

Détermination des épaisseurs

Formule générale

Hors le cas des vitrages pour le bâtiment, traité par la NF DTU 39 P4, on peut calculer à l'aide des formules de Timoshenko :

- l'épaisseur minimale à donner aux vitrages plans monolithiques soumis à une pression uniformément répartie (formule valable pour des appuis continus sur 4 côtés ou 2 côtés opposés) :

$$e = \sqrt{\beta \cdot P \cdot \frac{l^2}{\sigma}}$$

l/L	Vitrages reposant sur 4 côtés	
	α	β
1,0	0,6571	0,2668
0,9	0,8000	0,3194
0,8	0,9714	0,3791
0,7	1,1857	0,4470
0,6	1,4143	0,5261
0,5	1,6429	0,6017
0,4	1,8714	0,6728
0,3	2,1000	0,7216
0,2	2,1000	0,7476
0,1	2,1143	0,7500
< 0,1	2,1143	0,7500
Cas des vitrages en appui sur 2 côtés opposés		
"l" est la distance entre appuis	2,1143	0,7500

- les flèches lorsqu'elles sont de faible importance :

$$f = \alpha \cdot P \cdot \frac{l^4}{e^3}$$

- e = épaisseur nominale de fabrication du vitrage (mm)
- F = flèche au centre du vitrage (mm)
- l = plus petit côté du vitrage (m) (ou bord libre pour les vitrages en appui sur 2 côtés)
- P = pression uniformément répartie, en Pa (y compris le poids propre du vitrage en toiture) en fonction du texte de référence
- σ = contrainte de flexion MPa (N/mm²) suivant le tableau de la page suivante
- α et β = coefficients sans dimension dépendant du rapport du plus grand côté "L" sur le plus petit "l" déterminés pour un module d'Young E = 70 000 MPa.

Cas des vitrages sur 2 appuis

La flèche des bords droits est limitée au :

- 1/100 de la distance entre appuis pour les vitrages simples (monolithiques) ou feuilletés ;
- 1/150 de la distance entre appuis pour les vitrages isolants, sous les effets du vent normal défini dans le DTU P06-002 (NV 65) modifié 99.

Détermination des épaisseurs

Compte tenu des coefficients de sécurité, les contraintes de travail "σ" habituellement retenues sont

indiquées ci-après pour les applications les plus courantes.

Contraintes de travail admissibles MPa (N/mm ²)		
Types de vitrages *	Charges temporaires (vent, etc.)	Charges permanentes (poids propre, neige, eau, etc.)
Recuit SGG PLANILUX, SGG PARSOL, SGG ANTELIO, ETC.	20	10
Trempé SGG SECURIT	50	50
Semi-trempé (durci) SGG PLANIDUR	35	20
Trempé émaillé SGG EMALIT EVOLUTION	35	25
Feuilleté SGG STADIP mesures fixes (en recuit)	20	10
Feuilleté SGG STADIP découpé/scié (en recuit)	16	8
Imprimé recuit SGG DECORGLASS/SGG MASTERGLASS	18	9
Imprimé recuit SGG DECORGLASS ARME	16	8
Imprimé trempé SGG SECURIT	40	30
Vitrage pour aquarium	-	voir p. 422-426

Un coefficient réducteur de 0,8 sera appliqué sur la contrainte de travail admissible quand la surface du verre en extension aura été traitée par enlèvement de matière peu prononcé (gravure à l'acide, sablage superficiel, etc.)
* Pour les produits ne figurant pas dans ce tableau, nous consulter.

Déformation de surface des doubles vitrages

Les faces des doubles vitrages sous l'effet des contraintes atmosphériques (températures, pression atmosphérique, pression du vent, différence d'altitude entre lieu de fabrication et de pose), peuvent présenter des déformations concaves ou convexes de leur surface, qui s'ajoutent aux tolérances de fabrication.

Les calculs effectués selon la norme NF DTU 39 définissent les épaisseurs minimales des composants verriers sans prendre en compte les aspects esthétiques dus aux déformations. Celles-ci, de par le principe même du double vitrage qui enferme une lame

de gaz entre deux verres, ne peuvent être supprimées.

Il est toutefois possible de limiter ce phénomène en augmentant l'épaisseur des faces du double vitrage afin de renforcer leur résistance à la flexion. Dans ce cas, il appartiendra au maître d'ouvrage ou au maître d'œuvre de préciser ses exigences et de faire réaliser une étude complémentaire (voir "Réaction des joints des doubles vitrages", page 449).

Détermination des épaisseurs

Méthode de la norme

La norme NFDTU 39 P4, auquel il y a lieu de se reporter pour plus de détails, donne, pour les vitrages de dimensions maximales de 6 x 3,20 m situés dans des bâtiments de moins de 100 m de hauteur, les pressions conventionnelles à retenir et les formules correspondantes pour le calcul de leur épaisseur.

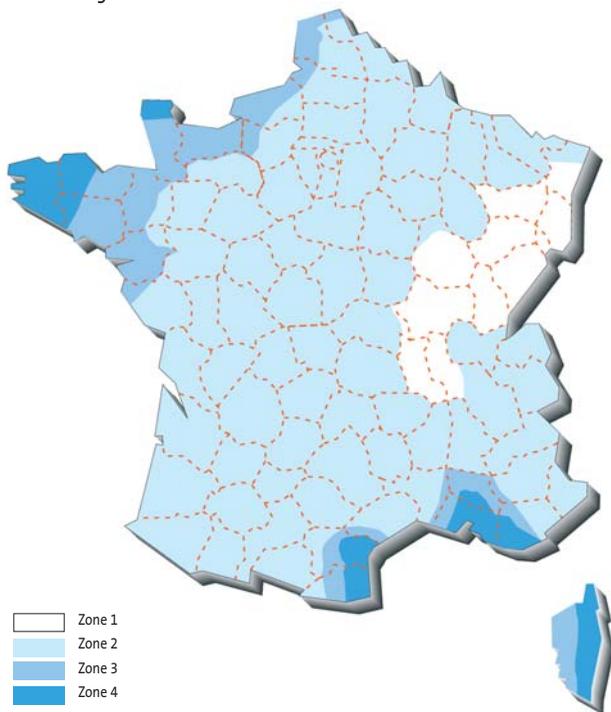
Vitrages verticaux

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 ci-dessous.

