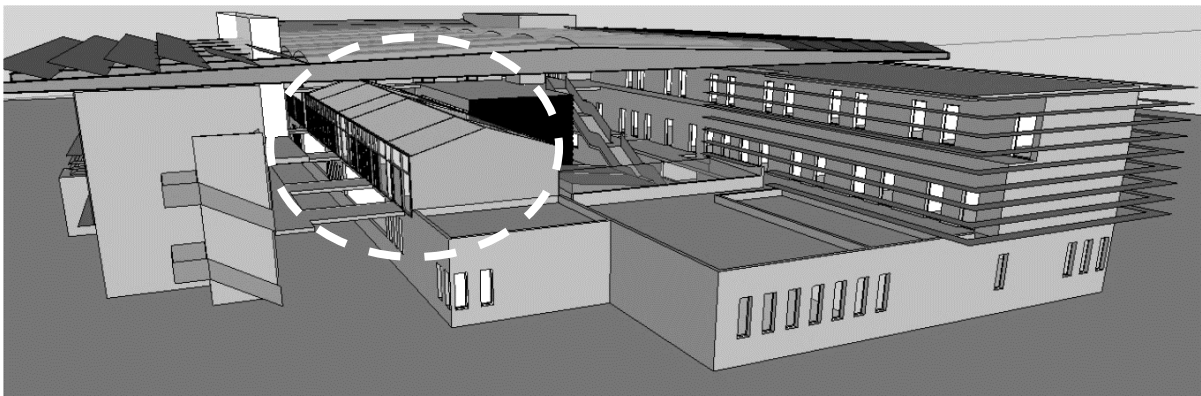
Dans une construction bioclimatique, il est essentiel que les apports en lumière naturelle soient optimisés afin de limiter l'usage de l'éclairage artificiel et ainsi réduire la consommation électrique.

**L'objectif de l'étude est de justifier le choix de la solution technique retenue permettant de favoriser l'éclairage naturel du bâtiment Serre.**

Afin d'estimer les apports en éclairage naturel sous la canopée, une simulation a été réalisée avec deux scénarios :

- toiture vitrée en polycarbonate (Danpalon)
- toiture opaque (tôle isolée)

pour trois locaux du bâtiment « Serre » (bâtiment C) : salle de cours, salle Info, salle TP Physique/Chimie. Seuls les locaux étudiés situés sous la canopée (entourés sur l'image de la modélisation de la figure 19) ont été modélisés : les pièces adjacentes n'ont pas été représentées dans la modélisation fournie dans le document technique DT13.



*Figure 19 : Image de la modélisation pour la simulation d'éclairage naturel des locaux du bâtiment Serre*

Plusieurs critères caractéristiques du confort visuel sont obtenus grâce au logiciel DAYSIM :

- le Facteur de Lumière du Jour : FLJ
- l'autonomie en éclairage naturel : DA300, DA300c, DA max (voir document technique DT13 pour définition)
- le facteur d'éclairage utile acceptable : UDI100-2000 (voir document technique DT13 pour définition)

Le calcul des niveaux d'autonomie en éclairage naturel est exigé par le référentiel PREBAT (démarche qualité environnementale mise en place par l'ADEME) cependant aucun seuil n'est imposé. Dans le cadre de ce projet, un seuil de 75 % d'autonomie en éclairage naturel a donc été fixé pour l'éclairage de 300 lux recommandé dans tous les bureaux et salles de classe.

**Question 53. Préciser** ce qu'est le facteur de lumière du jour. **Donner** son expression littérale.

**Question 54. Commenter** les résultats de la simulation pour les deux scénarios présentés dans le document technique DT13.

**Question 55. Indiquer** si ces résultats sont cohérents par rapport au positionnement des locaux étudiés.

### **2.3 Production d'ECS solaire : dimensionnement**

La préparation d'ECS de la Cuisine et de la Salle de TP est réalisée grâce à un système de production centralisée solaire avec appoint électrique. L'évaluation des besoins en eau chaude des différents postes d'utilisation est fournie dans le document technique DT14.

**L'objectif de l'étude est de pré-dimensionner en phase APS les principaux composants de l'installation solaire thermique permettant de satisfaire les besoins d'ECS. Il s'agira de déterminer approximativement le volume du ballon d'ECS et la surface de capteurs nécessaire.**

**Question 56. Justifier** la raison pour laquelle la température de distribution de l'ECS ne doit pas être inférieure à 55 °C aux points les plus éloignés de la production.

**Question 57.** À l'aide des données du document technique DT14, **déterminer** le volume utile du ballon de stockage permettant de répondre aux besoins journaliers en ECS (à 60 °C).

**Question 58. Évaluer** l'apport solaire à atteindre par l'installation afin d'assurer les besoins d'énergie annuels.

**Question 59. En déduire** la surface minimale de capteurs à installer.

**Question 60. Réaliser** le schéma de principe de l'installation solaire thermique. **Nommer** les principaux éléments et donner leur fonction.

**Question 61. Proposer** une solution de régulation pour cette installation solaire. **Proposer** un graphe de fonctionnement pour le circulateur.

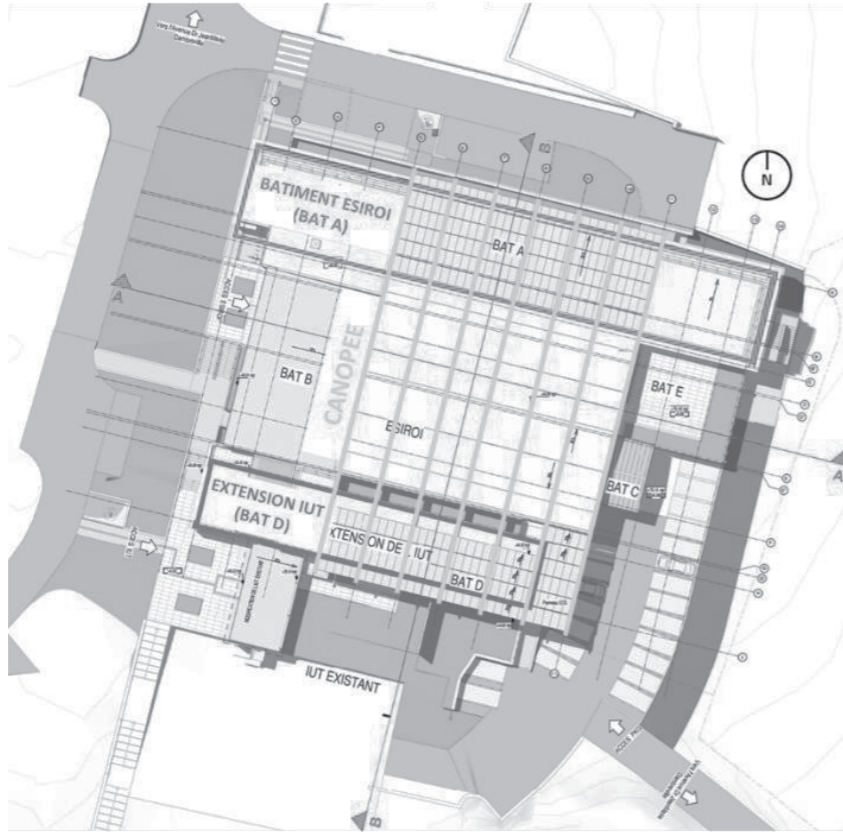
## Sommaire documents techniques

Document technique DT1 : Présentation de l'ouvrage	Page 1/47
Document technique DT2 : Données et ressources du projet	Page 5/47
Document technique DT3 : Extrait Eurocode 1 : Actions du vent	Page 11/47
Document technique DT4 : Extrait Eurocode 8 : Résistance aux séismes	Page 18/47
Document technique DT5 : Extrait Eurocode 0 : Résistance aux séismes Extrait Eurocode 3 : Calcul des structures en acier	Page 23/47
Document technique DT6 : Extrait Guide PERENE 2009 – Ventilation traversante	Page 32/47
Document technique DT7 : Calcul de la porosité – Caractéristiques salle banalisée	Page 36/47
Document technique DT8 : Extrait du CCTP Climatisation Ventilation	Page 37/47
Document technique DT9 : Extrait Guide PERENE 2009 – Facteur solaire	Page 39/47
Document technique DT10 : Extrait Guide PERENE 2009 – Valeurs recommandées pour le facteur solaire	Page 41/47
Document technique DT11 : Caractéristiques de l'enveloppe de la façade Nord du bâtiment A	Page 42/47
Document technique DT12 : Caractéristiques des parois en polycarbonate et résultats de l'étude comparative	Page 43/47
Document technique DT13 : Résultats de la simulation d'éclairage naturel	Page 45/47
Document technique DT14 : Données pour l'étude de la production d'ECS solaire	Page 47/47

## DT1 - PRESENTATION DE L'OUVRAGE

### 1. Description

L'ossature métallique de l'ouvrage se décompose en trois zones principales : le bâtiment ESIROI, le bâtiment Extension IUT, et la canopée en toile tendue recouvrant le préau entre les deux bâtiments principaux. Les dimensions de l'ensemble sont : 63m de long, 53m de large, 15m de haut au niveau de la canopée.



#### Le bâtiment ESIROI et l'extension IUT :

La structure métallique est constituée de portiques transversaux et longitudinaux ainsi que de palées de stabilité verticales en profil laminé. **Les poteaux sont** en tube creux rectangle ou carré, **articulés en pieds** sur les dalles de plancher au niveau RDC ou sur massifs au niveau R-1.

La stabilité horizontale est assurée par poutres au vent en toiture, et par diaphragme de la dalle béton du plancher R+1.

Le plancher du niveau R+1 est un plancher mince en dalle mixte collaborant. Le principe du procédé SLIMFLOOR est d'intégrer la dalle béton à l'intérieur des poutrelles métalliques, le complexe bac acier COFRADAL 200 reposant sur l'aile inférieure des poutres. Le béton de la dalle est de qualité C30/37.

La couverture est composée d'un bac acier, d'un isolant et d'une étanchéité multicouche avec une pente de 3.1%.

Sur l'Extension IUT, un puit dépressionnaire est réalisé avec une structure métallique solidaire au bâtiment supportant une toile tendue.

#### La canopée :

La structure support de la toile tendue de la canopée est solidaire à celle du bâtiment ESIROI. Un joint de dilatation (4 cm) vis-à-vis des actions horizontales est mis en œuvre du côté du bâtiment Extension IUT. La coursive extérieure du bâtiment Extension IUT est appuyée verticalement sur les poteaux de la canopée.

**La stabilité verticale de l'ouvrage** est assurée :

- dans le sens transversal par les portiques transversaux de l'ESIROI
- dans le sens longitudinal par des croix de Saint-André côté bâtiment Extension IUT et de l'autre par les portiques de l'ESIROI.

**La stabilité horizontale** est assurée par poutres au vent en toiture.

Les traverses sont en PRS à hauteur variable, en appui simple sur les têtes de poteaux communs à ceux de l'ESIROI et sur les poteaux adjacents à l'Extension IUT.

Les poteaux sont en tube carré, **trame de 5m20** sont articulés en pied sur massif au niveau R-1.

Les arbalétriers se poursuivent au-dessus de la couverture des bâtiments ESIROI et Extension IUT, et servent ainsi de support aux panneaux photovoltaïques.

### 2. Principe constructif

#### Salles d'enseignement

La structure support des planchers et de la toiture est composée des éléments principaux suivants :

- portiques auto-stables constitués de profilés du commerce avec poteaux en tubes rectangulaires TREC 300 x 150 et d'arbalétriers en IPE, sur une trame de 5m20 ;
- **poutres de rive type PRS** (profilé reconstitué soudé avec ailes dissymétriques) et **traverse de rives** (profilé du commerce), **sont encastrés** sur les poteaux formant portiques multiples vis-à-vis du contreventement longitudinal ;
- **poutres transversales de type CoSFB (poutre mixte)** composées d'un profil en **PRS 190x30-160x20-400x25** permettant l'appui du bac acier collaborant sur des cales métalliques, **en appuis articulés sur les poteaux** ;
- la connexion entre dalle béton et solive de supportage est assurée par des connecteurs soudés ou des aciers HA filants au travers de l'âme des poutres, et devra permettre de considérer que les dalles minces ainsi constituées forment un diaphragme d'une raideur telle qu'elle permet le contreventement de la structure au niveau du plancher formé (dans son plan) ;
- **les arbalétriers sont de type IPE, sont articulés sur les poteaux** ;

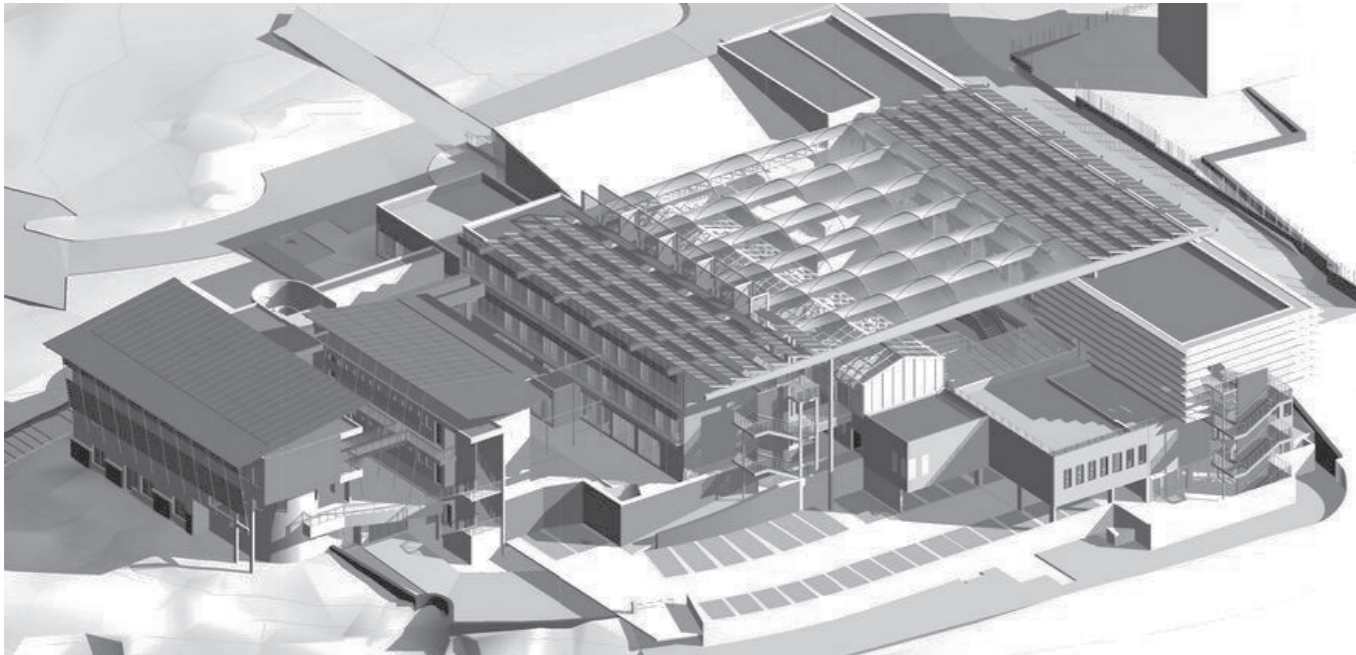
#### Passerelle et coursives d'accès

Les profils support des passerelles et coursives (poutre et solives) d'accès aux niveaux RDC et R+1 sont composés de profilés du commerce et de PRS à ailes dissymétriques sont **en appuis articulés** sur les poteaux acier (par boulons) et les murs en béton (appui sur console + chevillage).

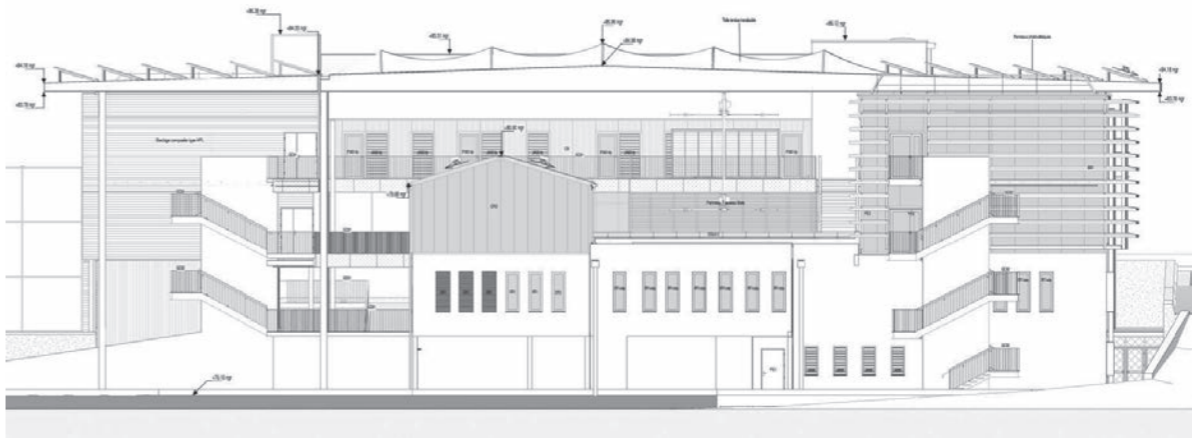
Tous les aciers seront au minimum de qualité S275JR, de classe 3 conformément à la norme NF A35-503, compte-tenu de la finition galvanisée à chaud de l'ouvrage et de la durée de sa garantie. Un complément de protection par peinture polyuréthane (primaire + intermédiaire + finition) permettra de compléter la protection anticorrosion de l'ouvrage.

