



# **QUEL VITRAGE ASSOCIER AVEC UNE PROTECTION SOLAIRE MOBILE POUR LE CONFORT & LA QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE ?**

Une étude réalisée par  Arcora

**SAINT-GOBAIN GLASS**



## CONTENU

- 01 **Contexte  
& objectif**
- 02 **Approche  
& méthodologie**
- 03 **Vue d'ensemble  
des résultats**

# 01 Contexte & objectif



SAINT-GOBAIN GLASS

# Contexte

---



**Le confort intérieur est un enjeu majeur, amplifié par le réchauffement climatique.**

Le choix du système de protection solaire devient d'autant plus clé.

**Les vitrages de contrôle solaire constituent une solution robuste car ils :**

- Sont mieux adaptés aux évolutions climatiques.
- Sont moins sensibles aux aléas d'usage des stores.
- Optimisent la lumière naturelle et la vue extérieure.
- Garantissent l'efficacité thermique du bâtiment.



# Objectif



Face à ces constats, l'objectif était de mesurer concrètement :

- + L'impact de différents vitrages associés à une protection solaire mobile sur le **confort intérieur** et la **performance environnementale**.
- + La **sensibilité** aux aléas d'usage des stores (programmation, comportements, maintenance).
- + L'effet du **réchauffement climatique à horizon 2050** sur ces paramètres.



Des études ont été réalisées par le Groupe Ingérop et ses filiales spécialisées Arcora et Actierra pour fournir des données fiables, afin d'orienter les choix de conception et d'identifier les solutions les plus performantes et résilientes dans la durée.

02

## Approche & méthodologie

SAINT-GOBAIN GLASS

# Approche & méthodologie

---

Les résultats présentés ici sont issus d'études menées entre janvier 2023 et juillet 2024 par le groupe Ingérop, et ses deux filiales spécialisées :



Bureau d'études expert dans le domaine des enveloppes et structures de bâtiment



Ingénierie conseil spécialisée dans la transition écologique

Ces études visent à évaluer l'impact environnemental de façades intégrant des vitrages Saint-Gobain Glass, au regard de la **RE2020**, ainsi que de nombreux indicateurs de confort définis dans les labels **HQE et LEED**.

Les simulations ont été réalisées pour les climats de **Paris et Marseille**, en conditions actuelles et selon un scénario climatique projeté à **l'horizon 2050**. Elles reposent sur des **modélisations thermiques, énergétiques et d'éclairage naturel aux méthodologies validées scientifiquement**, ainsi que sur une **analyse de cycle de vie dynamique**, conforme aux référentiels français.

**La méthodologie complète et l'ensemble des données sont publiées dans un rapport technique disponible sur demande.**

# Représentativité des résultats

---



L'objectif de cette étude n'a jamais été de faire émerger l'archétype d'un bâtiment idéal. Cet exercice serait vain tant chaque projet est spécifique à son site, son programme, sa culture, et de l'interprétation architecturale et technique qui permettra de traduire in fine le projet en réalité.

