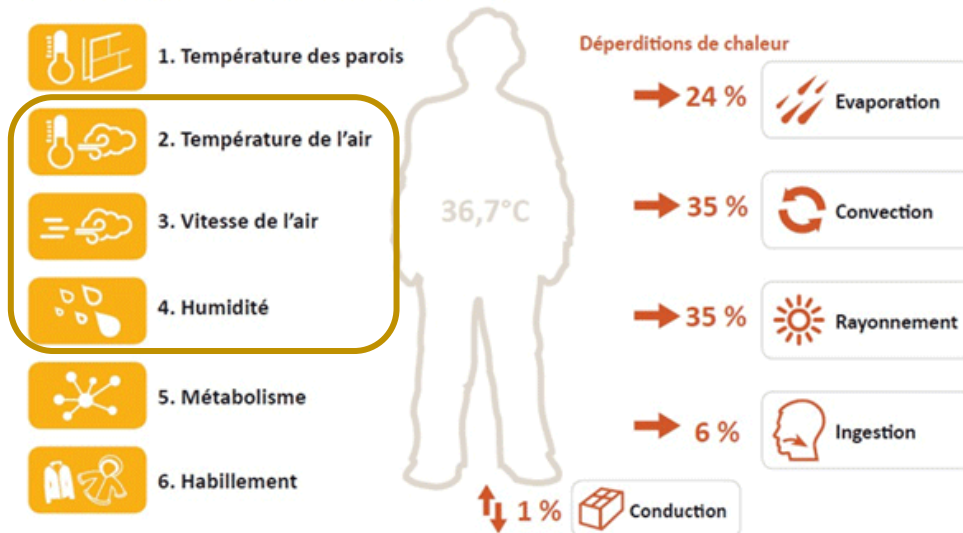


## I/ Rappel : confort d'été et confort hygrothermique

### Les 6 paramètres influant sur le confort hygrothermique

Le bilan énergétique concerne une personne en position statique.



Source : Bourgogne Bâtiment Durable (« Bâtiment intelligent et qualité d'usage », Les Cahiers de la construction durable en Bourgogne n°4, Décembre 2013) d'après traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, Alain Liébard et Alain de Herde, Observ'ER 2005

Lorsque les températures extérieures sont globalement élevées, l'amélioration du confort des occupants **nécessitent de mettre en œuvre un ensemble d'actions qui vont jouer sur ces 6 paramètres** afin de maintenir un échange thermique satisfaisant entre l'individu et son environnement.

En matière de température d'air, on considère un seuil de confort d'été à 28°C (température opérative « ambiance+parois » ressenties par les occupants). **Le maintien ou l'amélioration du confort d'été consiste donc à limiter le nombre d'heures d'occupation > à 28°C.** On considère en général les seuils suivants dans les études :

- ▶ **Nombre d'heures d'inconfort inférieur à 40h ou 50h**
- ▶ **Température opérative maximale < 34°C en confort passif pour les périodes de forte chaleur (canicule)**

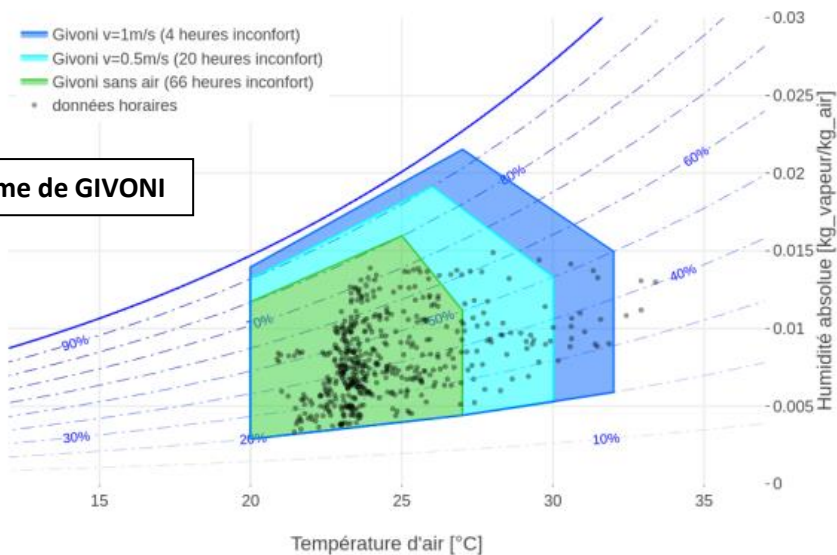
Mais ce critère de la température opérative ne suffit pas pour considérer le confort estival dans les bâtiments. Il faut également prendre en compte **la vitesse d'air et l'humidité** (cf. diagramme de Givoni ci-après).