3. Plans architecte et structure

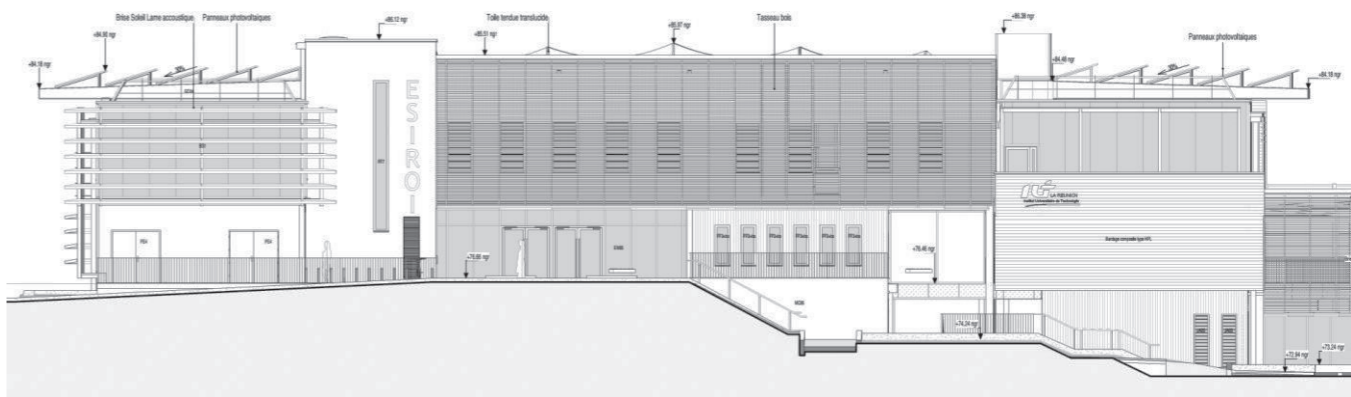
Vue 3D SUD-EST



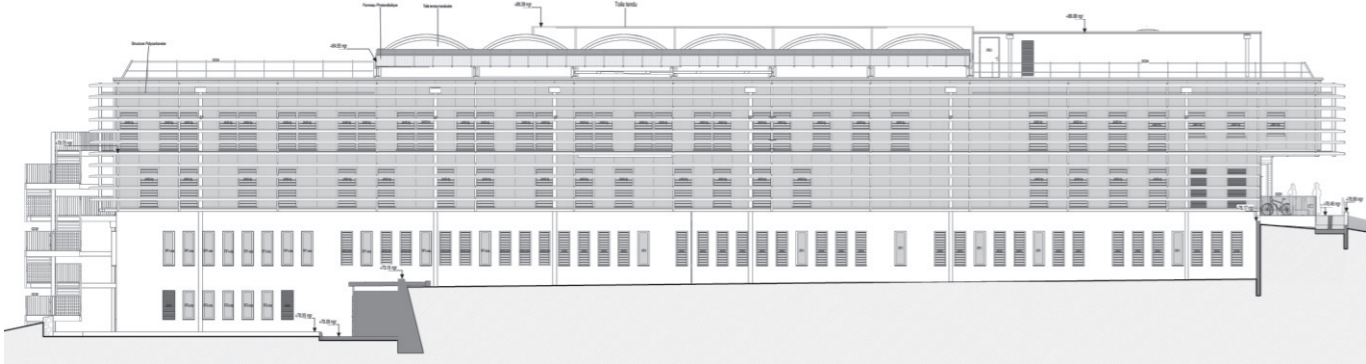
Façade EST



Façade OUEST



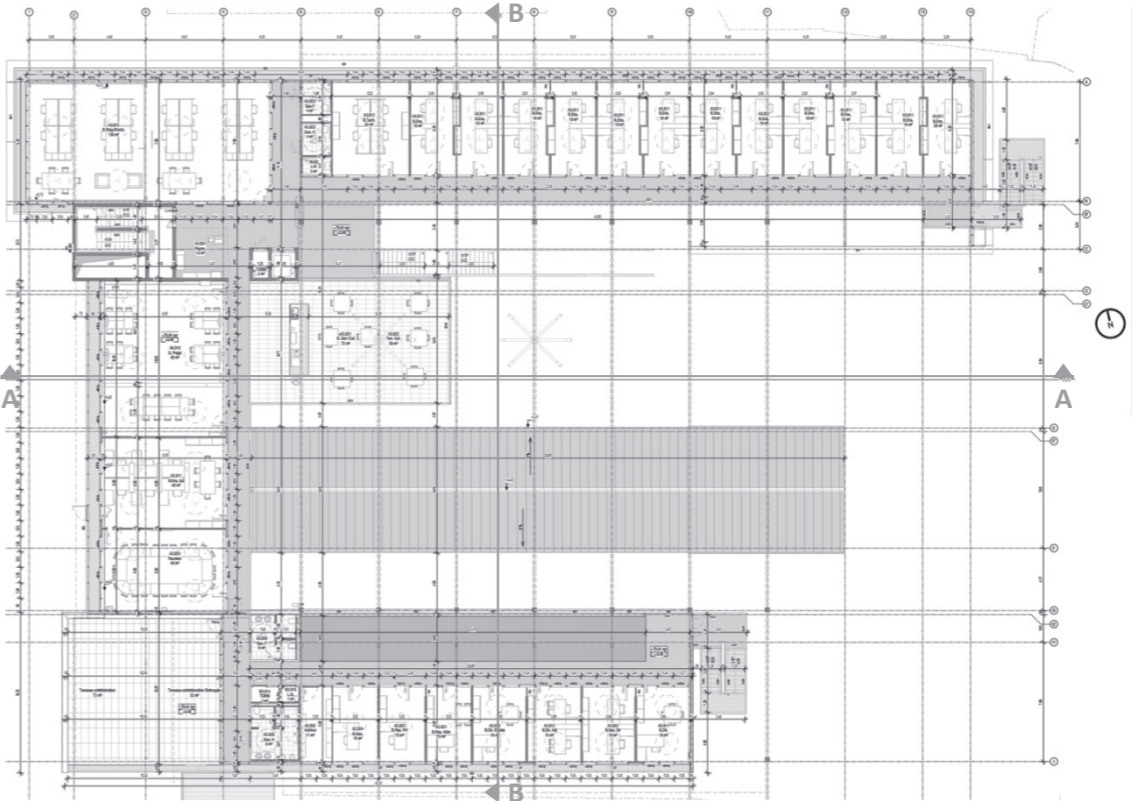
Façade NORD



Façade SUD

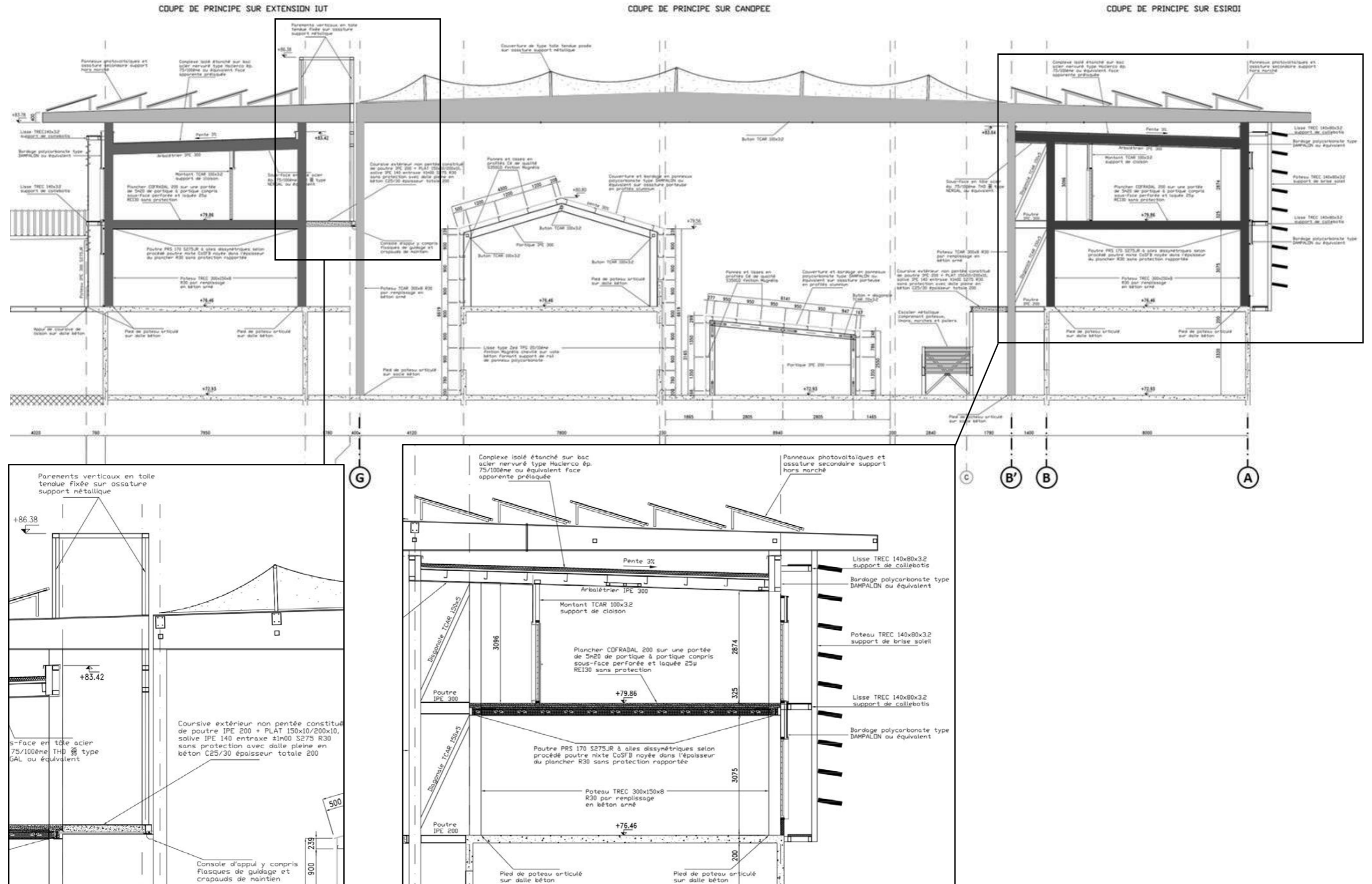


R+1





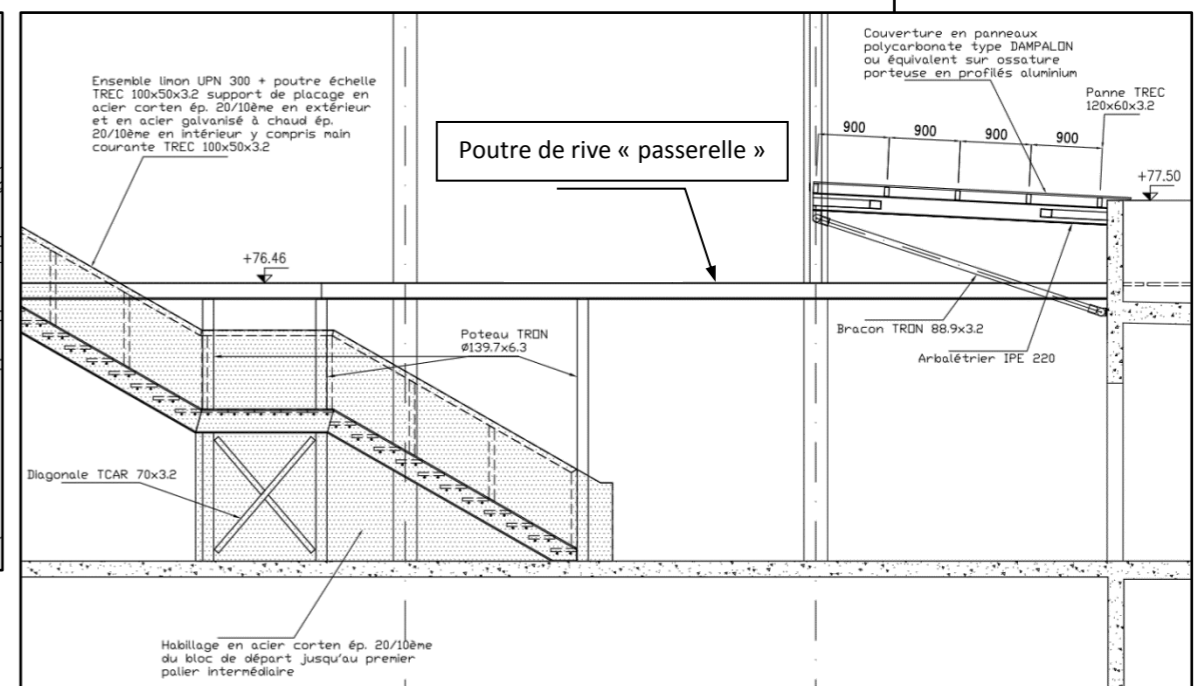
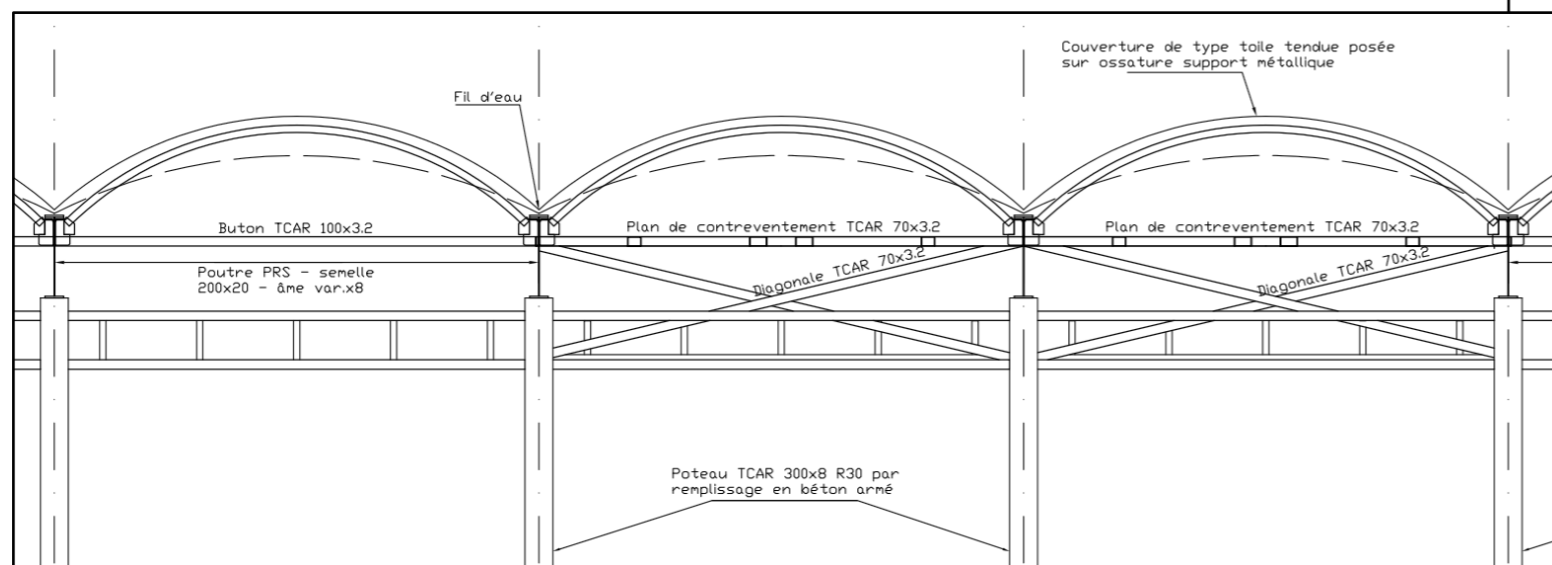
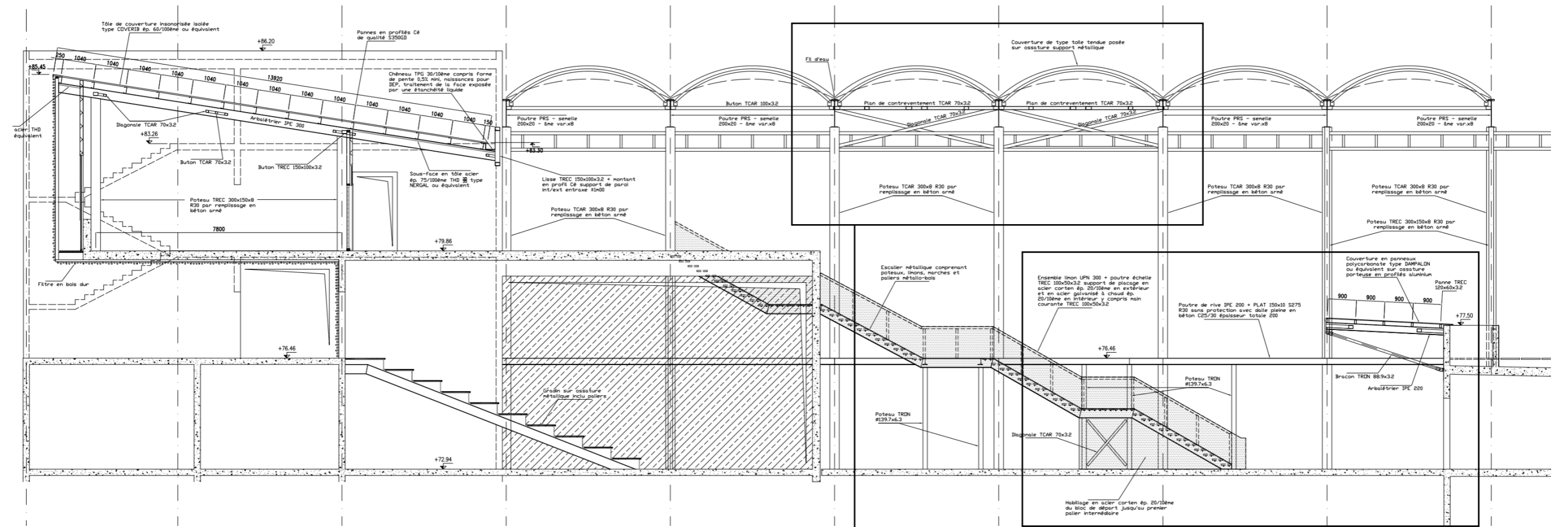
### Coupe de principe (B-B)



# Coupe de principe (A-A)

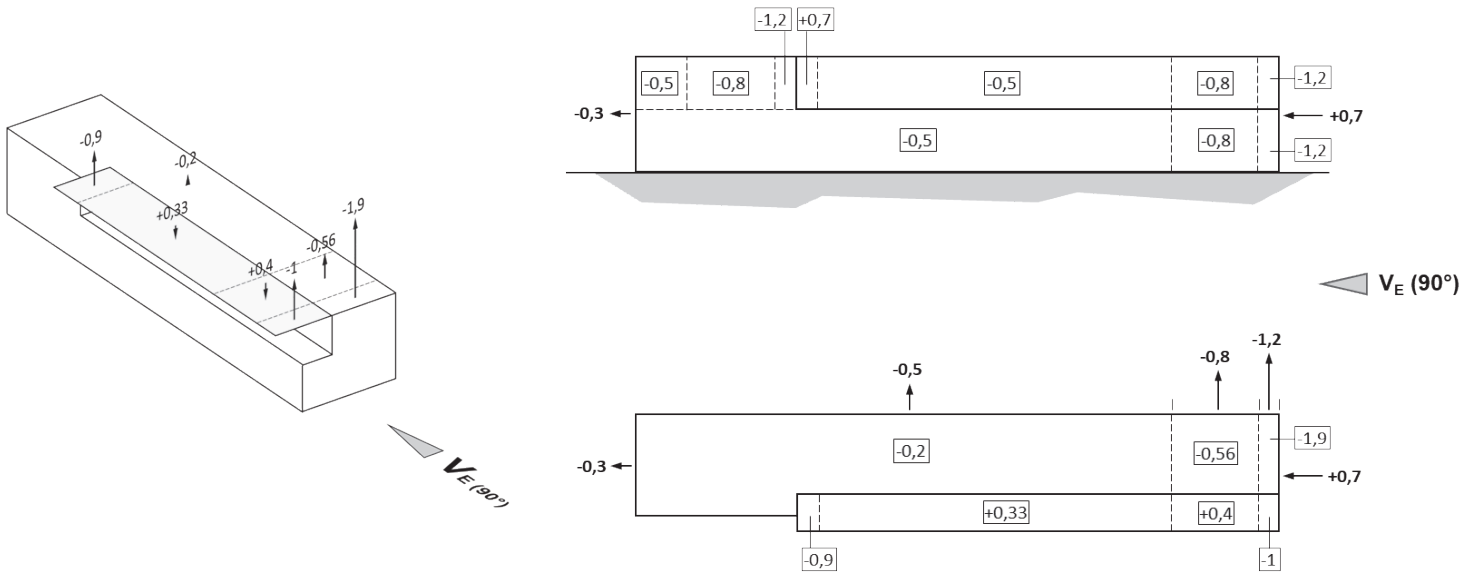
COUPE DE PRINCIPE SUR BATIMENT DE LIAISON

COUPE DE PRINCIPE SUR CANOÏE

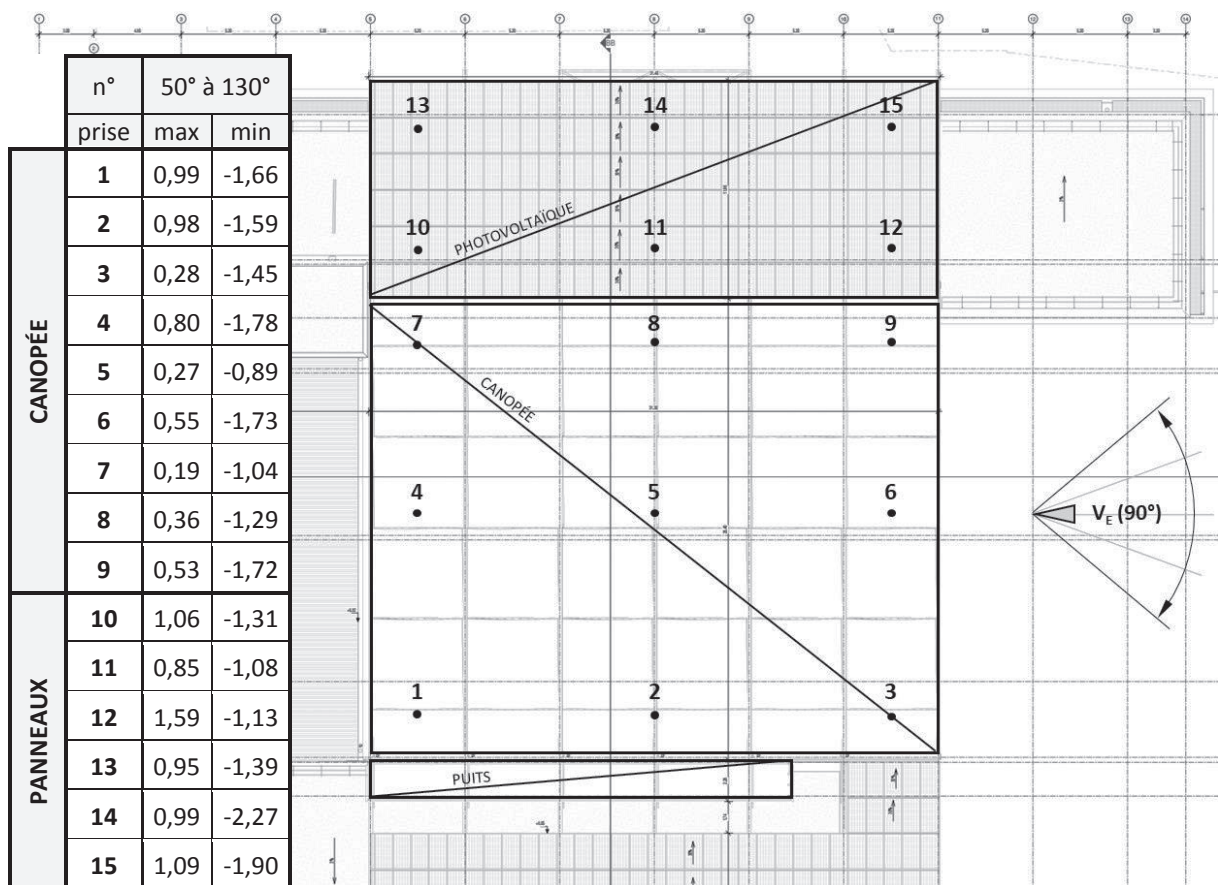


## DT2 – DONNÉES ET RESSOURCES DU PROJET

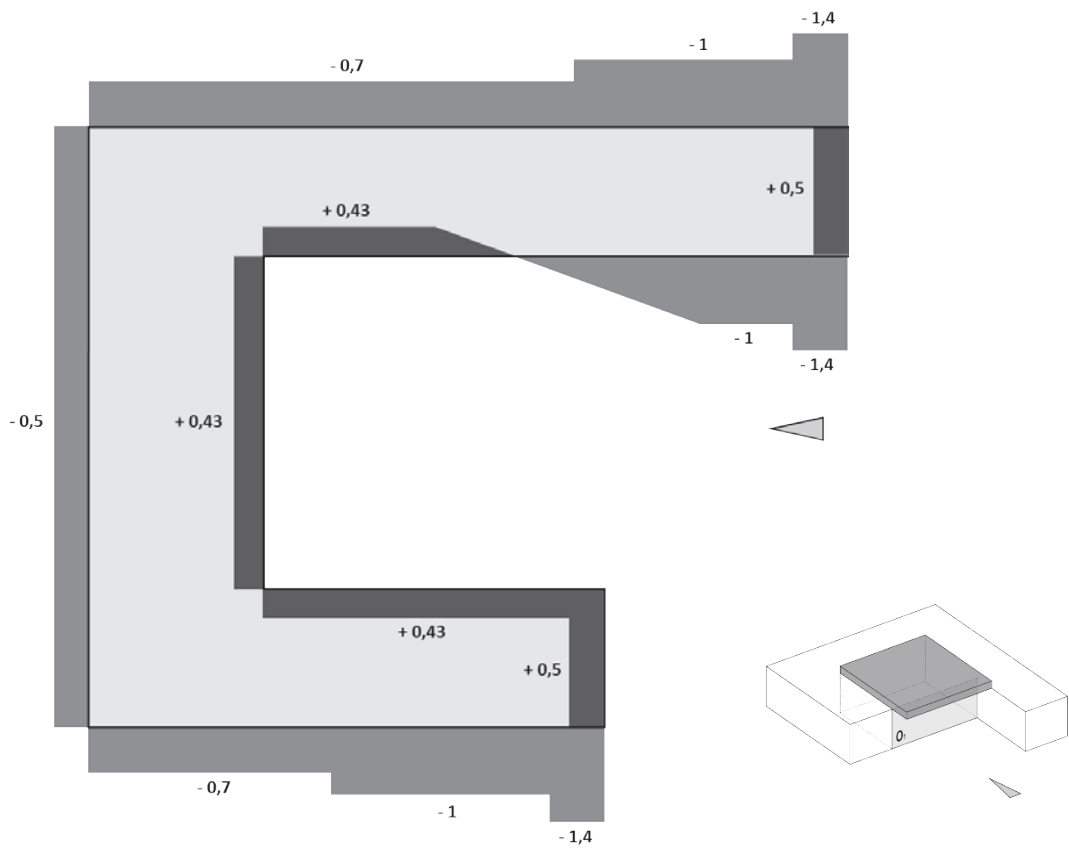
### Coefficients de pression extérieure $c_{pe}$ sur le bâtiment A avec débord de toiture



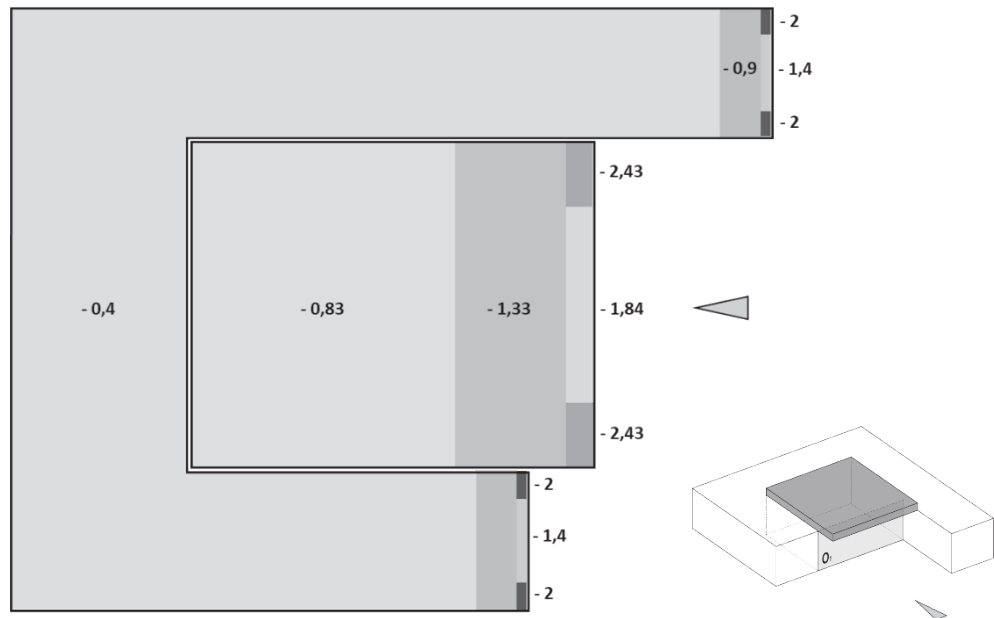
### Résultats des essais en soufflerie des coefficients de pression nette sur la toile tendue de la canopée et les panneaux photovoltaïques



**C<sub>p,net</sub> sur les parois verticales (V<sub>E,90°</sub> Surpression)**



**C<sub>p,net</sub> sur les toitures (V<sub>E,90°</sub> Surpression)**



## Hypothèses de calcul pour le dimensionnement du bâtiment A + Canopée

### Charges permanentes (G)

<b>TOITURE</b>	Bâtiment A (Bac acier + sous face)	40 daN·m <sup>-2</sup>
	Canopée (toile)	10 daN·m <sup>-2</sup>
	Panneaux photovoltaïques	30 daN·m <sup>-2</sup>
<b>PLANCHER</b>	Dalle (COFRADAL 200 + chape + carrelage + réseau divers + cloison)	430 daN·m <sup>-2</sup>
	Coursives extérieures	500 daN·m <sup>-2</sup>
<b>FACADE</b>	Brise soleil	15 daN·m <sup>-2</sup>
	Bardage (DANPALON) + Jalousie	15 daN·m <sup>-2</sup>
<b>PROFILÉS</b>	Traverse Canopée + Panneaux (PRS 800x8-225x20)	120 daN·m <sup>-1</sup>
	Traverse toiture bâtiment A (HEA 300)	90 daN·m <sup>-1</sup>
	Poutre de plancher (PRS 190x30-160x20-400x25)	148,3 daN·m <sup>-1</sup>
	Poutre de coursive (PRS 160x20-160x8-180x15)	74,1 daN·m <sup>-1</sup>
	Poteau (Tube carré 250x8)	59,1 daN·m <sup>-1</sup>
	Poteau (Tube rectangulaire 300x150x8)	54,9 daN·m <sup>-1</sup>
	Potelet (Tube rectangulaire 100x50x3)	6,6 daN·m <sup>-1</sup>

**Poids COFRADAL 200 (complexe isolant + béton) : 240 daN/m<sup>2</sup>**

### Charges d'exploitation (Q)

<b>TOITURE</b> <i>(Entretien)</i>	Bâtiment A (Bac acier)	150 daN·m <sup>-2</sup>
	Canopée (toile)	100 daN·m <sup>-2</sup>
<b>PLANCHER</b>	Salles d'enseignement	250 daN·m <sup>-2</sup>
	Coursives extérieures	500 daN·m <sup>-2</sup>