Carte des régions de vent



	Zone 1
	Zone 2
	Zone 3
	Zone 4

Détermination des épaisseurs

- Pour les départements d'Outre-Mer (DOM), la Guyane est située en zone 1. La Guadeloupe, la Martinique et la Réunion sont situées en zone 5.

haute est située à moins de 10 m du sol doivent résister à la pression conventionnelle ci-après.

En l'absence de fermetures extérieures ou dispositifs adaptés, les vitrages pouvant être exposés directement aux effets d'un cyclone et dont la partie

Pressions de vent cycloniques		Pression
Situation		
Vitrage vertical		2 500 Pa
Vitrage incliné	≥ 30° / horizontale	4 000 Pa
	< 30° / horizontale	5 600 Pa

Pressions conventionnelles						
Zone	Situation	H ≤ 6	6 < H ≤ 18	18 < H ≤ 28	28 < H ≤ 50	50 < H ≤ 100
1	a	600	600	600	600	800
	b	600	600	650	750	950
	c	650	900	1000	1150	1300
	d	850	1050	1150	1250	1400
2	a	600	600	700	900	1100
	b	600	800	900	1100	1300
	c	900	1100	1200	1350	1550
	d	1400	1600	1700	1800	1900
3	a	800	900	1000	1300	1700
	b	900	1100	1300	1600	2000
	c	1300	1600	1800	2000	2200
	d	1500	1800	2000	2150	2300
4	a	900	1050	1150	1450	1900
	b	1000	1250	1500	1800	2200
	c	1500	1800	2000	2150	2300
	d	1700	1900	2050	2250	2300
5	a	1200	1350	1500	1900	2450
	b	1300	1600	1950	2350	2850
	c	1950	2350	2600	2800	2950
	d	2200	2450	2650	2900	2950

Détermination des épaisseurs

2. La situation d'environnement de la construction

“a” intérieur des grands centres urbains (zone urbaine où les bâtiments occupent au moins 15 % de la surface et dont la hauteur moyenne est supérieure à 15 m).

A défaut d'une connaissance précise du contexte urbain, en dehors du centre des grandes villes, on choisira la situation “b”.

“b” villes petites et moyennes ou à la périphérie des grands centres urbains, zones industrielles, zones forestières.

“c” rase campagne.

“d” bord de lac ou plan d'eau pouvant être parcouru par le vent sur une distance d'au moins 5 km ou bord de mer, lorsque la construction étudiée est à une distance du rivage inférieure à 20 fois la hauteur de cette construction.

Dans certains cas, en bord de mer, les vents forts viennent de l'intérieur des terres, c'est par exemple le cas général du littoral méditerranéen situé en zone 3 et 4 (hors Corse). Les vitrages sont alors considérés, vis-à-vis des effets du vent, en situation “c”.

3. La hauteur du vitrage au-dessus du sol

- moins de 6 m ;
- de 6 à 18 m ;
- de 18 à 28 m ;
- de 28 à 50 m ;
- de 50 à 100 m.

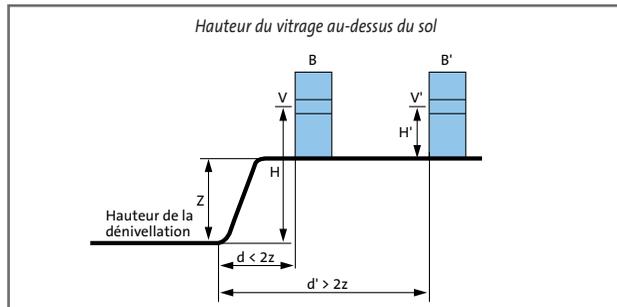
Pressions conventionnelles à retenir

Dans le cas de vitrages situés à l'intérieur des locaux (cloisons intérieures par exemple), on retiendra une pression conventionnelle de 600 Pa.

Pour les bâtiments peu élancés et sans décrochement important, en fonction des éléments ci-dessus déterminés, on retient, comme pressions conventionnelles du vent P_v sur les vitrages, celles du tableau page précédente exprimées en Pa.

Pour les constructions élancées (hauteur supérieure à 2 fois la plus grande dimension horizontale), et sauf essais en soufflerie, les pressions seront à multiplier par :

- 1,5 pour les vitrages situés de 28 à 50 m ;
- 2,2 pour les vitrages situés de 50 à 100 m.



Détermination des épaisseurs

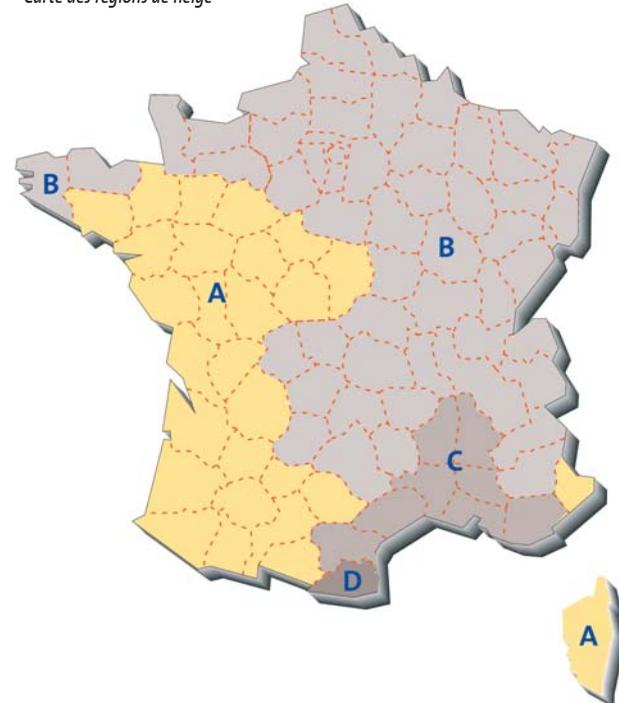
Lorsque la construction est située au-dessus d'une dénivellation de pente moyenne supérieure à 1 (45°), la hauteur au-dessus du sol doit être comptée à partir du pied de la dénivellation, sauf si la construction est située à une distance horizontale du pied de celle-ci supérieure à 2 fois la hauteur de cette dénivellation ; ainsi la hauteur au-dessus du sol du vitrage V du bâtiment B sera de H, tandis que celle de vitrage V' du bâtiment B' sera H'.