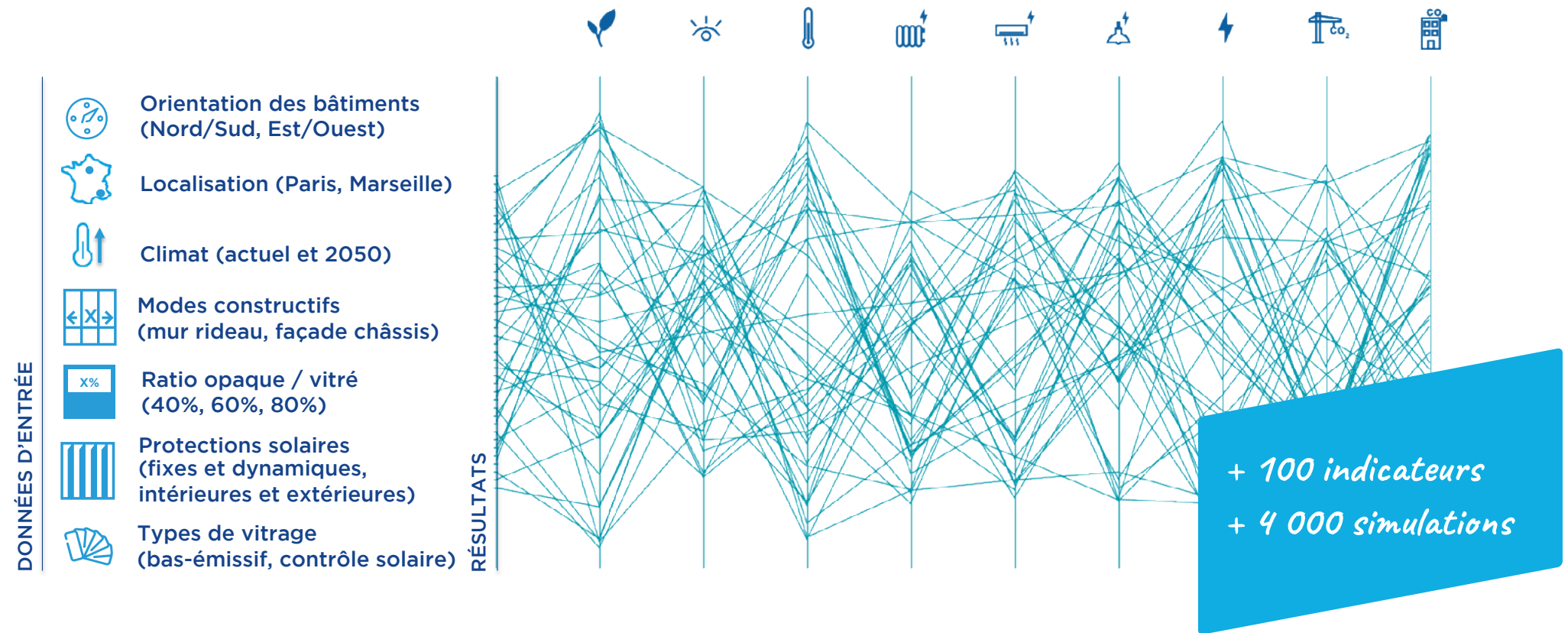
L'objectif de l'étude était bien d'apprécier, dans le cadre d'une modélisation se voulant aussi représentative que possible, d'une part, la sensibilité des indicateurs de performance aux différents paramètres définis comme variables d'exploration et, d'autre part, les tendances se dégageant en faveur de certains choix constructifs par rapport à d'autres, et en particulier en ce qui concerne les différents vitrages à couche produits par Saint-Gobain Glass.



Arcora

# Représentativité des résultats

Les résultats sont obtenus au moyen de calculs RE2020, de simulations énergétiques dynamiques, de modèles d'éclairage naturel et d'analyses de cycle de vie. Les calculs sont réalisés pour des **bâtiments de bureaux**, représentatifs des standards de la **construction neuve en France**.



# Glossaire

## Température opérative

La température opérative est définie (ISO 7730 / ISO 7726) comme la **température uniforme d'une enceinte fictive** dans laquelle une personne échangerait la même quantité de chaleur par convection et rayonnement que dans l'environnement réel. Elle combine la température de l'air et la température des parois environnantes. C'est la température "*que ressent réellement le corps humain*". Elle ne dépend pas seulement de la température de l'air, mais aussi de la chaleur ou de la fraîcheur des murs, fenêtres, etc. C'est donc un indicateur beaucoup plus fidèle du confort thermique.

## PMV — Predicted Mean Vote

Selon la norme ISO 7730, le PMV est un indice qui prédit la **sensation thermique moyenne** ressentie par un grand groupe de personnes, sur une échelle de -3 (très froid) à +3 (très chaud). Il se base sur le **bilan thermique du corps humain** (métabolisme, vêtements, température, humidité, vitesse d'air...). *Le PMV indique si des occupants risquent d'avoir froid, chaud, ou d'être confortables.* Un PMV proche de 0 = la plupart des gens se sentent bien.

## DA — Daylight Autonomy

La Daylight Autonomy est le **pourcentage d'heures annuelles** où un point d'un espace dépasse un **niveau d'éclairement choisi** (ex. 300 lux), uniquement grâce à la lumière naturelle. C'est un indicateur dynamique basé sur les données climatiques. *Elle mesure le temps pendant lequel une pièce est suffisamment éclairée naturellement sans allumer la lumière.* Plus la DA est élevée, plus l'espace est "autonome" en lumière naturelle.