## Conditions de flèches

### Flèche verticale

Élément d'ouvrage	W <sub>max</sub>	W <sub>3</sub>
Plancher, coursives extérieures, passerelle accès IUT	L/500	L/500

w<sub>3</sub> flèche sous charges variables

w<sub>max</sub> flèche sous charges totales

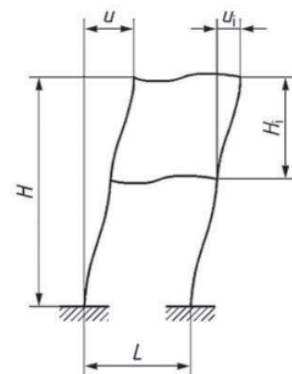
### Flèche horizontale

En tête de poteau  
Entre étage

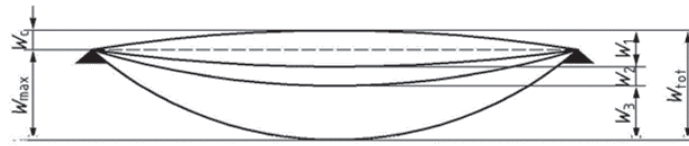
Limite sous charge ELS  
Limite sous charge ELS

$$u \leq H_0/300$$

$$u_i \leq H_i/300$$



## Détermination de la flèche d'une poutre mixte Acier-Béton



Flèche	Charge	Section	Facteur de majoration	Flèche de calcul
$W_1$	Poids du système COFRADAL + poutre	$I_y$ , acier	-	$W_1$
$W_2'$	Surcharges permanentes (long terme)	$I_y$ , Mixte, long terme	$k_L$	$W_2 = k_L \cdot W_2'$
$W_3'$	Surcharges d'exploitation (court terme)	$I_y$ , Mixte, court terme	$k_C$	$W_3 = k_C \cdot W_3'$
$W_C$	Contre flèche, valeur définit dans le cahier des charges			$W_C$

## Détermination du degré d'hyperstaticité d'une structure

$h = n_{inc} - 3nb$

$h$  : degré d'hyperstaticité de la structure  
 $n_{inc}$  : nombre d'inconnue statique des liaisons  
 $nb$  : nombre de barre de la structure

Encastrement

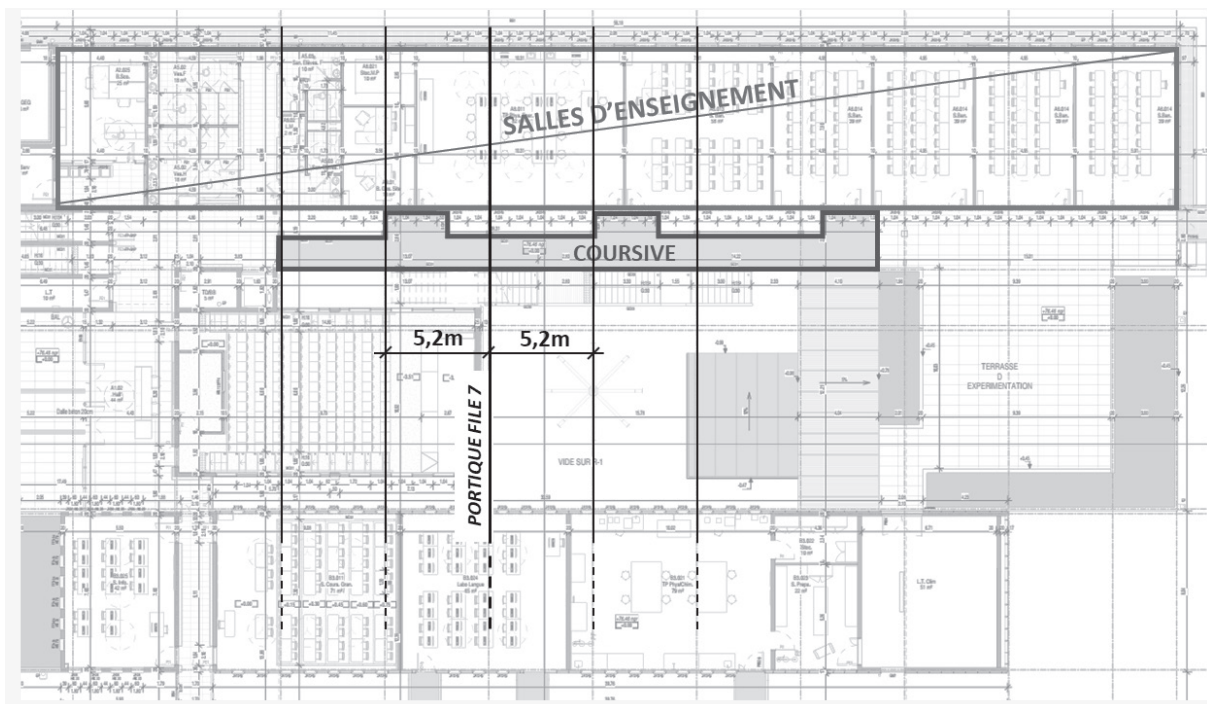
$n_{inc} = 3(n-1)$

Articulation

$n_{inc} = 2(n-1)$

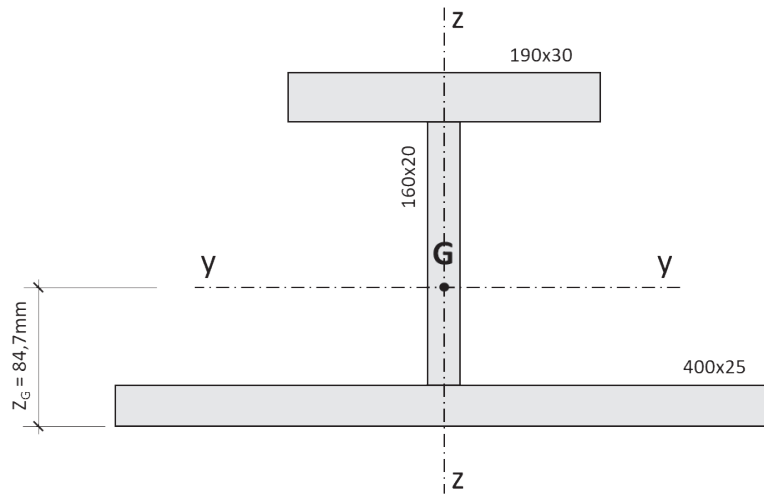
$n$ : nombre de barres aboutissantes

## Zones plancher



## Caractéristiques de la section de la poutre en acier du plancher file 7

PRS 190x30-160x20-400x25



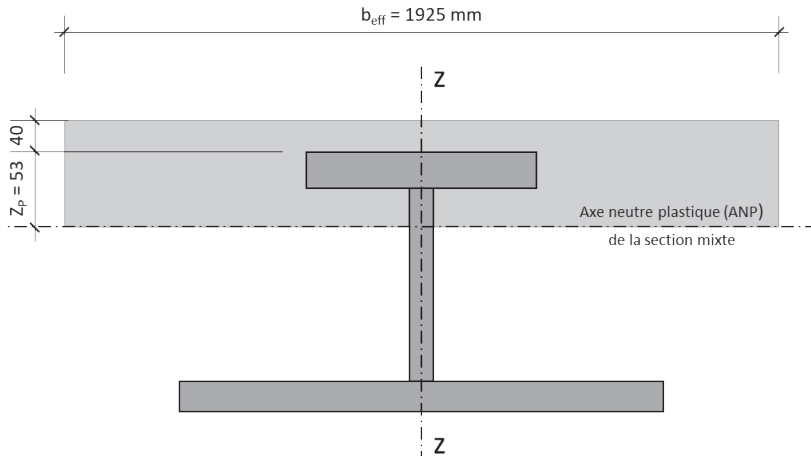
Longueur, **L = 7,7 m**

Acier **S355**:

- Limite élastique,  **$f_y = 355 \text{ Mpa}$**
- Module d'élasticité,  **$E = 210\,000 \text{ MPa}$**

**$I_y = 13\,700 \text{ cm}^4$  ;  $A = 189 \text{ cm}^2$  ;  $W_{ply} = 1\,377,6 \text{ cm}^3$  ;  $W_{ely} = 1\,051,5 \text{ cm}^3$**

## Caractéristiques de la section mixte acier + béton



Moment quadratique de la section mixte

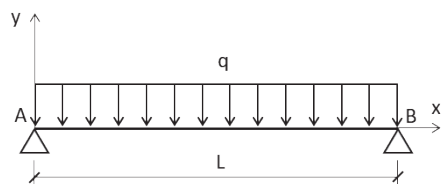
$$I_{y, \text{ Mixte court terme}} = 30\,150 \text{ cm}^4$$

$$I_{y, \text{ Mixte long terme}} = 20\,333 \text{ cm}^4$$

Moment résistant plastique de la section mixte

$$M_{\text{ply, Rd, Mixte}} = 70\,586 \text{ daN.m}$$

## Formulaire poutre bi-articulée sous charge répartie

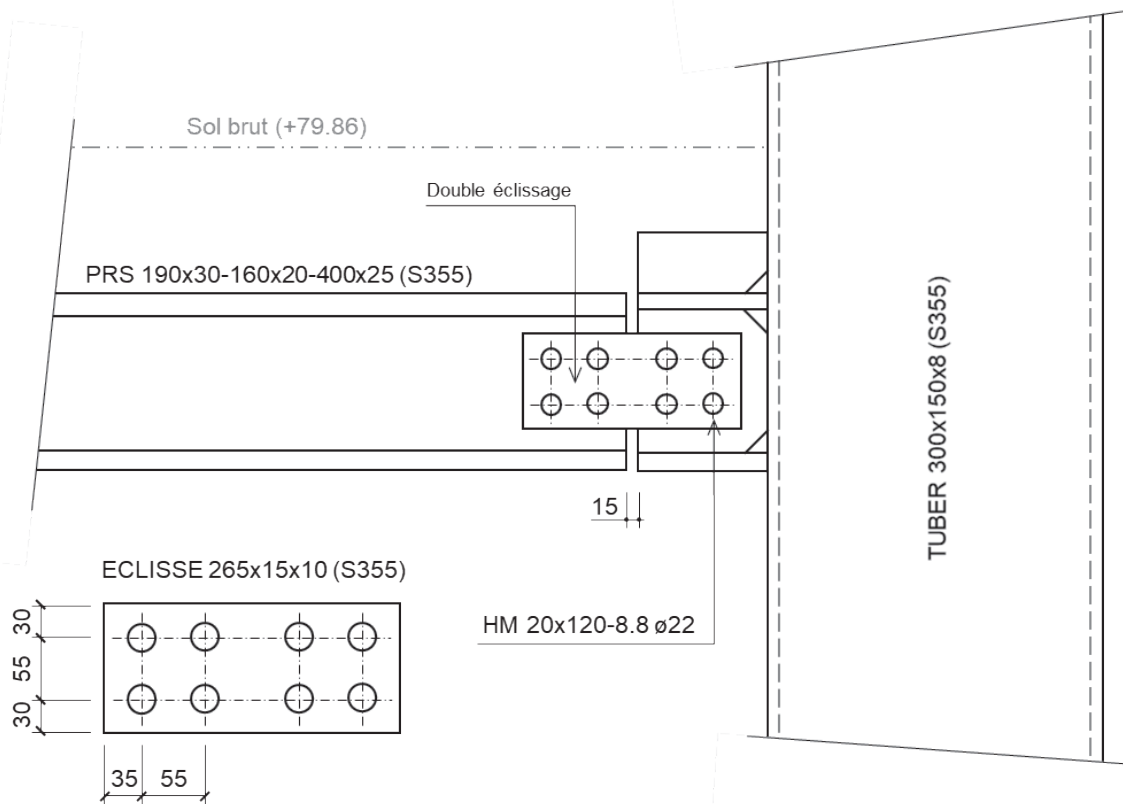


$$\text{Flèche à } L/2: f_{(L/2)} = \frac{-5 qL^4}{384EI}$$

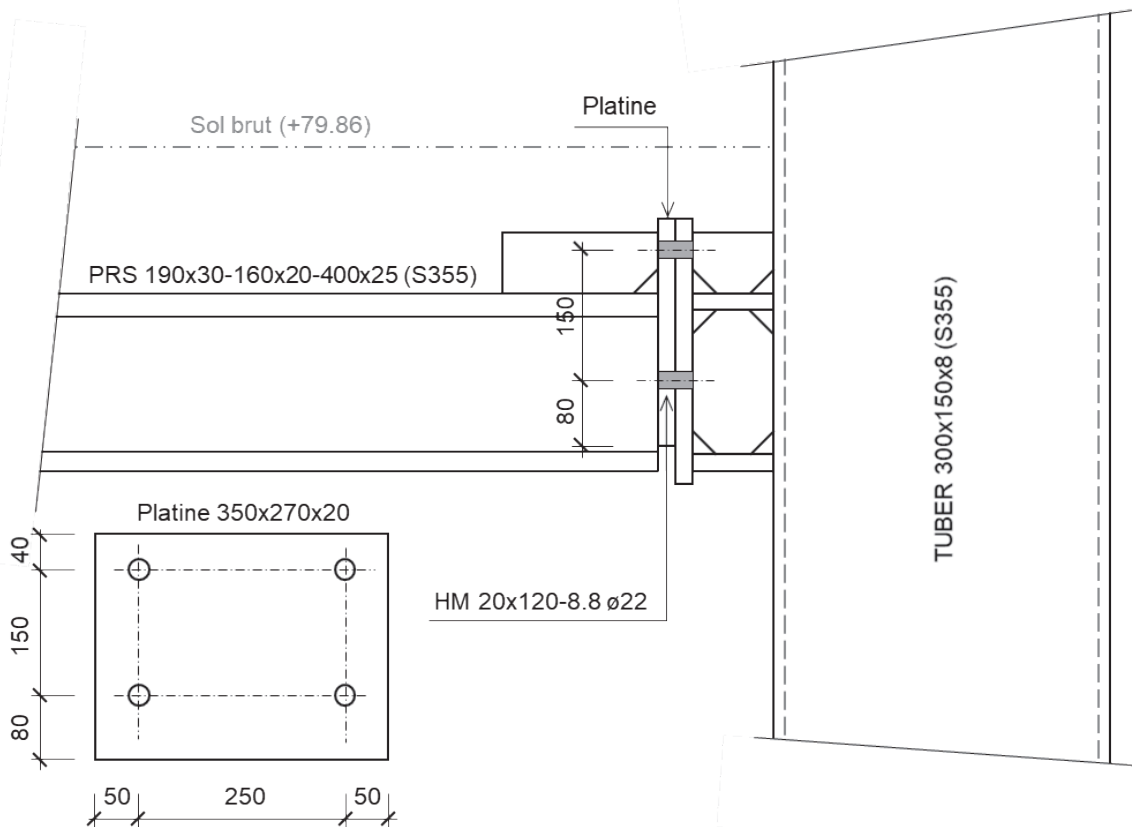
$$\text{Moment fléchissant maximal: } Mf_{(L/2)} = \frac{qL^2}{8}$$

# Liaison Poteau-Poutre (File 7A)

## Solution A : Éclissage



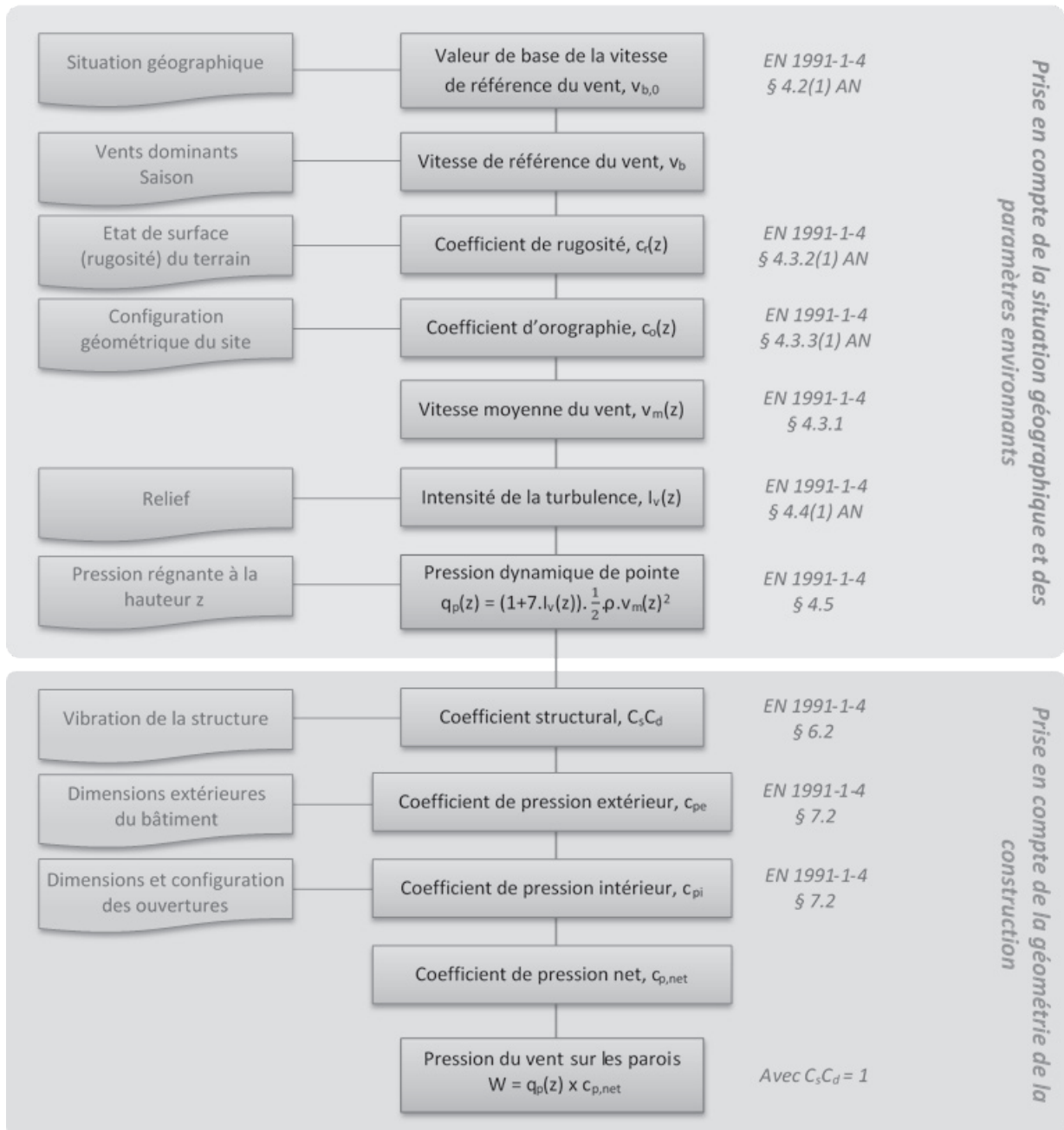
## Solution B : Platine





## DT3 - Extrait EUROCODE 1 : ACTIONS DU VENT (NF EN 1991-1-4/NA)

### Organigramme du calcul de la pression du vent sur les parois



### § 4.2 Valeurs de référence

La vitesse de référence du vent doit être calculée à partir de l'expression suivante.

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0}$$

où :

- $v_b$  est la vitesse de référence du vent, définie en fonction de la direction de ce dernier et de la période de l'année à une hauteur de 10 m au-dessus d'un sol relevant de la catégorie de terrain II ;

- $v_{b,0}$  est la valeur de base de la vitesse de référence du vent ;
- $c_{dir}$  est le coefficient de direction, voir Note 2 ;
- $c_{season}$  est le coefficient de saison, voir Note 3.

Régions :	France métropolitaine				Départements d'Outre-Mer				
	1	2	3	4	Guadeloupe	Guyane	Martinique	Mayotte	Réunion
Vitesse de référence $v_{b,0}$ [m/s]	22	24	26	28	36	17	32	30	34

Tableau 4.2 (NA)

**Note 2** - On se place en sécurité en adoptant un coefficient de direction égal à 1. Cependant, en France Métropolitaine, il est loisible d'utiliser...

La nature rotatoire des cyclones tropicaux qui affectent certains Départements d'Outre-Mer, n'autorise aucune réduction pour effet de direction dans ces départements.

**Note 3** - La valeur du coefficient de saison  $c_{season}$  est donnée, selon la zone géographique, à la Figure 4.5 pour la France métropolitaine et le Tableau 4.10 pour les départements d'outre-mer exposés aux cyclones tropicaux. Lorsque la durée de la situation de projet considérée n'est pas entièrement incluse dans la période correspondant à une valeur réduite du coefficient de saison, on retient  $c_{season} = 1$ .

Département	Saison	Coefficient de saison $c_{season}$
Guadeloupe	décembre à mai :	0,55
	juin à novembre :	1
Martinique	décembre à mai :	0,60
	juin à novembre :	1
Mayotte	juin à septembre :	0,65
	octobre à mai :	1
Réunion	juin à septembre :	0,60
	octobre à mai :	1

Tableau 4.10

### § 4.3.1 Vitesse moyenne du vent

La vitesse moyenne du vent  $v_m(z)$  à une hauteur  $z$  au-dessus du sol dépend de la rugosité du terrain et de l'orographie, ainsi que de la vitesse de référence du vent  $v_b$ , et il convient de la déterminer à l'aide de l'expression suivante.

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

où :

- $c_r(z)$  est le coefficient de rugosité ;
- $c_o(z)$  est le coefficient orographique

### § 4.3.2 Rugosité du terrain

Le coefficient de rugosité,  $c_r(z)$ , tient compte de la variabilité de la vitesse moyenne du vent sur le site de la construction due à :

- la hauteur au-dessus du niveau du sol ;
- la rugosité du terrain en amont de la construction dans la direction du vent considérée.

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{pour } z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{pour } z \leq z_{\min}$$

où :

- $z_0$  est la longueur de rugosité ;
- $k_r$  est le facteur de terrain dépendant de la longueur de rugosité  $z_0$  ;
- $z_{0,II} = 0,05$  m (catégorie de terrain II, Tableau 4.1;
- $z_{\min}$  est la hauteur minimale définie dans le Tableau 4.1;

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$$

$z_{\max}$  doit être considérée comme étant égale à 200 m ;

$z_0$ ,  $z_{\min}$  dépendent de la catégorie de terrain et sont donnés dans le Tableau 4.1(NA)

Catégorie de terrain		$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
0	Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer ; lacs et plans d'eau parcourus par le vent sur une distance d'au moins 5 km	0,005	1
II	Rase campagne, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments, etc.) séparés les uns des autres de plus de 40 fois leur hauteur	0,05	2
IIIa	Campagne avec des haies ; vignobles ; bocage ; habitat dispersé	0,20	5
IIIb	Zones urbanisées ou industrielles ; bocage dense ; vergers	0,5	9
IV	Zones urbaines dont au moins 15 % de la surface sont recouverts de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m ; forêts	1,0	15

Tableau 4.1(NA)

### § 4.3.3 Orographie du terrain

L'orographie est considérée comme complexe car elle est constituée d'obstacle et de formes variées, on adoptera donc la procédure 1 de l'annexe nationale pour la détermination de  $c_0(z)$ .

#### PROCEDURE 1

L'altitude moyenne locale du terrain environnant la construction,  $A_m$ , est définie par :

$$A_m = \frac{2 \cdot A_C + A_{N1} + A_{N2} + A_{E1} + A_{E2} + A_{S1} + A_{S2} + A_{O1} + A_{O2}}{10}$$

où :

- $A_C$  est l'altitude du lieu de construction ;
- $A_{N1}, A_{E1}, A_{S1}, A_{O1}$  est l'altitude aux points situés, dans les quatre directions cardinales (nord, est, sud, ouest) à une distance de 500 m du lieu de construction ;
- $A_{N2}, A_{E2}, A_{S2}, A_{O2}$  est l'altitude aux points situés, dans les quatre directions cardinales à une distance de 1 000 m du lieu de construction.

L'altitude relative du lieu de construction  $\Delta A_C$  est définie par :

$$\Delta A_C = A_C - A_m$$

Le coefficient d'orographie  $c_0$  en terrain complexe est défini par :

$$\begin{aligned} c_0(z) &= 1 + 0,004 \cdot \Delta A_C \cdot e^{-0,014(z-10)} && \text{pour } z \geq 10 \text{ m} \\ c_0(z) &= c_0(10) && \text{pour } z < 10 \text{ m} \end{aligned}$$

où :

- $z$  est la hauteur locale au-dessus du sol, exprimée en mètres.

#### Limitations :

1. Dans les cas où le calcul conduit à  $c_0 < 1,0$ , on retiendra  $c_0 = 1,0$ .
2. Dans les cas où le calcul conduit à  $c_0 > 1,15$ , il convient de déterminer le coefficient d'orographie au moyen d'une étude spécifique par modélisation numérique ou sur maquette en soufflerie.

