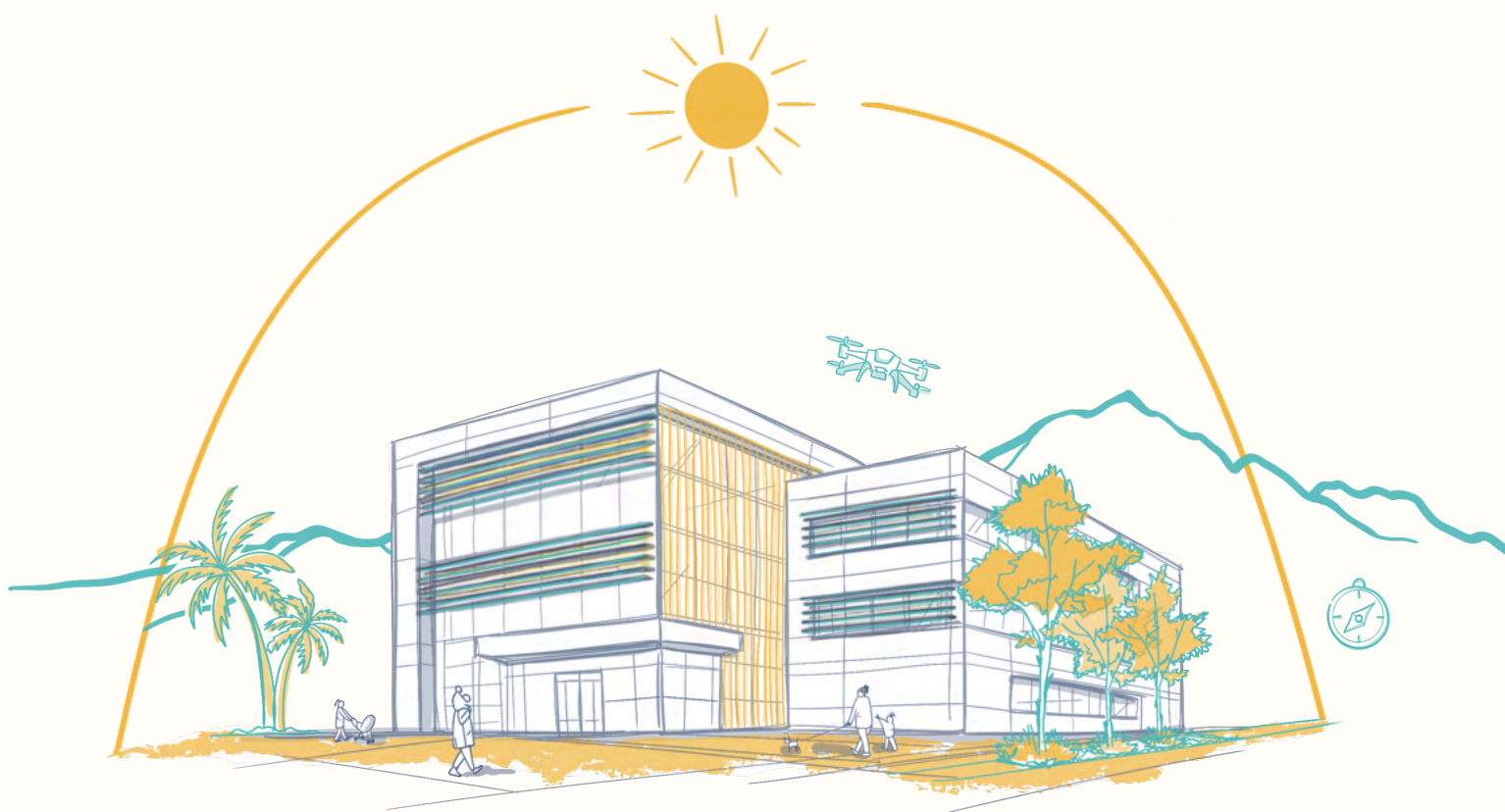


ÉDITION 2026

HélioDrom

GUIDE DES PROTECTIONS SOLAIRES EN CLIMAT TROPICAL

Concevoir et réhabiliter la protection architecturale pour des
bâtiments tertiaires performants



Le Guide

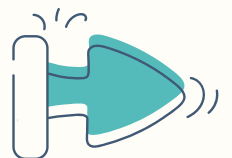
SOMMAIRE

1. CONTEXTES	4
1.1 Le programme OMBREE	
1.2 Le projet HELIODROM	
1.3 Les contextes énergétiques ultramarins	
1.4 Le cadre réglementaire du périmètre HELIODROM	
2. BASES DE THERMIQUE	25
2.1 Les essentiels de thermique du bâtiment	
2.2 Caractéristiques du rayonnement solaire	
2.3 L'indicateur clé : Le facteur solaire	
2.4 Le fonctionnement d'un vitrage	
2.5 Les sources d'inconfort	
3. ETAT DES LIEUX DE L'EXISTANT	49
3.1 Les écueils de l'architecture importée	
3.2 Aperçu de bâtiments cibles	
3.3 Quelques modes constructifs non adaptés	
4. LA MÉTHODE HÉLIODROM	75
4.1 Les besoins et objectifs	
4.2. Les vues aériennes	
4.3 Les modélisations	
4.4 Préconisations d'amélioration	
4.5 Evaluation des gains énergétiques	
4.6 Comparaison avec les autres outils existants	
4.7 Les limites de la méthode	

SOMMAIRE

5. SOLUTIONS	88
5.1 Notre guide des choix	
5.2 Les familles de solutions	
5.3 Matériaux, couleurs	
5.4 Principes d'accrochage	
5.5 Équilibre entre protection du rayonnement solaire et lumière naturelle	
5.6 Estimation des travaux et aides mobilisables	
5.7 Freins psycho-socio-culturels	
6. LES BÉNÉFICES INDUITS	125
6.1 Les gains énergétiques atteignables pour les bâtiments climatisés	
6.2 Les bénéfices économiques en coût global	
6.3 Les bénéfices en termes de confort	
6.4 Les autres bénéfices induits	
7. SYNTHÈSE	134
7.1 Synthèse des études HéliodROM réalisées	
7.2 Typologies de bâtiments performants	
7.3 Les Règles de l'art pour les concepteurs	
7.4 Pour une architecture tropicale en cohérence avec l'urgence climatique	
7.5 Bilans et perspectives	
8. ANNEXES	150
9. BIBLIOGRAPHIE	172

CONTEXTES



1 CONTEXTES



1.1 LE PROGRAMME OMBRÉE



OMBREE, un programme dédié aux professionnels de la construction

OMBREE (programme inter **Outre-Mer pour des Bâtiments Résilients et Économes en Énergie**) est un programme de soutien et d'accompagnement à destination des professionnels ultramarins.

Il s'agit d'un programme dédié aux professionnels de la construction. Il a pour but de participer à la réduction des consommations d'énergie dans les bâtiments ultramarins, via des actions de sensibilisation, d'information et de formation.

Les territoires visés sont la Guadeloupe, la Guyane, la Martinique, La Réunion et Mayotte.



**Agence qualité
construction**

Le programme OMBREE est piloté par l'AQC, il s'appuie sur de solides partenaires locaux (AQUAA (Guyane), CAUE de la Guadeloupe, HORIZON RÉUNION, KEBATI (Martinique) et la FEDOM) et un Comité de Pilotage composé de représentants des pouvoirs publics (DGEC, DHUP, DGOM, ADEME) et de **EDF SEI, financeur du programme.**



Le projet HELIODROM est lauréat de la deuxième période de sélection du programme OMBREE et bénéficie d'un cofinancement de l'ADEME.

POUR EN SAVOIR PLUS :

<https://batiments-outremer.fr/en-savoir-plus-et-comprendre-le-programme-ombree/>



Depuis 2022, le programme OMBRÉE a permis de développer 22 projets lauréats, initiés par les acteurs locaux (bureaux d'études, architectes, associations et professionnels du bâtiment).



EQUINOXE est triple lauréat du programme OMBREE

Le bureau d'études EQUINOXE est impliqué dans 3 des 22 projets lauréats depuis 2021 et des liens solides ont été noués avec l'AQC et ses partenaires, ainsi que les experts des autres projets développés.



Projet	Rôle dans le projet	Thématique	Partenaires	Période de réalisation
B-AIR Guide BRISE	Mandataire du Groupement	Brasseurs d'air : solutions de mise en œuvre. Guide BRISE https://guide-brise.org	<ul style="list-style-type: none"> • R. CELAIRE • BET INDDIGO • MS Architecture 	2022-2023
HELIODROM	Mandataire du Groupement	Méthode innovante de diagnostic de protection solaire des bâtiments tertiaires	<ul style="list-style-type: none"> • Agence Architectures (L. DARVIOT) • R. CELAIRE • BET INDDIGO 	2024-2025
COOLIBRI	Co-traitant	Solutions mixtes de confort brasseurs d'air & climatisation	<ul style="list-style-type: none"> • BET LEU Réunion • QWINRJ 	2024-2025



Valoriser les ressources locales

Les ressources locales documentaires, bibliographiques sont la matière première du programme OMBREE. Pour rendre ces ressources plus visibles et accessibles, OMBREE a créé la plateforme PERGOLA, centre de ressource inter-outré-mer, valorisant l'ensemble des ressources disponibles en lien avec l'efficacité énergétique des bâtiments sous climats chauds.



POUR EN SAVOIR PLUS :

<https://batiments-outrémer.fr/decouvrez-les-12-projets-laureats-de-laap-ombree-2/>



Les ressources locales sont capitalisées à travers 3 actions centrales :

- Un état des lieux complet des ressources existantes
- Une capitalisation des retours d'expériences sur les usages en énergie des bâtiments ultramarins
- La production d'outils et d'actions de sensibilisation à destination des acteurs locaux (vidéos, guides pratiques, supports pédagogiques...)

Mobiliser des acteurs proches du terrain

Les actions de sensibilisation s'appuient sur la mobilisation d'experts proches du terrain, grâce au pilotage assuré par les partenaires OMBREE basés sur chaque territoire prioritairement ciblé.

Par ailleurs, **un dispositif d'accompagnement** de porteurs de projet est mis en place pour permettre à des petites et moyennes structures locales de déployer leurs propres actions en lien avec les économies d'énergie dans les bâtiments.

Toutes les actions proposées sont construites afin de retirer un bénéfice maximum des échanges d'expériences et de connaissances entre les territoires concernés.



Par défaut, toutes les photos ou schémas présentés dans ce guide sont la propriété d'EQUINOXE, sauf indication contraire de la source.

1 CONTEXTES



1.2 LE PROJET HÉLIODROM[®]



Le projet HELIODROM est lauréat du programme OMBREE.

Le présent guide des protections solaires constitue le rendu essentiel du projet HELIODROM. Il constitue une adaptation d'un précédent guide technique de référence élaboré par ENVIROBAT BdM en 2022 pour les zones méditerranéennes et est constitué de **deux volumes** :

- Panorama des protections solaires à l'intention des maîtres d'ouvrage
- Conception des protections solaires



Le projet HELIODROM¹ est porté par une équipe pluridisciplinaire d'architectes et d'ingénieurs :



Ils ont réuni leurs compétences autour du projet. Depuis de nombreuses années, ils prescrivent et conçoivent des solutions bioclimatiques pour les zones tropicales. Ils ont notamment réalisé ensemble le guide BRISE, guide technique des brasseurs d'air, lauréat de l'édition 2022 du programme OMBREE.

POUR EN SAVOIR PLUS :

<https://guide-brise.org/le-guide/>

<https://envirobatbdm.eu/publications/2022-02-03/panorama-des-protections-solaires>

1 Du grec ancien : ἥλιος, hēlios (« soleil ») ; DROM : Départements et Régions d'Outre-Mer



L'EQUIPE

HELIODROM



» EQUINOXE, mandataire du projet, est un bureau d'études spécialisé en énergie et environnement, basé en Guadeloupe depuis plus de 30 ans. EQUINOXE réalise des audits énergétiques, des prestations d'ingénierie photovoltaïque, l'accompagnement environnemental des projets de construction, ainsi que la formation continue des professionnels du bâtiment dans les domaines de l'efficacité énergétique.

Laurent SÉAUVÉ en est le directeur. Il est accompagné par **Florian HUTEAU**, ingénieur chargé de projet et **Violette VANDERCOILLE**, ingénieure spécialiste en efficacité énergétique.

» **Robert CELAIRE** est ingénieur-conseil, spécialiste, depuis le début des années 1980, de la conception bioclimatique dans tous les climats, notamment en zone tropicale. Il est également ancien Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Montpellier et demeure membre de son laboratoire de recherche, le LIFAM. Il fait partie, entre autres, des initiateurs, concepteurs et auteurs du label ECODOM.

» Depuis 1986, INDDIGO est une entreprise de conviction, innovante et indépendante. Elle accompagne les acteurs publics et privés dans le cadre de démarches environnementales, de la stratégie à la mise en œuvre, à toutes les échelles, des grands territoires aux équipements. **Vincent PRIORI** est un collaborateur de l'agence INDDIGO à Marseille, spécialiste de conception bioclimatique.

» **Laurent DARVIOT** est architecte en Guadeloupe ; il conçoit depuis de nombreuses années des bâtiments, résidentiels et tertiaires respectueux de l'environnement et bioclimatiques.

» **Coline TESSON** (architecte en Guadeloupe) a également participé à la phase d'approche des maîtres d'ouvrages et exploitation.

» Enfin, **Theo DEMARET** développe ses activités de conseil en Martinique, au sein de la structure POCITRON, pour accompagner les transitions visant à réduire nos empreintes carbone.

Romane de Saint Ours, (architecte et graphiste, Studio Grand Voile) a réalisé la mise en forme graphique et la relecture attentive de l'ouvrage.

Le projet a été cofinancé par le programme OMBREE, piloté par l'AQC, ainsi que par l'ADEME, via sa Direction Régionale en Guadeloupe.



Le projet HELIODROM accompagne les maîtres d'ouvrages et exploitants des bâtiments tertiaires existants à renforcer la protection solaire de leurs bâtiments, à l'aide d'une méthodologie innovante.

- Cibles : bâtiments s'apparentant à des passoires énergétiques tropicales (insuffisance de la protection solaire de leurs façades)
- Diagnostic de 30 bâtiments en Guadeloupe et Martinique
- Production d'un guide des protections solaires en zone tropicale

Il s'est déroulé en 2024 et 2025 en Guadeloupe et Martinique, territoires de la zone d'expérimentation.



POUR EN SAVOIR PLUS :

<https://pocitron-notion>
<https://equinoxe.gp/>

<https://www.inddigo.com/>
<https://agence-architectures.com/>

<https://qualiteconstruction.com/>
<https://www.ademe.fr/>

LES CONSTATS

ET LEURS CAUSES IDENTIFIÉES

Certains bâtiments tertiaires existants en Outre-mer sont assimilables à des **passoires énergétiques**, au sens tropical, en raison de l'insuffisance de la protection solaire de leurs façades.



De multiples causes sont à l'origine de cette problématique :

- Des Règlements Thermiques ultramarins trop récents en tertiaire, peu exigeants ou inexistantes (Réunion, Guyane)
- Des modes constructifs importés utilisant des solutions peu adaptées au climat tropical (murs rideaux, allèges vitrées)
- L'insuffisance d'efficacité des vitrages réfléchissants avec des surfaces vitrées surdimensionnées



Les conséquences sont désastreuses pour les occupants et exploitants des bâtiments concernés :

- Un inconfort notoire, seulement atténué par la climatisation
- Le surdimensionnement des installations de climatisation et les apports thermiques non contrôlés qui engendrent des surconsommations d'énergie et des émissions de CO2 considérables

Enfin, l'arrivée progressive du décret tertiaire sur les bâtiments existants, avec des objectifs ambitieux de gains énergétiques (- 40 % en 2030) nécessite un accompagnement des maîtres d'ouvrages. Les assujettis au décret peuvent, également faire le choix d'atteindre par décennie une consommation d'énergie seuil, définie en fonction de la catégorie tertiaire du bâtiment / local (Valeur absolue fixée pour chaque décennie pour chaque type d'activité tertiaire et des meilleures techniques disponibles et propre à chaque territoire d'outre-mer).



Le non-sens des serres climatisées en climat tropical

En matière d'efficacité énergétique, on prescrit souvent des technologies très sophistiquées de gestion technique du bâtiment, alors que le bon sens et un minimum de connaissances en thermique du bâtiment permettent de concevoir des bâtiments performants *low-tech*, à condition de respecter une règle essentielle : la maîtrise des apports solaires.

Quoi de plus absurde en effet, que de concevoir, en climat tropical, des bâtiments comportant des surfaces vitrées surdimensionnées, non protégées du rayonnement solaire et générant à la fois un inconfort thermique et des surconsommations d'énergie considérables. Ces bâtiments, à réhabiliter, sont assimilables à des passoires énergétiques tropicales ou des serres climatisées.



Mur rideau surexposé (Centre d'affaires Agora 2 - Martinique - Architecte Grandgeorge Architecture et Bernard Leclercq , photo : Équinoxe)



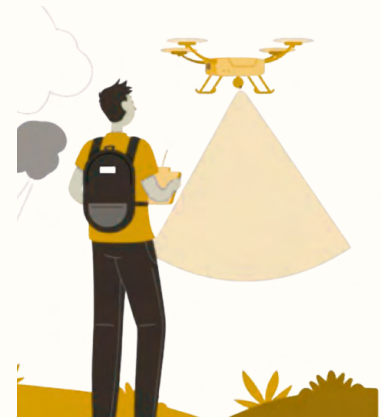
Mur rideau et mur de climatiseurs (Immeuble Romarin, Guadeloupe)



Caractériser la protection solaire des bâtiments et préconiser des solutions adaptées :

Une méthodologie innovante basée sur des images aériennes.

Pour faire face à ces problématiques, le **Groupement EQUINOXE - CELAIRE - INDDIGO - AGENCE ARCHITECTURES**, lauréat du programme OMBREE avec le projet HELIODROM, a développé une méthode innovante de diagnostic des protections solaires de ces bâtiments considérés comme des passoires énergétiques tropicales. Il s'agit de simuler l'héliodrom, c'est-à-dire la course du soleil, avec un drone afin de mesurer l'impact du rayonnement sur des bâtiments.



Sur la base de cet état des lieux détaillé, des préconisations adaptées aux problématiques de chaque bâtiment sont formulées. **Pour les bâtiments soumis au décret tertiaire, un second niveau d'étude est proposé aux maîtres d'ouvrages : la réalisation d'un audit énergétique complet.**



Le projet HELIODROM s'inscrit dans une démarche visant à adapter le bâti aux enjeux climatiques contemporains en faisant des façades un levier d'expression architecturale. Il propose une évolution maîtrisée du patrimoine construit, conciliant confort, performance énergétique et résilience, tout en préservant les identités architecturales existantes.

Dans cette perspective, HELIODROM a pour objectif de diffuser les bonnes pratiques de conception des protections solaires, adaptées aux zones tropicales. Le guide dédié, conçu pour être partagé largement auprès des professionnels du secteur, constitue un outil de référence pour améliorer la qualité des projets et harmoniser les approches.

S'appuyant sur des équipes pluridisciplinaires et sur une lecture attentive du "déjà-là", les interventions encouragées par HELIODROM renforcent la performance thermique et énergétique des bâtiments, tout en consolidant leur valeur patrimoniale et leur intégration sociale au sein des territoires.

1 CONTEXTES



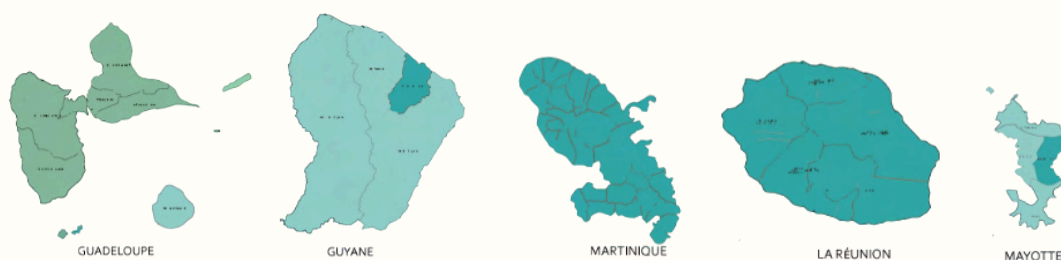
1.3 LES CONTEXTES ÉNERGÉTIQUES ULTRAMARINS



Les zones géographiques d'application

Le **guide des protections solaires en climat tropical** a vocation à aider les concepteurs des bâtiments à promouvoir le confort et les économies d'énergie en climat tropical,

- d'une part, dans les **Départements et Territoires d'Outre-mer français** : l'appellation territoires océaniques conviendrait d'ailleurs davantage à la prise en compte des problématiques moins centrées sur l'hexagone
- par extension, dans **l'ensemble des zones géographiques de la ceinture tropicale, subtropicale et équatoriale**, concernées par les problématiques de rafraîchissement des bâtiments et leurs impacts sur l'environnement.



Cartes des DOM



Les zones tropicales sont, d'un point de vue climatique et géographique, comprises entre le tropique du Cancer (latitude 23 ° NORD) et le tropique du Capricorne (latitude 23 ° SUD)



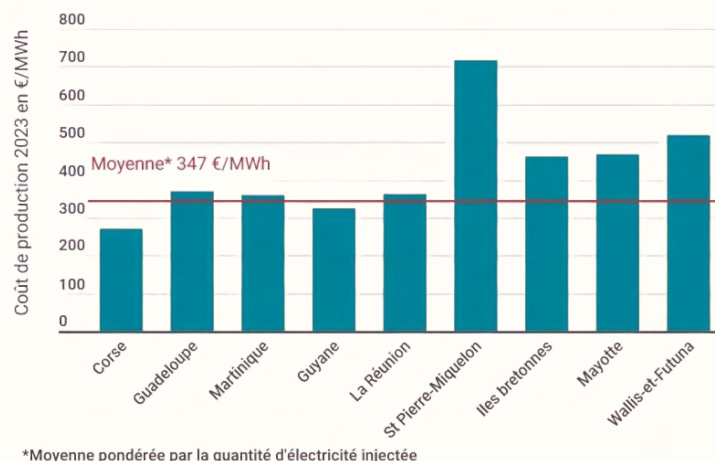
Les productions électriques des ZNI

Les **Zones Non Interconnectées** sont des territoires insulaires (intégrant la Guyane) océaniques français qui sont autonomes pour leur production d'électricité. Elles disposent de réseaux électriques de relatives petites tailles, soumis à des contraintes spécifiques d'équilibre offre-demande, soumis aux aléas naturels. L'opérateur historique EDF y assure un double rôle : à la fois principal producteur d'électricité et gestionnaire du réseau.



Les principes de la péréquation tarifaire

Dans les ZNI des Départements et Collectivités d'Outre-Mer de Corse, Guadeloupe, Martinique, Guyane, Réunion, Mayotte, Saint-Martin et Saint-Barthélemy, ou encore St-Pierre et Miquelon, les consommateurs bénéficient du principe de la **péréquation des tarifs de l'électricité**. Il s'agit d'une mutualisation nationale des coûts, où l'électricité est vendue à un tarif national unique (hors taxes locales), correspondant à environ **un tiers du coût de revient moyen** reflétant les coûts réels de production de l'électricité.



Coûts moyens des productions électriques, selon la CRE en 2023

LES ENJEUX

ESSENTIELS

Les productions électriques insulaires restent encore très carbonées, issues majoritairement de centrales électriques thermiques, fonctionnant historiquement et encore pour l'essentiel au fuel lourd en 2025.



Pourtant, les territoires de la France Océanique disposent de ressources importantes en Energies Renouvelables (solaire, éolien, biomasse, hydraulique, géothermie) et les tendances sont à la diversification des mix électriques.

Les enjeux énergétiques des ZNI concernent donc **4 axes incontournables** :

- la **décarbonation des mix électriques** par la réduction des émissions des moyens de production de l'électricité et le développement des énergies renouvelables,
- les **équilibres offre-demande** de territoires autonomes, sur des réseaux électriques insulaires soumis aux aléas et risques naturels majeurs (cyclones, séismes, ...),
- les **enjeux financiers de renchérissement de l'énergie**, liés à la péréquation des tarifs, qui représente plusieurs milliards d'euros chaque année, mais également aux mutations vers des mix 100 % renouvelables,
- les **actions de maîtrise de la demande d'énergie**, dans les sociétés ultramarines modernes important l'essentiel de leurs biens de consommation et sans souveraineté alimentaire.

Ces enjeux doivent conduire les territoires d'outre-mer à une autonomie énergétique, à **l'horizon 2030**, sur le périmètre des besoins des bâtiments, puis sur l'ensemble des besoins vers 2050, intégrant les transports.



Le projet HELIODROM contribue à la sobriété énergétique sur l'usage prépondérant de la climatisation des bâtiments tertiaires existants.

POUR EN SAVOIR PLUS :

<https://pei.edf.fr/>

<https://www.cre.fr/electricite/transition-energetique-dans-les-zni.html>



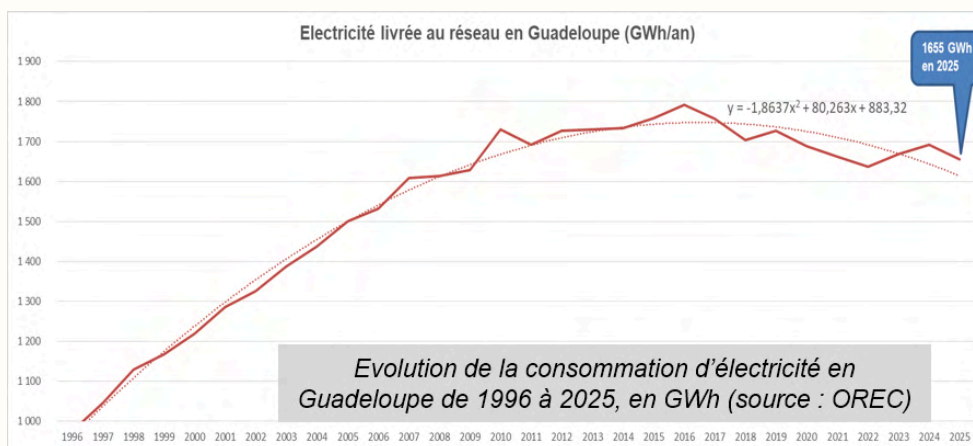
Approfondissements



La satisfaction des besoins énergétiques demeure un moteur des économies insulaires

Au niveau de la demande d'énergie, les outre-mer sont dans des situations contrastées. Alors que les Antilles ont stabilisé leur demande électrique depuis les années 2010, la Guyane et l'océan indien voient des besoins toujours croissants liés à l'évolution du niveau de vie et à la croissance démographique. Une hypothèse semble faire consensus dans les Programmes Pluriannuels de l'Energie (PPE) : les actions d'efficacité énergétique pourraient absorber les nouveaux besoins liés à la mobilité électrique dans la période 2025-2035. **L'usage de la climatisation est prépondérant dans les bâtiments tertiaires et résidentiels, notamment aux Antilles.**

Tendances	Guadeloupe et Martinique	Guyane Réunion et Mayotte
Démographie	En régression	En croissance
Besoins électriques	Stabilisés depuis 2010, voire en légère baisse	En croissance (modérée à la Réunion)
Evolutions à 2040	Hypothèse de la PPE : les gains en efficacité énergétique seront du même ordre de grandeur que les nouveaux besoins électriques	



Pour les usagers, **le poste électricité a doublé en 10 ans**, il s'établit en 2025 à environ 0,20 €/kWh et cette tendance de forte hausse devrait se poursuivre dans la décennie à venir, pour de multiples raisons :

- la péréquation nationale des tarifs lie les Outre-Mer aux contextes énergétiques européens
- les investissements dans le parc électronucléaire français seront considérables
- les tarifs de l'électricité en France sont restés globalement bas, comparés aux autres pays européens, hormis lors de la crise de 2022 liée à la guerre en Ukraine enfin, les mutations vers les productions biomasse seront très coûteuses, avec des coûts estimés de 400 à 500 €/MWh.



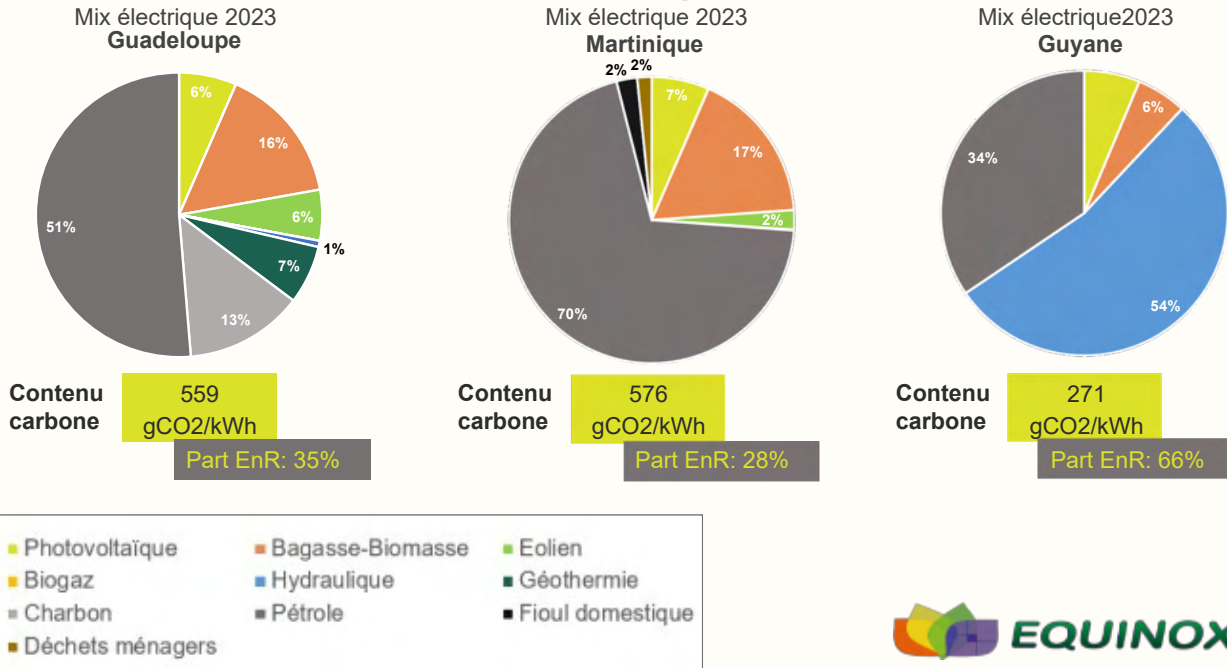
Les mutations vers des productions électriques insulaires

Depuis les années 2020, pour faire face à ces enjeux énergétiques et environnementaux, les décideurs réunissant l'Etat, les collectivités, les Comités MDE, la Commission de Régulation de l'Energie et EDF SEI et d'autres producteurs d'électricité sont résolus à faire évoluer les productions électriques des ZNI.

Mix électrique dans les Antilles-Guyane, en 2023

(sources: observatoires de l'Énergie et estimations EQUINOXE pour le contenu carbone)

Les fossiles dominent toujours !



Ces décisions entraînent des répercussions importantes sur les paysages énergétiques des Outre-Mer : elles concernent pour l'essentiel **l'abandon progressif des combustibles fossiles** dans les centrales électriques des DOM et notamment :

- la **substitution des importations de charbon** dans les centrales électriques fonctionnant partiellement avec la bagasse (résidu de canne à sucre après broyage), par des importations de biomasse solide (pellets de bois);
- la **substitution des importations de fuel** par un combustible biomasse liquide : biofuel issu du colza français (Directives RED 2 et 3) dans les centrales d'EDF PEI1 ;
- la poursuite du **développement des énergies renouvelables** locales (solaire, éolien, hydraulique, biomasse, géothermie).

Filière	Opérateur	Guadeloupe	Martinique	Guyane	Réunion
Biomasse solide	ALBIOMA	Centrale biomasse Le Moule 102 MW en 3 tranches Conversion en cours : effectuée sur 2 tranches / 3	Centrale Biomasse Gallion 2 40 MW Fonctionne en 100 % biomasse depuis 2018		Centrales biomasses Le Gol (122 MW) et Bois-Rouge (108 MW) Conversions depuis 2023
Biomasse liquide	EDF PEI	Jarry sud : centrale diesel : 212 MW (12 moteurs) Conversion prévue en 2025-27	Bellefontaine : centrale diesel : 212 MW (12 moteurs) Conversion prévue en 2026-28	Nouvelle centrale du Larivot : 111 MW En construction (2024- 2025)	Port-Est : centrale diesel 212 MW. Convertie à la biomasse en 2023

¹ EDF Production Electrique Insulaire



Ces transitions majeures décidées en faveur d'énergies renouvelables importées renforceront les grands enjeux énergétiques dans les Outre-Mer :

- décarboner les productions électriques
- maîtriser les coûts pour les finances publiques, promouvoir la résilience et la robustesse face aux aléas climatiques : cyclones, séismes
- enfin, intégrer les nouveaux besoins liés à la mobilité électrique

Elles auront des apports indéniables ...

- 1. Augmentation spectaculaire à court terme du taux d'EnR dans les mix électriques très carbonés des DROM** : vers une atteinte des objectifs des PPE avant 2030 ;
- 2. Division par 2 à 3 des émissions carbone associés** : les mix électriques vont passer à court terme d'environ 700 g à 200~300 gCO₂/kWh ;
- 3. Diminution des pollutions liées à la combustion** : élimination des émissions de soufre et d'environ 90 % des émissions de monoxyde et dioxyde d'azote, selon EDF PEI ;
- 4. L'équilibre du réseau reste assuré** : les services systèmes sont +/- inchangés, avec des infrastructures de production adaptées, qui restent des machines tournantes, générant la fréquence du réseau ;
- 5. Des mutations sont possibles à court terme** : elles nécessitent des investissements supportables, sans mutation technologique insurmontable (réussie à la Réunion) ; cuves de stockage du combustible inchangées, remplacement du système d'injection (rampes d'injection, pompes et injecteurs) et réglage des moteurs ;
- 6. Avantage associé** : le stockage du colza est moins dangereux que le fuel : moins de contraintes pour les installations classées (SEVESO), mais pas de changement global sur les zones industrielles affectées.

... mais également des limites et des inconnues

- 7. Le manque de recul sur le long terme sur le fonctionnement des groupes diesel**, en termes de consommation de combustible, d'usure, d'émissions, de traitement des fumées ressort comme des inconnues et donc des risques à assumer ;
- 8. Les îles resteront sous perfusion et domination de la métropole** : incompatible avec l'exigence d'autonomie énergétique ;

9. Un défi compliqué : alimenter les 4 DROM en biomasse liquide avec la filière colza française : la production nécessaire serait du même ordre de grandeur que la production nationale de l'ensemble de la filière !

10. Le bilan carbone reste important, mal connu et controversé : si la croissance de la plante et sa combustion sur un cycle court est neutre en carbone, le périmètre doit intégrer les intrants : carburants agricoles, engrais et protoxydes d'azote engendrés (qui est un puissant gaz à effet de serre), le processus industriel d'estérification et enfin le transport maritime du combustible sur de longues distances ;

11. Les conflits d'espaces agricoles et naturels pour la filière colza qui vont transformer durablement des cultures dans l'hexagone ;

12. Les risques de déforestation pour la biomasse solide, avec les transformations d'usage des terres dans les pays producteurs, notamment en Amérique du Nord et en Australie pour les fournisseurs du groupe ALBIOMA ;

13. Enfin, et c'est l'argument le plus impactant à court terme : les coûts d'exploitation à supporter sont considérables : la compensation des ZNI pèse déjà pour 2 milliards d'Euros par an, avec des coûts de production voisins de 350 €/MWh. Le décryptage des publications de la CRE l'atteste : les productions électriques ultramarine avec le biofuel de colza coûteront entre 400 et 500 €/MWh.



En résumé, les coûts et le bilan carbone des productions électriques resteront, comme partout dans le monde, des enjeux essentiels.

Ainsi, ce ratio [coût x carbone] sera déterminant et conduira inévitablement à considérer les importations de combustibles renouvelables comme des solutions transitoires pour la période 2025-2035.

La recherche de la sobriété énergétique doit continuer de guider les politiques publiques. La mutation des ZNI vers des EnR importées, doit s'accompagner d'actions massives de maîtrise de la demande, incluant notamment la rénovation thermique des bâtiments et le développement des EnR diffuses locales.



Le projet HELIODROM y contribue sur l'usage prépondérant de la climatisation des bâtiments tertiaires existants.

1 CONTEXTES



1.4 LE CADRE RÉGLEMENTAIRE DU PÉRIMÈTRE HELIODROM

Le périmètre du projet HELIODROM

Les **bâtiments tertiaires existants** dans les 5 Départements et Régions d’Outre-mer constituent le cœur de cible du projet HELIODROM.

A l’exception de la Guyane, ces territoires océaniques sont des îles ou des archipels.

	971 Guadeloupe	972 Martinique	973 Guyane	974 Réunion	976 Mayotte	total 5 DOM
Statut politique	DOM français					
	Région	Collectivité Territoriale	Collectivité Territoriale	Région	Département-Région	
Zone géographique	ZNI insulaire, archipel	ZNI insulaire	ZNI	ZNI insulaire	ZNI insulaire	
Population 2025 (INSEE)	380 387	355 459	292 354	896 175	329 282	2 253 657
Climat	Tropical humide	Tropical humide	Equatorial	Tropical humide, avec micro-climats d'altitude	Tropical humide	
Zone sismique	5 (aléa fort)	5 (aléa fort)	1 (aléa très faible)	2 (aléa faible)	3 (aléa modéré)	
Surface	1702 km ²	1128 km ²	83 846 km ²	2512 km ²	376 km ²	

Si on ajoute la Polynésie, la Nouvelle Calédonie, et les collectivités de Saint-Martin et Saint-Barthélemy, avec plus de 2,8 millions d’habitants en 2024, la France d’Outre-mer représente environ 4 % de la population française, 18 % de son territoire terrestre et surtout le deuxième domaine maritime mondial, après les États-Unis. Le contrôle et la surveillance d’espaces maritimes de plus de 10 millions de km², répartis sur tous les océans, représentent autant d’enjeux économiques que stratégiques.

Les réglementations thermiques existantes

En matière de construction, les réglementations thermiques constituent le socle des politiques publiques d’efficacité énergétique. Elles ont pour objectif de guider les concepteurs pour bâtir des édifices confortables et économes en énergie.

Sur ce périmètre des bâtiments tertiaires en Outre-mer, en matière de confort et d’énergie, le cadre réglementaire souffre de plusieurs écueils :

- **les RT sont hétéroclites et différentes** sur chaque territoire. Cet état de fait pourrait s’expliquer par des spécificités climatiques différentes sur chacun des territoires. Pourtant, les climats tropicaux et insulaires constituent un point commun de l’essentiel de la France d’Outre-mer.