Vitrages en toiture

Éléments à prendre en compte

1. L'effet du vent : tel que défini précédemment engendrant une pression P_v .
2. L'effet de la neige : les charges caractéristiques au sol pour une altitude ≤ 200 m (So min) sont données en fonction de la région définie par la carte ci-après :
 - région A = 450 Pa ;
 - région B = 550 Pa ;
 - région C = 650 Pa ;
 - région D = 900 Pa.

Carte des régions de neige



Détermination des épaisseurs

Au-delà de 200 m, les surcharges augmentent jusqu'à 2 000 m et ont pour valeur :

- 200 m < h ≤ 500 m,
So = (So min + 1,5 h) - 300 ;
- 500 m < h ≤ 1 000 m,
So = (So min + 3 h) - 1 050 ;

- 1 000 m < h ≤ 2 000 m,
So = (So min + 4,5 h) - 2 250, "h" étant l'altitude exprimée en mètres et So la surcharge exprimée en pascals.

3. L'effet du poids propre du vitrage : il engendre une pression verticale "pp",
pp = 24,5 x e (nominale)
"e" étant l'épaisseur nominale en mm.

Facteur φ de toiture (facteur d'accumulation)

Positions du vitrage	φ
Vitrages n'allant pas jusqu'au bord de la toiture quelle que soit l'altitude (1 versant ou 2 versants)	1,0
Vitrages situés en bord de toiture	
a) Altitude > 500 m	1,6
b) Altitude < 500 m	
– sans accumulation de neige	1,0
– avec accumulation de neige	1,6
Toitures à redans (Sheds) Toitures courbes Verrières inférieures sur pignon	1,6
Verrières susceptibles de recevoir la neige d'une toiture supérieure	
– 3 m ≤ h ≤ 6 m et < 30°	2,2
– autre cas mais h < 6 m	1,6
– si h > 6 m	2,8

Pressions conventionnelles à retenir

Angle d'inclinaison α par rapport à l'horizontale	Charge P1	Charge P2
$\alpha \leq 60^\circ$	Pv	1,5 (p . So + pp)
$\alpha > 60^\circ$	Pv	-

Dans le calcul pour $\alpha \leq 60^\circ$, on prendra la plus défavorable des charges P₁ ou P₂.

Pour les bâtiments dont la hauteur est comprise entre 28 et 50 m, il sera tenu compte, lors de la détermination de P₁, du coefficient d'élanement, soit :
P₁ = 1,5 Pv (du tableau des pressions conventionnelles).

Les règles de la NF DTU 39 P-4 sont applicables pour des vitrages en toiture dont la partie la plus haute est à une distance du sol au plus égale à 50 m.

Les méthodes de calcul de l'épaisseur sont les mêmes que pour le vent.

Détermination des épaisseurs

Vitrages exposés aux avalanches

Les vitrages devront, en fonction de leur exposition, résister à une pression de longue durée, uniformément répartie, de 5 000 Pa, 10 000 Pa, ou 30 000 Pa. Les vitrages seront considérés seuls ou combinés à des dispositifs de protection.

Calcul de l'épaisseur des vitrages

Principe de calcul

La pression de calcul défini précédemment est utilisée dans les formules ci-après pour déterminer une épaisseur "e₁".

Un facteur de réduction "c", lié au type de châssis, est appliqué.

Le produit (e₁ x c) est multiplié par un facteur d'équivalence E₁, E₂ et E₃ qui dépend du type de vitrage.

La somme "e₁" des épaisseurs nominales et/ou équivalentes des composants du vitrage doit être au moins égale au produit (e₁ x c x E).

Dans le cas des vitrages présentant au moins un bord libre, ou dans le cas des toitures à faible pente, la déformation du vitrage est à vérifier.

A partir des épaisseurs déterminées précédemment, on calcule une épaisseur équivalente "e₂", utilisée pour la vérification de la flèche. Si la flèche dépasse la valeur admissible, l'épaisseur des composants doit être augmentée jusqu'au respect de l'ensemble des exigences.

Note

La déformation d'un vitrage dépend de son épaisseur et non de sa nature (recuit, durci, trempé).

Calcul de l'épaisseur e ₁		
Vitrage pris en feuillure sur 4 côtés		
si : L/l ≤ 3	si : L/l > 3	
$e_1 = \sqrt{\frac{SP}{72}}$	$e_1 = \frac{\sqrt{VP}}{4,9}$	
Vitrage pris en feuillure sur 3 côtés*		
Le bord libre est le petit côté l	Le bord libre est le grand côté L	
$e_1 = \frac{\sqrt{VP}}{4,9}$	si : L/l ≤ 9 $e_1 = \sqrt{\frac{3SP}{72}}$	si : L/l > 9 $e_1 = \frac{3\sqrt{VP}}{4,9}$
Vitrage pris en feuillure sur 2 côtés opposés		
$e_1 = \frac{\sqrt{VP}}{4,9}$		
Dans ce cas, "l" désigne la longueur des bords libres même si cette longueur est le grand côté		

* Un vitrage pris en feuillure sur 3 côtés est assimilé à un vitrage pris en feuillure sur 4 côtés dont l'une des dimensions est égale à la longueur du bord libre et l'autre à 3 fois la longueur du côté adjacent de ce bord libre.

- e₁ = épaisseur du vitrage en mm ;
- L = plus grand côté du vitrage en m ;
- l = plus petit côté du vitrage en m (ou longueur des bords libres)
- S = surface du vitrage en m² ;
- P = pression conventionnelle en Pa.