## sDA — Spatial Daylight Autonomy

Définie dans IES LM 83, la sDA correspond au **pourcentage de surface de plancher** recevant au moins **300 lux pendant 50 %** des heures annuelles d'occupation. *Elle indique quelle partie d'une pièce est bien éclairée naturellement sur l'année.*

## ASE — Annual Sunlight Exposure

L'ASE (IES LM 83) mesure le **pourcentage de surface** recevant plus de **1000 lux de soleil direct** pendant plus de **250 heures par an**, ce qui peut créer inconfort et surchauffe. *Elle mesure le risque « d'excès de soleil ».* Si l'ASE est élevée, la pièce risque d'être éblouissante ou trop chaude.

## UDI — Useful Daylight Illuminance

L'UDI mesure la proportion du temps où l'éclairement naturel est dans une plage utile, en général entre 100 et 3000 lux. Elle indique quand la lumière du jour est "juste comme il faut" : ni trop faible, ni trop forte. L'UDI > 300 lux sert aussi à caractériser la proportion du temps où un point d'un espace reçoit « trop de lumière » et est exposé à un risque d'éblouissement

## Norme ISO 7730

Cette norme internationale définit l'évaluation du **confort thermique** à l'aide des indices PMV, PPD et de critères d'inconfort local. Elle établit les conditions acceptables dans les environnements modérés. *C'est la norme de référence mondiale pour mesurer le confort thermique ressenti par les occupants dans les bâtiments.*

## Norme EN 17037 — Lumière du jour dans les bâtiments

La norme européenne EN 17037 décrit quatre exigences : **apport de lumière naturelle, vue vers l'extérieur, exposition au soleil, protection contre l'éblouissement.** Elle propose plusieurs niveaux de performance. *C'est la norme européenne qui définit ce qu'est un bon éclairage naturel dans un bâtiment.*

## Vitrage ITR / vitrage basse émissivité

Un vitrage low E comporte un **revêtement métallique très fin** qui réduit l'**émissivité**, limitant les pertes de chaleur en hiver, tout en laissant entrer la lumière visible. Il améliore fortement l'isolation.

## Vitrage de contrôle solaire

Un vitrage de contrôle solaire intègre une couche invisible à l'œil nu qui isole en hiver et filtre une partie du rayonnement solaire, tout en laissant passer la lumière naturelle. Il vise à réduire les surchauffes et les besoins de climatisation.

## Simulation Énergétique Dynamique (SED) / Simulation Thermique Dynamique (STD)

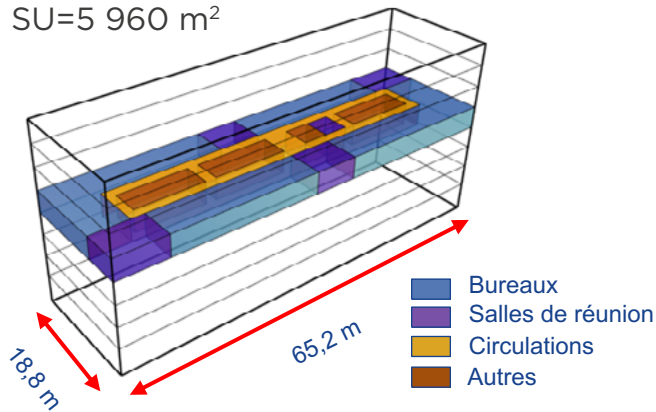
Les simulations dynamiques (horaire par heure) modélisent les échanges physiques entre le climat, le bâtiment, les systèmes techniques, l'occupation. Elles permettent d'évaluer précisément les performances thermiques et énergétiques du bâtiment.

# Hypothèses et indicateurs étudiés

## HYPOTHÈSES

Sref=7 155m<sup>2</sup>

SU=5 960 m<sup>2</sup>



Les simulations sont conduites sur un modèle multizone d'un bâtiment en R+7 situé dans une zone urbaine de densité moyenne. Le modèle intègre un modèle CVC complet avec approvisionnement énergétique sur réseau de chaleur, traitement par plafond rayonnant et centrale de traitement d'air double flux.

Le complexe vitrage et store est modélisé sur la base de valeurs spectrales de chaque couche de la composition et d'une matrice BSDF permettant de rendre compte des effets de dépendance angulaire.