- Sur le périmètre du logement, l'Etat a instauré en 2009-2010 la RTAA DOM, commune aux 4 DOM, code règlementaire modifié par le décret **du 1er mars 2024**.

- **Sur le périmètre des bâtiments tertiaires**, il convient de distinguer :
 - d'une part, la Guadeloupe et la Martinique, qui disposent depuis 2013-2015 d'une réglementation thermique visant notamment les bureaux et les commerces. **En Guadeloupe, la RTG, puis la RTM en Martinique** ont instauré depuis 2013, des obligations de performances pour les bâtiments tertiaires neufs. Elles ont également décliné les Diagnostics de Performance Energétiques (DPE) dans l'existant. Pour autant, ces contraintes réglementaires sont perçues comme secondaires, contrairement aux exigences paracycloniques et parasismiques.
 - en revanche, il n'existe pas de Réglementation Thermique pour le secteur tertiaire à **la Réunion, en Guyane et à Mayotte**. Sur ces territoires, il est donc possible, pour les architectes, de concevoir des bâtiments sans préoccupation de confort et d'énergie. Difficile à croire quand on connaît la proportion des espaces climatisés et les coûts de l'énergie supportés par l'ensemble de la collectivité.

Le tableau suivant dresse le panorama des Réglementations Thermiques Applicables en 2025 dans les DROM :

	Secteur résidentiel	Secteur tertiaire
Guadeloupe	RTG2020 applicable + RTAA DOM 2016	RTG applicable
Martinique	RTM applicable + RTAA DOM 2016	RTM applicable
Guyane	RTAA DOM 2016 applicable	Pas de RT
Réunion	RTAA DOM 2016 applicable	Pas de RT
Mayotte	RTAA DOM 2016 applicable	Pas de RT

Sur l'ensemble des Outre-mer, les principes de constructions sobres et confortables ne sont pas toujours ancrés dans les priorités des maitres d'ouvrages, privés comme publics. Dans les contextes d'urgence climatique, ces réalités sont en décalage total avec les besoins impérieux de réduire les dépendances aux énergies fossiles, d'améliorer le confort des bâtiments et leurs performances énergétiques.



Mur rideau vitré, médiathèque Saint Claude - Guadeloupe - Architecte Alain Nicolas



On retrouve ainsi une multitude de bâtiments tertiaires existants, parfois anciens, d'autres plus récents, bâtiments privés comme publics, dont certains sont assimilables à des passoires énergétiques, au sens tropical.



Le décret tertiaire

Instauré par le décret n° 2019-771 du 23 juillet 2019, le décret Eco Energie tertiaire est un **dispositif réglementaire** (obligatoire) qui concerne les bâtiments à usage tertiaire de plus de 1000 m² (surface utile) d'une même unité foncière. Il est applicable dans les DROM depuis fin 2022.

Ses principes essentiels sont les suivants :

1. **Etablir un diagnostic** des consommations d'énergie de référence du bâtiment,
2. **Déclarer ses consommations** d'énergie sur la plateforme OPERAT, gérée par l'ADEME,
3. **S'engager sur un plan d'action** de réduction des consommations d'énergie sur le moyen et long terme (2030).



Avec des objectifs ambitieux : - 40 % en 2030 ; - 50 % en 2040 ; - 60 % en 2050

Les assujettis au décret peuvent, également faire le choix d'atteindre par décennie une consommation d'énergie seuil, définie en fonction de la catégorie tertiaire du bâtiment / local (Valeur absolue fixée pour chaque décennie pour chaque type d'activité tertiaire et des meilleures techniques disponibles et propre à chaque territoire d'outre-mer).

Par ailleurs, le décret n°2023-259 relatif aux systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments tertiaires (dit « décret BACS ») (pour « Building Automation & Control Systems »), rend obligatoire depuis 2023, dans les bâtiments assujettis, l'installation et la maintenance de systèmes d'automatisation et de contrôle des principaux équipements énergivores, notamment les installations de climatisation de puissance frigorifique > 290 kW, mais également les autres installations de ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage). Ces systèmes contribuent à l'atteinte des objectifs de réduction de consommation fixés par le décret tertiaire.

Compte tenu des difficultés pour l'Etat à assurer la mise en œuvre de ce cadre réglementaire, le projet HELIODROM permet d'accompagner les maîtres d'ouvrage et exploitants volontaires, afin **d'améliorer le confort et les performances énergétiques des bâtiments tertiaires dont la protection solaire est insuffisante.**



POUR EN SAVOIR PLUS :

RTG : <https://www.guadeloupe-energie.gp/portail-rtg-reglementation-thermique/>

Décret tertiaire : <https://www.guadeloupe.developpement-durable.gouv.fr/eco-energie-tertiaire-eet-une-obligation-a4307.html>

Approfondissements



Un constat communément admis

La **protection solaire** de nombreux bâtiments tertiaires existants en Outre-mer est insuffisante, générant des **surconsommations d'énergie** importantes et un **inconfort pour les occupants**. Certains bâtiments anciens sont même assimilables à **des passoires énergétiques tropicales**. Les causes sont multiples : des réglementations thermiques récentes ou peu exigeantes, une approche bioclimatique peu développée, généralisant « le tout climatisé ».

Les solutions sont connues, mais leur optimisation nécessite une expertise spécifique, visant un subtil équilibre entre la protection solaire et les apports de lumière naturelle, dans une approche architecturale.

L'amélioration de ces bâtiments est nécessaire pour de multiples raisons :

1. les gisements d'économies d'énergie sont considérables
2. les coûts de l'électricité augmentent fortement
3. la production d'électricité est fortement carbonée en Outre-Mer
4. pour le confort des occupants (clients, locataires, usagers des services publics, ...)
5. le dispositif « décret tertiaire » oblige les maîtres d'ouvrages à réduire leurs consommations d'énergie.



Etat des lieux énergétique du périmètre

Sur le périmètre des bâtiments tertiaires situés dans les DROM, la climatisation représente le poste prépondérant des consommations d'énergie.

Le secteur tertiaire représente pour les 5 DOM une consommation électrique totale annuelle d'environ 2000 GWh :

	971-Guadeloupe	972-Martinique	973-Guyane	974-Réunion	976-Mayotte	Unité	TOTAL DOM
Secteur tertiaire							
Consommation électrique tertiaire	375	530	437	484	164	GWh	1 990
Source	OREC, année 2021	Opendata EDF 2021	Opendata EDF 2021	Oer spl horizon réunion 2021	ADEME 2021		

En Guadeloupe, à titre d'exemple, les bâtiments tertiaires représentent, selon l'Observatoire Régional de l'Energie et du Climat, 40 % des consommations électriques.

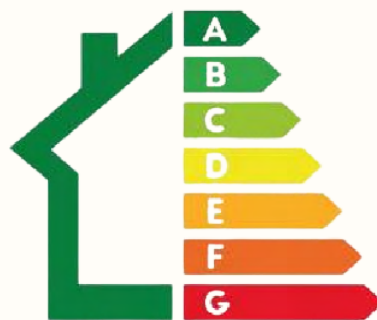


Etiquette énergie des bâtiments tertiaires existants

Cadre du DPEG (référentiel RTG 2020) en Guadeloupe

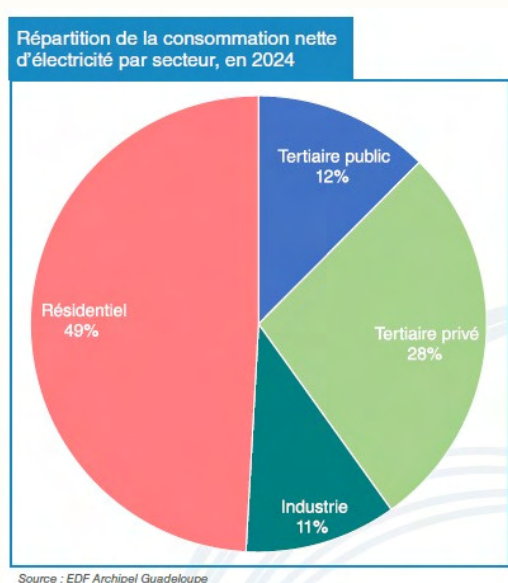
Pour les bâtiments de notre périmètre des bâtiments cibles, la déclinaison du DPE en Guadeloupe, cadre réglementaire de la RTG, a fixé une échelle des consommations énergétiques des usages dits immobiliers (climatisation, éclairage).

	bâtiments résidentiels	bâtiments non résidentiels
Classe	Valeur ICE en kWh _{ef} /m ² _{SPL.an}	
A	≤ 15	≤ 60
B	16 à 25	61 à 100
C	26 à 30	101 à 150
D	31 à 45	151 à 200
E	46 à 60	201 à 250
F	61 à 90	251 à 350
G	> 90	> 350



A	≤ 60
B	61 à 100
C	101 à 150
D	151 à 200
E	201 à 250
F	251 à 350
G	> 350

Valeur des indicateurs de Consommation Énergétique (ICE) en kWh_{ef}/m²_{SPL.an} pour les bâtiments tertiaires



Répartition des consommations électriques en Guadeloupe par secteurs en 2024 (OREC)

En outre, dans un avenir proche, ces bâtiments et leurs infrastructures associées (parking) devront également subvenir aux nouveaux besoins de la mobilité électrique.



Un gisement énergétique considérable

Sur la base d'un bilan énergétique estimé à 2000 GWh/an pour l'ensemble des bâtiments tertiaires des DROM, une hypothèse prudente et réaliste, validée par les études menées dans le cadre de ce projet, est de considérer que le gisement lié à l'amélioration de leur protection solaire représente de l'ordre de 10 % à 20% des consommations totales du segment pour l'essentiel des bâtiments. Certains bâtiments économiseront plus que le haut de la fourchette tandis que très peu économiseront moins.

Sur le plan financier, les économies pour les consommateurs et la collectivité sont à estimer sur la base d'un coût moyen estimé par la CRE à 347 €/MWh en 2023. L'enjeu financier du gisement de 200 GWh/an serait donc proche de **70 millions d'Euros par an**.

Ce gisement est donc considérable, d'autant qu'il s'ajoute aux enjeux de confort, dont les bénéfices s'avèrent également majeurs pour les usagers concernés.

Les bâtiments ciblés par le projet HELIODROM sont listés dans la partie 3.2.

BASES DE THERMIQUE



2

BASES DE THERMIQUE



2.1 LES ESSENTIELS DE THERMIQUE DU BÂTIMENT



Chaque bâtiment est exposé à un environnement climatique qui dépend de sa localisation.

La latitude d'un lieu, c'est-à-dire sa position par rapport à l'équateur qui sépare les hémisphères Nord et Sud du globe terrestre, est un des paramètres qui conditionnent le climat sur chacune de ces localisations. Ce positionnement en latitude est le seul qui détermine la course du soleil. Les autres paramètres qui influencent le macro-climat d'un lieu sont l'altitude du lieu et son positionnement par rapport aux échanges thermiques atmosphériques (courants atmosphériques et courants marins).

Ainsi, les bâtiments échangent en permanence de l'énergie avec leur environnement, échanges qui, ultimement, se traduisent par de la chaleur dissipée.

Il existe 3 modes d'échanges thermiques :

- **le rayonnement**, qui est un mode de transmission énergétique électromagnétique sans support matériel et qui est donc le seul qui existe dans le vide (par exemple l'espace entre le soleil et les couches atmosphériques de la Terre)
- **la conduction**, qui est le mode de transmission de la chaleur dans les solides
- **la convection**, qui est le mode de transmission de la chaleur dans les fluides comme l'air ou l'eau.



La protection solaire des bâtiments en climat tropical s'intéresse avant tout au **rayonnement solaire** qui peut l'atteindre. Il est important de bien connaître ses caractéristiques pour optimiser la conception architecturale de ceux-ci.



Le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique qui transmet de l'énergie sur la terre. Ce rayonnement n'est pas uniforme, mais spectral : il se décompose en différentes longueurs d'ondes, porteuses d'énergie.

La puissance solaire qui atteint les confins de l'atmosphère est constante, à quelques % près, et s'appelle la « **constante solaire** » ; sa valeur est de 1350 W/m².

En climat tropical, le **rayonnement solaire est**, avec la charge thermique dissipée par les activités à l'intérieur du bâtiment (dite charge interne), la **principale charge thermique** qui, le plus souvent, génère la nécessité de le rafraîchir. Il est donc essentiel de bien connaître ses caractéristiques pour se protéger de ses impacts négatifs sur le bâtiment (élévation de température) tout en conservant son effet positif : l'apport de lumière naturelle.

Approfondissements



Les principes bioclimatiques

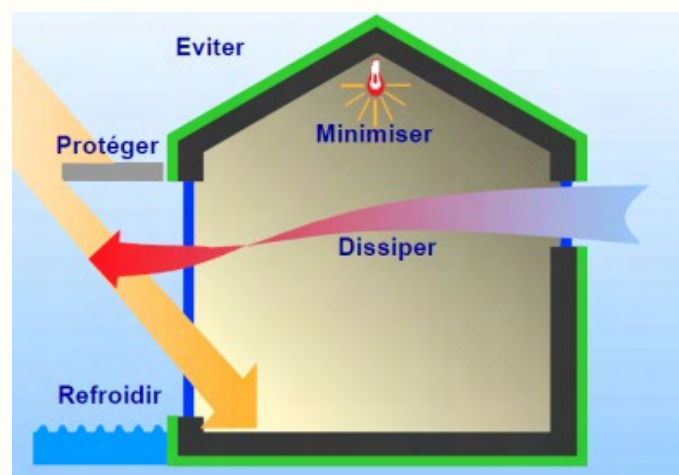
Pour les climats chauds en général, on cherche **par une stratégie globale de protection solaire** à limiter le captage de chaleur en provenance de son environnement :

- en captant donc le moins de rayonnement solaire possible,
- afin que l'énergie captée ne soit pas stockée par les parois,
- et pour qu'elle ne soit, in fine, ni distribuée, ni conservée dans le bâtiment.

Dans le cas contraire, lorsque la protection solaire n'est pas suffisante, le rayonnement solaire va générer inévitablement à l'intérieur des bâtiments des inconforts et/ou des consommations de climatisation importantes.

En climat tropical, les principes des constructions bioclimatiques reposent donc essentiellement sur :

1. **la protection solaire des abords** des constructions par divers dispositifs notamment le déploiement de diverses strates végétales et le traitement des sols.
2. **la protection solaire des parois extérieures** (toitures, murs et baies) des bâtiments
3. **la ventilation naturelle** et la création d'espaces ouverts et abrités
4. **l'étanchéité à l'air** des espaces climatisés
5. **la minimisation des charges thermiques internes** : les activités humaines et tous les équipements techniques qui dégagent de la chaleur (ordinateurs, écrans, éclairages, photocopieurs, cafetières, ...).



Principes bioclimatiques en climat tropical (source : traité d'architecture bioclimatique, André de Herde & al)



Pour résumer, il s'agira :



de protéger les parois opaques de l'enveloppe, c'est à dire les toitures et les murs, du rayonnement solaire direct et / ou de les isoler thermiquement de manière à minimiser le phénomène suivant : absorption du rayonnement solaire / conduction à travers la paroi / rayonnement vers l'espace intérieur et l'occupant. Cette protection solaire doit être mise en œuvre pour tous les bâtiments, qu'ils fonctionnent en ventilation naturelle ou avec une climatisation Cette protection solaire peut être végétale et/ ou architecturale, une combinaison des deux étant généralement bien plus efficace.



de protéger les parois vitrées de l'enveloppe du rayonnement solaire direct par de la végétalisation et/ou des dispositifs architecturaux fixes et/ou mobiles, ici encore une combinaison des deux étant souhaitable ;



de minimiser les apports de chaleur internes ;



pour les bâtiments totalement bioclimatiques, c'est à dire sans climatisation, d'évacuer les apports résiduels de chaleur (climatiques et internes) dans les ambiances par de la ventilation naturelle ou mécanique. Dans les bâtiments qui le permettent, c'est à dire les bâtiments traversants, cette ventilation d'extraction de la surchauffe pourra aussi, quand les conditions aérauliques le permettent, créer une vitesse d'air naturelle sur l'occupant qui abaisse la température ressentie.



Enfin, pour les bâtiments, ou pour les zones des bâtiments climatisées, d'évacuer ces apports par une climatisation optimisée (conception, dimensionnement, gestion, maintenance).



Comment caractériser le rayonnement solaire ?

Le climat des zones tropicales humides est caractérisé par des températures relativement douces (en moyenne annuelle de l'ordre de 26 degrés aux Antilles) avec de faibles fluctuations circadiennes et annuelles, par des précipitations abondantes et par un fort rayonnement solaire.

L'énergie solaire est abondante : en effet, le soleil fournit à chaque instant un flux égal à près de 10 000 fois la consommation énergétique mondiale !

Cette énergie est néanmoins intermittente (jour / nuit) et variable selon les saisons en raison de la variation de la course solaire ainsi que celle de la nébulosité. Le rayonnement solaire global a deux composantes :

- d'une part, le rayonnement solaire direct qui caractérise la composante du rayonnement reçue directement du disque solaire et qui représente en zone tropicale environ les 2/3 de l'énergie totale reçue pour une journée ensoleillée ;
- d'autre part, le rayonnement solaire diffus qui est la composante du rayonnement solaire qui a été dispersée dans toutes les directions par les gaz atmosphériques et qui parvient sur un bâtiment dans toutes les directions de la voûte céleste de manière isotrope.

Il existe également un rayonnement réfléchi qui est la composante du rayonnement solaire qui frappe un bâtiment après réflexion des composantes directes et diffuses sur les diverses surfaces de l'environnement proche (sol, autres bâtiments, ...).

Ce rayonnement solaire ou irradiation solaire est un flux d'énergie qui frappe une surface, pendant une durée donnée, il s'exprime généralement en kWh/m². On le qualifie de rayonnement solaire incident.

Dans les régions tropicales considérées dans ce guide, les valeurs du rayonnement solaire incident sur une surface horizontale sont en moyenne de l'ordre de 5 kWh/m² par jour, soit un flux annuel d'environ 1800 kWh/m².

En revanche, la valeur instantanée du rayonnement incident, ou puissance incidente, est très variable et fluctue, au niveau de la mer, de 0 W/m² à un maximum de 1000 W/m² environ pour une période ensoleillée. L'écart entre la constante solaire de 1350 W/m² et cette puissance maximale incidente au niveau du sol de 1000 W/m² représente donc l'énergie qui a été absorbée par l'atmosphère.

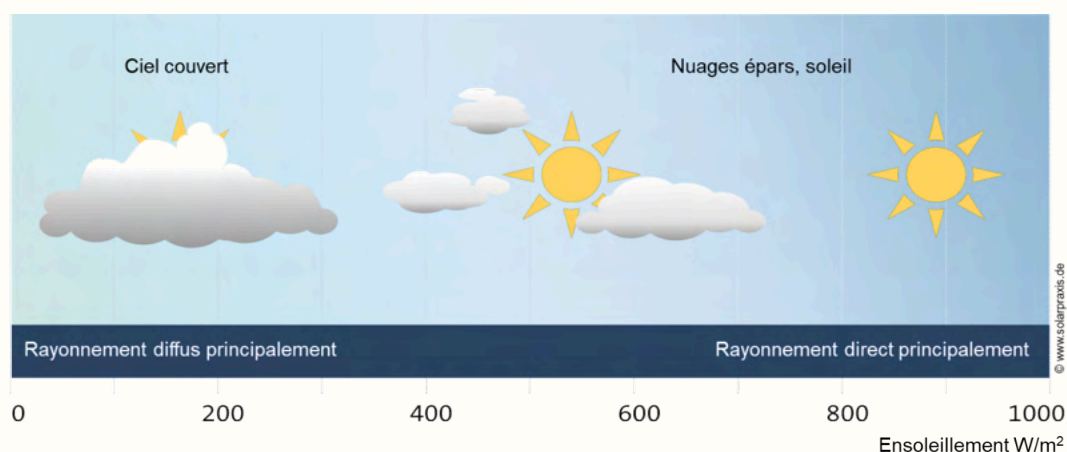


Illustration : solarpraxis

Par ailleurs, il est important de bien connaître, pour un lieu donné, outre la quantité de rayonnement solaire incident, **la course du soleil**. Celle-ci dépend, et pour chaque jour de l'année, uniquement de sa latitude. Cette course du soleil varie selon les saisons et, bien sûr, selon l'heure de la journée. **Elle est caractérisée**, à chaque moment, **par deux angles** : un angle, appelé **azimut** qui définit l'angle par rapport à une direction donnée (en général le Sud dans l'hémisphère Nord) de la position de la projection verticale du soleil sur la ligne d'horizon et un autre angle, appelé **hauteur angulaire**, qui définit la position du soleil par rapport à cet horizon.

2

BASES DE THERMIQUE



2.2 CARACTÉRISATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE



Pour optimiser la protection solaire des bâtiments, il est essentiel de bien connaître l'ensemble des caractéristiques du rayonnement solaire.

Comme évoqué précédemment, le rayonnement solaire est abondant sur des cycles longs et, en même temps, intermittent sur des cycles circadiens et enfin quantitativement variable sur des cycles annuels (alternance de la nébulosité en fonction des saisons).

Ce rayonnement n'est pas uniforme, mais il est décomposable en franges de diverses longueurs d'onde : **on dit qu'il est spectral.**



Pour résumer, on considère généralement les trois composantes principales du rayonnement solaire qui sont :

1. **les rayonnements ultraviolets ou UV**, qui ont la plus petite longueur d'onde et qui représentent une faible part (quelques %) de l'énergie totale incidente. Ces UV ne traversent pas les vitrages des bâtiments.
2. **le rayonnement visible**, qui nous apporte la lumière, indispensable aux activités humaines et à la vie notamment à la photosynthèse des plantes. Il représente environ 40% de l'énergie totale incidente.
3. **le rayonnement infrarouge proche**, qui apporte directement de la chaleur mais dont les longueurs d'onde, plus longues, sont au-delà du spectre du visible. Il représente environ 50% de l'énergie totale incidente.

La course du soleil dépend des saisons. Chacun sait que le soleil se lève tous les matins « vers l'Est » (en fait, dans l'hémisphère Nord, au Nord de l'Est entre l'équinoxe dite de printemps et l'équinoxe d'automne et au Sud de l'Est entre l'équinoxe dite d'automne et l'équinoxe de printemps) et se couche le soir vers l'Ouest (en symétrie par rapport au matin), **toutefois qui connaît la hauteur angulaire du soleil à la mi-journée ?**

Cette connaissance est fondamentale pour pouvoir se protéger du soleil. Elle dépend du lieu considéré et du jour de l'année.

En climat tropical, les toitures ont vocation à servir de véritable bouclier thermique, protégeant les occupants des bâtiments, à la fois des pluies, mais également de la chaleur. Elles seront donc systématiquement isolées thermiquement avec un isolant thermique performant, durable et le plus lourd possible. Elles seront de préférence de couleur claire. Elles pourront également, dans les bâtiments entièrement bioclimatiques, être protégées de l'ensoleillement par de la végétation et/ou des dispositifs de double toiture.

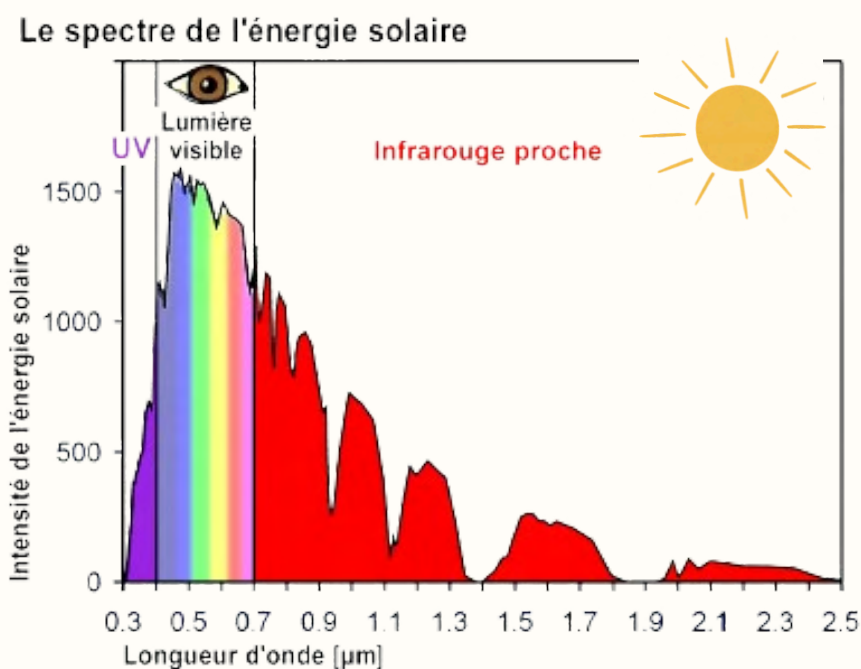
Les parois verticales devront être protégées de l'ensoleillement direct. A fortiori, **les vitrages devront également être mis à l'ombre** pour une conception optimisée des bâtiments, de préférence **par des dispositifs extérieurs de protection solaire** : auvents, brise-soleil, lames verticales et horizontales, volets, toiles, persiennes, treilles végétales ...).

Approfondissements



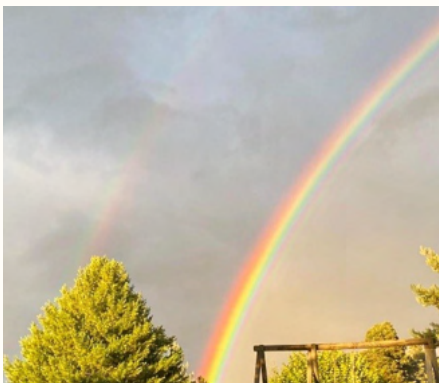
La décomposition du rayonnement solaire

Le graphique suivant présente la quantité d'énergie des 3 composantes spectrales principales du rayonnement solaire.



Flux d'énergie du spectre du rayonnement solaire

Comme déjà indiqué, **les rayons Ultra-Violets** sont quantitativement faibles car ils transportent très peu d'énergie et ne traversent pas les vitrages. Il est néanmoins nécessaire de s'en protéger car un excès d'exposition peut provoquer des pathologies (cancer) et ils sont responsables de la dégradation des matériaux plastiques ou encore de la décoloration des teintes vives des bâtiments.



La lumière visible, se décompose selon les différentes couleurs de l'arc en ciel. Dans les bâtiments, elle apporte évidemment l'indispensable éclairage naturel des espaces.

Enfin, il faut considérer d'autres rayonnements invisibles, porteurs d'une grande part de l'énergie (environ 50 % du total) : les rayonnements Infra-Rouges (IR) proches dont la longueur d'onde se situe au-delà du spectre de la couleur rouge dans le visible. Les IR sont absorbés par l'enveloppe des bâtiments et transférés par conduction à l'intérieur.

Ce rayonnement infrarouge proche traverse également les vitrages sauf traitement spécifique de ceux-ci : il a donc l'inconvénient d'apporter de la chaleur dans le bâtiment sans aucun bénéfice en termes d'éclairage.



La recherche d'un équilibre entre les apports de lumière dans les bâtiments et la maîtrise des apports de chaleur est subtile. C'est le cœur de l'approche HELIODROM !
 —> Elle est décrite dans le chapitre 5.



La course du soleil

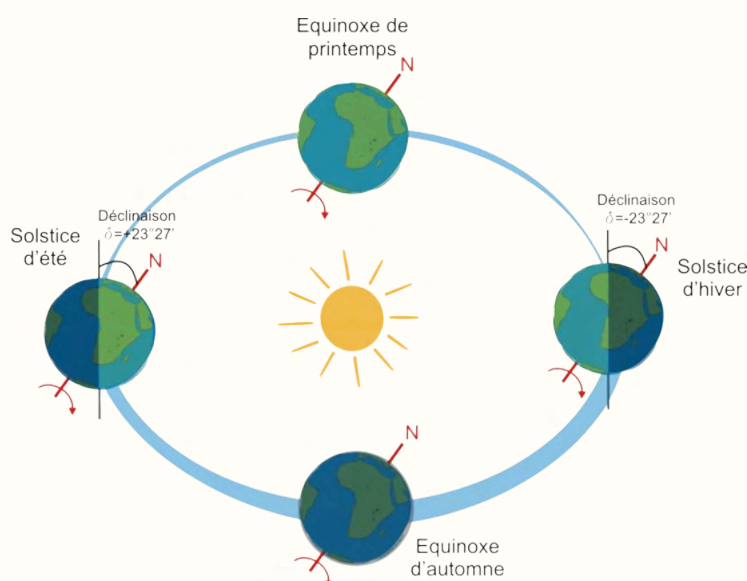
- La Terre tourne autour de son étoile, le Soleil, dans un plan en décrivant une ellipse de faible excentricité (période : 365 jours et 1/4)
- Ce déplacement dans ce plan se fait en tournant autour d'un axe incliné, par rapport au plan de rotation autour du soleil. Cette inclinaison s'appelle Déclinaison angulaire δ : cet angle est fixe et égal à environ 23,5 degrés (en réalité, il varie très légèrement en oscillant entre 22,1° et 24,5° sur une période d'environ 41 000 ans).

Les variations saisonnières d'un lieu donné sont créées par cette inclinaison du plan équatorial. L'orbite terrestre étant quasiment circulaire, la distance terre / soleil reste quasi invariable et d'environ 150 millions de km (soit 8 minutes 20 secondes -lumière).

Les variations saisonnières résultent donc de l'angle d'incidence du soleil sur la surface du lieu considéré.

Pour un hémisphère donné, lorsque l'axe de rotation s'incline vers le plan de rotation, les durées d'exposition sont plus longues.

Le rayonnement solaire parvient alors de manière plus verticale, ce qui entraîne une augmentation des énergies reçues, car la masse d'air traversée est réduite.



Dans la zone intertropicale, c'est à dire lorsqu'on est situé sur un lieu proche de l'équateur, la course du soleil reste très haute en milieu de journée et est très proche du zénith au midi solaire : ces régions bénéficient d'un climat chaud, avec très peu de variations saisonnières, en raison de cette permanence d'un ensoleillement dont la durée quotidienne varie faiblement d'une saison à l'autre.

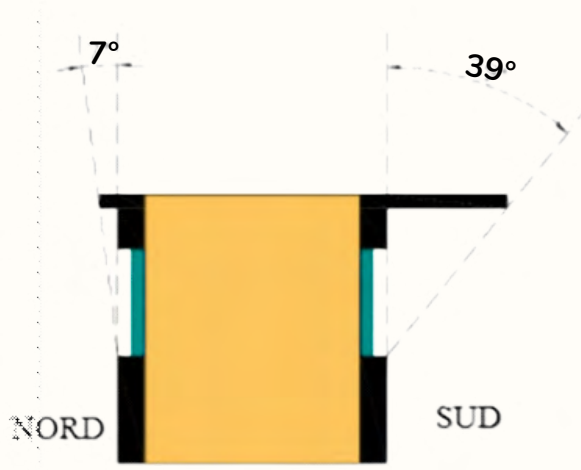
À l'inverse, les pôles ont un climat très froid car la course du soleil est, toute l'année, très proche de l'horizon et la masse d'air à traverser est très épaisse, ce qui diminue considérablement l'énergie reçue même si les journées d'été sont très longues. La latitude du lieu et la déclinaison terrestre ($23,5^\circ$) donnent la position du soleil en milieu de journée au midi solaire.



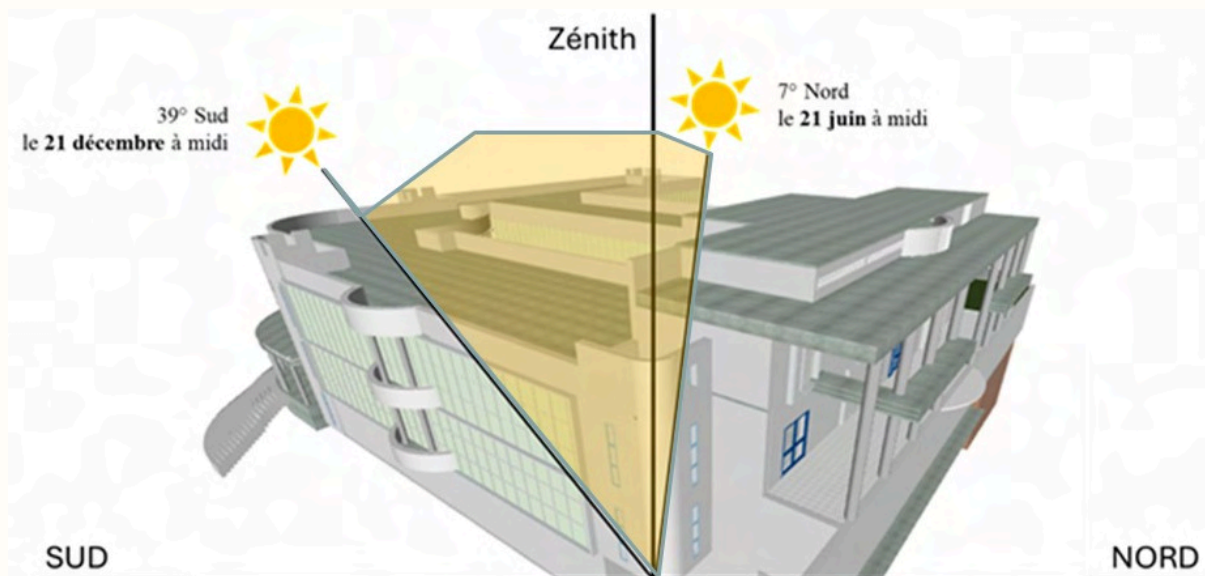
Ainsi, pour les Antilles :

- La Guadeloupe (située à 16° N de latitude)
- La Martinique (située à 14° N)

Les valeurs extrêmes dans le plan Nord-Sud en milieu de journée sont représentées comme suit dans une représentation simplifiée d'une coupe du plan Nord-Sud :



Exemple d'un bâtiment situé en Guadeloupe :



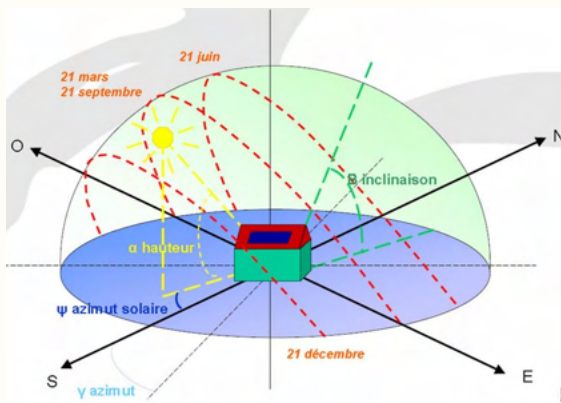
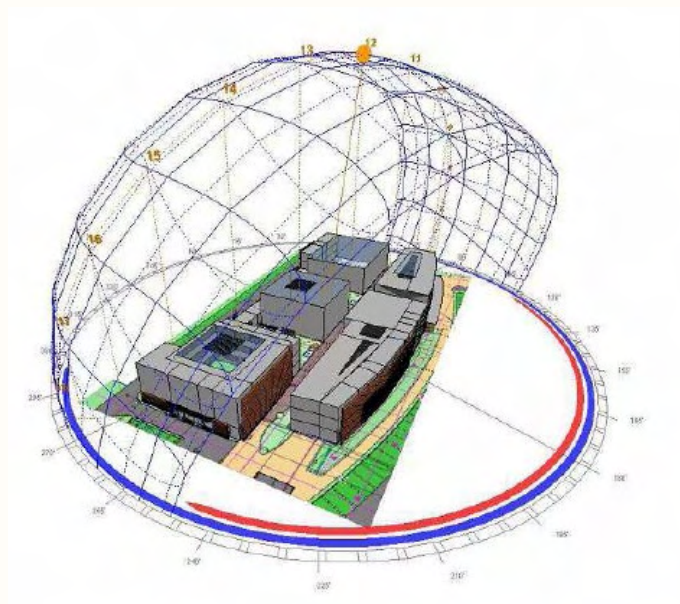
Variation saisonnière de l'ensoleillement en Guadeloupe :

Cette illustration montre les angles solaires à midi pour un bâtiment situé en Guadeloupe, avec le soleil au zénith à 7° Nord le 21 juin et à 39° Sud le 21 décembre. Ils constituent une donnée essentielle pour concevoir une architecture bioclimatique adaptée au climat tropical, optimisant l'ombre, la lumière naturelle et la ventilation.

Les outils et logiciels de conception permettent de représenter l'héliodon sur les constructions, mais il est important de retenir les points essentiels :

Pour les Antilles, le soleil reste toute l'année haut dans le ciel en journée :

- en saison plus « fraîche », il sera incliné vers le Sud du zénith en milieu de journée et à l'extrême du solstice du 21 décembre, selon un angle par rapport au zénith, égal à Latitude + 23°, soit 39° de la verticale (ou 51° du plan horizontal pour l'azimut Sud) en Guadeloupe et 37° (soit 53° du plan horizontal pour l'azimut Sud) en Martinique.
- en saison chaude, le soleil passe au Nord pour les zones tropicales de l'hémisphère Nord ; il sera incliné vers le Nord en milieu de journée et à l'extrême du solstice du 21 juin, selon un angle, par rapport au zénith, égal à Latitude - 23°, soit 7° en Guadeloupe et 9° en Martinique (soit respectivement 83° et 81° de l'azimut Nord).



$$\begin{aligned}
 H_{\max} &= (90^\circ - L) + 23,45^\circ \text{ au solstice d'été} \\
 H_{\min} &= (90^\circ - L) - 23,45^\circ \text{ au solstice d'hiver} \\
 H_{\text{moy}} &= (90^\circ - L) \text{ aux équinoxes} \\
 L &= \text{latitude du lieu}
 \end{aligned}$$



La connaissance et la représentation de ces angles limites est une condition essentielle de la conception optimisée de la protection solaire des façades exposées.



Les valeurs types du rayonnement solaire (ou énergies incidentes) sur les parois verticales selon les orientations en zone tropicale

On donne ci-dessous les valeurs-type du rayonnement (en kWh/m²) quotidien moyen par ciel clair reçu par les parois verticales non protégées d'un bâtiment selon les 4 orientations cardinales et le plan horizontal, pour les 5 DROM (leur latitude est indiquée). En réalité, ces valeurs sont minimisées par les nuages que le rayonnement solaire doit traverser.

Valeurs du rayonnement solaire global moyen quotidien (kWh/m ² /j)	SUD	EST / OUEST	NORD	Plan horizontal
971 - Guadeloupe (16°N)	1,79	2,00	0,38	5,66
972 - Martinique (14°N)	1,72	2,01	0,44	5,72
973 – Guyane (5°N)	1,22	2,05	0,85	5.95
974 – Réunion (21°S)	0,24	1,96	2,03	5,44
976 – Mayotte (12°S)	0,37	2,29	1,94	5,64



Ces valeurs sont issues des modélisations du projet HELIODROM, à partir des données **Meteonorm** (<https://meteonorm.com/>).

