



6.2.2

QUESTIONS
TECHNIQUES



Détermination des épaisseurs

MÉTHODE DE LA NORME

La norme NF DTU 39 P4 de juillet 2012 concerne les vitrages de dimensions maximales de 6 x 3,21 m situés dans des bâtiments de moins de 100 m de hauteur et à une altitude inférieure à 2 000 m. Les pressions conventionnelles à retenir et les formules correspondantes pour le calcul de leur épaisseur.

CHARGES DE VENT

Les charges de vent présentées ci-dessous sont obtenues par simplification de la méthode de l'eurocode 1 (NF EN 1991-1-4) et de son annexe nationale. Les hypothèses de simplification sont précisées dans le 5.1.4 de la NF DTU 39 P4.

Éléments à prendre en compte

Pour déterminer la pression conventionnelle due à l'action du vent, on distingue :

1. La zone où se trouve la construction

- Pour la France métropolitaine, quatre zones sont à prendre en compte suivant la carte page 471,
- s'agissant des Départements d'Outre-Mer, chaque département constitue sa propre zone de vent. Les départements sont : Guadeloupe, Guyane, Martinique, La Réunion et Mayotte.

2. La catégorie de terrain

On distingue cinq catégories de terrain :

- IV : zones urbaines dont au moins 15 % de la surface est recouverte de bâtiments dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m, forêts,
- IIIb : zones urbanisées ou industrielles, bocages denses, vergers,
- IIIa : campagnes avec des haies, vignobles,

bocages, habitats dispersés,

- II : rase campagne avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments, etc.) séparés les uns des autres de plus de 40 fois leur hauteur,
- O : 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.

Dans le cas du littoral

méditerranéen, hors Corse, les vitrages dont la situation correspond à la catégorie O sont considérés comme en catégorie de terrain II, vis-à-vis des effets du vent.

La catégorie de terrain à prendre en compte est définie dans une zone de rayon R, dépendant de la hauteur du Bâtiment. La valeur de R est donnée dans le tableau ci-dessous.

Hauteur H du bâtiment	H ≤ 9 m	9 < H ≤ 18 m	18 < H ≤ 28 m	28 < H ≤ 50 m	50 < H ≤ 100 m
Rayon R	R = 320 m	R = 750 m	R = 1 250 m	R = 2 500 m	R = 5 800 m

Dans le cas où la zone comporte plusieurs catégories de terrain, la plus défavorable sera retenue.

Dans le cas d'une zone montagneuse, à plus de 900 m d'altitude, et à défaut de précision dans les DPM, les vitrages sont considérés comme en catégorie de terrain II.

À défaut d'une connaissance précise du contexte urbain, en dehors du centre des grandes villes, on choisira la situation « IIIb ».

3. Hauteur H du bâtiment

C'est la hauteur H du bâtiment au dessus du sol qui détermine la pression du vent pour tous les vitrages extérieurs de ce bâtiment.

On distingue cinq classes de hauteur de bâtiment :

- H ≤ 9 m,
- 9 < H ≤ 18 m,
- 18 < H ≤ 28 m,
- 28 < H ≤ 50 m,
- 50 < H ≤ 100 m.

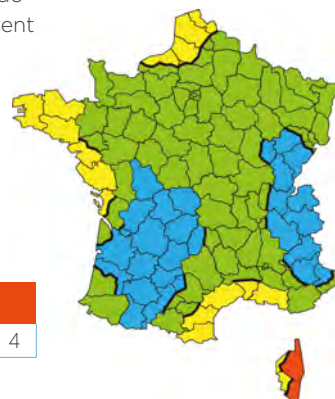
La pression de vent à considérer dans le cas des bâtiments de plus de 100 m de hauteur doit être précisée dans le DPM.

Pour Mayotte, à défaut de précision, on considérera les pressions de vent de La Réunion.

VITRAGES SITUÉS EN INTÉRIEUR

Dans le cas de vitrages situés à l'intérieur des locaux (cloisons intérieures par exemple), on retiendra une pression conventionnelle de 600 Pa quelles que soient la hauteur et la région du bâtiment.

Poids propre du vitrage : $P_p = 25 \times e_p$



Charges de vent en France, 4 zones.

Région	1	2	3	4

Pressions conventionnelles - France métropolitaine

	Catégorie de terrain	Hauteur du bâtiment				
		$H \leq 9 \text{ m}$	$9 < H \leq 18 \text{ m}$	$18 < H \leq 28 \text{ m}$	$28 < H \leq 50 \text{ m}$	$50 < H \leq 100 \text{ m}$
Région 1	IV	850	950	1150	1400	1800
	IIIb	900	1200	1400	1700	2050
	IIIa	1200	1500	1700	2000	2350
	II	1500	1800	2050	2300	2650
	O	1900	2150	2350	2600	2900
Région 2	IV	1050	1100	1350	1700	2100
	IIIb	1050	1400	1650	2000	2450
	IIIa	1400	1750	2000	2350	2800
	II	1800	2150	2400	2750	3150
	O	2250	2600	2800	3100	3500
Région 3	IV	1200	1300	1600	2000	2500
	IIIb	1250	1650	1950	2350	2900
	IIIa	1650	2050	2350	2800	3300
	II	2100	2550	2850	3200	3700
	O	2650	3050	3300	3650	4100
Région 4	IV	1400	1500	1850	2300	2900
	IIIb	1450	1950	2250	2750	3350
	IIIa	1900	2400	2750	3200	3850
	II	2450	2950	3300	3750	4300
	O	3050	3500	3800	4200	4750

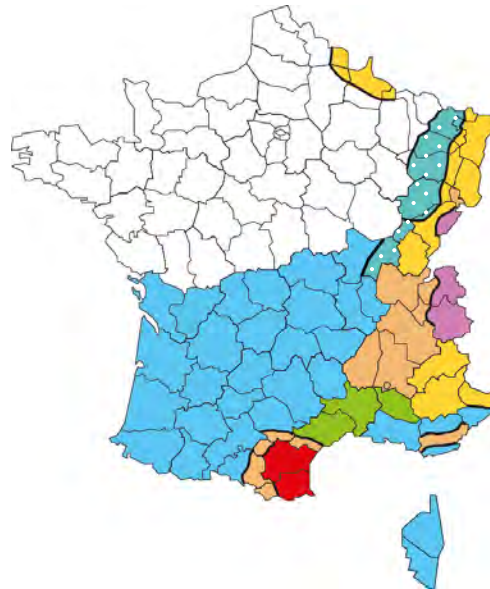
Pressions conventionnelles - Départements d'Outre-Mer

	Catégorie de terrain	Hauteur du bâtiment				
		$H \leq 9 \text{ m}$	$9 < H \leq 18 \text{ m}$	$18 < H \leq 28 \text{ m}$	$28 < H \leq 50 \text{ m}$	$50 < H \leq 100 \text{ m}$
Guadeloupe	IV	2300	2500	3050	3800	4800
	IIIb	2400	3200	3750	4550	5550
	IIIa	3150	4000	4550	5300	6350
	II	4050	4900	5400	6200	7150
	O	5050	5800	6300	6950	7800
Guyane	IV	500	550	700	850	1050
	IIIb	550	700	850	1000	1250
	IIIa	700	900	1000	1200	1400
	II	900	1100	1200	1400	1600
	O	1150	1300	1400	1550	1750
Martinique	IV	1800	2000	2400	3000	3800
	IIIb	1900	2550	2950	3600	4400
	IIIa	2500	3150	3600	4200	5000
	II	3200	3850	4300	4900	5650
	O	4000	4600	5000	5500	6200
Réunion	IV	2050	2250	2700	3400	4250
	IIIb	2150	2850	3350	4050	4950
	IIIa	2800	3550	4050	4750	5650
	II	3650	4350	4850	5500	6350
	O	4550	5200	5600	6200	6950

CHARGES DE NEIGE

Les charges de neige présentées ci-dessous sont obtenues par simplification de la méthode de l'eurocode 1 (NF EN 1991-1-3/NA) et de son annexe nationale. Cette charge est à considérer lorsque l'inclinaison du vitrage est inférieure à 60° par rapport à la verticale.

Les charges de neige sont données en fonction de la région. 8 régions sont à prendre en compte suivant la carte ci-contre.



2 types de charges sont à considérer :

La charge de neige normale S_k , majorée lorsque l'altitude est supérieure à 200 mètres suivant le tableau 2 et la charge de neige exceptionnelle S_{Ad} quelle que soit l'altitude. Lorsque l'altitude de la construction est supérieure à 2 000 mètres, la charge de neige au sol doit être précisée dans les DPM.