Ainsi, pour une humidité relative comprise entre 20 et 50% et une vitesse d'air de 1 m/s, la zone de confort d'un occupant peut-être maintenue au-delà de 30°C (température opérative). Une vitesse d'air de 1 m/s peut abaisser la température ressentie par les occupants jusque 4°C. Ces mouvements d'air peuvent être créés par la ventilation naturelle ou des brasseurs d'air.



Figure 42 : Brasseurs d'air de plafond avec et sans pale

### Confort hydrothermique



**Exemple de diagramme de GIVONI**

Figure 63 : Diagramme de Givoni pendant les périodes d'occupation du 1<sup>er</sup> avril au 30 septembre-configuration#82

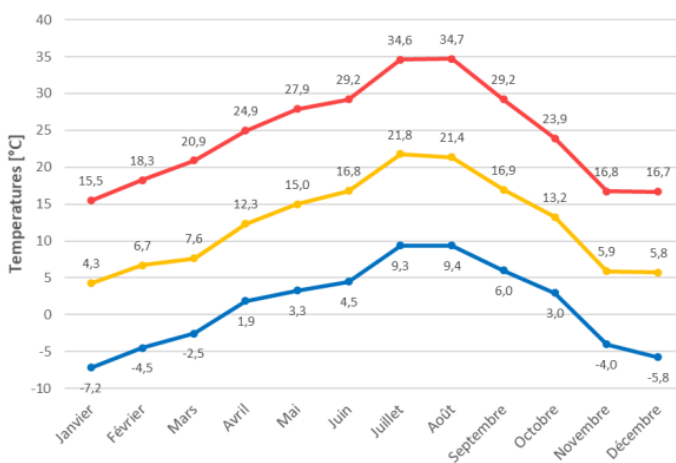
## II/ Etude de cas à partir de résultats de simulations thermiques dynamiques

Les résultats présentés ci-après sont ceux d'une STD réalisée sur une école de la ville de Grenoble par le bureau d'études OTEIS.

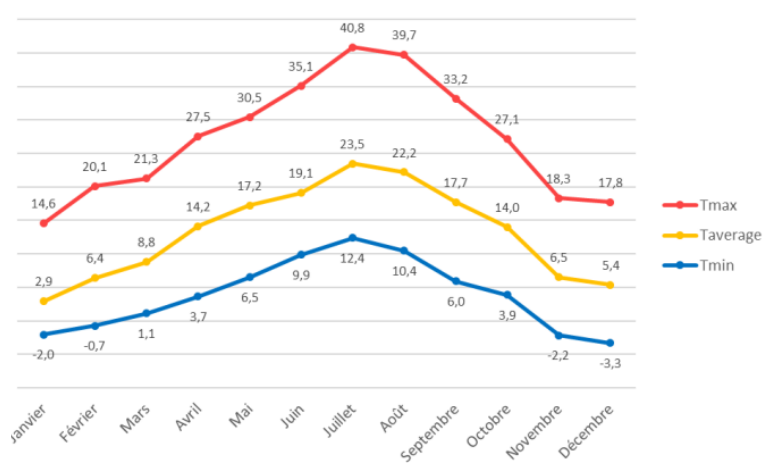
Une STD est un outil de modélisation qui permet de simuler le comportement thermique d'un bâtiment dans son environnement. A partir d'un modèle initial basé sur le fonctionnement et l'état existant (avec prise en compte d'hypothèses de comportements des occupants : utilisation des stores existants, de l'éclairage artificiel, pratique d'aération, etc.), l'étude permet d'étudier l'impact de différentes solutions d'amélioration du confort estival pour établir des scénarios de travaux, à partir de solutions dites « passives ».

