



FICHE D'APPLICATION DE LA REGLEMENTATION ENERGETIQUE DES

BATIMENTS

EN POLYNESIE FRANCAISE

FICHE THEMATIQUE N°3 : PROTECTION SOLAIRE DES PAROIS OPAQUES VERTICALES (MURS)



Cette fiche synthétise de manière exhaustive les règles et les paramètres de calcul pour évaluer les performances des parois opaques verticales. Au travers de cette fiche, on apporte la réponse aux questions suivantes :

- À quels locaux s'applique la thématique de protection solaire des murs ?**
- Comment calculer le facteur solaire des murs concernées ?**
- Quelles sont les solutions techniques courantes pour atteindre le seuil ?**

Version juillet 2023

SOMMAIRE

I.	Enjeux de la protection solaire des murs	3
II.	Textes de référence.....	4
1.	Loi de Pays	4
2.	Délibération.....	4
3.	Arrêté CM.....	4
III.	Définitions	5
IV.	Périmètre d'application	7
1.	Typologies concernées.....	7
2.	Locaux concernés.....	7
V.	Déterminer les seuils qui s'appliquent aux murs du projet de construction	11
1.	Détermination de l'orientation d'une paroi verticale opaque.....	11
2.	Seuils fixés pour les parois verticales opaques	11
VI.	Calcul du facteur solaire du mur (Paroi verticale opaque)	12
1.	Formule de calcul du facteur solaire.....	12
2.	Coefficient d'absorption (alpha).....	12
3.	Résistance thermique (R)	15
4.	Coefficient de masque (Cm).....	20
VII.	Étude de cas	29
1.	Bâtiment d'enseignement.....	29
VIII.	Exemples de configurations conformes à la REBPf	40
1.	Parois verticales sans masques architecturaux.....	40
2.	Parois verticales opaque avec protection solaire horizontale	41
3.	Parois verticales opaque protégées par écrans verticaux	41

I. ENJEUX DE LA PROTECTION SOLAIRE DES MURS

Les thématiques liées à l'enveloppe du bâtiment (protection solaire des toitures, murs et baies) permettent de réduire les consommations de climatisation, qui diminuent dès lors que la chaleur accumulée dans les bâtiments est réduite.

Les apports de chaleur solaire par les murs extérieurs représentent une part plus faible que les apports par la toiture ou les baies, mais nécessitent d'être traités au même titre compte tenu des surfaces en jeu. La protection solaire des murs constitue donc un enjeu important pour améliorer la sobriété énergétique des bâtiments en Polynésie française.

Cette thématique traite des dispositifs destinés à **protéger les façades** d'un bâtiment des effets du rayonnement solaire.

Les dispositifs constructifs visant à créer de l'ombre (auvent, casquettes, brise-soleil...), mais aussi la couleur de revêtement ou l'isolation, permettent de limiter ces apports solaires et améliorent le confort dans le bâtiment.

Ces dispositions constructives peuvent être contraignantes au regard des habitudes de construction actuelles en Polynésie française. C'est pourquoi cette thématique s'applique sur les bâtiments énergivores et ceux dont les moyens en conception architectural et technique permet d'intégrer ces obligations et de les justifier.

Il existe d'innombrables solutions techniques pour protéger les façades d'un bâtiment des apports solaires, c'est pourquoi la réglementation est élaborée pour garantir une grande liberté architecturale quant au choix des processus constructifs.

Cette liberté est rendue possible par la mise en place d'une méthodologie de calcul permettant de déterminer l'efficacité de la protection thermique des complexes de façade.

Celle-ci est basée sur le calcul du **facteur solaire** qui correspond à la capacité du mur et de sa protection à transmettre, à l'intérieur du bâtiment, tout ou partie de l'énergie solaire qu'ils reçoivent. Un tel indicateur implique une exigence de résultat, plutôt qu'une exigence de moyens, pour se conformer à la réglementation.

II. TEXTES DE REFERENCE

1. Loi de Pays

Loi de Pays n°2022-8 du 24 janvier 2022 portant création de la réglementation énergétique des bâtiments et modifiant le livre II du code de l'aménagement de la Polynésie française.

L'article LP 212-1 présente les définitions applicables à la réglementation. Certaines sont développées dans le **chapitre III** de la présente fiche.

2. Délibération

Délibération n°2022-46 APF du 26 avril 2022 complétant les titres 2 à 6 du livre II de la première partie du code de l'aménagement de la Polynésie française, relatif à la réglementation énergétique des bâtiments

Les dispositions relatives aux performances thermiques et au périmètre d'application de la protection solaire des parois opaques verticales sont fixées à l'article D. 222-1 du code.

3. Arrêté CM

Arrêté n°2028 CM du 30 septembre 2022 portant dispositions d'application du livre II du code de l'aménagement de la Polynésie française relatif à la réglementation énergétique des bâtiments

Arrêté n° 373 CM du 10 mars 2023 portant modification du livre II de la partie réglementaire du code de l'aménagement de la Polynésie française relatif à la réglementation énergétique des bâtiments

Les conditions de mise en œuvre et de calcul des procédés techniques relatives à la protection solaire des parois opaques verticales des bâtiments sont fixées au travers des articles suivants :

- L'article A.212-1, et plus précisément l'annexe 2, fixe le caractère occupé ou non occupé d'une liste non exhaustive de locaux ;
- L'article A. 222-1 précise la formule de calcul du facteur solaire
- L'article A. 222-2 définit les dispositions relatives au calcul du coefficient d'absorption (alpha) des matériaux
- L'article A. 222-3 définit les dispositions relatives au calcul de la résistance thermique des matériaux ainsi que le terme bardage « ventilé »
- L'article A. 222-4 précise les types de masques pour lesquels l'outil informatique de calcul peut être utilisé
- L'article A. 222-5 traite des modalités de calcul relatives aux écrans de protection solaire continus et non continus

III. DEFINITIONS

« Local non occupé »

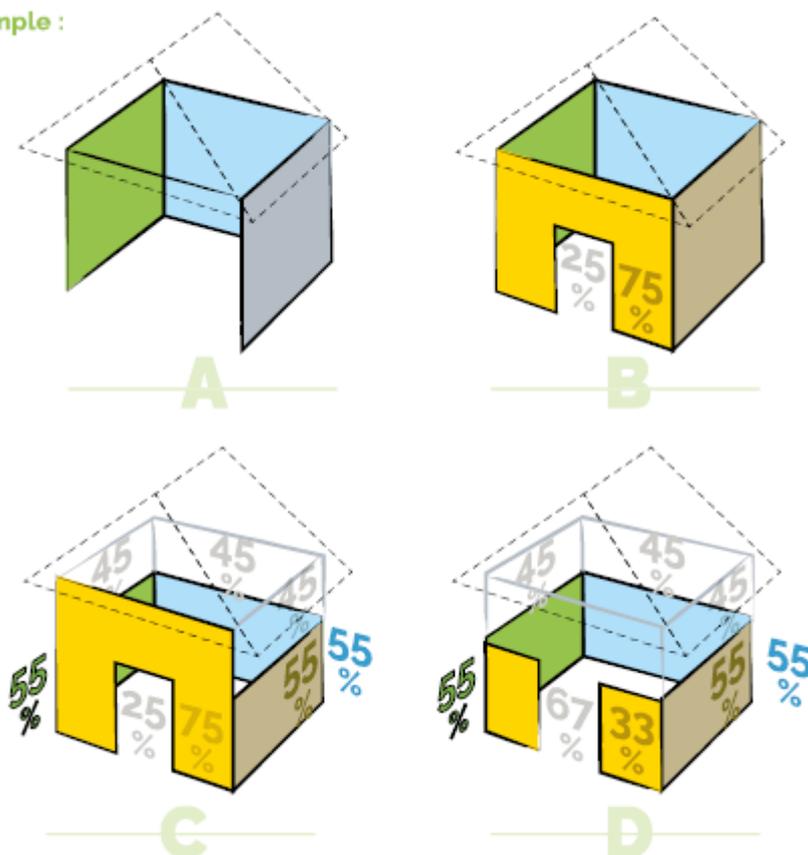
Un local non occupé est défini comme étant « occupé de façon non temporaire ». C'est un local qui, par destination, n'implique pas une durée de séjour consécutive pour un occupant supérieure à une heure.

Un tableau précisant le caractère occupés ou non occupés de certains locaux est présenté au § IV.2 **Locaux concernés**

« Local clos »

Un local clos est un local disposant d'une couverture dont chaque paroi verticale donnant sur l'extérieur est obstruée ou obturable par un dispositif de fermeture, fixe ou mobile, sur plus de 50% de sa surface (hors éléments de structure porteuse).

Exemple :



- A : Local non clos car au moins une paroi est ouverte sur plus de 50% de sa surface
- B : Local clos car toutes les parois sont ouvertes sur moins de 50% de leur surface
- C : Local clos car les 4 parois sont ouvertes sur moins de 50% de leur surface
- D : Local non clos car au moins une paroi est ouverte sur plus de 50% de sa surface

« Local en contact avec l'extérieur »

Un local en contact avec l'extérieur a une partie de son enveloppe en contact avec l'extérieur ou un local considéré comme extérieur, c'est-à-dire non clos. L'enveloppe d'un local est composée du plancher haut (ou couverture) et des murs périphériques.

« Façade »

Une façade d'un bâtiment est un ensemble de parois verticales en contact avec l'extérieur composé de parois opaques et de baies ayant le même secteur d'orientation.

« Paroi opaque »

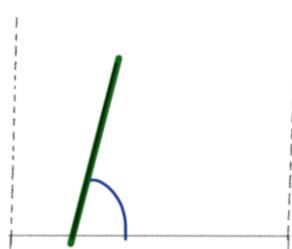
Une paroi verticale (mur) ou horizontale (toiture) est dite opaque lorsqu'elle n'est ni transparente ni translucide. Une paroi est transparente ou translucide si son facteur de transmission lumineuse (hors protection mobile éventuelle) est égal ou supérieur à 0,05.

« Transmission lumineuse »

La transmission lumineuse est un facteur qui caractérise la quantité de lumière transmise à travers un matériau. Plus il est élevé, meilleur est le passage de la lumière.

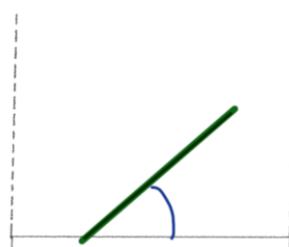
« Paroi ou baie verticale ou horizontale »

Une baie ou une paroi est dite verticale lorsque l'angle de cette baie ou paroi vue de l'intérieur avec le plan horizontal est égal ou supérieur à 60 degrés, elle est dite horizontale lorsque cet angle vu de l'intérieur est inférieur à 60 degrés.



ANGLE $\geq 60^\circ$

PAROI OU BAIE VERTICALE



ANGLE $< 60^\circ$

PAROI OU BAIE HORIZONTALE

« Facteur solaire »

Le *facteur de transmission solaire* ou *FS* caractérise la capacité d'une paroi horizontale ou verticale, ou d'une baie à transmettre tout ou partie de l'énergie qu'elle reçoit et correspond au rapport entre l'énergie transmise à l'intérieur du local et l'énergie solaire reçue sur la face extérieure de cette paroi ou de cette baie.

« Coefficient de masque C_m »

Le *coefficient de masque* ou *C_m* est un coefficient de réduction qui correspond à la présence d'un masque architectural ou naturel créant un effet d'ombrage sur une paroi opaque verticale ou une baie.

« Écran continu ou non continu »

Un écran est une paroi opaque. Il est continu dès lors qu'il est intégralement opaque sur l'ensemble de sa surface. Il est non continu dès lors qu'il existe, à un ou plusieurs endroits de sa surface, sans limite de taille, une absence de matériau.

« Taux de percement »

Le taux de percement représente la surface de vide divisée par la surface totale de l'élément considéré. Il peut s'agir de la surface d'écran ou bien de la surface projetée de l'écran sur l'élément à protéger. Ce point est précisé pour chaque cas où le calcul du taux de percement est nécessaire.

La formule de calcul du taux de percement est la suivante :

$$\text{Taux}_{\text{percement}} = \frac{A_{\text{vide}}}{A_{\text{mur ou protection}}}$$

Où :

- A_{vide} est la surface de mur non protégé ou la surface d'absence de matériau opaque sur la protection solaire ;
- $A_{\text{mur ou protection}}$ est la surface de mur ou de protection solaire.

IV. PERIMETRE D'APPLICATION

1. Typologies concernées

Les dispositions relatives à la protection solaire des parois verticales opaques s'appliquent de façon différenciée aux typologies de bâtiments définies ci-dessous.

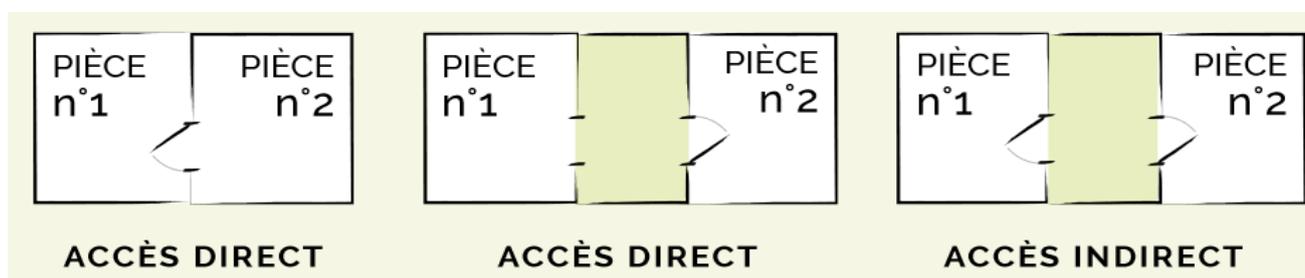
Typologies	Destinations associées	Critères d'application
Bureaux	Construction à usage de bureaux, banque, administration, espace de coworking et locaux accessoires	<i>Sans objet</i>
Enseignement	Crèche, garderie, école maternelle, école primaire, collège, lycée, établissement d'enseignement supérieur et tout autre bâtiment de service public ou d'intérêt collectif de l'enseignement et locaux accessoires Réfectoire	<i>Sans objet</i>
Établissement de soin	Établissement hospitalier public ou privé (centre hospitalier, clinique, ...) et tout autre établissement public de santé et locaux accessoires Structure d'accueil pour personnes âgées et personnes handicapées et locaux accessoires	<i>Sans objet</i>
Hôtellerie	Hôtel de tourisme, pension de familles, meublé de tourisme, auberge de jeunesse, village de vacances, villa de luxe, bungalow et locaux accessoires Tout autre hébergement à vocation touristique et locaux accessoires	Nombre d'unités d'hébergement supérieur ou égal à six ou capacité d'accueil supérieure ou égale à vingt-et-une personnes <i>Pour les bungalows, le nombre d'unités d'hébergement à considérer est le nombre de bungalows visé dans la demande de permis de construire.</i>
Logement collectif	Logement collectif et locaux accessoires, notamment logement OPH et logement destiné à un public aux besoins spécifiques (petite enfance, étudiants, scolaires (internat...), jeunes travailleurs, employés saisonniers ou non, personne en situation d'urgence)	Construction d'au moins trois unités à usage d'habitation superposées ou accolées

La méthodologie pour déterminer la ou les typologie(s) d'un projet de construction est détaillée dans la **fiche d'application n°1 : périmètre d'application de la réglementation**.

2. Locaux concernés

Les dispositions relatives à la protections solaires des parois verticales opaques s'appliquent à l'ensemble des **locaux clos et occupés ou climatisés**, en contact avec l'extérieur. Les locaux **non occupés** bénéficiant d'un accès direct vers un ou plusieurs locaux clos et occupés ou climatisés sont également soumis à ces dispositions, à l'exception des locaux techniques, stationnements et espaces de stockage.

Un accès indirect entre deux locaux est caractérisé par la présence d'un local clos tiers entre les deux locaux considérés, disposant d'une porte le séparant de chacun des deux locaux considérés.



Le tableau ci-dessous présente les types de locaux concernés ou non dans le périmètre d'application des thématiques de la protection solaire des murs :

Types de locaux	Concerné
Chambres et séjours (y compris salle à manger)	OUI
Locaux d'activités diverses (atelier, détente, cafétéria, espace polyvalent, bibliothèque, informatique, salle de massage, cuisine/restauration, commerces, salles de spectacle, salle jeux, salle de réunion, salle de sport, etc.)	
Cuisine privative	
Espaces de travail (bureau) y compris espaces d'accueil avec personnel permanent	
Buanderie professionnelle (dès lors qu'elle constitue un lieu de travail)	
Espace d'attente	
Réfectoire et cuisine	
Salle de bain et sanitaire (privatifs et collectifs)	Si climatisé ou si accès direct à un local occupé/climatisé
Buanderie privative et collective en « self-service »	
Dégagements (circulations, escaliers, dressing, couloirs, escaliers, paliers, halls, etc.)	
Vestiaires (privatifs et collectifs)	Si climatisé
Cellier, débarras, stockage	
Stationnement clos	
Local poubelle	
Local technique	

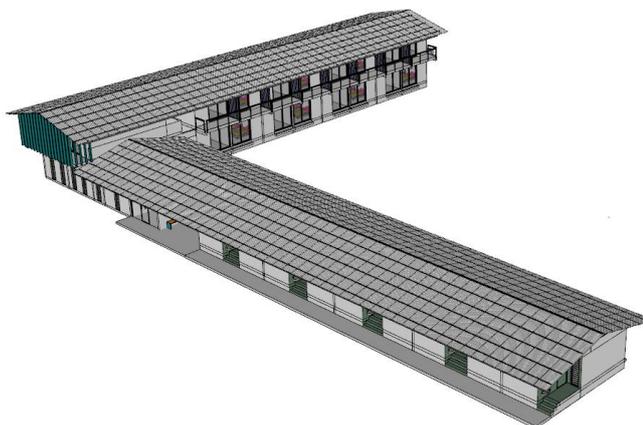
En gris les locaux non occupés

En vert les locaux occupés

Exemple

Le projet consiste en la construction de plusieurs bâtiments d'hébergement de type internat.