Un coefficient de pondération μ est à appliquer en fonction de la forme de la toiture et de l'éventuel risque de chute de neige d'une toiture supérieure (voir NF DTU 39 P4, coefficient μ , Tableau 6 : « Coefficient de forme de toiture »).

La charge de neige sur la toiture est alors calculée selon 2 cas :

1. Charge de neige normale : $S1 = (S_k + \Delta S) \times \mu \times C_e \times C_t$
2. Charge de neige exceptionnelle : $S2 = S_{Ad} \times \mu \times C_e \times C_t$

Région	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E
--------	----	----	----	----	----	----	---	---

Tableau 1

	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E
Charge de neige normale S_k au sol à une altitude $A \leq 200$ m	450	450	550	550	650	650	900	1400
Majoration de la charge pour une altitude supérieure à 200 m		$\Delta S1$						$\Delta S2$
Charge de neige exceptionnelle S_{Ad} au sol (quelle que soit l'altitude)		1000	1000	1350	-	-1350	1800	-

Tableau 2: majoration ΔS de S_k en fonction de l'altitude A en (Pa)

Altitude A	$\Delta S1$	$\Delta S2$
$200 \text{ m} < A \leq 500 \text{ m}$	$A - 200$	$1,5 \times A - 300$
$500 \text{ m} < A \leq 1000 \text{ m}$	$1,5 \times A - 450$	$3,5 \times A - 1300$
$1000 \text{ m} < A \leq 2000 \text{ m}$	$3,5 \times A - 2450$	$7 \times A - 4800$

Les coefficients C_e et C_t , sauf indication précisée dans les DPM, sont considérés égaux à 1.

CAS PARTICULIER D'UNE CHARGE DE NEIGE DUE AUX RISQUES D'AVALANCHE

Cette pression spécifique doit être définie dans les DPM ; elle est couramment de 5 000, 10 000 ou 30 000 Pa et doit être appliquée aux vitrages verticaux ou inclinés.

COMBINAISONS DE CHARGES

Voir tableau ci-contre. Pour les vitrages inclinés, la détermination des épaisseurs sera effectuée avec la combinaison de charge la plus défavorable :

P_{Vent} → Pression du vent,
 P_{av} → Charge due à une avalanche,
 P_p → Charge due au poids propre,
 P4 et P5 : pour les vitrages en intérieur.

$\alpha > 60^\circ$	P_{Vent}			P_{AV}			
$\alpha \leq 60^\circ$	P_{Vent}	$P2 = 3,75 (S1 + P_p)$	$P3 = 2,2 (S2 + P_p)$	$P4 = 4,7 \times P_p$	$P5 = P_{Vent} + P_p$	$P6 = P_{Vent} - P_p$	$P7 = 2,5 (P_{AV} + P_p)$

CALCUL DE L'ÉPAISSEUR DES VITRAGES

La pression de calcul définie précédemment est utilisée dans les formules ci-après pour déterminer une épaisseur « e_i ».

Un facteur de réduction c = 0,9 est à appliquer pour tous les vitrages extérieurs en rez-de-chaussée, et dont la partie supérieure est à moins de 6 m du sol extérieur.

Vitrage non rectangulaire en appui sur toute sa périphérie : il est assimilé à un vitrage rectangulaire.

Le maintien ponctuel consiste en une platine de fixation rigide, généralement vissée dans un montant. Il permet de réduire la flèche du bord libre et donc de diminuer les épaisseurs du vitrage. Le maintien ponctuel doit être assuré sans serrage du produit verrier. L'interposition d'une entretoise permet de limiter le serrage.

Vitrages bord à bord
 On utilise les formules de calcul des vitrages pris en feuillure sur 3 côtés ou 2 côtés opposés.

Vitrages bombés
 L'épaisseur du vitrage bombé est calculée comme celle d'un vitrage plan de surface égale à la surface développée.

Vitrage pris en feuillure sur 4 côtés	
Si: L/l ≤ 2,5	Si: L/l > 2,5
$\sqrt{\frac{S_x P}{100}}$	$\frac{l_x \sqrt{P}}{6,3}$

Vitrage pris en feuillure sur 3 côtés		
Le bord libre est le petit côté l	Le bord libre est le grand côté L	
$\frac{l_x \sqrt{P}}{6,3}$	Si: L/l ≤ 7,5	Si: L/l > 7,5
	$\sqrt{\frac{L_x 3 l_x P}{100}}$	$\frac{3 \times l_x \sqrt{P}}{6,3}$

Vitrage pris en feuillure sur 2 côtés opposés	
$\frac{l_x \sqrt{P}}{6,3}$	
Dans ce cas, « l » désigne la longueur des bords libres même si cette longueur est le grand côté	

Vitrage pris en feuillure sur 2 côtés opposés avec maintien(s) ponctuel(s) sur les hauteurs		
Maintiens ponctuels distants entre eux de 300 mm ou moins	Un maintien ponctuel au milieu du bord libre	Deux maintiens ponctuels équidistants
Les vitrages sont calculés comme en appui sur 4 côtés	$\frac{l_x \sqrt{P}}{6,3} \times 0,625$	$\frac{l_x \sqrt{P}}{6,3} \times 0,588$
	Dans ces 2 cas, « l » désigne la longueur des bords libres même si cette longueur est le grand côté	

Lorsque le(s) bord(s) libre(s) est(sont) les bords cintrés, une étude de conception et de dimensionnement spécifique doit être réalisée.

FACTEURS D'ÉQUIVALENCE
 Les facteurs d'équivalence ϵ_1 et ϵ_2 tiennent compte de l'assemblage entre composants. Le facteur d'équivalence ϵ_3 tient compte de la nature des composants.

VÉRIFICATION DE LA RÉSISTANCE
 e_r est l'épaisseur équivalente pour le calcul de résistance. La résistance d'un vitrage dépend de son épaisseur et de sa nature (recuit, trempé, imprimé, etc.). Dans le cas d'un assemblage associant des composants de nature différente, seule la valeur maximale des coefficients ϵ_3 , MAX (ϵ_3), est à prendre en compte.

Lorsque l'épaisseur e_r est inférieure à l'épaisseur nominale du composant le plus épais, e_r est pris égal à l'épaisseur de ce seul composant.
 Il faut vérifier que :
 $e_r \geq e1 \times c$

Vitrage simple monolithique

L'épaisseur e_R est égale à son épaisseur nominale divisée par ϵ_3 .

$$e_R = \frac{e}{\epsilon_3}$$

Vitrage simple feuilleté

L'épaisseur e_R est égale à la somme des épaisseurs

nominales des composants monolithiques, divisée par la valeur maximale des coefficients ϵ_3 et par le coefficient ϵ_2

correspondant au type de vitrage feuilleté.

$$e_R = \frac{e_1 + e_j + \dots + e_n}{0,9 \times \epsilon_2 \times \text{MAX}(\epsilon_3)}$$

Vitrages isolants

Type de vitrage		ϵ_1
Vitrage isolant NF EN 1279	Comportant deux produits verriers (double vitrage)	1,6
	Comportant trois produits verriers (triple vitrage)	2,0

Vitrages feuilletés

Type de vitrage		ϵ_2
Vitrage feuilleté de sécurité NF EN ISO 12543-2	Deux composants verriers	1,3
	Trois composants verriers	1,5
	Quatre composants verriers et plus	1,6
Vitrage feuilleté NF EN ISO 12543-3	Deux composants verriers	1,6
	Trois composants verriers et plus	2,0

Vitrage isolant

L'épaisseur e_R est égale à la somme des épaisseurs nominales des composants, soit monolithiques, soit feuilletés, divisée par ϵ_2 , le tout divisé par le produit du coefficient ϵ_1 et de $\text{MAX}(\epsilon_3)$.