### Impact de la chaleur « urbaine » et choix du fichier météo dans les études

Possibilité de mieux prendre en compte le « climat urbain grenoblois » avec la station météo « Grenoble-CEA »

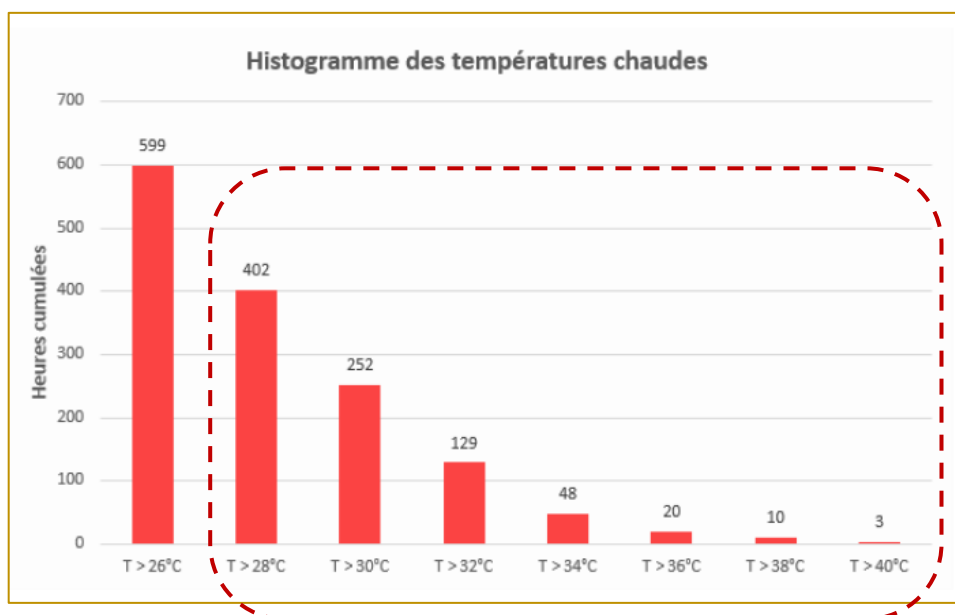


Températures mensuelles min, max et moy - Données station « Grenoble-Isère » 2020



Températures mensuelles min, max et moy - Données station « Grenoble-CEA » 2020

le graphique ci-après montre la situation de l'école étudiée avec une mise en perspective de la température extérieure et des horaires d'occupation : on voit qu'en 2020 les températures mesurées à la station Grenoble CEA durant les périodes d'occupation de **l'école dépassent 28°C pendant 28h**. Ce niveau est particulièrement élevé et **donne des températures intérieures supérieures** car il faut ajouter la chaleur interne et accumulée dans le bâtiments (apports solaires, occupants, éclairage, informatique...).



## 1 - Impact des protections solaires

Comparaison de différentes solutions (résultats de STD – source : BET OTEIS)