Détermination des épaisseurs

Facteur de réduction *c*

Le facteur de réduction “*c*” est égal à 1, sauf pour les vitrages en châssis fixes verticaux :

- $c = 0,9$ dans les cas généraux ;
- $c = 0,8$ pour les vitrages dont la partie supérieure est située à moins de 6 m du sol et ayant :
 - soit plus de 5 m² lorsqu'ils sont pris en feuillure sur 3 ou 4 côtés,
 - soit une longueur de bord libre

supérieure à 2 m lorsqu'ils sont pris en feuillure sur 2 côtés opposés. Ces coefficients de réduction ne s'appliquent pas pour les vitrages en toiture.

Autres types de vitrages

Pour un vitrage autre que simple, recuit non armé, on obtient l'épaisseur “*e*” minimale en multipliant l'épaisseur “*e*” calculée comme indiqué page précédente par le coefficient d'équivalence “*ε*” des tableaux ci-après : $e_1 = \epsilon \times e$

Vitrage isolant		
Type de vitrage		ϵ_1
Vitrage isolant EN 1279	double vitrage	1,50
	triple vitrage	1,70

Vitrage simple feuilleté		
Type de vitrage		ϵ_2
Vitrage feuilleté de sécurité EN ISO 12543-2	deux composants verriers	1,30
	trois composants verriers	1,50
	quatre composants verriers et plus	1,60
Vitrage feuilleté EN ISO 12543-3	deux composants verriers	1,60
	trois composants verriers et plus	2,00

Vitrage simple monolithique			
Type de vitrage	ϵ_3	Type de vitrage	ϵ_3
Vitrage recuit EN 572-2	1	Vitrage recuit armé EN 572-3	1,2
Vitrage étiré EN 572-4	1,1	Vitrage imprimé EN 572-5	1,1
Vitrage imprimé armé EN 572-6	1,3	Vitrage trempé EN 12150 ou EN 14179	0,8
Vitrage émaillé trempé EN 12150	0,91	Vitrage imprimé trempé EN 12150	0,88
Vitrage durci EN 1863	0,93	Vitrage borosilicate EN 1748-1	1
Vitrage borosilicate trempé EN 13024	0,8	Vitrage émaillé durci EN 1863	1
Vitrage vitrocéramique EN 1748-2	1	Vitrage trempé chimique EN 12337	0,75
Vitrage dépoli acide industriellement	1	Vitrage dépoli par sablage	1,1
Vitrage dépoli par grenailage	1,2	Vitrage gravé	1,2

Détermination des épaisseurs

Déformation des vitrages

Détermination de e_2

La valeur e_2 déterminée par les formules suivantes doit être arrondie à une décimale.

Vitrages monolithiques

$$e_2 = e_1$$

Vitrages feuilletés ou vitrages feuilletés de sécurité

$$e_2 = \frac{e_1 + e_1}{\epsilon_2}$$

Vitrages isolants

- vitrages isolants avec deux composants monolithiques :

$$e_2 = \frac{e_1 + e_1}{\epsilon_1}$$

- vitrages isolants avec un composant feuilleté :

$$e_2 = \frac{\frac{e_1 + e_1}{\epsilon_2} + e_k}{\epsilon_1}$$

- vitrages isolants avec deux composants feuilletés :

$$e_2 = \frac{\frac{e_1 + e_1}{\epsilon_2} + \frac{e_k + e_1}{\epsilon'_2}}{\epsilon_1}$$

e_1 , e_2 , e_k et e_1 sont les épaisseurs des composants verriers

Dans le cas de vitrages feuilletés et de vitrages isolants, l'épaisseur “*e*” est la somme des épaisseurs nominales des composants (lorsque la différence d'épaisseur de ces composants est au maximum de 2 mm).

Dans les calculs, les constituants trempés des vitrages feuilletés ou isolants sont considérés comme recuits.

Limitations particulières

La composition des vitrages déterminée précédemment doit être compatible avec les exigences :

- de dimensions maximales liées à la nature du vitrage ;
- de limitation de flèche.

Limitations particulières aux vitrages simples ou recuits, armés ou non

Pour les vitrages simples recuits, on adoptera les limitations suivantes quels que soient les résultats trouvés par les calculs précédents.

Largeur maxi (m)	Epaisseur nominale (mm)				
	3	4	5	6	8
	0,66	0,92	1,50	2,00	3,00

- Vitrages de plus de 5 m² : épaisseur minimale nominale :
 - 6 mm si la partie basse du vitrage est à plus de 0,60 m du sol ;
 - 8 mm si elle est à moins de 0,60 m.
- Vitrages de plus de 1 m² présentant un bord libre non protégé :
 - 8 mm si la dimension du bord libre est ≤ 2 m ;
 - 10 mm si la dimension du bord libre est > 2 m.

Épaisseurs équivalentes (en mm)

Composition	e_2 (mm)	Composition	e_2 (mm)
44.2	6,1	66.2	9,2
4/xx/4	5,3	4/xx/10	9,3
4/xx/33.2	5,7	6/xx/44.2	8,1
44.2/xx/33.2	7,1	44.2/xx/66.2	10,2

Dans le cas où l'épaisseur e_2 calculée est inférieure à l'épaisseur nominale de l'un des composants monolithiques du

Détermination des épaisseurs

vitrage isolant, on prendra cette épaisseur comme valeur de "e₂".

Calcul de la flèche

$$f = \alpha \times \frac{P}{1,2} \times \frac{b^4}{e_2^3}$$

Avec :

α selon page 410

P = P1 ou P2 selon page 416

e₂ selon page 419

b est soit :

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

Critères admissibles

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

- simple vitrage : $f \leq 1/100^e$ du bord libre, soit $f \leq b \times 10$;
- double vitrage : $f \leq 1/150^e$ du bord libre, soit $f \leq b \times 6,67$.

La vérification de la flèche des vitrages en verrière doit être effectuée pour les vitrages dont la pente nominale est inférieure à 5° (8,7 %), y compris pour les vitrages pris en feuillure sur 4 côtés.