Calcul de e_R pour un vitrage isolant double avec deux composants monolithiques :

$$e_R = \frac{e_i + e_j}{0,9 \times \epsilon_1 \times \text{MAX}(\epsilon_3)}$$

Calcul de e_R pour un vitrage isolant double avec un composant feuilleté :

$$e_R = \frac{e_i + \frac{e_j + e_k}{0,9 \times \epsilon_2}}{0,9 \times \epsilon_1 \times \text{MAX}(\epsilon_3)}$$

Calcul de e_R pour un vitrage isolant double avec deux composants feuilletés :

$$e_R = \frac{e_i + \frac{e_j + e_k}{0,9 \times \epsilon_2} + \frac{e_l + e_m}{0,9 \times \epsilon_2}}{0,9 \times \epsilon_1 \times \text{MAX}(\epsilon_3)}$$

Vitrages simples monolithiques

Type de vitrage	ϵ_3	Type de vitrage	ϵ_3
Vitrage recuit NF EN 572-2	1	Vitrage recuit armé NF EN 572-3	1,2
Vitrage étiré NF EN 572-4	1,1	Vitrage imprimé NF EN 572-5	1,1
Vitrage imprimé armé NF EN 572-6	1,3	Vitrage trempé NF EN 12150 ou NF EN 14179	0,61
Vitrage émaillé trempé NF EN 12150	0,77	Vitrage imprimé trempé NF EN 12150	0,71
Vitrage durci NF EN 1863	0,8	Vitrage borosilicate NF EN 1748-1	1
Vitrage borosilicate trempé NF EN 13024	0,61	Vitrage émaillé durci NF EN 1863	1
Vitrage alcalino-terreux recuit NF EN 1748-1	1	Vitrage alcalino-terreux trempé NF EN 14321	0,61
Vitrocéramique NF EN 1748-2	1	Vitrage trempé chimique NF EN 12337	0,55
Vitrage recuit dépoli acide industriellement	1	Vitrage recuit dépoli par sablage	1,1
Vitrage recuit dépoli par grenailage	1,4	Vitrage gravé	1,2

VÉRIFICATION DE LA FLÈCHE

Dans tous les cas, la flèche des vitrages doit être vérifiée selon la formule :

$$e_R = \alpha \times \frac{p}{1,5} \times \frac{b^4}{e_f^3}$$

Éléments à prendre en compte pour le calcul de la flèche : α : valeur du coefficient de déformation. Voir tableaux ci-contre pour les vitrages en appui continu sur 4, 3 ou 2 côtés.

P : pression de calcul en Pascals,

e_f : épaisseur équivalente correspondant à la somme des épaisseurs des vitrages monolithiques ou feuilletés, pondérée des coefficients ϵ_1 et ϵ_2 .

b est :

- soit le petit côté l dans le cas de vitrages pris en feuillure sur 4 côtés ;
- soit le bord libre L ou l dans le cas de vitrages pris sur 2 ou 3 côtés.

CRITÈRES ADMISSIBLES

Dans le cas des vitrages extérieurs en appui sur leur périphérie, verticaux ou inclinés, la flèche maximale au centre doit être inférieure au 1/60^e du petit côté, et limitée à 30 mm.

Les vitrages présentant un bord libre doivent avoir une flèche maximale inférieure aux valeurs suivantes :

- Simple vitrage : $f \leq 1/100e$ du bord libre, limitée à 50 mm,
- double vitrage : $f \leq 1/150e$ du bord libre, limitée à 50 mm.

Dans le cas des vitrages avec maintiens ponctuels :

- la flèche maximale au centre doit être inférieure au 1/60^e du petit côté, et limitée à 30 mm, en considérant le vitrage en appui sur sa périphérie,
- la flèche maximale du bord libre doit répondre aux critères définis ci-dessus pour les simples vitrages et double vitrages, en considérant la longueur b comme étant la distance entre appuis, en considérant la valeur de $\alpha = 2,1143$.

Vitrage simple monolithique

L'épaisseur d'un composant verrier monolithique est égale à son épaisseur nominale. $e_F = e$

Vitrage simple feuilleté

L'épaisseur e_F est égale à la somme des épaisseurs nominales des composants monolithiques, divisée par le coefficient ϵ_2 correspondant au type de vitrage feuilleté.

$$e_F = \frac{e_i + e_j + \dots}{\epsilon_2}$$

Vitrage isolant

L'épaisseur e_F est égale à la somme des épaisseurs nominales des composants, soit monolithiques, soit feuilletés, divisée par ϵ_2 , le tout divisé par le coefficient ϵ_1 .

$$e_F = \frac{e_i + e_j + \dots}{\epsilon_1}$$

Calcul de e_F pour un vitrage isolant double avec deux composants monolithiques :

$$e_F = \frac{e_i + e_j}{\epsilon_1}$$

Appui continu sur 4 côtés

Rapport largeur/ longueur	α
1	0,6571
0,9	0,8000
0,8	0,9714
0,7	1,1857
0,6	1,4143
0,5	1,6429
0,4	1,8714
0,3	2,1000
0,2	2,1000
0,1	2,1143
< 0,1	2,1143

Appui continu sur 3 côtés

Rapport longueur/bord libre	α
0,300	0,68571
0,333	0,73143
0,350	0,80000
0,400	0,91429
0,500	1,14286
0,667	1,51429
0,700	1,56286
0,800	1,71000
0,900	1,85714
1,000	2,00000
1,100	2,05714
1,200	2,11429
1,300	2,17143
1,400	2,22857
1,500	2,28571
1,750	2,31429
2,000	2,35714
3,000	2,37143
4,000	2,38571
5,000	2,38571
> 5	2,38571

Appuis libres continus sur 2 côtés

$\alpha : 2,1143$

Calcul de e_F pour un vitrage isolant double avec un composant feuilleté :

$$e_F = \frac{e_i + \frac{e_j + e_k}{\epsilon_2}}{\epsilon_1}$$

Calcul de e_F pour un vitrage isolant double avec deux composants feuilletés :

$$e_F = \frac{e_i + \frac{e_j + e_i}{\epsilon_2} + \frac{e_k + e_l}{\epsilon_2}}{\epsilon_1}$$

LIMITATIONS DIMENSIONNELLES DES VITRAGES SIMPLES MONOLITHIQUES RECUITS OU ARMÉS

- a) Les limitations suivantes s'appliquent : voir tableau.
b) Pour les vitrages dont la surface est supérieure à 5 m² :

Dimension maximale du petit côté (m)	Épaisseur nominale minimale (mm)
0,66	3
0,92	4
1,5	5
2	6
3	8

- l'épaisseur nominale doit être supérieure ou égale à 6 mm lorsque la partie basse du vitrage est à plus de 0,60 m du sol,

- l'épaisseur nominale doit être supérieure ou égale à 8 mm lorsque la partie basse du vitrage est à moins de 0,60 m du sol.

c) Pour les vitrages rectangulaires de plus de 1 m² présentant un bord libre non protégé :

- l'épaisseur nominale doit être supérieure ou égale à 8 mm si la dimension du bord libre est inférieure à 2 m,
- l'épaisseur nominale doit être supérieure ou égale à 10 mm si la dimension du bord libre est supérieure ou égale à 2 m.

Calculs des températures des vitrages

L'échauffement des vitrages par absorption du rayonnement solaire, d'autant plus important que la température ambiante est élevée, peut conduire à des dégradations progressives telles que le délaminage des vitrages feuilletés ou le fluage et la perte d'adhérence des mastics des doubles vitrages.

La température maximale d'utilisation préconisée pour ces types de produits est d'environ 60°C. Le risque de dégradations par dépassement de cette valeur dépendant toutefois de la fréquence, de l'ampleur, et de la durée de ces

dépassements, il y aura lieu de l'estimer au cas par cas en fonction de la région, de l'exposition des vitrages et de leur environnement.

Par ailleurs, pour certains types de vitrages tels que STADIP PROTECT ou certains vitrages de la marque Vetrotech, il est nécessaire de s'assurer que la température maximale autorisée pour la conservation des performances est respectée.

Enfin, il peut également être nécessaire de déterminer les températures minimales atteintes en hiver pour la bonne utilisation de certains produits verriers.

Les calculs de températures pourront être effectués soit par une méthode analytique classique, soit à l'aide d'un logiciel. Les paramètres à prendre en compte sont :

- le flux solaire maximal,
- la température extérieure maximale (ou minimale en hiver) et la température intérieure,
- les coefficients d'échanges thermiques surfaciques extérieur h_e et intérieur h_i .

- la latitude,
- l'altitude,
- l'orientation de la façade,
- l'inclinaison du vitrage,
- la turbidité de l'air,
- la saison,
- l'heure de la journée,
- l'environnement (ombre portée, réflexion du sol, etc.).

D'une manière générale, on retiendra, pour le territoire français, les valeurs d'ensoleillement maximal ci-contre.

ENSOLEILLEMENT

ENSOLEILLEMENT MAXIMAL

Le flux solaire, exprimé en W/m², qui arrive sur la surface du vitrage dépend de :

ENSOLEILLEMENT CONVENTIONNEL

En l'absence d'informations nécessaires sur la localisation et l'orientation du bâtiment, on retiendra les valeurs ci-après.