#### § 4.4 Turbulence du vent

L'intensité de la turbulence  $I_v(z)$  à la hauteur  $z$  est définie par l'expression suivante.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_1}{c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad \text{pour} \quad z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$$

où :

- $k_1$  est le coefficient de turbulence. La valeur recommandée est  $k_1 = 1,0$  ;
- $c_o$  est le coefficient orographique ;
- $z_0$  est la longueur de rugosité, indiquée dans le Tableau 4.1

Orographie constituée d'obstacles de hauteurs et de formes variées :

$$k_1 = 1 - 2 \cdot 10^{-4} (\log_{10}(z_0) + 3)^6$$

#### § 4.5 Pression dynamique de pointe

$$q_p(z) = \left[ 1 + 7 \cdot I_v(z) \right] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

$\rho$  est la masse volumique de l'air, qui dépend de l'altitude, de la température et de la pression atmosphérique prévues dans la région lors des tempêtes. La valeur recommandée (AN) est  $1,25 \text{ kg/m}^3$ .

#### § 6.2 Coefficient structural $C_s C_d$

Pour les bâtiments dont la hauteur est inférieure ou égale à 15 m, la valeur de  $C_s C_d$  peut être considérée comme égale à 1.

#### Coefficient de pression nette

Le coefficient de pression nette est déterminé par l'expression suivante :  $C_{p,net} = C_{pe} - C_{pi}$

$C_{pe}$  est le coefficient de pression à l'extérieur de la paroi du bâtiment

$C_{pi}$  est le coefficient de pression à l'intérieur du bâtiment

#### § 7.2 Coefficients de pression pour les bâtiments

**Note 1** - Les valeurs de  $C_{pe,1}$  sont destinées au calcul des petits éléments et de leurs fixations, d'aire inférieure ou égale à  $1 \text{ m}^2$  tels que des éléments de façade et de toit. Les valeurs de  $C_{pe,10}$  peuvent être utilisées pour le calcul de la structure portante générale des bâtiments.

(3) Pour les avancées de toit, la pression exercée sur la face inférieure de l'avant-toit est égale à la pression applicable à la zone du mur vertical directement relié à l'avancée de toit ; la pression exercée sur la face supérieure de l'avant-toit est égale à la pression de la zone, définie pour la toiture elle-même.

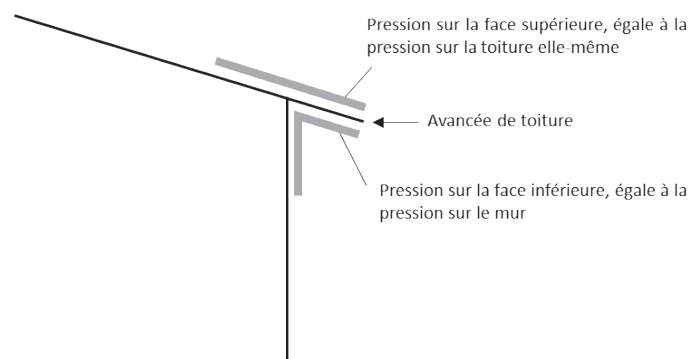


Figure 7.3

## § 7.2.2 Murs verticaux des bâtiments à plan rectangulaire

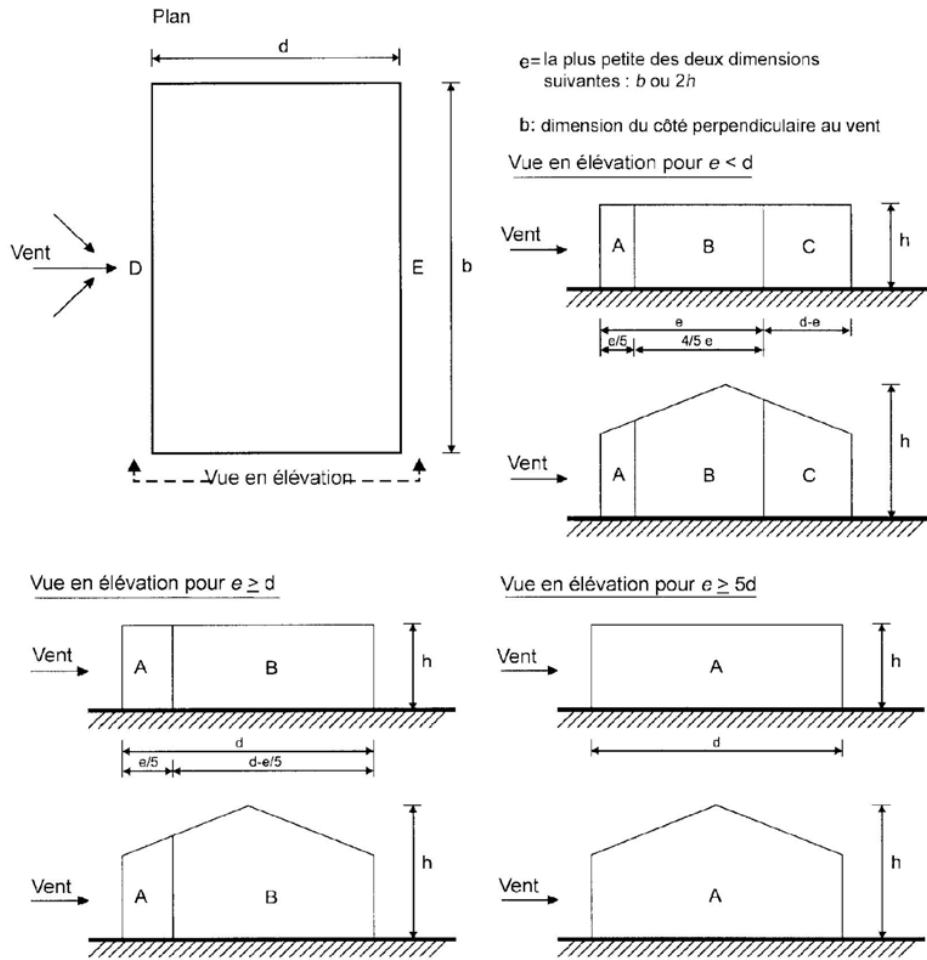


Figure 7.5

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

Tableau 7.1

### § 7.2.3 Toitures-terrasses

Les toitures-terrasses sont définies comme ayant une pente ( $\alpha$ ) telle que  $-5^\circ < \alpha < 5^\circ$ .

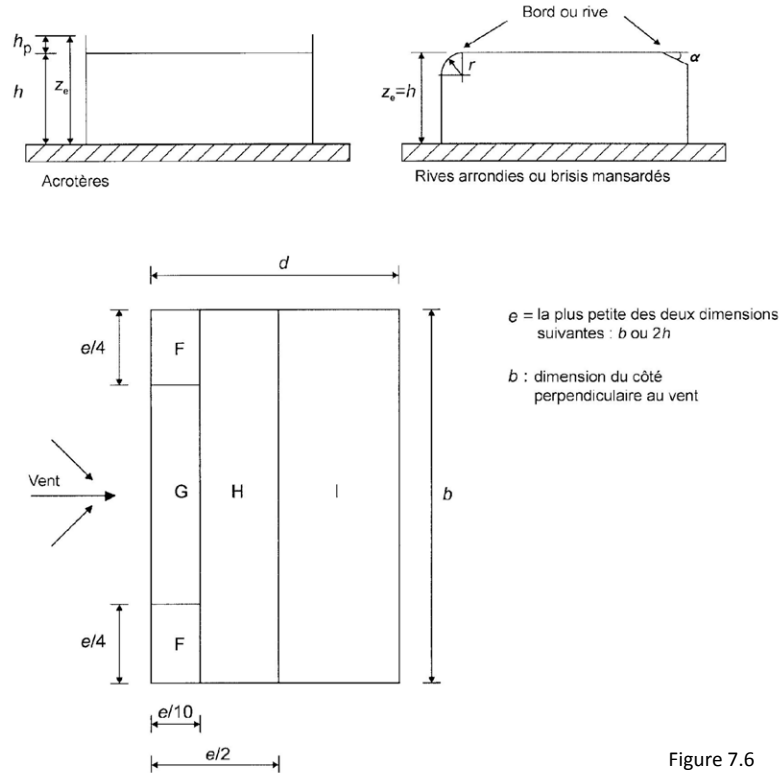


Figure 7.6

Type de toiture		Zone							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
rives à arêtes vives		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
avec acrotères	$h_p/h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h = 0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
	$h_p/h = 0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
rives arrondies	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0,2	-0,2
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2	-0,2
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0,2	-0,2
brisis mansardés	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+0,2	-0,2
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+0,2	-0,2
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+0,2	-0,2

Tableau 7.2

### § 7.3 Toitures isolées

**NOTE** -  $\varphi = 0$  représente une toiture isolée sans rien en dessous, et  $\varphi = 1$  représente la toiture isolée entièrement obstruée par des objets disposés sur toute la hauteur de la seule rive sous le vent (il ne s'agit pas d'un bâtiment fermé).

(5) Le coefficient de force globale représente la force résultante. Le coefficient de pression nette représente la pression locale maximale pour toutes directions du vent. Il est recommandé d'utiliser ce dernier pour le calcul des éléments de toiture et des fixations.

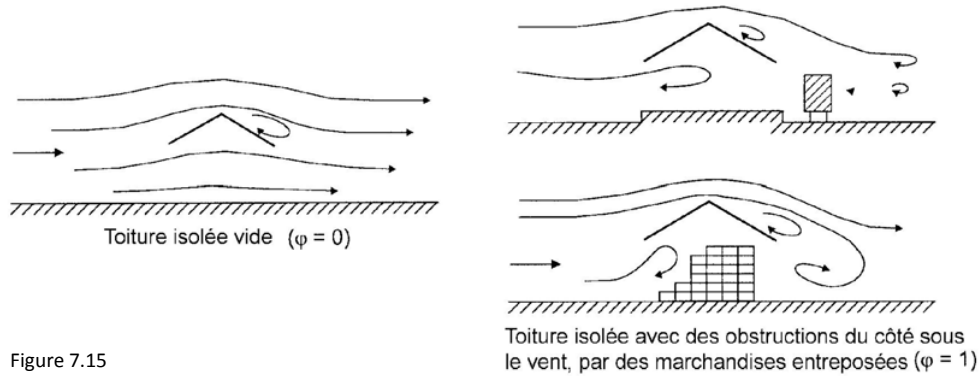


Figure 7.15

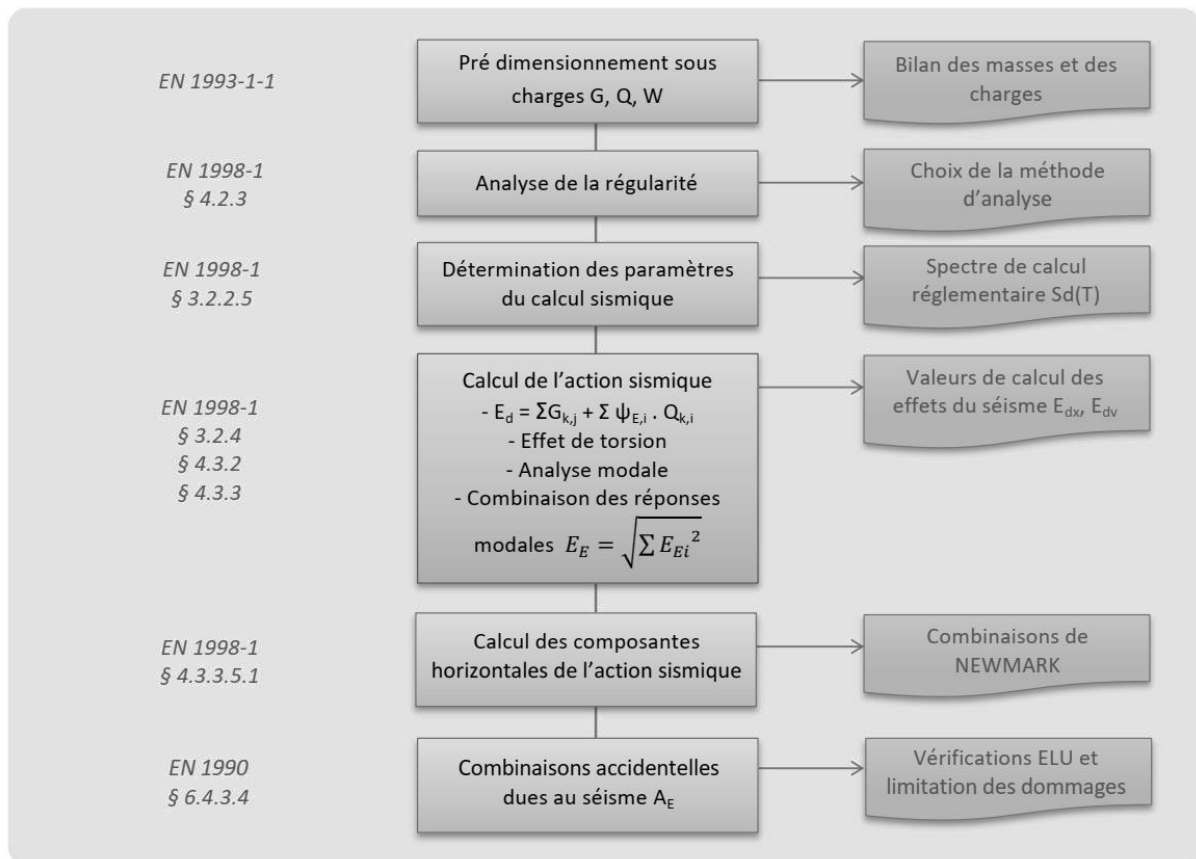
		Coefficients de pression nette $c_{p,net}$			
		Plan repère			
Angle de toiture $\alpha$	Obstruction $\varphi$	Coefficients de force globaux $c_f$	Zone A	Zone B	Zone C
0°	Maximum, quel que soit $\varphi$	+ 0,2	+ 0,5	+ 1,8	+ 1,1
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,6	- 1,3	- 1,4
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 1,8	- 2,2
5°	Maximum, quel que soit $\varphi$	+ 0,4	+ 0,8	+ 2,1	+ 1,3
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,7	- 1,1	- 1,7	- 1,8
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,2	- 2,5
10°	Maximum, quel que soit $\varphi$	+ 0,5	+ 1,2	+ 2,4	+ 1,6
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,9	- 1,5	- 2,0	- 2,1
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,6	- 2,7

Tableau 7.6

## DT4 - Extrait EUROCODE 8 : CALCUL DES STRUCTURES POUR LEURS RESISTANCE AUX SEISMES (NF EN 1998-1-4/NA)

Article D.563-8-1 Code de l'environnement / JO Arrêté 22 octobre 2010

### Organigramme du calcul des effets du séisme sur un bâtiment



### § 3.2.1 Zones sismiques

(2) Pour la plupart des applications de l'EN 1998, l'aléa est pris en compte par un seul paramètre, l'accélération maximale de référence au niveau d'un sol de classe A,  $a_{gR}$  (fixée par l'Administration française).

(3) L'accélération de calcul au niveau du sol  $a_g$ .

$$a_g = \gamma_I \times a_{gR} \times S_T$$

où :

- $a_{gR}$  est l'accélération maximale de référence au niveau d'un sol de classe A ;
- $\gamma_I$  est le coefficient d'importance du bâtiment fixé par l'Administration française ;
- $S_T$  est le facteur d'amplification topographique

(1)P Dans le domaine d'application de l'EN 1998, le mouvement dû au séisme en un point donné de la surface du sol est représenté par un spectre de réponse élastique en accélération, dénommé par la suite "spectre de réponse élastique".



### § 3.2.2.5 Spectre de calcul pour l'analyse élastique

**(4)P** Pour les composantes horizontales de l'action sismique, le spectre de calcul,  $S_d(T)$ , doit être défini par les expressions suivantes :

$$0 \leq T \leq T_B : \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad \dots (3.13)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad \dots (3.14)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : \quad S_d(T) = \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad \dots (3.15)$$

$$T_D \leq T : \quad S_d(T) = \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad \dots (3.16)$$

où :

- $S_d(T)$  est le spectre de calcul ;
- $S$  est le paramètre du sol fixé par l'administration française ;
- $q$  est le coefficient de comportement ;
- $\beta$  est le coefficient correspondant à la limite inférieure du spectre de calcul horizontal.

**(AN)** Les valeurs des paramètres  $T_B$ ,  $T_C$  et  $T_D$  sont fixées par l'Administration française.

### § 4.2.3 Critères de régularité de la structure

**(1)P** En vue du dimensionnement sismique, les structures de bâtiment sont classées en structures régulières et structures irrégulières.

**(2)** Cette distinction a des implications sur les aspects suivants du dimensionnement sismique :

- le modèle de structure peut être un modèle simplifié plan, ou bien un modèle spatial ;
- la méthode d'analyse peut être soit une analyse spectrale simplifiée (méthode des forces latérales), soit une analyse modale ;

**(3)P** En ce qui concerne les conséquences de la régularité de la structure sur son analyse et son dimensionnement, on prend en compte séparément les caractéristiques de régularité du bâtiment en plan et en élévation (Tableau 4.1).

Régularité		Simplifications admises		Coefficient de comportement
Plan	Élévation	Modèle	Analyse élastique linéaire	(pour l'analyse linéaire)
Oui	Oui	Plan	Force latérale <sup>a)</sup>	Valeur de référence
Oui	Non	Plan	Modale	Valeur minorée
Non	Oui	Spatial <sup>b)</sup>	Force latérale <sup>a)</sup>	Valeur de référence
Non	Non	Spatial	Modale	Valeur minorée

a) Si la condition de 4.3.3.2.1(2) est également satisfaite.  
b) Dans les conditions particulières indiquées en 4.3.3.1(8), un modèle plan séparé peut être utilisé dans chaque direction horizontale, conformément à 4.3.3.1(8).

Tableau 4.1

### § 4.2.3.2 Critères de régularité en plan

(1)P Un bâtiment classé comme régulier en plan doit respecter toutes les conditions données dans les alinéas suivants :

- (2) La structure du bâtiment doit être approximativement symétrique en plan par rapport à deux directions orthogonales, en ce qui concerne la raideur latérale et la distribution de la masse.
- (3) La configuration en plan doit être compacte, c'est-à-dire qu'elle doit être délimitée pour chaque plancher par un contour polygonal curviligne.
- (4) La raideur en plan des planchers doit être suffisamment importante, comparée à la raideur latérale des éléments verticaux de structure.
- (5) L'élanement  $\lambda = L_{\max} / L_{\min}$  de la section en plan du bâtiment ne doit pas être supérieur à 4, où  $L_{\max}$  et  $L_{\min}$  sont respectivement la plus grande et la plus petite dimension en plan du bâtiment mesurées dans les directions orthogonales.

### § 4.2.3.3 Critères de régularité en élévation

(1)P Un bâtiment classé comme régulier en élévation doit respecter toutes les conditions données dans les alinéas suivants :

- (2) Tous les éléments de contreventement, comme les noyaux centraux, les murs ou les portiques, doivent être continus depuis les fondations jusqu'au sommet du bâtiment ou, lorsqu'il existe des retraits à différents niveaux, jusqu'au sommet de la partie concernée du bâtiment.
  - (3) La raideur latérale et la masse de chaque niveau doivent demeurer constantes ou sont réduites progressivement, sans changement brutal, entre la base et le sommet du bâtiment considéré.
- (4) Dans les bâtiments à ossature, le rapport entre la résistance effective de chaque niveau et la résistance exigée par le calcul ne doit pas varier de manière disproportionnée d'un niveau à l'autre.

## **§ 4.2.5 Catégories d'importance et coefficients d'importance**

(1)P Les bâtiments sont classés en 4 catégories d'importance qui dépendent des conséquences en termes de vies humaines en cas d'effondrement, de l'importance du bâtiment pour la sécurité publique et la protection civile immédiatement après un séisme, ainsi que des conséquences économiques et sociales en cas d'effondrement.

Catégorie d'importance	Bâtiments
I	Bâtiments d'importance mineure pour la sécurité des personnes, par exemple, bâtiments agricoles, etc.
II	Bâtiments courants n'appartenant pas aux autres catégories
III	Bâtiments dont la résistance aux séismes est importante compte tenu des conséquences d'un effondrement, par exemple : écoles, salles de réunion, institutions culturelles, etc.
IV	Bâtiments dont l'intégrité en cas de séisme est d'importance vitale pour la protection civile, par exemple : hôpitaux, casernes de pompiers, centrales électriques, etc.

Tableau 4.3

### § 4.3.3 Méthodes d'analyse

(1) Les effets sismiques peuvent être déterminés sur la base d'un comportement élastique linéaire de la structure.

(2) La méthode de référence pour déterminer les effets sismiques doit être l'analyse modale spectrale utilisant un modèle élastique linéaire de la structure et le spectre de calcul donné en 3.2.2.5.

(3) En fonction des caractéristiques de la structure du bâtiment, l'un des deux types d'analyse élastique linéaire ci-dessous peut être utilisé :

- a) la " méthode d'analyse par forces latérales " pour les bâtiments respectant les conditions indiquées en 4.3.3.2 ;
- b) " l'analyse modale utilisant le spectre de réponse " qui est applicable à tous les types de bâtiments (voir 4.3.3.3) ;

### Extrait : Article D.563-8-1 Code de l'environnement / JO Arrêté 22 octobre 2010

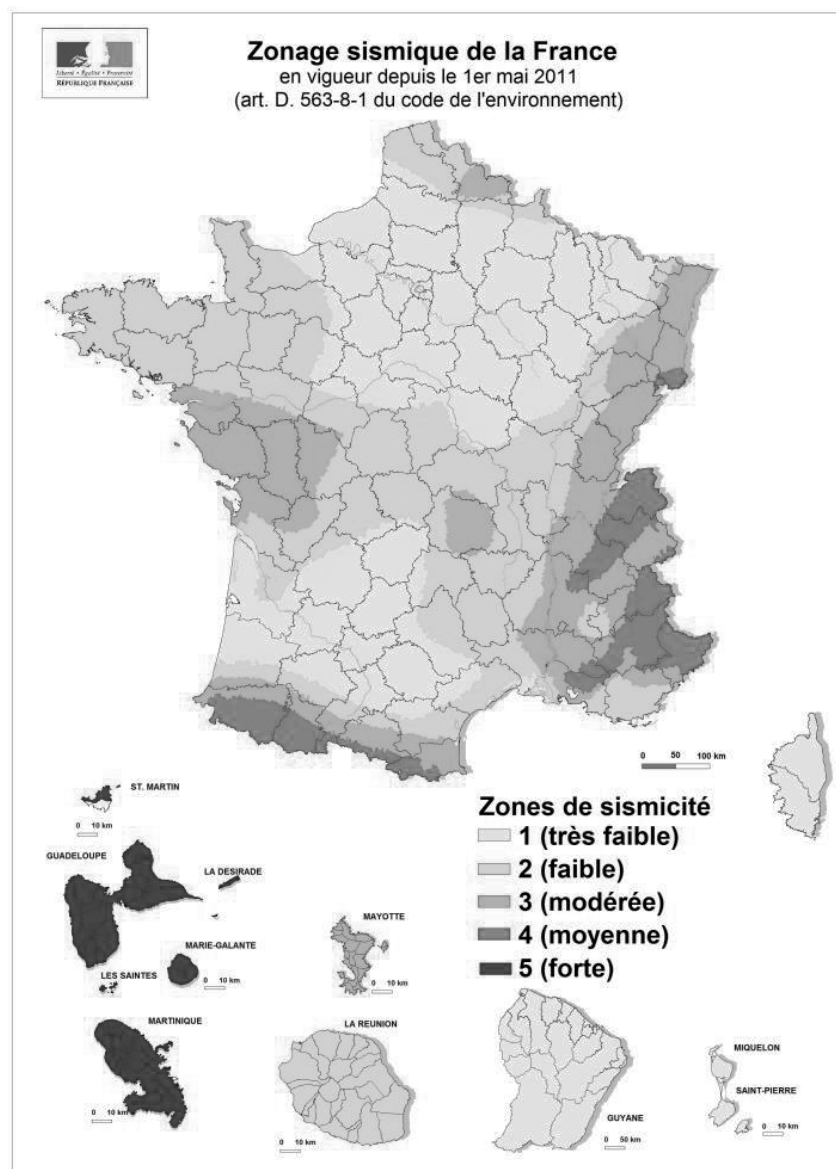


Tableau 1.2-1 Accélération de référence au niveau du sol en fonction de la zone de sismicité

Zones de sismicité	$a_{gr}$
<b>Très faible</b>	Pas de prise en compte de l'aléa sismique dans les constructions à risque normal $\Rightarrow$ pas de valeur d'accélération $a_{gR}$ pour les bâtiments de classe I,II, III et IV.
<b>Faible</b>	0,7
<b>Modérée</b>	1,1
<b>Moyenne</b>	1,6
<b>Forte</b>	3

Tableau 1.2-2 Coefficient d'importance  $\gamma_i$

		Coefficient d'importance $\gamma_i$
<b>Classe de Bâtiment</b>	<b>I</b>	0,8
	<b>II</b>	1
	<b>III</b>	1,2
	<b>IV</b>	1,4

Tableau 1.2-3 Coefficient de sol

Classes de sol	S (pour les zones de sismicité 1 à 4)	S (pour la zone de sismicité 5)
<b>A</b>	1	1
<b>B</b>	1,35	1,2
<b>C</b>	1,5	1,15
<b>D</b>	1,6	1,35
<b>E</b>	1,8	1,4

CLASSES DE SOL	POUR LES ZONES DE SISMICITÉ 1 à 4			POUR LA ZONE DE SISMICITÉ 5		
	$T_b$	$T_c$	$T_d$	$T_b$	$T_c$	$T_d$
A	0,03	0,2	2,5	0,15	0,4	2
B	0,05	0,25	2,5	0,15	0,5	2
C	0,06	0,4	2	0,2	0,6	2
D	0,1	0,6	1,5	0,2	0,8	2
E	0,08	0,45	1,25	0,15	0,5	2

<b>DT5 - Extrait EUROCODE 0 : BASES DE CALCUL DES STRUCTURES</b> <b>EUROCODE 3 : CALCUL DES STRUCTURES EN ACIER</b> <b>Partie 1-1 : Règles générales / Partie 1-8 : Calcul des assemblages</b>
--

**Tableau pratique des combinaisons d'action**

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**
  - Actions variables  $Q_k$  limitées aux seules actions :
    - **Charges d'exploitation** notées **Q**
    - Charges climatiques :
      - Actions dues à la neige notées **S**
      - Actions dues au vent notées **W**

	<b>ELU</b>	<b>ELS</b>
	Combinaison fondamentales	Combinaisons caractéristiques
G + 1 action variable	$1,35 G + 1,5 Q$ $1,35 G + 1,5 S$ $1,35 G + 1,5 W$ $G + 1,5 W$ (si soulèvement)	$G + Q$ $G + S$ $G + W$
G + 2 actions variables	$1,35 G + 1,5 Q + 1,5 \psi_{0S} S$ $1,35 G + 1,5 Q + 1,5 \psi_{0W} W$ $1,35 G + 1,5 S + 1,5 \psi_{0Q} Q$ $1,35 G + 1,5 S + 1,5 \psi_{0W} W$ $1,35 G + 1,5 W + 1,5 \psi_{0Q} Q$ $1,35 G + 1,5 W + 1,5 \psi_{0S} S$	$G + Q + \psi_{0S} S$ $G + Q + \psi_{0W} W$ $G + S + \psi_{0Q} Q$ $G + S + \psi_{0W} W$ $G + W + \psi_{0Q} Q$ $G + W + \psi_{0S} S$

Avec  $\psi_{0Q}$  et  $\psi_{2Q}$  dont les valeurs dépendent de la catégorie de la charge d'exploitation.