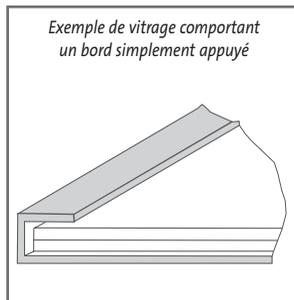
Déformation des vitrages de verrières



β : angle d'inclinaison du vitrage (°)

$$f \leq \frac{L \times \tan \beta}{4} \text{ ou } f \leq \frac{L \times \tan \beta}{4}$$

Cas des vitrages de verrière comportant un ou deux bords simplement appuyés

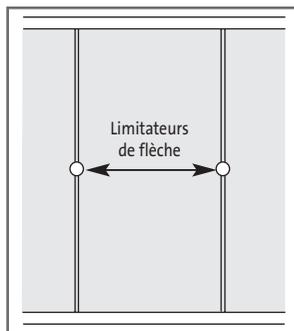


La détermination de l'épaisseur doit être faite avec :

- P1 ou P2 pour un calcul en pression ;
- (P1 – 0,5 x Pp) pour évaluer le soulèvement en dépression.

Maintiens ponctuels

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. Sa géométrie doit assurer une prise en feuillure de vitrage au moins égale à



Détermination des épaisseurs

20 mm. Le maintien ponctuel doit être assuré sans serrage du produit verrier. L'interposition d'une entretoise permet de limiter le serrage.

Le dimensionnement des vitrages avec la participation de ces dispositifs se fait de la façon suivante :

Ces formules sont uniquement valables lorsque le rapport hauteur/largeur est au plus égal à 1,5.

L'épaisseur "e" déterminée est à multiplier par le facteur d'équivalence E qui est fonction du type de vitrage (voir page 418).

1 maintien ponctuel au milieu du bord libre	2 maintiens ponctuels équidistants
$e_1 = \frac{L \times \sqrt{P}}{4,9} \times 0,625$	$e_1 = \frac{L \times \sqrt{P}}{4,9} \times 0,588$

Légende : L est le bord libre (m), P est la pression (Pa).

Vitrages d'aquarium ou hublots de piscine

SGG PLANILUX, SGG DIAMANT, SGG PLANIDUR, SGG SECURIT ou SGG SECURIPPOINT). Dans le cas contraire, l'épaisseur de la dalle est calculée avec la contrainte admissible du composant le moins performant.

Les dalles sont toujours façonnées (chant meulé, plat mat).

Les intercalaires des feuilletés sont en PVB, cependant ceux-ci ne sont pas considérés comme participant à la reprise des charges.

Sécurité

L'épaisseur des dalles d'aquarium est calculée avec un facteur de sécurité de l'ordre de 3,5. Ce facteur de sécurité tient compte de la permanence des charges avec un coefficient de "fatigue" minorateur.

Verre monolithique durci

En cas de casse accidentelle, dès que le verre est brisé, le bassin va se vider plus ou moins rapidement selon la nature de la casse. Il en résultera, sinon des

Les dalles d'aquarium ou de piscine en verre sont soumises à des charges hydrostatiques, augmentées éventuellement de charges uniformément réparties. Elles sont considérées comme des éléments de remplissage. En conséquence, elles ne doivent pas subir de déformations dues aux mouvements de la structure ou du sol.

Nature des produits verriers

Les dalles d'aquarium en verre sont réalisées en verre monolithique recuit ou durci, ou en verre feuilleté à plusieurs composants de même épaisseur. Les produits verriers sont en verre clair ou coloré.

Les composants des dalles feuilletées, participant à la reprise des charges, présentent tous des performances mécaniques identiques (verres

Détermination des épaisseurs

blessures, des dégâts matériels plus ou moins importants selon le volume de ce bassin.

Il est formellement déconseillé d'utiliser ce type de vitrage pour des bassins de contenance supérieure à 1 000 litres (1 m³). En aucun cas, ces bassins ne pourront recevoir une quelconque présence humaine.

Verre monolithique trempé

L'usage du verre monolithique trempé en aquariophilie est fortement déconseillé car, en cas de bris, il y a disparition complète et instantanée de la paroi et création d'une vague dévastatrice.

Verre feuilleté recuit, durci ou trempé

En cas de bris accidentel d'un des composants du feuilleté, le facteur de sécurité subsistant est encore suffisant pour assurer une sécurité temporaire permettant d'évacuer le public, sauver la flore et la faune avant de vider le bassin et de procéder au remplacement de la dalle sinistrée.

Mise en œuvre

Voir chapitre "Mise en œuvre", page 498.

Contraintes admissibles

Les contraintes admissibles à prendre en considération tiennent compte de la permanence des charges.

Type de vitrage	Contrainte admissible σ en MPa (N/mm ²)
Verre recuit	6
SGG PLANIDUR	12
SGG SECURIT	30
SGG SECURIPPOINT	50

Flèches admissibles

La flèche au centre du volume verrier, sous charge de service, n'excédera pas 1/200 de la plus petite dimension.

Méthode de calcul

L'épaisseur de la dalle de verre est fonction :

- de la hauteur d'eau ;
- du nombre d'appuis ;

avec :

- n = nombre de composants du feuilleté
n = 1 pour un verre monolithique ;
- e_n = épaisseur nominale d'un des composants (mm).
Tous les composants ont la même épaisseur ;
- β₁, β₂, β₃, β₄ = coefficients de Timoshenko dépendant du rapport Longueur/largeur ;
- q = hauteur d'eau mesurée à la base du clair de vue de la dalle (m) ;
- a = hauteur de la dalle (dimension du clair de vue en m) ;
- b = longueur de la dalle (dimension du clair de vue en m) ;
- σ = contrainte admissible en MPa (N/mm²).