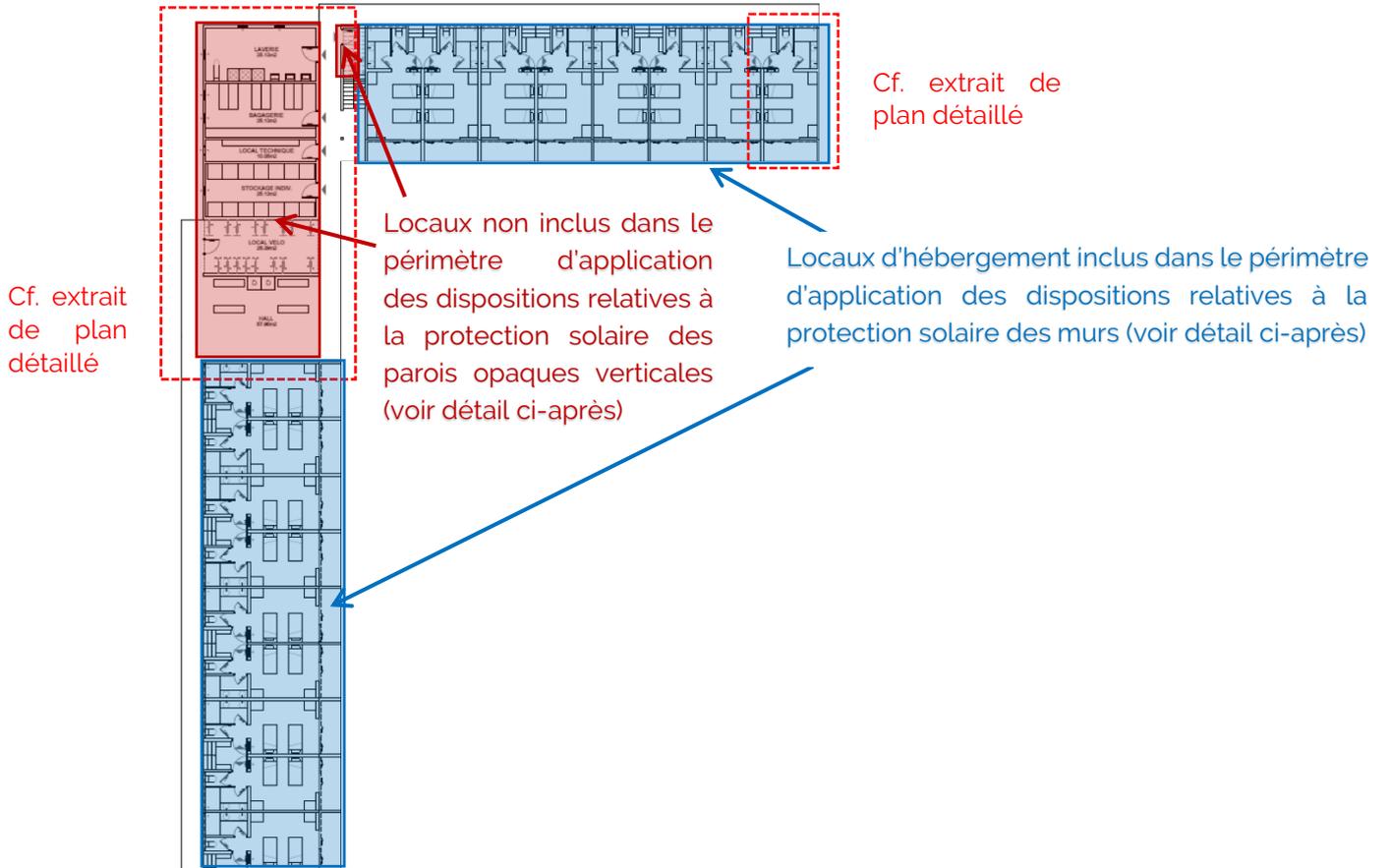
L'ensemble du projet est associé à la typologie « Logement collectif ».



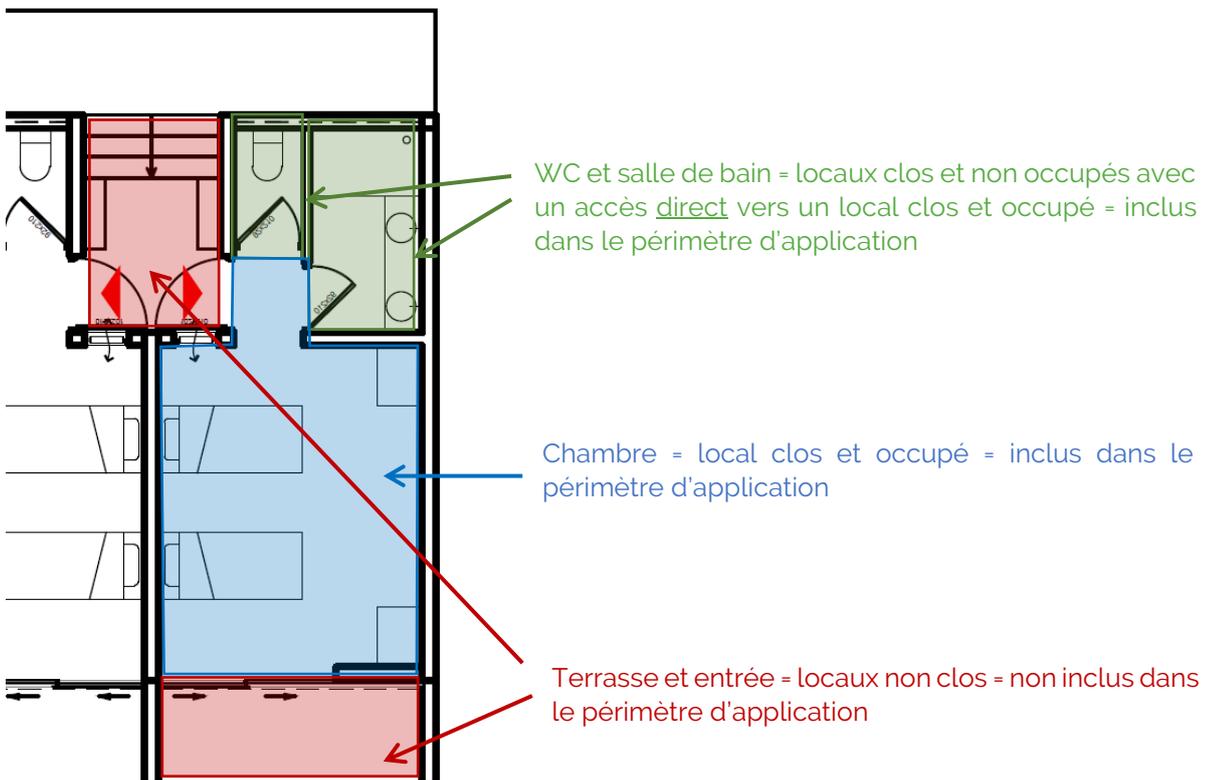
◇ Le bâtiment est composé des locaux suivants :

- Cellules d'hébergement constituées chacune d'une chambre, d'un sanitaire et d'une salle de bain
- Hall ouvert sur deux façades opposées
- Local de stationnement vélo grillagé sur deux façades opposées.
- Laverie à destination des habitants pour une utilisation privative
- Bagagerie pour le stockage des bagages
- Local technique
- Local de stockage individuel équipé de casiers

Les plans ci-dessous présentent en détail les locaux concernés par la thématique de protection solaire des parois verticales opaques.

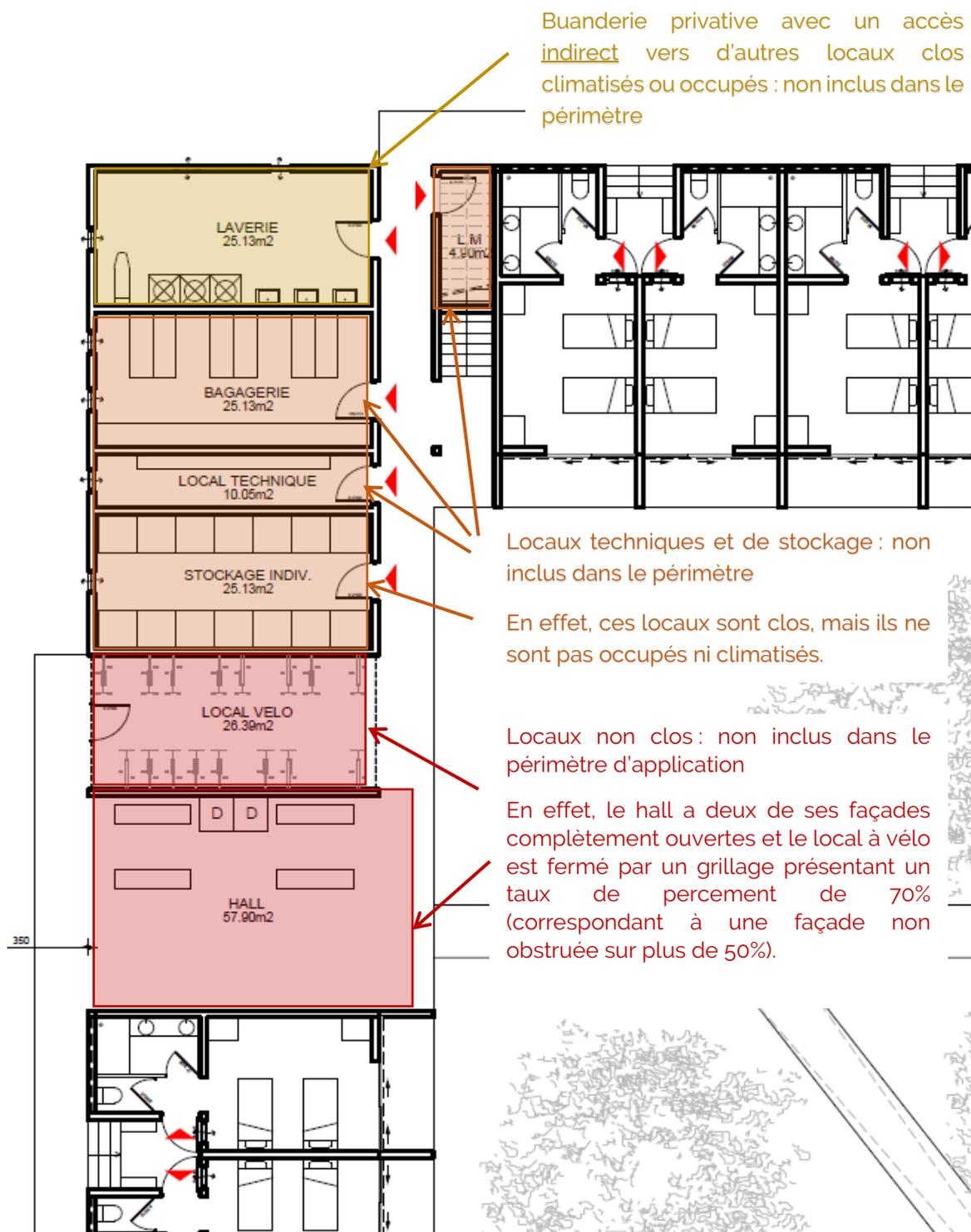


◇ Plan détaillé d'un des logements :



Ainsi, seuls les murs extérieurs des chambres, des sanitaires et salles de bain du projet seront concernées par la thématique de protection solaire des baies.

◇ Plan détaillé de la zone technique de l'internat :

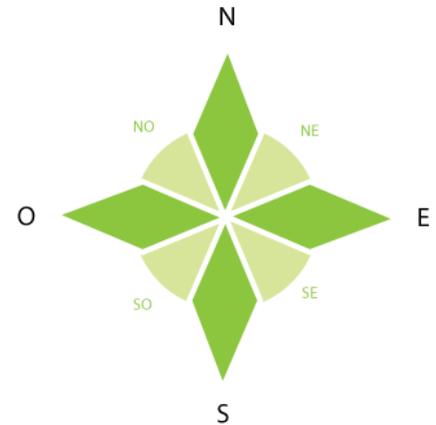


V. DETERMINER LES SEUILS QUI S'APPLIQUENT AUX MURS DU PROJET DE CONSTRUCTION

1. Détermination de l'orientation d'une paroi verticale opaque

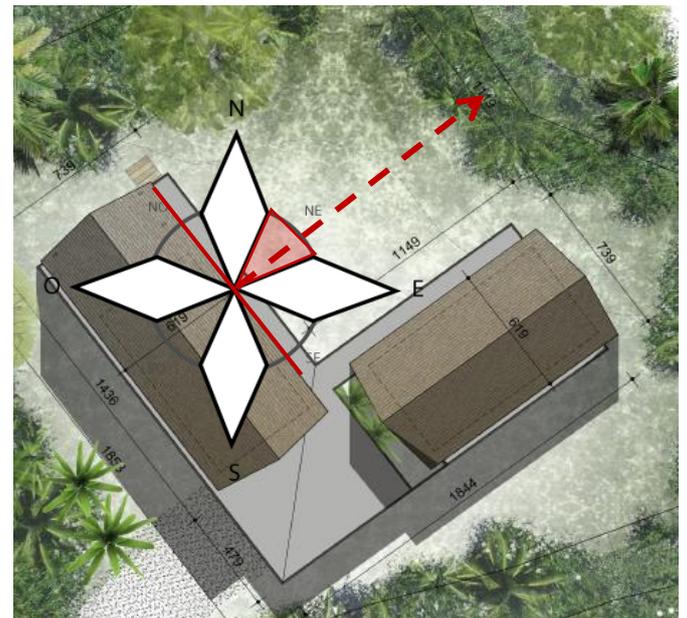
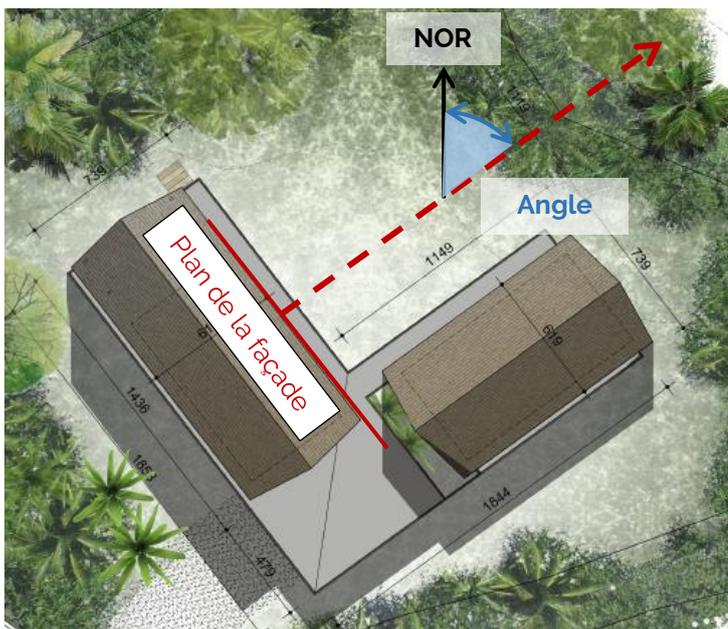
L'angle de 0° est déterminé pour la direction Nord. Les orientations sont définies comme suit :

Angles		Orientation
de	337,5 ° à 22,5°	Nord
de	22,5 ° à 67,5°	Nord-Est
de	67,5 ° à 112,5°	Est
de	112,5 ° à 157,5°	Sud-Est
de	157,5 ° à 202,5°	Sud
de	202,5 ° à 247,5°	Sud-Ouest
de	247,5 ° à 292,5°	Ouest
de	292,5 ° à 337,5°	Nord-Ouest



Exemple de calcul d'une orientation de façade

Le principe est de calculer l'angle formé par une droite en direction du Nord et une autre droite tracée perpendiculairement à la façade considérée :



L'angle est mesuré à 53,3°. D'après le tableau de correspondance des orientations, la façade étudiée présente une orientation **Nord-Est**.

Une autre méthode consiste à placer directement une « boussole » au niveau des façades du projet.

2. Seuils fixés pour les parois verticales opaques

Une façade verticale ne recevant pas la même quantité de chaleur au cours de l'année selon son orientation, le seuil de performance diffère selon l'orientation de la baie concernée.

Facteur solaire maximum	Orientation
11%	Nord, Nord-Est, Nord-Ouest, Est, Ouest
12%	Sud, Sud-Est et Sud-Ouest

VI. CALCUL DU FACTEUR SOLAIRE DU MUR (PAROI VERTICALE OPAQUE)

1. Formule de calcul du facteur solaire

Le facteur solaire S d'un mur est défini selon la formule suivante :

$$S = \frac{0,07 \times \alpha \times C_m}{(R + 0,2)}$$

Où :

- α est le coefficient d'absorption de la paroi ;
- R est la résistance thermique de la paroi en $m^2.K/W$;
- C_m est un coefficient de réduction correspondant aux masques architecturaux et bardages ventilés.
- $0,2$: somme des résistances d'échanges superficiels R_{si} et R_{se} (en $W/m^2.K$)

2. Coefficient d'absorption (alpha)

Ce coefficient caractérise la capacité du matériau à absorber le rayonnement solaire. Il correspond à la teinte du **revêtement extérieur du mur** considéré, en contact avec l'extérieur.