Ensoleillement conventionnel (W/m²)

	Paroi verticale	Paroi inclinée
Altitude ≤ 500 m	800	950
Altitude 500 à 1 000 m	850	1 000
Altitude > 1 000 m	900	1 150

Ensoleillement maximal (W/m²) en paroi verticale

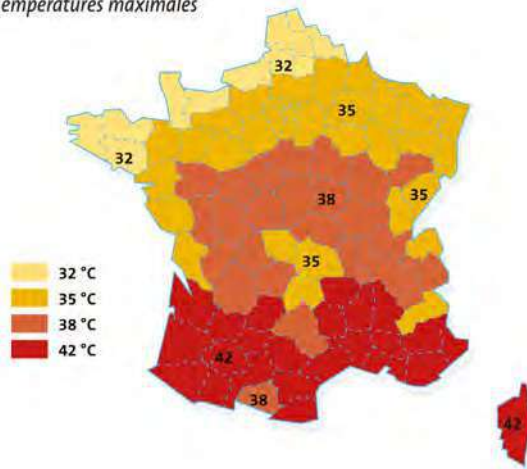
Situation	Zone urbaine								Zone rurale								
	Orientation	N	N-E	E	S-E	S	S-O	O	N-O	N	N-E	E	S-E	S	S-O	O	N-O
Altitude ≤ 500 m																	
Été	190	650	750	600	450	600	750	650	200	700	800	640	480	640	800	700	
Demi-saison	150	350	600	730	710	730	600	350	160	380	640	780	760	780	640	380	
Altitude 500 à 1000 m																	
Été	200	690	790	630	480	630	790	690	210	740	840	680	510	680	840	740	
Demi-saison	160	370	630	770	750	770	630	370	170	400	680	820	800	820	680	400	
Altitude ≤ 500 m																	
Été	220	750	870	690	520	690	870	750	230	810	920	740	560	740	920	810	
Demi-saison	180	410	690	840	820	840	690	410	190	440	740	900	880	900	740	440	

Ensoleillement maximal (W/m²) en paroi inclinée

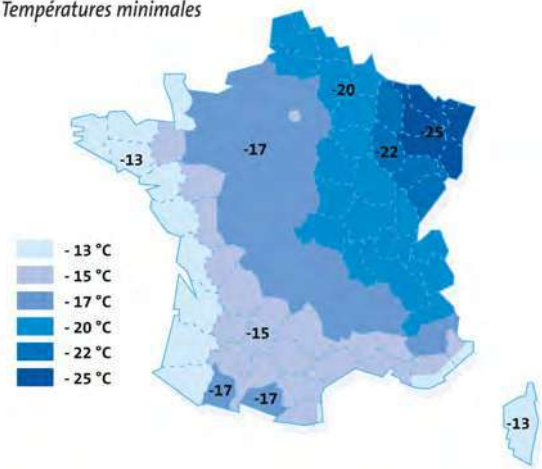
Orientation	N	S	S-E et S-O	E et O	N-E et N-O
Altitude ≤ 500 m					
0°	240	580	770	960	840
15°	200	610	820	970	790
30°	160	610	820	990	730
45°	120	560	800	1000	680
60°	90	520	730	960	660
75°	70	470	640	910	630
Altitude 500 à 1000 m					
0°	0	610	810	1010	890
15°	210	640	860	1020	830
30°	170	640	860	1040	770
45°	130	580	840	1040	720
60°	100	540	760	1010	690
75°	70	490	680	950	660
Altitude > 1000 m					
0°	280	670	890	1110	970
15°	230	710	940	1120	910
30°	190	710	950	1140	840
45°	140	640	920	1140	790
60°	110	600	840	1110	750
75°	80	540	740	1040	720

Températures conventionnelles

Températures maximales



Températures minimales



TEMPÉRATURES CONVENTIONNELLES

TEMPÉRATURES INTÉRIEURES

La température intérieure des locaux est supposée constante :

En paroi verticale		
	Été	Demi-saison
Locaux climatisés	25 °C	20 °C
Locaux non climatisés	$T_i = T_e$ avec $T_i \leq 35^\circ\text{C}$	20 °C

En paroi inclinée (verrière)		
	Été	Demi-saison
Locaux climatisés	30 °C	
Locaux non climatisés	$T_i = T_e$ avec $T_i \leq 35^\circ\text{C}$	

TEMPÉRATURES CONVENTIONNELLES

En l'absence d'informations sur la localisation du bâtiment, on retiendra les valeurs suivantes :

En paroi verticale		
Altitudes	T_e	T_i
≤ 500 m	35	25
500 à 1 000 m	32	
$> 1 000$ m	26	

En paroi inclinée		
Altitudes	T_e	T_i
≤ 500 m	35	30
500 à 1 000 m	32	
$> 1 000$ m	26	

COEFFICIENTS D'ÉCHANGE THERMIQUE SURFACIQUES : EXTÉRIEUR h_e ET INTÉRIEUR h_i

Coefficients h_e et h_i $W/m^2.K$ conventionnels

	h_e	h_i
Vitrage vertical	23	8

VALEURS PRATIQUES DE h_e ET h_i (RECHERCHE DES TEMPÉRATURES EXTRÊMES)

h_e et h_i dépendent de la vitesse de l'air en contact avec la paroi.

Mais, dans la pratique, on considère que h_i est constant et a la valeur suivante :

h_i $W/m^2.K$	
Vitrage vertical	9
Vitrage incliné ($\leq 60^\circ$)	6

Les effets thermiques sur les vitrages sont plus importants quand le vent est nul, c'est-à-dire quand la valeur de h_e est faible. Cependant la vitesse de l'air en contact avec la paroi augmente avec la température de celle-ci.

h_e $W/m^2.K$ en l'absence de vent		
	Été	Demi-saison
Vitrage vertical	13	11
Vitrage incliné ($\leq 60^\circ$)	14	12

Contraintes d'origine thermique

Un écart de température dans un même vitrage (un des bords étant la partie la plus froide) entraîne dans celui-ci des contraintes d'origine thermique susceptibles de provoquer sa rupture si cet écart dépasse une certaine valeur critique. L'échauffement du vitrage est provoqué généralement par l'ensoleillement localisé ou par la proximité de corps de chauffe comme les appareils de chauffage ou les spots lumineux.

Cet échauffement est influencé par :

- les conditions climatiques du site (flux solaire, écart journalier de température, vent, orientation, saisons, altitude, etc.),
- la nature et l'environnement des feuillures (inertie thermique des feuillures, etc.),
- la nature des produits verriers (caractéristiques énergétiques, coefficient U_g , etc.),
- la nature et le mode de mise en œuvre de la façade (feuillure traditionnelle, VEC, façade verticale ou inclinée, etc.),
- la nature des parois au voisinage du vitrage (allège opaque, store, tenture, fenêtres coulissantes venant en superposition, etc.),
- l'ajout d'éléments pouvant modifier les caractéristiques énergétiques de l'ensemble (affiches, étiquettes, films de pro-

tection solaire, peintures, etc.).

Les vitrages pour lesquels l'écart de température entre deux zones dépasse les écarts critiques définis pour le verre silicosodocalcique recuit, sous l'effet de l'ensoleillement ou de la proximité d'un corps de chauffe, doivent être renforcés thermiquement (verre trempé, durci ou semi-trempé).

L'écart critique est fonction de l'état des bords du vitrage mis en œuvre. Selon la nature des produits verriers, un rodage des arêtes peut permettre d'éliminer les défauts inhérents à la découpe et d'adopter des valeurs plus élevées de cet écart critique. Inversement, les valeurs critiques sont plus faibles pour certains produits dont la découpe ne peut être exempte de défauts (verres armés, vitrages feuilletés sciés ou découpés, etc.).

Les justifications des vitrages vis-à-vis du risque de casse d'origine thermique sont données dans la norme NF DTU 39 P3. La méthode utilisée pour définir les exigences d'emploi du verre recuit relève de trois niveaux d'utilisation :

- de méthodes de calculs donnant la différence de température entre le centre et les bords des vitrages, prenant en compte les caractéristiques particulières de

chaque composant du vitrage et de son environnement,

- de tableaux donnant les valeurs des coefficients des vitrages à ne pas dépasser.
- Sont présentées dans ce chapitre, pages 448-449, les valeurs des coefficients d'absorption énergétique des vitrages à ne pas dépasser ainsi que les valeurs des écarts de température critiques à retenir lors de l'utilisation du logiciel de calcul.

ORIENTATION

Sont considérés comme soumis à l'ensoleillement, les vitrages dont l'orientation en hémisphère Nord est comprise dans l'angle AOB indiqué en bleu.