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

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

## Valeurs limites maximales recommandées pour les flèches verticales



où,

Figure1

- $w_c$  Contreflèche dans l'élément structural non chargé
- $w_1$  Partie initiale de la flèche sous les charges permanentes de la combinaison d'actions correspondante.
- $w_2$  Partie à long terme de la flèche sous les charges permanentes.
- $w_3$  Partie additionnelle de la flèche due aux actions variables de la combinaison d'actions correspondante.
- $w_{tot}$  Flèche totale, soit somme de  $w_1, w_2, w_3$ .
- $w_{max}$  Flèche résiduelle totale compte tenu de la contreflèche.

## Convention pour les barres

La convention pour les axes des barres en acier est la suivante :

x-x sur la longueur de la barre

y-y axe de la section transversale parallèle aux semelles

z-z axe de la section transversale perpendiculaire aux semelles

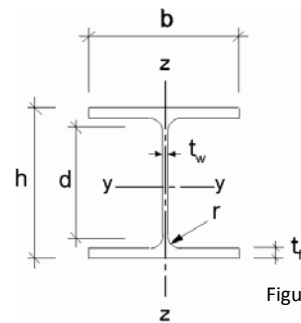


Figure 2

## Propriétés des matériaux

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 <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
<b>EN 10025-3</b>				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
<b>EN 10025-4</b>				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
<b>EN 10025-5</b>				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
<b>EN 10025-6</b>				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

(1) Pour les aciers de construction, il convient de prendre les propriétés de matériau à adopter dans les calculs égales aux valeurs suivantes :

- module d'élasticité longitudinale  $E = 210\ 000\ \text{MPa}$
- module de cisaillement  $G = 81\ 000\ \text{MPa}$

**Coefficients partiels recommandés**

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,00$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

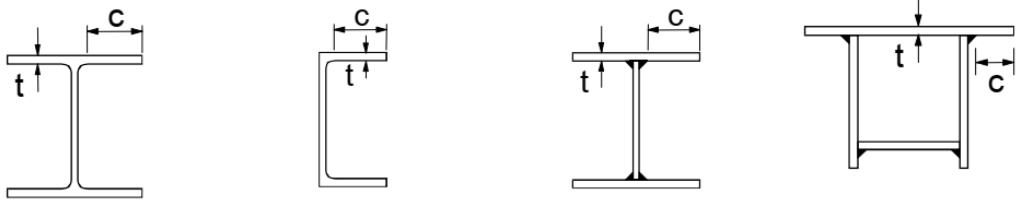
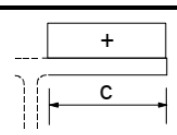
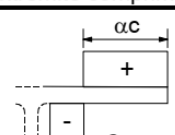
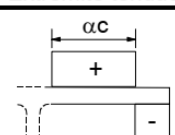
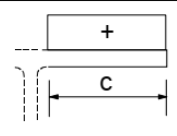
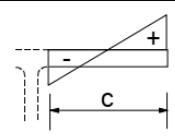
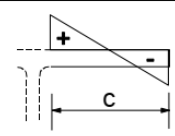
**Classification des sections transversales (NF EN 1993-1-1)**

Table 5.2 (Feuille 1 sur 3) : Rapports largeur-épaisseur maximaux pour les parois comprimées

Parois comprimées internes						
				Axe de flexion		
				Axe de flexion		
Classe	Paroi fléchie	Paroi comprimée	Paroi fléchie et comprimée			
Distribution des contraintes dans les parois (compression positive)						
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	lorsque $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ lorsque $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	lorsque $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ lorsque $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$			
Distribution des contraintes dans les parois (compression positive)						
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	lorsque $\psi > -1$ : $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ lorsque $\psi \leq -1^*)$ : $c/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

\*)  $\psi \leq -1$  s'applique soit lorsque la contrainte de compression  $\sigma \leq f_y$ , soit lorsque la déformation de traction  $\varepsilon_y > f_y/E$ .

Tableau 5.2 (Feuille 2 sur 3) : Rapports largeur-épaisseur maximaux pour les parois comprimées

Semelles en console						
						
Sections laminées			Sections soudées			
Classe	Paroi comprimée	Paroi fléchie et comprimée				
		Extrémité comprimée		Extrémité tendue		
Distribution des contraintes dans les parois (compression positive)						
1	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Distribution des contraintes dans les parois (compression positive)						
3	$c/t \leq 14\varepsilon$	$c/t \leq 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ Pour $k_\sigma$ , voir l'EN 1993-1-5				
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71



### § 6.2.5 - Condition de résistance en Flexion

(1) Il convient que la valeur de calcul  $M_{Ed}$  du moment fléchissant dans chaque section transversale satisfasse :

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.12)$$

où  $M_{c,Rd}$  est déterminé en prenant en compte les trous de fixation, voir (4) à (6).

(2) La valeur de calcul de la résistance d'une section transversale à la flexion par rapport à l'un de ses axes principaux est déterminée de la façon suivante :

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pour les sections transversales de Classe 1 ou 2} \quad (6.13)$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pour les sections transversales de Classe 3} \quad (6.14)$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{pour les sections transversales de Classe 4} \quad (6.15)$$

où  $W_{el,min}$  et  $W_{eff,min}$  correspondent à la fibre subissant la contrainte élastique maximale.

(3) Pour la flexion bi-axiale, il convient d'utiliser les méthodes données en 6.2.9.

### § 6.2.6 - Condition de résistance en Cisaillement

(1) Il convient que la valeur de calcul  $V_{Ed}$  de l'effort tranchant dans chaque section satisfasse :

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.17)$$

où  $V_{c,Rd}$  est la valeur de calcul de la résistance au cisaillement. Pour le calcul plastique,  $V_{c,Rd}$  est la valeur de calcul  $V_{pl,Rd}$  de la résistance plastique au cisaillement telle que donnée en (2). Pour le calcul élastique,  $V_{c,Rd}$  est la valeur de calcul de la résistance élastique au cisaillement calculée en utilisant (4) et (5).

(2) En l'absence de torsion, la valeur de calcul de la résistance plastique au cisaillement est donnée par l'expression :

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (6.18)$$

où  $A_v$  est l'aire de cisaillement.

(3) L'aire de cisaillement  $A_v$  peut être déterminée de la façon suivante :

Sections	Laminées en I et H	Laminées en U	Laminées en T	Soudées en I, H ou caisson	Soudées en I, H, U ou caisson
Direction de la charge	// à l'âme.				// aux semelles.
$A_v$	$A - 2b t_f + (t_w + 2r)t_f$ Non inférieur à : $\eta h_w t_w$	$A - 2b t_f + (t_w + r)t_f$	$0,9(A - bt_f)$	$\eta \Sigma(h_w t_w)$	$A - \Sigma(h_w t_w)$

Avec :

A aire de la section transversale.

b largeur hors-tout.

h hauteur hors-tout.

$h_w$  hauteur de l'âme.

r rayon du congé.

$t_f$  épaisseur de la semelle.

$t_w$  épaisseur de l'âme (si variable prendre  $t_w$  mini)

$\eta$  voir EN 1993-1-5 (peut être pris en toute sécurité égal à 1).

## **§ 6.2.8 - Condition de résistance en Flexion et Cisaillement**

(1) Lorsqu'il existe un effort tranchant, il convient de prendre en compte son incidence sur le moment résistant.

(2) Lorsque l'effort tranchant est inférieur à la moitié de la résistance plastique au cisaillement, son effet sur le moment résistant peut être négligé, sauf lorsque le voilement par cisaillement réduit la résistance de la section, voir l'EN 1993-1-5.

(3) Dans le cas contraire, il convient de considérer un moment résistant réduit égal à la résistance de calcul de la section déterminée en utilisant pour l'aire de cisaillement une limite d'élasticité réduite :

$$(1-\rho)f_y \quad (6.29)$$

où 
$$\rho = \left( \frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$
 et  $V_{pl,Rd}$  est calculé d'après le 6.2.6(2),

### **§ 6.3.2.1 – Résistance au déversement**

(1) Il convient de vérifier une barre non maintenue latéralement et soumise à une flexion selon l'axe fort vis-à-vis du déversement de la façon suivante :

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

où  $M_{Ed}$  est la valeur de calcul de moment fléchissant

$M_{b,Rd}$  est le moment résistant de calcul au déversement.

(2) Les poutres dont la semelle comprimée est suffisamment maintenue ne sont pas sensibles au déversement. En outre, les poutres possédant certains types de sections transversales, comme les profils creux circulaires ou carrés, les sections creuses circulaires ou en caisson carrées reconstituées, ne sont également pas sensibles au déversement.

(3) Il convient de prendre le moment résistant de calcul au déversement d'une poutre non maintenue latéralement égal à la valeur suivante :

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

où  $W_y$  est le module de résistance approprié pris de la façon suivante :

$$W_y = W_{pl,y} \quad \text{pour les sections transversales de Classe 1 ou 2}$$

$$W_y = W_{el,y} \quad \text{pour les sections transversales de Classe 3}$$

$$W_y = W_{eff,y} \quad \text{pour les sections transversales de Classe 4}$$

$\chi_{LT}$  est le coefficient de réduction pour le déversement.

(4) Il n'est pas nécessaire de prendre en compte les trous de fixation situés à l'extrémité de la poutre pour la détermination de  $W_y$ .

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{mais} \quad \chi_{LT} \leq 1,0 \quad (6.56)$$

où  $\phi_{LT} = 0,5 \{1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2\}$

$\alpha_{LT}$  est un facteur d'imperfection

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

$M_{cr}$  est le moment critique pour le déversement élastique

**NOTE :** Le facteur d'imperfection  $\alpha_{LT}$  correspondant à la courbe de flambement appropriée peut être défini par l'Annexe Nationale. Les valeurs recommandées pour  $\alpha_{LT}$  sont données dans le tableau 6.3.

**Tableau 6.3 - Valeurs recommandées pour les facteurs d'imperfection des courbes de déversement**

Courbe de déversement	a	b	c	d
Facteur d'imperfection $\alpha_{LT}$	0,21	0,34	0,49	0,76

Les recommandations pour le choix des courbes de déversement sont données dans le Tableau 6.4

**Tableau 6.4 - Courbes de déversement recommandées pour une section transversale lorsque l'expression (6.56) est utilisée**

Sections transversales	Limites	Courbe de déversement
Sections en I laminées	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Sections en I soudées	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Autres sections	-	d

(3) Les valeurs du coefficient de réduction  $\chi_{LT}$  pour l'élancement réduit approprié  $\bar{\lambda}_{LT}$  peuvent être tirées de la figure 6.4.

(4) Pour un élancement  $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,2$  ou pour  $\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} \leq 0,04$ , les effets du déversement peuvent être négligés et seules les vérifications de section transversale s'appliquent.

### § 3.4.2 Catégories d'attaches boulonnées

Tableau 3.2 - Catégories d'attaches boulonnées

Attaches en cisaillement		
Catégorie	Critères	Remarques
A En pression diamétrale	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$	Aucune précontrainte exigée.
	$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Toutes Classes de 4.6 à 10.9.
C Résistant au glissement à l'ELU	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$	Boulons précontraints 8.8 ou 10.9 requis.
	$F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Pour résistance au glissement à l'ELU voir 3.9
Attaches en traction		
D Sans précontrainte	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$	Aucune précontrainte exigée.
	$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Toutes Classes 4.6 à 10.9. $B_{p,Rd}$ voir tableau 3.4.
E Avec précontrainte	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$	Boulons 8.8 ou 10.9 précontraints requis.
	$F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	$B_{p,Rd}$ voir tableau 3.4.

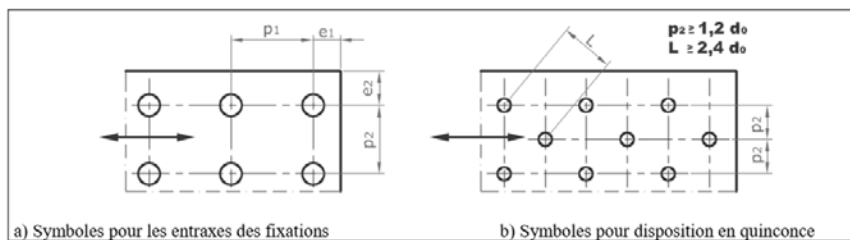


Tableau 3.4 - Résistance de calcul individuelle pour les fixations sollicitées au cisaillement et/ou à la traction

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

### § 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 symétriques soumis à un chargement centré, la résistance de calcul au cisaillement de bloc,  $V_{\text{eff},1,Rd}$  est donnée par :

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

où :

- $A_{nt}$  aire nette soumise à la traction ;
- $A_{nv}$  aire nette soumise au cisaillement.

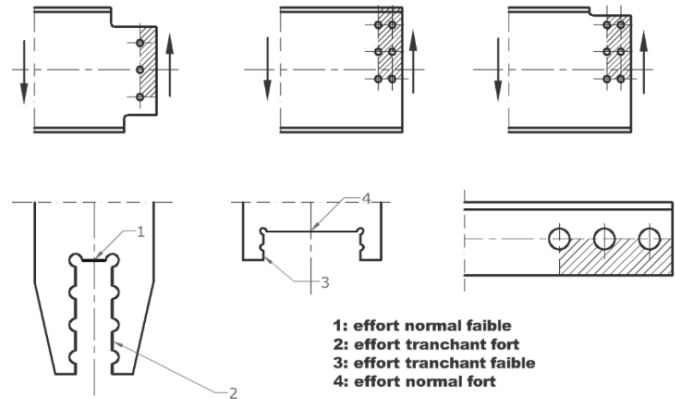


Figure 3.8 : Cisaillement de bloc

## DT6 : Extrait du guide PERENE 2009 – Conception thermique : ventilation traversante

### Outil bâtiment PERENE Réunion

PERformances ENÉrgétiques des BâtimENTS à La Réunion – Mise à jour

## 3 CONCEPTION THERMIQUE DES BATIMENTS

### 3.1 OBJECTIFS GENERAUX

Les prescriptions énoncées dans cette partie concernent uniquement les composants de l'enveloppe des bâtiments ainsi que le traitement de l'air.

Les prescriptions de l'enveloppe sont les mêmes pour le résidentiel et le tertiaire. La principale différence est la gestion du traitement de l'air.

### 3.2 ENVIRONNEMENT AUTOUR DU BATIMENT

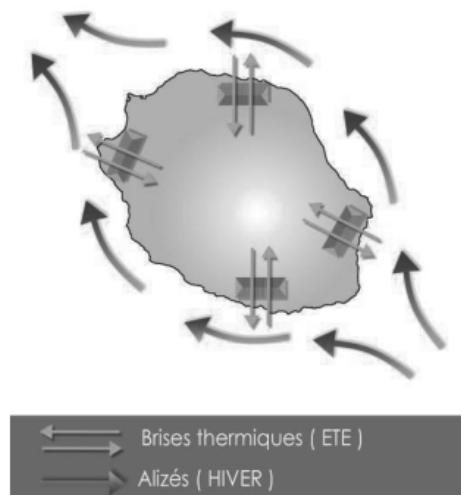
Implantation conseillée par zone climatique (zone littorale)

Implantation du bâtiment :

D'une manière générale, le bâtiment devra :  
Privilégier les façades principales Nord et Sud, minimiser les pignons Est et Ouest.

Cette orientation permet de réduire les apports solaires très importants pour les orientations Est et Ouest.

Eviter l'orientation Sud-Ouest : le soleil de décembre, est très intense à ce moment de l'année.



**Figure 2 : Orientation conseillée des bâtiments selon leur localisation.**

Privilégier les brises thermiques et non les alizés. En effet, les alizés ne soufflent pas l'été. Seules les brises thermiques prédominent. Elles sont perpendiculaires à la côte (sens Mer→Terre la journée et Terre→Mer la nuit).

Pour les zones Est et Ouest, privilégier une orientation des façades principales Nord Ouest et Sud Est afin de configurer protection solaire et brises thermiques.

Dans les zones Z3 et Z4, privilégier une orientation Nord et Est des façades principales pour bénéficier des apports solaires d'hiver.

[...]

## Outil bâtiment PERENE Réunion

PERformances ENergétiques des BâtimENTS à La Réunion – Mise à jour

### 3.3 VENTILATION NATURELLE TRAVERSANTE

Cette section concerne les zones Z1, Z2, Z3. Certains bâtiments ou usages peuvent déroger à cette règle sous réserve de justifier de contraintes particulières : (acoustique, locaux à atmosphère contrôlée, locaux sanitaires).

- Ventilation traversante

Tous les logements et entité au sein des bâtiments situés dans les zones Z1, Z2 et Z3 doivent être traversants (cad. : avoir ses deux façades opposées donnant sur l'extérieur) de manière à optimiser les écoulements d'air à l'intérieur de celle-ci.

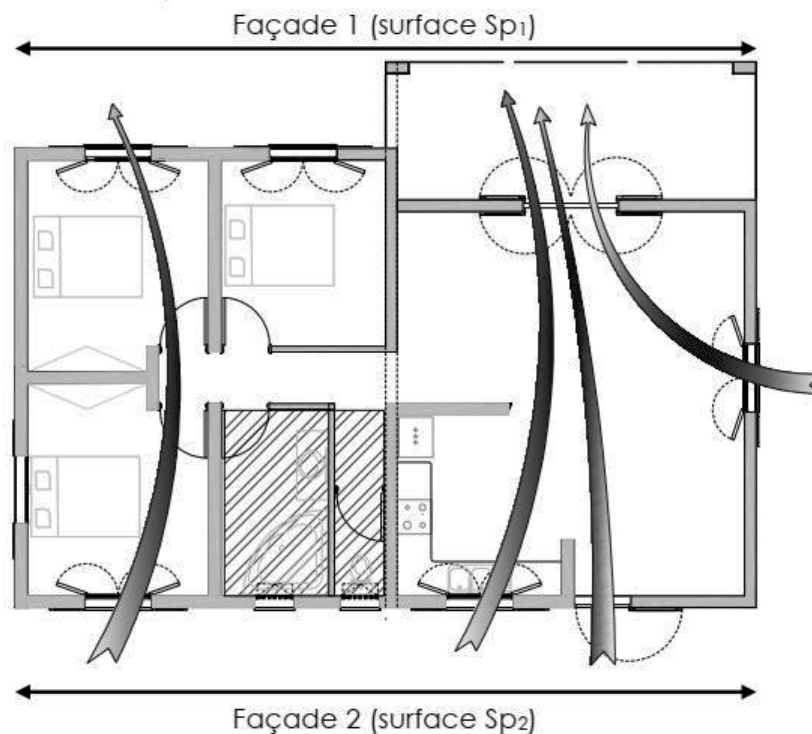


Figure 5 : Ventilation traversante via 2 façades opposées

Chaque pièce principale (ex. : séjour et chambre pour un logement), bureau, salle de classe... doit au moins avoir un taux d'ouverture libre, (ou porosité) dont les valeurs sont précisées par zone climatique dans le tableau ci-dessous.

Zone climatique	Porosité : P PERENE Réunion 2009	RT DOM décret 2009
Z1	20 %	20%
Z2	15% <sup>3</sup>	20%
Z3	10% <sup>4</sup>	15%
Z4	Pas d'exigence	Pas d'exigence

Tableau 16 : Taux d'ouverture minimale par zone climatique

<sup>3</sup> 15% est le niveau de la porosité de Z2 zone au vent pour PERENE alors que pour la RT DOM le zonage du bas est unique et est de 20%

<sup>4</sup> La zone 3 est une zone d'altitude allant de 400 à 800m de ce fait la porosité pour PERENE diffère de celle de la RT DOM avec 10% au lieu 15%

## Outil bâtiment PERENE Réunion

PERformances ENERgétiques des Bâtiments à La Réunion – Mise à jour

La ventilation permet aussi d'évacuer les charges thermiques internes du bâtiment (équipements techniques, éclairage, occupants, ...).

Cette capacité de ventilation naturelle pour un bâtiment, un site et une orientation donnés, dépendra de la capacité de ses parois extérieures et intérieures à laisser circuler et évacuer les flux d'air extérieur: Lorsque cette ventilation naturelle ne peut pas assurer une vitesse d'air suffisante au confort des occupants (vent insuffisant ou inefficace, bâtiment mal orienté, ouvrants en position fermée, ...) elle peut alors être complétée ou remplacée par des brasseurs d'air

### D.1 Implantation et dimensionnement des ouvrants extérieurs

Le bâtiment doit satisfaire simultanément les prescriptions suivantes :

Il doit être à chaque niveau ou étage complètement traversant, c'est-à-dire posséder des ouvertures (baies, fenêtres battantes ou coulissantes, jalousies, portes fenêtres, portes, ouvrants spécifiques de ventilation) pour les pièces principales, sur au moins deux façades opposées, permettant une ventilation diurne et nocturne.

Chacune de ces deux façades principales de ventilation naturelle doit avoir une porosité moyenne totale conformément aux valeurs données selon le zonage climatique. Si les surfaces de façade sont différentes, cette porosité est calculée par rapport à la surface moyenne des deux façades.

Elle doit être répartie uniformément dans les façades des pièces principales (niveau de porosité et surface minimum des ouvrants).

Nota :

- Lorsqu'une cuisine est intégrée au séjour (cuisine "américaine") elle est considérée comme faisant partie de la pièce principale.
- La porosité d'une paroi (murs extérieurs, cloisons intérieures) est le rapport de la surface ouvrante totale de la paroi  $S_o$  à la surface totale de celle-ci.