## OUTILS & INDICATEURS

### RE2020



- Bbio [pts]
- Cep [kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>/an]
- Cep-enr [kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>/an]
- DH [°C.h]
- IC - energie [kgCO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>SRT]

### CONFORT VISUEL



- Autonomie Lumière Jour (HQE BD)
- Annual Sunlight Exposure
- Spatial Daylight Autonomy (LEED / WELL)
- Useful Daylight Illuminance
- Vues vers l'extérieur

### ÉNERGIE ET CONFORT THERMIQUE (SED)



- Conso. Énergétique [kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>/an]
  - Chauffage
  - Climatisation
  - Eclairage
  - Auxiliaires
  - Puissance [W/m<sup>2</sup>]
- Tair [°C]
- Top [°C]
- PMV [-]
- IC - energie [kgCO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>SRT]

### CARBONE



- IC-Façades dyn50ans [kgCO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>façade]
- IC-Façades dyn50ans [kgCO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>SRT]

# Compositions retenues pour l'étude

Les vitrages de base à Isolation Thermique Renforcée (appelés aussi ITR ou low-e), combinés à une protection solaire mobile extérieure, sont particulièrement valorisés par le calcul règlementaire, contrairement aux **vitrages de contrôle solaire**. **Or ces derniers présentent de nets avantages. Associés à une protection solaire mobile intérieure performante**, ils constituent une solution économiquement attractive et robuste, en plus d'optimiser le confort thermique et visuel des occupants.

## VITRAGE LOW-E + STORE TOILE EXTÉRIEUR

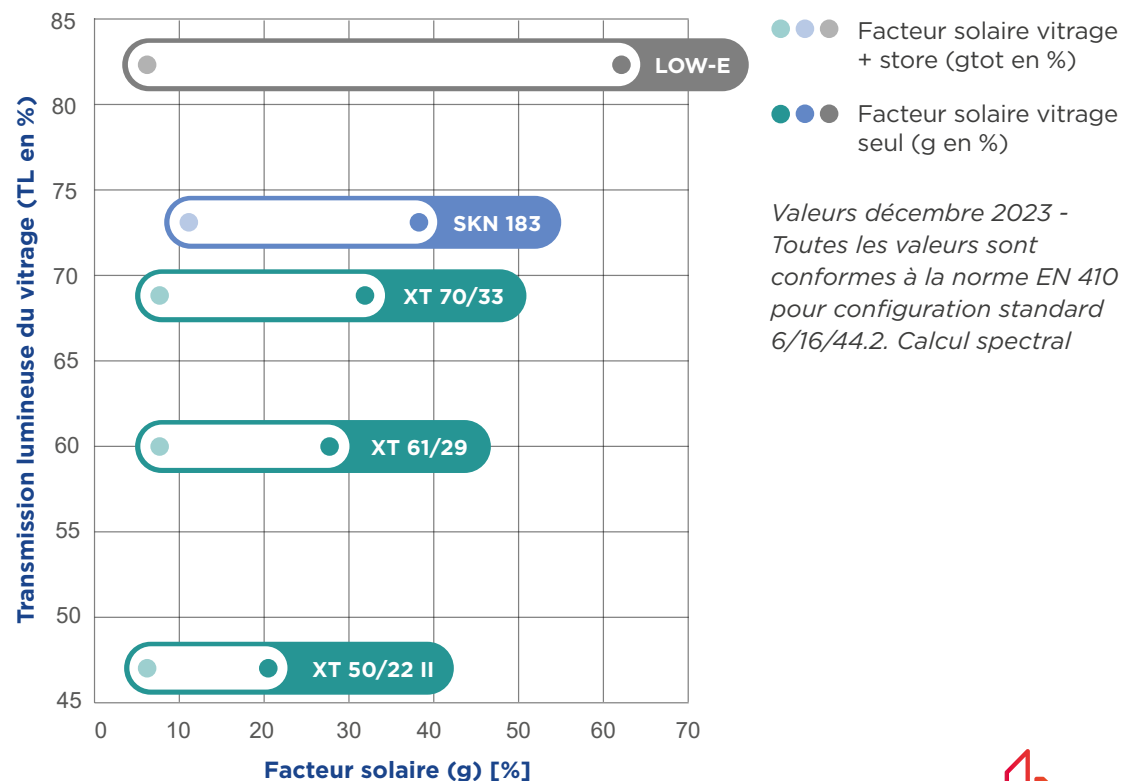


vs

## VITRAGE DE CONTRÔLE SOLAIRE + STORE TOILE INTÉRIEUR MÉTALLISÉ BASSE ÉMISSIVITÉ



COOL-LITE® XTREME  
COOL-LITE® SKN



Valeurs décembre 2023 -  
Toutes les valeurs sont  
conformes à la norme EN 410  
pour configuration standard  
6/16/44.2. Calcul spectral