Elles représentent des valeurs moyennes annuelles pour des parois verticales, selon leurs orientations et ainsi qu'en plan horizontal, hors effets de site et nébulosité.



On notera 2 points importants :

- Indépendamment des effets de site, du relief et des conditions météo notamment en termes de nébulosité, les valeurs du rayonnement solaire potentielles sont assez identiques pour les orientations Est et Ouest (la course du soleil étant parfaitement symétrique par rapport à l'axe Nord-Sud), et elles sont relativement élevées.
- Pour les territoires situés dans l'hémisphère Sud (Réunion et Mayotte), les irradiations sont plus importantes au Nord qu'au Sud (et l'inverse dans l'hémisphère Nord).

POUR EN SAVOIR PLUS :

Meteonorm <https://meteonorm.com>



2

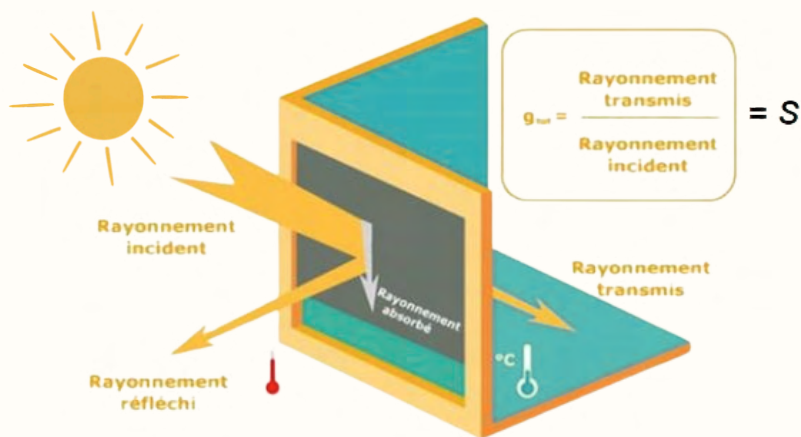
BASES DE THERMIQUE



2.3 L'INDICATEUR CLÉ : LE FACTEUR SOLAIRE

Le **facteur solaire** d'une paroi opaque ou transparente exprime la fraction de l'énergie solaire qui traverse cette paroi. On le note g ou S , ou **Fts (Facteur de Transmission Solaire)** et il s'exprime par une valeur comprise entre 0 et 1 ou en pourcentage. **C'est l'indicateur clé permettant de caractériser simplement l'efficacité de la protection solaire d'une paroi.**

Ainsi, un simple vitrage clair a un facteur solaire d'environ 85 % : cela signifie que le vitrage « laisse passer » 85 % du rayonnement solaire incident ; plus précisément, cela signifie que le vitrage bloque les UV, laisse passer presque 100 % du rayonnement visible (à l'exception de quelques franges de longueur d'onde selon la composition du verre) et la majorité des rayons infrarouges proches.



Pour les parois opaques de l'enveloppe, le facteur solaire dépend de 3 éléments :

- **la nature et la composition de la paroi** et notamment sa résistance thermique : le facteur solaire est inversement proportionnel à la résistance thermique de la paroi ;
- **la couleur extérieure et la brillance de la paroi** : elle joue un très grand rôle de réflexion du rayonnement solaire, si elle est de teinte claire, et, au contraire, d'absorption du rayonnement si elle est de teinte foncée. Par ailleurs, si elle est brillante, elle reflètera une partie importante du rayonnement solaire, notamment pour les incidences rasantes, ce qui ne sera pas le cas pour les surfaces mates.
- **l'exposition de la paroi au rayonnement direct** : des coefficients d'ombrage impactent le facteur solaire d'une paroi, en fonction des protections solaires végétales et architecturales extérieures de celles-ci (auvents, casquettes, brise-soleil, ...). Stricto sensu c'est plutôt la quantité d'énergie incidente sur la paroi que ces masques impactent.

Approfondissements



Valeurs réglementaires des facteurs solaires en Outre-mer

En climat tropical, la réglementation thermique française pour les logements des DOM (RTAA DOM) impose des facteurs solaires maximum à respecter pour chaque type de parois des bâtiments :

- **3 % pour les toitures**, qui doivent fonctionner pour tous les bâtiments (résidentiels comme tertiaires) comme des « boucliers thermiques » en climat tropical ;
- **9 % pour les murs**, qui doivent également autant que possible, être ombragés ;
- **20% à 40%, selon les orientations pour les baies**

Pour les vitrages, idéalement, en climat chaud, ils ne devraient transmettre que les longueurs d'onde de la lumière visible à l'intérieur des bâtiments, soit moins de 40 % du flux énergétique du rayonnement solaire. Cette performance est possible avec des verres dits sélectifs, très chers, qui laissent passer l'essentiel du rayonnement visible en bloquant l'infrarouge proche.

Toutefois cette valeur de 40% du flux énergétique reste encore considérable car ce rayonnement visible, après absorption par les parois intérieures, génère de la chaleur.

On vise donc idéalement pour les parois des valeurs de facteurs solaires très significativement plus faibles afin de permettre un fonctionnement bioclimatique des bâtiments et/ou de minimiser les consommations de climatisation qui sont données ci-après



En conséquence, les tours de verre et les bâtiments ayant des surfaces de vitrages surdimensionnées, favorisant la transparence totale, seront à proscrire en climat tropical car cette conception générera inévitablement de l'inconfort et des besoins de rafraîchissement considérables.



Facteurs solaires des vitrages courants

On donne ci-dessous les valeurs caractéristiques des facteurs solaires des vitrages courants :

Type de vitrage	Facteur solaire (g)	Spécification , épaisseurs	référence St-Gobain
Simple vitrage clair	0,81 ~0,85	6 mm 6 + 12	PLANILUX
Double vitrage clair	0,72	+ 6 mm	CLIMALIT
Simple vitrage teinté	0,61	6 mm 6 mm	PARSOL BRONZE
Simple vitrage réfléchissant	0,66		ANTELIO
Simple vitrage teinté réfléchissant	0,40 ~ 0,45	6 mm	ANTELIO HAVANE

Valeurs – type des facteurs solaires des vitrages courants (d'après documents Saint-Gobain)

On observe que les valeurs visées des facteurs solaires par la RTAA DOM pour les vitrages en zone tropicale (0,20 à 0,40), ne sont pas atteintes avec des vitrages courants, et donc, a fortiori, les valeurs plus ambitieuses que nous recommandons le sont encore moins. **Il est donc, indispensable de conduire un travail conceptuel d'optimisation des surfaces de vitrage à mettre en place et de mettre en œuvre des principes de protection solaire adéquats.**

Nous recommandons de respecter les valeurs suivantes pour les facteurs solaires selon les orientations :

ORIENTATION de la façade (hémisphère nord)	EXIGENCE MINIMALE Indicateur : Facteur solaire (Fts)
Ouest et Sud-ouest	< 10 %
Est et Sud-est	< 15 %
Sud, Nord-est et Nord-ouest	< 20 %
Nord	< 30%
Vitrage horizontal	Prohibé

Valeurs d'objectifs des facteurs solaires des baies

En ce qui concerne les parois opaques (les toitures et les murs) **nous recommandons également d'aller bien au-delà de la réglementation et de respecter les facteurs solaires plus exigeants, selon que les espaces sont traités en ventilation naturelle ou climatisés.**

Il est important de noter – enfin – que les fonctions des baies et fenêtres sont multiples et ne peuvent se résumer à apporter de la lumière.

Elles doivent contribuer en outre à :

- agrément visuel pour les occupants : vue sur l'extérieur
- la ventilation naturelle ou étanchéité à l'air des espaces climatisés
- la protection contre les intempéries (pluie, vents)
- la protection contre les intrusions (nuisibles) et la sécurité anti-effraction
- la sécurité paracyclonique
- la protection solaire
- l'isolation acoustique
- (...)

Et, ce faisant, elles participent à l'écriture architecturale du bâtiment.

Ces multiples fonctions conduisent donc souvent à concevoir les baies qui comprennent des compositions multiples (baies vitrées + volets/ protections solaires diverses, ...).

Ces solutions de protection solaire peuvent également être combinées avec d'autres fonctions (anti-effraction, protection paracyclonique, ...).

L'architecte doit toujours être le « chef d'orchestre » de l'équipe de conception qui arbitrera et pondèrera in fine l'ensemble des fonctions pour élaborer les solutions optimales dont l'atteinte du confort visuel et thermique et la performance énergétique sont des composantes fondamentales mais non exclusives.

Il n'y a donc, dans cet arbitrage, pas de solution parfaite, mais toujours des compromis au service d'une cohérence globale !

Il faut toutefois garder à l'esprit que les solutions mettant en œuvre des façades entièrement vitrées seront toujours inadaptées en climat tropical.

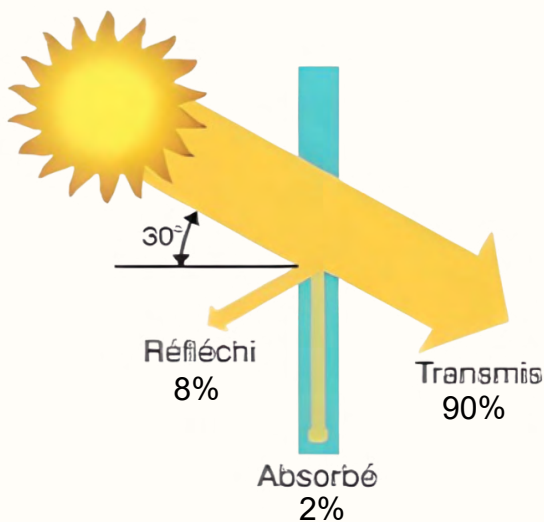
2

BASES DE THERMIQUE

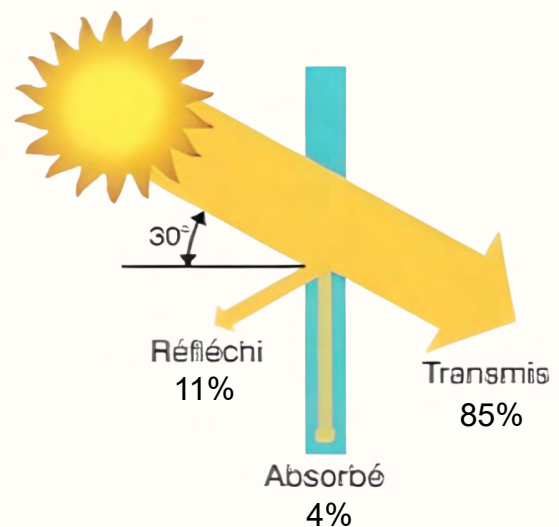


2.4 LE FONCTIONNEMENT D'UN VITRAGE

En l'absence de protection solaire sur un vitrage clair (transparent c'est-à-dire sans traitement spécifique), une faible part du rayonnement reçu est réfléchi (pour des angles d'incidence de 0° à 50° autour de la normale – voir ci-dessous), une très faible part est absorbée par le vitrage (qui s'échauffe et rayonne ensuite sur ses deux faces) et la majeure partie de l'énergie reçue est transmise à l'intérieur du bâtiment : de l'ordre de 85 % pour un simple vitrage clair (cette valeur est le facteur solaire).



Rayonnement direct



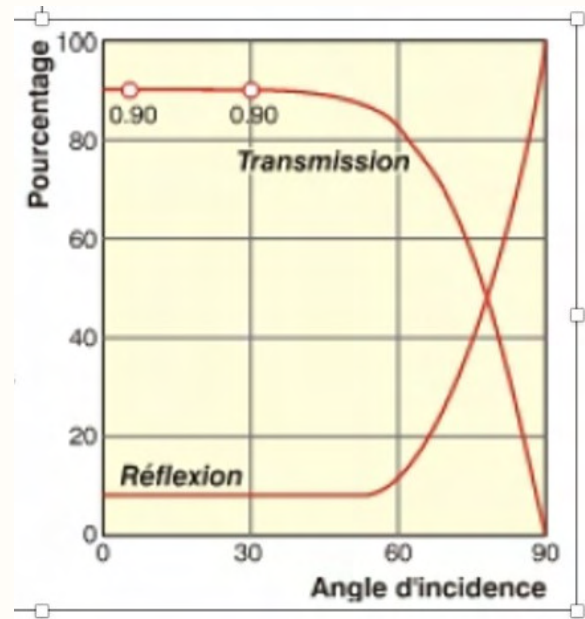
Rayonnement global par journée ensoleillée

La distinction entre les deux graphiques ci-dessus réside dans le fait que le graphique de gauche, se rapporte au rayonnement direct, tandis que celui de droite concerne le rayonnement global sur une journée ensoleillée. En effet, dans ce dernier cas, nous avons environ 75 % de rayonnement direct et 25 % de rayonnement diffus. La composante diffuse, étant isotrope, provient de l'ensemble de la voûte céleste et inclut, au-delà de 45° , des parties fortement réfléchies.

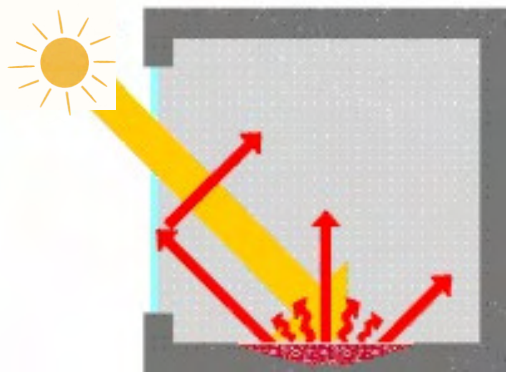


Lorsque l'angle d'incidence du rayonnement direct s'écarte de la normale au-delà de 50° le pourcentage d'énergie réfléchi augmente et donc l'énergie transmise diminue.

Nous savons déjà que les vitrages sont opaques vis-à-vis du rayonnement Ultra-Violet. Les vitrages transmettent la quasi-totalité du rayonnement solaire visible (seules quelques plages de longueur d'onde étant absorbées en fonction des oxydes métalliques contenus dans le verre) et la quasi-totalité du rayonnement solaire infrarouge proche.



Le principe de l'effet de serre d'un vitrage est bien connu :



Source : energieplus.be

Une fois à l'intérieur du bâtiment, le rayonnement solaire incident après multi-réflexions est absorbé par diverses surfaces et objets et transformé en chaleur, d'une part conduite à l'intérieur des composants concernés et d'autre part, rayonné à leur surface sous forme d'infrarouge de très grande longueur d'onde ou infrarouge lointain. Or le verre a cette propriété extraordinaire d'être opaque au rayonnement infrarouge lointain. L'énergie solaire captée est donc piégée dans le bâtiment : **c'est l'effet de serre**. Ce rayonnement thermique piégé provoque donc un échauffement du bâtiment. Cet apport de chaleur peut être dissipé de préférence par la ventilation naturelle (solution bioclimatique ou passive) ou, à défaut, par un système de rafraîchissement du bâtiment (solution active), plus énergivore.

Un enjeu important de la conception architecturale est donc de dimensionner et de protéger correctement les surfaces vitrées d'un bâtiment, par rapport à des problématiques de confort sensoriels et psychologiques (vue sur l'extérieur par exemple) tout en étant globalement cohérent notamment en termes d'expression architecturale.

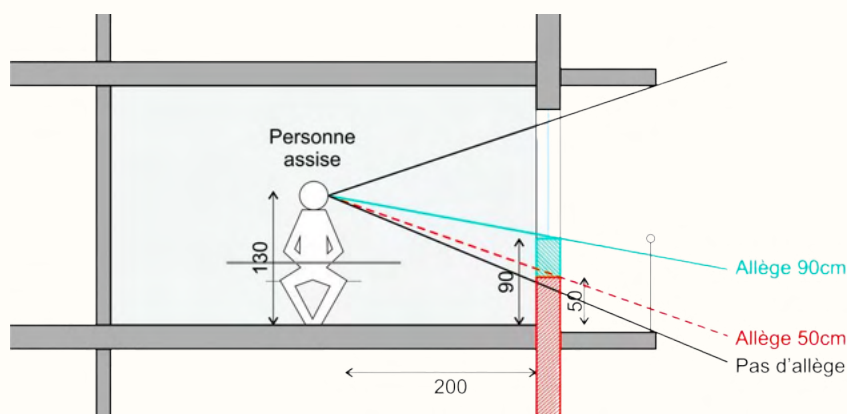
Si de toute évidence une des fonctions privilégiées d'un vitrage est l'apport de lumière naturelle, on peut affirmer sans équivoque que, par exemple, **les allèges vitrées sont à minimiser**, notamment en climat chaud : en effet, elles n'apportent pas une quantité de lumière significative dans les pièces, par rapport à la partie haute des vitrages.

Approfondissements

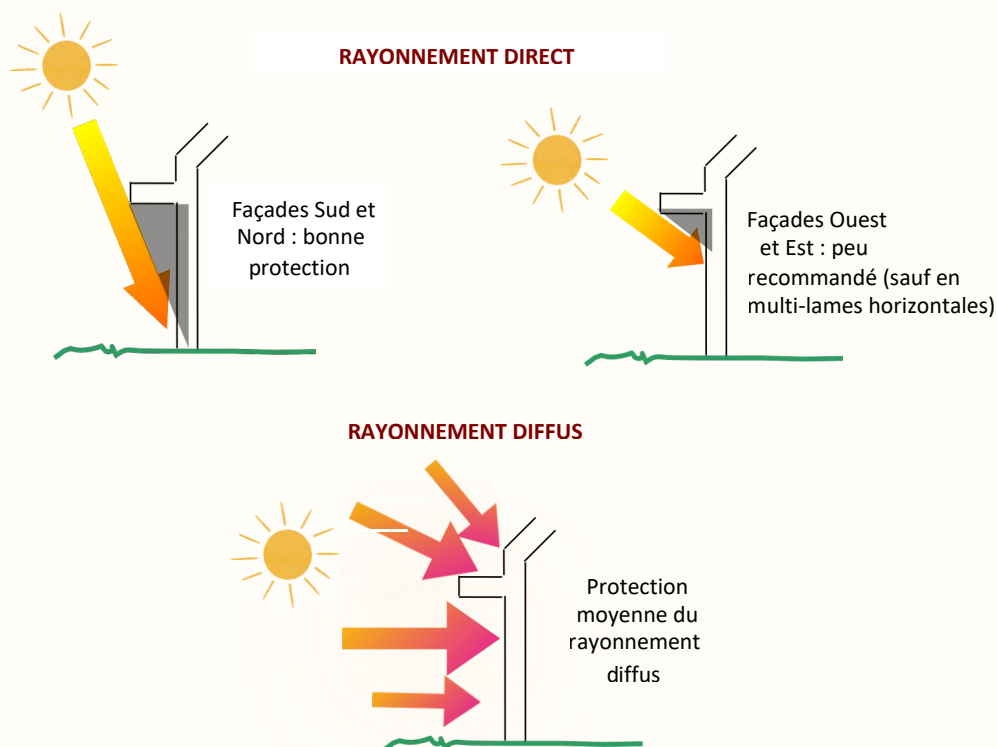


La question des allèges vitrées

Une allège vitrée améliore le confort visuel des occupants en permettant une perception à 180° du paysage extérieur depuis le ciel jusque vers le sol où se situent les activités humaines. En revanche, l'apport en lumière naturelle par ces allèges est limité à la partie de la pièce proche de l'allège et présente donc peu d'intérêt pour l'éclairage global de l'ensemble de l'espace concerné.



Par ailleurs, les allèges vitrées seront généralement plus difficiles à protéger des apports solaires directs par des dispositifs de protection de types « casquettes » et débords de toiture ; de surcroît, elles seront davantage soumises au rayonnement solaire réfléchi, si le sol aux abords du bâtiment est de couleur claire, et au rayonnement thermique émis par cette surface, si elle est minéralisée.





En climat chaud, il est donc recommandé de prévoir des allèges opaques de couleur claire et/ou isolées thermiquement sauf dans les zones des bâtiments où des enjeux de vue vers l'extérieur sont importants.

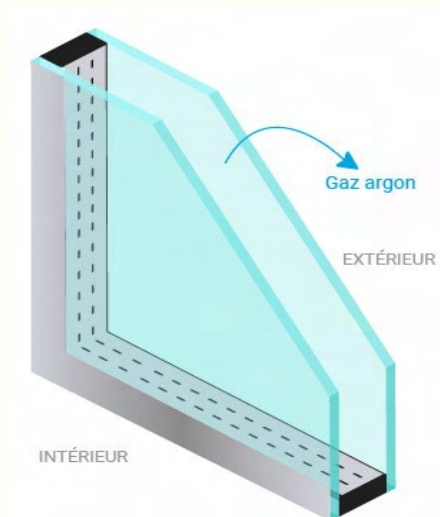
Une conception avancée du confort global d'un bâtiment, et donc des positionnements des transparences d'une façade, se questionnera donc sur la « hauteur d'œil » de l'occupant que ce soit un adulte assis à un bureau, un enfant dans une salle de classe ou encore une personne couchée sur un lit d'hôpital. La qualité, la diversité et la richesse des vues extérieures et leur hauteur angulaire, seront également à prendre en compte et dans la conception des percements, et dans la typologie des protections solaires.

Dans les bâtiments existants disposant de vitrages toute hauteur, des solutions peuvent généralement être mises en œuvre pour opacifier tout ou partie de ces allèges.



La question des doubles vitrages en climat tropical et équatorial

Le facteur solaire global d'une baie comportant un double vitrage clair varie de 50% à 65%, selon le facteur de cadre de celle-ci. Sa performance intrinsèque, en termes de protection solaire, est donc très médiocre. Lorsque des doubles vitrages seront employés, il faudra leur associer une protection solaire spécifique, comme pour les simples vitrages, pour atteindre des objectifs de facteurs solaires compatibles avec un confort et des performances énergétiques optimales. Pour cette raison, les doubles vitrages sans protection solaire spécifique ne seront pas une solution en climat tropical où l'on vise des facteurs solaires inférieurs à 15%.



L'impact thermique principal d'une baie à double vitrage, par rapport à une baie équipée d'un simple vitrage, est de réduire le transfert thermique conductif, qui est proportionnel au produit de l'écart de température extérieur-intérieur (le $\Delta T_{ext-int}$) et de la conductance de la baie U_w .

Alors, certes, l'écart des U_w entre une fenêtre à simple vitrage (de l'ordre de $5 \text{ W/m}^2/\text{K}$) et une fenêtre à double vitrage actuelle (de l'ordre de $1,5 \text{ W/m}^2/\text{K}$ pour des vitrages argon et faible émissivité) est assez élevé.



Toutefois, les écarts de température, en climat tropical humide ou équatorial, entre extérieur et intérieur, restent assez limités : typiquement inférieurs de 5 degrés dans les espaces climatisés (dans la situation type de 25°C à l'intérieur et 30°C à l'extérieur). Cette situation ne justifie généralement pas l'emploi de doubles vitrages, plus onéreux **et, dans tous les cas, c'est la protection solaire du vitrage qui impactera davantage la performance énergétique globale que son gain conductif.**

En climat chaud, on pourra néanmoins prescrire des baies à doubles vitrages dans les cas suivants :

- lorsque les températures intérieures de consignes seront très basses (certaines cuisines, certaines zones hospitalières, équipements techniques à sous refroidir, etc...)
- dans les climats tropicaux secs où les Delta Text-int peuvent atteindre 25°C voire 30°C
- pour leurs performances d'isolation acoustique, notamment pour les bâtiments situés à proximité des routes et autres fortes nuisances sonores. Dans ce cas, la composition des vitrages, la nature du cadre ainsi que son étanchéité à l'air seront choisies pour la valeur de leur facteur d'affaiblissement acoustique R_w .

A contrario, en climat tempéré et froid, les menuiseries à double vitrage (voire triple vitrage dans les climats très froids, pour les façades Nord ou dans la conception de bâtiments passifs) sont généralisées car elles permettent de limiter les déperditions thermiques au travers des ouvertures en saison d'hiver, lorsque l'écart de température ambiante entre l'intérieur et l'extérieur est important (de 20°C à 40°C degrés, voire davantage, en hiver).

2

BASES DE THERMIQUE



2.5 LES SOURCES D'INCONFORT



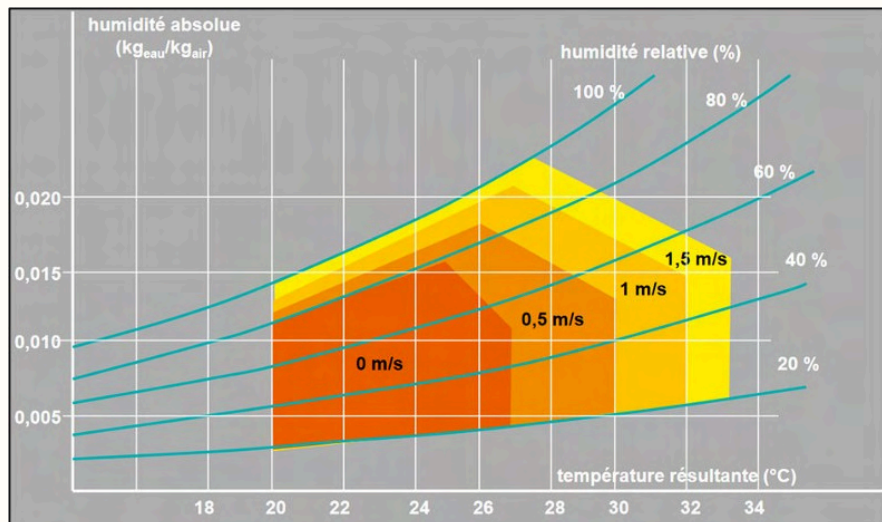
Dans un environnement donné, trois paramètres influencent le confort thermique des occupants :

1. **La température ambiante (ou température de l'air) :** les humains de diverses cultures, lieux de résidence permanente et de diverses caractéristiques physiologiques déclarent en quasi-totalité être en situation de confort thermique dans une plage assez large, allant de 15 °C à 32°C, avec une médiane se situant pour la plupart entre 20°C et 26 °C. La vêtue est le premier mode d'adaptation à l'inconfort thermique : on s'habille plus chaudement lorsque le thermomètre descend et vice-versa. Un second paramètre d'adaptation est l'activité métabolique qui décale cet optimal d'autant plus « vers le plus froid » que cette activité augmente mais ce décalage est souvent « subi » (par exemple activité sportive dans un environnement chaud).
2. **L'humidité de l'air ou encore hygrométrie :** elle exprime la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air à une température donnée. On distingue l'humidité absolue, exprimée en g/kg d'air sec, et l'hygrométrie relative, qui exprime le % de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air à une certaine température. Cette hygrométrie relative varie couramment en moyenne annuelle de 30 à 85 % selon les climats. Le corps humain a également une faculté d'adaptation assez large dans cette plage de variations.
3. **La vitesse de l'air** sur l'occupant : c'est-à-dire, plus précisément, le déplacement des masses d'air, qui crée naturellement une sensation de rafraîchissement sur la peau profitable à l'ensemble du corps.

Deux phénomènes physiques sont alors observés simultanément :

- **une accélération des échanges thermiques corporels** par convection à la surface de la peau, qui fonctionne jusqu'à la limite de la température de l'épiderme, soit environ 33°C ;
- **une accélération de l'évaporation de la sueur sur la peau**, qui crée un rafraîchissement adiabatique superficiel puisque pour s'évaporer, c'est-à-dire passer de l'état liquide à l'état gazeux, l'eau de cette sueur a besoin d'absorber de l'énergie qu'elle prélève à notre corps. Ce phénomène varie selon le taux d'hygrométrie ambiant : il est, bien évidemment, plus important lorsque l'air est plus sec et il est nul lorsque l'air est saturé (100% d'hygrométrie).

L'analyse de ces 3 paramètres a donné lieu à une interprétation scientifique des « zones de confort », dont la représentation la plus connue est le diagramme de GIVONI, du nom du chercheur Baruch GIVONI, à la fois médecin et architecte, qui s'est penché dans les années 70-80 sur les phénomènes de confort dans les bâtiments, à partir notamment de travaux de recherche expérimentale sur des sujets installés dans des espaces aux conditions d'ambiance variables.



Exemple de diagramme de GIVONI – NB : les températures à considérer dans ce diagramme doivent être les températures résultantes



En réalité, un 4ème paramètre influence grandement le confort dans les bâtiments : il s'agit de la température des parois qui entourent les personnes à l'intérieur de ceux-ci.

Dès lors que ces températures sont différentes de la température ambiante, un échange par rayonnement avec la surface de la peau de l'occupant a lieu : il augmente la température ressentie si la paroi est plus chaude que l'ambiance et il la diminue dans le cas contraire.

Ces phénomènes de rayonnements thermiques (infrarouge lointain) pénalisent le plus souvent le confort des occupants en climat chaud. Ainsi, une paroi avec un facteur solaire élevé dans un climat chaud impactera de deux manières différentes le confort : 1°) par transmission d'énergie à l'air ambiant augmentant ainsi sa température 2°) par augmentation de la température des parois.

On définit une température résultante, appelée encore « température opérative » ou « température ressentie » par une personne, qui est évaluée en première approximation comme étant la valeur moyenne entre la température ambiante et la température moyenne des parois qui l'entourent.



POUR EN SAVOIR PLUS :

L'Homme, Le Climat et L'Architecture - Man, Climate and Architecture, 1980.

En présence d'une façade vitrée sans contrôle des apports solaires, ce phénomène de rayonnement altère le confort, car le vitrage s'échauffe, aux moments de la journée où il est exposé à l'ensoleillement, pour atteindre des températures parfois de plusieurs dizaines de degrés au-delà de la température ambiante.

L'objectif des concepteurs en climat chaud est alors assez clair : **il s'agit de faire en sorte qu'aucune paroi ne soit significativement plus chaude que l'air ambiant**. Cet objectif est atteint lorsque d'une part, les toitures sont isolées ou très efficacement protégées du soleil, et, d'autre part, lorsque les parois verticales et les baies sont également protégées pour qu'elles ne fonctionnent pas comme des radiateurs.



La protection solaire des ouvertures joue donc un rôle primordial en termes de confort et de performance énergétique, non seulement en climat tropical ou équatorial, mais également en saison d'été en climat tempéré.

Approfondissements



L'influence de la température des parois est souvent prépondérante dans de nombreux cas d'inconfort

Un exemple extrême est celui d'un véhicule en plein soleil : même avec une climatisation fonctionnant à plein régime, le pare-brise et le tableau de bord rayonnent et constituent une source d'inconfort majeure.

A contrario, une fenêtre en simple vitrage en hiver en climat froid va être une source ponctuelle d'inconfort en tant que paroi froide rayonnante, même lorsque la température ambiante est supérieure à 20°C. La température intérieure du vitrage est ainsi à 7°C lorsque $T_{ext} = 0^{\circ}\text{C}$.



En zone tropicale, une toiture en dalle-terrasse non isolée ou encore un mur non protégé exposé à l'ouest vont ainsi devenir de véritables radiateurs, affectant significativement et durablement (pendant plusieurs heures) le confort thermique des occupants.



Dans les bâtiments tertiaires, l'importance des surfaces vitrées non protégées est responsable de nombreux cas d'inconfort, engendrant également des surconsommations d'énergie considérables.

Prenons l'exemple d'une façade entièrement vitrée selon le concept d'un mur rideau.

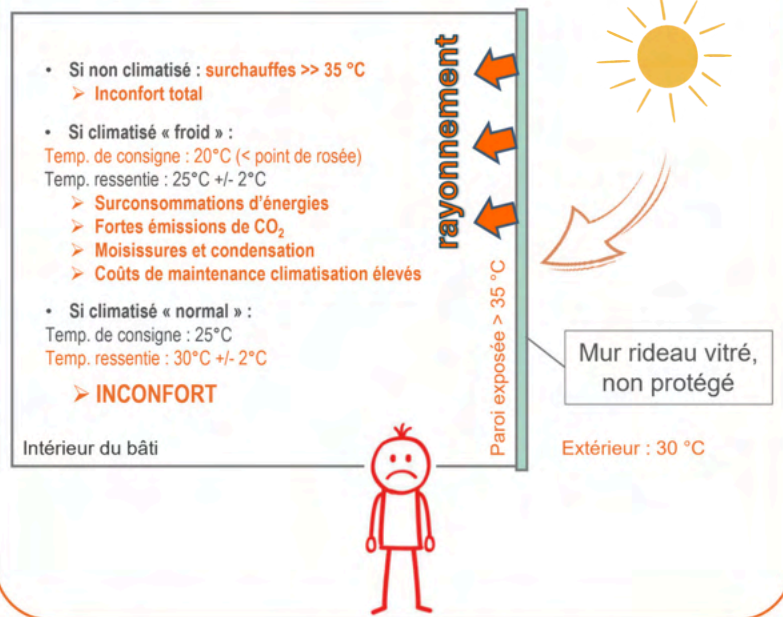
Sans protection solaire satisfaisante, le rayonnement traversant le vitrage génère, dans la journée, des apports instantanés de chaleur très importants.

Avec une climatisation réglée sur 25°C, la température ressentie par les occupants va s'élever bien au-delà de la zone de confort. Les occupants, qui aspirent naturellement au confort, auront pour réflexe d'abaisser la température de consigne, sollicitant ainsi d'avantage la climatisation. Ces carences conceptuelles peuvent doubler voire impacter encore davantage la consommation de climatisation. Elles augmentent aussi la puissance installée.

Les conséquences de ce fonctionnement ne sont guère satisfaisantes :

- **surconsommation d'énergie** pour l'exploitant et surcoûts à compenser par l'ensemble de la collectivité en vertu de la péréquation nationale des tarifs de l'électricité ;
- **fortes émissions de CO2**, en raison de mix électriques encore très carbonés dans les Outre-Mer ;
- **autre impact négatif** : lorsqu'on climatise à des niveaux de température proches du point de rosée de la région concernée, on constate qu'apparaissent, en environnement tropical, des excès de condensation à évacuer, bouchant les réseaux d'évacuation, et nécessitant une maintenance accrue des installations. Sur le long terme, ce sont même des phénomènes très contraignants de moisissures sur les faux-plafond ou les murs qui seront à traiter.
- **Les installations de climatisation voient leurs durées de vie décroître** et les défaillances nombreuses apparaissent, alourdissant encore l'impact technico-économique.

Bâtiment à améliorer : surfaces vitrées importantes



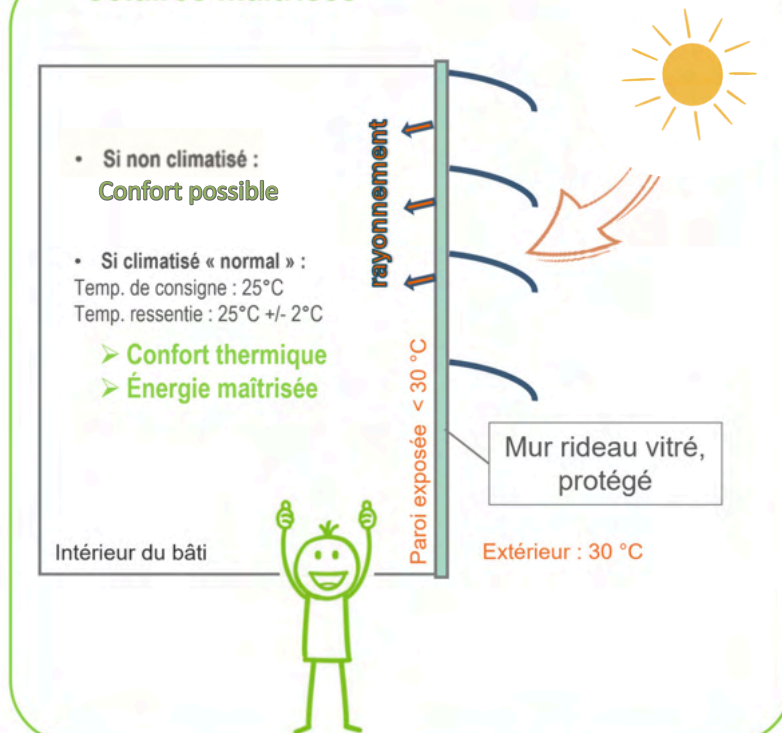
Protection solaire insuffisante

En architecture, comme en médecine, la solution consiste toujours à privilégier le traitement de la cause plutôt que ses conséquences.

En réalisant une protection solaire extérieure de la façade vitrée, le rayonnement solaire direct est maîtrisé. Les températures résultantes retrouvent des valeurs proches des températures de consigne rationnelles, dans la plage des 24 à 27 °C.

Les occupants retrouvent le confort, la consommation d'énergie est raisonnable et les problématiques de condensation et de moisissures disparaissent. **La solution est donc de bloquer le rayonnement solaire direct sur les baies.**

Bâtiment réhabilité : apports solaires maîtrisés



Protection solaire satisfaisante

ETAT DES LIEUX DE L'EXISTANT



3

ETAT DES LIEUX DE L'EXISTANT



3.1 LES ÉCUEILS DE L'ARCHITECTURE IMPORTÉE



Le projet Heliodrom est né d'un constat :

En Guadeloupe comme en Martinique, l'architecture des bâtiments commerciaux et des bureaux est largement calquée sur le modèle hexagonal. Cette sorte de mimétisme architecturale, souvent généralement mal adaptée aux réalités climatiques locales, engendre des constructions énergivores et inconfortables pour les usagers, transformant la « passoire thermique » décriée en Europe en véritable « bouilloire thermique » sous les tropiques.

CONSTATS :



Passoires énergétiques tropicales : un non-sens architectural

Dans les Antilles françaises, l'architecture tertiaire reproduit un modèle hexagonal inadapté aux réalités climatiques et culturelles locales. Les bâtiments vitrés non protégés de l'ensoleillement en climat tropical sont une aberration. Construire en zone tropicale implique des choix conceptuels différents de ceux faits dans l'hexagone. La surface vitrée excessive est un facteur prépondérant d'inconfort thermique aggravant. Les protections solaires sont donc essentielles, car le rayonnement sur les vitrages influence directement le recours à la climatisation. Un bâtiment bien conçu doit intégrer cette stratégie de protection solaire **dès sa conception**.

Comme abordé dans le chapitre 1.2 « Le projet HELIODROM » : de nombreux bâtiments tertiaires en Outre-mer souffrent d'un manque de protection solaire, leurs façades survitrées transformant ces espaces en véritables serres climatisées. Cette erreur conceptuelle majeure génère un inconfort pour les usagers, très partiellement compensée par une climatisation surdimensionnée, source de surconsommation énergétique, de dépenses financières (en l'investissement et en fonctionnement) et d'émissions de CO₂. Plutôt que des technologies complexes, une conception bioclimatique simple et low-tech améliorerait l'efficacité énergétique et le confort des occupants.



Le constat est unanime dans tous les territoires tropicaux : l'architecture importée est un échec.