La flèche de la dalle est calculée :

- au centre de la dalle pour les cas où la hauteur d'eau est supérieure à la hauteur du vitrage ;
- à l'endroit où la flèche est maximale quand la hauteur d'eau est égale à la hauteur du vitrage ;

Détermination des épaisseurs

avec :

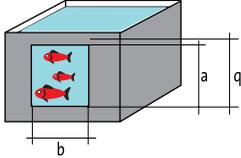
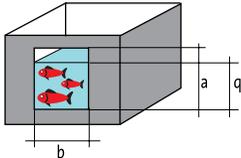
- f = flèche maximale ou flèche au centre de la dalle (m) ;
- α₁, α₂, α₃, α₄ et α₅ = coefficients de Timoshenko dépendant du rapport Longueur/largeur. Voir page 426.

L'épaisseur de chaque composant en fonction de la contrainte admissible et la flèche sont données, selon le type de dalle, par les relations décrites dans les pages suivantes. Si la flèche est supérieure à la flèche admissible, il y a lieu d'augmenter l'épaisseur de la dalle.

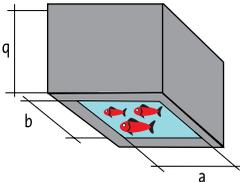
Dalle rectangulaire verticale en appui sur 4 côtés Dalle plus large que haute (voir tableau page 426)	
Hauteur d'eau supérieure à la hauteur du vitrage 	Epaisseur d'un composant $e_c = a \cdot \sqrt{\frac{\beta_2 \cdot 10^3 \cdot a + \beta_1 \cdot 10^3 \cdot (q-a)}{n \cdot \sigma}}$ Flèche maximale de la dalle $f = \frac{1,6 \cdot a^4}{e_n^3 \cdot n} \cdot (\alpha_2 \cdot a + \alpha_1 \cdot (q-a))$
Hauteur d'eau inférieure à la hauteur du vitrage* 	Epaisseur d'un composant $e_c = a \cdot \sqrt{\frac{\beta_2 \cdot 10^3 \cdot a}{n \cdot \sigma}}$ Flèche maximale de la dalle $f = \frac{1,6 \cdot \alpha_2 \cdot a^4}{e_n^3 \cdot n} \cdot q$

* Dans ce cas, les calculs sont effectués comme si la hauteur d'eau était au moins égale à la hauteur du vitrage.

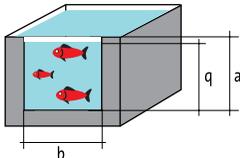
Détermination des épaisseurs

Dalle rectangulaire verticale en appui sur 4 côtés Dalle plus haute que large (voir tableau page 426)	
<p>Hauteur d'eau supérieure à la hauteur du vitrage</p> 	<p>Épaisseur d'un composant</p> $e_c = b \cdot \sqrt{\frac{\beta_3 \cdot 10^3 \cdot a + \beta_1 \cdot 10^3 \cdot (q-a)}{n \cdot \sigma}}$ <p>Flèche maximale de la dalle</p> $f = \frac{1,6 \cdot b^4}{e_n^3 \cdot n} \cdot (\alpha_3 \cdot a + \alpha_1 \cdot (q-a))$
<p>Hauteur d'eau inférieure à la hauteur du vitrage*</p> 	<p>Épaisseur d'un composant</p> $e_c = b \cdot \sqrt{\frac{\beta_3 \cdot 10^3 \cdot a}{n \cdot \sigma}}$ <p>Flèche maximale de la dalle</p> $f = \frac{1,6 \cdot \alpha_3 \cdot b^4 \cdot a}{e_n^3 \cdot n}$

*Dans ce cas, les calculs sont effectués comme si la hauteur d'eau était au moins égale à la hauteur du vitrage.

Dalle de fond rectangulaire	
 <p style="text-align: right;">a < b</p>	<p>Épaisseur d'un composant</p> $e_c = a \cdot \sqrt{\frac{\beta_1 \cdot 10^3 \cdot q}{n \cdot \sigma}}$ <p>Flèche maximale de la dalle</p> $f = 1,6 \cdot \frac{\alpha_1 \cdot a^5}{e_n^3 \cdot n} \cdot a^4 \cdot q$

Détermination des épaisseurs

Dalle rectangulaire verticale en appui sur 3 côtés* (voir tableau page 426)	
	<p>Épaisseur d'un composant</p> $e_c = b \cdot \sqrt{\frac{\beta_4 \cdot 10^3 \cdot q}{n \cdot \sigma}}$ <p>Flèche maximale de la dalle</p> $f = \frac{1,6 \cdot \alpha_4 \cdot b^4 \cdot a}{e_n^3 \cdot n}$

* Dans ce cas, les calculs sont effectués comme si la hauteur d'eau était au moins égale à la hauteur du vitrage

Détermination de l'épaisseur commerciale du feuilleté e_f

$e_f > e_c$
avec : $e_f = e_n \cdot x_n$
l'épaisseur de l'intercalaire est négligée.

Recommandations particulières

Les vitrages devront être exempts d'amorce de rupture. Les dalles rayées ou écaillées ne devront pas être utilisées. En cas de rayure après pose, notamment sur la face en extension, côté public, il est fortement recommandé de remplacer ces vitrages sans attendre.

Dalle verticale en appui sur 3 côtés*		
Rapport b/a	β_4	α_4
0,5	1,160	2,30
0,66	1,560	3,04
1,0	1,948	3,68
1,5	2,666	4,45
2,0	3,114	5,33
> 2	3,679	6,51

* Dans ce cas, les calculs sont effectués comme si la hauteur d'eau était au moins égale à la hauteur du vitrage

Détermination des épaisseurs

Valeurs des coefficients α et β pour le calcul des flèches

Dalle verticale plus large que haute, en appui sur 4 côtés

Rapport b/a	β_1 charge uniforme	β_2 charge triangulaire	α_1 charge uniforme	α_2 charge triangulaire
1,0	2,819	1,554	4,06	2,03
1,1	3,261	1,778	4,85	2,43
1,2	3,691	1,989	5,64	2,82
1,3	4,085	2,184	6,38	3,19
1,4	4,444	2,366	7,05	3,53
1,5	4,779	2,525	7,72	3,86
1,6	5,074	2,672	8,30	4,15
1,7	5,344	2,802	8,83	4,41
1,8	5,580	2,919	9,31	4,65
1,9	5,798	3,020	9,74	4,87
2,0	5,986	3,114	10,13	5,06
3,0	6,998	3,596	12,23	6,12
4,0	7,269	3,720	12,82	6,41
5,0	7,334	3,755	12,97	6,48
> 5,0	7,358	3,767	13,02	6,51