# Point d'attention sur les scénarios d'usage des stores

Le contrôle des protections solaires mobiles a un **impact significatif sur la performance énergétique et le confort des usagers.**

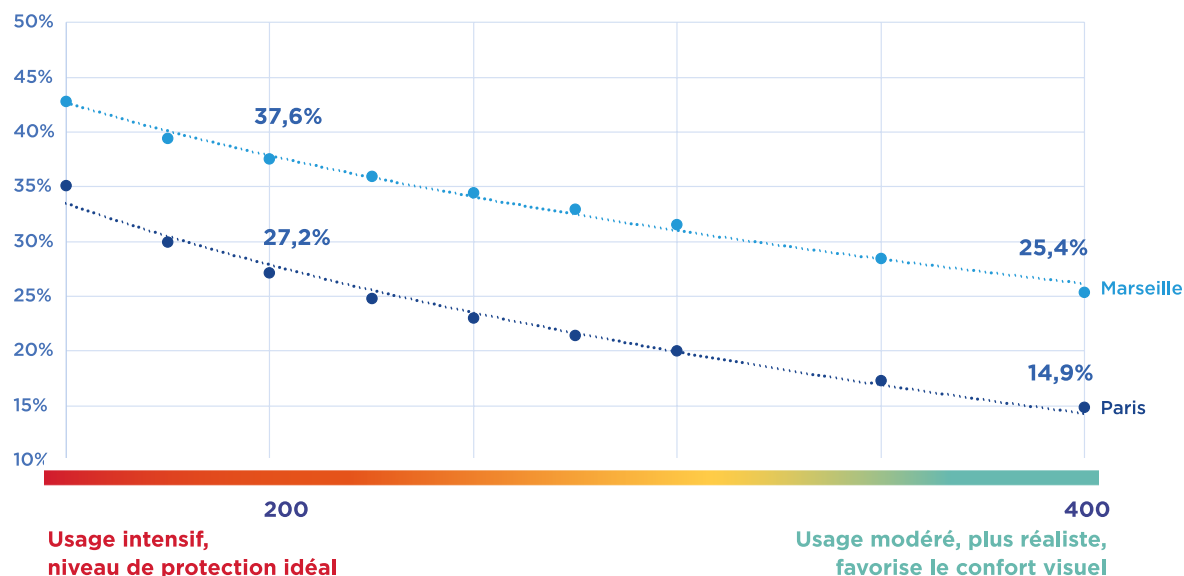
L'**activation automatique** via programmation centralisée peut être **déclenchée en fonction d'un seuil d'ensoleillement, d'éclairement, de température et/ou d'une programmation horaire.**

L'utilisation des stores dépend aussi du comportement des usagers et des aléas de mise en œuvre (implémentation, commissionnement) et de fonctionnement (défaillances, conditions climatiques).

Ces études ont analysé la sensibilité des performances énergétiques et du confort en fonction du mode de contrôle des stores.

## TAUX D'UTILISATION DU STORE EN PÉRIODE ESTIVALE

(pourcentage du temps d'occupation pendant lequel le store est en position fermée) **en fonction de la consigne de déclenchement en  $W/m^2$**  (gestion sur sonde d'ensoleillement sur la façade) - Orientation Est/Ouest, façade sans brise-soleil fixe



Un **seuil de déclenchement de 200  $W/m^2$**  (souvent considéré en phase de conception pour le calcul de la performance énergétique) conduit à un usage intensif du store. Pour **privilégier le confort visuel**, c'est-à-dire l'accès aux vues extérieures et le niveau d'éclairement naturel, il est alors préférable de considérer un **seuil de 400  $W/m^2$** , **divisant par près de deux le taux d'utilisation du store**. Les analyses de l'indicateur UDI (Useful Daylight Illuminance) permettent par ailleurs de montrer que cela n'augmente pas significativement le risque d'éblouissement des usagers.

\*Ce seuil d'activation correspond par ailleurs à une valeur implémentée sur quelques analyses fonctionnelles de GTB dans le contexte d'opérations de bureaux récentes en région parisienne.

03

## Vue d'ensemble des résultats



SAINT-GOBAIN GLASS

# Vue d'ensemble des résultats

Les vitrages de contrôle solaire, associés à des stores intérieurs performants, offrent de nets avantages par rapport aux vitrages low-e seuls avec stores extérieurs.