Ces zones ultra-marines, qui constituent le cadre de vie d'une part importante de la population française ou politiquement liée à la France, rencontrent des problématiques similaires en matière d'architecture et d'urbanisme. Leur construction, soumise à un climat chaud et humide, exige des **savoir-faire spécifiques et locaux et un travail conceptuel pluridisciplinaire entre co-concepteurs**. Il s'agit de concevoir des villes et des bâtiments peu énergivores, respectueux de l'environnement, offrant un cadre de vie de qualité dans un contexte climatique et socio-culturel spécifique particulier, marqué en outre par des enjeux du changement global (bioclimatiques, socio-économiques, démographiques...), les identités et pratiques locales.



“Bouilloires énergétiques tropicales”, des exemples édifiants :

Le secteur des bâtiments publics illustre cette incohérence : en Guadeloupe, l'actuelle Préfecture ou encore le bâtiment de la Direction du Travail à Jarry font partie des bâtiments emblématiques à rénover ; en Martinique, il en est de même avec certains des bâtiments de la CACEM ou encore la récente médiathèque de Sainte-Luce.

Pour le secteur privé, certaines enseignes commerciales et beaucoup de concessionnaires automobiles rivalisent de vitrines géantes à fort « effet miroir » pour certaines incidences solaires, paradoxalement peu efficaces pour mettre en valeur les véhicules exposés.

Les enjeux climatiques ne permettent plus de dissocier architecture et lieu de construction. L'urgence climatique exige d'aller rapidement vers une architecture adaptée à la réalité climatique tropicale.

CAUSES IDENTIFIÉES

D'UN MODÈLE INADAPTÉ :

D'où vient l'échec de l'architecture importée ?



PLUSIEURS CRITÈRES EN SONT À L'ORIGINE :

- **FACTEUR HISTORIQUE : Architecture d'Ali TUR et avènement de la bétonisation**

Historiquement, Ali Tur, architecte de style colonial, s'est illustré comme l'un des premiers à concevoir des bâtiments publics adaptés aux conditions tropicales, intégrant la ventilation naturelle, des patios et une attention particulière au climat.

“Ali Tur conçoit certains dispositifs de ventilation haute, comme de véritables volumes de toiture dont il dessine les profils avec précision. La ventilation des salles d’audience du palais de justice de Pointe-à-Pitre (1932) est assurée par de grands volumes gigognes constitués d’une double paroi de prismes à l’intérieur et en persiennes à l’extérieur.” **Architecture et colonialités du début du XXIème siècle pensées à partir des Antilles françaises : Édifices publics d’Ali TUR en Guadeloupe, par Sophie Paviol.**

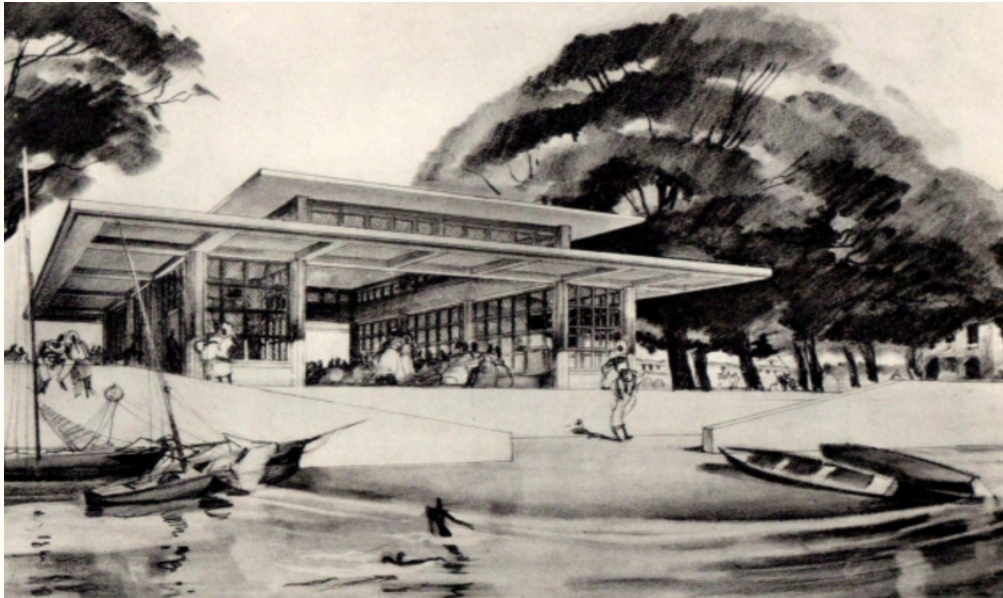


Image d’archives, architecture d’Ali TUR, Ouvrage : Guadeloupe Année 30, Ali TUR, l’architecte d’une reconstruction.

Les constructions publiques réalisées par Ali Tur en Guadeloupe après le cyclone de 1928 ont profondément transformé le territoire. Elles s’inscrivent dans une volonté d’assimilation des anciennes colonies aux standards des départements français. Ce programme de reconstruction, motivé par l’urgence post-cyclonique, visait à moderniser l’île avec des bâtiments résistants, salubres, économes et adaptés au climat. Bien qu’il promettait un progrès social, ce chantier a bouleversé et créé une rupture nette avec les pratiques locales, savoirs faire constructifs et les modes d’habiter traditionnels.

Cette approche bioclimatique, autrefois partie intégrante des pratiques architecturales vernaculaires donc, et encore très présente par exemple dans le travail d’Ali Tur, a ensuite été éclipsée, par l’avènement des murs rideaux vitrés, de la climatisation et l’accès généralisé à des énergies de réseau, qui ont instauré une rupture profonde dans la manière de penser l’architecture. Le problème est alors relativement récent. Avec l’essor des technologies de confort artificiel, le rapport au climat s’est estompé, reléguant les principes bioclimatiques au second plan. Le confort est devenu dépendant de “la fée électricité”, déconnecté des logiques vernaculaires et frugales.

• FACTEUR STRUCTUREL :

Aujourd’hui, les styles standardisés imposés par les grandes enseignes et les concessionnaires dominent le paysage architectural, souvent calqués sur des modèles nationaux ou internationaux, peu adaptés aux spécificités locales. Il devient donc urgent de repenser une architecture bioclimatique contemporaine, sobre et contextualisée, qui place l’usager et son environnement au cœur du projet.



Formation des architectes en Hexagone

La formation des architectes en France est majoritairement dispensée en métropole, au sein des Écoles d'Architecture (l'exception étant l'École d'Architecture de la Réunion). Ces cursus restent largement dédiés à l'apprentissage de la construction en climat tempéré et ne proposent pas de spécialisation dédiée aux zones tropicales qui ne sont évoquées que dans certains enseignements spécifiques. Cette carence limite donc la préparation des futurs professionnels aux enjeux climatiques, culturels et constructifs propres aux régions ultramarines.



Manque de formation des acteurs locaux

Les élus et les agents des services d'urbanisme locaux ne disposent généralement pas non plus de formations adaptées aux spécificités de leur territoire. Ce manque de sensibilisation technique et climatique freine la mise en œuvre de politiques architecturales cohérentes avec les enjeux tropicaux.



Des normes européennes inadaptées au milieu

Les normes européennes (Normes Codes et DTU européens), pensées pour des climats froids (chauffage, isolation, neige), ne prennent généralement pas en compte la réalité des climats tropicaux ni les risques sismiques et cycloniques des Antilles. Cette autre carence renforce une certaine incohérence constructive sur un territoire aussi large.



Incohérences réglementaires et administratives

Les permis de construire restent parfois déconnectés de l'usage réel des bâtiments. Ainsi, certains promoteurs déposent des projets de construction non aménagés, sans avoir à définir précisément les usages, créant des « lots » : à vendre ou à louer, avec une fonction de bureaux, entrepôts ou commerces, etc... C'est à l'usager, preneur d'un bail commercial, de déclarer la destination de son bâtiment (ERP, cabinet médical, magasin, bureaux ...) via des dossiers d'accessibilité et de sécurité incendie, sans la moindre contrainte énergétique ou environnementale. L'impact énergétique, ainsi que le coût écologique de la structure n'est donc pas intégré dans ces dossiers, ce qui pose un réel problème aujourd'hui face aux enjeux climatiques.

- **VERS UNE PRISE DE CONSCIENCE :**



Une prise de conscience encore partielle

Ces dernières années, avec un début de prise de conscience relative au changement climatique et avec la hausse du coût de l'énergie, les régions ultramarines se sont dotées de réglementations thermiques spécifiques, telles que la RTG en Guadeloupe et la RTM en Martinique. Elles apportent quelques mesures timidement contraignantes pour les logements, les commerces et les bureaux. Malheureusement, aucune sanction n'est prévue pour les contrevenants, ce qui n'incite guère les exploitants à respecter ces exigences pourtant minimalistes. En outre, les bâtiments touristiques et les entrepôts n'y sont pas encore assujettis.

Il faut également reconnaître que cette amélioration de conception architecturale récente est souvent insufflée par le montage financier des projets. Les financeurs peuvent accompagner les évolutions vers des bâtiments performants à travers des prêts bonifiés, des aides publiques des dispositifs de défiscalisation. Certains prêts sont conditionnés au respect d'exigences de labels environnementaux comme HQE, BREEAM, LEED ou BBCA.



Éviter la climatisation grâce aux principes bioclimatiques

Il s'agit de développer une architecture favorisant le confort de l'utilisateur et de réduire les consommations d'énergie : végétalisation, ventilation traversante, isolation thermique des toitures, véranda et coursives, brise-soleils, jalousies et brasseurs d'air sont autant de solutions qui apportent du confort sans climatisation.

Le bâtiment du Parc National de Guadeloupe est un rare exemple d'architecture bioclimatique tertiaire mettant en avant de manière globale et cohérente ces principes au service de l'architecture du projet et de sa fonctionnalité.

La Réunion et la Guyane rassemblent également de nombreuses réalisations bioclimatiques exemplaires dans le secteur tertiaire.

L'amphithéâtre du campus du Moufia à Saint-Denis de la Réunion est ainsi une réalisation architecturale bioclimatique exemplaire de grande dimension.

Il est important de préciser qu'un bâtiment véritablement conçu en fonction du climat ne signifie pas qu'il est dépourvu de parti architectural fort. Concevoir et construire avec le climat consiste « simplement » à intégrer les paramètres du climat pour les mettre au service de la cohérence architecturale globale : réponse au programme, respect des fonctionnalités, inscription paysagère, maîtrise du coût global, qualité des ambiances et des confort, valorisation de filières constructives durables, génération de lien social et de convivialité et, last but not least, performance écologique globale. Il s'agit « simplement » de construire avec son environnement. Cette affirmation paraît évidente, mais reste peu mise en œuvre comme en témoignent les carences des 30 bâtiments tertiaires étudiés dans le présent travail.



La réhabilitation des structures existantes est urgente pour éviter le gaspillage énergétique. L'arrivée du décret tertiaire, avec des objectifs ambitieux de réduction énergétique de 40 % d'ici 2030 des bâtiments concernés, nécessite un accompagnement des maîtres d'ouvrage. *Les assujettis au décret peuvent, également faire le choix d'atteindre par décennie une consommation d'énergie seuil, définie en fonction de la catégorie tertiaire du bâtiment / local (Valeur absolue fixée pour chaque décennie pour chaque type d'activité tertiaire et des meilleures techniques disponibles et propre à chaque territoire d'outre-mer).*

Les études de cas du projet Heliodrom (exposées dans le chapitre suivant) illustrent des aberrations bien réelles et proposent des solutions pragmatiques, fondées à la fois sur le bon sens et une grande rigueur conceptuelle. Elles sont applicables par tout maître d'œuvre ou d'ouvrage.

L'objectif est de renouer avec une architecture tropicale intelligente, sobre, confortable et résiliente, en lien avec les urgences du siècle.

POUR EN SAVOIR PLUS / SOURCES :

https://www.marseille.archi.fr/wp-content/uploads/2020/11/actes_du_colloque_2019w.pdf
<https://shs.hal.science/halshs-04750923v1/document> ouvrage « bioclimatisme tropical » du GRET



3

ETAT DES LIEUX DE L'EXISTANT



3.2 APERÇU DE BÂTIMENTS CIBLES



Le projet HELIODROM a ciblé des **bâtiments tertiaires existants** en Guadeloupe et Martinique présentant manifestement des problématiques liées à leurs surfaces vitrées surdimensionnées et à l'insuffisance de leur protection solaire. Ces bâtiments peuvent être identifiés comme des passoires énergétiques au sens tropical du terme : tous entièrement climatisés toute l'année, ils sont assimilables à de véritables serres climatisées constituant un non-sens environnemental majeur et à l'opposé de constructions dites bioclimatiques.



Aperçu de bâtiments cibles



Centre d'affaires « Bergevin » entièrement vitré à Pointe-à-Pitre - Guadeloupe -



Bibliothèque municipale de Deshaies ; Des travaux sont en cours pour protéger les murs rideaux de ce bâtiment public du rayonnement solaire - Guadeloupe -



Exemple de construction en cours en 2025, zone commerciale ACAJOU Mur rideau « radiateur » et systèmes de climatisation surdimensionnés - Martinique -

Bâtiments cibles HELIODROM		<i>cible élargie</i>
Secteur d'activité	<ul style="list-style-type: none"> • Bâtiment tertiaire existant 	
Zone géographique	<ul style="list-style-type: none"> • Régions d'Outre-Mer 	<ul style="list-style-type: none"> • Régions du Sud de la France • Tous bâtiments de la zone intertropicale
Segment d'activité	<ul style="list-style-type: none"> • Bureaux • Commerces, concessions automobiles • Bâtiments culturels • Infrastructures de transport • ... 	
Secteur	<ul style="list-style-type: none"> • Bâtiments publics • Bâtiments privés 	

Ces bâtiments appartiennent à divers secteurs d'activité et relèvent indifféremment du secteur public ou du secteur privé.



Nous dressons ci-dessous la liste des bâtiments qui ont fait l'objet d'une prestation HELIODROM en 2024-25 (de niveau "étude de cas", "diagnostic STARTER" ou "audit énergétique PREMIUM")

Informations complémentaires :

- Les fiches synthèse des diagnostics HELIODROM réalisés sont présentées en annexe.
- Les pages suivantes dressent un aperçu de l'architecture des 20 bâtiments guadeloupéens et 10 bâtiments martiniquais étudiés en 2024-25 dans le cadre du projet HELIODROM.
- Les consommations surfaciques annuelles avant interventions sont données pour les sites ayant bénéficiés d'une prestation STARTER ou PREMIUM.
- Les investissements sont donnés hors taxe et concernent les seuls travaux de protection solaire.
- Les gains énergétiques sont estimés en pourcentage des consommations électriques totales pour les sites 1 à 10 (PREMIUM et STARTER) et en pourcentage des consommations du poste climatisation pour les sites 11 à 30 (étude de cas).
- Pour ces études de cas, les gains sont donnés avec une fourchette d'incertitude comprise entre 1 et 10 points de pourcentage.
- Pour les autres prestations réalisées, davantage de temps a pu être alloué au calcul des gains, notamment via l'utilisation d'un logiciel de STD, la confiance dans les résultats est donc meilleure.

1

SIÈGE DE LA CMA-CGM

Activité : Administratif

Secteur : Privé

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Murs rideaux sur les 4 façades

Consommation surfacique annuelle :

150 kWhEF/m².an

Investissement HT : 144 000 €

Gains énergétiques : 18 à 22 %



2

SIÈGE DE LA MÉDECINE DU TRAVAIL

Activité : Administratif

Secteur : Public

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Murs rideaux et exposition principale

Est/Ouest

Consommation surfacique annuelle :

135 kWhEF/m².an

Investissement HT : 104 000 €

Gains énergétiques : 8 à 12%



3

IMMEUBLE RUBI

Activité : Administratif

Secteur : Privé

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Pas de séparation entre les espaces climatisés et non climatisés

Consommation surfacique annuelle :

115 kWhEF/m².an

Investissement HT : 41 000 €

Gains énergétiques : 8 à 12 %



4

AGENCE RÉGIONALE DE SANTÉ

Activité : Administratif

Secteur : Public

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Façades entièrement réalisées en polycarbonate « Danpalon », un matériau dont le facteur solaire élevé génère aussi un effet de serre.

Consommation surfacique annuelle :

58 kWhEF/m².an

Investissement HT : 97 000 €

Gains énergétiques : 18 à 24 %



5

DIRECTION DE L'ÉCONOMIE, DE L'EMPLOI, DU TRAVAIL ET DES SOLIDARITÉS

Activité : Administratif

Secteur : Public

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Murs rideaux sur les 4 façades

Consommation surfacique annuelle :

132 kWhEF/m².an

Investissement HT : 125 000 €

Gains énergétiques : 16 à 20%



6

PRÉFECTURE DE GUADELOUPE

Activité : Administratif

Secteur : Public

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Nombreux murs rideaux y compris autour d'un patio où les façades se réfléchissent mutuellement la partie du rayonnement incident qui ne les a pas traversées

Consommation surfacique annuelle :

132 kWhEF/m².an

Investissement HT : 125 000 €

Gains énergétiques : 16 à 20 %



7

SIÈGE DU GROUPE FONTAINE

Activité : Administratif

Secteur : Privé

Zone : Martinique

Problématique liée aux apports solaires :
Bâtiment fortement vitré, terrasse réfléchissant fortement le rayonnement solaire

Consommation surfacique annuelle :

34 kWhEF/m².an

Investissement HT : 96 000 €

Gains énergétiques : 20 à 26 %



8

SIÈGE DE LA CACEM

Activité : Administratif

Secteur : Public

Zone : Martinique

Problématique liée aux apports solaires :
Bâtiment fortement vitré, abords fortement minéralisés (bitume)

Consommation surfacique annuelle :

153 kWhEF/m².an

Investissement HT : 116 000 €

Gains énergétiques : 1 à 5%



9

ANNEXE CACEM

Activité : Administratif

Secteur : Public

Zone : Martinique

Problématique liée aux apports solaires :
Réflexion solaire par le parvis fortement minéralisé

Consommation surfacique annuelle :

96 kWhEF/m².an

Investissement HT : 5 000 €

Gains énergétiques : 1 à 3 %



10

TECHNOPÔLE CACEM

Activité : Pépinière d'entreprises

Secteur : Privé

Zone : Martinique

Problématique liée aux apports solaires :

Façades SO et NE fortement exposées et dépourvues de protection solaire

Consommation surfacique annuelle :

106 kWhEF/m².an

Investissement HT : 101 000 €

Gains énergétiques : 2 à 8 %



11

LE REFLET

Activité : Divers (commerces, cabinets médicaux, ...)

Secteur : Privé

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Murs rideaux sur toutes les façades et abords minéralisés (béton)

Investissement HT : 122 000 €

Gains sur le poste climatisation : 30 à 40%



12

CONCESSION CAMA - RENAULT

Activité : Concession automobile

Secteur : Privé

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Murs rideaux sur 3 façades

Investissement HT : 43 000 €

Gains sur le poste climatisation :

25 à 35 %



13

LE CUBE

Activité : Formations, administratif

Secteur : Public

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Murs rideaux sur les 4 façades

Investissement HT : 42 000 €

Gains sur le poste climatisation : 20 à 30 %



14

CONCESSION SOGUAVA

Activité : Concession automobile

Secteur : Privé

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Grandes baies vitrées et bâtiment entièrement noir

Investissement HT : 26 000 €

Gains sur le poste climatisation : 15 à 20%



15

ALLIANZ

Activité : Administratif

Secteur : Privé

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Murs rideaux et abords fortement minéralisés (béton)

Investissement HT : 21 000 €

Gains sur le poste climatisation :
10 à 20 %



16

CARIBBEAN WORLD TRADE CENTER

Activité : Centre d'affaires

Secteur : Privé

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Fenêtres bandeaux, aucun masque proche

Investissement HT : 190 000 €

Gains sur le poste climatisation :

10 à 20 %



17

IMMEUBLE ORLANDO

Activité : Administratif

Secteur : Public

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Murs rideaux

et abords fortement minéralisés (bitume)

Investissement HT : 75 000 €

Gains sur le poste climatisation : 35 à 45%



18

MAISON DES PERSONNES HANDICAPÉES

Activité : Administratif

Secteur : Public

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Murs rideaux et grandes fenêtres bandeau

Investissement HT : 83 000 €

Gains sur le poste climatisation : 30 à 40 %



19

GROUPAMA

Activité : Bureaux, Administratif

Secteur : Privé

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :
Murs rideaux sur 3 façades et parvis bétonné

Investissement HT : 42 000 €

Gains sur le poste climatisation : 50 à 60 %



20

CONCESSION VOLVO

Activité : Concession automobile

Secteur : Privé

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Murs rideaux sur 3 façades

Investissement HT : 72 000 €

Gains sur le poste climatisation : 25 à 35%



21

ORCHESTRA / DHL

Activité : Commerce, Logistique

Secteur : Privé

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :
Mur rideau et parvis en béton

Investissement HT : 16 000 €

Gains sur le poste climatisation : 3 à 7 %



22

HÔTEL DE RÉGION

Activité : Administratif

Secteur : Public

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Murs rideaux et sous-dimensionnement des lames de brise-soleil

Investissement HT : 95 000 €

Gains sur le poste climatisation : 10 à 20 %



23

CREPS – SALLE D'ARMES

Activité : Salle de sport

Secteur : Public

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Murs rideaux sur 3 façades

Investissement HT : 36 000 €

Gains sur le poste climatisation : 5 à 15%



24

ÉCOLE DE LA 2ÈME CHANCE

Activité : Administratif

Secteur : Public

Zone : Guadeloupe

Problématique liée aux apports solaires :

Murs rideaux et abords fortement minéralisés (bitume)

Investissement HT : 34 000 €

Gains sur le poste climatisation : 15 à 25 %



25

MÉDIATHÈQUE DE SAINTE-LUCE

Activité : Médiathèque

Secteur : Public

Zone : Martinique

Problématique liée aux apports solaires :

Mur rideau et brise-soleil sous-dimensionné

Investissement HT : 30 000 €

Gains énergétiques : 8 à 12 %



26

HÔTEL VALMENIÈRE

Activité : Hôtellerie

Secteur : Privé

Zone : Martinique

Problématique liée aux apports solaires :

Trois façades rideaux dépourvues de protection solaire

Investissement HT : 41 000 €

Gains énergétiques : 1 à 3%



27

SIÈGE DU CRÉDIT AGRICOLE

Activité : Administratif

Secteur : Privé

Zone : Martinique

Problématique liée aux apports solaires :

Murs rideaux orientés Est dépourvus de protection solaire

Investissement HT : 510 000 €

Gains énergétiques : 5 à 9 %



28

AGORA II

Activité : Centre d'affaires

Secteur : Privé

Zone : Martinique

Problématique liée aux apports solaires :

Mur rideau orienté Ouest dépourvu de protection solaire et abords bétonnés

Investissement HT : 146 000 €

Gains énergétiques : 2 à 6 %



29

CONCESSION AUDI

Activité : Concession automobile

Secteur : Privé

Zone : Martinique

Problématique liée aux apports solaires :

Grandes baies vitrées et abords fortement minéralisés

Investissement HT : 115 000 €

Gains énergétiques : 6 à 10%



30

CENTRE D'AFFAIRES DELGRÈS

Activité : Centre d'affaires

Secteur : Privé

Zone : Martinique

Problématique liée aux apports solaires :

Murs rideaux orientés Est et Ouest dépourvus de protection solaire

Investissement HT : 291 000€

Gains énergétiques : 9 à 13 %



3

ETAT DES LIEUX DE L'EXISTANT



3.3_ QUELQUES MODES CONSTRUCTIFS NON ADAPTÉS



Comme évoqué au chapitre 2, les principes de la thermique du bâtiment sont incontournables. En climat tropical, les surfaces vitrées surdimensionnées non protégées de l'ensoleillement entraînent inmanquablement des surchauffes dans les bâtiments concernés et, par conséquent, des problématiques d'inconfort et de surconsommation d'énergie.

On présente ci-après des principes et modes constructibles non adaptés aux climats tropicaux et équatoriaux vis-à-vis des problématiques de confort, ciblées dans le projet HELIODROM.



Le syndrome des serres climatisées

Certains bâtiments, en climat tropical, conjuguent des problématiques d'inconfort thermique, d'éblouissement quasi-permanent, de surconsommation d'énergie et de mauvaise utilisation de la climatisation. Cette conception de véritables passoires énergétiques tropicales exprime la négation de l'architecture bioclimatique en climat tropical.



Bibliothèque Universitaire – Campus Camps Jacob, Saint-Claude - Guadeloupe- Architecte Alain Nicolas, photo : ÉQUINOXE



La nécessité de questionner les transparences

En climat tempéré, notamment en Europe, l'insuffisance des protections solaires sur les bâtiments pénalise le confort d'été, mais ces bâtiments bénéficient en hiver et à la mi-saison d'apports solaires gratuits, ce qui diminue les besoins de chauffage. Pour autant, pour gérer bioclimatiquement le confort d'été et a fortiori pour adapter ces bâtiments aux conséquences du changement climatique, il est impératif de changer de paradigme et de prévoir des protections solaires adaptées pour le confort d'été.



Protection solaire d'un mur vitré de hall d'aéroport - Paris Orly -



Absence de protection solaire, Institut du Cerveau - Paris -



En climat tropical, les surfaces vitrées non protégées sont assimilables en permanence à des radiateurs : elles engendrent toute l'année de l'inconfort et des surconsommations d'énergie.

« A proximité d'un mur vitré, il y a toujours un mur de climatiseurs ! »



Pourquoi bannir les murs rideaux en climat tropical ?

Les murs rideaux (parois vitrées toute hauteur) et les allèges vitrées (partie basse d'une paroi) sont à considérer comme des solutions architecturales peu adaptées au climat tropical, en termes de confort thermique et de performances énergétiques. Ce concept est également peu adapté sur le volet acoustique, car le traitement acoustique des parois vitrées nécessite des doubles vitrages particulièrement coûteux. Cette solution s'avère enfin plus compliquée vis-à-vis des résistances aux conditions cycloniques et sismiques.



Bâtiment annexe du Conseil Départemental - Guadeloupe - Photo : L. DARVIOT



La question des allèges vitrées

Les aspects thermiques ayant été évoqués dans le chapitre 2, on rappellera simplement **les points à retenir** :

- Les allèges vitrées non protégées de l'ensoleillement direct sont thermiquement assimilables à des radiateurs et sont donc à proscrire en climat tropical ;
- Elles se révèlent difficiles à protéger par des casquettes et débords de toiture ;
- Elles n'apportent pas de gains en lumière naturelle utile pour les occupants ni d'agrément visuel ;
- Elles sont enfin très exposées au rayonnement réfléchi par les abords minéralisés des bâtiments.

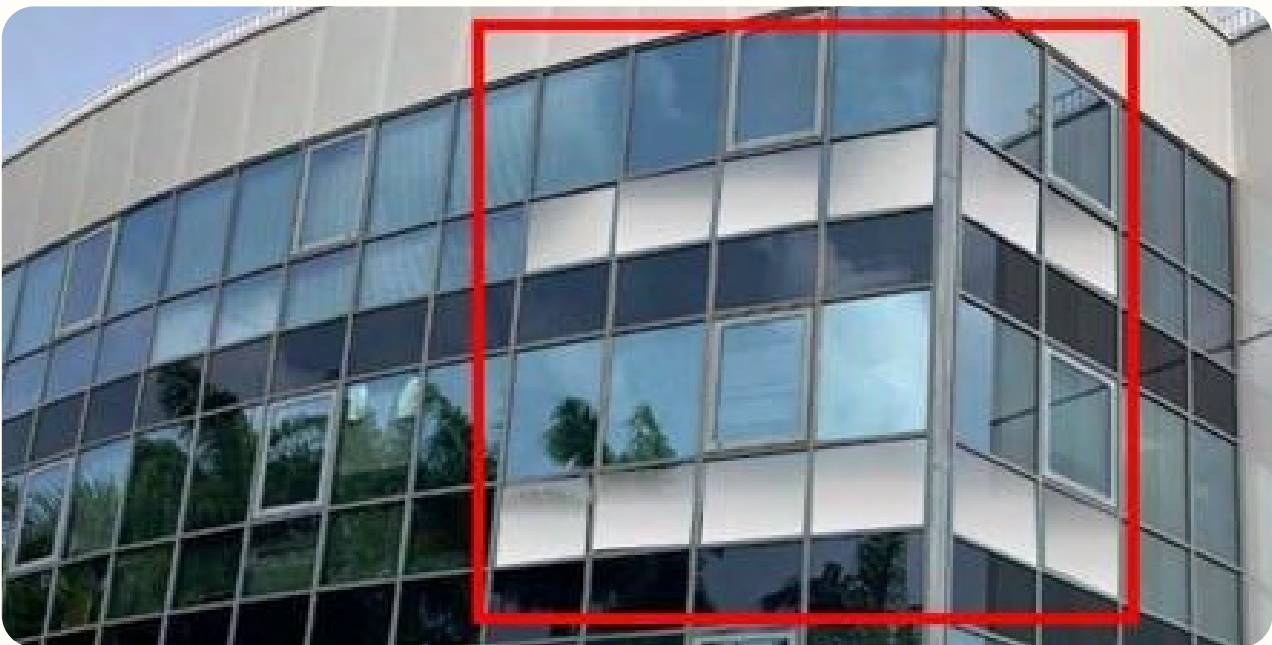


Allèges vitrées non protégées, Lycée des Droits de l'Homme, Petit-Bourg - Guadeloupe - photo : Laurent Darviot



LES SOLUTIONS DE RÉHABILITATION CONSISTENT LE PLUS SOUVENT À OPACIFIER CES ALLÈGES VITRÉES :

- Par l'extérieur, par l'ajout de dispositifs de protection solaire agissant en double peau : tôles perforées, structures métalliques, brise-soleil, ...
- Par l'intérieur, par l'ajout d'un doublage qui devra toutefois ne pas fragiliser la résistance mécanique du vitrage lors des dilations thermiques (prévoir un espace entre la paroi et le doublage)



*Exemple de traitement des allèges vitrées par opacification
- Bâtiment CMA-CGM -Guadeloupe -*

Des tentatives plus ou moins réussies de réhabilitation sont toujours possibles, mais elles demandent des investissements conséquents et doivent garantir la pérennité du vitrage lors d'échauffements qui peuvent provoquer des cassures.



Doublages intérieurs sur un bâtiment tertiaire – Rémire-Montjoly (Guyane)



Exemple d'opacification d'allèges vitrées – Bâtiment ARS Guadeloupe – avant / après

En climat tropical, chaque concepteur doit garder en tête qu'une façade vitrée est une sorte de radiateur pour l'espace intérieur ! 



L'apprentissage nécessaire des erreurs passées

Un des exemples les plus frappants d'une prise en compte questionnable du climat dans les choix de conception des bâtiments est l'aéroport Aimé Césaire en Martinique. Véritable serre climatisée par sa conception initiale composée d'une façade vitrée inclinée exposée plein Sud sur un linéaire de près de 300 m, il constitue depuis plusieurs décennies un gouffre en termes de coûts d'exploitation. On distingue sur les vues ci-dessous **un linéaire continu de ventilo-convecteurs** sous la serre, **symbole d'une conception inadaptée**, aux principes fondamentaux de conception environnementale en zone tropicale.



Vues intérieures de l'aérogare Aimée CESAIRE, Architecte AIA Architectes - Martinique -

On pourrait penser que des progrès dans l'art de construire avec le climat ont été accomplis, notamment avec la mise en œuvre de la Règlementation Thermique de la Martinique depuis 2016. Il semble pourtant que les choix de conception sur l'extension récente de l'aérogare continuent de tourner le dos aux principes fondamentaux du bioclimatisme tropical en utilisant massivement des façades et allèges vitrées dépourvues de protections solaires efficaces.



*Extension Est de l'aérogare Aimée Césaire (travaux réalisés en 2023)
AIA Architectes - Martinique -*



Le vieillissement prématuré des films solaires

L'usage des films de protection solaire se heurte en climat tropical à des problématiques de vieillissement prématuré imputables à l'impact du rayonnement ultraviolet et pour partie à des conditions de mise en œuvre entraînant souvent des bulles d'air.

Ces solutions sont par ailleurs généralement insuffisantes pour rétablir le confort des espaces intérieurs en raison de leur facteur solaire qui demeure élevé d'une part. D'autre part, du fait que malgré la réduction du facteur solaire, l'échauffement du vitrage (d'autant plus important si les films sont posés depuis l'intérieur) le conduit toujours à faire radiateur vers l'intérieur.



Vieillesse prématurée de films solaires – Immeuble commercial ZAC de Moudong - Guadeloupe - photo : ÉQUINOXE



Le contre-exemple des « bow-windows »

Enfin, parmi les solutions peu adaptées au climat tropical, les bow-windows constituent un cas original, qui reste heureusement anecdotique. Au même titre que les murs rideaux, ces solutions génèrent des apports solaires considérables et donc des inconforts insolubles, même avec des vitrages teintés et/ou réfléchissants. On rappelle qu'un vitrage incliné vers l'extérieur (lorsque le rayonnement incident arrive perpendiculairement au vitrage) aura un facteur supérieur à ce même vitrage posé verticalement. À l'inverse, un vitrage incliné vers l'intérieur aura un facteur solaire plus faible.

La solution de protection solaire mis en œuvre ici est néanmoins originale !



Bâtiment commercial – ZI Jarry - Guadeloupe -

LA MÉTHODE HELIODROM



4

LA MÉTHODE HÉLIODROM

LA MÉTHODE :



SOMMAIRE :

- 4.1 Les besoins et objectifs
- 4.2. Les vues aériennes
- 4.3 Les modélisations
- 4.4 Préconisations d'amélioration
- 4.5 Evaluation des gains énergétiques
- 4.6 Comparaison avec les autres outils existants
- 4.7 Les limites de la méthode



HELIODROM est un projet lauréat du programme OMBREE, cofinancé par les Certificats d'Economies d'Energie et l'ADEME visant à améliorer les performances énergétiques et le confort des bâtiments tertiaires existants situés dans les DROM. La méthode HÉLIODROM, initiés par le groupement de bureaux d'études EQUINOXE / CELAIRE / INDDIGO et AGENCE ARCHITECTURES, propose de collecter des imageries aériennes simulant la course du soleil afin de proposer des travaux d'amélioration renforçant la protection solaire des bâtiments les plus exposés.

La démarche HÉLIODROM s'adresse aux architectes et bureaux d'études, ainsi qu'aux maîtres d'ouvrages et exploitants des bâtiments concernés. Elle est duplicable dans les DROM et par extension dans toutes les zones où les problématiques de confort d'été peuvent apparaître.



- ✓ **Survol du bâtiment par un drone**
- ✓ **Imageries *Hélionormées* : vues du soleil**
- ✓ **Diagnostics des façades**
- ✓ **Propositions d'amélioration**



4.1. BESOINS ET OBJECTIFS



Le projet **HELIODROM** est né du constat que de nombreux bâtiments tertiaires existants en outre-mer s'apparentent à de véritables passoires énergétiques tropicales, principalement en raison d'une protection solaire insuffisante de leurs façades.

L'objectif du projet est de développer une **méthode innovante** de caractérisation de la protection solaire des bâtiments tertiaires existants par imagerie aérienne (drone). Cette méthode est expérimentée sur un panel de **30 sites pilotes répartis entre la Guadeloupe et la Martinique**.

HELIODROM ambitionne d'explorer, qualifier et traiter la problématique des passoires énergétiques dans les climats tropicaux, avec un focus particulier sur **le syndrome des "bâtiments-serres" climatisés**, une réalité malheureusement fréquente dans l'architecture contemporaine de ces territoires.

La plupart de ces bâtiments ont été construits **avant l'entrée en vigueur des réglementations thermiques (RT)**, ou sans application rigoureuse de celles-ci. Cela concerne aussi bien les Antilles que d'autres territoires comme La Réunion, la Guyane ou Mayotte. Ces constructions résultent souvent d'une volonté de reproduire les codes de l'architecture internationale – en particulier à travers des éléments tels que les **murs-rideaux**, peu adaptés au contexte climatique local.

Si les projets récents tendent à limiter ce type d'aberrations, **la protection solaire reste encore trop souvent négligée** dans la conception architecturale. Des outils existent pourtant pour en optimiser sa mise en œuvre, mais ils sont peu mobilisés – et rarement exploités dans toute leur richesse pour aboutir à **une architecture bioclimatique réellement performante**.



Immeuble « Le Reflet », Petit-Bourg (1971) - Guadeloupe -

Les bâtiments sélectionnés dans le cadre du projet l'ont été sur **la base d'une protection solaire jugée insuffisante** au regard de la réglementation thermique en vigueur. Cette faiblesse entraîne des inconforts thermiques, une surconsommation d'énergie, des appels de puissance élevés sur le réseau électrique, et donc, **une augmentation des émissions de gaz à effet de serre ainsi qu'une pression accrue sur les infrastructures énergétiques locales**.



Le projet HELIODROM vise à fournir aux maîtres d'ouvrage et exploitants **des outils d'aide à la décision pour :**

- Améliorer la **protection solaire** des façades les plus exposées,
- Renforcer le **confort thermique et visuel** des occupants,
- Réduire les **consommations énergétiques**,
- Diminuer les **émissions de CO₂** associées,
- Accompagner la mise en conformité avec **le décret tertiaire**.

Le rôle de la protection solaire est essentiel dans la maîtrise des températures ressenties, que les bâtiments soient climatisés ou non.

- Dans un premier cas, l'absence de protection entraîne une forte exposition des parois vitrées, des surchauffes, une sollicitation excessive de la climatisation, et donc **des émissions de CO₂ et des coûts élevés**.
- Dans un second, une protection bien conçue **limite les apports solaires**, assurant un **meilleur confort thermique pour les usagers et une gestion énergétique optimisée**.

La prestation HELIODROM offre aux bénéficiaires le choix entre un diagnostic énergétique succinct du site (prestation starter), ou un audit énergétique complet (prestation premium). Cet audit énergétique inclut une visite technique détaillée, une analyse approfondie des consommations et dépenses d'énergie, des préconisations d'améliorations détaillées agrémentées d'une analyse financière, ainsi qu'une étude du potentiel d'autoproduction solaire photovoltaïque.

4.2. VUES AÉRIENNES



La méthode **HELIODROM** repose sur l'utilisation de **prises de vues aériennes réalisées par drone**.

Ces prises de vues sont de deux types : **orthonormées et hélienormées**.

- Les **vues orthonormées** sont prises **à la verticale** des bâtiments (perpendiculairement au sol), selon le même principe que les images issues de la **photogrammétrie classique**. Elles permettent notamment d'effectuer des **métrés précis** sur l'emprise horizontale du bâtiment.
- Les **vues hélienormées**, quant à elles, sont captées **depuis la position apparente du soleil**, à différents moments de la journée et de l'année. Elles permettent d'analyser **l'impact du rayonnement solaire** sur les façades, en tenant compte de **l'orientation solaire réelle**. Ces vues incluent également les **positions extrêmes du soleil** le matin et l'après-midi, afin de repérer d'éventuels **masques solaires** (relief, végétation, bâtiments voisins...) pouvant atténuer l'exposition.