A. DETERMINATION DU COEFFICIENT D'ABSORPTION

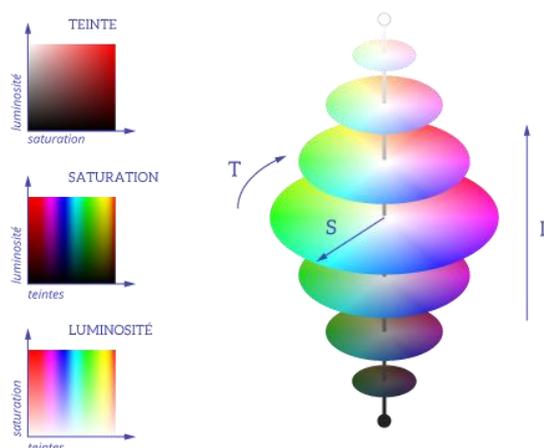
Pour les **revêtements colorés de couverture**, le texte permet différentes approches pour associer une couleur ou une teinte à une valeur de coefficient d'absorption.

La première approche consiste à regrouper les couleurs par catégories de teintes. Le tableau suivant présente les valeurs indicatives de coefficient en fonction de la catégorie de teinte, celle-ci étant caractérisée par la couleur :

CATEGORIES DE TEINTES	COULEURS	Coefficient
Claire	Blanc, jaune, orange clair, beige, crème, rouge clair	0,4
Moyenne	Rouge sombre, vert clair, bleu clair, gris clair, orange sombre	0,6
Sombre	Brun, vert sombre, bleu vif, gris moyen	0,8
Noire	Gris sombre, bleu sombre, brun sombre, noir	1

La deuxième approche permet de préciser d'avantage les valeurs de coefficient en fonction de la couleur. Ainsi, la réglementation intègre un tableau de conversion selon les valeurs « TSL » (Teinte, Saturation Luminosité). Chaque couleur est caractérisée par un nombre unique de 7 chiffres où les 3 premiers désignent la teinte (T), les deux suivants la luminosité (L) et les deux derniers la saturation (S).

Toute couleur présentant une luminosité supérieure à 80 % est considérée comme « couleur claire ». Inversement toute couleur présentant une luminosité inférieure à 20 % est considérée comme « couleur noire ». Le coefficient d'absorption des couleurs dont la luminosité est comprise entre 30 % et 70 % est donné dans le tableau 2 ci-dessous en fonction de la teinte (T) de la luminosité (L) et de la saturation (S).



Afin de se rapprocher le plus possible de la valeur exacte du coefficient d'absorption, il est possible de réaliser des interpolations linéaires pour les paramètres S et L, lorsque les valeurs sont comprises entre les valeurs maximum et minimum du tableau.

S = 80 %	Teinte (T)																		
	360	340	320	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0
L = 70 %	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4
L = 50 %	0,4	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4
L = 30 %	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6

S = 40 %	Teinte (T)																		
	360	340	320	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0
L = 70 %	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
L = 50 %	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
L = 30 %	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

S = 10 %	Teinte (T)																		
	360	340	320	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20	0
L = 70 %	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
L = 50 %	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
L = 30 %	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Le code RAL « design » indique les valeurs de teinte, luminosité et saturation. Celui-ci est différent du code RAL « classic » qui est composé d'un nombre à 4 chiffres.

Exemple

- RAL 210 60 30 = teinte 210/360 + luminosité 60/100 + saturation 30/100
- RAL 6026 = « Vert Opale »

Il n'y a aucune correspondance entre le code RAL « design » et « classic », cependant des sites internet établissent des équivalences entre le code RAL « classic » et les valeurs « TSL » mais qui ne sont pas normées ni officielles.

Ces mêmes sites proposent des équivalences entre les coordonnées « TSL » et d'autres nuanciers (RGB, PANTONE, TOLLENS, etc.), par exemple : <https://encycolorpedia.fr/> ou <https://www.gayartitang.fr/codes-couleur/index.php>

Pour les matériaux de revêtement naturels non revêtus ou incolores, le coefficient d'absorption est fixé dans le tableau suivant :

Matériau	Valeur α
Façade en bois	0,7
Façade végétalisée	0,6

Le coefficient d'absorption à prendre en compte est celui du revêtement extérieur du mur ou du bardage si celui-ci constitue un écran de protection solaire.

Exemple

Un bâtiment présente une façade en béton armé avec un revêtement de peinture extérieure que l'architecte souhaite de couleur orange. Le coefficient d'absorption peut être déterminé de différentes manières selon le choix de peinture fait par le concepteur :

- La teinte est sélectionnée parmi le nuancier du fabricant et présente une référence sans rapport avec le code RAL. La teinte est un **orange** (ni sombre, ni clair). D'après le tableau des catégories de teintes, on se place dans le cas le plus défavorable : le coefficient d'absorption **alpha = 0,6**.

- La teinte est sélectionnée sur un nuancier **RAL « Design », référence 50 60 80 (« carotte »)** soit $T=50^\circ$, $L=60\%$ et $S=80\%$. D'après le tableau le coefficient d'absorption **alpha = 0,4**
- La teinte est sélectionnée sur un nuancier **RAL « Classic », référence 2012 (« carotte »)** qui peut être considérée comme :
 - o Correspondant à une référence « TSL » :
 - $T = 21^\circ / S = 89\% / L = 61\%$ d'après le site <https://encycolorpedia.fr/>
 - Une valeur approximative moyenne du tableau de correspondance « TSL » serait $T = 20^\circ / S = 80\% / L = 60\%$, correspondant à un coefficient d'absorption **alpha = 0,4**
 - o Correspondant à un « orange » dans le tableau de correspondance des teintes soit un coefficient d'absorption **alpha = 0,4**

B. ÉCRAN DE PROTECTION SOLAIRE NON CONTINU

En cas d'écran non continu, le coefficient d'absorption peut être calculé au prorata du taux de percement selon la formule suivante :

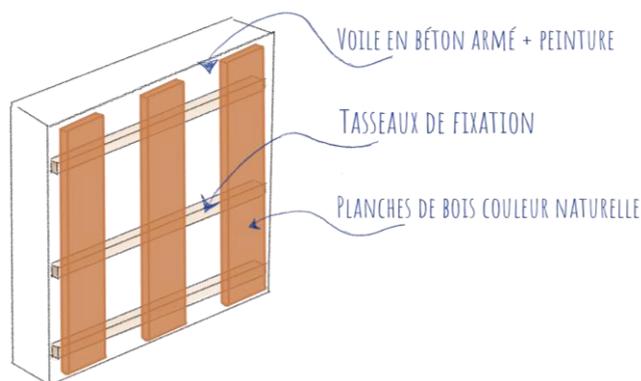
$$\alpha_{\text{équivalent}} = \alpha_{\text{façade}} \times \text{taux}_{\text{percement}} + \alpha_{\text{écran}} \times (1 - \text{taux}_{\text{percement}})$$

Le taux de percement correspond à la surface d'absence de matériau rapportée à la surface totale de l'écran.

En cas d'écran incliné, la surface est calculée sur la base d'une projection de l'écran dans le plan de la façade, sur le mur.

Exemple

Un bâtiment dispose d'une façade en béton revêtu d'une peinture et d'un bardage vertical à claire-voie :



Les planches de bois ont une largeur de 20 cm et sont posées avec un écart de 20 cm de telle sorte que le taux de percement correspond à 50 %.

La teinte de la peinture est beige soit un coefficient d'absorption $\alpha = 0,4$.

Les planches de bois sont d'aspect naturel soit un coefficient d'absorption $\alpha = 0,7$.

Le coefficient d'absorption équivalent est calculé comme suit :

$$\alpha_{\text{équivalent}} = 0,4 \times 0,50 + 0,7 \times (1 - 0,50) = \mathbf{0,55}$$

C. CAS DES FAÇADES AVEC PLUSIEURS TEINTES

Dans le cas où un bâtiment comporte une façade avec plusieurs teintes, le calcul prendra uniquement en considération la couleur représentant plus de 70% de la surface de façade, ou bien la moyenne pondérée des couleurs les plus représentatives, selon leur surface, jusqu'à 70% de la surface de façade.

Les couleurs représentatives sont déterminées en additionnant les surfaces des couleurs les plus représentatives dans l'ordre de leur pourcentage de représentation décroissant. La dernière couleur

représentative retenue est celle qui, après être ajoutée à l'addition, fait dépasser le % des surfaces de couleurs représentatives à plus de 70% de la surface de façade.

Dans ce cas, le coefficient d'absorption équivalent se calcule de la manière suivante :

$$\alpha_{\text{équivalent}} = \sum \alpha_n \times C_n$$

Où :

- n représente les couleurs les plus représentatives
- α_n est le coefficient d'absorption de la couleur n
- C_n est le coefficient de pondération de la couleur n

Le coefficient de pondération C_n est déterminé comme suit : $C_n = \frac{S_n}{\sum S_n}$

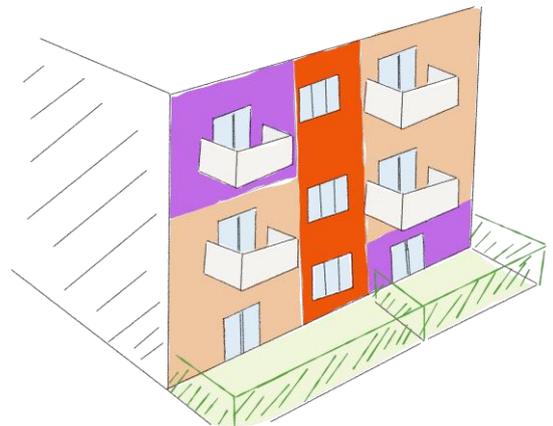
Où S_n est la surface de la couleur n.

Exemple

La façade a une surface totale de 1 000 m², elle est composée de 3 couleurs différentes :

- La couleur beige représente une surface de 400 m² soit 400 / 1 000 = 40 % de la surface totale de façade
- La couleur orange représente une surface de 250 m² soit 250 / 1 000 = 25 % de la surface totale de façade
- La couleur violette représente une surface de 350 m² soit 350 / 1 000 = 35 % de la surface totale de façade

La couleur des garde-corps et sous-face de balcon n'est pas comptabilisée.



Les couleurs beige et violette représentent à elles deux 75% de la surface totale de façade. Le calcul du coefficient d'absorption sera calculé selon la surface pondérée de chacune de ces couleurs.

Couleur beige :

- Coefficient d'absorption $\alpha_{\text{beige}} = 0,4$
- Coefficient de pondération $C_{\text{beige}} = 400 / (400 + 350) = 0,53$

Couleur violette :

- Coefficient d'absorption $\alpha_{\text{violet}} = 0,8$
- Coefficient de pondération $C_{\text{violet}} = 350 / (400 + 350) = 0,47$

Calcul du coefficient d'absorption équivalent :

$$\alpha_{\text{équivalent}} = \alpha_{\text{beige}} \times C_{\text{beige}} + \alpha_{\text{violet}} \times C_{\text{violet}} = 0,4 \times 0,53 + 0,8 \times 0,47 = 0,59$$

3. Résistance thermique (R)

A. PRESENTATION DE LA RESISTANCE THERMIQUE ET DE SON PRINCIPE

La résistance thermique R de la paroi est la somme des résistances thermiques de chacune des couches la constituant :

$$R = \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n}$$

Où :

- R : résistance thermique (en m².K/W)
- e : épaisseur du matériau (en m)

- λ : conductivité thermique du matériau (en W/m.K)

Les valeurs de conductivité thermiques sont fixées par la réglementation pour les principaux matériaux :

Matériau	λ en W/m.K
Béton armé	2,00
Béton plein	1,65
Blocs de béton aggloméré plein	1,65
Blocs de béton aggloméré creux	0,95
Béton cellulaire	0,14
Enduit minéral	1,30
Bois lourd (merbau, chêne, etc.)	0,18
Bois mi-lourd (pin des caraïbes, teck)	0,15
Bois léger (sapin, douglas, cèdre, etc.)	0,13
Panneaux de bois contreplaqué	0,15
Panneaux OSB	0,12
Panneaux de particules bois (MDF)	0,15
Plaque de fibrociment	0,65
PVC	0,17
Plaque de plâtre	0,25
Perlite expansée	0,060
Ouate de cellulose	0,045
Polystyrène expansé	0,042
Laine minérale (laine de verre, laine de roche)	0,040
Mousse de polyuréthane	0,035
Tôle acier	52
Tôle aluminium	230
Pierre de Moorea	1,1
Étanchéité bitumineuse	0,17
Étanchéité en résine synthétique	0,25
Tuiles en terre cuite	0,85
Bardeaux de bitume	0,17
Terre végétale (ép. \leq 30 cm)	0,75
Terre végétale (ép. $>$ 30 cm)	1,25
Pandanus	0,065

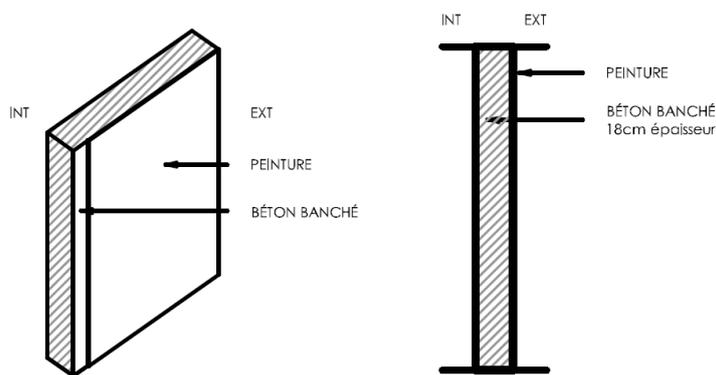
Pour les matériaux ne figurant pas dans le tableau ou présentant des caractéristiques supérieures à celles indiquées dans le tableau, les pétitionnaires se reportent :

- Aux valeurs indiquées dans les fascicules des Règles « Th-bat » utilisées pour les calculs énergétiques réglementaires en France métropolitaine et plus particulièrement des valeurs tabulées au fascicule 2. *FASCICULE MATÉRIAUX de l'Annexe III : Règles « Th-Bat 2020 » - données d'entrée au calcul de la performance énergétique* ;
- Aux valeurs indiquées par le fabricant si celles-ci sont certifiées par un organisme indépendant (par exemple : ACERMI) ou calculées selon une norme nationale ou internationale (par exemple la norme NF EN 14509).

Pour les blocs de béton aggloméré creux, la valeur de résistance thermique est détaillée, en dérogation à la valeur indiquée dans le tableau ci-dessus, pour les conditions suivantes :

Parpaings creux	Épaisseur	Résistance thermique
1 rangée d'alvéoles	15 cm	0,16 m ² .K/W
1 rangée d'alvéoles	20 cm	0,18 m ² .K/W
2 rangées d'alvéoles	20 cm	0,23 m ² .K/W

Exemple : cas d'une façade béton

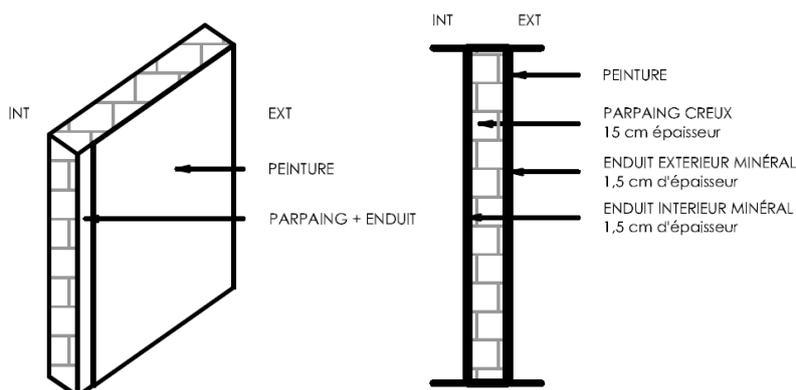


Le calcul de la résistance est réalisé comme suit : $R_{mur} = 0,18 / 2 = 0,09 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$

La résistance thermique du revêtement de peinture est négligeable pour le calcul de résistance thermique.

Matériaux	λ (W/m.K)	Épaisseur (cm)	Résistance thermique (m ² .K/W)
Voile béton armé	2,00	18	0,09
Total			0,09

Exemple : cas d'une façade en parpaings creux



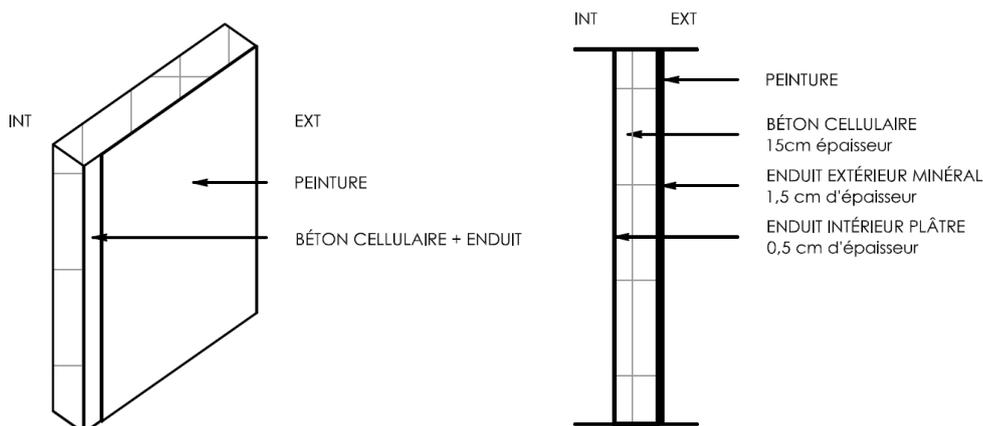
Le calcul de la résistance est réalisé comme suit :

Matériaux	λ (W/m.K)	Épaisseur (cm)	Résistance thermique (m ² .K/W)
Enduit extérieur minéral	1,3	1,5	0,012
Parpaing creux 15 cm ép.		15	0,16
Enduit intérieur minéral	1,3	1,5	0,012
Total			0,183

$$R_{mur} = 0,015 / 1,3 + 0,16 + 0,015 / 1,3 = 0,183 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

La résistance thermique de la maçonnerie est indiquée dans le tableau relatif aux parpaings creux. La résistance thermique du revêtement de peinture est négligeable pour le calcul de résistance thermique.