## MEILLEUR CONFORT THERMIQUE

Gestion optimisée des risques de surchauffe, même dans des conditions climatiques extrêmes



*2 à 3 fois moins de temps d'inconfort lors des vagues de chaleur dans l'année*



## ROBUSTESSE

Performance énergétique et confort d'été assurés, quel que soit l'utilisation des stores dans la journée



*4 fois moins d'incidence sur les dérives énergétiques en cas d'usage plus modéré des stores*



## MEILLEUR CONFORT VISUEL

Plus de lumière naturelle et vue sur l'extérieur, tout en préservant le confort intérieur



*Jusqu'à 2 fois plus de temps sans baisser les stores*  
*Jusqu'à 30 à 50% d'espace supplémentaire autonome en lumière naturelle*



## RÉDUCTION DE L'EMPREINTE CARBONE

Une empreinte carbone embarquée optimisée grâce à l'association d'une protection solaire intérieure efficace



*6 à 8% d'économies sur l'empreinte carbone embarquée de la façade*

Résultats basés sur des simulations énergétiques dynamiques, modélisations avancées d'éclairage naturel et analyses de cycle de vie pour des bâtiments de bureaux neufs en France.



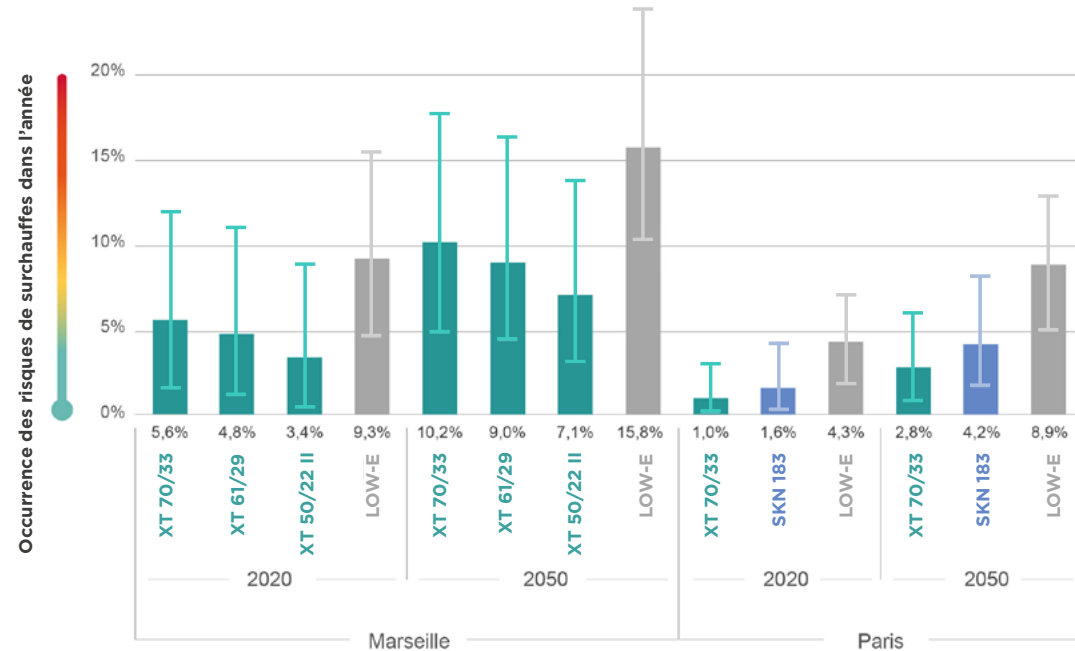
## Meilleur confort thermique

Les **vitrages de contrôle solaire** couplés à des protections intérieures mobiles performantes **limitent la surchauffe** et contribuent à garantir un confort thermique, **même en conditions extrêmes**, contrairement aux vitrages low-e avec protection solaire externe.

*2 à 3 fois  
moins de temps  
d'inconfort lors des vagues  
de chaleur dans l'année*

### TAUX D'INCONFORT ESTIVAL

Valeurs moyennes, minimales et maximales obtenues pour 112 scénarios\*.



**Barre pleine** = valeurs moyennes / **Barre fine** = valeurs minimales et maximales

Taux de dépassement de la classe de confort II (PMV > 0,5) selon ISO 7730 en pourcentage du temps d'occupation des zones bureaux dans l'année. **Le calcul tient compte des équipements CVC** (Chauffage, Ventilation et Climatisation).

**Vitrages isolants avec contrôle solaire systématiquement combinés à store toile intérieur métallisé et vitrage low-e combiné à store toile extérieur.** Le store est activé dès lors que l'énergie solaire incidente est supérieure à 200 W/m<sup>2</sup>.