#### D.1.1 Mode de calcul de la porosité

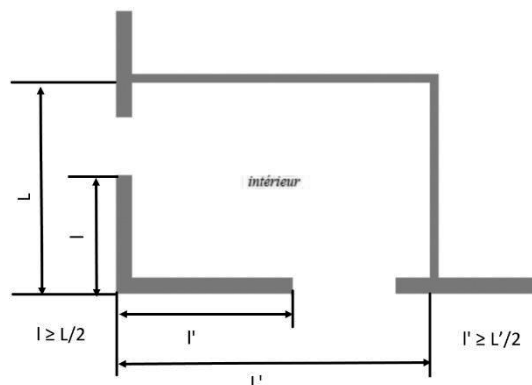
Pour vérifier qu'un bâtiment peut être ventilé naturellement de façon efficace, il faut vérifier les trois points suivants :

1. Vérification du côté traversant
2. Calcul de la porosité
3. Vérification des surfaces minimum d'ouvrant pour les chambres, bureaux, salles de classe

##### 1. Vérification du côté traversant

On considère qu'un logement ou une pièce est traversant s'il est au moins à double orientation et si au moins deux façades opposées sont percées de baies ouvrantes.

Dans le cas où deux façades sont perpendiculaires on considère qu'il s'agit de pièce ou logement traversant si les baies sont percées dans la moitié la plus éloignée de l'angle selon la figure ci-dessous.





## Outil bâtiment PERENE Réunion

PERformances ENÉrgétiques des BâtimENTS à La Réunion – Mise à jour

### 2. Calcul de la porosité

Chacune des deux façades principales de ventilation naturelle doit avoir une porosité moyenne totale P pour les pièces principales donnée par le tableau du corps du rapport.

$$Sp = \frac{Sp_1 + Sp_2}{2}$$
$$SO = P \times Sp$$

Où :

- Sp1 est la surface de la façade principale 1
- Sp2 est la surface de la façade principale 2
- P est la porosité en % de paroi
- SO est la surface d'ouvrant minimum requise sur chacune des parois principales

Les pièces dites polluantes ne rentrent pas dans le calcul de la porosité. Il s'agit des salles de bain, cabinets d'aisance et cuisines (sauf dans le cas d'une cuisine intégrée au séjour ou cuisine « américaine »).

Pour tenir compte du type de menuiserie dans le calcul de la porosité, il faut multiplier la surface d'ouvrant par un coefficient M compris entre 0 et 1 donné dans le tableau suivant.

Type de menuiserie	Coefficient M
Jalousie	0,8
Coulissant deux vantaux	0,5
Coulissant trois vantaux	0,67
Ouvrant à la française, fenêtre à galandage, porte intérieure et extérieure...	1

Tableau 32 : Coefficient M en fonction du type de menuiserie

La surface d'ouvrant réelle est alors calculée selon :

$$SO = M \times SO_{réservation}$$

Où  $SO_{réservation}$  est la surface réservée dans la structure pour l'ouvrant.

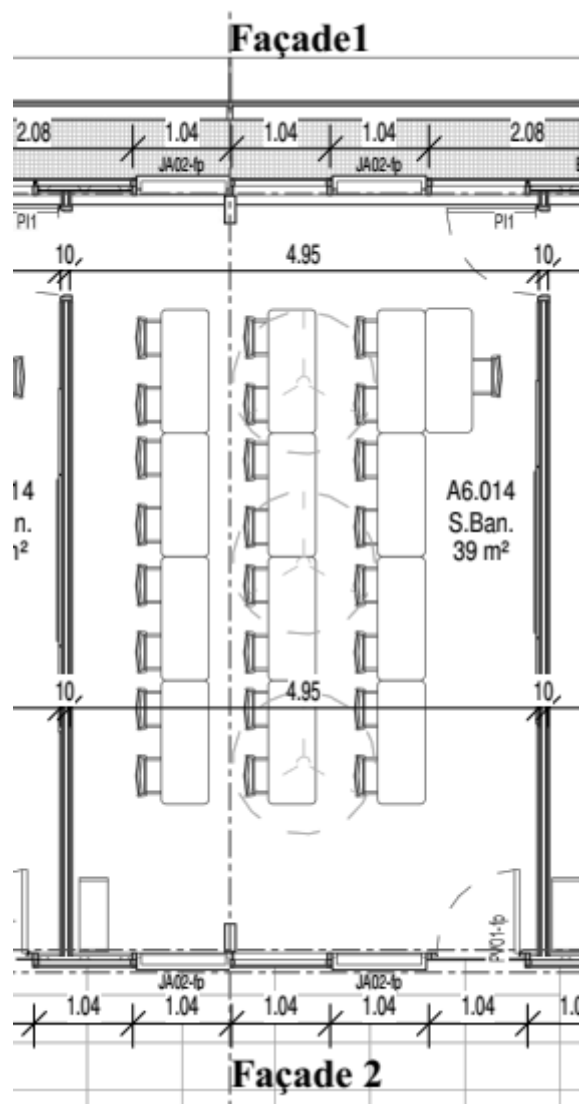
### 3. Vérification des surfaces minimum d'ouvrant pour les chambres, bureaux, salles de classe

On définit également une surface d'ouvrant (réelle) minimum par type de pièce en fonction de la zone.

	Z1	Z2	Z3
<b>Chambre 10 m<sup>2</sup></b>	1,4 m <sup>2</sup>	1,4 m <sup>2</sup>	1,2 m <sup>2</sup>
<b>Bureau 10 m<sup>2</sup></b>	1,4 m <sup>2</sup>	1,4 m <sup>2</sup>	1,2 m <sup>2</sup>
<b>Salle de classe 50 m<sup>2</sup></b>	4 m <sup>2</sup>	4 m <sup>2</sup>	3 m <sup>2</sup>

Tableau 33 : surfaces minimum d'ouvrant par typologie de bâtiment

## DT7 : Calcul de la porosité – Caractéristiques Salle banalisée



*Dimensions du local : 4,95 m x 7,90 m x ht 3,14 m*

Chaque façade principale possède 2 ouvrants (JA02-fp) à ossature métallique et un remplissage de type jalousie - Dimensions JA02-fp : 1 040 / ht.2 030 mm

La porte PV01-fp sera considérée comme étant fermée en période d'occupation (situation défavorable)

## DT8 : Extrait du CCTP Climatisation Ventilation

La climatisation de l'amphithéâtre sera réalisée par une CTA avec recyclage et volet d'air neuf motorisé associé à une sonde de qualité d'air (CO2) et à un caisson d'extraction à vitesse variable.

Le soufflage se fera par le sol par le biais de diffuseur de sol à déplacement d'air avec une température uniforme dans la zone (différence de température tolérée entre le bas et haut 1°C) et la reprise en partie haute par grille plafonnrière carré 600x600 hélicoïdale raccordé au réseau de gaine calorifugé M1.

### Conditions extérieures

Température sèche été : 29°C

Humidité relative été : 80 %

### Fonctionnement en période estivale :

Température de consigne : 26°C

Hygrométrie non contrôlée : < 90% mais *afin de pouvoir placer les points caractéristiques de l'air intérieur en été on considérera une HR de 50%.*

Température de soufflage : 19°C

Régime eau glacée alimentant la batterie froide : 9/14 °C

<b>Débit d'Air Soufflé (en m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>)</b> Traité constant à deux vitesses	<b>Débit d'Air recyclé (en m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>)</b> Vitesse variable selon l'occupation (20 à 90 personnes)	<b>Débit d'Air Neuf (en m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>)</b> Commande par sonde CO <sub>2</sub>
<b>5 000</b>	<b>2 800</b> (en occupation maximale)	<b>2 200</b> (en occupation maximale)

### Description CTA

**Enveloppe extérieure :** Tôle d'acier zingué plastifié, cadres profilés soudés tropicalisés, les parois doivent être métalliques ou en matériau MO, isolation par 45 mm de mousse polyuréthane 40 g/m<sup>3</sup>, tropicalisation : renforcement de l'isolation thermique et traitements des ponts thermiques, portes de l'enveloppe de même constitution que l'enveloppe, charnières par jointement pour étanchéité de l'enveloppe, ouverture vers l'extérieur pour les portes situées avant le ventilateur (appui extérieur), ouverture vers l'intérieur pour les portes situées après le ventilateur (appui intérieur). Obligatoire pour l'accès aux filtres, au ventilateur, à la batterie froide et au bac de condensats

**Chambre de mélange :** Caisson 2 voies pour air neuf et air repris. Même constitution que l'enveloppe. Il sera équipé de registres motorisés.

**Registre :** Registre aux ailettes avec profil en losange en aluminium et mouvement opposés avec des engrenages en nylon. Ils seront motorisés. Vitesse de passage d'air limitée à 4m/s. Registres pilotés par sonde CO<sub>2</sub>.

**Pré-Filtre G4 :** Filtre plissé synthétique à cellules, régénérables, ép. 50 mm, monté sur guides châssis coulissants étanches en PVC, efficacité pondérale 85 %, classe Eurovent G4/EU4, équipé de prises de pression et d'un manomètre en « U ». Il sera raccordé au voyant d'encrassement sur façade armoire. Accès au filtre par porte étanche.

**Filtre à poche F7** :Filtre à poche, ép. : 290 mm, monté sur châssis étanche en PVC, efficacité 80 – 85 %, classe Eurovent F7/EU7, équipé de prises de pression et d'un de manomètre en « U ». Il sera raccordé au voyant d'encrassement sur façade armoire. Accès au filtre par porte étanche.

**Batterie de refroidissement eau glacée** : Batterie eau glacée cadre en aluminium, tubes cuivre, ailettes aluminium, protection polyuréthane, puissance frigorifique selon bilan thermique avec régime d'eau 9/14 °C, équipée d'un bac de condensats inox incliné pour éviter la stagnation de l'eau, calorifugé par mousse.

**Bac de condensats** accessible pour nettoyage. Les réseaux d'eau glacée seront équipés de vannes d'isolement sur le départ et le retour et d'une vanne d'équilibrage sur le retour

**Séparateur de gouttes** : Séparateur de gouttes en acier inox AISI 304 à trois plis, ép. : 100 mm, vitesse de passage limitée à  $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

**Ventilateur de soufflage** :Ventilateur centrifuge, entraînement courroie ou à roue libre, microswitch d'urgence, carter de protection courroie, perte de charge : 300 Pa, plots anti-vibratiles, fixé sur glissière.

**Piège à son** : Atténuateur acoustique conforme au paragraphe 2.13 et à la note acoustique.

**Registre de soufflage** :Registre aux ailettes avec profil en losange en aluminium et mouvement opposés avec des engrenages en nylon, équipés de manchettes souples. Il pourra être motorisé. Prises de pression : A chaque élément de la centrale (filtre, batterie, ventilateur, ...).

**DT9 : Extrait du guide PERENE 2009 – Caractéristiques thermiques des parois : facteur solaire**

- Calcul du facteur solaire des parois opaques verticales et horizontales

Le facteur solaire S des parois horizontales et verticales est calculé avec la formule :

$$S = \frac{C_m \times \alpha' \times U_{paroi}}{h_e}$$

Où :

$C_m$  est le coefficient d'ensoleillement qui tient compte des pare-soleils et dont les valeurs sont données dans le tableau 2a et l'abaque 2b.

$\alpha'$  est le coefficient d'absorption de la paroi (cf. Tableau 1)

$U_{paroi}$  est le coefficient de transmission surfacique total de la paroi en  $W/m^2 \cdot K$

Coefficient d'échange thermique entre la paroi et l'extérieur :  $h_e = 13,5 W/m^2 \cdot K$

Coefficient d'échange thermique entre la paroi et l'intérieur :  $h_i = 8 W/m^2 \cdot K$

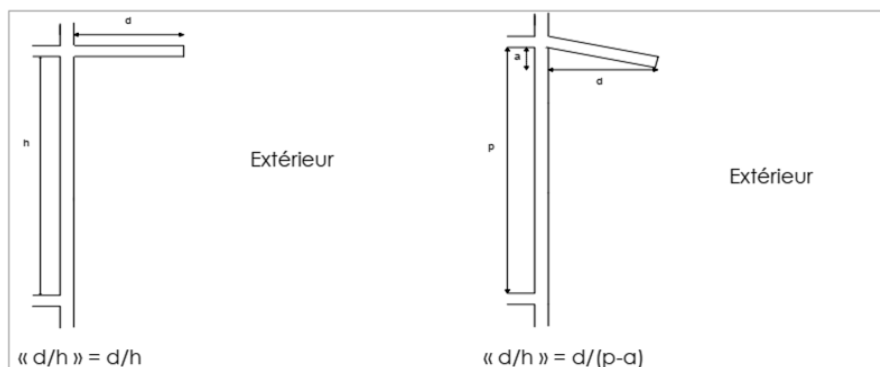
Catégorie de teinte	Couleur	$\alpha'$
Claire	Blanc, jaune, beige clair, crème	0,4
Moyenne	Rouge sombre, vert clair, bleu clair	0,6
Sombre	Brun, vert sombre, bleu vif, gris clair, bleu sombre	0,8
Noir	Gris foncé, brun sombre, noir	1

Tableau 1 : Valeurs du coefficient d'absorption  $\alpha'$  (Source : ECODOM)

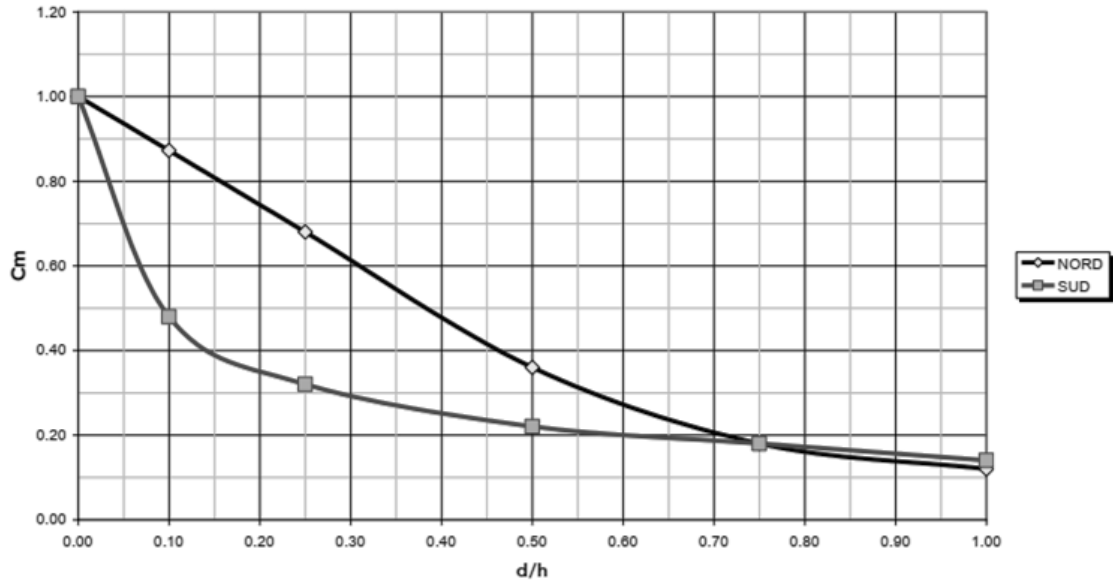
Avec pare soleil ventilé	Autre cas
$C_m = 0,3$	$C_m = 1$

Tableau 2.a : Coefficient d'ensoleillement  $C_m$  pour les parois opaques horizontales

Pour les parois opaques verticales avec protection de type débord, le coefficient d'ensoleillement dépend du ratio  $d/h$  ( $d$  : dimension du débord ;  $h$  : hauteur de la paroi)



Les abaques ci-dessous permettent de déterminer le coefficient  $C_m$  en fonction de l'orientation de la paroi verticale pour différentes valeurs de «  $d/h$  ».



Abaque 2.b : Valeurs de Cm en fonction du rapport d/h pour des parois opaques NORD et SUD

- Calcul du facteur solaire des baies

Le facteur solaire équivalent S d'une baie équipée d'une protection solaire a pour valeur :

$$S = C_m \times S_0$$

-  $S_0$  est le facteur solaire du vitrage ; il dépend du type de vitrage

-  $C_m$  est le coefficient d'ensoleillement ; il dépend de la protection solaire (type et taille de la protection) et de l'orientation.

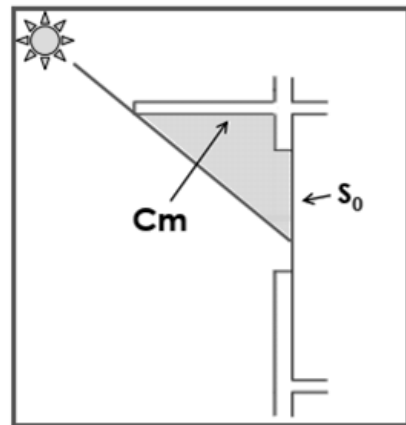
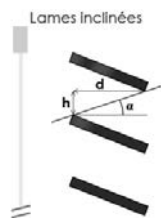


Tableau F. 7 : Valeurs de Cm pour des solutions de type brises soleil ou lames en fonction de l'angle  $\alpha$

Orientation	$\alpha$	Cm	Efficacité à 100% (au mois de mars)
NORD	10	0.17	
	20	0.17	
	25	0.17	
	30	0.18	
	40	0.19	
	45	0.20	
	50	0.21	
	55	0.23	
	60	0.24	

## DT10 : Extrait du guide PERENE 2009 – Valeurs recommandées pour le facteur solaire

- *Toitures*

**Zones Z1, Z2, Z3, Z4**

Pour les zones 1, 2 et 3 le facteur solaire équivalent moyen (des toitures parois horizontales en contact avec l'extérieur) est inférieur ou égal à la valeur du facteur solaire équivalent de référence  $S_{Max}$  précisée dans le tableau ci-dessous. En zones 3 et 4, le coefficient global de déperdition thermique  $U$  des parois horizontales est inférieur ou égal à la valeur de référence  $U_{Max}$  précisée dans le tableau ci-dessous.

	Valeurs PERENE Réunion 2009 Z1 - Z2	Valeurs PERENE Réunion 2009 Z3	Valeurs PERENE Réunion 2009 Z4	Valeurs RT DOM Décret 17 avril 2009 Alt < 800 m	Valeurs RT DOM Décret 17 avril 2009 Alt > 800 m
$S_{Max}$	0.02	et 0.02		0.03	
$U_{Max}$		0.5	0.5		0.5

**Tableau 18 : Parois horizontales - Valeurs des  $S_{Max}$  et  $U_{Max}$  selon le zonage climatique pour PERENE et la RTDOM**

Pour la zone 3 les exigences portent à la fois sur le  $S_{Max}$  et sur le  $U_{Max}$

- *Parois opaques verticales en contact avec l'extérieur*

**Zones Z1, Z2, Z3, Z4 :**

Le facteur solaire équivalent moyen  $S$  des parois verticales en contact avec l'extérieur des pièces principales est inférieur ou égal à la valeur du facteur solaire équivalent de référence  $S_{Max}$  précisée dans le tableau ci-dessous.

Le coefficient de déperdition moyen  $U$  de chaque paroi verticale en contact avec l'extérieur composée de plusieurs éléments de paroi de résistance thermique différente est inférieur ou égal à la valeur du coefficient de déperdition de référence  $U_{Max}$  précisée dans le même tableau.

	Valeurs PERENE Réunion 2009			Valeurs RT DOM décret 2009	
	Z1 et Z2	Z3	Z4	Alt. < 800 m	Alt. > 800 m
$S_{Max}$	0.05			0.09	
$U_{Max}$		0.5	0.5		2

**Tableau 19 : Parois opaques verticales - Valeurs des  $S_{Max}$  et  $U_{Max}$  selon le zonage climatique pour PERENE et la RTDOM**

- *Baies*

Le facteur solaire des baies des pièces principales<sup>5</sup> (résidentiel) ou salles à taux d'occupation normal<sup>6</sup> (tertiaire) est inférieur ou égal à la valeur de référence  $S_{Max}$  précisée dans le tableau ci-dessous ou le facteur solaire moyen des baies  $S_{Moy}$  est inférieur à la valeur de référence  $S_{Max}$ .



**Figure 6 : Coefficient d'ensoleillement**

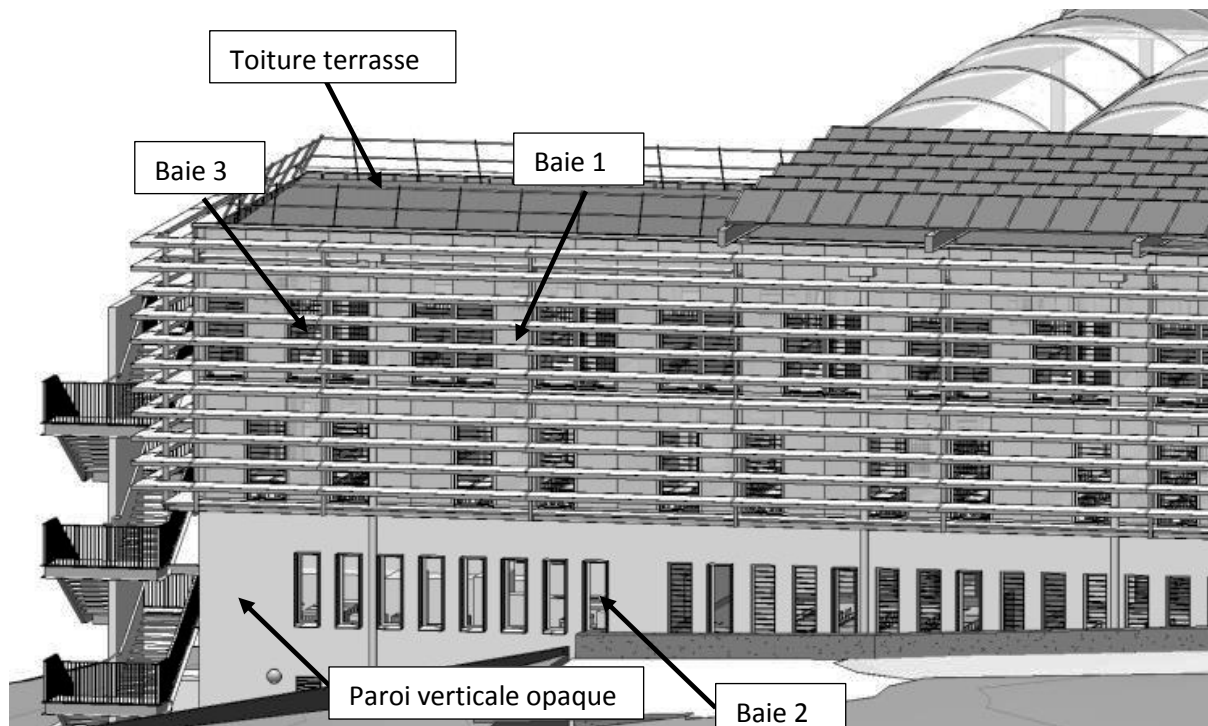
	$S_{Max}$ PERENE Réunion 2009				$S_{Max}$ RT DOM décret 2009	
	Nord	Sud	Est	Ouest	Logt climatisé	Logt non climatisé
Z1 et Z2	0.3	0.4	0.3	0.25	0.25	0.65
Z3	0.4	0.4	0.3	0.25	0.25	0.65
Z4	Pas d'exigence				0.25	0.65

**Tableau 20 : valeur de facteur solaire de référence  $S_{Max}$  zones 1 à 3 pour les baies et comparaison avec les valeurs de la RT DOM.**

<sup>5</sup> Il s'agit du séjour et des chambres.

<sup>6</sup> Il s'agit de toute pièce correspondant à l'activité normale du domaine d'activité. Ne sont pas comprises les zones telles que zone d'archives, toilettes, couloir, salle de reproduction, etc.