Exemple : cas d'une façade en béton cellulaire



Le calcul de la résistance est réalisé comme suit :

Matériaux	λ (W/m.K)	Épaisseur (cm)	Résistance thermique ($m^2.K/W$)
Enduit extérieur minéral	1,3	1,5	0,01
Béton cellulaire 15 cm ép.	0,14	15	1,07
Enduit intérieur plâtre	0,57	0,5	0,01
Total			1,09

$$R_{\text{mur}} = 0,015 / 1,3 + 0,15 / 0,14 + 0,005 / 0,57 = \mathbf{1,09 \text{ m}^2.K/W}$$

La conductivité thermique de l'enduit plâtre est indiquée dans les règles Th. Elle varie entre 0,57 et 0,40 W/(m.K) selon la densité du produit. Celle-ci n'étant pas connue, il sera pris la valeur la plus défavorable. La résistance thermique du revêtement de peinture est négligeable pour le calcul de résistance thermique.

B. CAS DES LAMES D'AIR PEU VENTILEES

Lorsque la paroi intègre une lame d'air, dite « pas ou peu ventilée », celle-ci présente une résistance thermique dont la valeur est calculée en fonction de son épaisseur dans le tableau suivant :

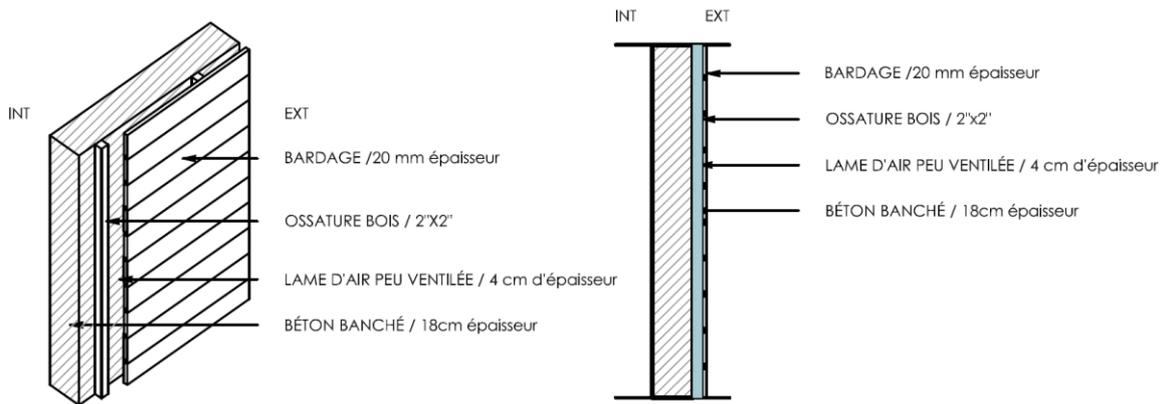
Épaisseur de la lame d'air pas ou peu ventilée (mm)	Résistance thermique R ($m^2.K/W$) de la lame d'air (flux horizontal)
0	0,00
5	0,09
7	0,11
10	0,12
15	0,14
> 15	0,15

La lame d'air est considérée comme peu ou pas ventilée dès lors que les critères définissant le bardage dit « ventilé » tels qu'indiqués au § VI.4.D Cas des bardages ventilés, ne sont pas remplis.

C'est notamment le cas des bardages dit « non ventilés » : ils sont rapportés sur le mur avec une lame d'air peu ou pas ventilée entre le bardage et le mur.

Les bardages non ventilés ou peu ventilés sont considérés comme faisant partie de la paroi opaque verticale et pris en compte dans le calcul de la résistance thermique totale de la paroi.

Exemple



Le calcul de la résistance est réalisé comme suit :

Matériaux	λ (W/m.K)	Épaisseur (cm)	Résistance thermique (m ² .K/W)
Voile béton armé	2,00	18	0,09
Lame d'air peu ventilée > 15 mm ép.		4	0,15
Bardage bois Pin des caraïbes	0,15	2	0,13
Total			0,37

$$R_{\text{mur}} = 0,18 / 2 + 0,15 + 0,02 / 0,15 = \mathbf{0,37 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}}$$

La résistance thermique de la lame d'air est indiquée directement dans le tableau spécifique aux lames d'air peu ventilées.

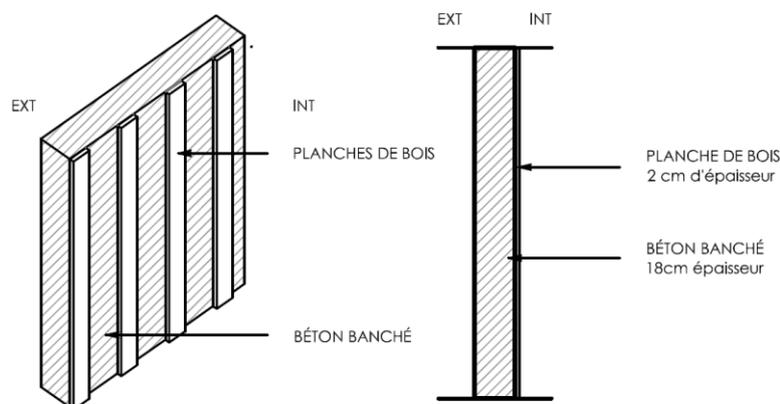
C. CAS DES BARDAGES AJOURES SANS LAMES D'AIR

Lorsque le mur est protégé par un bardage ajouré sans présence de lame d'air entre le bardage et le mur, la résistance thermique du bardage est prise en compte au prorata de son taux de percement :

$$R_{\text{équivalent}} = R_{\text{mur}} \times \text{taux}_{\text{percement}} + R_{\text{mur+bardage}} \times (1 - \text{taux}_{\text{percement}})$$

Le taux de percement correspond à la surface d'absence de matériau rapportée à la surface totale de l'écran.

Exemple



Les planches de bois sont vissées et ou collée directement sur le mur en béton. Une cale est mise en œuvre entre le béton et chaque planche de bois dont l'épaisseur négligeable ne suffit pas à considérer la présence d'une lame d'air.

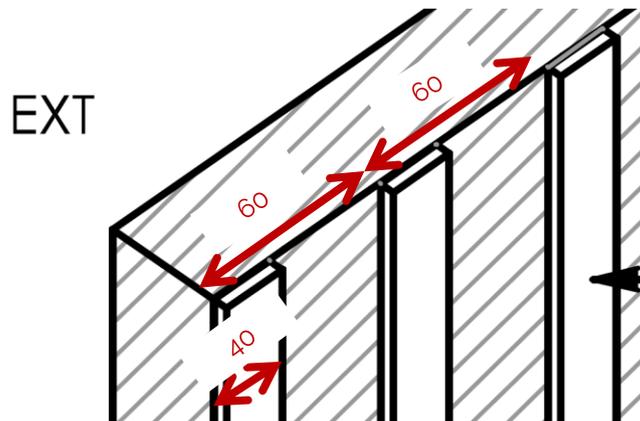
Les lames sont de dimension 20 x 2 cm d'épaisseur et sont disposées avec un vide de 40 cm entre chaque lame. La hauteur des lames est identique à celle du mur.

◇ Calcul du taux de percement :

Les lames sont disposées tous les 60cm.

Le taux de percement peut être calculé de la manière suivante :

$$\text{Taux}_{\text{percement}} = 40 / 60 = \mathbf{0,67}$$



◇ Calcul de la résistance thermique :

La résistance thermique du mur béton nu est :

Matériaux	λ (W/m.K)	Épaisseur (cm)	Résistance thermique (m ² .K/W)
Voile béton armé	2,00	18	0,09
Total			0,09

$$R_{\text{mur béton}} = 0,18 / 2 = \mathbf{0,09 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}}$$

La résistance thermique du complexe mur béton et planche de bois est :

Matériaux	λ (W/m.K)	Épaisseur (cm)	Résistance thermique (m ² .K/W)
Voile béton armé	2,00	18	0,09
Planche de bois Pin des caraïbes	0,15	2	0,13
Total			0,22

$$R_{\text{mur béton+bardage}} = 0,18 / 2 + 0,02 / 0,15 = \mathbf{0,22 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}}$$

La résistance thermique équivalente est calculée ainsi :

$$R_{\text{équivalent}} = 0,09 \times 0,67 + 0,22 \times (1 - 0,67) = \mathbf{0,13 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}}$$

4. Coefficient de masque (Cm)

A. PRESENTATION DU COEFFICIENT CM ET DE SON PRINCIPE

Le coefficient de masque est déterminé selon le type de protection solaire, créant un effet de masque, et matérialisée par :

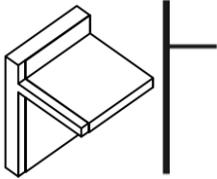
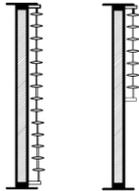
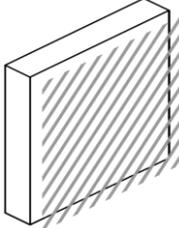
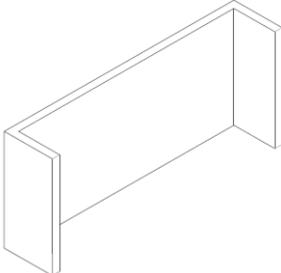
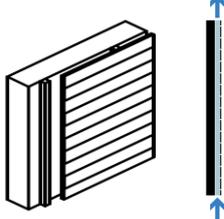
- Des éléments architecturaux, appelés pare-soleils.
- Des éléments de site, urbains ou topographiques (reliefs, bâtiments voisins)
- Des éléments végétaux, sous certaines conditions.

Ce coefficient est obtenu grâce à un outil informatique édité par le CEREMA et le SDE. Cet outil permet de déterminer la performance de la protection solaire envisagée en fonction de sa position par rapport au mur et de son orientation.

Toute configuration de masque solaire qui n'est pas modélisable par l'outil doit faire l'objet d'une étude spécifique en utilisant, le cas échéant, un autre outil informatique tel qu'un logiciel de simulation thermique dynamique (STD) ou de simulation énergétique dynamique (SED).

La fiche d'application relative à l'utilisation de l'outil Cm précise les limites de l'outil et les configurations non modélisables.

Les masques architecturaux suivants sont modélisables sur l'outil Cm :

Type de protection	Illustration
<p>Casquette</p> <p>Exemples : ouvrages spécifiques comme des casquettes en béton ou en aluminium, balcons ou terrasses de l'étage supérieur, etc.</p>	
<p>Brise-soleil</p> <p>Exemples : lames d'aluminium ou bois, horizontales ou verticales</p>	
<p>Bardage ajouré</p> <p>Exemples : bardage à claire-voie, double façade ajourée de type résille, etc.</p>	
<p>Débord de toiture</p> <p>Exemples : prolongement de toiture permettant de couvrir la façade ou des espaces tels que circulations extérieures, terrasses, etc.</p>	
<p>Flancs de protection</p> <p>Exemples : façade crénelée, terrasse encastrée dans la façade, bâtiment voisin accolé, etc.</p>	
<p>Bardage ventilé</p> <p>Exemples : clins, double façade opaque, etc.</p>	

Tout type de masque lié au site environnant peut être modélisé sur l'outil Cm. Exemples : falaise/flanc de montagne à proximité, montagne éloignée, bâtiment voisin, mur de clôture, etc.

Les masques végétaux sont modélisables lorsqu'ils sont intégrés à un masque architectural tel que défini et respectant les dispositions précisées au § VI.6.E Cas des masques végétaux.

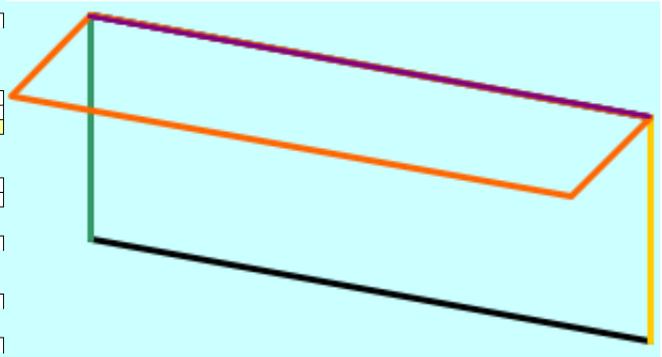
Ces 3 types de masques peuvent être combinés dans certaines limites qui sont expliquées dans la notice spécifique sur l'utilisation de l'outil de calcul Cm.

Lorsqu'aucune protection solaire ni masque de site ne s'applique, le coefficient de masque Cm est égal à 1.

Exemples de calcul avec l'outil

◇ Casquette béton :

Orientation de la paroi verticale		
Secteur d'Orientation	NORD	
OU Orientation précise (° N)		
Dimensions de la paroi verticale		
Largeur en m	6,00	
Hauteur en m	3,00	
Surface en m ² (calcul)	18,00	
Données sur débord ou casquette		
Profondeur en m	2,00	
Taux de percement en %	0,00%	
Données sur joue gauche		
Profondeur en m	0,00	
Données sur joue droite		
Profondeur en m	0,00	
Données sur brise soleil de face		
	pas de masque	

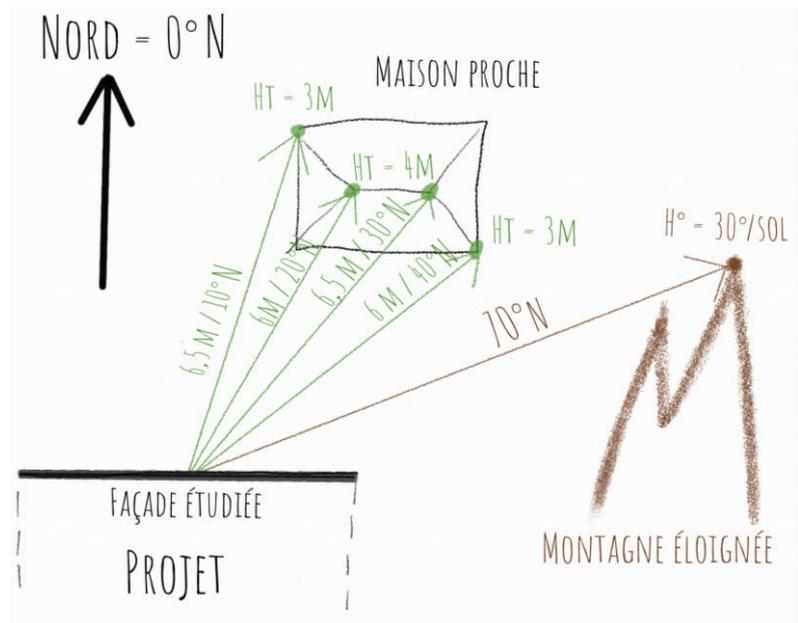


Résultat : Cm = 0,48

dont part dûe à l'effet des masques lointains et urbains : 0%

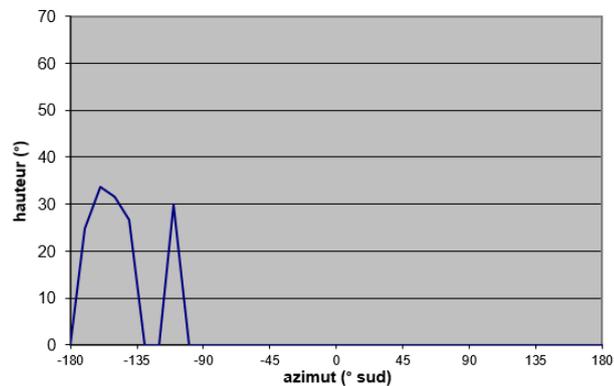
◇ Masques lointains :

Il existe deux méthodes pour saisir les masques lointains dans l'outil de calcul. Elles sont précisées dans la fiche dédiée à l'outil.



MASQUES urbains / batiments sur même parcelle			MASQUES lointains en hauteur de vue	
couples (distance (d) ; altitude (a))			OU	-> hauteurs (h)
altitude point observation (m)				
si plusieurs étages (sinon 0)				
Az (° N)	distance (m)	hauteur (m)	OU	Az (° N)
0				h (°)
10	7 m	3,0		0
20	6 m	4,0		10
30	7 m	4,0		20
40	6 m	3,0		30
50				40
60				50
70				60
80				70
90				80
				90

profil masque



Résultat : Cm = 0,98

dont part dûe à l'effet des masques lointains et urbains : -2%

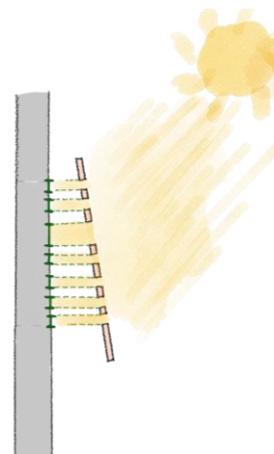
La valeur du coefficient de masque de l'environnement du projet est de 0,98. Ainsi, la construction et la montagne ne semblent quasiment pas bloquer le rayonnement solaire.