Dalle verticale plus haute que large, en appui sur 4 côtés

Rapport a/b	β_1 charge uniforme	β_3 charge triangulaire	α_1 charge uniforme	α_3 charge triangulaire	α'_3 charge triangulaire
1,0	2,819	1,554	4,06	2,02	2,02
1,1	3,261	1,678	4,85	2,43	2,45
1,2	3,691	1,901	5,64	2,82	2,86
1,3	4,085	2,119	6,38	3,19	3,25
1,4	4,444	2,331	7,05	3,53	3,63
1,5	4,779	2,519	7,72	3,86	3,99
1,6	5,074	2,690	8,30	4,15	4,32
1,7	5,344	2,855	8,83	4,41	4,63
1,8	5,580	2,996	9,31	4,65	4,91
1,9	5,798	3,137	9,74	4,87	5,18
2,0	5,986	3,261	10,13	5,06	5,42
3,0	6,998	4,208	12,23	6,12	7,07
4,0	7,269	4,827	12,82	6,41	8,32
5,0	7,334	5,162	12,97	6,48	9,65
> 5,0	7,358	5,515	13,02	6,51	9,76

Détermination des épaisseurs

Dalles de plancher et marches d'escalier en verre

Pour satisfaire au besoin de transparence et de lumière, les architectes intègrent, de plus en plus souvent dans leurs ouvrages, des plafonds, des planchers ou des escaliers transparents, en verre.

Devant l'augmentation de ces applications, les professionnels du verre ont élaboré, avec la collaboration des contrôleurs techniques et du CSTB, des règles de conception et de dimensionnement ; elles assurent la faisabilité des projets, en toute sécurité, pour les utilisateurs.

Les préconisations données s'appliquent au cas le plus simple d'un élément verrier, en appui continu sur tout son périmètre.

Les autres modes de maintien (fixations ou appuis ponctuels, appuis non périphériques, etc.) font l'objet d'une étude spécifique. Nous consulter.

Mise en œuvre

Voir "Mise en œuvre", pages 499-500.

Dimensionnement

Produits verriers

Les dalles de plancher ou les marches d'escalier sont, pour des raisons de sécurité, toujours des vitrages SGG STADIP PROTECT.

Leur composition habituelle comprend :
- deux composants verriers porteurs au minimum ;
- un verre de protection.

Tous les composants sont feuilletés. Les éléments verriers porteurs supportent les charges. Ils sont tous d'épaisseur égale ou supérieure à 8 mm et de performances mécaniques identiques (glace recuite, durcie ou trempée).

Le composant supérieur assure la protection des éléments porteurs contre les rayures et les chocs susceptibles de réduire leur résistance. Il ne participe pas à la reprise des charges.

Charges à prendre en compte

Les dalles de verre sont des éléments de remplissage et, de ce fait, elles ne doivent pas être considérées comme des "éléments structurels". Un élément est considéré comme "structurel" si sa défaillance ou sa disparition peut entraîner la perte de stabilité d'un ouvrage.

En conséquence, les dalles de plancher et les marches d'escalier en verre ne doivent pas subir de déformations dues aux mouvements de la structure ou du sol.

La dalle de plancher est soumise au poids propre g de ses composants. Lorsqu'elle est située en extérieur, la dalle est exposée aux charges climatiques de vent selon le DTU P 06-002 (NV65) modifié 99 et de neige selon le DTU P 06-006 (N84) modifié 95.

Les charges d'exploitation Q sont celles qui résultent de l'usage des locaux selon la norme NF P 06-001. Elles tiennent compte des effets dynamiques courants dus au déplacement des personnes et appareils légers, mais elles ne tiennent pas compte des phénomènes d'amplification

Détermination des épaisseurs

dynamique, dus à des causes particulières.

On distingue deux types de charges d'exploitation : la charge uniformément répartie permanente et la charge accidentelle concentrée. L'épaisseur des dalles de verre sera égale ou supérieure à celle qui est calculée avec l'une et l'autre des charges.

A défaut d'indication contraire et justifiée de la part du maître d'œuvre, on retiendra les charges présentées dans le tableau et une charge accidentelle concentrée de 2 kN appliquée sur une surface de 40 x 40 mm.

Épaisseur de la dalle de verre

L'épaisseur réelle du produit fini tient compte de l'épaisseur totale des composants verriers, des intercalaires et des tolérances de fabrication de chaque composant.

Charges d'exploitation* Q	
Nature du local	Charges uniformes (Pa)
Bâtiments d'habitation	
Plancher	1 500
Escalier	2 500
Balcon	3 500
Bâtiments de bureau	
Bureau	2 500
Circulation et escalier	
Hall de réception	
Salle de réunion ≤ 50 m ²	
Autres locaux	
Restaurant, café	2 500
Hall où le public se déplace	4 000
Salle d'exposition < 50 m ²	2 500
Salle d'exposition ≥ 50 m ²	3 500
Salle de théâtre	4 000
Salle de réunion, amphithéâtre	4 000
Bibliothèque	4 000
Salle de danse	5 000
Boutique et annexes	5 000

* Selon NF P 06-001.

Composant de protection

Le composant supérieur de protection a une épaisseur suffisante pour résister à une charge de poinçonnement conformément à la norme NF P 06-001. Cette épaisseur est fonction de l'épaisseur des films PVB qui assemblent ce constituant aux autres composants porteurs, voir tableau ci-dessous.

Épaisseur du PVB (mm)	Composant verrier de protection	
	Verre recuit	Verre trempé
0,76	6	6
1,52	8	6
2,28	10	6

Composants porteurs

Trois types de vérification sont à effectuer :

- l'Etat Limite Ultime (ELU) fondamental ;

Détermination des épaisseurs

- l'Etat Limite Ultime (ELU) accidentel ;
- l'Etat Limite de Service (ELS).