NATURE DES PAROIS AU VOISINAGE DES VITRAGES

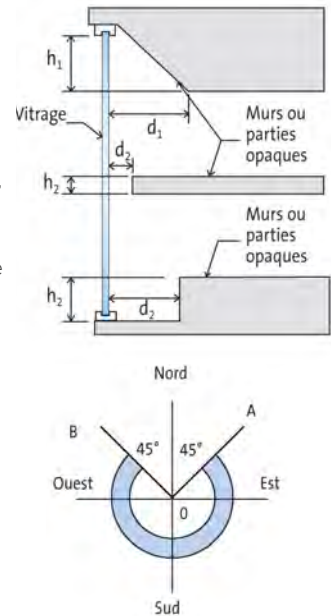
PRÉSENCE DE STORE

Quand le vitrage est recuit, des dispositions doivent être prises pour que le store ne soit pas en contact avec le vitrage. Le store en position complètement repliée ne doit pas constituer une paroi opaque.

VITRAGES SITUÉS DEVANT UNE PAROI OPAQUE

Sans justification particulière, un vitrage situé devant une paroi opaque, même partiellement, doit présenter une haute résistance aux chocs

Coupe verticale d'un vitrage devant une paroi opaque



thermiques.

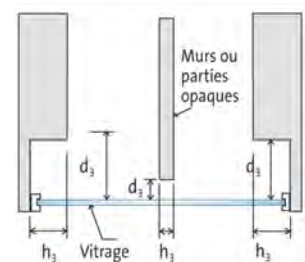
En se reportant aux schémas ci-dessus, le vitrage situé partiellement devant une paroi opaque est considéré selon la norme « devant une paroi opaque » sous l'une des deux conditions suivantes :

$d_1 < 0,8 \text{ m}$ et $h_1 \geq 0,5 d_1 + 0,1 \text{ (m)}$ ou $d_2 < h_2$ et $h_2 \geq 0,1 \text{ m}$.

En coupe horizontale, le vitrage est considéré comme devant une paroi opaque si :

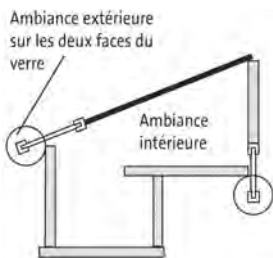
$d_3 < h_3$ et $h_3 \times 0,10$.

Coupe horizontale d'un vitrage devant une paroi opaque



DOUBLES VITRAGES DE FAÇADE OU DE TOITURE COMPORTANT UN PORTE-À-FAUX

Les doubles vitrages de façade ou de toiture comportant un porte-à-faux, dont une partie est sur les deux faces en ambiance extérieure, sauf étude particulière, doivent présenter une haute résistance aux chocs thermiques pour chacun des composants.



DOUBLES VITRAGES AVEC COMPOSANTS DÉCALÉS

Les doubles vitrages avec composants décalés doivent faire l'objet d'une étude particulière.

Dans le cas particulier de doubles vitrages, mis en œuvre en châssis PVC, avec composants décalés, le vitrage extérieur doit toujours présenter une haute résistance aux chocs thermiques si la distance du décalage est supérieure à 5 fois son épaisseur.

VITRAGES COULISSANTS OU SUPERPOSÉS

Pour les simples et doubles vitrages montés en châssis coulissant, une appréciation du risque de casse thermique sera effectuée quand la fenêtre est partiellement ou totalement ouverte. La présence d'un store est pénalisante.

VITRAGES PEINTS, GRAVÉS OU DÉCORÉS

Une étude particulière déterminera la nature du vitrage au regard du risque de casse thermique. À défaut, le vitrage sera renforcé thermiquement.

OMBRES PORTÉES

La présence de pare-soleil, auvent, loggia, tableau de maçonnerie masque, peut occasionner, de façon temporaire ou permanente, une ombre portée sur le vitrage.

Les vitrages mis en œuvre dans des châssis positionnés au nu intérieur reçoivent systématiquement une ombre portée.

Les vitrages situés au nu extérieur de la façade ou de la toiture et non susceptibles de recevoir, de façon habituelle, l'ombre d'un obstacle environnant (partie de bâtiment, haie de persistants, etc.) sont réputés sans ombre portée.

VITRAGES REVÊTUS D'UN FILM RAPPORTÉ

Une étude particulière est obligatoire selon l'Avis Technique du film.

VITRAGES EXPOSÉS AUX EFFETS D'UN CORPS DE CHAUFFE

Si le vitrage doit être soumis à des flux thermiques issus de systèmes rayonnants ou pulsants directement sur le verre, il est nécessaire :

- soit d'utiliser un vitrage renforcé thermiquement,
- soit de réaliser une étude particulière destinée à définir la nature du produit verrier.

En cas de soufflage parallèle au vitrage, celui-ci pourra être utilisé en verre recuit si le convecteur est au moins distant de 20 cm de ce vitrage.

NATURE ET ENVIRONNEMENT DES FEUILLURES*

D'une manière générale, le régime thermique des bords du vitrage est différent du régime thermique du reste de ce vitrage.

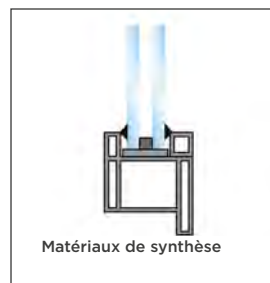
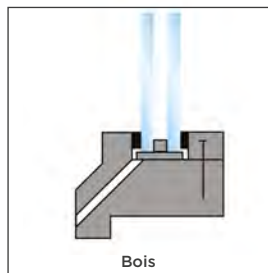
Les contraintes d'origine thermique qui en résultent sont d'autant plus importantes que :

- l'inertie thermique présentée par la feuillure est plus grande que celle du vitrage,
- le vitrage est moins isolé thermiquement du matériau constituant la feuillure,
- l'amplitude des écarts journaliers de température est plus importante.

* Les schémas sont donnés à titre indicatif sans caractère exclusif.

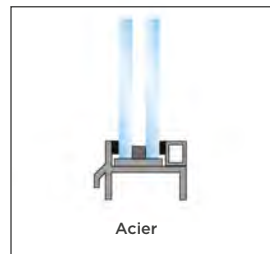
FEUILLURE À INERTIE THERMIQUE FAIBLE

Feuillure isolante en bois ou en matériau de synthèse

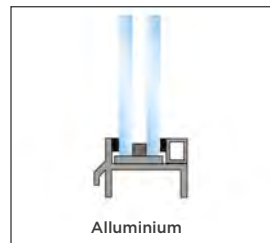


Feuillure légère conductrice

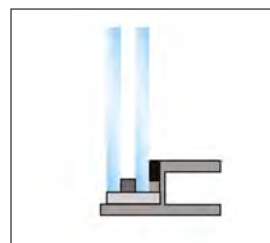
- en acier en profil mince,



- en aluminium avec ou sans rupture thermique sans aucun contact avec le gros oeuvre ou une charpente métallique lourde,

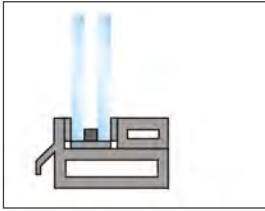


Vitrage Extérieur Collé (VEC) sur support en aluminium ou acier inoxydable



FEUILLURE À INERTIE THERMIQUE MOYENNE

Feuillure dans menuiserie dormantie ou ouvrante lourde (profils en acier épais)

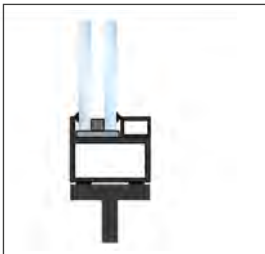


Feuillure dans menuiserie dormant en aluminium ou acier :

- en contact avec le gros oeuvre,

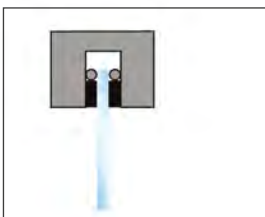


- en contact avec une charpente métallique lourde,



FEUILLURE À INERTIE THERMIQUE FORTE

Feuillure dans un matériau minéral



Feuillure métallique engravée dans des matériaux minéraux



MÉTHODE SIMPLIFIÉE

VALEUR DES COEFFICIENTS D'ABSORPTION ÉNERGÉTIQUE

Tous ces tableaux sont établis selon la norme NF DTU 39 P3, dans les conditions suivantes :

- altitude maximale : 1 000 m,

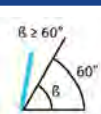
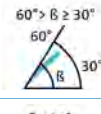

- vitrage associé ou non à un store intérieur dit « standard » ventilé sur trois côtés distants de 5 cm,
- possibilités d'ombres portées,
- produits verriers avec des bords bruts de coupe, sauf mention particulière.