Un **protocole de prises de vues** a été défini dans le cadre du projet. Il est résumé dans le tableau ci-dessous. Les positions extrêmes du soleil sont indiquées pour la **Guadeloupe** ; elles doivent être **adaptées à chaque territoire** ultramarin selon sa **latitude et la course solaire locale**.

Type de vue	Schéma de positionnement
Vue d'ensemble orthonormée	
Vues perpendiculaires des 4 façades	
Vue en matinée depuis l'Est (hauteur 45°, ~9h)	
Vue l'après-midi depuis l'Ouest (hauteur 45°, ~15h)	
Vues <i>héli</i> normées à midi	<p>Solstice d'hiver (21 déc : 39° en Guadeloupe / 37° en Martinique)</p>
	<p>Solstice d'été (21 juin : -7° en Guadeloupe -9° en Martinique)</p>
	<p>Equinoxes (16° en Guadeloupe / 14° en Martinique)</p>



Pour guider les **opérateurs drone**, des **tables de positionnement** sont établies pour chaque territoire ultramarin. Ces tables définissent :

- la **distance** du drone par rapport à la façade,
- l'**altitude** de vol (z_2),
- et l'**angle alpha**, correspondant à l'angle entre la position du drone et le zénith.

Ces paramètres sont **ajustés en fonction de la latitude du territoire** et des positions du soleil aux moments clés **héli**normées.

Tables de positionnement du drone :

Vues Héliornormées :

Guadeloupe		Latitude moy. : 16 °N	
		α 39 °	
		$z2$ (m)	d (m) (vers le sud)
SOLSTICE			
DECEMBRE	20		16
(saison	30		24
fraîche)	40		32
	50		40

0,6807

Martinique		Latitude moy. : 14 °N	
		α 37 °	
		$z2$ (m)	d (m) (vers le sud)
SOLSTICE			
DECEMBRE	20		15
(saison	30		23
fraîche)	40		30
	50		38

0,6458

		α -7 °	
		$z2$ (m)	d (m) (vers le nord)
SOLSTICE			
JUIN (saison	20	-	2
chaude)	30	-	4
	40	-	5
	50	-	6

-0,1222

		α -9 °	
		$z2$ (m)	d (m) (vers le nord)
SOLSTICE			
JUIN (saison	20	-	3
chaude)	30	-	5
	40	-	6
	50	-	8

-0,1571

		α 16 °	
		$z2$ (m)	d (m) (vers le sud)
EQUINOXES			
(mi-saison)	20		6
	30		9
	40		11
	50		14

0,2793

		α 14 °	
		$z2$ (m)	d (m) (vers le sud)
EQUINOXES			
(mi-saison)	20		5
	30		7
	40		10
	50		12

0,2443

$z2 = \text{altitude} / \text{sol}$


$d = \text{recul} / \text{zénith sur la face}$

$d = z2 \times \tan(\alpha)$

$z2 = \text{altitude} / \text{sol}$

$d = \text{recul} / \text{zénith sur la face}$

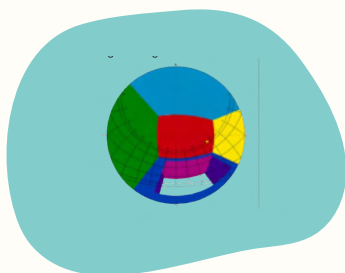
$d = z2 \times \tan(\alpha)$

 La position du soleil est connue, la prise de vue via drone n'est pas indispensable à proprement parler pour dimensionner efficacement une protection solaire ou en vérifier sa pertinence si elle est existante. Toutefois ces vues permettent d'illustrer les déficits de protection solaire pour la MOA et les occupants.

4.3. MODÉLISATIONS

Les modélisations constituent **une étape clé du diagnostic HELIODROM** : elles permettent de traduire les observations réalisées sur site et les données relevées en **analyses visuelles et chiffrées**, facilitant la compréhension des enjeux et la formulation de préconisations adaptées.

À partir des **données collectées**, des **métrés réalisés** et des **imageries produites**, plusieurs modélisations 3D et simulations du bâtiment diagnostiqué sont élaborées pour approfondir l'analyse.



- **Modélisation sur Héliodon®** : il s'agit d'une modélisation **simplifiée**, permettant d'analyser le **rayonnement solaire surfacique moyen** reçu par les façades à différents moments de l'année. Elle permet d'identifier les **zones les plus exposées** au rayonnement solaire et de cibler les façades nécessitant une protection accrue.



- **Modélisation sur SketchUp** : cette modélisation produit un **visuel graphique détaillé** du bâtiment, facilitant la **visualisation des protections solaires préconisées** sur l'enveloppe architecturale.

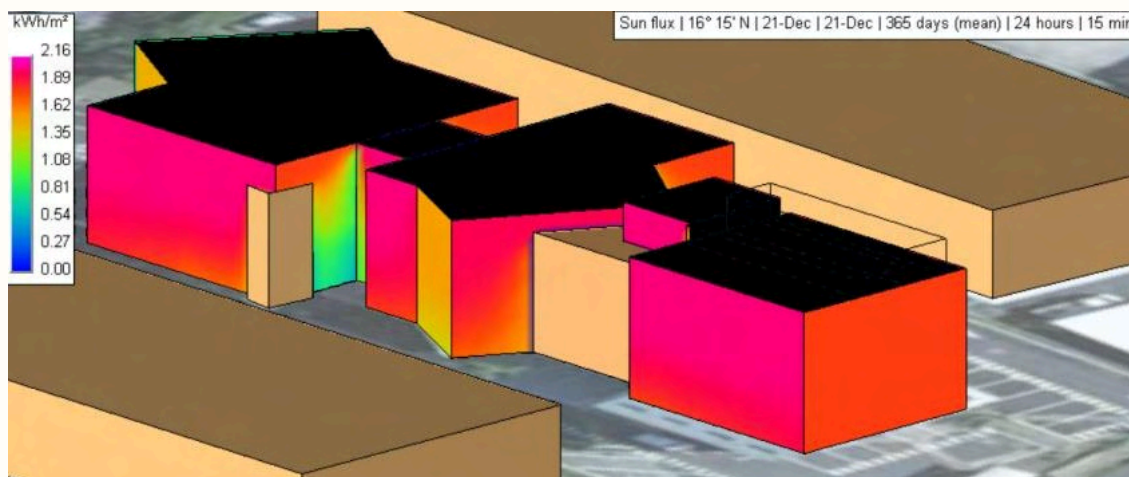


- **Simulation des consommations énergétiques sur Excel** : réalisée à partir des données collectées, cette simulation permet d'estimer les **consommations énergétiques actuelles et futures** du bâtiment selon différents scénarios d'amélioration. Elle est proposée sous forme **succincte pour les prestations starter et détaillée pour les prestations premium**, incluant alors des bilans comparatifs chiffrés.



- **Simulation thermique dynamique (Pléiades Comfie ou Dial+)** : réalisée uniquement dans le cadre des **prestations premium**, cette simulation permet de modéliser finement le comportement thermique du bâtiment en conditions réelles, en intégrant les apports solaires les caractéristiques des matériaux et les usages. Elle offre une vision détaillée des gains attendus en termes de **confort thermique** et de **réduction des consommations énergétiques**.

Exemple de rendu graphique d'une modélisation sur Héliodon® :





Ces modélisations permettent non seulement de **visualiser les enjeux énergétiques liés à l'exposition solaire**, mais aussi de **tester virtuellement les solutions d'amélioration** avant leur mise en œuvre. Elles constituent ainsi une **base solide pour formuler des recommandations précises et adaptées**, alignées à la fois sur les contraintes techniques du bâtiment et sur les objectifs de performance énergétique fixés par HELIODROM.

4.4 PRÉCONISATIONS D'AMÉLIORATION

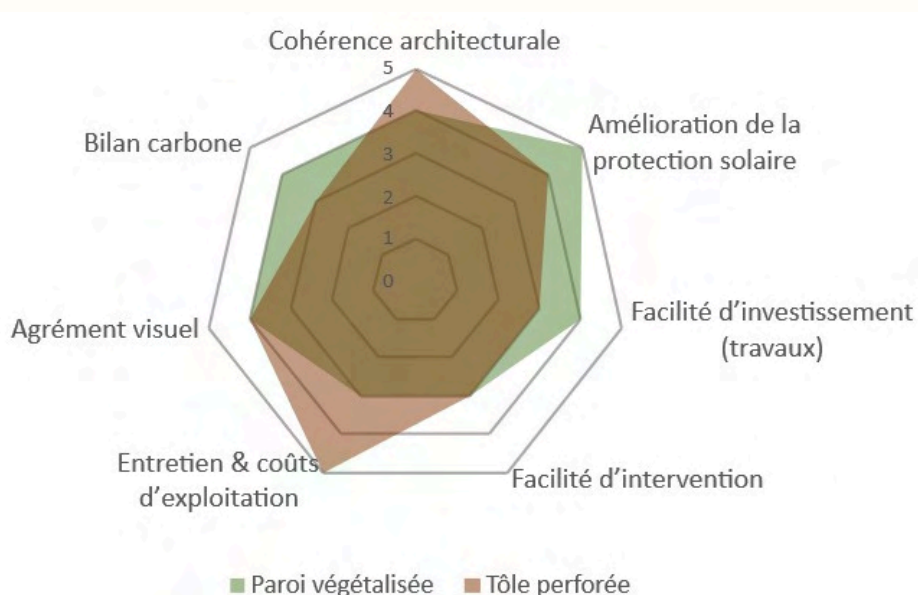
Après avoir réalisé l'ensemble des modélisations et simulations, l'équipe HELIODROM se réunit afin d'élaborer des **solutions d'amélioration sur mesure**, adaptées à l'architecture, aux usages et aux problématiques spécifiques du bâtiment étudié.

Ces solutions sont analysées et hiérarchisées selon **8 critères d'aide à la décision** :

1. Cohérence architecturale,
2. Amélioration de la protection solaire,
3. Facilité d'investissement (travaux),
4. Facilité d'intervention,
5. Entretien et coûts d'exploitation,
6. Agrément visuel, préservation de la vue,
7. Apport en lumière naturelle,
8. Bilan carbone.

Pour chaque critère, une **appréciation qualitative** est attribuée, notée de 1 (solution peu engageante) à 5 (solution parfaitement adaptée). Ces notations tiennent compte du **contexte spécifique** de mise en œuvre : une même solution peut donc recevoir des notes différentes selon le bâtiment, ses contraintes techniques, ou ses usages.

Exemple d'outil d'aide à la décision :





Pour chaque **solution de protection solaire préconisée**, l'équipe fournit une estimation de l'investissement requis et une estimation des gains attendus.

- Dans le cas d'une **prestation starter**, les gains sont évalués sur la base de **l'énergie solaire incidente** reçue par les façades, avec une approche simplifiée.
- Dans le cas d'une **prestation premium**, les gains sont calculés grâce aux **simulations thermiques dynamiques**, permettant d'estimer plus précisément la réduction des consommations d'électricité et l'amélioration du confort thermique.

Les solutions retenues sont également représentées graphiquement sur **le modèle SketchUp** du bâtiment, afin de permettre au maître d'ouvrage de **visualiser concrètement leur intégration architecturale**.

Exemple de rendu graphique :



Après avoir détaillé les préconisations spécifiques issues de la méthode HELIODROM, il est essentiel de les repositionner dans le contexte plus large des outils existants, afin de comprendre ce que cette approche apporte de complémentaire ou d'innovant.

4.5. EVALUATION DES GAINS ÉNERGÉTIQUES

Pour les premières études, on réalisait une simulation thermique dynamique (STD) pour évaluer les gains énergétiques des différentes solutions proposées. Cette opération est très chronophage et ne pouvait être répliquée pour chaque site étudié. Nous avons donc imaginé la méthode suivante pour évaluer les gains possibles.

La démarche repose sur des données d'entrée facilement disponibles :

- la surface estimée des façades et de leurs surfaces vitrées [m^2],
- le facteur solaire du vitrage existant (intégrant les éventuels coefficients de masque),
- le rayonnement solaire moyen par orientation [$kWh/m^2/j$],
- et l'efficacité énergétique des équipements de climatisation (EER).

À partir de ces paramètres, on estime dans un premier temps la quantité d'énergie reçue par rayonnement solaire sur la façade :

$$\text{Énergie reçue} = \text{Surface concernée} \times \text{rayonnement solaire moyen} \times \text{Facteur solaire du vitrage existant}$$

On en déduit ensuite la consommation annuelle de climatisation initiale :

$$\text{Consommation initiale} = \frac{\text{Énergie solaire journalière} \times \text{nb jours climatisés}}{EER}$$

Puis, on recalculer la consommation théorique après application des préconisations, avec un nouveau facteur solaire pour les vitrages concernés.

Enfin, les économies d'énergie sont obtenues par la différence entre la situation initiale et la situation après préconisations.

Cette approche, bien que simplifiée, permet d'obtenir rapidement un ordre de grandeur des gains énergétiques attendus sans recourir à une modélisation thermique complète.

Elle repose toutefois sur des hypothèses notamment lorsqu'on ne peut obtenir les caractéristiques précises des vitrages mis en œuvre, c'est pourquoi les gains estimés sur le poste climatisation sont données par des fourchettes pour nos études de cas.

4.6 COMPARAISON AVEC LES AUTRES OUTILS EXISTANTS



Des outils portant sur le dimensionnement des protections solaires, l'estimation des besoins en froid ou encore sur le confort thermique, et spécifiques aux Outre-Mer existent. Ils ont parfois été développés dans le cadre du même programme OMBREE.

Au total, ce sont trois outils liés à la thématique qui ont été recensés. L'objectif est d'étudier les synergies éventuelles avec la méthodologie HELIODROM, afin d'étudier d'autres approches, **voire d'intégrer ces outils à la méthodologie pour la simplifier.**

Ces outils sont présentés dans le tableau ci-dessous :

	REDUCALOR	RATIOCLIM	PROTECSOLAM
Origine	OMBREE Alter, Solener, LEU Réunion, ACAPA	Outil RTG	OMBREE CIRBAT, Imageen, PIMENT
Périmètre	La Réunion, Guyane	Guadeloupe	La Réunion, Mayotte
Détail	L'outil permet sur la base de quelques indicateurs d'estimer le besoin en froid (thermique et électrique), ainsi que le confort en ventilation naturelle.	L'outil permet d'estimer les besoins thermiques et électriques en refroidissement, via des données d'entrées simplifiées	Il s'agit d'une aide au dimensionnement de protections solaires
Lien avec HELIODROM	L'outil pourrait permettre d'évaluer le besoin initial en refroidissement du site, avant travaux de protections solaires.	Apporte une estimation très simplifiée des besoins en refroidissement	L'outil apporte des éléments très techniques sur le dimensionnement des protections solaires

Les estimations de besoin en refroidissement obtenus avec la méthode HELIODROM ont ensuite été comparés avec REDUCALOR et RATIOCLIM, sur la base de cas pratiques.

	Besoin en refroidissement surfacique (kWhF / m ²)		
	Méthode HELIODROM	REDUCALOR	RatioClim Guadeloupe
CMA CGM (971)	298	223	110
CIST	302,5	258	168
RUBIS	211	220	151
GPG ARS	276	212	145

Il en ressort une corrélation relativement étroite entre l'approche HELIODROM et les estimations obtenues via REDUCALOR. Les limites observées sur REDUCALOR sont les suivantes :

- Il est parfois nécessaire d'adapter les COP, entre ce qui est considéré dans les audits et ce qui est considéré dans l'outil, notamment sur les DRV et les splits, donc le COP semble très élevé.
- L'outil ne prend pas en compte la mitoyenneté et ne permet donc pas de refléter tous les cas de figure.
- Le label de performance des menuiseries et vitrages n'est pas explicite : « RTAA DOM », « ECO DOM », ...
- Les données météorologiques sont limitées à La Réunion et la Guyane.

À l'avenir, il sera intéressant de reprendre le modèle d'estimation REDUCALOR pour l'adapter et éventuellement faciliter l'estimation du besoin de refroidissement initial des sites diagnostiqués. Un premier contact avec les équipes à l'origine du projet a été établi en ce sens. À l'inverse, l'outil RATIOCLIM semble à l'exclusion de la démarche, les résultats étant très variables face à la méthode HELIODROM.



Ceci s'explique par plusieurs raisons :

- La surface totale a une forte influence sur le besoin de production en froid dans l'outil, pour des raisons qui ne sont pas explicitées.
- Seule la surface totale est acceptée en entrée, la surface climatisée ne faisant pas partie du calcul.
- L'orientation du bâtiment est a priori prise en compte via les orientations de surface vitrée. Mais la surface totale de parois verticales n'est pas une donnée d'entrée, et peut pourtant avoir un impact significatif.

Enfin, l'outil PROTECSOLAM n'a pas été étudié en profondeur car il semble difficile à intégrer à la méthodologie. En effet, il permet d'estimer l'impact de protections solaires extérieures uniquement pour des lames horizontales et sur la base de données techniques en entrée, sans considérations architecturales ou contraintes liées au site. Or, l'approche HELIODROM consiste à faciliter l'adoption de protections solaires sur une analyse multifactorielle.

À SAVOIR : SunSEEKER est une application de suivi solaire qui affiche en temps réel la position du soleil, sa trajectoire et les heures de lever/coucher, grâce à une boussole et une vue 3D. Cette application peut être une aide à la conception.



4.7 LES LIMITES DE LA MÉTHODE



La méthode HELIODROM, bien qu'innovante et adaptée au contexte tropical, présente plusieurs limites à considérer pour une interprétation rigoureuse des résultats.

D'abord, la précision de l'analyse dépend fortement de la qualité des données d'entrée, notamment des prises de vues drones, des caractéristiques réelles des vitrages et protections existantes, ou encore des paramètres climatiques utilisés. Les informations manquantes (facteur solaire, EER, surfaces vitrées exactes) doivent souvent être estimées, ce qui introduit une marge d'incertitude dans les calculs.

Ensuite, l'approche de modélisation simplifiée – pensée pour être reproductible à grande échelle – ne remplace pas une simulation thermique complète. Les résultats obtenus permettent d'estimer des ordres de grandeur, mais pas de quantifier précisément les gains énergétiques ou le confort thermique intérieur.

Par ailleurs, la méthode repose sur une analyse statique du rayonnement solaire et ne prend pas encore en compte certains effets dynamiques : variations d'usage, comportement des occupants, apports internes, inertie du bâti voire couplage avec la ventilation naturelle.

Enfin, la comparaison entre sites peut être affectée par la diversité des typologies architecturales, des orientations, et des conditions d'exploitation. HELIODROM reste donc avant tout un outil de diagnostic et d'aide à la décision, destiné à hiérarchiser les besoins en protection solaire plutôt qu'à produire des bilans énergétiques normatifs.



POUR EN SAVOIR PLUS / SOURCES :

REDUCALOR

<https://www.pergola-oustremer.fr/ressource/reducator-maitriser-les-objectifs-energetiques-dans-les-batiments-en-climat-tropical-humide-des-la-programmation-livret-daccompagnement/>

RATIOCLIM

<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/Notice%20d%27utilisation%20RatioClim.pdf>

PROTECSOLAM

<https://www.pergola-oustremer.fr/ressource/protecsolame-site-web/>



SOLUTIONS



5

SOLUTIONS

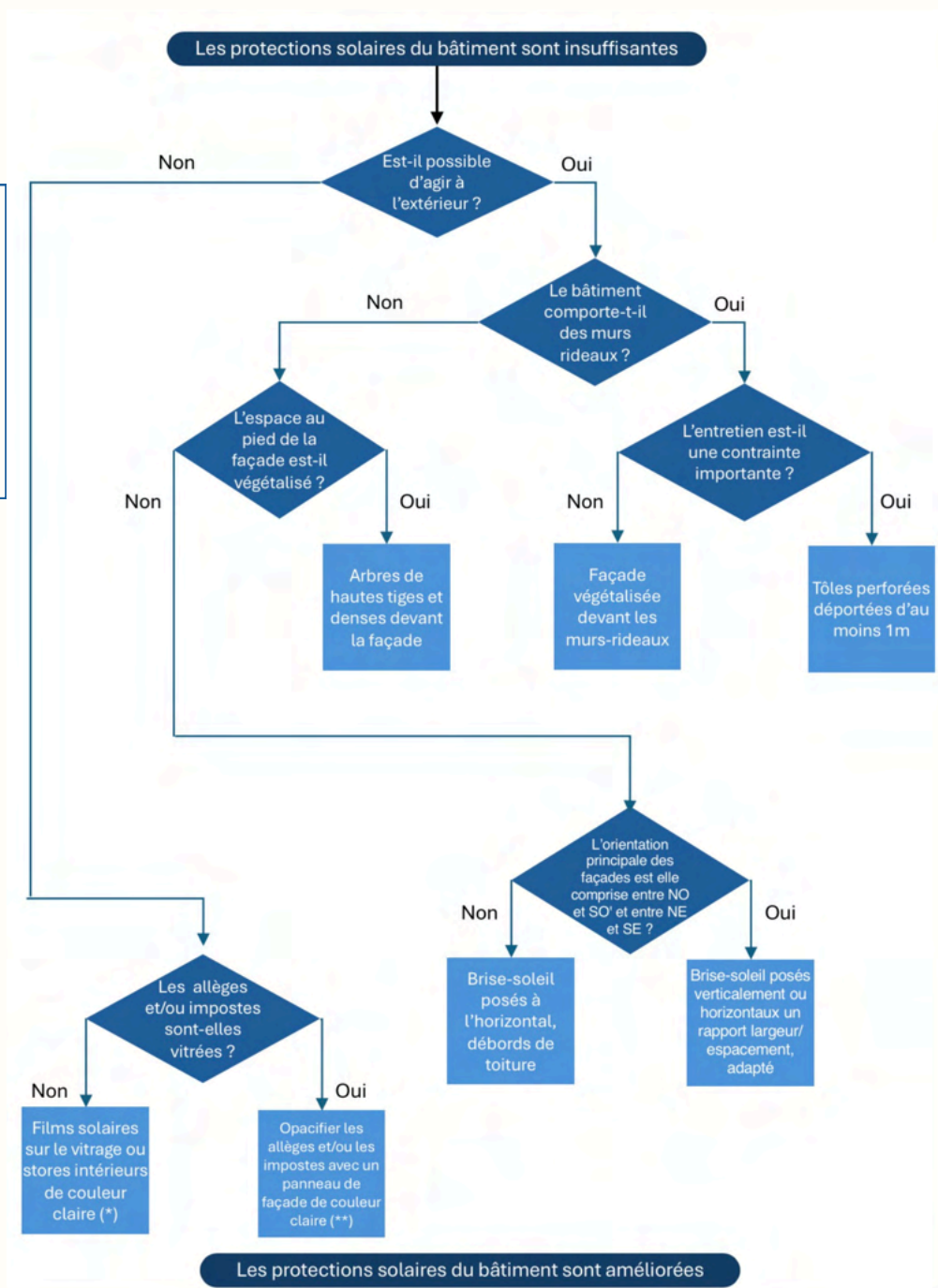


5.1 NOTRE GUIDE DES CHOIX

À partir des critères d'aide à la décision vus précédemment nous avons réalisé le logigramme ci-dessous. Son but est d'orienter le maître d'ouvrage vers les solutions de protection solaire architecturale adaptées à ses besoins, sans pour autant avoir la prétention d'être exhaustif sur les solutions à mettre en œuvre.



Les stores intérieurs, de type vénitien, même de couleur claire, assureront une protection solaire médiocre. Toutefois, c'est une solution envisageable, sous certaines conditions : Retrouvez les différentes informations concernant les stores intérieurs P.105



(*) en s'assurant que cette mise en œuvre est compatible avec la résistance mécanique du verre au phénomène dilatation
 (**) Cette solution doit être étudiée finement pour conserver notamment une bonne autonomie en lumière du jour à l'espace



Le logigramme d'aide à la décision a été réalisé à partir des constats suivants :

- Intervenir sur une protection solaire à l'extérieur du bâtiment est thermiquement plus efficace que d'agir depuis l'intérieur car une part importante des apports de chaleur est déjà « rentrée » et nécessitera donc d'être « combattue » (par l'occupant pour son confort ou par les systèmes de climatisation).
- Les protections solaires intérieures recommandées (hors les stores et rideaux à l'efficacité médiocre...) se limitent à l'opacification des allèges (très efficace) et à la pose de films solaires généralement peu recommandés (efficacité énergétique moyenne et pénalisation de la transmission lumineuse).
- La végétalisation apparaît comme une solution adaptée pour la création d'ombrage sur les vitrages, bien qu'elle occasionne potentiellement un coût d'entretien significatif. L'implantation d'arbres offre un ombrage dense, mais aux contours irréguliers, avec une hauteur limitée et une durée de croissance qui déphase l'effet d'ombrage attendu. Sur une façade rideau très exposée au rayonnement solaire, des solutions végétalisées de type lianes sur treillis supports ou pergolas végétalisées seront donc privilégiées pour plus d'efficacité dans un temps plus court. Il est important de remarquer les multiples avantages qualitatifs et écologiques globaux des protections végétales par rapport aux dispositifs brise soleil : rafraîchissement évaporatif en plus de la création d'ombrage, support de biodiversité, stockage de CO₂ ,...
- La végétalisation des façades n'est cependant pas la seule option, et on devra généralement compléter la protection solaire par des tôles perforées, des lames brise-soleil horizontales (« en casquette ») ou verticales (« recouvrantes »), des résilles, des moucharabiehs, des voiles d'ombrage et autres dispositifs.

Remarque : dans tous les cas, le travail de définition de protections solaires adaptées doit faire l'objet d'un travail collégial et concerté non seulement entre architecte et ingénieur énergétique mais aussi bien souvent avec la contribution d'un ingénieur structure et d'un paysagiste: il s'agit de conserver au projet sa cohérence architecturale globale ainsi que ses qualités essentielles en termes de confort psycho-sensoriel global (qualité des vues,...)

5

SOLUTIONS

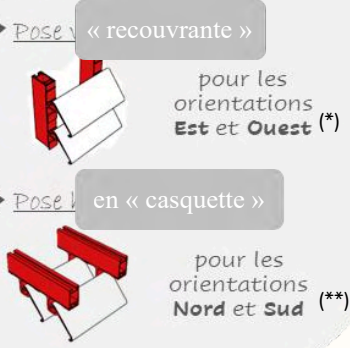


5.2 LES FAMILLES DE SOLUTIONS



Les différentes solutions proposées pour les bâtiments cibles du projet HELIODROM peuvent être regroupées en « familles » selon leur technique de mise en œuvre, leur efficacité, leur emplacement par rapport à la façade, leur coût, leur cohérence architecturale... Ces « familles » de solutions sont représentées dans la carte mentale ci-dessous :

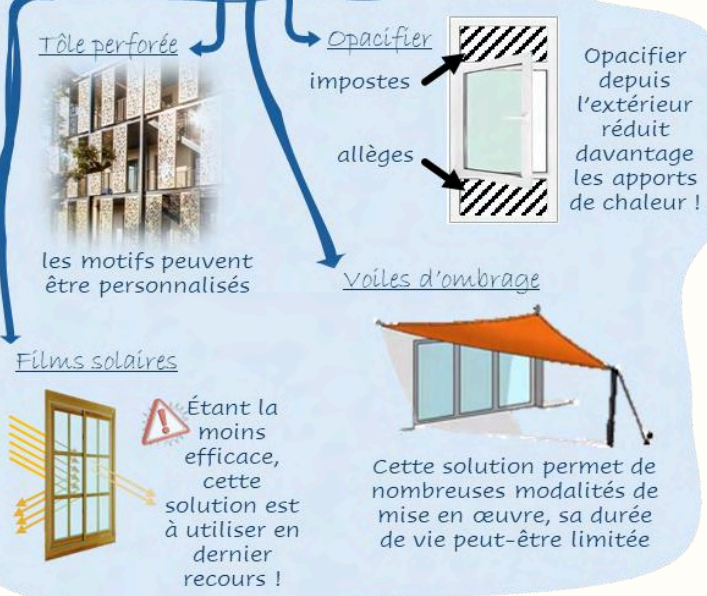
BRISE-SOLEIL



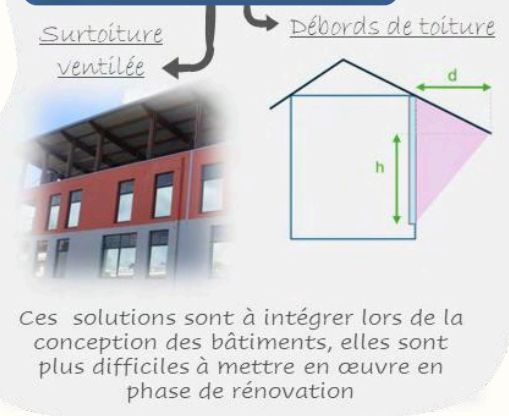
VÉGÉTALISATION



ALTERNATIVES



Débords et surtoitures



(*) Est et Ouest signifie Nord-Est/Sud-Est et Nord-Ouest/Sud-Ouest (**) Nord et Sud signifie Sud-Est/Sud-Ouest et Nord-Est/Nord-Ouest

À DIMENSIONNER AVEC LES NOUVELLES RÈGLES CYCLONIQUES:
<https://batisseurs-outramer.com/menuiseries-exterieures-aux-antilles-une-nouvelle-reglementation-qui-change-profondement-les-pratiques/>
<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000049925726>



Les choix de protection solaire des bâtiments reposent sur des principes bioclimatiques solides.

À l'instar des différentes Réglementations Thermiques applicables en Outre-Mer, les méthodes proposées aux concepteurs reposent au choix :

- **sur des obligations ou prescriptions de moyens** : les solutions présentées ci-après ou prescriptions, telles que celles de la RTAA DOM dans les logements, ou encore les prescriptions du référentiel ECODOM Plus ;
- **sur des obligations de résultats sur indicateurs**, comme dans les référentiels RT Guadeloupe - RT Martinique et également RT 2020 pour l'hexagone, avec les indicateurs Bbio (besoin bioclimatique) et ICT (indice de confort). L'indicateur cible pour la protection solaire est évidemment le facteur solaire global des parois vitrées, dont la valeur cible est 15 %.

2 méthodes complémentaires	Principes des prescriptions ou solutions	Principes des indicateurs
Référentiels thermiques tropicaux	RTAA DOM, ECODOM Plus	RTG-RTM
Protections solaires des bâtiments tertiaires	Solutions HELIODROM	Facteur solaire global des parois vitrées $F_{ts} \leq 15\%$

Pour mémoire, le facteur solaire d'un vitrage clair est d'environ 85 %.

Viser une protection solaire satisfaisante en climat tropical, mais également en confort d'été en climat Européen, implique donc, comme évoqué tout au long du présent guide :

- avant tout, un dimensionnement raisonné des surfaces vitrées les plus exposées,
- impérativement, la mise en œuvre de solutions de protections solaires efficaces : essentiellement extérieures, bloquant le rayonnement solaire direct, favorisant souvent la végétalisation permettant d'atteindre la valeur objectif du facteur solaire de $F_{ts} \leq 15\%$.

Approfondissements

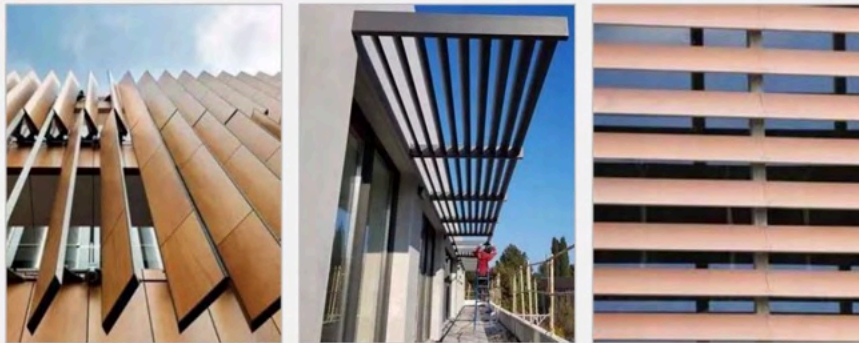


Au sein de **chaque famille**, il peut exister des dizaines de solutions différentes. **Les solutions les plus adaptées** aux cibles du projet HELIODROM sont **détaillées dans les pages suivantes** qui peuvent constituer un catalogue non exhaustif de solutions. Les solutions présentées ne sont pas exclusives ni exhaustives, elles laissent une grande liberté de choix aux concepteurs. Elles présentent des exemples de mise en œuvre qui doivent être contextualisés et finement adaptés à chaque cas.



RETROUVEZ LES FICHES D'IDENTITÉ DES DIFFÉRENTES SOLUTIONS EN ANNEXE :

BRISE-SOLEIL → les essentiels



Description	Dispositif <u>extérieur</u> composé de plusieurs profilés, souvent en bois ou en aluminium, fixes ou orientables, pour limiter l'ensoleillement direct.		
Principe	Le brise-soleil agit comme un masque : il bloque le rayonnement direct mais pas le réfléchi, tout en laissant passer la lumière naturelle diffuse. L'efficacité dépend de l'orientation de la façade, de l'angle d'incidence, de la géométrie et la position des lames.		
Configurations possibles	Pose en « casquette » → Orientations Nord et Sud	Pose « recouvrante » (lames verticales ou horizontales) → Orientations Est et Ouest	Pose de « joues » sur les côtés des menuiseries
Avantages	+ Réduction significative des apports solaires + Conservation d'un éclairage naturel suffisant + Durabilité et entretien limité (surtout pour versions fixes) + Intégration architecturale possible dans le design de la façade		
Inconvénients	- Moins efficaces sur les orientations complexes - Risque de sous-éclairage si dimensionné trop grand - Coût élevé surtout si orientable motorisé - Nécessite une étude d'un BET structure pour les grandes portées		
Points de vigilance	Étude indispensable du diagramme solaire La profondeur des casquettes peut-être limitée pour des raisons structurelles, notamment en contexte de risque cyclonique		
Coût HT fourni posé	300 à 800 €/m ²		



à retrouver en
ANNEXE

5

SOLUTIONS



5.3 MATÉRIAUX, COULEURS



Les protections solaires à promouvoir sont détaillées dans la partie suivante en familles de solutions.

Les solutions évoquées ont toutes un point commun : elles sont à l'extérieur, pour bloquer le rayonnement direct avant qu'il ne pénètre à l'intérieur des bâtiments.

Nous voulons insister également sur le fait que ces solutions sont diverses et partielles, tant il existe des dizaines de solutions pour réaliser une protection solaire efficace en permettant aux concepteurs d'exprimer pleinement leur créativité.



Les matériaux et dispositifs utilisables :

- **le béton**, depuis Ali Tur (architecte des années 30, notamment en Guadeloupe), pour faire des casquettes ou des joues ;
- **la brique**, utilisée depuis l'antiquité notamment pour réaliser des cloisons ajourées, claustras et moucharabiehs ;
- **l'aluminium**, matériau le plus utilisé pour les lames de brise-soleil en raison de ses qualités de durabilité et de fabrication en masse par extrusion ;
- **les panneaux d'aluminium**, et les multiples solutions des procédés tels que l'alucobond ;
- **le bois, nattes, et les autres matériaux biosourcés**, pour leur faible impact carbone ;
- **les végétaux** par une utilisation combinées des 3 strates : hautes tiges, arbustives et lianes. (l'appui d'un paysagiste dans l'équipe de conception permettant un travail de qualité.) ;
- **l'acier**, sous toutes ces formes, en tôle pleine ou perforée, ajourée, déployée, de préférence galvanisée, également comme structure support ;
- **les matériaux composites et stratifiés**, dont les qualités de durabilité sont très appréciables ;
- **les toiles et les protections textiles**, légères et qui autorisent l'enroulement autour d'un axe par exemple; qui peuvent être poreuses et donc mieux résister au vent. On privilégiera les couleurs claires.





Les critères de choix des matériaux et dispositifs seront donc les mêmes que les critères présentés précédemment, avec une attention particulière sur les points suivants :

- la **durabilité** et la résistance aux conditions cycloniques et au vieillissement prématuré en conditions tropicales,
- l'**impact carbone**, essentiel dans la recherche de moindre impact environnemental des constructions,
- la **facilité de mise en œuvre** dans des conditions optimales sur un chantier extérieur,
- la **disponibilité commerciale**, qui restreint souvent en outre-mer le choix des matériaux biosourcés,
- les **coûts de fourniture et mise en œuvre**, critère toujours essentiel, dans une approche de coût global.
- la **cohérence architecturale et paysagère** de la solution

Attention : Les toiles ou protections textiles doivent être facilement et rapidement démontables en cas d'alerte cyclonique.

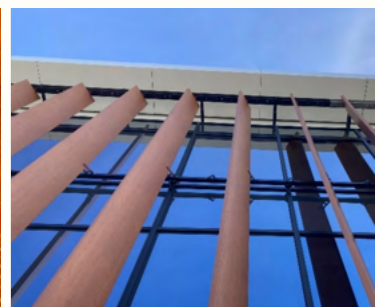
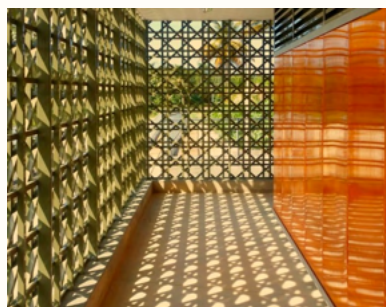
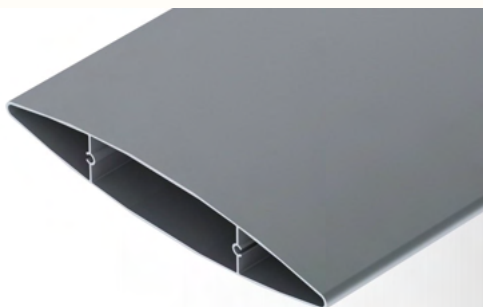
Le tableau suivant dresse une synthèse des paramètres à prendre en compte pour différents matériaux et dispositifs candidats pour la mise en œuvre des protections solaires:

Matériau	Densité (kg/m ³)	Conductivité thermique	Inertie thermique	Résistance mécanique	Impact carbone
Béton armé	2500	Moyenne	Forte	+++	Fort
Brique de terre cuite	1400 à 2200	Moyenne	Forte	+/-	Fort
Aluminium	2700	Très forte	Faible	+	Très fort
Tôle d'acier galvanisée	7800 6 à 9 kg/m ² en bardage selon les épaisseurs	Forte	Très faible	+	Fort
Bois (pin traité classe IV)	550 à 700 (selon les essences et les taux d'humidité)	Faible	Faible	+	Très faible, stockage de carbone
Bambou, bois peyi et autres essences de bois tropicales locales	300 à 400 (bambou) 500 à 800 (mahogany)	Faible	Faible	++	

source : Groupement HELIODROM[©]



La **résistance mécanique** des protections solaires est également un critère essentiel, qui permet une économie de matériaux lorsque des solutions judicieuses et optimisées sont mises en œuvre, notamment dans le cas de sections creuses ou ajourées, ou encore avec des lames verticales, pour s'affranchir des problématiques de flambement.