Figure 33 : salle de classe modélisée

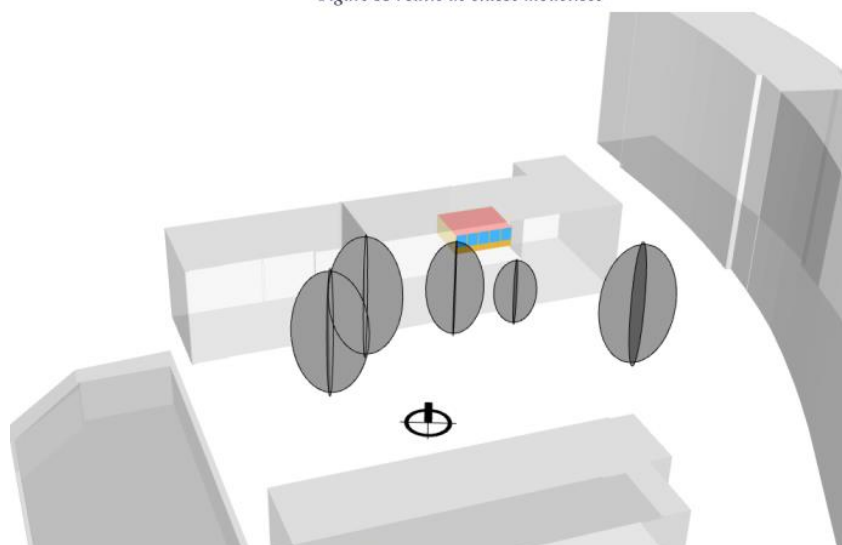


Figure 34 : modélisation de la classe dans son contexte



travaux	Tmax	Nbe d'heures >28°C	Cout unitaire	Cout / classe
Existant sans prise en compte des arbres (stores extérieurs en toile anciens)	38,7°C	100		
Existant avec prise en compte de l'ombrage (partiel) lié aux arbres implantés	38,1°C	91		
film solaire sur le vitrage en remplacement des stores existants	36,7°C	73	50 €HT/m <sup>2</sup>	736
Implantation d'arbres supplémentaires, proches de la façade	36°C	53		
Mise en place d'une casquette de 1m de large (pour façades sud)	35,2°C	55	Casquette pleine : 459 €HT/m <sup>2</sup>	3 905
			Brise-soleil à lames fixes : 558 €HT/m <sup>2</sup>	4 741
Mise en place d'une casquette de 2m de large (pour façades sud)	34,9°C	47		
Protection solaire extérieure plus efficace (type BSO)	34,4°C	39	BSO motorisé : 280 €HT/m <sup>2</sup>	4 124
			Store toile motorisé : 252 €HT/m <sup>2</sup>	3 711
film solaire sur le vitrage + brasseurs d'air en plafond avec vitesse 0,5 m/s		39	brasseurs d'air à pales : 520 €	2 400
film solaire sur le vitrage + brasseurs d'air en plafond avec vitesse 1 m/s		22	brasseurs d'air sans pales : 850 €	3 300
Double-vitrage à contrôle solaire et stores intérieurs	37,4°C	99		

- ▶ L'implantation d'arbres permet de lutter contre les îlots de chaleur **mais peut offrir également une protection solaire efficace.**
- ▶ Les films solaires apparaissent un peu moins performants mais restent **une alternative pertinente lorsqu'il n'est pas possible d'installer des stores extérieurs pour des raisons techniques ou d'usage** (un couloir ou personne ne pensera à gérer les stores, etc.). Ils peuvent être envisagés également sur des vitrages « anciens », dans l'attente d'une rénovation plus globale. Leur rapport cout / facilité de pose en fait une solution rapide à mettre en œuvre.  
**Couplée avec des brasseurs d'air, cette solution est au niveau des protections solaires performantes.**

► Les stores extérieurs performante ( $g_{tot} < 0,10$ ) **offrent les meilleurs résultats en terme de protection estivale** mais ce résultat est à nuancer selon le type de store installé :

- Les BSO reste la **solution de référence** avec un niveau de filtration proche de 100% et une souplesse de gestion au niveau de la luminosité grâce aux lames orientables.

- Les stores toiles performants offrent également une très bonne protection mais ils réduisent plus sensiblement la transmission lumineuse, ce qui induit un moindre confort visuel et renforce potentiellement le besoin en éclairage artificiel (générateur d'apports internes). Cela peut se traduire aussi par une moindre utilisation dans la pratique (stores baissées partiellement pour conserver de la lumière naturelle). Dans les simulations, selon les hypothèse prises, cela peut entraîner des écarts sensibles de résultats.