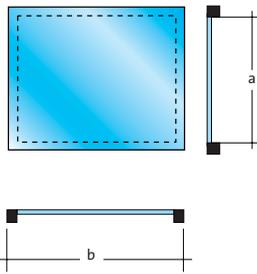
L'épaisseur minimale retenue est égale à la plus forte épaisseur obtenue en effectuant ces trois vérifications (voir tableaux ci-dessous). Cette méthode de calcul tient compte de la nature des charges ; elle ne s'applique pas aux compositions asymétriques.

On considère que les intercalaires ne participent pas à la reprise des efforts engendrés par la charge d'exploitation.

Le composant supérieur de protection n'est pas pris en considération pour le calcul des épaisseurs, hormis la prise en compte de son poids propre.

Calcul des épaisseurs minimales pour des dalles en appui sur leur périphérie

ELU fondamental



$$e_p = \sqrt{\frac{\beta \cdot p \cdot a^2}{n \cdot \sigma}}$$

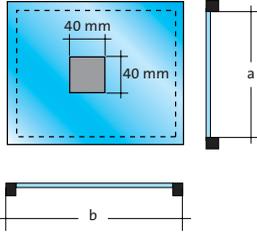
Charges à considérer

Poids propre
 $p = 1,35 \text{ g}$ avec $g = 24,5(n \cdot e_p + e_j)$ (Pa)

Poids propre + charges d'exploitation + charges climatiques
 $p = 1,35 \text{ g} + 1,5 \text{ Q} + W$ (Pa)
 $p = 1,35 \text{ g} + 1,5 \text{ Q} + S$ (Pa)

Pour les planchers intérieurs des bâtiments clos, les charges climatiques ne sont pas prises en compte.

ELU accidentel



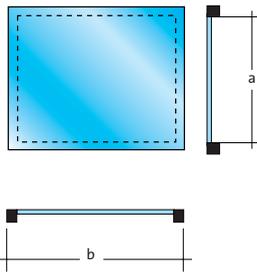
$$e_p = \sqrt{\frac{\beta \cdot g \cdot a^2 + \beta_1 \cdot F}{n \cdot \sigma}}$$

Charges à considérer

Poids propre + charge concentrée accidentelle
 $g = 24,5 (n \cdot e_p + e_j)$, poids propre de la dalle (Pa)
 $F =$ charge concentrée accidentelle (N)

Détermination des épaisseurs

ELS



$$f = \frac{\alpha \cdot p \cdot a^4}{n \cdot E \cdot e_p^3}$$

Charges à considérer

Poids propre + charges d'exploitation + charges climatiques
 $p = g + Q + 0,77 W$ (Pa)
 $p = g + Q + 0,77 S$ (Pa)

Pour les planchers intérieurs des bâtiments clos, les charges climatiques ne sont pas prises en compte.

Critère

La flèche au centre de la dalle n'excédera pas 1/500^e de la plus petite dimension de la dalle.

- e_p = épaisseur de chaque composant porteur du feuilleté (mm).
 e_s = épaisseur du composant supérieur de protection (mm).
 n = nombre de composants porteurs du feuilleté, tous d'épaisseur identique.
 a = longueur du petit côté de la dalle (m).
 p = charge uniformément répartie (Pa).
 σ = contrainte admissible (MPa), voir tableau ci-dessous.
 f = flèche au centre de la dalle (mm).

- β = coefficient de Timoshenko dépendant du rapport Longueur/largeur, voir tableau ci-contre.
 β_1 = coefficient de Timoshenko, pour la charge concentrée accidentelle, dépendant du rapport Longueur/largeur, voir tableau ci-contre.
 α = coefficient de Timoshenko dépendant du rapport Longueur/largeur, voir tableau ci-contre.

Contraintes admissibles σ

	Charges	Type de vitrage		
		Recuit	Durci	Trempé
ELU fondamental	1,35 g	5,6 Mpa	sans objet	
	1,35 g + 1,5 Q + W	11,3 MPa	17,5 MPa	30 MPa
	1,35 g + 1,5 Q + s			
ELU accidentel	g + F	11,3 MPa	17,5 MPa	30 MPa

Détermination des épaisseurs

E = module d'Young du verre (70 000 MPa).

g = poids propre du vitrage,
 $g = 24,5 (n \cdot e_s + e_s)$, (Pa).

W = charge climatique de vent selon le DTU P 06-002 (NV65) modifié 99, (Pa).

S = charge climatique de neige selon le DTU P 06-006 (N84) modifié 95, (Pa).

Q = charge d'exploitation selon la norme NF P 06-001, (Pa).

F = charge concentrée accidentelle, (N).

Paramètres de calcul

Valeurs des coefficients α et β
 pour le calcul de l'épaisseur et de la flèche sous charge uniformément répartie pour quelques valeurs du rapport Longueur/largeur.

b/a	α	β
1,0	44 300	0,2668
1,1	53 000	0,3138
1,2	61 600	0,3583
1,3	69 700	0,3999
1,4	77 000	0,4382
1,5	84 300	0,4732
1,6	90 600	0,5048
1,7	96 400	0,5332
1,8	101 700	0,5587
1,9	106 400	0,5815
2,0	110 600	0,6017
3,0	133 600	0,7105
4	140 000	0,7400
5	141 600	0,7476
∞	142 200	0,7500

Valeurs des coefficients β_1
 pour le calcul de l'épaisseur dans le cas d'une charge localisée pour quelques valeurs du rapport Longueur/largeur.

b/a	β_1			
	a \geq 1,6	a = 0,8	a = 0,4	a \leq 0,2
1,0	2,44	1,97	1,58	1,17
1,1	2,55	2,03	1,63	1,24
1,2	2,59	2,08	1,68	1,28
1,3	2,61	2,11	1,72	1,32
1,4	2,62	2,15	1,75	1,35
1,5	2,64	2,18	1,78	1,38
1,6	2,64	2,18	1,78	1,39
1,8	2,65	2,18	1,78	1,42
2,0	2,66	2,22	1,82	1,43
\geq 5,0	2,71	2,26	1,86	1,46