Ajoutons que les **visseries nécessaires** pour la fixation des protections devront impérativement être traitées anticorrosion : visserie en acier inoxydable, tirefonds en acier galvanisé, rivets en aluminium, ... En vertu des Règles Antilles, en dehors des fixations des panneaux et feuilles de couverture, les visseries seront impérativement en acier inox de qualité A4, comme pour tous les éléments de fixation de construction extérieurs en zone tropicale.

Idéalement, la **conductivité thermique** des protections solaires devrait être la plus faible possible ; l'aluminium et plus généralement tous les matériaux métalliques sont des candidats médiocres sur ce point ; néanmoins, on peut considérer qu'il s'agit d'un critère sensiblement moins important vis-à-vis de la fonction de blocage du rayonnement solaire : **le plus important reste de mettre un mur rideau ou un vitrage à l'ombre.**

Enfin, **le choix des couleurs** des protections solaires se relève primordial, notamment lorsqu'on sélectionne des matériaux ayant une forte conductivité thermique (aluminium notamment). **On évitera donc les teintes foncées**, parfois très en vogue : "mode absurde" souvent contraire à la conception bioclimatique tropicale.

' Les concepteurs doivent garder en tête qu'un élément de teinte foncé et à conductivité élevée, exposé en plein soleil en journée constitue un véritable radiateur qui va inmanquablement pénaliser le confort des occupants et alourdir la facture énergétique du bâtiment. '

La diversité des produits et teintes disponibles ne saurait uniformiser un standard : par exemple gris anthracite (RAL 7016), qui par ailleurs offre une durabilité déplorable sous les tropiques. D'une manière générale, les teintes foncées vont se transformer avec l'apparition d'un voile blanchâtre pastellisant le choix initial de l'architecte en montrant un vieillissement accéléré non recherché.

À l'instar des couvertures et bardages, le défaut d'entretien des protections solaires ne saurait justifier le choix des teintes foncées. Elles seront donc évitées de même que les "rouges" qui se décolorent rapidement.

Point important qu'il faut rappeler : les protections solaires en général et leur couleur en particulier sont des moyens puissants d'expression d'une architecture située.



NOUS CONSEILLONS DE CHOISIR DES PROTECTIONS SOLAIRES DONT LE COEFFICIENT DE RÉFLEXION OU ALBEDO SERAIT STRICTEMENT ET DURABLEMENT SUPÉRIEUR À 0,5



PROSCRIRE LES COULEURS FONCÉES POUR LES TOITURES, FAÇADES, MENUISERIES ET PROTECTIONS SOLAIRES

Une mode, thermiquement absurde en climat tropical, consiste à utiliser des teintes foncées sur l'enveloppe des bâtiments, pénalisant ainsi lourdement les facteurs solaires et favorisant la transmission de chaleur à l'intérieur des bâtiments. Ces choix discutables reviennent à nier le bon sens et produisent inéluctablement des effets désastreux tant pour le confort des occupants, les consommations d'énergie, mais également le vieillissement prématuré de ces composants extérieurs sous l'action des rayons UV tropicaux.

Cette mesure est d'autant plus importante pour les protections solaires métalliques qui une conduction thermique importante, qui va ponctuellement venir surchauffer les bâtiments en journée.



Concession automobile à Moudong - Baie-Mahault (Guadeloupe)

Les photos ci-dessous illustrent ces contre-exemples édifiants, favorisant les coloris "gris anthracite" qui constituent des radiateurs chauffants les bâtiments en journée.

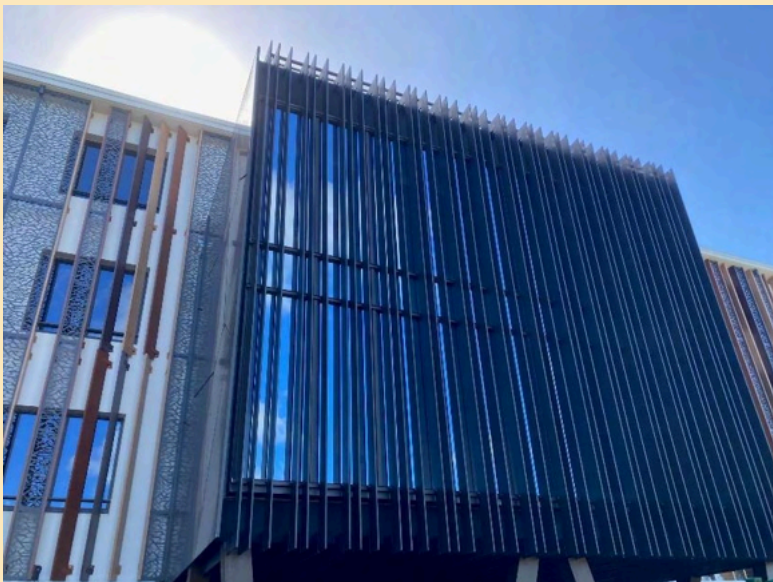


Menuiseries et protections solaires gris anthracite pour le nouveau siège EDF en Guadeloupe. Architectes : Agence COLORADO, photo : EQUINOXE

Ce bâtiment est, néanmoins, considéré comme exemplaire en matière de consommation énergétique sur le territoire en vertu de sa certification BREEAM.



Bâtiment tertiaire neuf (2025) à Jarry - Baie-Mahault (Guadeloupe)



*Effet radiateur sur un bâtiment tertiaire neuf (2025) à Dothémare (Guadeloupe).
Ce bâtiment dispose par ailleurs, d'une protection solaire satisfaisante.*



La prescription est donc très simple, les composants extérieurs des bâtiments, y compris les éléments de protection solaire, sont à choisir parmi la multitude de teintes et coloris disponibles, en excluant les teintes foncées, telles que le gris anthracite.

GRIS FONCÉ	GRIS ANTHRA.	BLEU ARDOISE	BRUN ROUGE	VERT RESEDA	GRIS ALU	GRIS PIERRE	SABLE	BLANC PYRÈNE
RAL 7022	RAL 7016	RAL 5008	RAL 8012	RAL 6011	RAL 9006	RAL 9002	RAL 1015	RAL 9010

Exemples de teintes à exclure pour les composants extérieurs en zone tropicale



» Ainsi, tout comme l'architecture créole est marquée par les teintes variées des toitures, **les couleurs des protections solaires peuvent être diverses, colorées et animées !** Alors que la couleur des volets traditionnels en Europe a été souvent régionalisée (bleu provençale, rouge basque, ...) au départ pour des questions de chimie et de disponibilité des pigments (l'indigo naturel ou le sulfate de cuivre qui ont donné le « bleu charrette » était la teinte de peinture la plus courante autrefois). Dans tous les cas, la teinte des brise-soleil devra faire l'objet d'une certification de fabrication, de type QUALICOAT ou équivalent, garantissant la tenue dans le temps.



Planches d'inspirations : constructions récentes réalisées en Guadeloupe



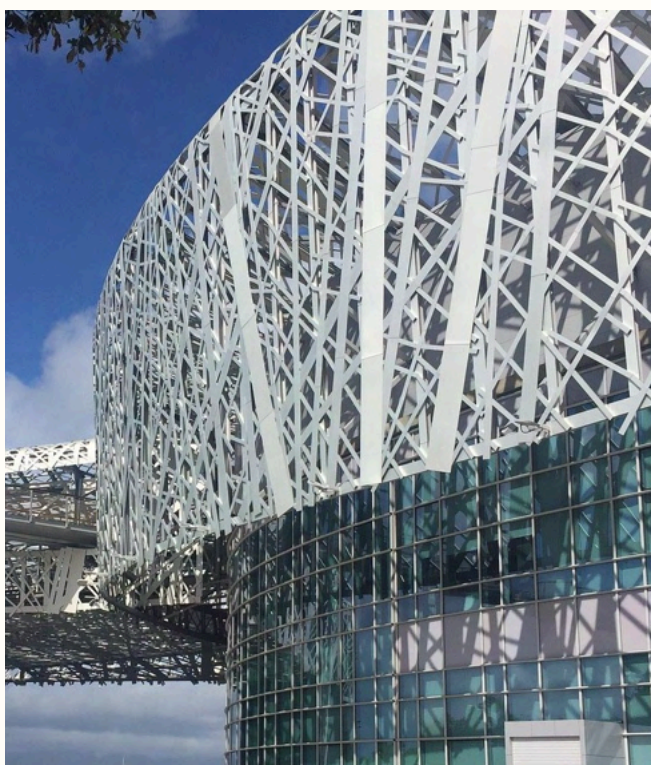
Résidence Maldives, Goyave - Guadeloupe - Architecte : L. DARVIOT, photo : L. DARVIOT



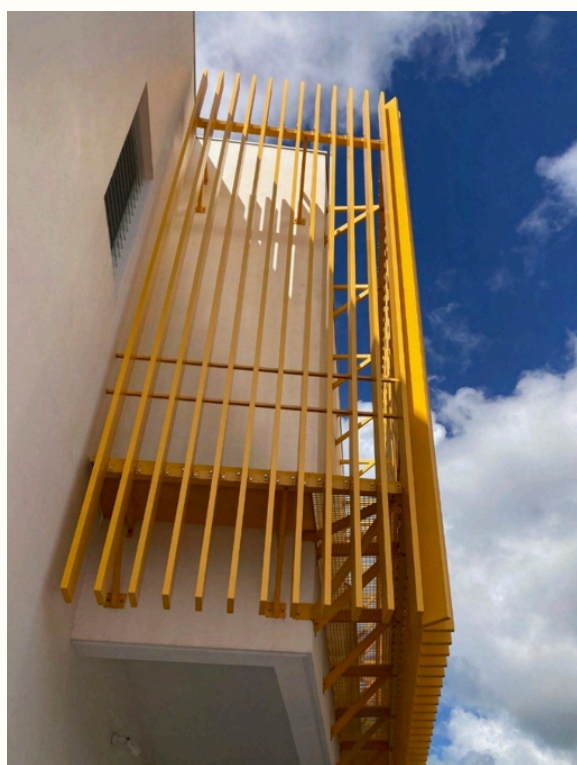
Planches d'inspirations : constructions récentes réalisées en Guadeloupe



Hôtel de police de Basse-Terre - Guadeloupe - Architectes : BMC Architecture



*Mémorial ACTe, Pointe-à-Pitre -
Guadeloupe- Architectes : BMC*



*Lycée de Baimbridge, les Abymes, -
Guadeloupe - Architectes : DORE-MARTON*

Approfondissements



Les protections solaires en matériaux biosourcés :

Les exemples de protections solaires en matériaux biosourcés sont relativement rares. Leur mise en œuvre nécessite parfois de s'affranchir des garanties de durabilité (notamment vis-à-vis des xylophages).



*Brise-soleil en bambou sur structure métallique, Office de Tourisme - Mayotte -
Architecte : Tand'M architectes, photo : Tand'M architectes*



*Bardage ajouré en bois local non traité, Parc National - Guadeloupe - Architectes : Atelier
13, Acapa, photo : EQUINOXE*



Brise-soleil en bois style galettes, Siège Communauté des Communes, Grand-Bourg de Marie Galante - Guadeloupe - Pile et Face Architectures, photo : CCMG



Le nouveau siège d'EDF en Guadeloupe qui bénéficie d'une certification BREEAM, inauguré en 2025, met en œuvre des protections solaires efficaces (sur-toiture photovoltaïque, protection solaire des baies par brises-soleil et joues). Ce bâtiment présente, tout de même, des choix discutables en matière de protection solaire.



Nous pouvons notamment en citer trois :

- un mur-rideau exposé Ouest : protection insuffisante en fin d'après-midi
- la couleur anthracite des protections solaires (non prise en compte dans la certification BREEAM)
- la forte minéralisation des abords



Site EDF Audacia en Guadeloupe (architectes : Agence COLORADO)

De manière plus générale, le choix des teintes foncées ne saurait être une raison de justifier l'absence d'entretien et de nettoyage des ouvrages.



Les protections solaires mobiles ou fixes :

La question du choix des protections solaires fixes ou mobiles se pose enfin au regard des fonctions complémentaires à assurer au-delà de la protection solaire : anti-effraction, anti-cyclone, ventilation naturelle, accessibilité maintenance, accès pompiers etc. ...

Les protections mobiles permettront un réglage par les occupants en fonction de la position du soleil, modulant ainsi les apports de lumière à leur guise en fonction de leurs besoins et de leur priorité (lumière naturelle, vue, ...)

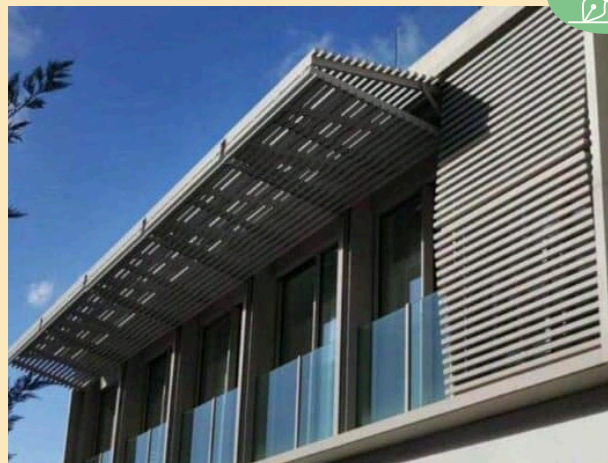
Parmi les protections solaires mobiles à promouvoir, les solutions vernaculaires incontournables gardent toute leur place dans l'architecture contemporaine.

On peut citer notamment :

- les volets persiennés : type « Marseillais » ou encore leur déclinaison niçoise ou « à la génoise »,
- les volets persiennés à projection, qui peuvent dans certains cas rester fixes en dehors de la saison cyclonique,
- les volets coulissants,...



Les protections solaires peuvent parfois cumuler plusieurs fonctions : en plus de créer des ombrages, elles peuvent servir d'occultation partielle, de protection contre les effractions et les intempéries, assurer une ventilation naturelle appréciable en climat tropical, le plus souvent en utilisant des parties mobiles.

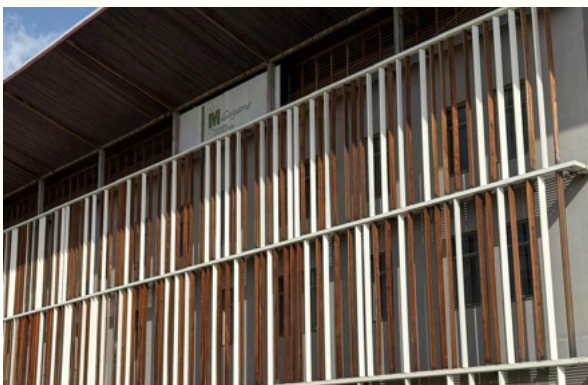




*Volets coulissants en tôle perforée
Internat, lycée de Baimbridge - Guadeloupe
- Architectes : DORE-MARTON, photo :
EQUINOXE*



*Volets coulissants aluminium DEAL St-Phy,
Saint-Claude - Guadeloupe, photo :
EQUINOXE*



Protection mobile, hôtel de police de Cayenne - Guyane - photo : Robert Célaire



Les protections solaires motorisées et pilotées :

En raison des spécificités du climat tropical, des impacts de l'hygrométrie élevée sur les ouvrages, les métaux, l'électronique, **on limitera les solutions motorisées ou pilotées** aux nécessités d'usages. Ces solutions peuvent être séduisantes pour des bâtiments parfaitement entretenus. En revanche, malgré, les progrès accomplis, leur retour d'expérience reste relativement peu convainquant en zone tropicale sur les notions de robustesse et de durabilité (défaillances prématurées de l'électronique, notamment liées aux variations de tension électrique en Zone Non Interconnectée).



*Photo Novembre 2012 (inauguration) CAF
Dothémare Guadeloupe, photo : ALUBAT*



*Photo Décembre 2025 (13 ans après), de
nombreux vérins sont dysfonctionnels...*



Les stores intérieurs :

Lorsque la protection solaire des bâtiments est insuffisante, les maîtres d'usage des bâtiments (propriétaires ou locataires) se tournent souvent vers des solutions de protections solaires intérieures, qui ont l'avantage d'offrir des améliorations perceptibles essentiellement sur le confort visuel, pour un coût relativement faible.

Ainsi des stores intérieurs, de type vénitien, ou des stores en toiles microperforées sur enrouleurs sont souvent mis en place. Toutefois, même s'ils sont de couleur claire, ils assureront une protection solaire médiocre sur le plan thermique.

En effet, lorsque le rayonnement solaire traverse le vitrage, l'effet de serre est créé dès qu'il est absorbé par une surface intérieure, même si, avec un store à albedo (ou coefficient de réflexion) relativement élevé, une partie significative de ce rayonnement est directement réfléchi et retransmis, en partie, la baie.

Néanmoins ces stores :

- 1) peuvent constituer un léger complément à une protection solaire extérieure, qu'elle soit fixe ou mobile ;
- 2) sont effectivement très efficaces pour protéger de l'éblouissement ;
- 3) peuvent être « remontés » par l'occupant dès lors que le rayonnement solaire direct n'atteint plus la baie, permettant ainsi à celle-ci de retrouver toute sa transparence visuelle.

Tous les stores intérieurs ne sont pas équivalents : ainsi, un store très sombre sur sa face extérieure pourra absorber jusqu'à 80% du rayonnement solaire incident, tandis qu'à l'inverse, un store très clair permettra une réflexion qui pourra atteindre 70%, tant qu'il reste dans un bon état de propreté.

Tous ces stores sont caractérisés sur le plan des propriétés optiques par 3 coefficients ou facteurs adimensionnels :

- **t** pour le coefficient de Transmission solaire (lié à la transparence du store)
- **r** pour le coefficient de Réflexion Solaire (appelé encore albedo)
- **a** pour le coefficient d'Absorption Solaire



Nous préconisons de privilégier des stores permettant d'améliorer significativement la protection solaire et nous recommandons des coefficients atteignant respectivement des valeurs :

- Réflexion maximale du rayonnement solaire soit $r > 65\%$
- Absorption minimale du rayonnement solaire soit $a < 40\%$
- Transmission minimale soit $t < 15\%$ (ce qui signifie moins de 15% de perforations dans le store)

Dans tous les cas : $t + r + a = 100\%$ ce qui signifie pour les stores pleins : $r + a = 100\%$

Les coloris étant limités (souvent blanc ou gris...), il est important d'alerter, très en amont dans le projet, l'ensemble des protagonistes du projet des impacts d'une telle prescription : architectes, maîtres d'ouvrages et maîtres d'usage.



Les exemples ci-dessous illustrent quelques tentatives de protection solaire par l'intérieur : elles ont pour point commun une efficacité relativement médiocre et un impact pénalisant la transparence visuelle vers l'extérieur.



Bâtiment GPG-ARS Guadeloupe : protections solaires intérieures mises en œuvre (opacification des allèges, stores intérieurs)



Préfecture de Guadeloupe : exemple de stores intérieurs déroulants



Bâtiment Caribbean Business Center Guadeloupe (ex-WTC) : stores intérieurs (code de couleur rouge soit un coefficient d'absorption supérieur à 50%)

POUR EN SAVOIR PLUS :

<https://www.sergeferrari.com/fr/produits/soltis/99-color-alu-white-low-opaque/>
https://sergeferrari.sharepoint.com/:b/s/WEBSITEPI/IQC_CxDngNM_SqEp7u8MXFKhASi2kEcQDha_JqL_VviK83w?e=xddyHo



5

SOLUTIONS



5.4 PRINCIPES D'ACCROCHAGE



Tout comme chaque élément intégré aux bâtiments, les protections solaires doivent assurer la conformité aux différents corpus réglementaires en vigueur.

En zones tropicales soumises aux aléas naturels, on rappellera notamment les référentiels suivants :

- Eurocodes, règles parasismiques, para-cycloniques
- Règles Antilles
- Cohérence avec les règles de sécurité : dans les ERP, les protections solaires ne doivent pas entraver l'accès réservé aux pompiers sur les façades depuis l'extérieur



Les protections solaires préservent des accès pompiers (photo de gauche : lycée de Baimbridge, Guadeloupe, architectes DORE-MARTON)

Le détail de ces exigences réglementaires est disponible en ligne pour chaque territoire concerné.¹ Par ailleurs les documents de référence listés dans la bibliographie sont également à consulter. On rappelle également **la nécessité de faciliter l'entretien des vitrages et des protections solaires par un accès en façade extérieure.**

POUR EN SAVOIR PLUS / SOURCES :

¹ https://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/documents/Bulletinofficiel-0034017/ATDL2503710S_Guide%20application%20exigences%20r%C3%A9glementaires%20Antilles_CSTB_250115.pdf;jsessionid=565700227C1C0BD5A535225E1704DCE8





Quelle que soit la méthode utilisée (sur nacelle, encordée, avec drone, ...) le nettoyage des façades ne doit pas être entravé par les protections solaires. Il s'agira donc d'un point sensible pour toutes les solutions de protection solaire recouvrantes. Sur ce critère, les solutions apportant des réponses satisfaisantes seront notamment : les auvents, les protections solaires verticales, les doubles peaux décollées, qui sont à concevoir idéalement avec une course d'entretien. La distance entre la façade et la protection solaire doit permettre cet entretien.



Les coursives assurent un accès facilitant l'entretien des façades.



IUFM Guyane : les brises soleils servent eux-mêmes de coursive, architecte : ACAPA Architecture, photo : Robert Célaire



Les exemples ci-après illustrent de manière indicative et non exhaustive quelques principes de mise en œuvre capables de respecter les enjeux liés à la construction dans les Antilles, en prenant en compte les contraintes spécifiques liées aux risques sismiques et cycloniques de ces territoires.

Ces principes constituent une base pour formuler des recommandations. Ils nécessitent toutefois la validation d'un bureau d'études structure pour chaque bâtiment susceptible d'engager des travaux importants portant potentiellement atteinte au clos et/ou au couvert de celui-ci.

Approfondissements



Les différents dispositifs de protection solaire nécessitent une conception précise de leurs fixations. Chaque solution engendre des efforts mécaniques et des contraintes spécifiques : traction élevée et ponctuelle pour les voiles d'ombrage, efforts dus au vent pour les tôles perforées, déformation pour les brise-soleil, dilatations thermiques pour les divers composants y compris pour les films extérieurs, charges importantes pour les structures végétalisées... Les ancrages doivent donc être adaptés aux différents types de support : béton, maçonnerie creuse, ossature bois, charpente métallique, ..

Plus spécifiquement les vents parfois très violents des Antilles (zone de risque cyclonique) imposent souvent l'emploi de pattes renforcées, platines métalliques, chevilles haute capacité, haubans ou reprises de charges sur structure porteuse.

Dans tous les cas, **la conception de ces solutions doit prendre en compte les spécificités d'un environnement « agressif »** (air marin, températures et hygrométrie élevées, pluies battantes, moisissures induites, indice UV élevé, risque de pénétration d'insectes, ...). Le dimensionnement des ancrages doit donc être réalisé par des professionnels qualifiés afin de garantir une mise en œuvre sûre et la bonne tenue du système dans le temps.

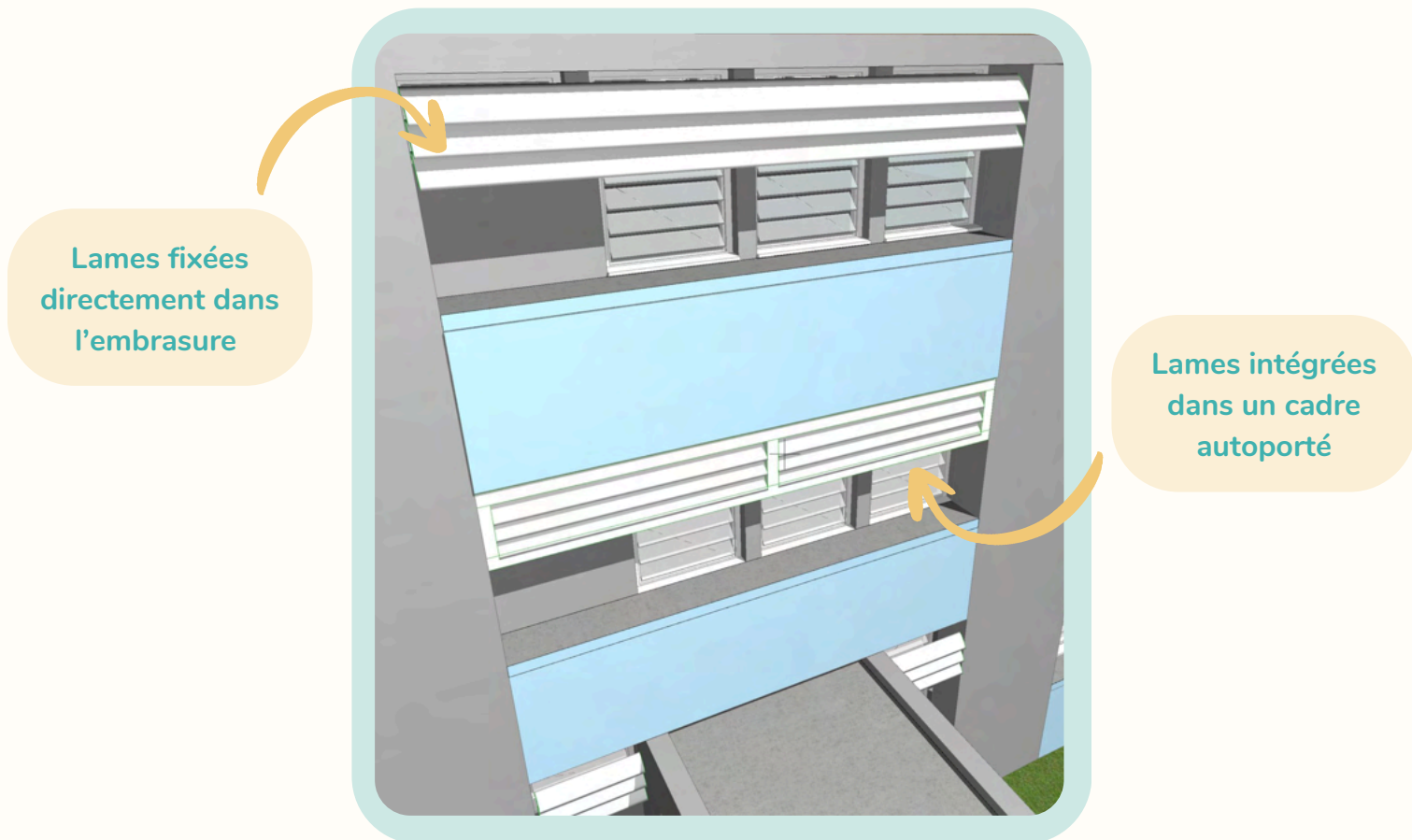
Le tableau ci-dessous rappelle les **risques naturelles** auxquels les différents départements et régions d'outre-mer sont confrontés. Seuls les risques ayant une action mécanique sont notés. On pourrait ajouter d'autres risques comme la corrosion atmosphérique de certains métaux suite à la biodégradation des sargasses, phénomène important et récurrent aux Antilles.

	Guadeloupe	Martinique	Guyane	La Réunion	Mayotte
Zone de sismicité (1 = très faible à 5 = forte)	5	5	1	2	3
Risque cyclonique	Oui	Oui	Non	Oui	Oui

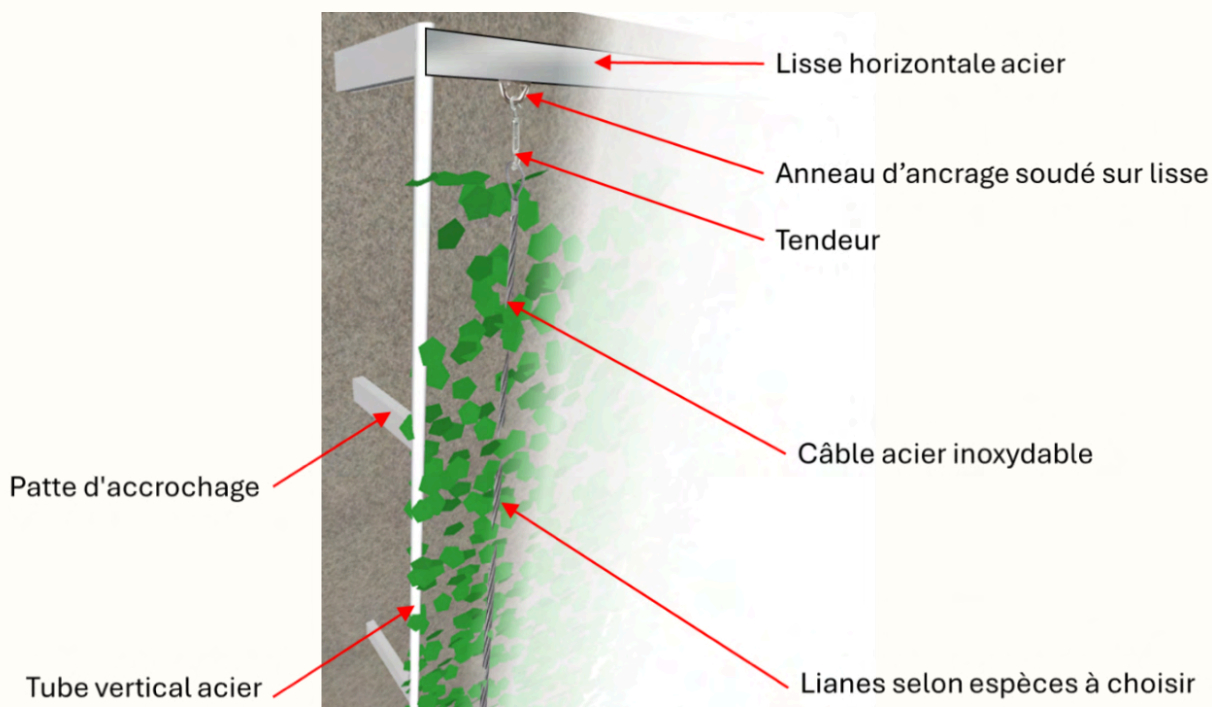


La mise en œuvre des différentes solutions (ancrage en toiture, au niveau du sol ou sur la façade) dépend surtout du matériau considéré. Quelques exemples de mise en œuvre sont donnés ci-dessous.

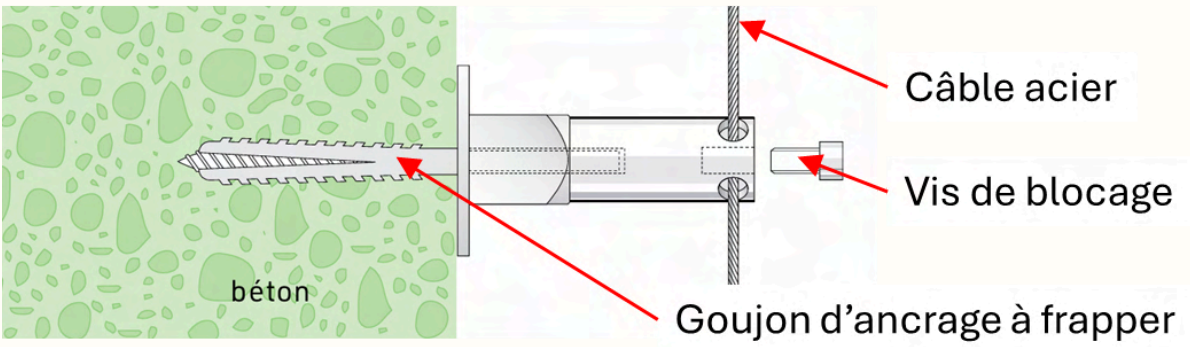
Pour fixer des brise-soleil directement sur une façade en béton, une méthode classique consiste à percer directement la paroi et à y introduire un goujon d'ancrage. La douille expansive et ses ergots d'accrochage suffiront à assurer le maintien.



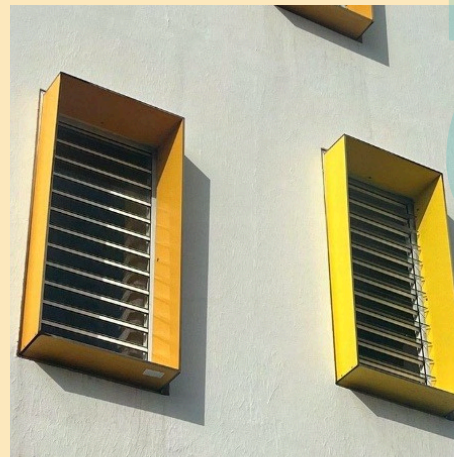
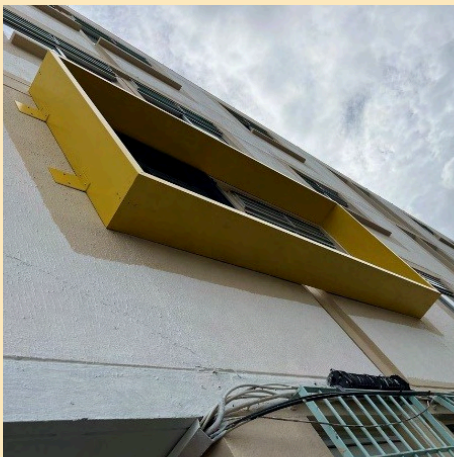
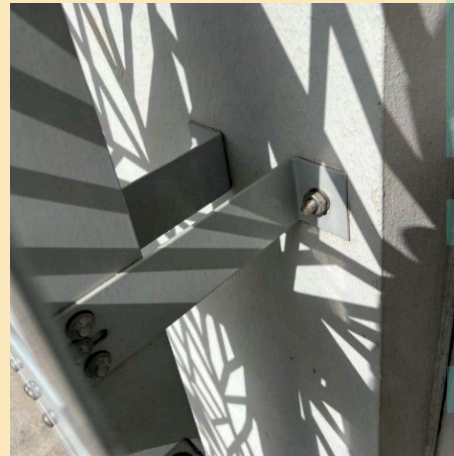
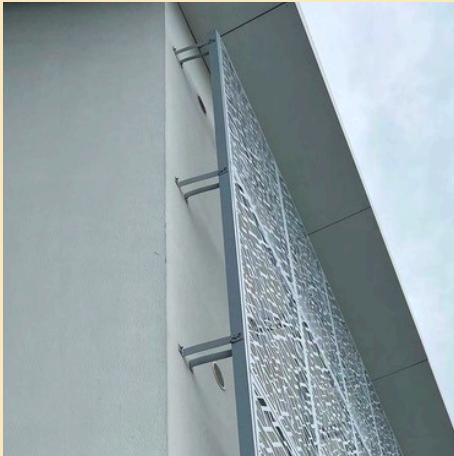
🔧 Lorsque les protections solaires viennent se fixer sur une structure déportée de la façade, il est important de veiller à ce que la structure elle-même soit adaptée aux efforts auxquels elle sera soumise (le schéma ci-dessous montre un exemple classique de végétalisation sur câbles tendus).



Paroi végétalisée sur structure déportée de la façade



Paroi végétalisée sur plots fixés sur la façade



EXEMPLOS



On précise enfin que l'**ancrage en partie basse** d'une structure déportée peut être réalisé selon **plusieurs solutions**, en fonction de la nature du sol et des charges à reprendre :

- Il peut notamment s'agir de **fondations superficielles par plots en béton armé**, sur lesquels sont fixées des platines d'ancrage lorsque le sol est suffisamment porteur.
- En présence de sols de faible qualité ou lorsque les efforts sont plus importants, des **fondations de type micropieux vissés** peuvent être mises en œuvre afin d'assurer la stabilité et la reprise des charges de la structure. Cette solution à l'avantage supplémentaire d'être réversible.



RÉSUMÉ :

En résumé, les différentes configurations permettent de mettre en œuvre des **solutions robustes**, dimensionnées pour la **résistance cyclonique**, mais aussi des **versions plus légères**. Le choix du système dépend des efforts prévus, une validation par un ingénieur structure reste indispensable pour garantir stabilité et durabilité.

L'accrochage doit aussi prendre en compte les éventuels **besoins d'accessibilité** pour l'entretien ou, au besoin, le remplacement de certains éléments.

Dans certains cas également les dispositifs de protection solaire peuvent être conçus et donc structurellement dimensionnés pour servir d'accès technique au nettoyage des vitrages.

Des approfondissements sont disponibles en annexe concernant cette solution de protection par végétalisation.

5

SOLUTIONS



5.5 ÉQUILIBRE ENTRE PROTECTION DU RAYONNEMENT SOLAIRE ET LUMIÈRE NATURELLE



Dans un bâtiment tertiaire en zone tropicale mais également en saison d'été dans les climats tempérés, les concepteurs doivent rechercher un équilibre subtil entre :

- l'indispensable protection solaire du bâtiment contre le rayonnement solaire direct, préoccupation au cœur de la raison d'être du présent guide
- la bonne qualité et quantité d'apports en lumière naturelle, nécessaires aux activités dans le bâtiment dans de bonnes conditions et minimisant donc le recours à l'éclairage artificiel (couteux et souvent énergivore)



On rappellera utilement :

- que **le rayonnement solaire constitue l'essentiel des apports thermiques** sur l'enveloppe des bâtiments, que sa composante directe représente la majeure partie de l'énergie incidente (plus des 2/3 par temps ensoleillé en zone tropicale humide et plus de 3/4 en climat sec) et que les fenêtres et baies sont, en raison de leur transparence, les parties de l'enveloppe architecturale les plus soumises aux impacts thermiques instantanés (diurnes, soit pendant l'occupation des bâtiments) de ces flux énergétiques (elles n'ont pas d'inertie et n'occasionnent donc pas de déphasage) ;
- que **l'énergie du rayonnement solaire se décompose pour l'essentiel en lumière visible et en chaleur** (rayonnement InfraRouge Proche (IRP)). La majeure partie de ces deux composantes du rayonnement traverse les parois vitrées et se transforme in fine en chaleur (rayonnement infrarouge lointain) après absorption par les objets de la pièce.
- qu'il est établi que **la lumière naturelle est perçue par les humains comme étant la plus « confortable »** (apaisante) pour ses activités quelles qu'elles soient : travail, loisir, ... Les sources de lumière artificielle dont l'Indice de Rendu des Couleurs (IRC) se rapproche le plus de celui de la lumière naturelle (égal à 100%) sont toujours moins qualitatives.
- qu'un **travail simultané sur la protection solaire et la lumière naturelle** cherchera non seulement à générer un **bon confort sensoriel, lumineux, physiologique** pour l'occupant mais aussi à **lui apporter un bon confort psychologique**, c'est-à-dire permettant des vues de qualité « vers la lumière » à l'extérieur ou l'intérieur (patio, cour, végétal, ...) c'est-à-dire finalement des vues apaisantes, inspirantes, ...
- que l'expression de ces fonctionnalités positives peut contribuer à **magnifier une architecture** comme en témoigne de nombreuses références vernaculaires.