## DT11 : Caractéristiques de l'enveloppe de la façade Nord du bâtiment A







### Caractéristiques des parois

Désignation	Composition	Caractéristiques thermiques	Teinte	Protection solaire
<b>Toiture terrasse</b>	Bac acier + 10 cm d'isolant + étanchéité	$U_{\text{paroi}} = 0,34 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	Sombre	Aucune
<b>Paroi verticale opaque</b>	Béton matricé	$e_{\text{béton}} = 18 \text{ cm}$ $\lambda_{\text{béton}} = 1,8 \text{ W/m} \cdot \text{K}$	Claire	Débord $d/h = 0,42$
<b>Baie 1</b> Surface totale baie 1 : 264 m <sup>2</sup>	Mur rideau en polycarbonate Danpalon Cristal 16 mm	Facteur solaire sans protection SO = 0,55	/	Brise soleil : lames $\alpha = 35^\circ$
<b>Baie 2</b> Surface totale baie 2 : 108 m <sup>2</sup>	Simple vitrage	Facteur solaire sans protection SO = 0,87	/	Débord $d/h = 0,1$ On donne $C_m = 0,85$ pour la baie 2
<b>Baie 3</b> Surface totale baie 3 : 60 m <sup>2</sup>	Jalousies Simple vitrage	Facteur solaire sans protection SO = 0,87	/	Brise soleil : lames $\alpha = 35^\circ$



## DT12 : Caractéristiques des parois en polycarbonate et résultats de l'étude comparative

- Caractéristiques des parois en polycarbonate

	Ug	SHGC	TL	
<b>Danpalon 16mm Cristal (cas initial)</b>	1.9	0.55	0.57	
<b>Danpalon 16mm Opale</b>	1.9	0.32	0.22	
<b>Danpalon 16mm Ice</b>	1.9	0.52	0.51	
<b>Danpalon 16mm Cristal Opacifiant</b>	1.9	0.25	0.12	NC
<b>Danpatherm K7</b>	1.18	0.4	0.35	

SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) : facteur solaire

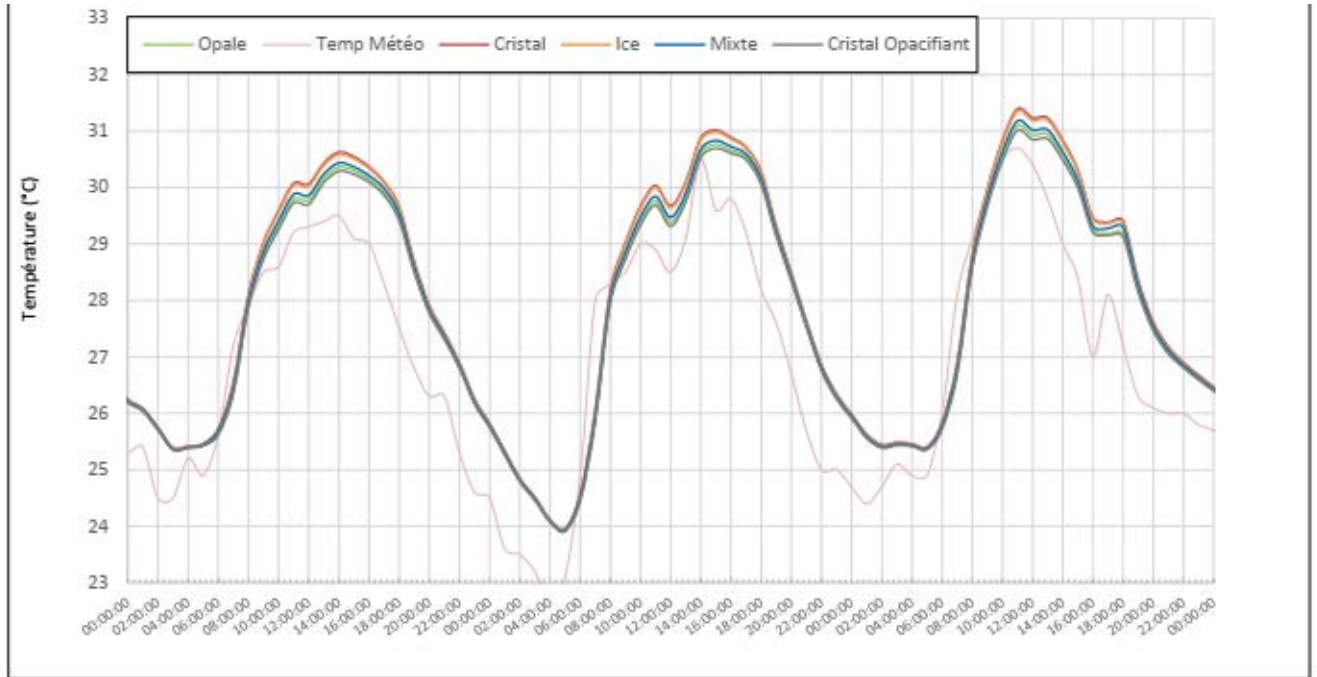
TL : transmission lumineuse dans le visible

Ug : Coefficient de transfert thermique en  $W/(m^2 \cdot K)$

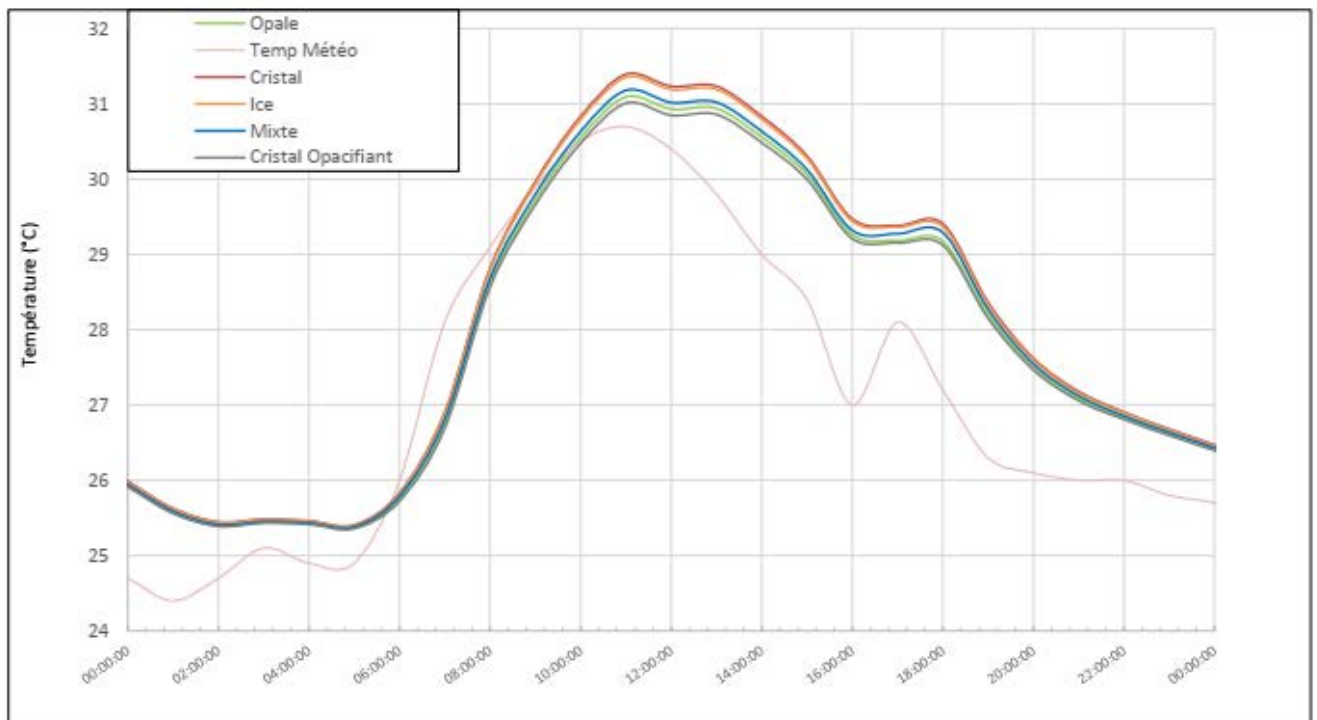
- **Résultats de l'étude comparative**

— Temp Météo : Température extérieure

— Mixte : Variante avec façade mixte DANPALON CRISTAL + DANPALON CRISTAL OPACIFIANT



Evolution de la température sur trois journées chaudes type le 11/01, 12/01 et 13/01



Evolution de la température sur une journée chaude type le 13/01

## DT13 : Résultats de la simulation d'éclairage naturel



*Plan RDC- Pièces étudiées au bâtiment C*

- *Définition des facteurs caractéristiques du confort visuel de l'étude*

**DA300 : Autonomie en éclairage naturel.** Cette valeur correspond au pourcentage de points au-dessus d'un éclairement naturel de 300 lux. Cette étude dépend de l'emplacement du site et permet d'estimer les besoins en éclairage artificiel au sein d'un local.

**DAC300 : Autonomie en éclairage naturel continue.** Ce facteur est une variation de l'autonomie en éclairage naturel pour 300 lux à la différence que les valeurs en dessous de 300 lux sont prises en compte au prorata de leur valeur. Par exemple, pour une valeur d'éclairement de 150 lux, le DA300 donnera un chiffre de 0 alors que le DAC300 donnera une valeur de  $150/300$ , soit 0,5. Ceci permet d'estimer l'éclairement naturel en prenant en compte les valeurs en dessous de la valeur d'éclairement fixée.

**DAMax : Autonomie maximale d'éclairage naturel** qui représente le pourcentage du temps pendant l'année où l'éclairement est dix fois plus grand que l'éclairement recommandé et par le fait même représente un risque d'éblouissement par lumière directe.

**UDI 100-2000 : Facteur d'éclairement utile acceptable** qui représente le pourcentage du temps pendant l'année où l'éclairement se situe entre 100 et 2 000 lux.

- Résultats de la simulation d'éclairage naturel pour les 2 scénarios étudiés

	<b>Solution 1 : Toiture DANPALON 16 mm Cristal</b>			<b>Solution 2 : Toiture tôle</b>		
	<b>Salle info</b>	<b>Salle cours</b>	<b>Salle TP</b>	<b>Salle info</b>	<b>Salle cours</b>	<b>Salle TP</b>
<b>FLJ (%)</b>	50	30	90	10	10	50
<b>DA300 (%)</b>	46,7	23,4	78,9	1,4	0,3	31,7
<b>DAc300 (%)</b>	77,8	62,4	92,7	28,4	18	72,6
<b>DAmax (%)</b>	0	10	20	0	0	20
<b>UDI100-2000 (%)</b>	89,6	78,3	96,8	29,2	13,1	89,8

### **Ordres de grandeur des FLJ**

- *FLJ < 1 % : insuffisant pour la majorité des tâches*
- *FLJ = 2 % : minimum requis*
- *FLJ entre 2 % et 5 % : considéré comme acceptable*
- *FLJ entre 5% et 10 % : l'espace est considéré comme étant abondamment éclairé par la lumière du jour*
- *FLJ > 10 % : possibilité d'éblouissement*

**Eclairage choisi pour l'autonomie en éclairage naturel : 300 lux**

## DT14 : Données pour l'étude de la production d'ECS solaire

### Besoins

<p>Besoins unitaires en eau chaude collectif à 60°C:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• pour Salle de TP avec 1 robinet sur paillasse : 60 L/j</li><li>• pour Cuisine : 6 L/repas</li></ul> <p>Nombre de robinets sur paillasse : 3 Nombre de repas/j : 16</p>	<p>Besoins pour opération de désinfection à 60°C :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Salle de TP : 150 L/j</li><li>• Cuisine : 200 L/j</li></ul>
---	--

### Données de base

- Température Eau Froide : 24 °C
- Température de stockage : 60 °C
- Taux de couverture solaire annuel souhaité : 75 %
- Irradiation solaire annuelle : 2 100 kWh/m<sup>2</sup>/an
- Rendement moyen annuel de l'installation : 40 % (prenant en compte le rendement du capteur, les pertes thermiques extérieures et intérieures ainsi que les pertes dans le ballon)

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 : Cocher public OU privé  
 externe  3<sup>e</sup> externe  externe spécial  interne ou 1<sup>er</sup> interne  2<sup>nd</sup> interne  2<sup>nd</sup> interne spécial 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 : .....

EAE SIC 3

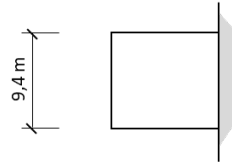
**DR 1**

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

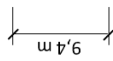
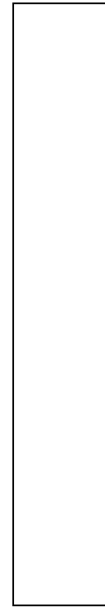
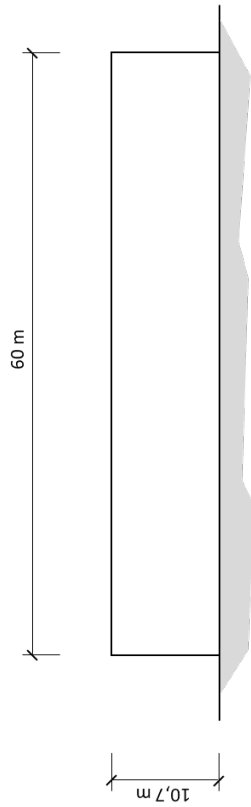
NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DOCUMENT REPONSE DR1 – ETUDE DE VENT

Question 4 :  $C_{pe,10}$  bâtiment A seul

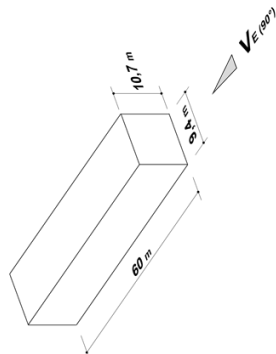


h = .....  
 b = .....  
 d = .....  
 e = .....



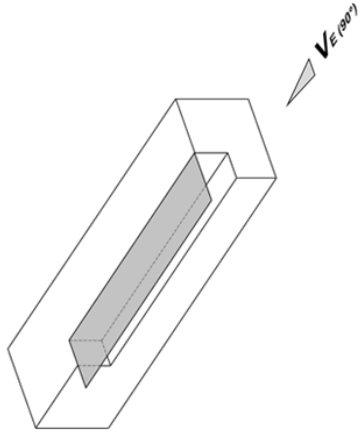
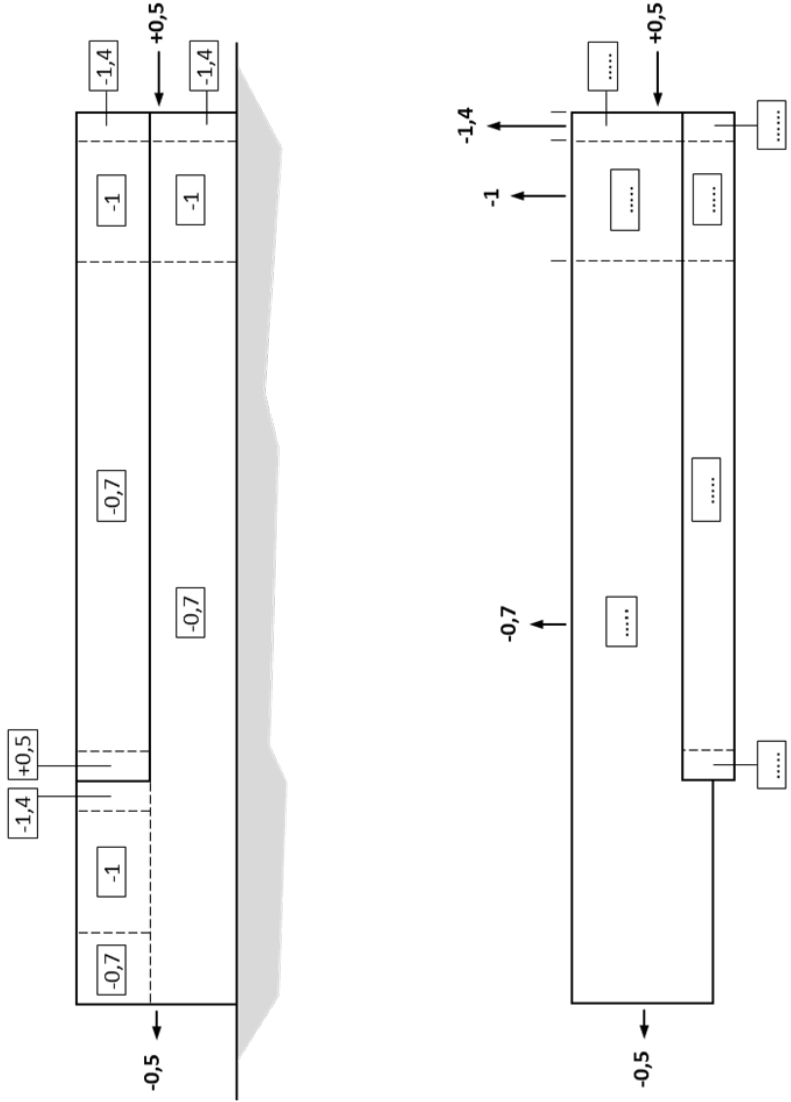
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
$C_{pe,10}$									

	A	B	C	D	E				
$C_{pe,10}$									



Coter les différentes zones de pression  
 Représenter les  $C_{pe,10}$  sur les différentes zones (parois verticales et toiture)

**Question 5 :**  $C_{p,net}$  bâtiment A avec débord de toiture

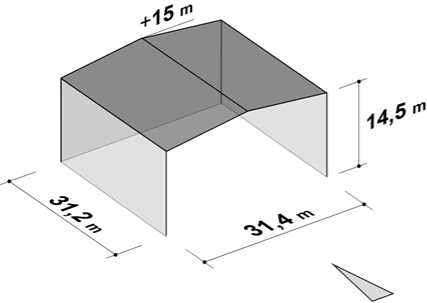


Représenter les coefficients de pression nette  $C_{p,net}$  sur les différentes parois.

On prendra  $c_{pi} = +0,2$



**Question 7 :** Coefficients de force et les coefficients de pression nette réglementaires sur la canopée



$C_f = +..... / -.....$

	+..... / -.....	
+..... / -.....	+..... / -.....	+..... / -.....
	+..... / -.....	



**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<sup>e</sup> externe  externe spécial  interne ou 1<sup>er</sup> interne  2<sup>nd</sup> interne  2<sup>nd</sup> 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 :** .....

EAE SIC 3

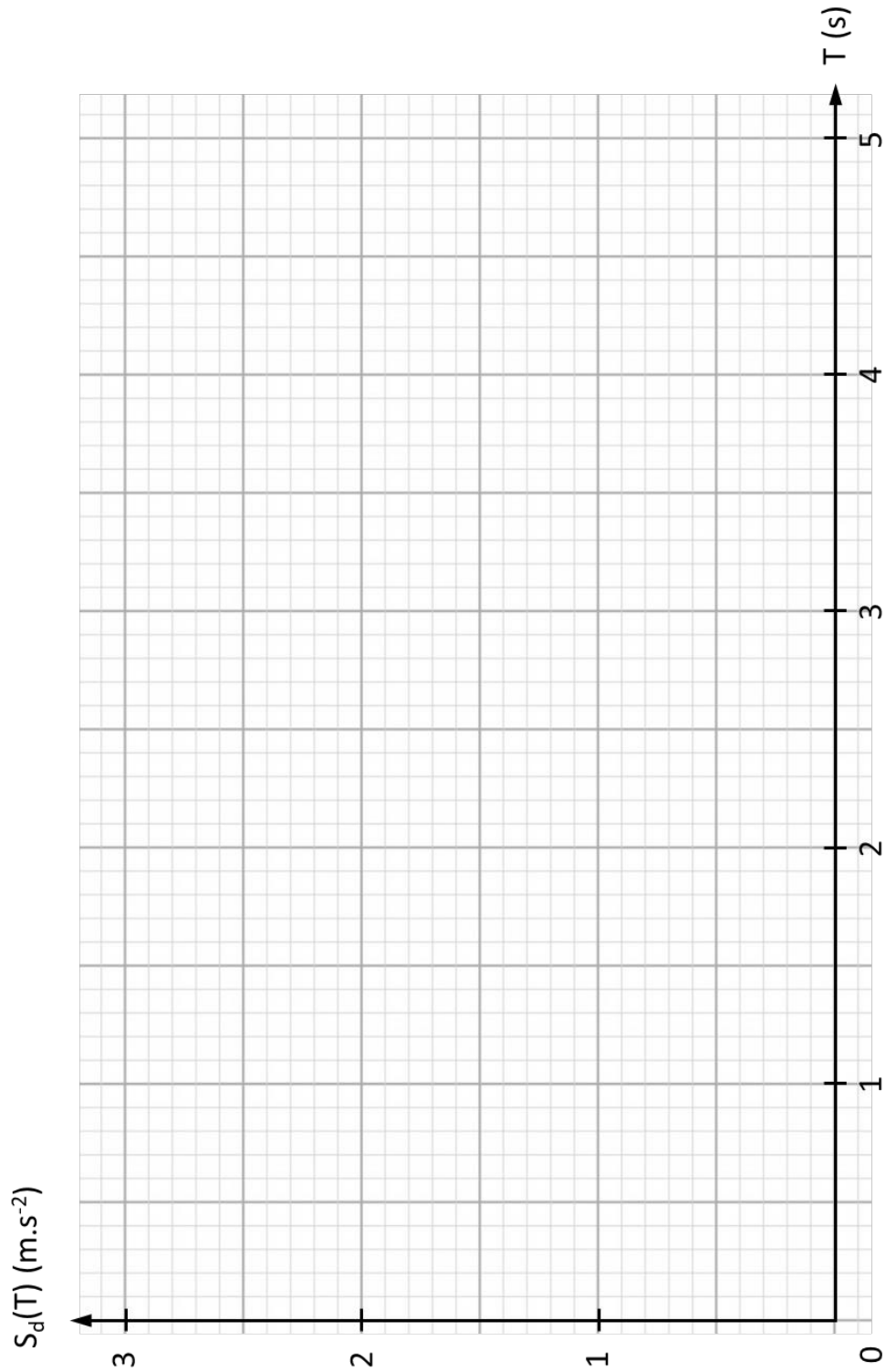
# DR 2 - DR 3

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

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DOCUMENT REPONSE DR2 – ETUDE DES CHARGES DUES AU SEISME

Question 12: Allure du spectre de calcul règlementaire pour l'analyse élastique  $S_d(T)$