\*3 ou 4 scénarios de vitrages (selon localisation) x 2 climats x 2 localisations x 2 orientation EO ou NS x 2 typologies constructives x 2 typologies de modénatures.



## Robustesse

Les vitrages de contrôle solaire garantissent **performance énergétique et confort thermique estival** en cas d'utilisation des stores moins optimisée que prévu pour des raisons d'usage ou d'aléas de fonctionnement.

À l'inverse, les façades équipées de vitrages low-e nécessitent un usage idéal de la protection solaire extérieure mobile, qui peut en réalité être plus exposée à des aléas de fonctionnement liés aux conditions climatiques extérieures.

*4 fois moins d'incidence*  
sur les dérives énergétiques  
en cas d'usage plus modéré  
des stores

### CONSOMMATIONS DE ❄️ CLIMATISATION + ⚡ TOUS POSTES À PARIS ET MARSEILLE Valeurs moyennes obtenues pour 112 scénarios de calcul - climat 2020.



#### Usage des stores

- Intensif
- Modéré

Les protections solaires mobiles sont actionnées automatiquement sur la base d'une consigne d'ensoleillement en façade. **Le store est descendu dès lors que l'énergie solaire incidente est supérieure à 200 W/m² ou 400 W/m² respectivement pour les usages considérés comme « intensif » et « modéré ».**

\*3 ou 4 scénarios de vitrages (selon localisation) x 2 modes de gestion x 2 localisations x 2 orientation (EO ou NS) x 2 typologies constructives x 2 typologies de modénatures.



## Meilleur confort visuel

Les vitrages de contrôle solaire apportent une **protection solaire embarquée, réduisant le besoin de fermer des stores** jusqu'à près de 40% en été en moyenne.

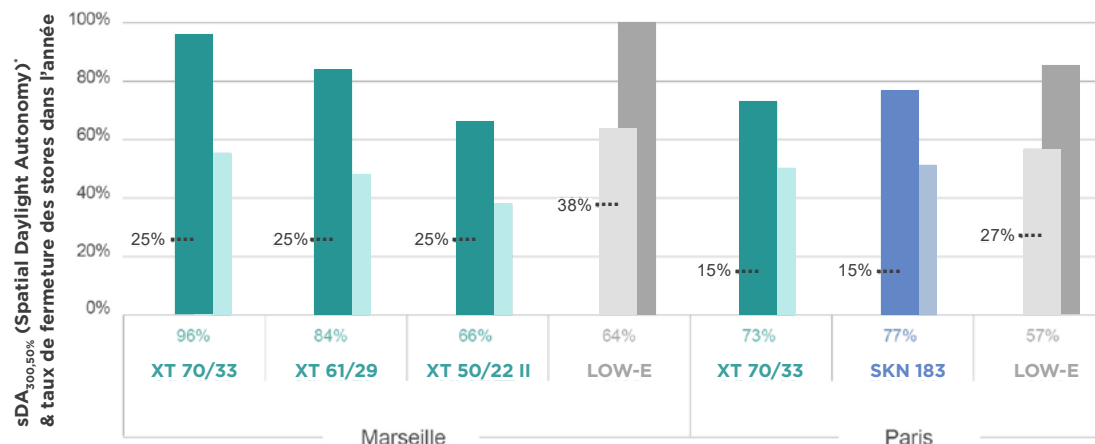
Ils permettent ainsi un **accès à la lumière naturelle** et une **connexion vers l'extérieur augmentés** dans l'année, tout en maintenant une bonne performance thermique.

*Jusqu'à 2 fois plus de temps sans baisser les stores*

*Jusqu'à 30 à 40% d'espace supplémentaire autonome en lumière naturelle*

### LUMIÈRE NATURELLE ET FRÉQUENCE D'UTILISATION DES STORES

Valeurs moyennes obtenues pour 28 scénarios de calcul (sans brise-soleil fixe, orientations Est / Ouest\*) – climat 2020\*\*.



#### Usage des stores

- Intensif
- Modéré

.... Taux de fermeture

#### L'autonomie spatiale en lumière du jour (sDA)

évalue le pourcentage de la zone, pour laquelle le niveau d'éclairage naturel est supérieur à 300 lux plus de 50% du temps d'occupation. Elle constitue l'indicateur de mesure de référence dans la certification LEED et la norme EN 17037 pour évaluer l'apport en lumière naturelle dans les bâtiments.