**A noter** : l'impact des stores est d'autant plus sensible que les surfaces vitrées sont importantes. Toutefois, **au-delà de 20 à 25% de surfaces vitrées, le bâtiment présente une forte perméabilité à la chaleur**, même avec des protections solaires performantes (le vitrage est un point faible et favorise les échanges thermiques par conduction entre l'intérieur et l'extérieur).

#### Exemple d'impact du type de protection solaire et de son niveau d'utilisation

	<b>Nbe d'heures &gt; 27°C</b>
Stores existants	<b>133</b>
Stores toiles ( $g_{tot}=0,12$ ) avec occultation à 60%	<b>44</b>
BSO ( $g_{tot}<0,10$ ) avec occultation 80%	<b>5</b>

source : BET canopée

## **2 - Impact de la ventilation nocturne**

La ventilation nocturne permet de décharger le bâtiment d'une partie de la chaleur accumulée la nuit. L'étude montre que le gain de confort est sensible le matin mais ce bénéfice peut-être « annulé » plus ou moins rapidement selon la « réponse thermique estivale du bâtiment ». Si les apports internes/externes sont importants, la température remontera vite.

Cette ventilation peut-être « naturelle » ou « mécanique », **pour un résultat sensiblement identique sur le gain de température.**

► **Une ventilation naturelle efficace** nécessite des surfaces ouvertes sur l'extérieure de l'ordre de 2 à 4 % de la surface au sol des locaux. (source : « [www.energieplus-lesite.be](http://www.energieplus-lesite.be) ») ce qui peut poser des problèmes du point de la sécurité et nécessite des aménagements spécifiques (grilles anti-intrusion,...). L'ouverture doit être également planifiée (mécaniquement dans l'idéal).

► **Une ventilation mécanique nocturne efficace** nécessite des débit élevés\* et un pilotage en fonction au potentiel de rafraîchissement\*\* disponible pour ne pas surconsommer inutilement.

A noter aussi qu'une VMC double flux peut dégrader légèrement le confort estival à l'échelle d'une journée car elle accélère les transferts d'air extérieur vers l'intérieur. C'est particulièrement vrai dans le cas des salles de classe où les débits de renouvellement sont élevés (20 à 30 m<sup>3</sup>/h par enfant). **La fonction première de la VMC reste la qualité d'air intérieur.**

\*3 à 4 vol/h mini, ce qui correspond au niveau de ventilation d'une salle de classe en journée

\*\* pilotage en fonction du différentiel de température extérieur/intérieur

travaux	Tmax	Nbe d'heures >28°C	Cout unitaire	Cout pour la classe
<b>Existant</b>	38,1 °C	<b>91</b>		
Ventilation naturelle anticipée à 6h du matin	37,1 °C	<b>87</b>		
Ventilation naturelle nocturne	35,9 °C	<b>76</b>		
Ventilation double flux 30m <sup>3</sup> /h.pers en journée + ventilation naturelle nocturne ( <i>hors adiabatique</i> )	35,9 °C	<b>76</b>	VMC : 18 €/(m <sup>3</sup> /h) module adiabatique : <b>2 €/(m<sup>3</sup> /h)</b>	16 200 Ou 18 000
Ventilation double flux 30m <sup>3</sup> /h.pers + ventilation mécanique nocturne à partir de minuit en semaine ( <i>hors adiabatique</i> )	35,4 °C	<b>60</b>	VMC : 18 €/(m <sup>3</sup> /h) module adiabatique : <b>2 €/(m<sup>3</sup> /h)</b>	16 200 Ou 18 000

### 3 - Impact de l'isolation

le degré d'isolation de la toiture **peu impacter fortement le confort estival** car cette « 5eme façade » est la plus exposée au rayonnement solaire.

L'isolation des murs n'améliore pas en soit le confort estival et peut même entraîner une forte dégradation si les protections solaires et la ventilation nocturne sont insuffisantes. Un ravalement de façade avec isolation peut-être l'occasion **de réduire les surfaces vitrées** et de prévoir des ouvrants pour assurer une ventilation naturelle nocturne.

Dans le cas étudié ici, l'isolation de la toiture n'est pas prise en compte car jugée suffisamment performante.