B. CAS DES PROTECTIONS SOLAIRES VERTICALES AJOUREES

Les bardages constitués de lames horizontales, seront considérés comme des brise-soleils dont les caractéristiques seront renseignées dans l'outil de calcul Cm FS.

Les bardages ajourés seront assimilés, pour le calcul de Cm, à des masques continus percés dont le taux de percement est renseigné dans l'outil de calcul.

Le taux de percement du bardage correspond à la surface non protégée de la paroi considérée lorsque le bardage est projeté sur celle-ci.



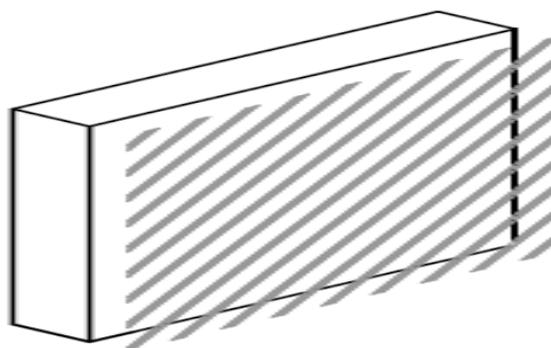
Exemple d'une façade rapportée type résille sur mur béton

◇ Calcul du taux de percement :

Il est souvent plus facile de calculer la surface de partie opaque de la résille que la surface de « vide ».

Si la résille présente une surface opaque de 50 m² et qu'elle est posée sur une surface totale de 120 m² alors le taux de percement est estimé comme suit :

$$\text{Taux}_{\text{percement}} = (120 - 50) / 120 = \mathbf{0,58}$$

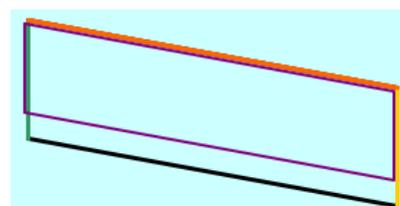


◇ Calcul du Cm via l'outil :

La façade présente une hauteur de 8 m pour une largeur de 20 m. Elle est orientée Nord-Est.

La résille est posée sur une hauteur de 6 m en partant du haut de la façade, décollée de la façade béton de 40 cm. Elle est réalisée en aluminium laqué de couleur beige (teinte claire).

Orientation de la paroi verticale	
Secteur d'Orientation	NORD-EST
OU Orientation précise (° N)	
Dimensions de la paroi verticale	
Largeur en m	20,00
Hauteur en m	8,00
Surface en m ² (calcul)	160,00
Données sur débord ou casquette	
Profondeur en m	0,00
Données sur joue gauche	
Profondeur en m	0,00
Données sur joue droite	
Profondeur en m	0,00
Données sur brise soleil de face	
masque continu	
Dimension verticale du brise soleil en face de la paroi verticale en m	6,00
Distance à la paroi verticale en m	0,40
Teinte du brise soleil	Claire
Taux de percement du brise soleil	58%



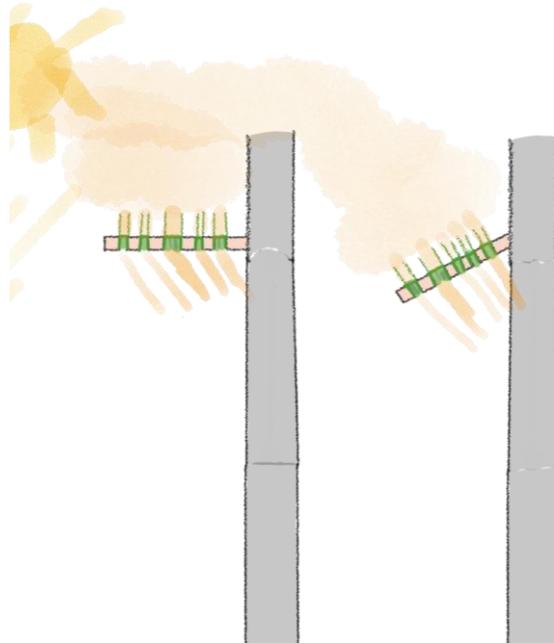
Résultat : Cm = 0,75

dont part due à l'effet des masques lointains et urbains : 0%

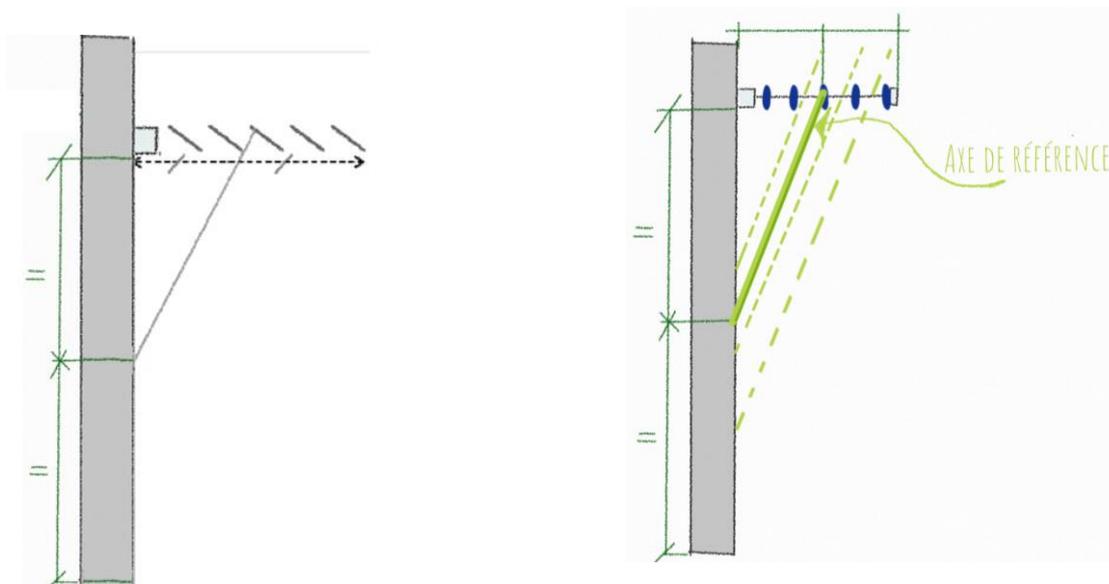
C. CAS DES PROTECTIONS SOLAIRES HORIZONTALES PERFOREES (« DEBORDS OU CASQUETTES »)

L'outil de calcul prend en compte les protections horizontales perforées en fonction de leur taux de percement.

Le taux de percement correspond à la surface d'absence de matériau calculée dans le plan de l'écran horizontal.

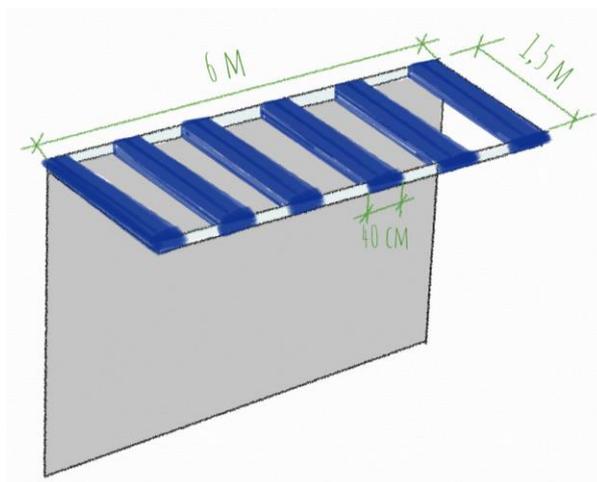


Lorsque la protection solaire perforée est équipée de lames inclinées, celle-ci est considérée comme continue dès lors qu'elle est opaque au rayonnement solaire. Cela signifie que les lames se recouvrent les unes par rapport aux autres par rapport à l'axe créé depuis le milieu du mur considéré.



Lorsque cette protection horizontale est équipée de lames non inclinées ou inclinées qui ne se recouvrent pas, le taux de percement est défini comme la surface libre divisée par la surface totale de la protection. Ces surfaces sont calculées dans le plan de la protection.

Exemple de calcul du Cm d'une casquette horizontale ajourée



◇ Calcul du taux de percement :

La casquette est constituée de 6 lames de 40 cm de largeur et de 1,5 m de longueur. La surface totale de la casquette est 9 m².

Le taux de percement est calculé comme suit :

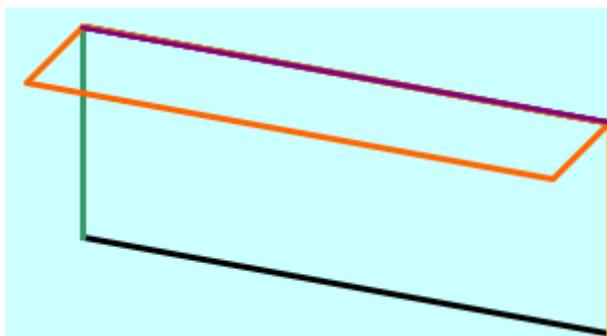
$$\text{Taux}_{\text{percement}} = (9 - (6 \times 0,4 \times 1,5)) / 9 = \mathbf{0,60}$$

◇ Calcul du Cm via l'outil :

La façade présente une hauteur de 3 m pour une largeur de 6 m. Elle est orientée Ouest.

La casquette est posée sur toute la largeur de la façade.

Orientation de la paroi verticale	
Secteur d'Orientation	OUEST
OU Orientation précise (° N)	
Dimensions de la paroi verticale	
Largeur en m	6,00
Hauteur en m	3,00
Surface en m ² (calcul)	18,00
Données sur débord ou casquette	
Profondeur en m	1,50
Taux de percement en %	60,00%
Données sur joue gauche	
Profondeur en m	0,00
Données sur joue droite	
Profondeur en m	0,00
Données sur brise soleil de face	
	pas de masque



Résultat : Cm = 0,86

dont part due à l'effet des masques lointains et urbains : 0%

D. CAS DES BARDAGES VENTILES

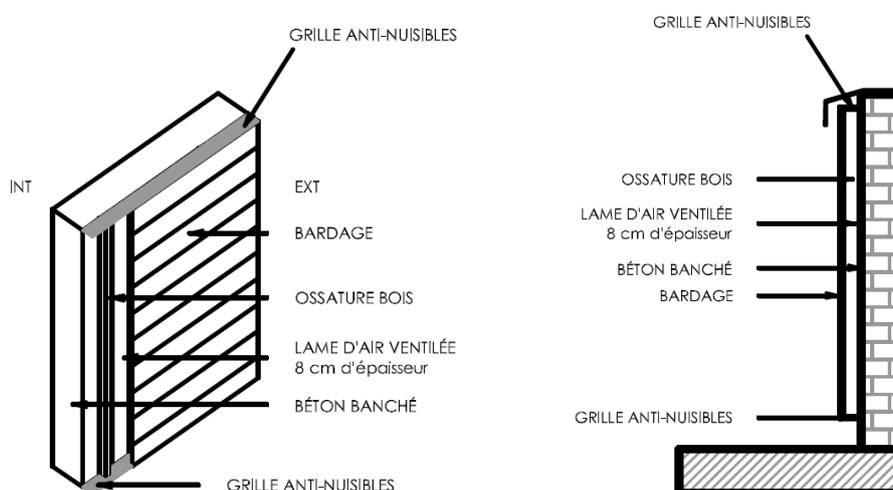
Un bardage dit « ventilé » correspond à un écran continu mis en œuvre devant la totalité de la paroi verticale considérée et satisfaisant les critères suivants :

- Le bardage est séparé de la paroi verticale par une ossature verticale permettant l'aération continue du bardage depuis l'extrémité basse jusqu'à l'extrémité haute ;
- La distance entre la surface intérieure du bardage et la surface extérieure de la paroi verticale est supérieure ou égale à 8 cm ;
- Absence d'obturation de l'aération aux extrémités du bardage : un espace libre d'une distance minimale de 8 cm est présent en partie haute et en partie basse du bardage. **Pour lutter contre l'intrusion des nuisibles, ces espaces peuvent être comblés par un écran ajouré présentant un taux de percement de 50% minimum.**

Lorsque le mur est protégé par un bardage ventilé, la résistance thermique du bardage n'est pas prise en compte dans le calcul de résistance thermique total de la paroi, servant au calcul du facteur solaire.

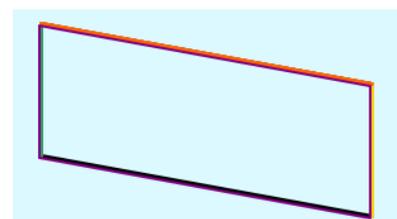
Les aérations aux extrémités du bardage doivent être permanentes (non obturables).

Exemple de calcul de C_m pour une façade parpaing avec bardage ventilé + grille anti-nuisibles



La façade présente une hauteur de 3 m pour une largeur de 6 m. Elle est orientée Est. Le bardage ventilé est en bois de teinte naturelle qui a son propre coefficient d'absorption alpha égal à 0,7.

Orientation de la paroi verticale	
Secteur d'Orientation	EST
OU Orientation précise (° N)	
Dimensions de la paroi verticale	
Largeur en m	6,00
Hauteur en m	3,00
Surface en m ² (calcul)	18,00
Données sur débord ou casquette	
Profondeur en m	0,00
Données sur joue gauche	
Profondeur en m	0,00
Données sur joue droite	
Profondeur en m	0,00
Données sur la protection verticale de face	
masque continu	
Dimension verticale du brise soleil en face de la paroi verticale en m	3,00
Distance à la paroi verticale en m	0,08
Teinte du brise soleil	Bois
Taux de percement du brise soleil	0%



Résultat : $C_m = 0,38$
des masques lointains et urbains : 0%

E. CAS DES MASQUES VEGETAUX

Il est possible de protéger les façades des apports solaires par des végétaux. Cette protection est prise en compte selon les conditions suivantes :

◇ Masques architecturaux végétalisés :

Cela concerne les éléments architecturaux rapportés à la façade et jouant le rôle de masque solaire.

- Une note justificative permet de démontrer que la structure du masque sur laquelle la végétation est implantée permet effectivement un recouvrement de la végétation sur la surface totale du masque considéré. Cette note permettra de montrer notamment que la structure sur laquelle les végétaux sont accrochés est suffisamment resserrée au regard du volume végétal attendu.
- Pour le calcul du Cm, la végétalisation est considérée comme un écran dont le taux de percement est de 50% :
 - o Le taux de percement est renseigné dans l'outil de calcul pour le calcul du Cm.
 - o Si la végétation ne recouvre pas l'ensemble du masque architectural, alors le taux de percement affecté au masque intègre la partie non recouverte par la végétation :

$$\text{Taux percement corrigé} = \frac{\text{Surface végétation} \times 50\% + \text{Surface vide}}{\text{Surface masque}}$$

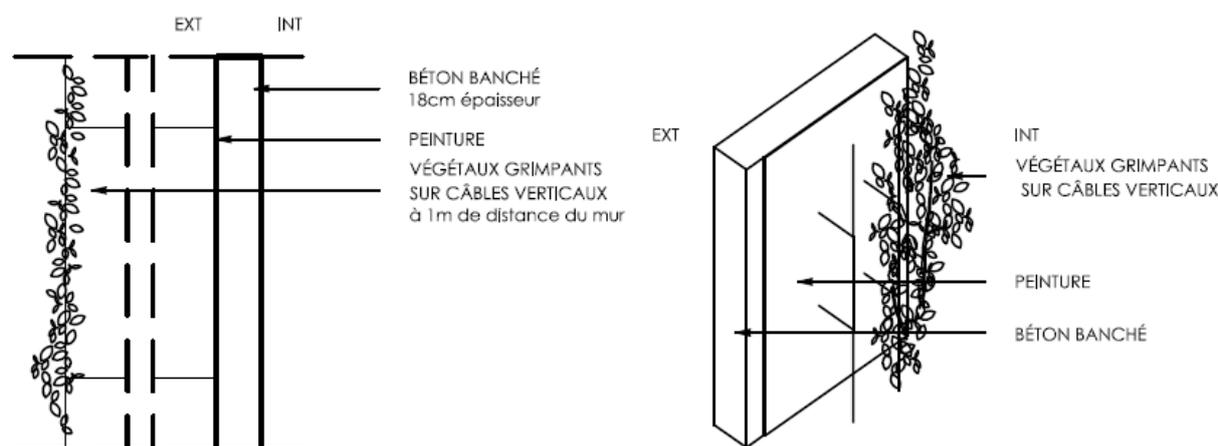
- o La teinte est considérée par défaut comme moyenne soit $\alpha = 0,6$
- La végétation doit être plantée dans des conditions favorables pour assurer sa pérennité dans le temps, soit, au choix :
 - o Les végétaux sont plantés dans un volume total de terre supérieur à 1m³ par sujet planté ;
 - o Les végétaux sont plantés en « pleine terre » ;
 - o Un système d'arrosage automatique est installé ;
- Lors de la visite de conformité, la protection solaire végétale doit être efficace.

◇ Murs végétalisés :

Cela concerne les cas dans lesquels les complexes végétalisés (végétaux + substrats) sont solidaires de la façade.

- Le complexe végétalisé est intégré au calcul de la résistance thermique de la façade ;
- Pour le calcul de la résistance thermique, la végétalisation est considérée comme un écran ajouré sans lame d'air dont le taux de percement est de 50% ;
- La végétation doit être plantée dans des conditions favorables pour assurer sa pérennité dans le temps ;
- Lors de la visite de conformité, la protection solaire végétale doit être efficace.