Les simulations thermiques dynamiques montrent qu'un usage modéré des stores est envisageable avec les vitrages de contrôle solaire sans dégrader significativement les performances énergétiques et de confort estival. Les analyses de l'indicateur UDI montrent par ailleurs que le risque d'éblouissement des usagers n'augmente pas non plus de manière significative. Dans le cas des vitrages low-e, un usage plus intensif des stores s'impose afin de garantir une bonne performance thermique.

\*Au Nord, les écarts sont peu visibles entre les scénarios d'usage des stores car les résultats d'autonomie lumineuse sont proches de 100% dans les deux cas. Au Sud, les écarts sont encore plus marqués mais dépendent encore très fortement de la présence d'une modénature.

\*\*Les simulations d'éclairage naturel pour ce scénario n'ont pas été conduites pour le climat 2050, celui-ci ayant peu d'impact sur les données d'ensoleillement et d'éclairage.



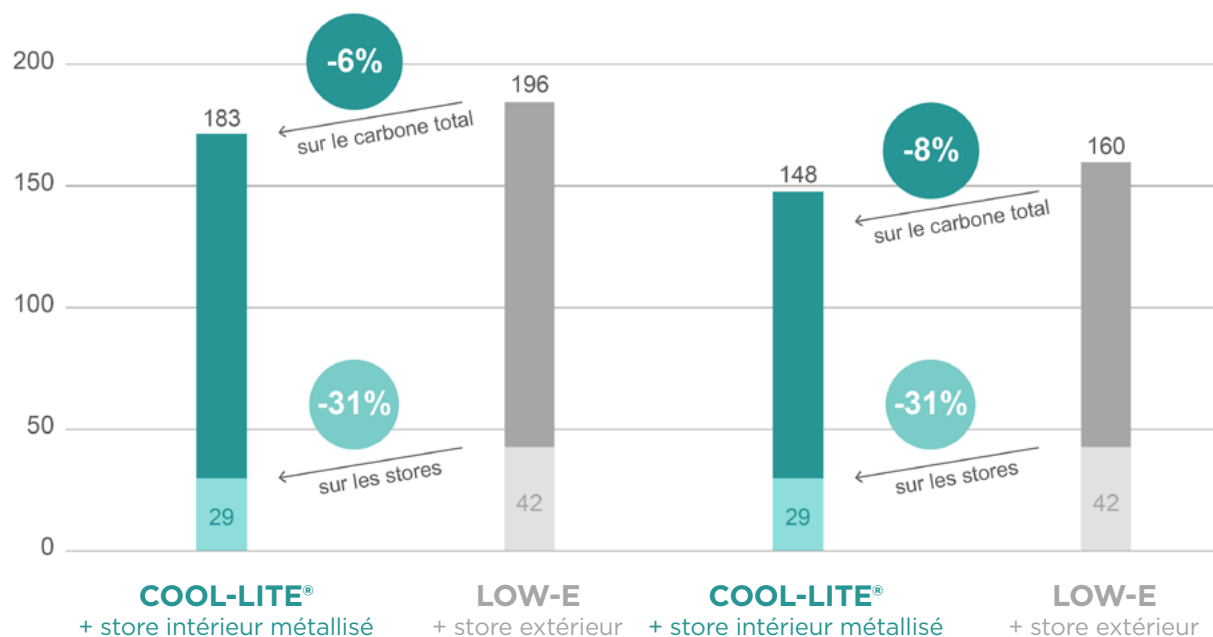
## Réduction de l'empreinte carbone

Associés à une protection solaire mobile intérieure performante, les façades équipées de vitrages de contrôle solaire permettent **une économie en poids carbone de 6% à 8%**, en comparaison aux façades équipées de vitrages low-e, ces derniers nécessitant l'utilisation de protection solaire extérieures pour atteindre des performances énergétiques équivalentes.

**6 à 8% d'économies**  
sur l'empreinte carbone  
de la façade

### IMPACT CARBONE DE LA FAÇADE

Valeurs obtenues pour le mode constructif mur-rideau grille en aluminium, ratio opaque vitré de 60%, comprenant les protections solaires mobiles.



Legend:  
■ Stores (light blue)  
■ Autres (vitrages, menuiseries, parties opaques) (dark blue)

Approche ACV dynamique sur DVR 50 ans conformément à la méthodologie de calcul réglementaire.



Une étude réalisée par



Version Novembre 2025

**SAINT-GOBAIN GLASS**