Store « standard »

Le store « standard » ventilé est défini comme suit :

- distance d'au moins 5 cm du vitrage et ventilé sur au moins trois côtés,
- caractéristiques énergétiques :
 - Transmission 10 %,
 - Réflexion 40 %,
 - Absorption 50 %.

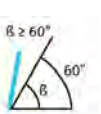
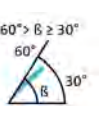
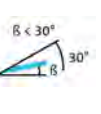
Valeurs à ne pas dépasser pour utiliser du verre recuit (absorption en %)

Caractéristiques du vitrage			Types de feuillure		
Inclinaison	Nature	En appui sur :	Inertie thermique		
			faible	moyenne	forte
 $\beta \geq 60^\circ$	monolithique	périphérie	75	58	42
		autre cas	56	42	26
	feuilleté	périphérie	61	44	32
		autre cas	42	28	16
 $60^\circ > \beta \geq 30^\circ$	feuilleté	périphérie	36	22	14
		autre cas	22	8	▲
 $\beta < 30^\circ$	feuilleté	périphérie	26	17	11
		autre cas	11	▲	▲

▲ Obligatoirement en verre à la tenue mécanique renforcée thermiquement.

DOUBLES VITRAGES SANS COUCHE PEU ÉMISSIVE AVEC OU SANS STORE INTÉRIEUR

Valeurs à ne pas dépasser pour utiliser du verre recuit (absorption en %)

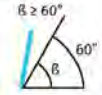
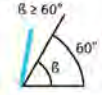

Caractéristiques du vitrage			Types de feuillure							
Inclinaison	Nature	En appui sur :	Inertie thermique faible				Inertie thermique moyenne			
			Extérieur		Intérieur		Extérieur		Intérieur	
			Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur		
 $\beta \geq 60^\circ$	monolithique	périphérie	41	54	27	39	35	44	11	21
		autre cas	27	38	14	25	23	29	▲	7
	feuilleté	périphérie	31	54	18	39	25	44	▲	21
		autre cas	18	38	▲	25	14	29		7
 $60^\circ > \beta \geq 30^\circ$	monolithique	périphérie	30	41	-	-	29	32	-	-
		autre cas	14	23	-	-	11	16	-	-
	feuilleté	périphérie	21	41	16	28	12	32	▲	13
		autre cas	9	23	▲	13	▲	16	▲	-
 $\beta < 30^\circ$	monolithique	périphérie	23	34	-	-	20	25	-	-
		autre cas	▲		-	-	▲		-	-
	feuilleté	périphérie	14	34	▲		11	25	▲	13
		autre cas	▲		▲		▲		▲	

▲ Obligatoirement en verre à la tenue mécanique renforcée thermiquement.

■ Pour les vitrages à bords rodés, toutes les arêtes de chaque composant des vitrages feuilletés seront rodées.

DOUBLES VITRAGES VERTICAUX AVEC COUCHE PEU ÉMISSIVE AVEC OU SANS STORE INTÉRIEUR

Valeurs à ne pas dépasser pour utiliser du verre recuit (absorption en %)

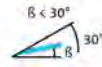
Caractéristiques du vitrage				Types de feuillure							
Inclinaison	Coef. U_g en $W/m^2.K$	Nature	En appui sur:	Inertie thermique faible				Inertie thermique moyenne			
				Extérieur		Intérieur		Extérieur		Intérieur	
 $\beta \geq 60^\circ$	$2,3 < U_g < 2,7$	monolithique	périphérie	40	49	21	32	32	41	11	16
			autre cas	28	36	10	19	22	27	▲	▲
		feuilleté	périphérie	31	49	13	32	24	41	▲	16
			autre cas	19	36	▲	19	14	27	▲	▲
 $\beta \geq 60^\circ$	$1,6 < U_g < 2,3$	monolithique	périphérie	37	47	18	28	32	39	9	13
			autre cas	26	35	7	16	23	26	▲	▲
		feuilleté	périphérie	29	47	10	28	24	39	▲	13
			autre cas	18	35	▲	16	15	26	▲	▲
 $\beta \geq 60^\circ$	$1,1 < U_g < 1,6$	monolithique	périphérie	34	45	15	24	30	37	▲	▲
			autre cas	24	33	▲	13	22	25	▲	▲
		feuilleté	périphérie	27	45	▲	24	24	37	▲	▲
			autre cas	16	33	▲	13	15	25	▲	▲

▲ Obligatoirement en verre à la tenue mécanique renforcée thermiquement, sauf justification technique.

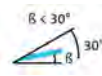
■ Pour les vitrages à bords rodés, toutes les arêtes de chaque composant des vitrages feuilletés seront rodées.

VITRAGES EN TOITURE SANS STORE INTÉRIEUR

Valeurs à ne pas dépasser pour utiliser du verre recuit (absorption en %) : simple vitrage

Caractéristiques du vitrage			Types de feuillure	
Inclinaison	Nature	En appui sur:	Inertie thermique faible	Inertie thermique moyenne
 $\beta < 30^\circ$	feuilleté	périphérie	28	33
		autre cas	25	19
	armé	périphérie	29	23
		autre cas	19	15

Valeurs à ne pas dépasser pour utiliser du verre recuit (absorption en %) : double vitrage sans couche peu émissive

Caractéristiques du vitrage			Types de feuillure							
Inclinaison	Nature	En appui sur:	Inertie thermique faible				Inertie thermique moyenne			
			Extérieur		Intérieur		Extérieur		Intérieur	
 $\beta < 30^\circ$	monolithique	périphérie	33	45	-	-	30	34	-	-
		autre cas	13	21	-	-	13	14	-	-
	feuilleté	périphérie	22	45	20	37	15	34	15	2
		autre cas	▲	21	▲	15	▲	14	▲	10

▲ Obligatoirement en verre à la tenue mécanique renforcée thermiquement, sauf justification technique.

■ Pour les vitrages à bords rodés, toutes les arêtes de chaque composant des vitrages feuilletés seront rodées.

CHÂSSIS COULISSANTS VERTICAUX OU À GUILLOTINE

Cas général

Le risque de casse thermique des vitrages posés en châssis coulissants, verticaux ou à guillotine est plus élevé que pour les autres types d'ouvrants en raison du mode d'ouverture, à savoir la superposition totale ou partielle de deux vitrages.

Cette configuration engendre, sous l'effet de l'ensoleillement, des températures élevées susceptibles de provoquer des contraintes thermiques importantes (ombre portée, par exemple, sous le linteau de l'encadrement de la fenêtre).

Cas des vitrages à couche peu émissive

Le risque de casse thermique s'accroît avec l'emploi de double vitrage à couche peu émissive.

Un dispositif (une butée par exemple), prévu pour maintenir un interstice latéral de ventilation d'au moins 5 mm en position repliée maximale du châssis, permet d'utiliser les compositions suivantes, sans risque de casse thermique.

▲ *Obligatoirement en verre à la tenue mécanique renforcée thermiquement, sauf justification technique.*

■ *Pour les vitrages à bords rodés, toutes les arêtes de chaque composant des vitrages feuilletés seront rodées.*

Valeurs à ne pas dépasser pour utiliser du verre recuit (absorption en %) : châssis coulissants verticaux ou à guillotine

Feuillure à inertie thermique faible			
Simple vitrage		Double vitrage sans couche peu émissive	
Monolithique brut de coupe	20	monolithique brut de coupe	14
Feuilleté brut de coupe	17		
Monolithique ou feuilleté avec bords rodés	24	monolithique ou feuilleté avec bords rodés	20

■ *Pour les vitrages à bords rodés, toutes les arêtes de chaque composant des vitrages feuilletés seront rodées.*

Châssis coulissants verticaux ou à guillotine équipés d'un dispositif de ventilation

	Verre extérieur	Inter-calaire	Verre intérieur	Verre extérieur	Inter-calaire	Verre intérieur	
Altitude de pose ≤ 500 m	Bords brut de coupe	4 ou 6 mm PLANITHERM XN face 2	Air	4 mm PLANICLEAR	s	s	
		4 mm PLANITHERM XN face 2	Argon	4 mm PLANICLEAR	s	s	
		4 mm PLANITHERM XN face 2	Air	6 mm PLANICLEAR	s	s	
	Bords rodés	4 ou 6 mm PLANITHERM XN face 2	Air	4 ou 6 PLANICLEAR 44.2 STADIP	4 ou 6 mm PLANISTAR SUN face 2	Air	4 mm PLANICLEAR
		4 ou 6 mm PLANITHERM XN face 2	Argon	4 ou 6 PLANICLEAR			
		4 mm PLANICLEAR	Air	4 ou 6 mm PLANITHERM XN face 3	4 ou 6 mm PLANISTAR SUN face 2	Argon	4 mm PLANICLEAR
4 mm PLANICLEAR	Argon	4 mm PLANITHERM XN face 3					
Altitude de pose > 500 m	Bords rodés	4 ou 6 mm PLANITHERM XN face 2	Air	4 ou 6 PLANICLEAR	4 ou 6 mm PLANISTAR SUN face 2	Air	4 mm PLANICLEAR
		4 ou 6 mm PLANITHERM XN face 2	Argon	4 mm PLANICLEAR	4 ou 6 mm PLANISTAR SUN face 2	Argon	4 mm PLANICLEAR
		4 mm PLANICLEAR	Air	4 mm PLANITHERM XN face 3			

Méthode par calcul

La détermination des écarts de température est réalisée par calcul selon la norme NF DTU 39 P3.