Exemple : Écran végétalisé par des câbles verticaux

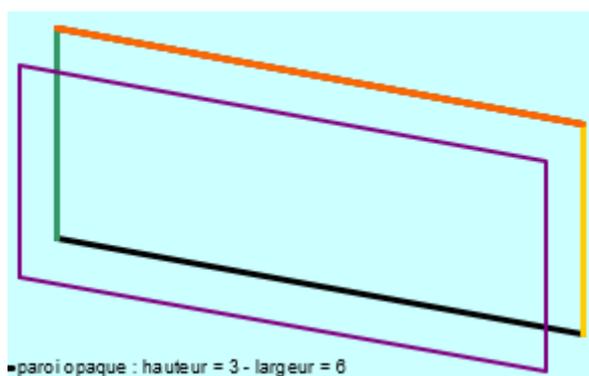


L'écran végétal est installé sur toute la surface de la façade étudiée

Les câbles verticaux sont installés tous les 60 cm le long de la façade, à 1 mètre de distance, et l'essence végétale est prévue pour avoir une envergure de 50 cm autour de chaque câble ce qui assure un recouvrement suffisant entre chaque câble et donc le fait d'avoir une couverture totale de la façade.

La façade est orientée SUD-OUEST.

Orientation de la paroi verticale	
Secteur d'Orientation	SUD-OUEST
OU Orientation précise (° N)	
Dimensions de la paroi verticale	
Largeur en m	6,00
Hauteur en m	3,00
Surface en m ² (calcul)	18,00
Données sur débord ou casquette	
Profondeur en m	0,00
Données sur joue gauche	
Profondeur en m	0,00
Données sur joue droite	
Profondeur en m	0,00
Données sur brise soleil de face	
	masque continu
Dimension verticale du brise soleil en face de la paroi verticale en m	3,00
Distance à la paroi verticale en m	1,00
Teinte du brise soleil	Moyenne
Taux de percement du brise soleil	50%



Résultat : Cm = 0,78

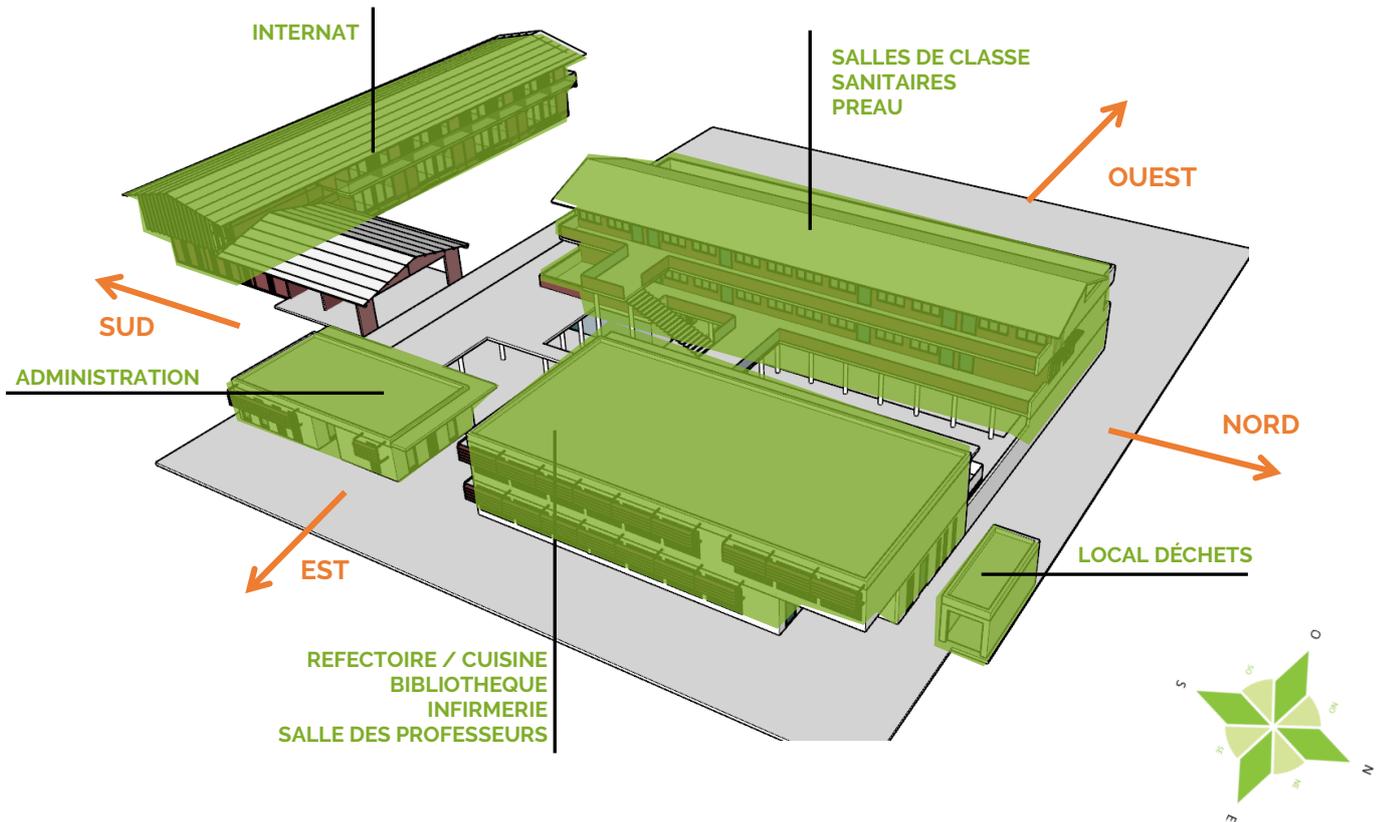
dont part due à l'effet des masques lointains et urbains : 0%

VII. ÉTUDE DE CAS

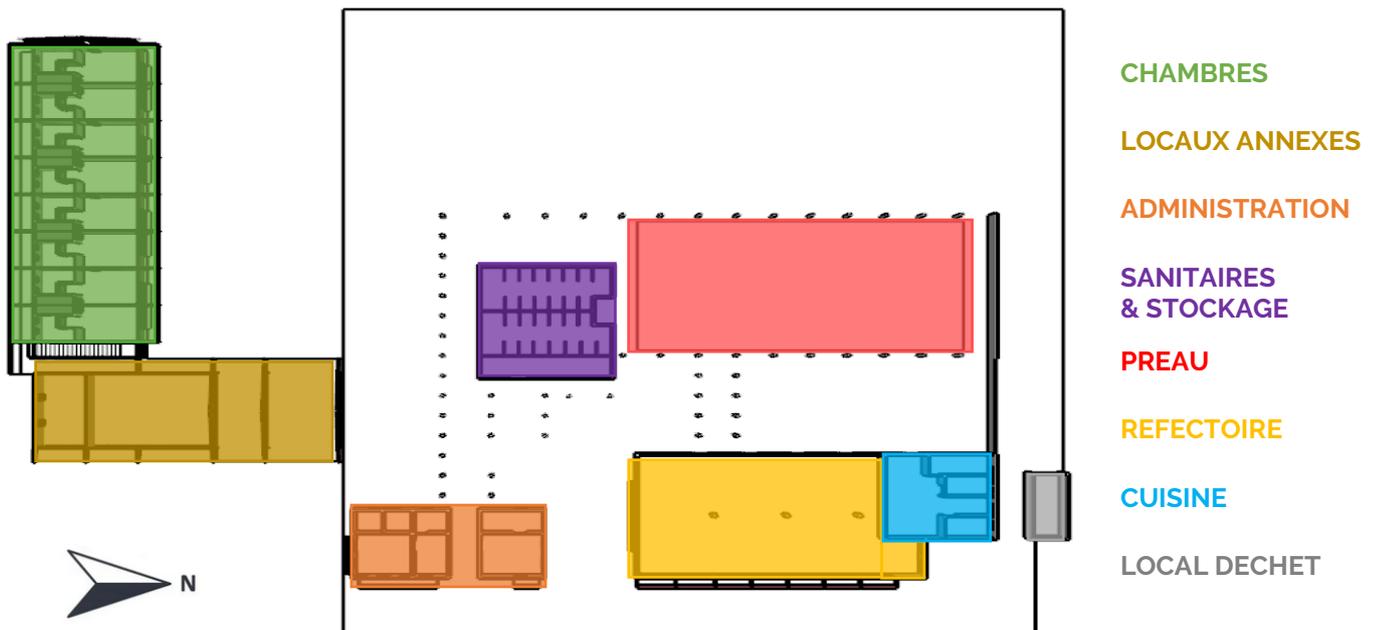
1. Bâtiment d'enseignement

A. PRESENTATION DU PROJET

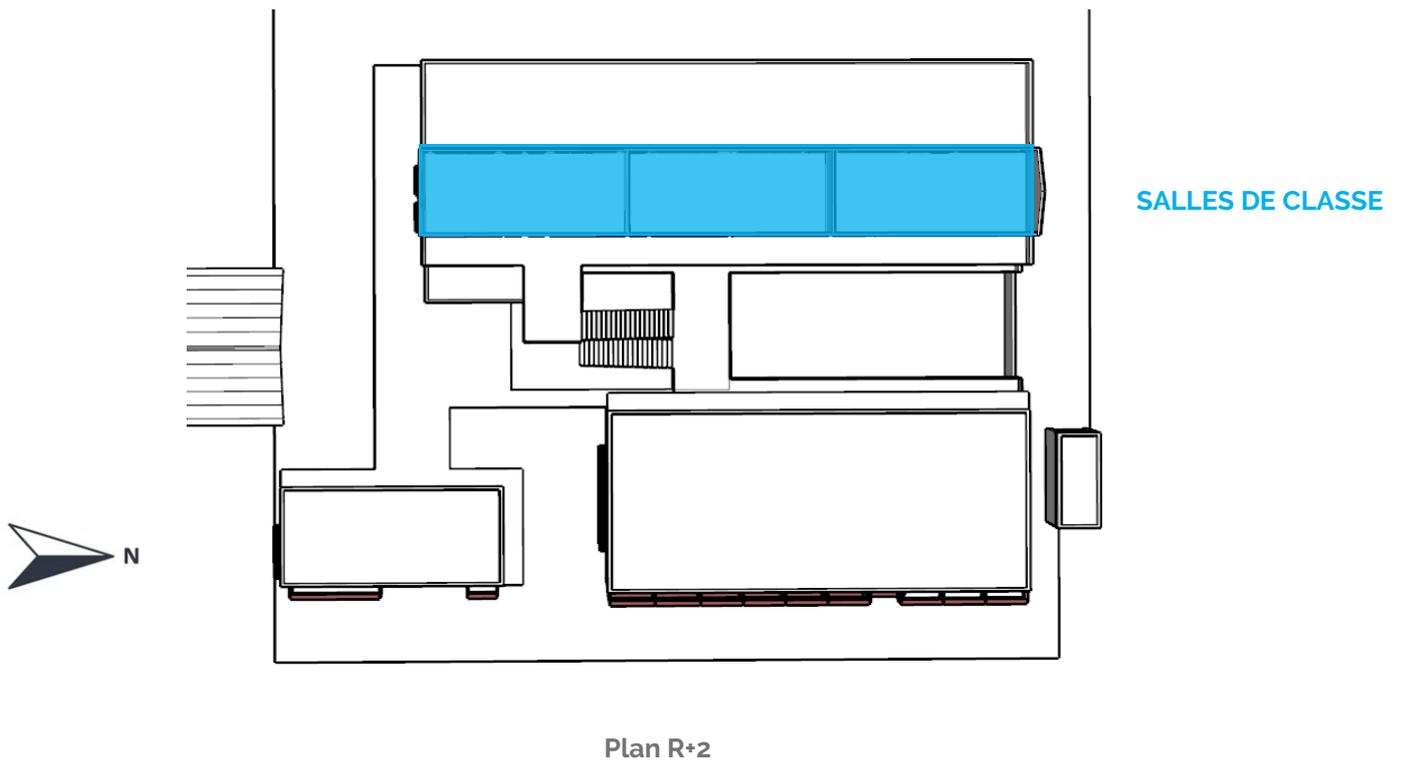
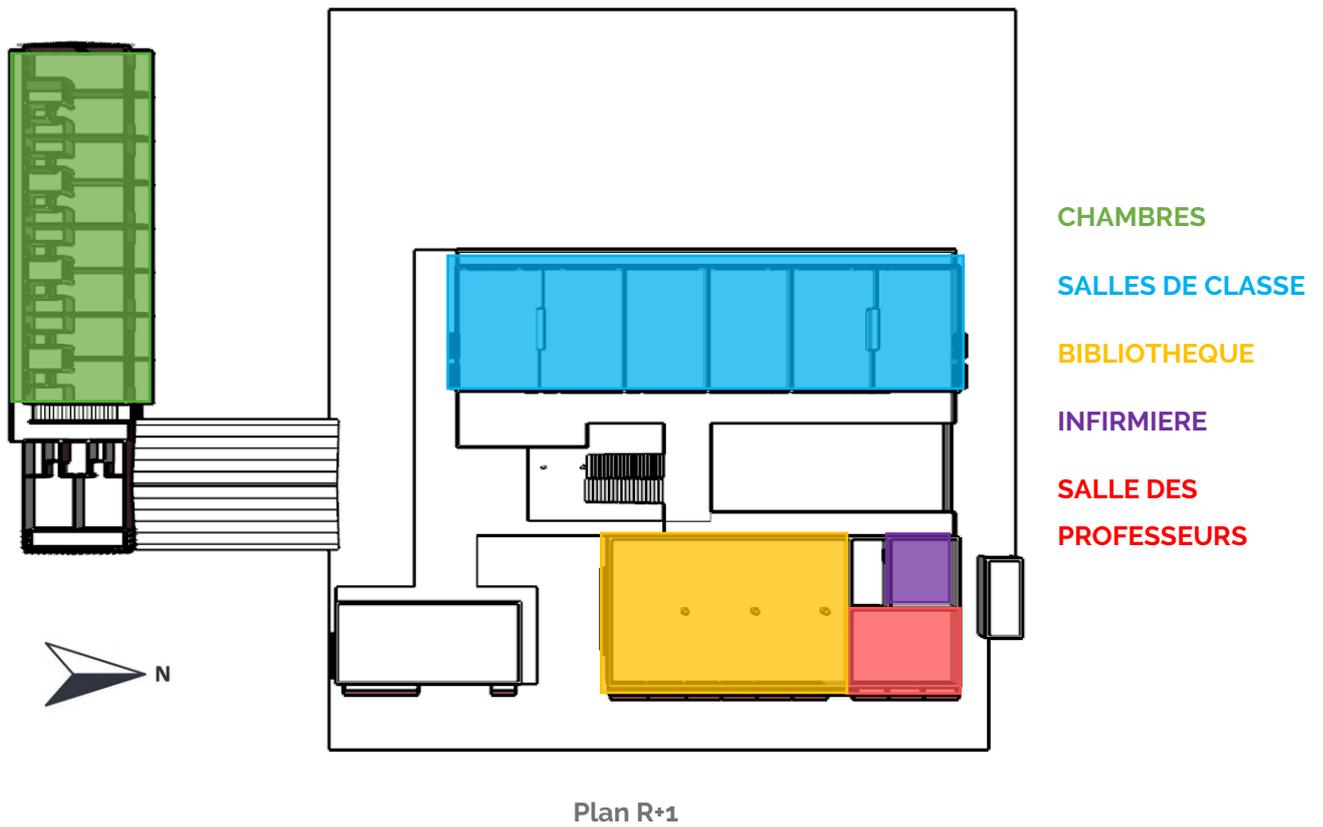
Le projet consiste en la construction d'une école de 9 salles de classe et d'un internat de 18 chambres. Il est situé à Tahiti, à une altitude inférieure à 500 m. Il n'y a pas de construction mitoyenne au projet.



Plan masse



Plan RDC



On distingue 5 bâtiments :

- Bâtiment 1 : Administration
- Bâtiment 2 : Réfectoire, cuisine, bibliothèque, infirmerie, salle des professeurs
- Bâtiment 3 : Salles de classe, sanitaires, stockage, préau
- Bâtiment 4 : Local à déchets
- Bâtiment 5 : Internat

Bâtiment	Activités / Destination	Niveau	Description
1	Bureaux administratifs	RDC	Bureaux, sanitaires du personnel, local de stockage climatisé
2	Cuisine	RDC	Cuisine
	Réfectoire	RDC	Réfectoire pour écoliers et personnel
	Bibliothèque	R+1	Lieu commun pour activités diverses d'étude et de lecture
	Infirmierie	R+1	Salle d'examen
	Salle des professeurs	R+1	Salle de travail
3	Préau	RDC	Espace couvert d'activité sportive
	Sanitaires	RDC	Sanitaires pour écoliers
	Stockage	RDC	Stockage entretien
	Salles de classe	R+1 & R+2	Salles d'enseignement
4	Local à déchets	RDC	Stockage
5	Salles d'activités	RDC	Salle de détente et cuisine commune
	Buanderie	RDC	Espace pour permettre aux occupants de laver leur linge
	Chambres	RDC & R+1	Hébergement des élèves

B. APPLICATION DE LA REGLEMENTATION

Les seuils de facteur solaire maximum (FSmax) sont déterminés en fonction de la typologie et de l'orientation des façades.