Exemple de gain sur école avec une isolation initiale en comble perdu très faible

travaux	Tmax	Nbe d'heures >28°C
<b>Existant</b>	38.6 °C	<b>73</b>
Isolation mur - 20cm	38.7 °C	75
Isolation toiture - 20cm	34.8 °C	45
Isolation mur + toiture - 20cm	34.7 °C	46

source : BET OTEIS (sur une autre école)

### 4 - Impact de l'éclairage

Le type de source d'éclairage (fluo, LED) influe peu sur le niveau d'apports internes en été dans les locaux bénéficiant d'un bon éclairage naturel. **Il faut surtout regarder les durées d'éclairage et les puissances installées** et s'intéresser aux pièces recevant peu de lumière naturelle (ou équipées stores occultants / volets fermés en journée).

## 5 - Impact global : combinaison des solutions

	Protections solaires			Amélioration Isolation thermique		Ventilation		Tmax	Nombre d'Heures >28°C	Besoin [kWh/m <sup>2</sup> .an]		Coûts d'investissement [€HT/classe]
	Film sur le vitrage	Extérieures efficaces	Vitrage contrôle solaire	Isolation extérieure 20cm	Double-vitrage	Mécanique Double-flux	Naturelle nocturne			Chauffage	Éclairage	
#1								38,1 °C	91	17,4	1,5	
#82		X		X	X	X	X	33,4 °C	40	0,7	2,6	27 000

La rénovation globale de l'école étudiée permet de réduire **signifiquement la température maximum atteinte (33°C)** ainsi que **le nombre d'heures d'inconfort (40h)**.

Cette situation peut être encore améliorée avec des bauseurs d'air, qui ramèneraient le nombre **d'heure d'inconfort à 20h** avec une vitesse d'air de 0,5m/s et **5 heures** pour une vitesse d'air de 1 m/s.

Il a noter que les gains en confort estival proviennent essentiellement **des protections solaires extérieures couplées à la ventilation naturelle nocturne par ouvrants protégés**. L'isolation, le changement des fenêtres et l'installation d'une VMC double-flux relèvent plutôt d'une logique de rénovation thermique globale visant à réduire les consommations et améliorer la qualité d'air.

**Dans le cas d'épisodes caniculaires**, les solutions de refroidissement actives peu consommatrices, telles que les brasseurs d'air ou un refroidissement adiabatique **deviennent nécessaires** pour permettre **de ramener les températures d'air et la température ressentie dans la zone de confort thermique (temp sup 28°C < 50h)**.

### III/ Choix des stores « toile » : focus sur la norme EN 14501

la norme EN 14501 : « *Fermetures et stores - Confort thermique et lumineux - Caractérisation des performances et classification* » définit **un coefficient (g<sub>tot</sub>)** qui caractérise l'énergie solaire qui va effectivement pénétrée dans la pièce à travers le store et le vitrage. Un « g<sub>tot</sub> » faible indique une bonne performance thermique.

La norme EN 14501 définit la classification suivante :

Classes de facteur solaire total g<sub>tot</sub> (selon EN 14501)

Classe	g <sub>tot</sub> <sup>1</sup>	Evaluation
4	g <sub>tot</sub> < 0,10	Très bon effet
3	0,10 ≤ g <sub>tot</sub> < 0,15	Bon effet
2	0,15 ≤ g <sub>tot</sub> < 0,35	Effet modéré
1	0,35 ≤ g <sub>tot</sub> < 0,50	Peu d'effet
0	g <sub>tot</sub> ≥ 0,50	Très peu d'effet

<sup>1</sup> Facteur solaire total « vitrage + textile »

La valeur du facteur solaire total g<sub>tot</sub> prend en compte la performance du textile mais **également celle du vitrage** auquel il est associé.

La norme EN 14501 a donc défini quatre vitrages de référence servant au calcul du facteur solaire total. Les performances de ces quatre vitrages sont présentées ci-dessous.