FEUILLURES À FAIBLE INERTIE THERMIQUE
Écarts de température admissibles dans les verres (K) non traités thermiquement

Type de verre	Appui sur	Avec ombre portée			Sans ombre portée		
		$\beta \geq 60^\circ$	$60^\circ > \beta \geq 30^\circ$	$30^\circ > \beta$	$\beta \geq 60^\circ$	$60^\circ > \beta \geq 30^\circ$	$30^\circ > \beta$
- Monolithique façonné - Feuilleté symétrique façonné, avec tous les composants ≥ 4 mm	Périphérie	42	38	34	48	38	38
	Autre	34	28	21	38	31	24
- Monolithique brut de coupe - Feuilleté symétrique brut de coupe, avec tous les composants ≥ 4 mm - Feuilleté, symétrique façonné, avec un des composants ≤ 3 mm - Feuilleté non symétrique façonné	Périphérie	35	32	28	40	36	32
	Autre	28	23	18	32	26	20
- Imprimé brut de coupe ou façonné	Périphérie	32	29	25	36	32	29
	Autres	25	21	16	29	23	18
- Feuilleté non symétrique brut de coupe - Feuilleté brut de coupe, avec un des composants ≤ 3 mm - Feuilleté symétrique scié, avec tous les composants ≥ 4 mm	Périphérie	26	24	21	30	27	24
	Autre	21	17	13	24	19	15
- Feuilleté non symétrique scié	Périphérie	25	22	20	28	25	22
	Autres	20	16	12	22	18	14
- Armé	Périphérie	23	20	18	25	23	20
	Autre	18	15	11	20	17	13

FEUILLURES À INERTIE THERMIQUE MOYENNE
Écarts de température admissibles dans les verres (K) non traités thermiquement

Type de verre	Appui sur	Avec ombre portée			Sans ombre portée		
		$\beta \geq 60^\circ$	$60^\circ > \beta \geq 30^\circ$	$30^\circ > \beta$	$\beta \geq 60^\circ$	$60^\circ > \beta \geq 30^\circ$	$30^\circ > \beta$
- Monolithique façonné - Feuilleté symétrique façonné, avec tous les composants ≥ 4 mm	Périphérie	38	34	30	40	36	32
	Autre	30	25	19	32	26	20
- Monolithique brut de coupe - Feuilleté symétrique brut de coupe, avec tous les composants ≥ 4 mm - Feuilleté, symétrique façonné, avec un des composants ≤ 3 mm - Feuilleté non symétrique façonné	Périphérie	32	29	25	33	30	27
	Autre	25	21	16	27	22	17
- Imprimé brut de coupe ou façonné	Périphérie	29	26	23	30	27	24
	Autre	23	19	14	24	20	15
- Feuilleté non symétrique brut de coupe - Feuilleté brut de coupe, avec un des composants ≤ 3 mm - Feuilleté symétrique scié, avec tous les composants ≥ 4 mm	Périphérie	24	21	19	25	23	20
	Autre	19	15	12	20	16	13
- Feuilleté non symétrique scié	Périphérie	22	20	18	23	21	19
	Autre	18	14	11	19	15	12
- Armé	Périphérie	20	18	16	21	19	17
	Autre	16	13	10	17	14	11

FEUILLURES À FORTE INERTIE THERMIQUE

Écarts de température admissibles dans les verres (K) non traités thermiquement

Type de verre	Appui sur	Avec ou sans ombre portée		
		$\beta \geq 60^\circ$	$60^\circ > \beta \geq 30^\circ$	$30^\circ > \beta$
- Monolithique façonné - Feuilleté symétrique façonné, avec tous les composants ≥ 4 mm	Périphérie	35	31	28
	Autre	28	23	17
- Monolithique brut de coupe - Feuilleté symétrique brut de coupe, avec tous les composants ≥ 4 mm - Feuilleté, symétrique façonné, avec un des composants ≤ 3 mm - Feuilleté non symétrique façonné	Périphérie	29	26	23
	Autre	23	19	14
- Imprimé brut de coupe ou façonné	Périphérie	26	23	21
	Autre	21	17	13
- Feuilleté non symétrique brut de coupe - Feuilleté brut de coupe, avec un des composants ≤ 3 mm - Feuilleté symétrique scié, avec tous les composants ≥ 4 mm	Périphérie	22	19	17
	Autre	17	14	11
- Feuilleté non symétrique scié	Périphérie	20	18	16
	Autre	16	13	10
- Armé	Périphérie	18	17	15
	Autre	15	12	9

Réaction des joints en double vitrage

La quantité d'air ou de gaz emprisonnée dans un double vitrage, lors de sa fabrication, peut ensuite se trouver en surpression si sa température augmente ou si la pression atmosphérique locale diminue de manière importante. Les mastics des barrières d'étanchéité sont alors soumis à des efforts de traction qui, s'ils sont trop importants, peuvent être la cause de dégradations. Afin de préserver les performances des doubles vitrages, la réaction maximale sur leur périphérie ne doit pas

dépasser la valeur de 1,12 daN/cm. Le dépassement de ces limites peut intervenir lorsque diverses conditions défavorables se trouvent rassemblées :

- volumes de petites dimensions,
- volumes présentant un rapport longueur/largeur élevé,
- utilisation de vitrages à forte absorption énergétique,
- lame d'air ou de gaz de forte épaisseur,
- utilisation de composants verriers de forte épaisseur,
- composition verrière dissymétrique,

- vitrages exposés à un fort ensoleillement,
- pose des vitrages en altitude.

Le calcul de la réaction maximale des joints de doubles vitrages nécessite l'utilisation d'un logiciel spécialisé.

Pour les cas les plus courants, cette justification ne sera pas nécessaire si les doubles vitrages réunissent toutes les conditions suivantes :

- vitrages clairs composés de PLANICLEAR ou DIAMANT, pouvant être feuilletés et/ou trempés,

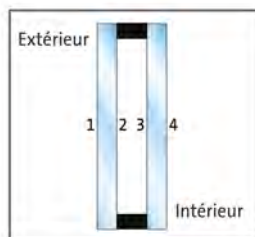
- épaisseur nominale de chaque composant verrier (ou épaisseur équivalente pour un verre feuilleté STADIP) inférieure ou égale à 8 mm,
- épaisseur de la lame d'air ou de gaz inférieure ou égale à 16 mm,
- vitrage en position verticale sans store,
- flux solaire maximal : 750 W/m²,
- température extérieure maximale : 35°C,
- dimensions des vitrages supérieures ou égales aux valeurs du tableau de la page suivante, en fonction de la mise en œuvre.

Condensation sur les vitrages isolants

GÉNÉRALITÉS

Le phénomène de la condensation superficielle sur les vitrages isolants se présente sous trois formes, notamment

- sur la face extérieure ou face 1,
- sur les surfaces internes 2 et 3 du vitrage isolant,
- sur la face intérieure ou face 4.



Shéma caractéristique de la condensation superficielle sur la face intérieure et extérieure d'un vitrage.

En raison de l'effet du pont thermique au droit des intercalaires des vitrages isolants, la formation de la condensation sera très différente si l'on est à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment.

La condensation superficielle sur la face intérieure commence toujours dans les angles, notamment à cause du refroidissement supplémentaire produit par le pont thermique.

Les intercalaires en matériau composite, donc plus isolants, permettent de diminuer le risque de condensation dans ces angles.

La condensation superficielle sur la face extérieure se produit rarement dans les angles, étant donné que les bords du verre extérieur se réchauffent au droit du pont thermique. Le point le plus froid de la face extérieure du vitrage est généralement situé dans la zone centrale, là où les déperditions thermiques sont les plus faibles.