Le premier écueil des passoires énergétiques au sens tropical est l'absence de protections solaires satisfaisantes capables d'assurer l'une et l'autre de ces fonctionnalités, parfois même aucune des deux



Bâtiment AGORA, Fort-de-France - Martinique - Architecte : Bernard Leclercq et Grandgeorge Architecture



On voit manifestement sur ce bâtiment cible du projet HELIODROM que :

- même si les vitrages sont teintés, **une part importante du rayonnement incident pénètre dans le bâtiment** (au moins 30%, même avec les vitrages les plus performants, sauf à dégrader totalement la transmission lumineuse) ;
- cet apport surfacique est multiplié par une **surface vitrée très importante**, constituant, in fine, une charge thermique considérable pour le bâtiment ;
- **la surface vitrée est largement supérieure aux besoins** pour assurer un éclairage naturel.
- Les parties du vitrage en allège n'apportent pas d'éclairage en profondeur.

De plus, l'atténuation du facteur solaire affecte forcément le facteur de transmission lumineuse même si on a un vitrage spectralement sélectif (laissant passer le visible mais opaque à l'IRP) de telle sorte que la lumière naturelle ne pénétrera pas profondément dans le bâtiment.

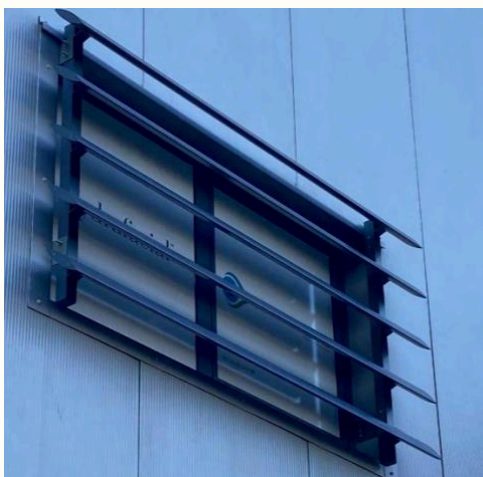
Enfin, l'excès d'apport lumineux conduit généralement les occupants à mettre à l'intérieur des vitrages des « rustines » (stores, papiers collés, calendriers, ...) qui ont peu d'impact sur le plan thermique mais réduisent fortement la lumière naturelle...



Un deuxième cas de figure de plus en plus répandu pour les bâtiments récents qui n'ont pas fait l'objet d'un travail de co-conception architecte-ingénieur est **la surabondance de protections solaires au détriment de l'apport en lumière naturelle** dans les espaces tertiaires occupés en journée.



Bâtiment INSEE, quartier Jabrun, Baie-Mahault - Guadeloupe -



Exemple de protection solaire surabondante sur une baie exposée à l'Est

On remarque sur les photos ci-dessus une superposition de lames brise-soleil et d'un store intérieur : un des deux dispositifs est inutile et le second bloque manifestement l'éclairage naturel, sauf s'il est utilisé justement lorsqu'il faut faire de l'obscurité ...

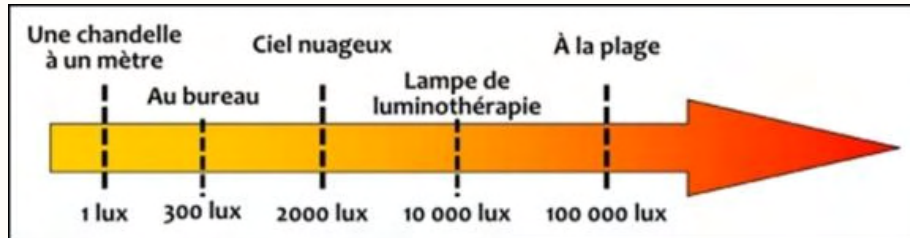


La recherche de cet équilibre optimal entre protection solaire et éclairage naturel représente donc un enjeu essentiel pour le confort global des occupants et l'optimisation énergétique du fonctionnement du bâtiment.



Les valeurs d'éclairement varient énormément selon les environnements. L'œil humain s'adapte en dilatant ses pupilles, avec le besoin de lunettes de soleil au-delà de 5000 lux.

À titre de comparaison, on donne ci-dessous quelques valeurs d'éclairement de référence :



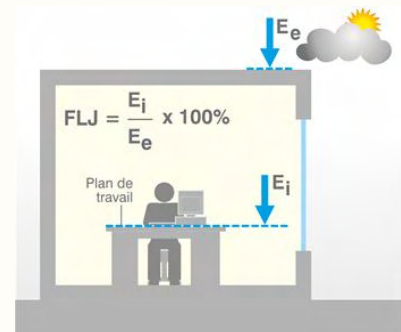
Approfondissements



Facteur de lumière du jour et autonomie en lumière du jour :

La performance en termes d'éclairement naturel d'un local est généralement caractérisée par deux indicateurs.

Le premier, appelé **Facteur de Lumière du Jour (FLJ)** exprime (en %) la part du flux de lumière naturelle atteignant un plan donné dans un local (généralement le plan de travail ou le niveau du sol), par rapport au flux qui arrive sur une surface horizontale à l'extérieur, sur un site parfaitement dégagé et par ciel couvert. Il exprime donc la capacité du local à capter la lumière naturelle (lumière du jour) par son aménagement, la dimension, le positionnement et la nature de ses ouvertures ainsi que les teintes des parois intérieures.



Ce FLJ exprime donc un « rendement » de captage de lumière naturelle, tout comme un facteur de transmission solaire exprime un rendement de captage d'énergie solaire. La valeur de ce FLJ n'est pas uniforme dans la pièce (il est plus élevé à proximité des menuiseries) et on définit en général soit un FLJ moyen, soit un FLJ par zone d'usage.

La lumière du jour dans un local dépend manifestement du flux total disponible et donc de la localisation du bâtiment (le gisement de lumière naturelle est largement supérieur pour des latitudes tropicales que pour des latitudes septentrionales). Ainsi, pour mieux caractériser la performance d'un local en matière de lumière du jour on aura recours à un autre indicateur : l'**Autonomie en Lumière du Jour (ALJ)**.

Cet indicateur définit - pour une période d'occupation donnée (par exemple de 8h à 17h du lundi au vendredi) et une période d'utilisation donnée (par exemple de septembre à juillet, ou une année complète) - le pourcentage de temps pendant lequel la lumière du jour apportera un éclairement supérieur à un certain seuil pour un site donné.

Dans les cas qui nous intéressent, c'est à dire les bâtiments du secteur tertiaire, le seuil optimal de quantité de lumière du jour est de 300 lux. Pour un bureau, une ALJ de 95% signifie que la luminosité est supérieure à 300 lux pendant au moins 95% du temps sur la période évaluée. De même, une ALJ minimale de 70% indique que les parties du local les moins éclairées auront un éclairage naturel supérieur à 300 lux plus de 70% du temps.

Cet indicateur dépend manifestement du site considéré. Par exemple, pour un facteur de lumière du jour donné, l'autonomie en lumière du jour sera bien plus élevée aux Antilles qu'à Paris.

C'est donc cet indicateur d'ALJ qui doit être employé comme critère de performance et non pas le FLJ.

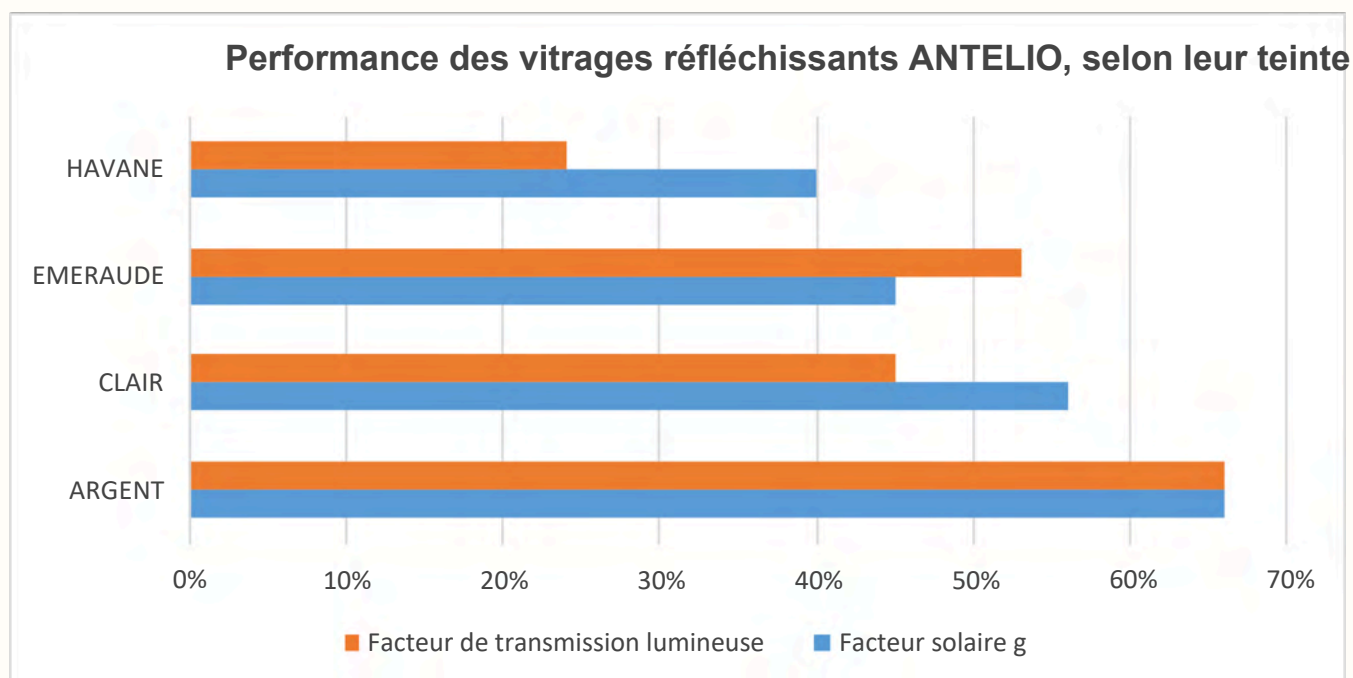
Performances des vitrages réfléchissants :

À la lecture des caractéristiques techniques des gammes de vitrages ANTELIO (marque Saint-Gobain), on observe que la combinaison d'un vitrage teinté et d'un traitement réfléchissant permet de descendre le facteur solaire à environ 40 %. Cette faible valeur est toutefois obtenue au détriment de la transmission lumineuse. **L'emploi seul des vitrages réfléchissants n'apparaît donc pas comme la solution idéale pour protéger efficacement un bâtiment des apports solaires tout en conservant un bon niveau d'éclairage naturel.**

SGG ANTELIO (simple vitrage, ep. 6 mm, couche active en face 1)

Source : Saint-Gobain Glass

Teinte du vitrage	ARGENT	CLAIR	EMERAUDE	HAVANE
Facteur solaire g	66%	56%	45%	40%
Facteur de transmission lumineuse	66%	45%	53%	24%



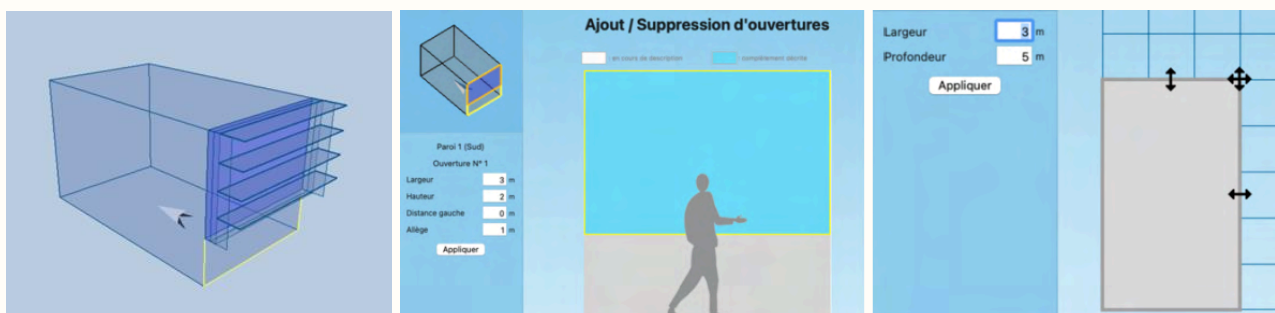


Simulations d'un espace de bureau type : protection solaire et éclairage naturel :

Les calculs présentés ci-après ont été réalisés avec **DIAL+**, un logiciel conçu et développé par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne et maintenant diffusé, maintenu et actualisé par le bureau d'études ESTIA. Cet outil largement utilisé, notamment dans les écoles d'architecture, comprend plusieurs applications dont un outil de simulation thermique dynamique mono-zone, un outil de calcul de FLJ et ALJ (moteur de calcul Radiance) utilisé ici et un outil de calcul géométrique d'incidence du rayonnement solaire direct utilisé ici comme base de caractérisation de la performance du composant « baie et protection solaire associée », la baie ayant comme caractéristiques intrinsèques son facteur de cadre ainsi que les facteurs de transmission énergétique et lumineuse de son vitrage.

Comme exemple d'application de cet outil d'aide à la décision sur la recherche de l'équilibre entre lumière et chaleur, nous proposons ci-après des **simulations sur un espace de bureau type** situé en Guadeloupe dont **les caractéristiques sont les suivantes** :

- espace individuel hermétique de 15 m² climatisable ;
- une seule façade exposée, différentes orientations testées : Sud, Sud-Est et Sud-Ouest, Est et Ouest, Nord-Est et Nord-Ouest, Nord ;
- local de largeur 3 m, de profondeur 5 m, de 3 m de hauteur sous plafond



Les principes de protection solaire et, en même temps, de captage de lumière naturelle reposent sur un ensemble de lames horizontales sur la façade exposée. L'optimisation à réaliser porte alors sur le nombre de lames, leur écartement et leur largeur.

Cette optimisation a été définie pour les cas suivants :

- une baie vitrée unique, composée d'un simple vitrage avec deux variantes : vitrage clair et vitrage antélio-argent ;
- une allège opaque d'un mètre de hauteur surmontée d'un vitrage de hauteur 2 m et donc pas d'imposte ni de linteau.


Nous supposons comme invariants :

- que les lames sont dans un plan horizontal pour préserver les vues lointaines ;
- qu'une fois défini le nombre de lames et leur écartement, les variations selon les orientations de façade porteront uniquement sur la largeur des lames afin d'assurer une cohérence à l'expression architecturale.

Les résultats de cette étude, en termes de facteurs de transmission solaire et d'autonomie en lumière du jour pour les orientations susmentionnées, sont détaillés en annexe.



Parc National de Guadeloupe, St-Claude – Guadeloupe - Architectes Atelier 13 et ACAPA

 La protection solaire de ce bâtiment représente 3 niveaux différents sur la façade sud (débord de toiture + étagère de lumière, brise soleil et lames ventilantes opaques) favorisant l'équilibre protection solaire / lumière naturelle.

5

SOLUTIONS



5.6 ESTIMATION DES TRAVAUX ET AIDES MOBILISABLES



L'estimation du coût des protections solaires a pour but de donner des repères aux maîtres d'ouvrage souhaitant engager des travaux. Les prix présentés ci-dessous correspondent à des fourchettes de coûts en euros hors taxes fournis-posés constatés en 2025 dans les Outre-Mer, intégrant matériaux, transport, manutention et marge brute des entreprises. Ces prix varient selon le modèle exact de protection choisie, l'accessibilité du chantier, la hauteur d'intervention, la surface à traiter, etc...

Les frais d'études et les coûts de maîtrise d'œuvre selon la nature des travaux sont à ajouter au montant.



À titre indicatif, les fourchettes constatées sont les suivantes :



Type de solution	Coût HT fourni posé
Végétalisation des abords (arbres ou bacs plantés)	100 à 600 €/unité
Films solaires	20 à 80 €/m ²
Opacification des allèges et/ou impostes	100 à 200 €/m ²
Végétalisation des façades	100 à 300 €/m ²
Végétalisation des abords (y compris parkings végétalisés)	100 à 400 €/m ²
Tôles perforées	200 à 500 €/m ²
Lames brise-soleil	300 à 800 €/m ²
Voiles d'ombrage	300 à 900 €/m ²

Attention, ces prix sont des estimatifs 2025 et sont amenés à évoluer dans le temps.



Concernant le financement, différentes aides existent pour inciter les maîtres d'ouvrage à engager des travaux de rénovation énergétique. Pour la période 2025-2028, le cadre territorial de compensation prévoit une aide proportionnelle à la surface de baie protégée, avec un montant différencié pour chaque territoire, à condition d'atteindre un certain seuil pour le nouveau facteur solaire.

Le montant de ces aides pour les différentes zones non interconnectées (ZNI) est donné dans le tableau ci-dessous :



Zone Non Interconnectée concernée	Prime (€/m ² baie protégée)
Guadeloupe	80
Guyane	85
La Réunion	70
Martinique	50
Mayotte	35



Le dispositif des Certificats d'Economies d'Énergie (CEE) permet également de financer une partie des travaux de protection solaire des baies.¹ Le montant de cette aide dépend de la surface de baie protégée, du facteur solaire du vitrage après travaux ainsi que de la valeur du kWh « CumAc » (cumulé actualisé) qui varie autour de 8 €/MWh.

Ainsi, pour un bâtiment existant, l'aide se calcule de la manière suivante :



Facteur solaire atteint (FS)	kWh cumac	X Surface de baie protégée
$0,25 < FS \leq 0,4$	1100	
$FS \leq 0,25$	1600	

À noter que ces aides (CEE et cadre territorial de compensation) ne sont pas cumulables entre elles. D'autres aides réservées aux collectivités territoriales comme le « Fond Vert » sont également mobilisables. Ces aides sont toutefois amenées à évoluer.

POUR EN SAVOIR PLUS / SOURCES :



¹ <https://calculateur-cee.ademe.fr/pdf/display/191/BAT-EN-110>

Approfondissements



L'estimation des coûts nécessite une approche plus détaillée lorsque les protections solaires sont conçues sur mesure, ce qui est souvent le cas pour ce type de travaux.

Les matériaux doivent être dédouanés lorsqu'ils sont acheminés depuis l'hexagone ou l'étranger. Par exemple, le prix du matériel parvenu aux Antilles s'élève aux tarifs départ fournisseur majorés par un coefficient de l'ordre de 1,2.

À cela s'ajoutent les coûts directs de main-d'œuvre (coût moyen de l'ordre de 500 €/jour par technicien). Il faut également tenir compte des éventuels frais « annexes » : les chantiers nécessitant nacelles, manutentions lourdes ou interventions en façade haute peuvent présenter une majoration non négligeable. Les études d'exécution et la réalisation de dossiers des ouvrages exécutés (DOE) représentent une dépense rarement inférieure à 2 000 euros HT par chantier, même pour des interventions clairement circonscrites. Enfin, comme pour tout chantier, le coût fourni posé doit être majoré d'environ 10% à 15% pour anticiper sur les divers et imprévus.

Finalement, il convient, dans la structuration des prix, de majorer d'environ au minimum 50% ce coût de revient direct, correspondant à la marge brute des entreprises en charge des travaux (couvrant les frais de structure, assurances, risques et bénéfices, divers et imprévus).

Enfin, on doit rajouter à ce coût la TVA qui varie selon les territoires : 8,5 % en Guadeloupe, Martinique et Réunion, 0 % en Guyane et Mayotte.

EN RÉSUMÉ, ON A :



$$\text{Coût travaux} = (\text{Matériaux} \times 1,2 + (J \times N \times 500) + \text{Annexes} + \text{Études}) \times 1,1 \times 1,5 \times (1 + \text{TVA})$$

Avec,

J , le nombre de jours de chantier ;

N , le nombre de techniciens mobilisés ;

TVA , 8,5 % (Guadeloupe, Martinique, Réunion) ou 0 % (Guyane, Mayotte)


Côté financement, il est indispensable d'examiner les modalités d'éligibilité des aides, souvent conditionnées à des performances minimales (notamment le facteur solaire final pour les CEE) ou à la nature du bâtiment (tertiaire, public, etc.). Les montants unitaires de ces aides peuvent paraître modestes, mais sur des surfaces vitrées importantes elles peuvent représenter une part significative de l'investissement.

Les dispositifs évoluant fréquemment, il est recommandé de vérifier, pour chaque projet, les conditions en vigueur et les dispositifs éligibles. En effet, **les solutions les plus courantes** comme des brise-soleil en aluminium **seront plus facilement aidées** que des solutions plus innovantes comme des voiles d'ombrage ou la plantation de grandes espèces végétales aux abords des façades.

5 SOLUTIONS



5.7 FREINS PSYCHO-SOCIO-CULTURELS

 **La mise en œuvre des protections solaires reste encore limitée**, malgré leur efficacité démontrée en matière d'impact sur le confort thermique et visuel et d'économies d'énergie pour la climatisation. Plusieurs freins, parfois imbriqués, ralentissent l'adoption de ces solutions dans les projets de construction ou de rénovation.

Le premier obstacle réside dans une **compréhension parfois partielle du problème**. Le confort thermique est fréquemment appréhendé sous le seul prisme de la climatisation, reléguant les solutions architecturales passives – notamment les protections solaires – au second plan. Cette approche conduit à privilégier des réponses qui traitent les symptômes plutôt que l'origine des causes de la surchauffe. S'ajoutent également à ce constat plusieurs « idées reçues », comme celles selon lesquelles les protections solaires seraient trop coûteuses donc inaccessibles, qu'elles seraient peu efficaces ou encore incompatibles avec un bon confort visuel à l'intérieur des bâtiments.

Sur le plan technique et opérationnel, le **manque de connaissance des dispositifs disponibles** ou l'**absence d'expertise pour les intégrer correctement** à un projet de rénovation ou de conception constituent également des freins à leur mise en œuvre. Dans certains cas, des protections solaires sont installées sans tenir compte de la course du soleil, de l'orientation du bâtiment ou de ses usages réels, ce qui réduit généralement fortement leur efficacité.

Le **coût initial des travaux de rénovation énergétique** représente un autre obstacle. Même si des aides existent, leur accès demeure complexe ou insuffisamment connu. Pour lever ces freins, il est essentiel d'accompagner les porteurs de projet grâce à des outils de conception adaptés et à une meilleure sensibilisation aux bénéfices à long terme de ces dispositifs – tant en matière de confort thermique que de gains économiques - dans un contexte de hausse continue et durable du prix de l'électricité.

Enfin, dans les situations où **le maître d'ouvrage est non occupant**, l'entité qui supporte l'investissement n'est pas celle qui bénéficie des économies d'énergie, ou des améliorations de confort. Ce décalage complique la décision d'agir, bien qu'il soit déjà identifié dans le cadre de la mise en conformité du Décret Tertiaire qui contraint les bâtiments de ces typologies à atteindre un seuil donné de performances énergétiques. Quant à l'argument de l'augmentation de la valeur écologique du bâtiment, il pèse peu dans les territoires ultramarins où la pression foncière est telle que des locaux inconfortables et énergivores trouvent malgré tout preneur.

LES BÉNÉFICES INDUITS



6

Les bénéfices induits



L'ESSENTIEL :

Dans le contexte insulaire des Zones Non Interconnectées, on identifie 5 enjeux directement liés aux gisements d'économies d'énergie dans les bâtiments :

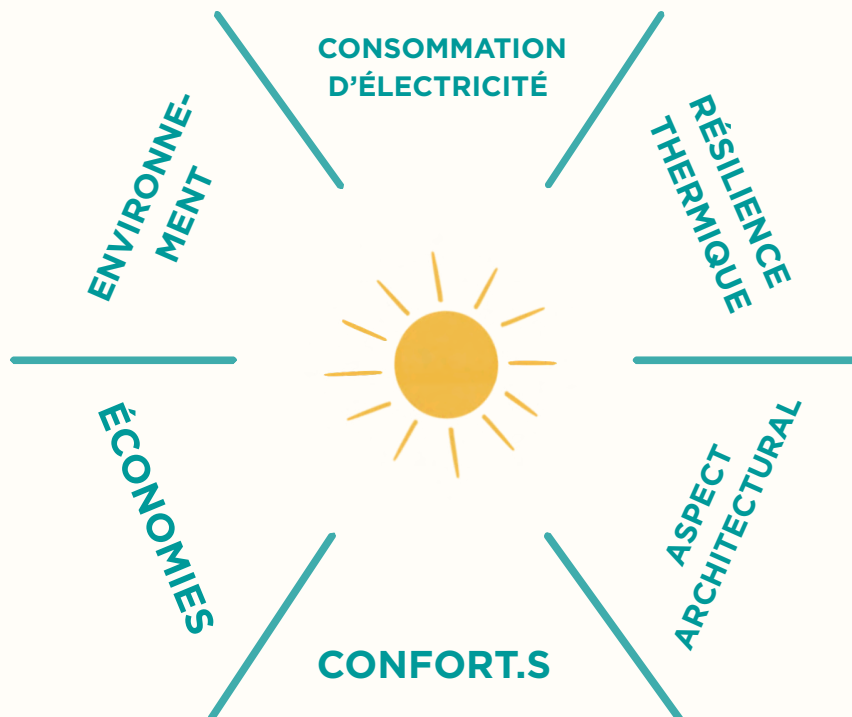


Enjeu n°1	Environnemental : baisse des émissions	Les économies d'énergie liées aux travaux de renforcement des protections solaires engendrent des réductions importantes des émissions de CO2. C'est un enjeu prépondérant pour les DROM dont les productions électriques restent fortement carbonées. En outre les impacts corrélés des réductions de puissances induites permettent également de diminuer les impacts environnementaux liés au renforcement de réseaux.
Enjeu n°2	Financier direct	Pour les exploitants, les économies sont directement visibles sur les factures d'électricité, à raison de 0.18 à 0.20 €/kWh selon les types de contrat (tarif EDF en Guadeloupe au 1 ^{er} août 2025)
Enjeu n°3	Financier sur les coûts mutualisés	Les DROM bénéficiant de péréquation tarifaire de l'électricité, chaque kWh économisé génère un gain pour l'ensemble des consommateurs à l'échelle nationale sur la compensation des surcoûts de production électrique des ZNI.
Enjeu n°4	Apport de confort	Les gains en confort apportés par des protections solaires sont majeurs. Elles permettent une réhabilitation qualitative des espaces traités en y équilibrant les périodes et zones de confort. Il est admis que ces améliorations réduisent également l'absentéisme, ou encore augmentent la productivité au travail.
Enjeu n°5	Equilibre offre-demande	Moins connu, cet enjeu technique concerne le gestionnaire de réseau électrique (EDF en Outre-mer) : les consommations des bâtiments tertiaires sont largement responsables des pointes de consommations électriques, en milieu de journée pour les bureaux, puis en fin de journée pour les commerces. Réduire les apports solaires dans ces bâtiments permet donc d'écarter les pointes de consommation et facilite l'équilibre des réseaux insulaires.



Outre le gain en confort et sur la consommation d'énergie du bâtiment concerné, la mise en œuvre de protections solaires entraîne **de nombreuses autres externalités positives ou bénéfices induits**.

De l'amélioration de l'architecture et de la résilience du bâtiment en passant par d'autres impacts plus globaux ce chapitre explore les bénéfices induits par la protection solaire du bâtiment . Elle développe des arguments pour les mettre en avant et encourager leur mise en oeuvre effective, dans les bâtiments existants, par leurs maîtres d'ouvrage.



Approfondissements



6.1 LES GAINS ÉNERGÉTIQUES ATTEIGNABLES POUR LES BÂTIMENTS CLIMATISÉS



La démarche d'amélioration du confort et de réduction des consommations de climatisation est globale : elle concerne simultanément le traitement des abords du bâtiment, le dimensionnement des systèmes de climatisation (qui doit être le résultat de STD), le choix des techniques les plus efficaces, le pilotage et la régulation des installations, la maîtrise des apports thermiques internes, la sobriété d'usage notamment le respect de températures de consigne raisonnables, le professionnalisme de l'entretien maintenance, l'utilisation couplée avec des brasseurs d'air (...). Il est donc difficile de quantifier précisément les gains induits par la protection solaire seule.

La protection solaire est, dans la plupart des cas, et en particulier pour les bâtiments fortement vitrés, cibles prioritaires de ce guide, l'élément le plus « rentable » à mettre en œuvre. Et ce d'autant qu'il induit de nombreux autres bénéfiques développés ci-après.



Les gains énergétiques ont principalement 2 origines :

- D'une part, les gains énergétiques liés aux apports solaires réduits dans le bâtiment génèrent des économies sur les consommations électriques du poste "climatisation". Une moindre charge thermique allège la sollicitation des installations de climatisation (cyclages plus court des compresseurs).
- D'autre part, ces économies sont également liées à la remontée possible des températures de consigne dans des plages plus économes (24 à 26 °C), alors qu'elles sont fréquemment inférieures à 24 °C voire à 22°C dans les espaces ayant une protection solaire déficiente. Dans ces cas, en effet, la température rayonnée par les façades à température élevée augmente la température ressentie par l'occupant qui n'a alors pas d'autre solution que d'abaisser son thermostat pour compenser ce rayonnement par une réduction de la température ambiante.

Pour les bâtiments analysés de manière approfondie dans le projet HELIODROM, les gains énergétiques liés à la mise en œuvre des protections solaires adéquates ont été évalués à des valeurs généralement comprises entre 10 à 20% des consommations d'électricité de ces bâtiments. Cette économie représente en moyenne 10 à 25 kWh/m²/an.

Les maîtres d'ouvrage qui souhaitent avoir une connaissance plus précise de la réduction des consommations de climatisation liée à l'amélioration de sa protection solaire doivent donc avoir recours à un audit énergétique basé sur des simulations thermiques dynamiques du bâtiment dont le modèle doit être validé par une corrélation avec les consommations constatées.

6.2 LES BÉNÉFICES ÉCONOMIQUES EN COÛT GLOBAL



Réduction des dépenses de fonctionnement

Les gains énergétiques pré-cités engendrent directement des gains sur les charges énergétiques du bâtiment mais la mise en œuvre de protections solaires permet également de limiter les charges d'entretien et de remplacement des unités de production de froid, moins sollicitées et de plus faible puissance. Ainsi pendant certaines périodes de l'année (en saison plus "fraîche" aux Antilles : de décembre à Février) ou à certaines périodes de la journée, la durée de fonctionnement de la climatisation pourra être considérablement réduite voire arrêtée dans certains bureaux, car les apports climatiques seront contrôlés et leur température restera dans la zone de confort, a fortiori si un brasseur d'air peut être sollicité pour abaisser la température d'air ressentie.

Ainsi le nombre de visites de gros entretien (nettoyage compresseurs, contrôle fluides frigorigène,..) peut être réduit et manifestement la durée de vie des équipements peut être augmentée.

Si elle intervient au moment du remplacement de la production de climatisation dans l'existant, la mise en œuvre de protection solaire a également un effet sur la réduction des puissances des unités de production de froid, et donc sur leur coût d'investissement. Dans le cas d'un bâtiment neuf, une partie du coût d'investissement dans la protection solaire est ainsi partiellement compensé par l'économie sur le dimensionnement de la climatisation, voire sur la surface de bâtiment nécessaire des locaux techniques dédiés à la climatisation.



Augmentation de la valeur patrimoniale du bâtiment

Autre bénéfice induit, et non le moindre, de ce travail d'amélioration de la protection solaire, la valeur patrimoniale des bâtiments traités sera augmentée significativement. En d'autres termes, la mise en œuvre de protections solaires constitue manifestement un investissement d'amélioration du bâtiment, à considérer comme sorte de « mise aux normes » par rapport à l'urgence climatique, et non pas une dépense. Cet investissement anticipe d'ailleurs vraisemblablement une mesure qui risque d'être obligatoire à court terme

6.3 LES BÉNÉFICES EN TERMES DE CONFORT

L'ajout de protections solaires sur une façade vitrée de type « mur rideau » influence différents aspects du confort physiologique et général des occupants de la manière suivante :



Confort thermique

Une protection solaire rapportée réduit la température de la baie vitrée non seulement sur son vitrage mais aussi sur son cadre, a fortiori s'il est métallique. Par conséquent si le rayonnement solaire direct est bloqué en quasi-totalité (ie 85% du temps représentant plus de 95% du rayonnement solaire direct incident la baie vitrée sera à une température moyenne comprise entre la température extérieure sous abri et la température intérieure).

Dans ces conditions, nous n'aurons pas de rayonnement thermique vers l'occupant en provenance de la paroi vitrée. La température qu'il ressentira si les autres parois, notamment les plafonds et murs, sont protégés de la transmission du rayonnement solaire (par des mesures de type couleur claire, double peau, isolation thermique,...) sera alors proche de la température ambiante.

Dans la négative, et a fortiori si l'occupant est proche de la baie, son ressenti sera bien au-delà de la zone de confort. En conséquence, soit il aura trop chaud, soit il devra abaisser la consigne de son thermostat pour être confortable. Une des conséquences de cet abaissement des températures de consigne est alors l'**augmentation du risque d'apparition de condensation** sur les parois dans la mesure où **le point de rosée est parfois aussi haut que 23°C en Guadeloupe et en Martinique**. Et ces problématiques de condensation sur les parois génèrent des problématiques de moisissures, sources de pathologies sur le bâti et sur la santé humaine.



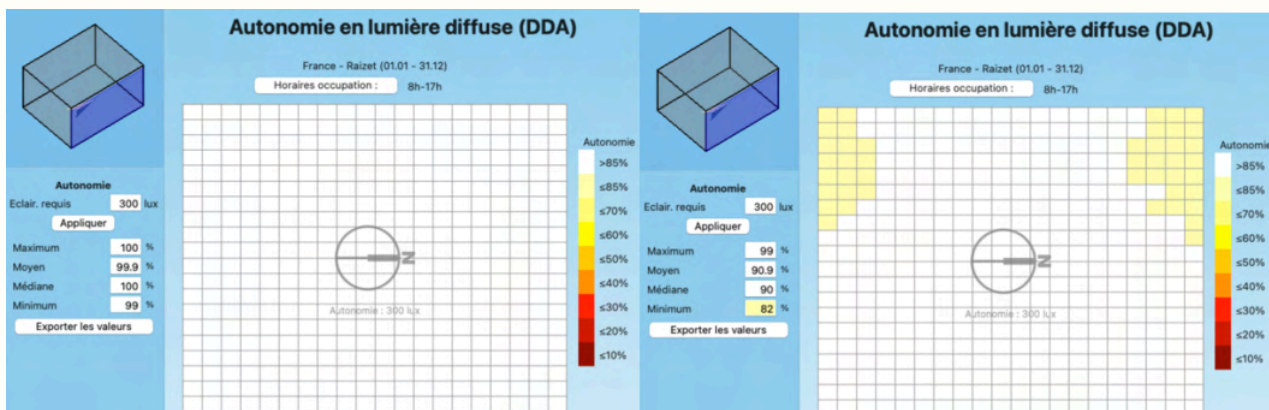
Confort visuel et lumineux

La protection solaire d'une paroi vitrée a les impacts suivants :

- Elle permet de réduire ou supprimer les éblouissements sur les occupants et sur les écrans;
- Elle peut contribuer à obstruer la vue sur l'extérieur si elle n'est pas pensée à la fois pour protéger l'espace habité du rayonnement solaire direct mais aussi en fonction de l'angle de vue depuis la position la plus fréquente des occupants dans l'espace protégé : position assise, debout voire allongée pour un hôtel ou un établissement de santé.
- Il existe des solutions de protection solaire fixes et / ou mobiles qui permettent de solutionner les deux problématiques pour toutes les orientations.
- Enfin, elle réduit le rayonnement solaire incident dans l'espace occupé : non seulement dans sa composante directe, qui est la plus énergétique, mais aussi dans sa composante diffuse qui contribue à de l'éclairage naturel du local.

Il en résulte qu'une étude de protection solaire dans ses impacts thermiques doit toujours être abordée **en même temps que dans sa dimension confort visuel, en réalisant, s'il le faut, les itérations nécessaires, pour optimiser les paramètres.**

Dans les outre-mer, le fort gisement lumineux fait qu'il est tout à fait possible d'avoir une protection solaire efficace et, en même temps, un excellent confort visuel en lumière naturelle. Il est par ailleurs démontré que l'optimum en matière de perception du confort visuel se situe aux alentours d'un niveau d'éclairage de 300 lux mais pas d'avantage, de telle sorte qu'une protection solaire bien conçue permet non seulement d'améliorer le confort thermique, mais aussi le confort visuel en lumière naturelle.



Autonomie en lumière du jour (ALJ) annuelle à 300 lux de 8h à 17h pour un bureau à Pointe à Pitre avec un mur rideau sans et avec protection solaire : l'ALJ passe de 100% à 91%

Confort acoustique

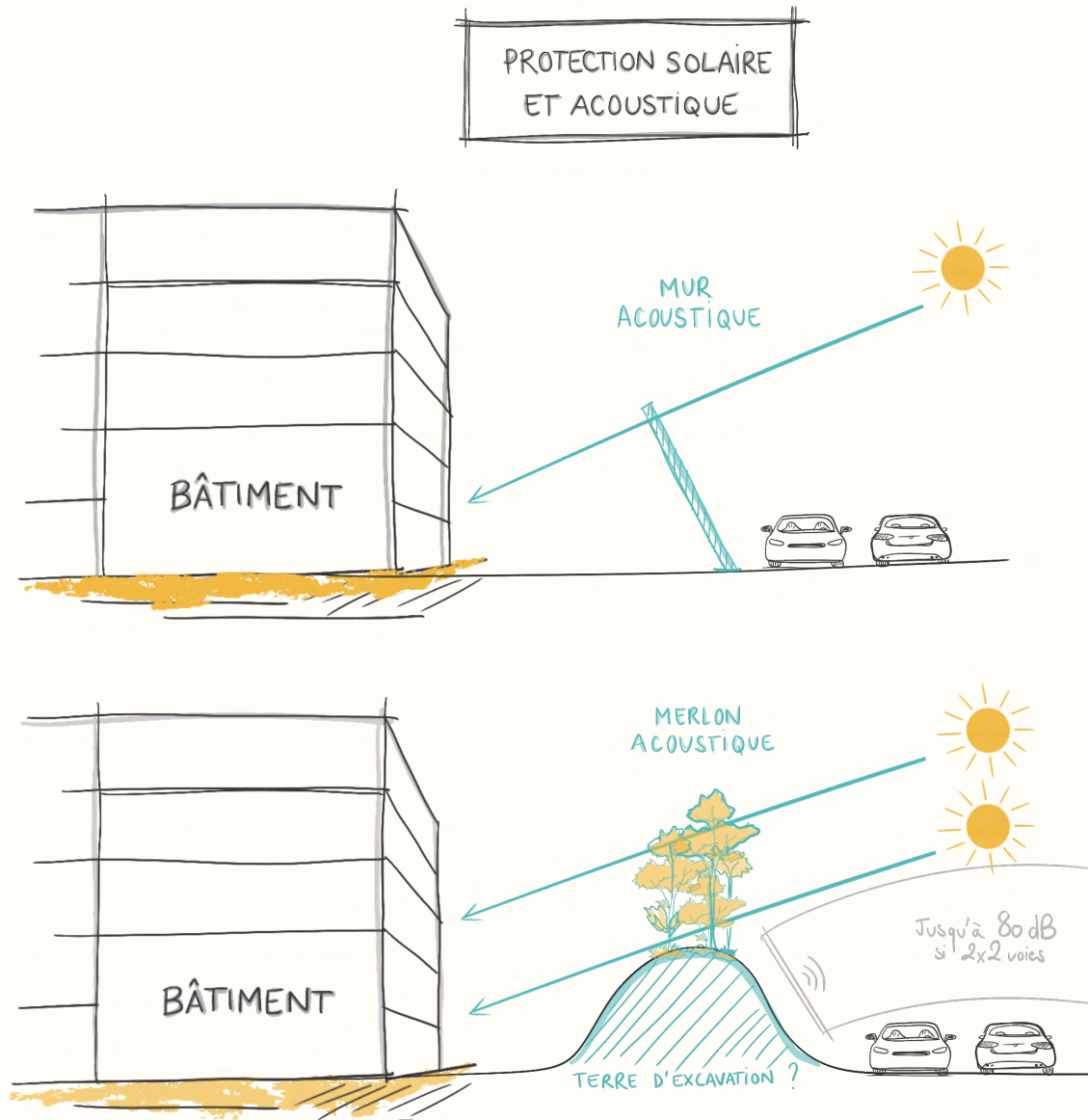
L'impact acoustique, en termes de protection des bruits extérieurs aériens, dépend de la typologie de la protection solaire.