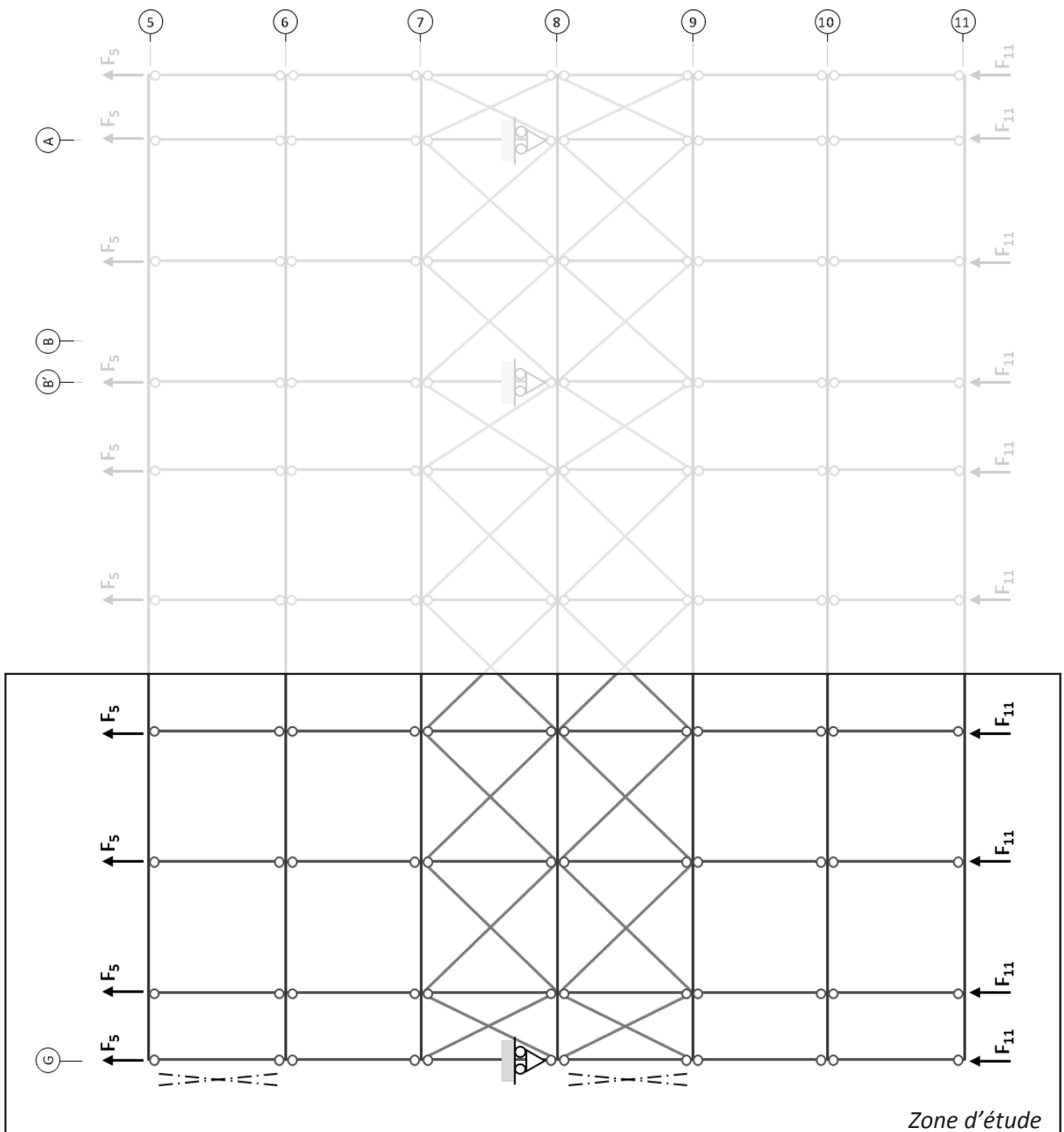


**DOCUMENT REPONSE DR3 – STABILITE DE LA SUPERSTRUCTURE**

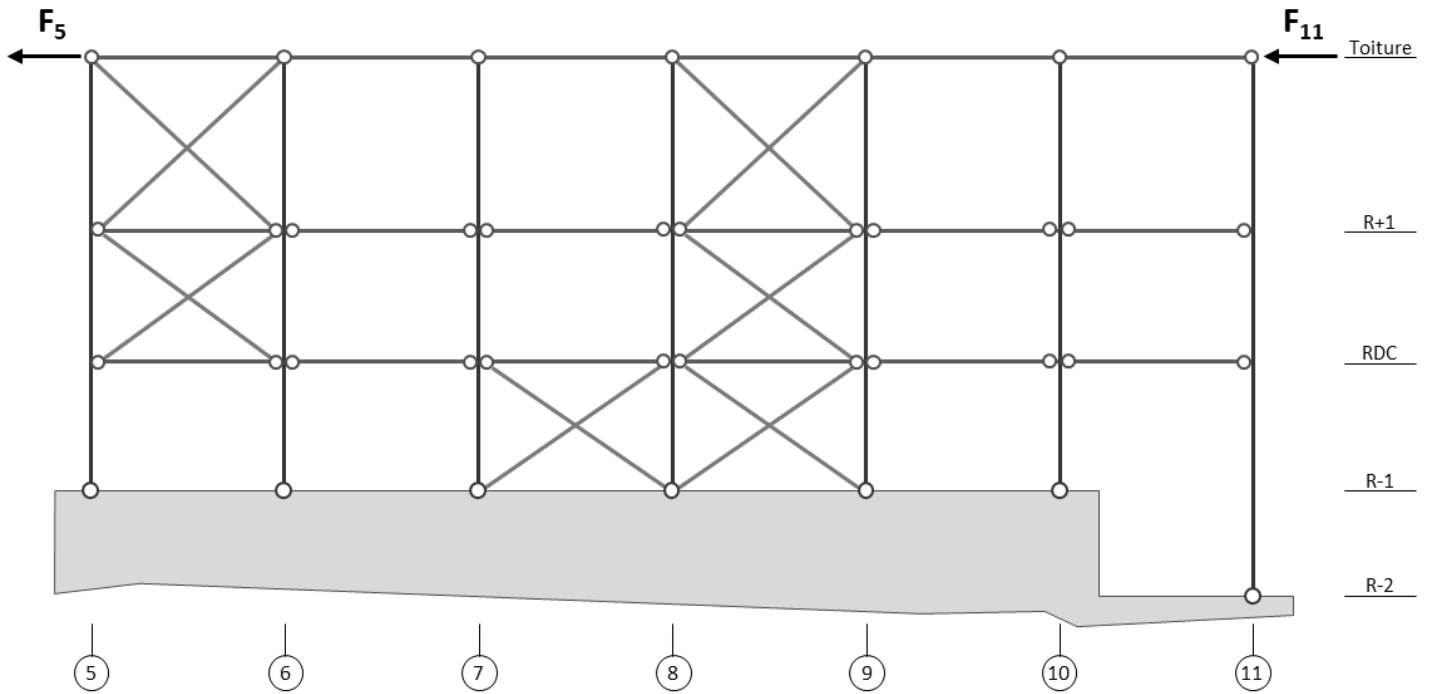
**Vent Est**

**Question 15 :**

**Stabilité horizontale Canopée seule**




Stabilité longitudinale file G



Représenter les efforts de compression dans les barres par le symbole : 

Représenter les efforts de traction dans les barres par le symbole : 

<b>Modèle CMEN v3</b>													
<b>Nom de famille :</b> <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)</i>													
 <b>Prénom(s) :</b>													
<b>Numéro Candidat :</b>							<b>Né(e) le :</b>						
<i>Cadre réservé aux candidats de concours de recrutement et examens professionnels</i>													
<b>Concours :</b> .....	<b>Option / Section :</b> .....						<b>N° d'inscription :</b>						
<small>Cocher une seule case parmi les six types de concours suivants :</small>												<small>Cocher public OU privé UNIQUEMENT pour les concours enseignants :</small>	
<input type="checkbox"/> externe	<input type="checkbox"/> 3 <sup>e</sup> externe	<input type="checkbox"/> externe spécial	<input type="checkbox"/> interne ou 1 <sup>er</sup> interne	<input type="checkbox"/> 2 <sup>nd</sup> interne	<input type="checkbox"/> 2 <sup>nd</sup> interne spécial							<input type="checkbox"/> public	<input type="checkbox"/> privé
<b>Examen professionnel pour l'avancement au grade de :</b> .....													
<i>Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général</i>													
<b>Examen :</b> .....							<b>Série / Spécialité :</b> .....						
<b>Epreuve - Matière :</b> .....							<b>Session :</b> .....						

EAE SIC 3

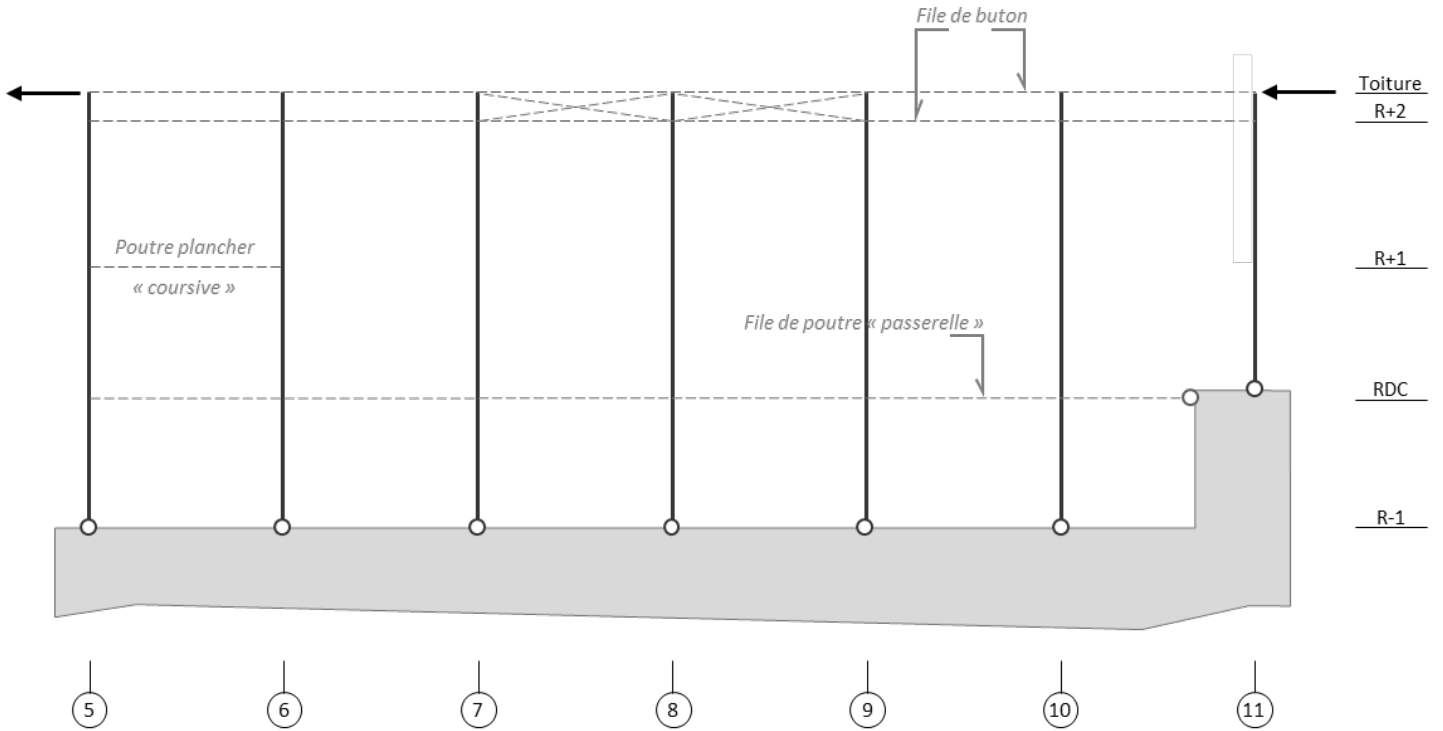
## DR 3 (suite) - DR 4 - DR 5

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

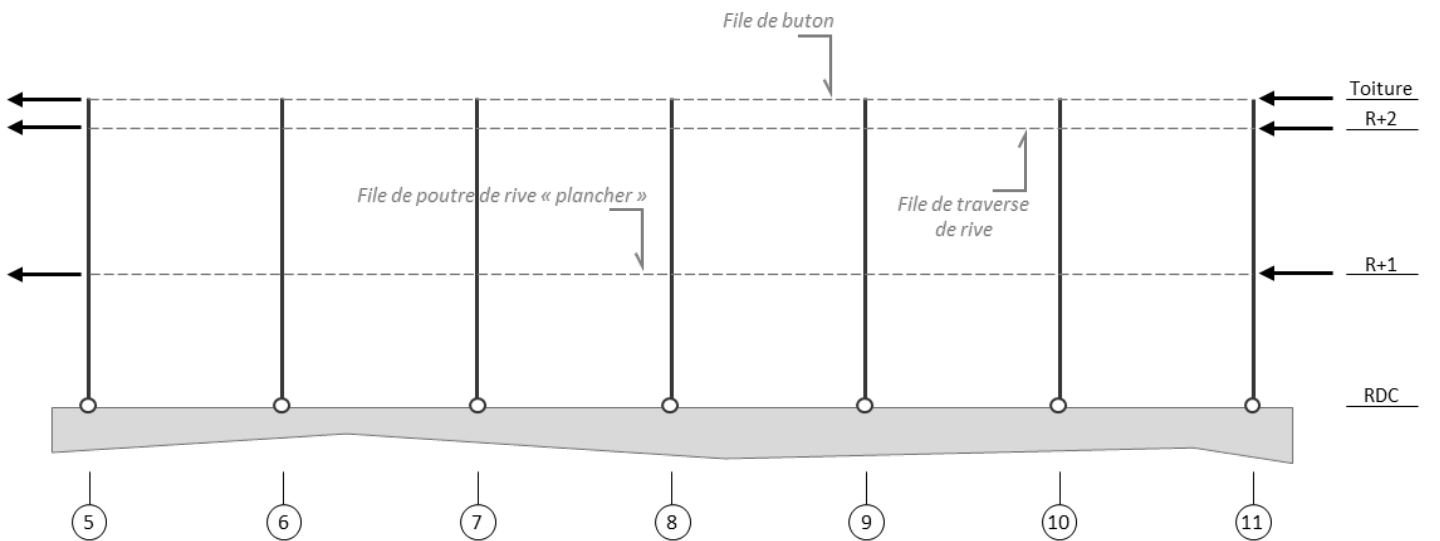
NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

**Question 16 :**

**Stabilité longitudinale file B'**

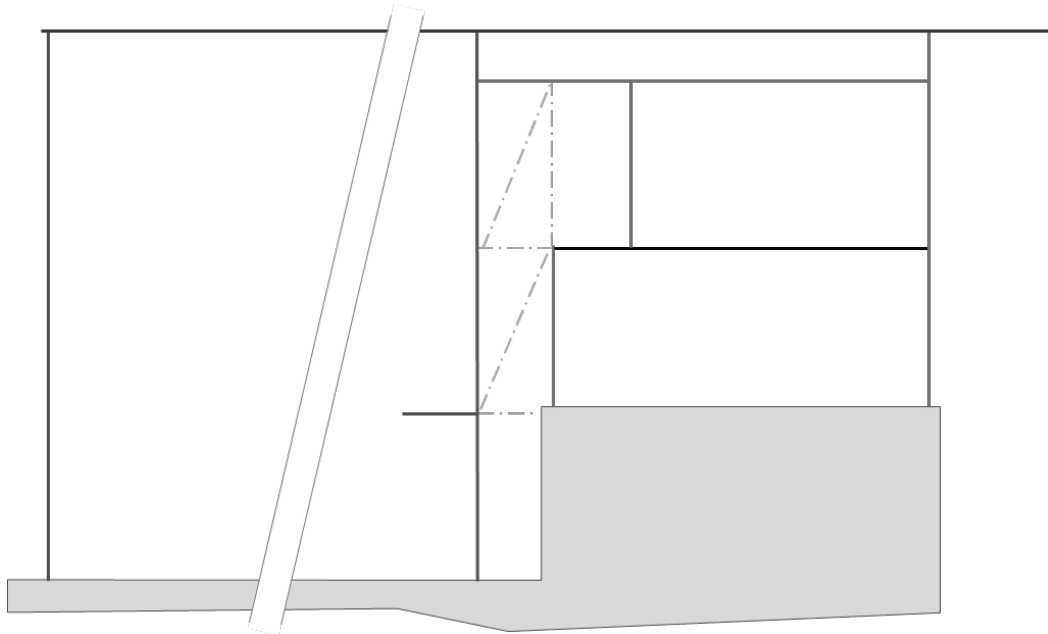


**Stabilité longitudinale file A**

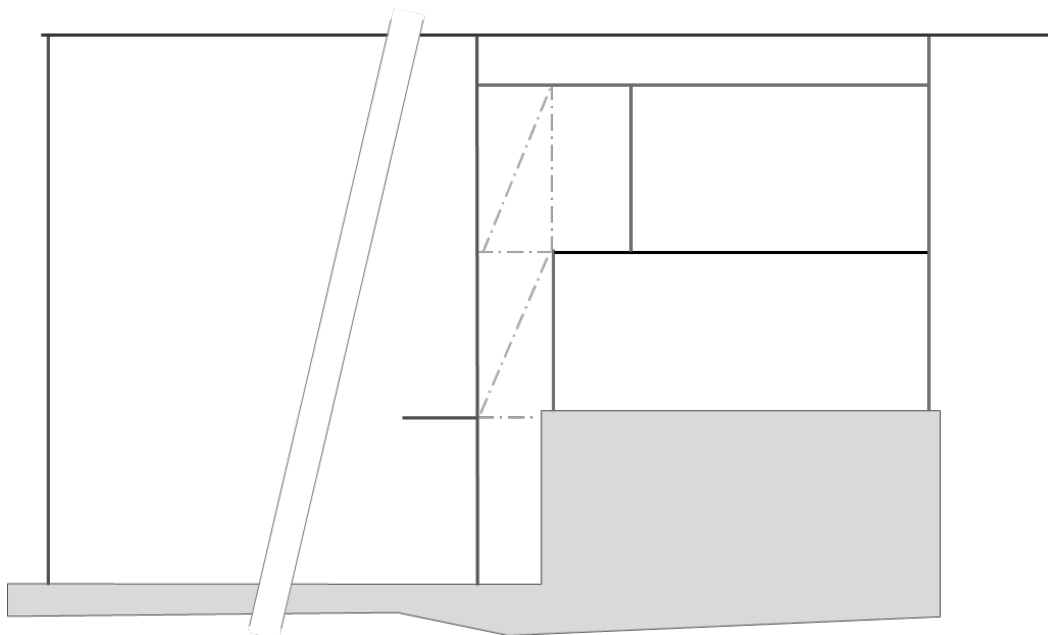


**DOCUMENT REPONSE DR4 – DESCENTES DE CHARGE**

**Question 20** : Entraxe des portiques :  $e = 5,2$  m



**Charges permanentes (G)**



**Charges d'exploitation (Q)**



DOCUMENT REPONSE DR5 – Question 43

	Point	Qm (kgas/s)	Ts (°C)	HR (%)	h (kJ/kgas)	r (kge/kgas)
<i>Air neuf</i>	N					
<i>Air recyclé</i>	R					
<i>Air soufflé</i>	S					
<i>Air mélangé</i>	M					

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<sup>e</sup> externe  externe spécial  interne ou 1<sup>er</sup> interne  2<sup>nd</sup> interne  2<sup>nd</sup> 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 :** .....

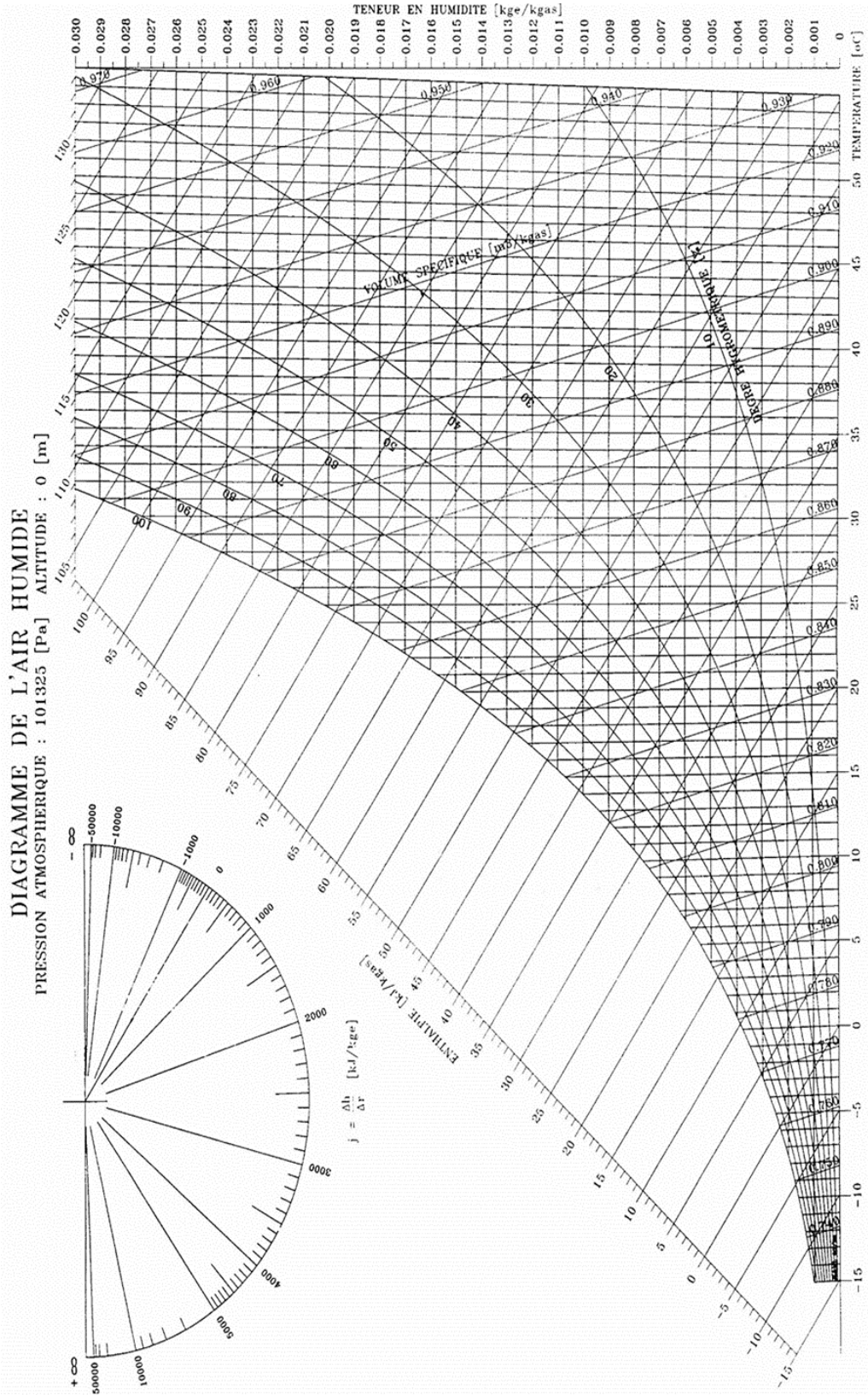
EAE SIC 3

**DR 6 - DR 7 - DR 8**

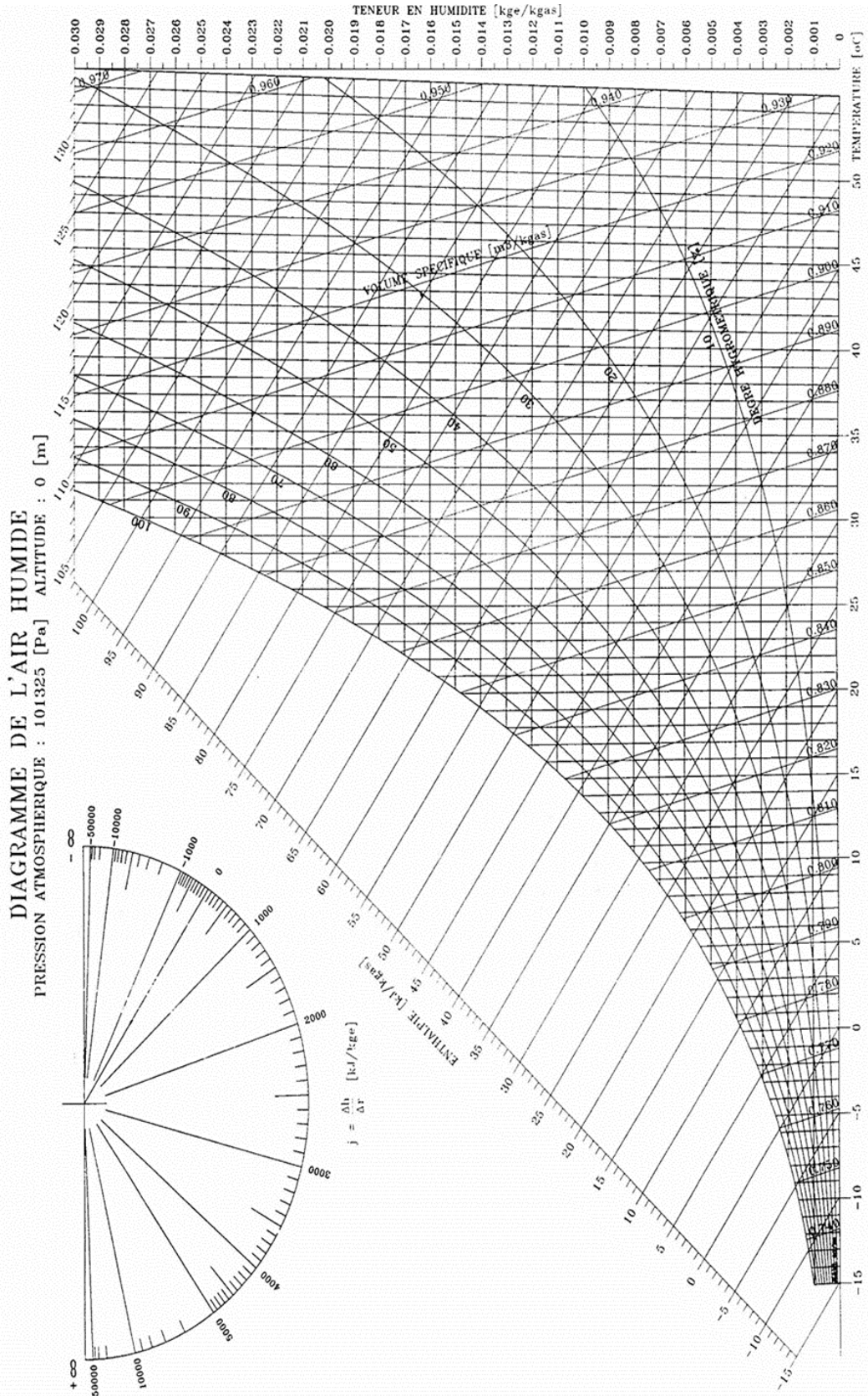
**Tous les documents réponses sont à rendre,  
même non complétés.**

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

DOCUMENT REPOSE DR6 – Diagramme de l'air humide - Question 44



**DOCUMENT REPOSE DR7 – Diagramme de l'air humide - Question 46**



**DOCUMENT REPONSE DR8 – Question 51**

- Facteur solaire S des éléments opaques de l'enveloppe de la façade Nord du bâtiment A

<b><i>Parois opaques</i></b>	<b><i>Facteur solaire S</i></b>	<b><i>Facteur solaire <math>S_{max}</math> recommandé</i></b>
Toiture		
Paroi verticale		

- Facteur solaire S des éléments vitrés de l'enveloppe de la façade Nord du bâtiment A

<b><i>Parois vitrées</i></b>	<b><i>Facteur solaire S</i></b>	<b><i><math>S_{moy}</math></i></b>	<b><i>Facteur solaire <math>S_{max}</math> recommandé</i></b>
Baie 1			
Baie 2			
Baie 3			