Les espaces soumis aux obligations relatives à la protection solaire des baies sont les suivants :

Bât.	Activités / Destination	Typologie	Seuils réglementaires : FSmax			
			Nord	Ouest	Est	Sud
1	Bureaux administratifs (direction, secrétariat et local gardien)	Bureaux	11%	11%	11%	12%
	Stockage climatisé	Bureaux	11%	11%	<i>Pas de mur ext.</i>	<i>Pas de mur ext.</i>
2	Cuisine	Enseignement	11%	11%	11%	<i>Pas de mur ext.</i>
	Réfectoire	Enseignement	11%	11%	11%	12%
	Bibliothèque	Enseignement	<i>Pas de mur ext.</i>	11%	11%	12%
	Salle des professeurs	Enseignement	11%	<i>Pas de mur ext.</i>	11%	<i>Pas de mur ext.</i>
	Infirmierie	Enseignement	11%	11%	<i>Pas de mur ext.</i>	<i>Pas de mur ext.</i>
3	Salles de classe	Enseignement	11%	11%	11%	12%
5	Salles d'activités (locaux annexes)	Logement collectif	11%	11%	11%	<i>Pas de mur ext.</i>
	Chambres	Logement collectif	11%	11%	11%	12%

C. METHODOLOGIE GENERALE

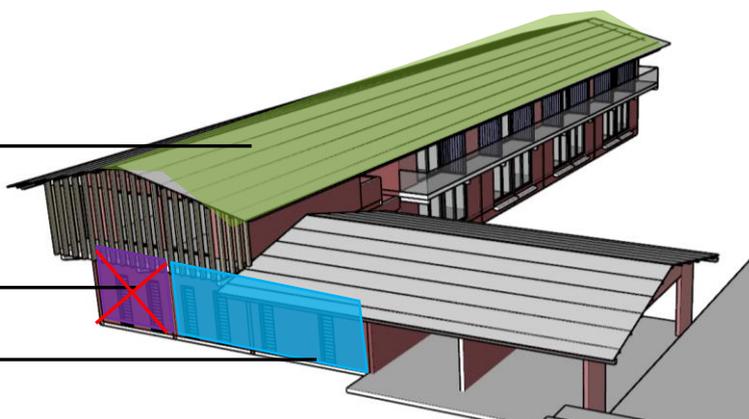
L'évaluation de la conformité réglementaire consiste en premier lieu à identifier les différentes configurations de façades et de protections solaires par orientation. En effet, certaines configurations sont redondantes ou triviales (conformes au guide des solutions techniques par exemple) permettant d'optimiser le nombre de calculs à réaliser sur le projet.

Bâtiment 5 - Internat :

CHAMBRES

BUANDERIE

SALLE D'ACTIVITES



Le bâtiment présente des façades de teinte moyenne (rouge sombre) réalisées en béton banché d'épaisseur 18 cm, sans aucun doublage à l'intérieur. Il contient essentiellement des locaux occupés, à l'exception de la buanderie, qui n'a donc pas d'objectif de facteur solaire particulier à atteindre. Les locaux dont les façades sont ouvertes sur plus de 50% d'une de leur surface sont assimilés à des locaux non clos et ne comportent pas d'exigences (ex : local à vélo).

FAÇADES NORD ET SUD

Les façades Nord et Sud sont intégralement protégées avec des casquettes horizontales au RDC et des débords de toiture protégeant le R+1. Ces casquettes font toutes des saillies supérieures à 55 cm (débord toujours supérieur à 140 cm), ce qui est automatiquement conforme pour une teinte moyenne dès lors que le mur présente une hauteur inférieure à 3 mètres et une longueur supérieure à 8 mètres, peu importe si la casquette est horizontale ou inclinée (cf. schéma et extrait de la partie **VIII Exemples de configurations conformes à la REBPF**).



Façade Ouest illustrant la protection solaire des façades Nord et Sud

Type de mur	Type de protection solaire	Teinte / Taille de la protection solaire				Schéma de principe
		Claire	Moy.	Sombre	Noire	
Béton armé banché 18 cm	Casquette de protection	-	N : 55 cm S : 35 cm E : 95 cm O : 90 cm	N : 115 cm S : 155 cm E : 225 cm O : 210 cm	N : 180 cm S : 650 cm E : 395 cm O : 350 cm	

Extrait du § VIII

Les façades Ouest et Est présentent plusieurs configurations qu'il convient d'analyser en détail.

FAÇADES OUEST

Du côté des espaces de vie on a un débord de toiture de 170 cm, donc largement supérieur aux 90 cm réglementaires. Du côté des chambres, le pignon est protégé par un bardage bois à claire-voie qu'il convient d'analyser avec l'outil Cm.

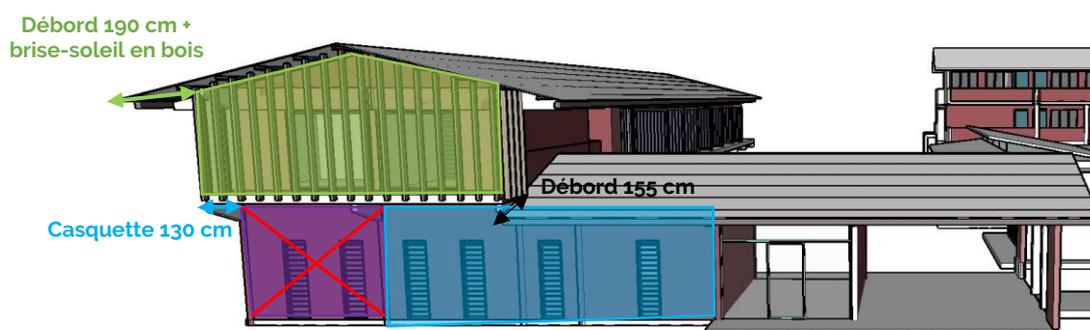


Façades Ouest

La modélisation du pignon Ouest est réalisée en entrant les caractéristiques du mur et du bardage dans l'outil Cm. Cette analyse est détaillée plus bas dans les études de cas.

FAÇADES EST

Les locaux à sommeil au R+1 sont protégés par un débord de toiture de 190 cm qui suffit largement pour une teinte moyenne des murs. Les brise-soleils verticaux en bois ne nécessitent pas de calcul en détail car le débord de toiture est suffisant pour la protection des murs au R+1.

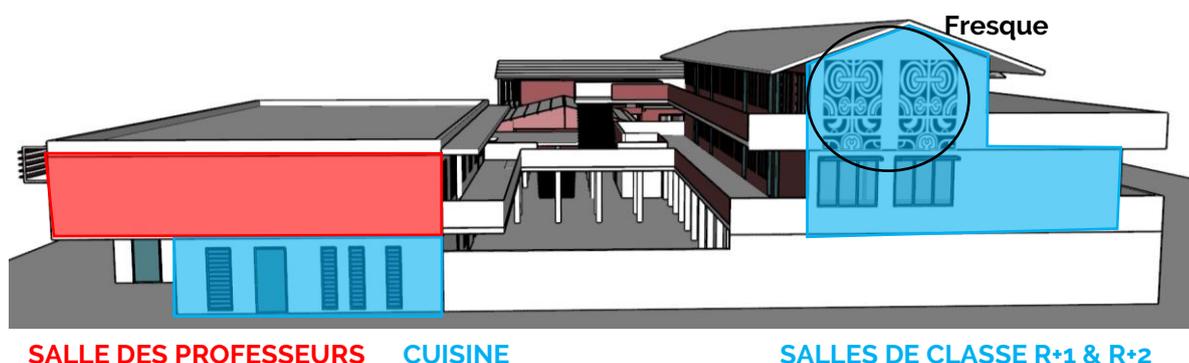


Façade Est

Les espaces de vie au RDC sont également couverts par des débords de toiture de respectivement 130 et 155 cm, donc supérieurs aux 95 cm qui suffisent à protéger la zone. Les locaux non clos et la buanderie ne nécessitent aucune protection solaire.

Bâtiments 1, 2 et 3

FAÇADES NORD

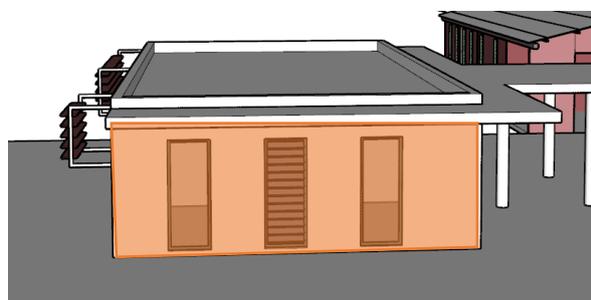


Façade « extérieure » Nord

La façade est intégralement réalisée en béton banché d'épaisseur 18 cm sans plaquage intérieur. Dans ces conditions et avec une peinture blanche (catégorie de teinte : « claire ») la façade est automatiquement conforme à la REBPF.

La surface de mur donnant sur la cour n'est évidemment pas concernée par la réglementation.

La fresque de couleur noire n'est pas comptabilisée dans la teinte de la façade car elle représente une surface inférieure à 30% de la zone sur laquelle elle a été réalisée.



LOCAL GARDIEN (façade extérieure)



SECRETARIAT (façade intérieure)

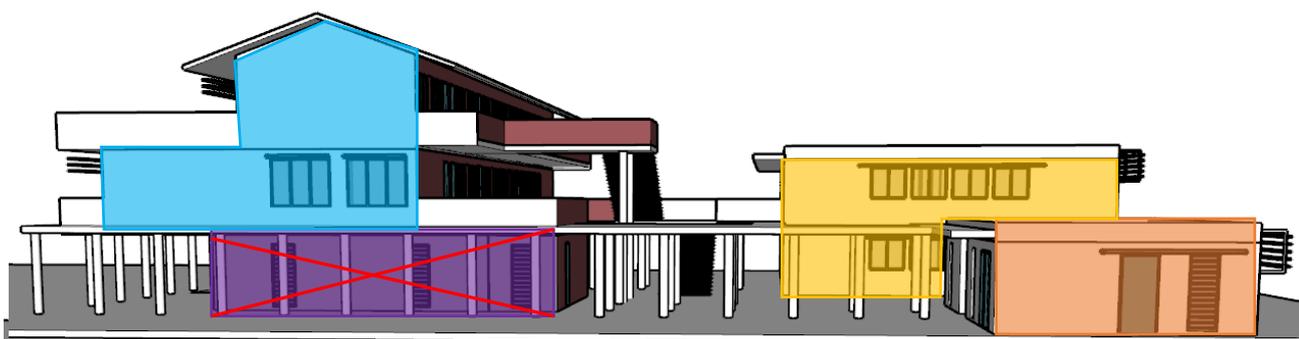
Façades Nord Administration

Le bâtiment administratif est, tout comme le reste de la façade Nord, réalisé en béton banché ép. 18 cm de teinte blanche. La protection solaire des murs est ainsi atteinte automatiquement.

Type de mur	Type de protection solaire	de	Teinte / Taille de la protection solaire				Schéma de principe
			Claire	Moy.	Sombre	Noire	
Béton armé banché 18 cm	Casquette de protection	de	-	N : 55 cm S : 35 cm E : 95 cm O : 90 cm	N : 115 cm S : 155 cm E : 225 cm O : 210 cm	N : 180 cm S : 650 cm solution non recommandée E : 395 cm O : 350 cm	

Extrait du § VIII

FACADES SUD



SALLES DE CLASSE SANITAIRES & STOCKAGE BIBLIOTHEQUE & REFACTOIRE ADMINISTRATION

Façade Sud des bâtiments 1, 2 et 3

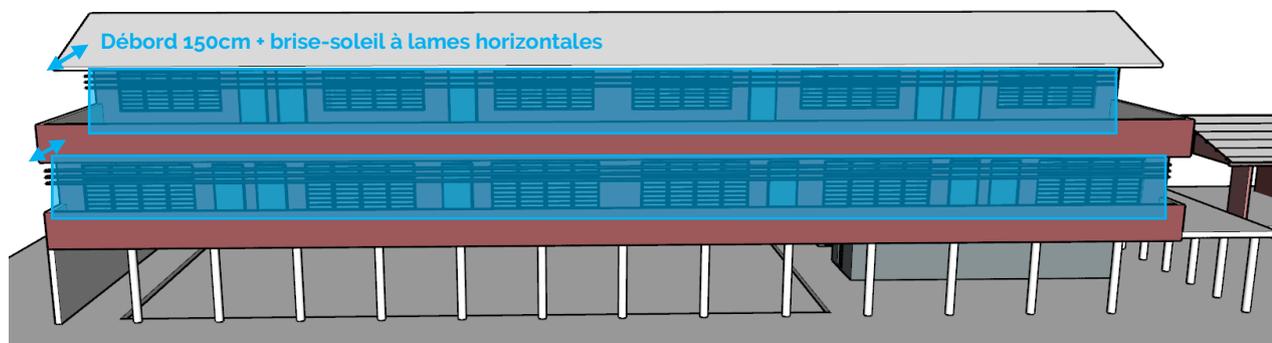
De même que pour la façade Nord, l'ensemble des façades blanches ne nécessitent aucune protection solaire supplémentaire pour du béton banché ép. 18 cm.

Les sanitaires de teinte sombre n'ont pas besoin de traitement particulier car non soumis à l'obligation de protection solaire.

FAÇADES OUEST (bâtiment n°3)

Les murs sont de teinte « moyenne » (rouge sombre) et protégés par un débord ou une casquette de 150 cm ainsi que des brise-soleils à lames horizontales. Avec une hauteur inférieure à 3 mètres, une longueur supérieure à 8 mètres et un débord supérieur à 90 cm, les R+1 et R+2 sont automatiquement conformes sans avoir à calculer l'impact des brise-soleils.

Le préau et les sanitaires ne sont pas concernés par l'obligation de protection solaire



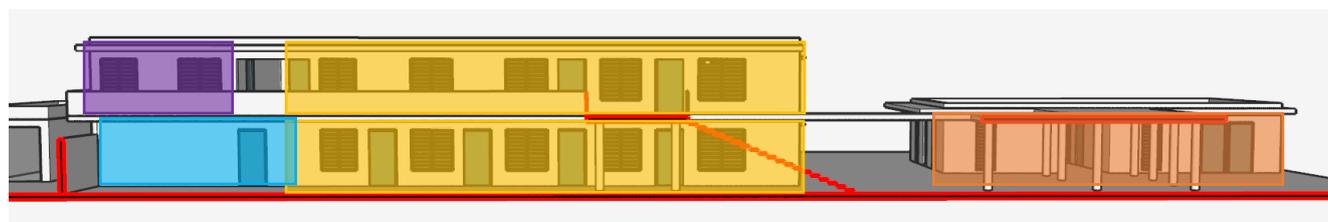
SALLES DE CLASSE R+1 et R+2

Façade Ouest

Type de mur	Type de protection solaire	Teinte / Taille de la protection solaire				Schéma de principe
		Claire	Moy.	Sombre	Noire	
Béton armé banché 18 cm	Casquette de protection	-	N : 55 cm S : 35 cm E : 95 cm O : 90 cm	N : 115 cm S : 155 cm E : 225 cm O : 210 cm	N : 180 cm S : 650 cm E : 395 cm O : 350 cm	

Extrait du § VIII

FAÇADES OUEST INTERIEURE (bâtiments 1 et 2)



INFIRMERIE CUISINE

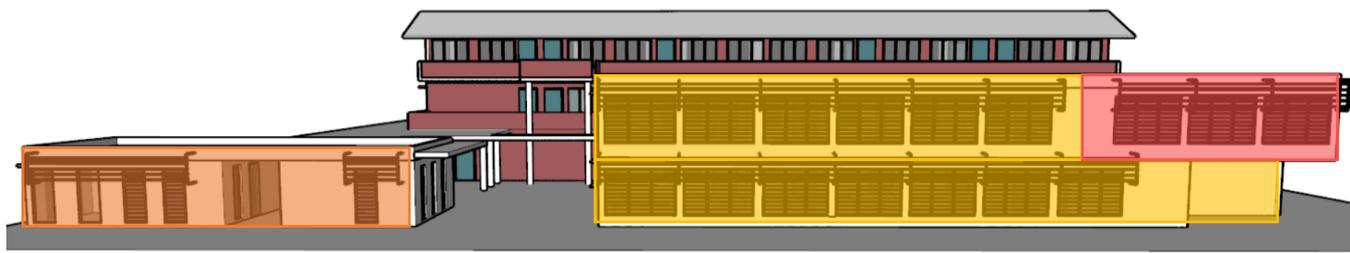
REFECTOIRE RDC / BIBLIOTHEQUE R+1

ADMINISTRATION

Façade « intérieure » Ouest

Ces façades orientées à l'Ouest ne posent aucun problème car elles sont également de teinte claire. Les casquettes filantes de 120 cm au niveau de l'administration, de l'infirmerie et de la bibliothèque et de 200 cm au-dessus de la cuisine et du réfectoire permettent d'améliorer la protection solaire des façades et d'atteindre un facteur solaire bien plus performant que le seuil réglementaire.

FAÇADES EST (bâtiments 1 et 2)



ADMINISTRATION

BIBLIOTHEQUE & REFECTOIRE

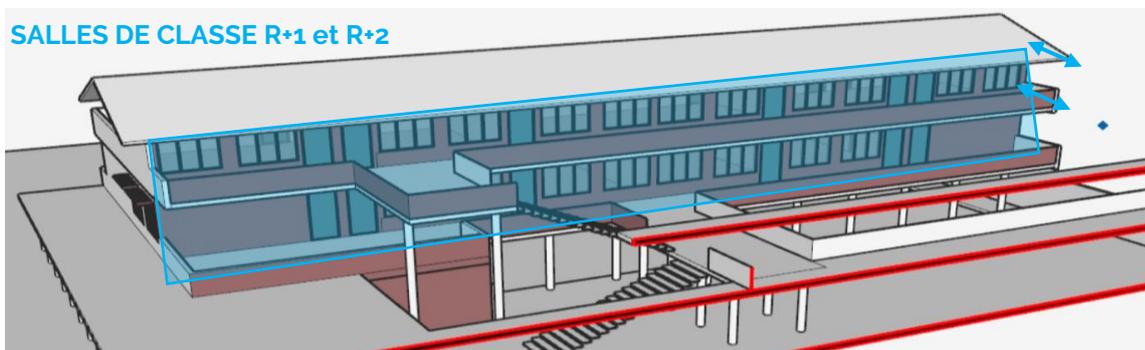
SALLE DES PROFESSEURS

Ces façades, en béton banché d'épaisseur 18cm, orientées à l'Est, sont de couleur claire et donc conformes à la réglementation.