CONDENSATION SUR LA FACE INTÉRIEURE (FACE 4)

Le phénomène de la condensation superficielle sur la face 4 du double vitrage est essentiellement lié aux facteurs suivants :

- le climat extérieur,
- la température de l'air intérieur,
- la production d'humidité dans le bâtiment,

- le débit de ventilation,
- la température de surface de la paroi.

Pour limiter la condensation, il convient donc d'agir sur chacun des paramètres précités, à l'exception du climat extérieur sur lequel nous n'avons aucune prise.

Le meilleur moyen pour limiter la condensation superficielle sur la face intérieure consiste à capter la vapeur d'eau à la source (produite par exemple dans la cuisine et la salle de bains) et à l'évacuer directement vers l'extérieur. Il y a lieu en outre de chauffer et surtout de ventiler suffisamment les locaux.

Il est également possible de diminuer le risque de condensation en utilisant des doubles vitrages avec un espaceur en matériau isolant au lieu de l'aluminium.

Il s'agit de SWISSPACER. Celui-ci a pour effet d'augmenter la température de surface du verre intérieur et permet ainsi de diminuer le risque de condensation dans les angles.

CONDENSATION SUR LA FACE EXTÉRIEURE (FACE 1)

La condensation superficielle sur la face 1 du vitrage isolant apparaîtra si la température régnant sur cette face du vitrage est nettement plus basse que la température de l'air extérieur et si le point de rosée

(température à laquelle la vapeur d'eau devient liquide) de ce dernier est supérieur à la température du verre.

La température superficielle à l'extérieur d'un vitrage est fonction :

- du flux de chaleur venant de l'intérieur et traversant le verre. Celui-ci est fonction de l'écart de température existant entre la surface intérieure et la surface extérieure du vitrage et de la valeur U_g de ce dernier,
- de l'échange convectif avec l'air extérieur,
- des pertes par rayonnement, essentiellement vers la voûte céleste.

La condensation superficielle à l'extérieur des vitrages est un phénomène que l'on observe parfois la nuit et aux petites heures du matin sur des vitrages bien isolés, par temps dégagé et en l'absence de vent.

Les déperditions thermiques vers le ciel dégagé en sont la cause principale.

Il importe de ne pas considérer ce phénomène comme un critère de mauvaise qualité du double vitrage, mais bien comme la preuve d'une bonne isolation thermique.

CONDENSATION SUR LES FACES INTERNES 2 ET 3

La formation de la condensation sur les faces internes du double vitrage est une indication que la lame d'air ou la lame de gaz n'est plus étanche. Les agents déshydratants sont alors vite saturés et tout air humide pénétrant à travers le joint périphérique diminuera la visibilité par la formation de condensation sur les faces 2 et 3 du double vitrage. Le vitrage isolant doit à ce moment être remplacé car ce processus est irréversible.

Remarques :

- Une condensation passagère se produisant :
 - à des périodes de forte humidité,
 - dans des locaux à forte production d'humidité momentanée (p. ex. salle de bain),
 - lors de temps exceptionnellement froid. Cette condensation ne peut cependant pas être permanente,
 - Lors d'une rénovation ou de la construction d'un bâtiment, la mise en œuvre des matériaux de construction tels que béton, plâtrage, chape, carrelage, nécessite des quantités d'eau importantes. Le séchage de ces matériaux génère à l'intérieur des bâtiments des climats transitoires (parfois plus d'une année) anormalement humides pendant lesquels les risques de condensation sont très élevés.

- L'emploi d'un espaceur métallique pour réaliser le scellement hermétique du vitrage isolant constitue un pont thermique. L'effet défavorable de ce pont thermique sera d'autant plus marqué que le vitrage isolant en partie centrale sera performant (U_g faible [W/m^2K]) et que le profilé de châssis dans lequel il est inséré sera performant thermiquement (U_f faible [W/m^2K]) ; d'où l'intérêt d'un intercalaire de type SWISSPACER qui diminue fortement cet effet de bord,

- Espaces confinés : même dans des locaux globalement bien ventilés et/ou chauffés en fonction de l'utilisation, l'utilisateur peut créer des espaces confinés et y générer ainsi des climats localisés anormalement humides (par exemple, espace créé entre une menuiserie extérieure et une tenture, disposition de décorations ou de meubles à proximité d'une menuiserie, etc.).

Le risque de condensation dans ces espaces confinés est beaucoup plus élevé.

Unités de longueur

1 in (inch) =	25,4 mm
1 ft (foot) = 12 in =	304,8 mm
1 yd (yard) =	914,4 mm

Unités de force et de pression

10 N (Newton) =	1 kgf *
1 Pa (Pascal) =	1 N/m ²
1 daN/m ² (déca Pascal) =	10 Pa
1 MPa (méga Pascal) = 106 Pa =	1 N/mm ²
1 bar =	10 ⁵ Pa = 1 daN/cm ² = 0,1 N/mm ²
1 atmosphère =	760 mm mercure
	= 1,013 bar
	= 101 325 Pa
1 lb/sq in (pound per square inch) = 1 psi =	6,896 . 10 ⁻³ N/mm ²

* Le nombre exact est 1,02. Il a été arrondi à l'unité.

Unités d'énergie (travail, quantité de chaleur)

1 J (Joule) =	1 W s (Watt seconde) 1 Nm 0,239 . 10 ⁻³ kcal
1 kgf m =	9,81 J
1 kcal (kilocalorie) =	4186 J
1 Btu (British thermal unit) =	1055 J
1 W/m ² .K =	0,860 kcal/h.m ²
1 Btu/hr.ft ² =	3,154 W/m ²

Unités de température

°C =	degré Celsius
K =	degré Kelvin
°F =	degré Fahrenheit
0°C =	273,15 K
T (K) =	(t(°C) + 273,15)
t (°C) =	5/9 x (t(°F) - 32)
t (°F) =	32 + 9/5 T(°C)

Pression du vent. Tableau de conversion des vitesses du vent en pressions dynamiques

Vitesse du vent			Pression	
Échelle Beaufort	km/heure	m/seconde	kgf/m ²	Pa
4	30	8,3	4,3	42
5	35	9,7	5,9	58
6	45	12,5	9,5	93
7	55	15,3	14,5	142
8	65	18,1	20,5	200
9	80	22,2	31,0	304
10	95	26,4	43,5	426
11	110	30,3	57,5	563
12	120	33,3	69,0	676
	130	36,1	81,0	793
	140	38,9	94,5	926
	150	41,6	108,0	1058
	160	44,4	123,0	1200
	170	47,2	139,0	1362
	180	50,0	156,0	1528
	190	52,8	174,0	1705
	200	55,5	193,0	1891
	210	58,2	212,0	2080
	220	61,1	228,0	2295
	230	63,9	256,0	2510
	240	66,7	278,0	2730
	250	69,4	310,0	2950

Épaisseurs du verre float PLANICLEAR, PARSOL, etc.

Épaisseur nominale (mm)	Épaisseur minimale de fabrication (mm)
3	2,8
4	3,8
5	4,8
6	5,8
8	7,7
10	9,7
12	11,7
15	14,5
19	18,0

Épaisseurs des verres imprimés DECORGLASS et MASTERGLASS

Épaisseur nominale (mm)	Épaisseur minimale de fabrication (mm)
4	3,5
5	4,5
6	5,5
8	7,5
10	9,5

Poids du vitrage

Type de vitrage	Poids du vitrage		Type de vitrage	Poids du vitrage	
	N/m ² (Pa)	kg/m ²		N/m ² (Pa)	kg/m ²
Verre feuilleté			Double vitrage avec verre feuilleté		
33.X	150	15	4 + 33.X	250	25
44.X	200	20	5 + 33.X	275	27,5
55.X	250	25	6 + 33.X	300	30
66.X	300	30	4 + 44.X	300	30
88.X	400	40	5 + 44.X	325	32,5
Double vitrage			6 + 44.X	350	35
4 + 4	200	20	5 + 55.X	375	37,5
4 + 5	225	22,5	6 + 55.X	400	40
4 + 6	250	25	8 + 55.X	450	45
5 + 5	250	25	10 + 55.X	500	50
5 + 6	275	27,5	33.X + 33.X	300	30
6 + 6	300	30	44.X + 44.X	400	40
6 + 8	350	35	55.X + 55.X	500	50
6 + 10	400	40			

Tension moyenne de rupture du verre silico-sodo-calcique

Nature du verre	Tension moyenne de rupture R (N/m ²)
Verre float (PLANICLEAR, PARSOL, ANTELIO, etc.)	45 x 10 ⁶ (EN 572)
Verre durci	70 x 10 ⁶ (EN 1863)
Verre renforcé par trempe thermique (SECURIT)	120 x 10 ⁶ (EN 12150)