### Propriétés des vitrages de référence (selon EN 14501)

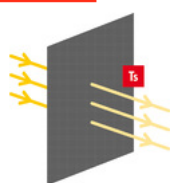
Vitrage	U <sup>2</sup>	g <sup>3</sup>
A : simple vitrage clair	5,8	0,85
B : double vitrage isolant	2,9	0,76
C : double vitrage isolant faiblement émissif	1,2	0,59
D : double vitrage isolant avec contrôle solaire	1,1	0,32

<sup>2</sup> Coefficient de transmission thermique du vitrage seul (W/m<sup>2</sup>K)

<sup>3</sup> Facteur solaire du vitrage seul

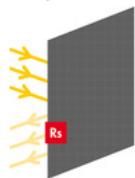
La norme définit le vitrage C comme le vitrage par défaut (lorsque le vitrage avec lequel les calculs ont été réalisés n'est pas indiqué par le fabricant).

## LES INDICES THERMIQUES



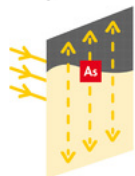
### Transmission Solaire

Proportion du rayonnement solaire traversant le tissu seul. Un pourcentage faible indique une bonne réduction de l'énergie solaire par le tissu.



### Réflexion Solaire

Proportion du rayonnement solaire réfléchi par le tissu. Un pourcentage élevé indique une bonne réflexion de l'énergie solaire par le tissu.



### Absorption Solaire

Proportion du rayonnement solaire absorbée par le tissu seul. Un pourcentage faible indique une absorption faible de l'énergie solaire par le tissu.

Exemple de valeurs selon la norme EN 14501 (<https://www.sunscreen-mermet.fr/gammes/gamme/external-screen-classic.html>)

VALEURS THERMIQUES ET OPTIQUES selon la norme européenne EN 14501						
NATTÉ 4503 - OF 3%	Valeurs thermiques					Valeurs optiques
	Tissu			Tissu + Vitrage / gtot extérieur		Tv
Coloris	Ts	Rs	As	C : gv = 0,59	D : gv = 0,32	
0202 Blanc	18	68	14	0,14	0,08	18
0220 Blanc Lin	18	61	21	0,13	0,07	17
0207 Blanc Perle	14	52	34	0,11	0,07	13
0702 Perle Blanc	14	50	36	0,10	0,07	12
0720 Perle Lin	14	44	42	0,10	0,07	12
0210 Blanc Sable	14	54	32	0,10	0,07	11
0707 Perle	12	37	51	0,09	0,06	11
0710 Perle Sable	12	39	49	0,09	0,06	10
0201 Blanc Gris	10	42	48	0,08	0,04	7
0701 Perle Gris	9	29	62	0,07	0,05	7
0102 Gris Blanc	8	38	54	0,07	0,04	6
0110 Gris Sable	7	29	64	0,06	0,05	5
0101 Gris	6	20	74	0,05	0,04	4
3006 Charcoal Bronze	4	7	89	0,05	0,04	4
3030 Charcoal	4	6	90	0,05	0,04	4
3001 Charcoal Gris	4	11	85	0,05	0,04	3

gv = 0,59 : facteur solaire du vitrage de référence (C), double vitrage 4/16/4 peu émissif rempli à l'Argon (facteur de transmission thermique U = 1,2 W/m<sup>2</sup> K).  
gv = 0,32 : facteur solaire du vitrage de référence (D), double vitrage réfléchissant 4/16/4 peu émissif rempli à l'Argon (facteur de transmission thermique U = 1,1 W/m<sup>2</sup> K).  
Classification de confort selon la norme EN 14501 : ● très peu d'effet ● peu d'effet ● effet moyen ● bon effet ● très bon effet  
Échantillons testés selon la norme EN 14500 fixant les méthodes de mesure et de calcul en référence à la norme "dispositifs de protection solaire combinés à un vitrage - calcul du facteur de transmission solaire et lumineuse - partie 2 : EN 13363-2 méthode détaillée" et la norme EN 410 "verre dans la construction - Détermination des caractéristiques lumineuses et solaires des vitrages".