Type de mur	Type de protection solaire	de	Teinte / Taille de la protection solaire				Schéma de principe
			Claire	Moy.	Sombre	Noire	
Béton armé banché 18 cm	Casquette de protection	de	-	N : 55 cm S : 35 cm E : 95 cm O : 90 cm	N : 115 cm S : 155 cm E : 225 cm O : 210 cm	N : 180 cm S : 650 cm E : 395 cm O : 350 cm	

Extrait du § VIII

FAÇADES EST INTERIEURE (bâtiment 3)



SALLES DE CLASSE R+1 et R+2

Façade « intérieure » Est

Les murs des salles de classe sont en béton banché d'épaisseur 18 cm, de teinte moyenne, protégés par un débord de 150 cm de profondeur en R+2 et de 200 cm minimum de profondeur au R+1. En effet, au R+1, la coursive s'élargit pour offrir une protection plus performante. L'évaluation de la configuration avec une casquette de 200 cm suffit pour valider l'ensemble du mur au R+1.

La profondeur de ces débords étant supérieure à 95 cm, pour des murs d'une hauteur inférieure à 3 mètres, suffit pour se conformer à la réglementation.

Type de mur	Type de protection solaire	de	Teinte / Taille de la protection solaire				Schéma de principe
			Claire	Moy.	Sombre	Noire	
Béton armé banché 18 cm	Casquette de protection	de	-	N : 55 cm S : 35 cm E : 95 cm O : 90 cm	N : 115 cm S : 155 cm E : 225 cm O : 210 cm	N : 180 cm S : 650 cm E : 395 cm O : 350 cm	

Extrait du § VIII

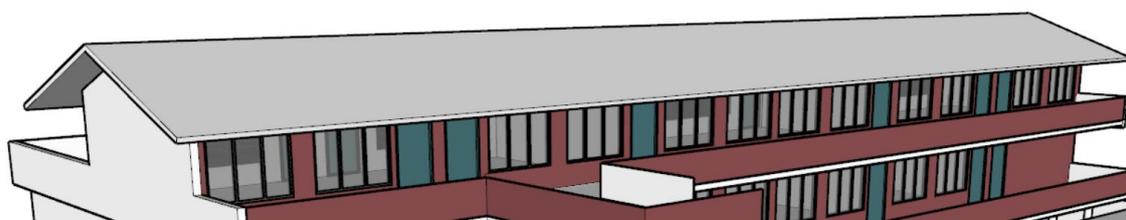
Le mur du local de stockage situé au RDC ne nécessite pas de calcul car il n'est pas soumis à l'obligation de protection solaire.

L'ensemble des configurations à calculer a été ainsi listé.

D. CALCUL DE CERTAINES CONFIGURATIONS

Ci-après, différentes configurations sont modélisées avant de présenter l'utilisation de l'outil de calcul Cm FS Mur. Pour rappel, une fiche dédiée à cet outil est disponible sur le site internet du service des énergies : fiche d'application n°5.

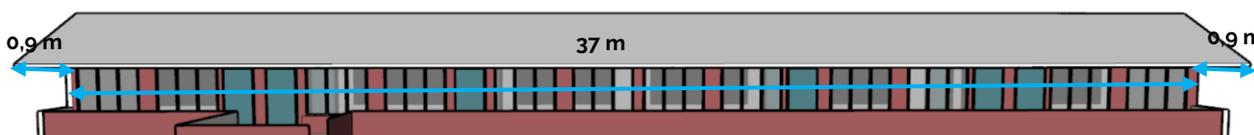
Mur en béton banché avec casquette de protection solaire continue



Façade Est - R+2 à l'arrière des salles de classe

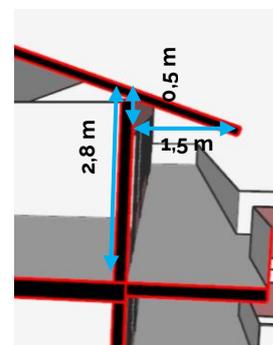
◇ Description du mur :

Orientation : Est - Longueur 37 m - Hauteur 2,8 m
 Béton banché d'épaisseur 18cm - Pas de plaquage intérieur
 Teinte rouge foncé « moyenne » selon l'échéancier REBPF



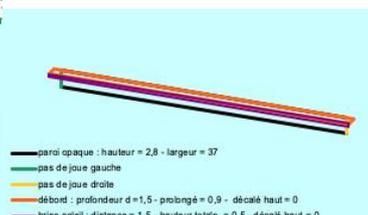
◇ Description de la casquette :

Débord de toiture de 150 cm avec une pente de 36% (modélisée comme une casquette horizontale de 150 cm de profondeur avec un retour vertical de 50 cm)
 Prolongement de 90 cm à droite et à gauche
 Teinte du masque continu (retour vertical de 50 cm) : « moyenne ». En effet, en présence d'un masque continu, l'outil de calcul considère que la teinte à prendre en compte est celle du masque et non celle de la paroi. Compte tenu de cette configuration, il faut donc indiquer que la teinte du masque est « moyenne » pour faire une modélisation réaliste.



◇ Calcul :

Orientation de la paroi verticale	
Secteur d'Orientation	EST
OU Orientation précise (° N)	
Dimensions de la paroi verticale	
Largeur en m	37,00
Hauteur en m	2,80
Surface en m² (calcul)	103,60
Données sur débord ou casquette	
Profondeur en m	1,50
Taux de percement en %	0,00%
Données sur joue gauche	
Profondeur en m	0,00
Données sur joue droite	
Profondeur en m	0,00
Données sur brise soleil de face	
masque continu	
Dimension verticale du brise soleil en face de la paroi verticale en m	0,50
Distance à la paroi verticale en m	1,50
Teinte du brise soleil	Moyenne
Taux de percement du brise soleil	0%

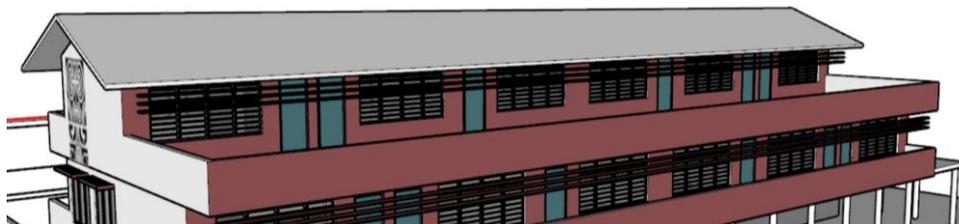


Résultat : Cm = 0,47

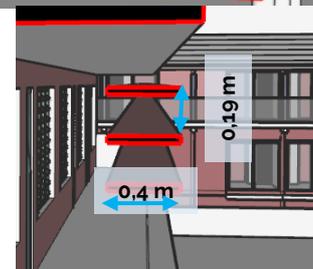
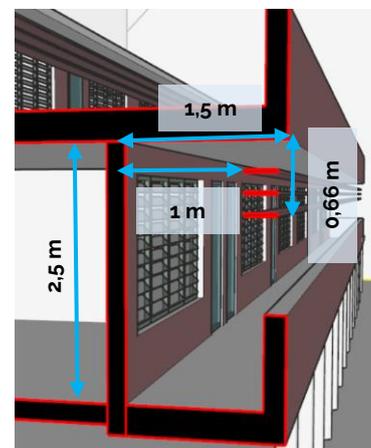
Type de paroi opaque verticale (mur) non isolée	Béton armé banché - ép.18cm
Ou saisie de la résistance thermique de la paroi (m².K/W)	
Teinte de la paroi	Moyenne
Ou saisie de la valeur du coefficient d'absorption α	
Résultat : FS MUR = 6,8%	

Le mur de façade Est des salles de classe R+2 est donc conforme à la réglementation (FS mur < 11%).

Mur en béton banché avec casquette de protection solaire + brise soleil



Façade Ouest - R+1 au niveau des salles de classe



◇ Description du mur :

Orientation : Ouest - Longueur 37 m - Hauteur 2,5 m
Béton banché d'épaisseur 18 cm - Pas de plaquage intérieur
Teinte rouge foncé « moyenne » selon l'échéancier REBPF

◇ Description de la casquette :

Casquette horizontale de 150 cm de profondeur en béton banché
Pas de prolongement sur les côtés

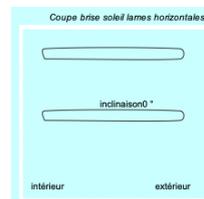
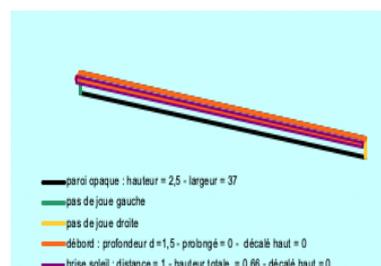
◇ Description du brise-soleil :

Brise-soleil à lames horizontales - Teinte : « moyenne ».
Épaisseur : 3 cm - Profondeur : 40 cm - Espacement : 19 cm
Hauteur totale : 66 cm - distance entre écran et paroi : 1 m

◇ Calcul :

Orientation de la paroi verticale	
Secteur d'Orientation	OUEST
OU Orientation précise (* N)	
Dimensions de la paroi verticale	
Largeur en m	37,00
Hauteur en m	2,50
Surface en m² (calcul)	92,50
Données sur débord ou casquette	
Profondeur en m	1,50
Taux de percement en %	0,00%

Données sur brise soleil de face		lames horizontales	
Dimension verticale du brise soleil en face de la paroi verticale en m		0,66	
Distance à la paroi verticale en m		1,00	
Teinte du brise soleil		Moyenne	
Taux de percement du brise soleil		0%	
Si brise soleil à lames horizontales			
Distance entre les lames en m (H)		0,19	
Inclinaison des lames en degré (α)		0,00	
Épaisseur hors tout du brise soleil en m (calcul)		0,40	
Profondeur de la lame en m (A)		0,40	
Épaisseur des lames en m		0,03	

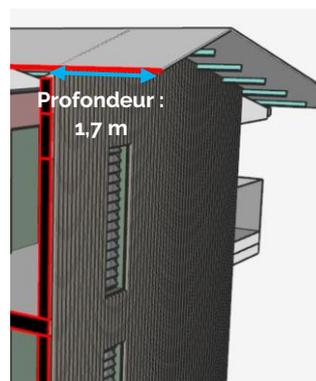
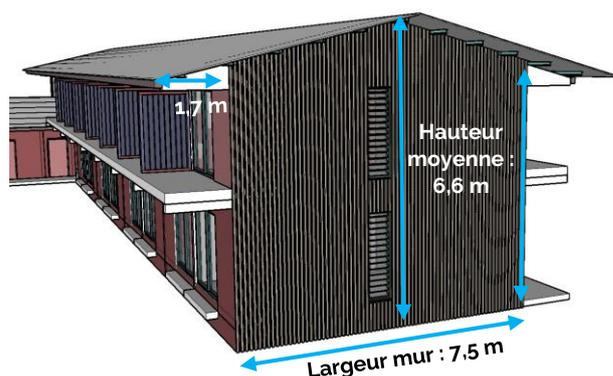


Résultat : Cm = 0,41

Type de paroi opaque verticale (mur) non isolée	Béton armé banché - ép.18cm
Ou saisie de la résistance thermique de la paroi (m².K/W)	
Teinte de la paroi	Moyenne
Ou saisie de la valeur du coefficient d'absorption α	
Résultat : FS MUR = 6,0%	
<i>dont part due à l'effet des masques lointains et urbains : 0%</i>	

Le mur de façade Ouest des salles de classe R+1 est donc conforme à la réglementation (FS mur < 11%).

Mur en béton banché avec protection en bardage à claire-voie



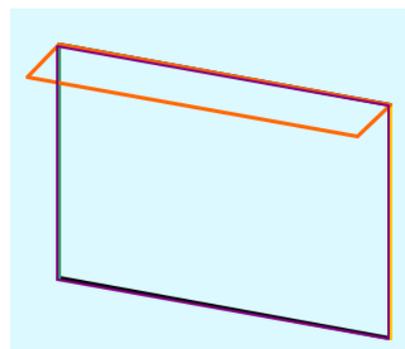
Pignon Ouest avec bardage bois vertical

Le bardage à claire-voie est constitué de lame de bois verticales de 5 cm de largeur espacées de 5 cm, créant un taux de percement de 50%. Il est posé sur des tasseaux d'une épaisseur de 5 cm.

Le bois n'étant pas peint, la teinte est celle associée au « bois ».

La hauteur de la paroi à modéliser correspond à la moyenne entre la hauteur de la rive et celle du faîtage, mesurées depuis le sol.

Orientation de la paroi verticale	
Secteur d'Orientation	OUEST
OU Orientation précise (° N)	
Dimensions de la paroi verticale	
Largeur en m	7,50
Hauteur en m	6,60
Surface en m² (calcul)	49,50
Données sur débord ou casquette	
Profondeur en m	1,70
Taux de percement en %	0,00%
Données sur joue gauche	
Profondeur en m	0,00
Données sur joue droite	
Profondeur en m	0,00
Données sur la protection verticale de face	
	masque continu
Dimension verticale du brise soleil en face de la paroi verticale en m	6,60
Distance à la paroi verticale en m	0,05
Teinte du brise soleil	Bois
Taux de percement du brise soleil	50%



Résultat : Cm = 0,52
part due à l'effet des masques lointains et urbains : 0%

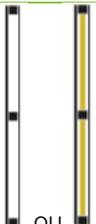
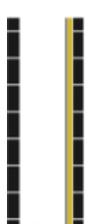
Remarque : bien que la casquette comporte un prolongement de 1,7 mètres à gauche et à droite, celui-ci n'est pas intégré à la modélisation car il entraînerait le prolongement du bardage à claire-voie, ne correspondant pas à l'architecture retenue. Ainsi, dans les faits, la protection solaire est meilleure que le résultat indiqué ci-dessus.

Type de paroi opaque verticale (mur) non isolée	Béton armé banché - ép.18cm
OU saisie de la résistance thermique de la paroi (m².K/W)	
Teinte de la paroi	Moyenne
OU saisie de la valeur du coefficient d'absorption a	Rouge so
Résultat : FS MUR = 8,1%	
dont part due à l'effet des masques lointains et urbains : 0%	

Le pignon Ouest est conforme à la réglementation (FS mur < 11%).

VIII. EXEMPLES DE CONFIGURATIONS CONFORMES A LA REBPF

1. Parois verticales sans masques architecturaux

Type de mur	Type d'isolant et de protection solaire	Teinte / Epaisseur d'isolant				Schéma de principe
		Claire	Moy.	Sombre	Noire	
Béton armé banché 18 cm	Tout type d'isolant ($\lambda \leq 0,06$) + Lame d'air (≥ 5 mm d'épaisseur) + Doublage en plaque de plâtre (BA13 minimum)	-	Besoin d'un plaquage mais pas besoin d'isolant	N, E, O, N-E, N-O : 0,5 cm S, S-E, S-O : Pas d'isolant	N, E, O, N-E, N-O : 1 cm S, S-E, S-O : 0,5 cm	 ou
	Bardage bois non peint et non-ventilé y compris lame d'air « non ventilée » ≥ 20 mm d'épaisseur conforme au DTU.	-	-	-	N, E, O, N-E, N-O : 1 cm S, S-E, S-O : 0,5 cm	
Ossature bois double peau légère	Laine minérale	(y compris pour teinte « bois »)	-	0,5 cm	1 cm	 ou
Béton aggloméré (parpaing 15cm) + Enduit ciment 2 faces	Tout type d'isolant ($\lambda \leq 0,06$) + Lame d'air (≥ 20 mm d'épaisseur) + Doublage en plaque de plâtre (BA13 minimum)	-	-	Besoin d'un plaquage mais pas besoin d'isolant	N, E, O, N-E, N-O : 1 cm S, S-E, S-O : Pas d'isolant	 ou
Béton cellulaire (Siporex 15cm)	Pas d'isolant	-	-	-	-	

Le tiret (-) signifie qu'il n'y a pas d'isolation nécessaire ni de doublage intérieur.

2. Parois verticales opaques avec protection solaire horizontale

Les solutions suivantes sont présentées pour **un mur de façade de 3 mètres de hauteur pour 8 mètres de largeur**.

Les casquettes de protection solaire sont situées directement au-dessus des murs. Sauf indication contraire, il est pris en compte une prolongation de 10 cm de part et d'autre de la casquette.

Type de mur	Type de protection solaire	Teinte / Taille de la protection solaire				Schéma de principe
		Claire	Moy.	Sombre	Noire	
Béton armé banché 18 cm	Casquette de protection	-	N : 55 cm S : 35 cm E : 95 cm O : 90 cm	N : 115 cm S : 155 cm E : 225 cm O : 210 cm	N : 180 cm <i>solution non recommandées :</i> S : 650 cm E : 395 cm O : 350 cm	
Béton aggloméré (parpaing 15cm) + Enduit ciment 2 faces	Casquette de protection	-		N : 55 cm S : 40 cm E : 100 cm O : 90 cm	N : 100 cm S : 120 cm E : 195 cm O : 180 cm	

3. Parois verticales opaques protégées par écrans verticaux

Type de mur	Type de protection solaire	Teinte / Taille de la protection solaire				Schéma de principe
		Claire	Moy.	Sombre	Noire	
Béton armé banché 18 cm	Bardage ventilé (ex : bois, PVC, fibrociment...)			-		
	Végétalisation par plantes grimpantes sur câbles			-		