Cette atténuation acoustique est généralement très faible dans le cas de lames discontinues ou de protections végétales, mais elle peut être non négligeable dans le cas de structures continues microperforées ou de claustras, qui vont pouvoir absorber une (petite) partie de l'onde acoustique qui est à propagation sphérique.

Il est toutefois établi que la non-perception visuelle d'une nuisance acoustique (exemple voirie passante masquée par des arbres), réduit son impact psychologique et génère ce qu'on appelle une amélioration du confort "psycho-acoustique".

Par ailleurs un traitement acoustique de type écran acoustique solide (mur bâti, butte, merlon de terre végétalisé, ...) sur la limite entre la zone construite et la voirie (il s'agit de rapprocher le mur le plus près possible des voitures pour avoir un impact optimal) peut être également utile pour protéger les façades des incidences solaires rasantes en l'occurrence des ensoleillement direct du matin (orientations d'ESE à ENE) et de l'après midi (orientations de OSO à ONO).

Dans ce cas, il sera très pertinent de faire appel à un acousticien pour co-concevoir une réponse gagnant-gagnant adaptée.



Merlon de terre et mur acoustique = protection acoustique et protection solaire pour les incidences rasantes (Est et Ouest)

Plantation sur le merlon = protection solaire supplémentaire avec un effet psycho-acoustique supplémentaire (*)

(*) les arbres ont très peu d'impact acoustique mais, d'une part, ils protègent de la vue des sources de bruit (impact psychologique) et, d'autre part, ils peuvent générer des contre-bruits (bruit du vent dans les feuilles, oiseaux, insectes,...)

Nous rappelons que le choix des double-vitrages n'est généralement économiquement pas justifié en climat tropical. Si on climatise l'espace à une température « raisonnable » (26°C) car l'économie induite sur la réduction du transfert conductif est faible dans la mesure où les écarts avec les températures extérieures à l'ombre ne sont pas très élevées. En revanche, ils peuvent l'être pour assurer un affaiblissement acoustique sur les sites implantés à proximité des voies routières principales. Par ailleurs, les murs rideaux en double-vitrages présentent des problématiques de coûts élevés et de mise en œuvre délicate sur de grandes surfaces.

Pour les sites exposés, quelques choix pertinent peuvent consister :

- à réduire les surfaces vitrées, notamment en mettant en œuvre des panneaux opaques et isolés sur les allèges,
- à concevoir des protections solaires adaptées,
- à prévoir des menuiseries double-vitrages performantes pour les façades demandant un affaiblissement acoustique spécifique.

6.4 LES AUTRES BÉNÉFICES INDUITS



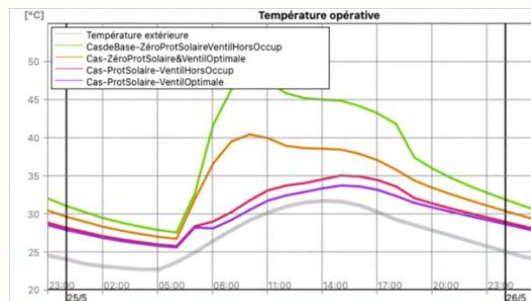
Les autres impacts gagnants qu'ils soient socio-économiques, socio-culturels ou écologiques de ce travail global sur la protection solaire, sont au moins de 3 sortes.

- **Moindre vulnérabilité énergétique du bâtiment :**

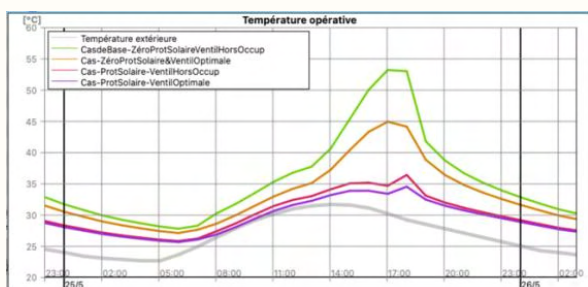
Nous mettons en évidence cet impact ci-après, en étudiant l'évolution des températures ressenties dans un bureau représentatif des bâtiments cibles de notre étude, au moyen d'un outil de simulations thermiques dynamiques (STD).

Ces simulations sont réalisées pour une journée type de mai, pour un bureau de 20 m² situé au Raizet (Guadeloupe), pour une façade Est et pour une façade Ouest, avec et sans protection solaire, et avec ou sans ventilation optimale, **en cas de panne de climatisation.**

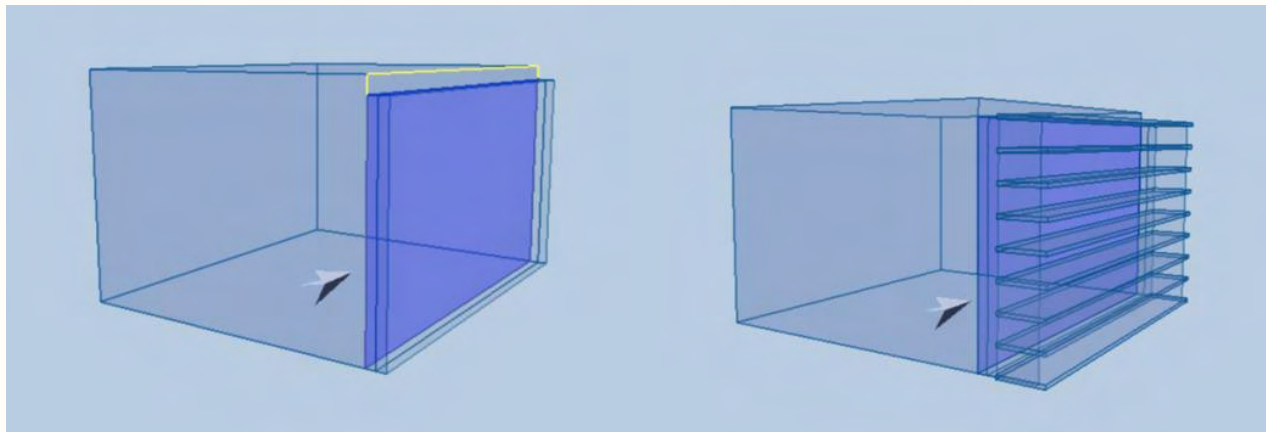
Visualisation STD bureau Est : ces simulations mettent en évidence des températures ressenties (dites opératives) dépassant respectivement 40°C et 50°C sans protection solaire selon qu'on ait ou pas une ventilation optimale, et respectivement 33°C ou 35°C avec protection solaire avec les mêmes scénarios de ventilation



Visualisation STD bureau Ouest : ces simulations mettent en évidence des températures ressenties (dites opératives) dépassant respectivement 45°C et 53°C sans protection solaire selon qu'on ait ou pas une ventilation optimale, et respectivement 35°C ou 37°C avec protection solaire avec les mêmes scénarios de ventilation



Il apparait clairement, qu'avec une protection solaire adaptée, les bâtiments restent « vivables » en cas de panne de clim, a fortiori avec des brasseurs d'air qui permettront un abaissement du ressenti qui peut aller jusqu'à 4°C, et donc de ramener les températures opératives respectivement à 29°C (33-4) ou 31°C (35-4) pour l'Est ou l'Ouest.



Bureau de 20 m2 avec et sans protection solaire de son mur rideau

- **Moindre dépendance énergétique et économique des territoires et contribution à la lutte contre le changement climatique :**

Manifestement, tout comme l'ensemble des interventions de réduction de consommation énergétique des bâtiments, une stratégie globale de protection solaire permet de :

- réduire les importations d'énergies primaires carbonées utilisées pour la production d'électricité qui selon les DROM sont du fioul, du gaz, voire du charbon ;
- contribuer à la réduction de la dépendance énergétique et économique du territoire par une réduction de ses dépenses de combustible d'importation, mais aussi par une moindre dépendance d'importation de matériel et de composants des filières de la climatisation qui sont, majoritairement, originaires d'Asie du Sud-Est ;
- déphaser les renforcements de réseaux et l'augmentation des capacités de production ;
- participer à la lutte du territoire pour le ralentissement du changement climatique.

- **Réduction des périodes de fonctionnement cycles de marche et diminution du coût de maintenance et de remplacement**

Un impact significatif (non chiffrable précisément mais à deux chiffres si on l'exprime en %) sur la durée de vie des climatiseurs, de la périodicité des entretiens courants (nettoyage filtres,...) et de la maintenance annuelle est à attendre de leur moindre sollicitation : réduction du nombre d'heures de fonctionnement quotidien moyen qui peut aller jusqu'à la non-sollicitation des appareils en saison plus fraîche, a fortiori dans les bureaux avec brasseurs d'air et les salles conçues pour un fonctionnement mixte (climatisation ou ventilation naturelle). En outre avec le retour d'usage des modèles de climatiseurs de moindre puissance pourront être choisis lors des remplacements de fin de vie. D'expérience ils seront supprimés dans certaines zones climatisés.

SYNTHESES



7

SYNTHESES



Le projet HELIODROM apporte une contribution à un problème majeur de la construction en milieu tropical : les surfaces vitrées surdimensionnées, largement exposées et mal protégées transforment les bâtiments tertiaires en « serres climatisées ».

En plus d'être inconfortables pour leurs occupants, ces "étuves solaires" induisent des surconsommations d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre conséquentes puisque le mix électrique est très carboné en Outre-mer. L'importance de la prise en compte de la course du soleil pour s'en protéger efficacement a été mise en évidence. Les vues aériennes, notamment hélionormées, permettent "en prenant de la hauteur" d'apporter un regard complémentaire sur les façades, leur environnement et leurs masques proches.

Les trente sites pilotes guadeloupéens et martiniquais étudiés, ont permis de dresser un éventail de certaines carences architecturales en matière de protection solaire pour aboutir à des recommandations concrètes, notamment pour le choix et le dimensionnement de solutions de réhabilitation comme des brise-soleil, casquettes, voiles d'ombrage, ...

Outre des descriptions et chiffrages de rénovations concrètes des sites étudiés, HELIODROM souhaite contribuer par ce guide à une amélioration de la culture de la conception tropicale bioclimatique, en remettant au premier plan le dialogue essentiel entre architecture et climat. Les équipes locales de maîtrise d'œuvre doivent maintenant se l'approprier.

Par ailleurs, les quelques enseignements de ce projet peuvent être transposés à d'autres latitudes tropicales ainsi que dans les climats tempérés, où le confort d'été est un enjeu majeur...

QU'EST-CE QU'UN BÂTIMENT ÉNERGÉTIQUEMENT PERFORMANT ET CONFORTABLE EN CLIMAT TROPICAL ?

BRAINSTORMING CONCEVOIR UN BÂTIMENT PERFORMANT ET CONFORTABLE EN CLIMAT TROPICAL

CLIMAT TROPICAL

- ✓ Soleil
- ✓ Chaleur
- ✓ Pluies intenses
- ✓ Vent
- ✓ Cyclones

OBJECTIF :

- ✓ PERFORMANCE
- ✓ CONFORT
- ✓ ROBUSTESSE
- ✓ COÛT GLOBAL MAÎTRISÉ

PRINCIPES CLÉS

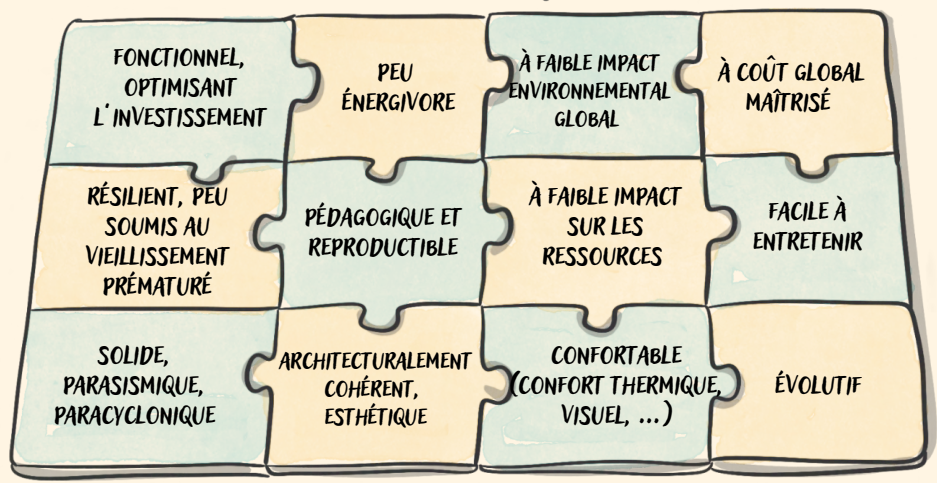
- ✓ APPROCHE GLOBALE
- ✓ BIOCLIMATISME
- ✓ MATÉRIAUX ADAPTÉS
- ✓ GESTION DE L'EAU
- ✓ APPROCHE GLOBALE
- ✓ HABITANTS AU CENTRE

STRATÉGIES CONCEPTUELLES

- VÉGÉTALISATION
- PROTECTION SOLAIRE DES PAROIS
- VENTILATION NATURELLE
- MAÎTRISE APPORTS INTERNES
- INERTIE ADAPTÉE
- GESTION DE L'EAU
- HABITANTS ACTIFS

ECONOMIE

SOUTENIR LES FILIÈRES LOCALES ET PENSER CYCLE DE VIE DES MATÉRIAUX



UN BÂTIMENT ...

PERFORMANT | RÉSILIENT | ROBUSTE | COÛT GLOBAL | PÉDAGOGIQUE

7

SYNTHESES



7.1 SYNTHÈSE DES ÉTUDES HÉLIODROM RÉALISÉES



Les **30 sites étudiés** dans le cadre du projet HélioDROM sont **des bâtiments tertiaires** ayant pour l'essentiel **des activités de bureau** ou assimilables (bâtiments administratifs, commerces, centres d'affaires, ...) pour lesquelles les grandes surfaces vitrées ne sont pas nécessaires mais sont plutôt sources de désagrément. Seuls certains sites comme les concessionnaires automobiles peuvent avoir besoin de conserver des verres clairs pour garantir une vue de leurs véhicules depuis l'extérieur, même si nous avons constaté, là encore, que des solutions de protection solaire compatibles avec ces exigences existent.

Plus de la moitié des études HELIODROM réalisées concernent des bâtiments privés. Il n'existe pas de statistiques sur la répartition entre secteur public ou privé des bâtiments particulièrement inadaptés au climat tropical. Nous souhaitons toutefois rappeler que l'État et les collectivités territoriales, qui, outre leur patrimoine propre, occupent des bâtiments qu'ils louent au secteur privé, devraient s'assigner un devoir d'exemplarité en la matière, qu'il s'agisse de nouvelles constructions ou de la rénovation de bâtiments existants.

Les consommations électriques annuelles surfaciques (en kWh/m²/an) des sites audités pour le projet HélioDROM sont en moyenne 20% supérieures aux sites ayant une activité comparable audités par le bureau d'études Equinoxe sur la même période. Le montant des investissements nécessaires aux projets de réhabilitation de la protection solaire préconisés varie dans une large fourchette qui dépend bien évidemment, des surfaces à protéger, de leur orientation, des solutions choisies, de leur ambition architecturale et performancielle (...).

Dans tous les cas, il est intéressant de remarquer que ces investissements (car il s'agit bien d'investissements et non pas de dépenses) sont, par exemple, très largement inférieurs à ceux qui sont à réaliser pour la confortation parasismique des ouvrages. En ce qui concerne les économies induites par la protection solaire, si la fourchette générale moyenne est de 10 à 20% sur la climatisation, les économies escomptables peuvent, dans certains cas, s'avérer très sensiblement supérieures.

On rappelle que l'évaluation des gains énergétiques comporte plusieurs incertitudes. Celles-ci sont liées aux hypothèses utilisées concernant l'intensité du rayonnement solaire par ciel couvert, le nombre de jours de climatisation, l'efficacité énergétique réelle (ou SEER) des équipements, l'inertie thermique du bâtiment, les apports de chaleur internes, la qualité de l'étanchéité à l'air du bâtiment, le comportement des usagers sur la gestion de leurs équipements et leur protection solaire éventuelle...

Les résultats obtenus confirment toutefois que la maîtrise du rayonnement solaire direct incident constitue l'un des leviers les plus efficaces pour améliorer le confort et réduire les consommations d'électricité des bâtiments tertiaires tropicaux.

7.2 TYPOLOGIES DE BÂTIMENTS PERFORMANTS



En Guadeloupe et en Martinique, les Diagnostics de Performance Énergétique (DPE) et le dispositif Éco Énergie Tertiaire (EET) fixent des objectifs complémentaires qui poussent à améliorer durablement la performance énergétique des bâtiments.

Le DPE donne une vision claire du niveau de performance d'un bâtiment à un moment donné, tandis que le décret tertiaire impose une trajectoire de réduction réelle des consommations.

Ensemble, ils constituent un cadre cohérent pour rendre le parc tertiaire plus sobre et performant. Ils font partie des dispositifs nationaux de lutte contre le changement climatique.

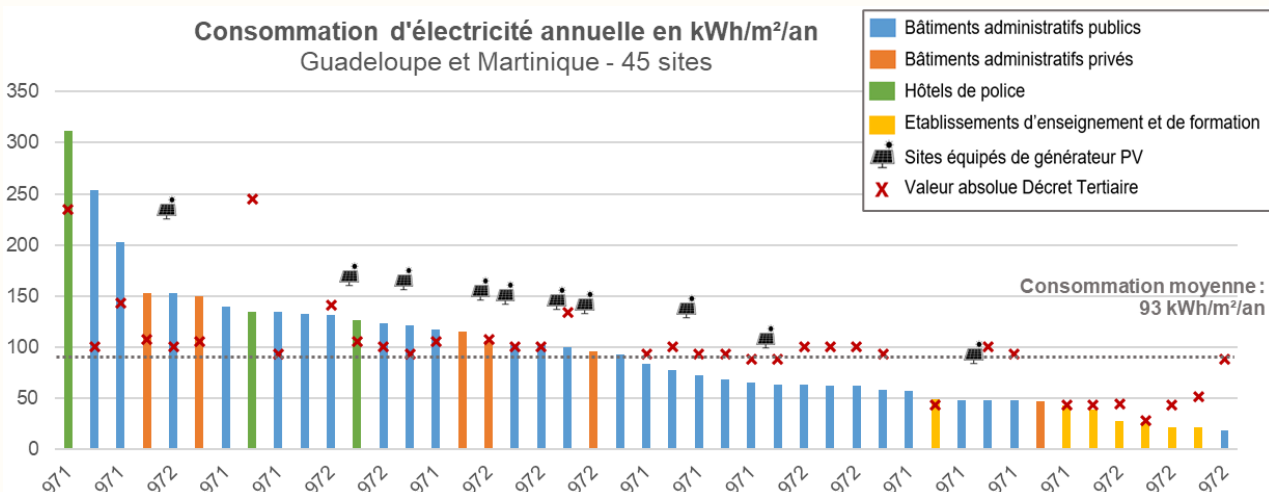
Classe	Guadeloupe		Martinique	
	Résidentiels	Non résidentiels	Résidentiels	Non résidentiels
	Consommation en kWh _{ep} /m ² _{SPL} .an		Consommation en kWh _{ep} /m ² _{SPL} .an	
A	≤ 15	≤ 60	≤ 100	≤ 100
B	16 à 25	61 à 100	101 à 150	101 à 300
C	26 à 30	101 à 150	151 à 200	301 à 500
D	31 à 45	151 à 200	201 à 250	501 à 700
E	46 à 60	201 à 250	251 à 300	701 à 900
F	61 à 90	251 à 350	301 à 350	901 à 1 100
G	> 90	> 350	> 350	> 1 100

Valeurs seuils du Diagnostic de Performance Énergétique en Guadeloupe et Martinique



Les objectifs de consommation visés par le décret tertiaire pour 2030 sont, par défaut, définis pour une typologie type « bureaux standards » et fixés à 68 kWh_{ep}/m²/an en Guadeloupe et 75 kWh_{ep}/m²/an en Martinique. Ces objectifs sont à moduler selon l'usage, notamment la durée d'exploitation, la surface par poste de travail et la proportion de bureaux occupés. Ces valeurs sont relativement contraignantes au vu des consommations actuelles de la majorité du parc tertiaire. **La maîtrise des apports solaires par les façades est un levier prépondérant pour atteindre ces objectifs** et pour préparer les suivants, à savoir une consommation diminuée, en 2040, de 50% et, en 2050, de 60% par rapport aux consommations annuelles d'une année de référence, choisie entre 2010 et 2019.

Rappelons que ce décret tertiaire est un des outils mis en œuvre pour atteindre la neutralité carbone en 2050. Toutefois en l'absence de moyens coercitifs pour le faire respecter, la trajectoire des réhabilitations énergétiques, dans les territoires ultramarins comme en métropole, est, pour le moment, significativement trop lent pour y parvenir.



Consommations annuelles surfaciques de différents sites audités en Guadeloupe et Martinique (source : Equinox)

7.3 LES RÈGLES DE L'ART POUR LES CONCEPTEURS



Quand on parle de « **construire avec le climat** », il s'agit non seulement de prendre en compte le macro-climat, c'est-à-dire celui décrit par la station météo la plus proche du site considéré, mais aussi de micro-climat du site lui-même. Ce dernier est influencé par la topographie et l'environnement bâti du projet (altération de la vitesse et de la direction du vent par exemple), la végétation environnante (baisse locale de température par évapotranspiration), des revêtements de sol périphériques, dont la nature et la couleur peuvent considérablement affecter les températures périphériques au bâtiment, non seulement le jour, mais aussi la nuit. Le micro-climat peut également être affecté par des apports thermiques entropiques comme, par exemple, la chaleur apportée par les véhicules ou autres sources de chaleur externes, produisent par des équipements énergétiques.

En climat tropical, **la maîtrise du rayonnement solaire constitue un levier essentiel pour assurer le confort thermique des bâtiments** et réduire voire supprimer leur besoin de climatisation.



Les principes suivants constituent des repères fondamentaux pour une conception bioclimatique adaptée :

- **Privilégier une orientation optimale**

L'orientation d'un bâtiment conditionne directement l'énergie reçue par les façades sous forme de rayonnement solaire. Les façades principales devraient idéalement être orientées vers le Nord et le Sud. En effet, les apports de chaleur par rayonnement solaire direct sont plus simples à maîtriser par des protections horizontales simples (brise-soleil en casquette correctement dimensionnés) en raison de la course du soleil haute dans le ciel pour ces azimuts. À l'inverse, à ces latitudes tropicales, les orientations proches de l'Est et de l'Ouest, sont soumises à un ensoleillement rasant et donc plus difficiles à protéger sans dégrader le confort visuel. (voir chapitre 2)

Cette recommandation s'applique différemment aux bâtiments ventilés naturellement.

Pour ces bâtiments là aux Antilles il s'agira en effet de gérer un compromis optimal entre protection solaire et potentiel de ventilation naturelle. En effet, les alizés dominants ont une orientation proche de l'Est et il faut savoir que le potentiel de ventilation baisse respectivement de 25% et de 50% si on s'écarte de 45° et de 90° de l'orientation perpendiculaire aux vents dominants. Les concepteurs qui s'orientent plein Est pour capter le vent risquent aussi de capter fortement le soleil le matin et symétriquement l'après midi sur l'autre façade et ils devront donc développer une protection solaire adaptée.

De même, les concepteurs voulant minimiser l'exposition solaire, risquent de se pénaliser en termes de captage éolien même s'il existe des solutions d'optimisation.



- **Limiter l'exposition directe au rayonnement solaire**

La conception de l'enveloppe doit chercher à supprimer l'essentiel des apports solaires directs, principaux responsables des surchauffes et de l'éblouissement (pour une journée ensoleillée le rayonnement direct représente aux Antilles plus des 2/3 de l'énergie reçue). L'usage de protections solaires fixes ou mobiles, de débords de toiture, d'auvents ou de végétation périphérique permet de créer un ombrage efficace tout en préservant l'éclairage naturel et le potentiel de ventilation naturelle.

La « cinquième façade », qui est la toiture, est évidemment à traiter prioritairement : teinte claire, double toiture, isolation thermique durable et d'épaisseur adaptée,...

- **Optimiser la compacité et la distribution des espaces**

Une forme bâtie compacte limite les surfaces d'échange avec l'extérieur et réduit les apports solaires potentiels. **La disposition des locaux doit privilégier les espaces de vie ou de travail sur les orientations les plus favorables (Nord/Sud)**, tandis que **les circulations, locaux techniques, stockages, sanitaires (...)** peuvent être placés sur les façades les plus exposées à l'ensoleillement et jouer ainsi le rôle "d'espaces tampons".

- **Adapter les vitrages et les protections en fonction de l'orientation**

Les caractéristiques physiques des vitrages et de leur indicateur de protection énergétique (facteur solaire), de leur indicateur de captage de lumière naturelle (facteur de transmission lumineuse) ainsi que leurs caractéristiques autres, doivent être choisies et dimensionnées en fonction de l'orientation, de la configuration, de l'usage et de l'aménagement du local. **L'efficacité d'un dispositif de protection solaire dépend, pour un site donné, de ces paramètres conceptuels et de sa position par rapport au vitrage.** Un même type de protection solaire peut donc ne pas être performant pour toutes les orientations d'un bâtiment. On peut néanmoins, pour des raisons de cohérence de lecture architecturale, décliner une même typologie de protection solaire pour différentes orientations en faisant varier un seul de ces paramètres en fonction des azimuts des façades (voir exemple chapitre 5)

- **Tirer parti des apports énergétiques naturels tout en contrôlant les surchauffes**

L'objectif n'est pas d'exclure totalement le rayonnement solaire, mais de l'adapter selon les besoins et les usages. Une conception bien pensée devrait idéalement chercher à limiter à moins de 15% le facteur solaire de l'ensemble « fenêtre plus protection solaire ». D'expérience, il est établi que ce niveau de protection solaire dans un bureau mono-orienté permet de bénéficier de suffisamment de lumière naturelle pour avoir une autonomie lumineuse pendant l'essentiel de la journée, sans apports thermiques excessifs. Il s'agit avec des outils de simulation adaptés, de chercher un équilibre, pour les dimensions de la pièce, entre surface/position des ouvertures et protections solaires tout en permettant éventuellement une possibilité de ventilation naturelle à certaines périodes.

Cette réflexion peut, éventuellement, aussi porter sur la conception d'ouvrants adaptés à un fonctionnement en ventilation naturelle accompagnée de brasseurs d'air une partie de l'année.

A l'extérieur des bâtiments, les conditions propres au climat tropical peuvent aussi offrir des situations où le confort thermique est satisfaisant, dès lors que certaines conditions, ci après, sont réunies.

C'est ce que résume la "théorie du manguier" selon laquelle :

« à l'ombre d'un manguier, un individu est en permanence en situation de confort, pour peu qu'il bénéficie d'une légère brise. »

- d'être à l'abri du soleil, à l'ombre du manguier (ou d'un arbre à larges feuilles permettant une forte évapotranspiration, en même temps qu'un ombrage très efficace.)
- de bénéficier d'une ventilation procurant une sensation de rafraîchissement (effet physiologique détaillé dans les sections suivantes) ;
- de porter des vêtements amples et légers;
- de pouvoir bénéficier de sollicitations positives de nos capteurs sensoriels et psychologiques : lumière adoucie, apaisement acoustique, odeurs naturelles, vues agréables, protection de la pluie et des moustiques.. qui vont influencer le confort global.

Ce constat de « bien-être bioclimatique » global possible dans les espaces extérieurs devrait être d'ailleurs plus souvent exploré dans les projets architecturaux tropicaux.

7.4 POUR UNE ARCHITECTURE TROPICALE EN COHÉRENCE AVEC L'URGENCE CLIMATIQUE



Apprentissage par l'image, quelques exemples instructifs :



Dans les zones tropicales soumises à de multiples aléas naturels (cycloniques, sismiques, volcaniques, tsunami, ...), il est impératif que les bâtiments résistent à ces contraintes, ou plutôt soient conçus pour préserver au maximum les vies humaines lors de ces catastrophes, comme le prône désormais la stratégie parasismique.

Ces risques naturels sont codifiés, et ont donné lieu depuis de nombreuses années à des normes, dont certaines ne sont pas toujours parfaitement adaptées aux spécificités de chaque territoire. Elles ont toutefois le mérite d'exister. Les infrastructures et bâtiments édifiés en respect de ces normes sont ainsi assurables et les risques sont obligatoirement couverts pour faire face à ces aléas pouvant donner lieu à des sinistres.



En matière de confort, d'énergie et, plus largement, de consommation de ressources, les aléas sont réels : une simple panne électrique peut rendre les bâtiments rapidement invivables en climat tropical, en l'absence de protections solaires adaptées.

Les effets du changement climatique représentent aujourd'hui un défi considérable, puisqu'il est démontré que le monde devra vivre avec des moyennes de températures d'au moins +2 degrés dans les décennies à venir (ces augmentations moyennes cachant en outre géographiquement ou temporellement des écarts bien plus élevés) : au-delà de la seule notion de confort, les bâtiments devront devenir de véritables "refuges climatiques".

Par ailleurs, l'augmentation des coûts de l'énergie est inéluctable, en France et encore davantage dans les DROM qui sont, en outre, soumis à des surcoûts de production structurels.

Dans ce contexte, il est absurde de construire les mêmes bâtiments sous des climats très différents. Les investigations d'HELIODROM ont démontré que certaines enseignes commerciales privées ont cette pratique déraisonnable de construire de manière identique aux Antilles et en Europe, par exemple, avec des murs rideaux similaires. Alors que les impacts de consommations énergétiques et de confort thermique liés aux apports solaires y sont très différents.



Concession automobile à Lyon



Concession automobile en Martinique



Cet exemple n'est malheureusement pas un cas isolé. **Il illustre une mésadaptation architecturale d'autant plus incompatible que des changements climatiques sont en cours.**

On imagine mal un maître d'ouvrage déclarer un sinistre dans un bâtiment neuf ou existant à cause d'un inconfort tel qu'il ne pourrait plus assurer ses fonctions. Pourtant, il existe déjà une jurisprudence avec par exemple l'extension en mezzanine de la gare de Nantes, qui souffre de surchauffes en été et dont l'accès a été fermé lors de la canicule de juin 2025.



Aucun usagé d'un bâtiment n'a encore, à notre connaissance, déposé de recours visant à être indemnisé contre la hausse des factures d'électricité. La crise énergétique de 2021, qui a occasionné une forte hausse des tarifs de l'électricité, a pu avoir des conséquences dramatiques pour beaucoup d'entreprises ou de commerces, mais l'intervention de l'Etat a pu amortir temporairement le choc. Sur le long terme, les investissements dans les moyens de production, notamment nucléaires en France (maintenance et « grand carénage » des centrales, démantèlement, réalisation de nouveaux réacteurs) imposeront des hausses significatives structurelles des coûts de l'électricité. Les DROM y seront soumis en raison de la péréquation nationale des tarifs, outre une évidence écologique. Il y a donc une pertinence économique et financière à investir dans la protection solaire des bâtiments, car ces améliorations non seulement réduisent les factures énergétiques mais, également, augmentent la valeur intrinsèque du bien.

Ce guide propose d'adopter une approche globale pour réhabiliter les bâtiments concernés en améliorant leur protection solaire de manière pragmatique, efficace et innovante. Il s'agit de faire appel à la fois au bon sens architectural et à des outils de conception adaptés (simulation dynamiques d'optimisation des protections solaires en lien avec l'éclairage naturel) tout en évitant, autant que faire se peut, la mise en œuvre de technologies s'appuyant essentiellement sur de l'électronique et de la domotique connectées, qui s'avèrent souvent peu robustes en contexte tropical. En somme, il s'agit de concevoir high-tech pour pouvoir construire low-tech. Les pages suivantes présentent quelques projets qui, sans forcément être exemplaires sur tous les plans, peuvent être considérés comme apportant une réponse satisfaisante de conception bioclimatique tropicale en général et de protection solaire en particulier, et répondent au « comment construire avec le climat », en incluant des détails techniques de mise en œuvre.

Ces exemples ne font donc pas partie des bâtiments ciblés pour le projet HélioDROM.

Sauf données manquantes, les références des concepteurs sont citées.



Parc National de Guadeloupe – Architecte Atelier 13, photo : Laurent Séauve

1

OFFICE DE TOURISME DE MAYOTTE



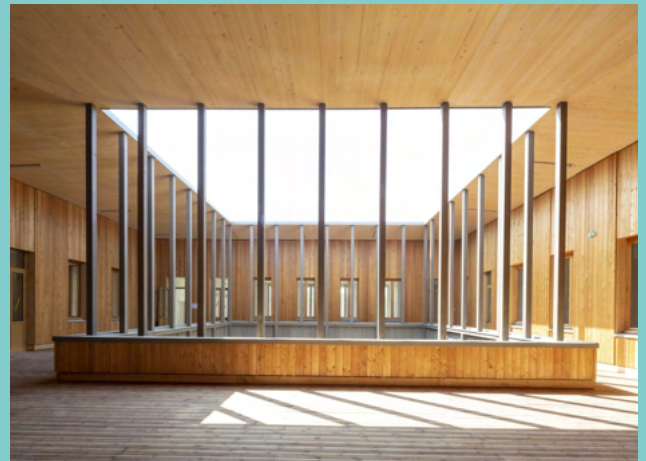
Bâtiment CCSUD, Office de Tourisme de Hamouro (Mayotte)
Architectes : tand'M Architectes
La résille brise soleil en bambou habille l'office du tourisme de Mayotte.

2

LYCÉE MONTÉ CRISTO À ALLAUCH



Lycée Monté Cristo à Allauch - Hexagone -
Architectes : Huit et demi
Photos : Huit et demi



3

RECONSTRUCTION ET EXTENSION DU CHLD BEAUPERTHUY



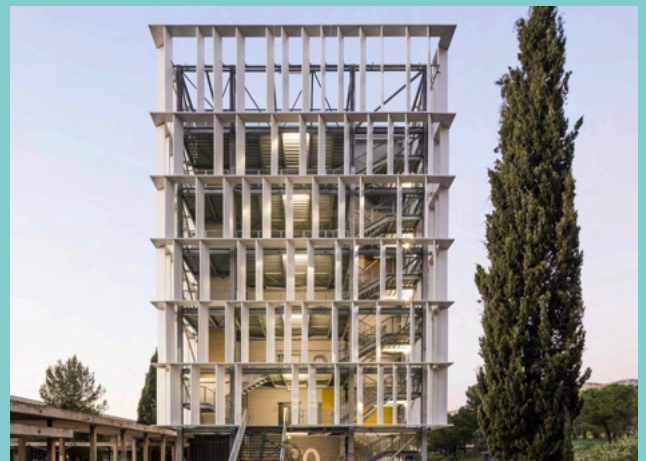
Reconstruction du Centre Hospitalier L.D
Beauperthuy à Pointe-Noire - Guadeloupe -
Architectes : SCAU architectes et Magma
architectures
Photo : Laurent Darvot

4

BÂTIMENT TPR1 À LUMINY



Bâtiment TPR1 pour le CNRS à Luminy,
Marseille
Architectes : Agence Scau et Marciano
Architecture
Photos : Luc Boegly 2018



5

BÂTIMENT LUC HOFFMANN, CAMARGUE



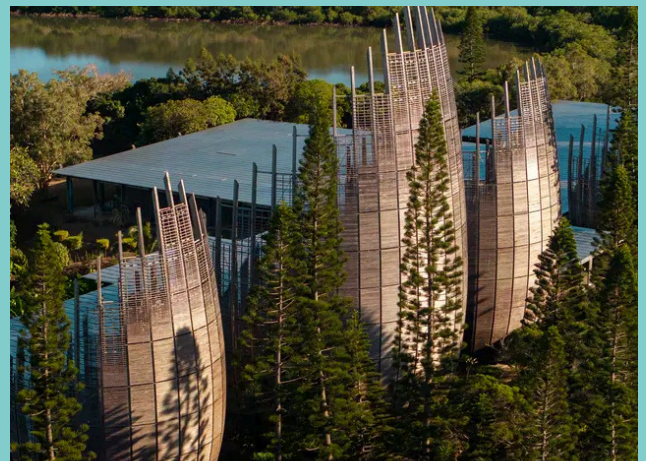
Réhabilitation architecturale et énergétique
du bâtiment Luc HOFFMANN de l'institut de
recherches de la Tour du Valat
Architecte : Bijan Azmayesh, Atelier
Ostraka,
Robert Celaire , ingénieur énergie & QEB

6

CENTRE CULTUREL TJIBAOU



Centre culturel Jean Marie Tjibaou destiné à
promouvoir la culture kanak, Nouvelle-
Calédonie
Architectes : Renzo Piano
Photos : Daniela photographie



7.5 BILANS ET PERSPECTIVES

Les bâtiments ciblés par le projet HELIODROM appartiennent souvent à une période où la « crise climatique » figurait encore moins qu'aujourd'hui au premier plan des préoccupations des maîtres d'ouvrage et des concepteurs. À cette époque, la priorité allait fréquemment à l'affichage d'une certaine vision de l'esthétique moderne (façades rideaux, grandes surfaces vitrées, compositions orthogonales) qui répondait davantage à une recherche de reproduction de l'architecture dite internationale, qu'aux exigences climatiques locales et à l'urgence climatique mondiale. Dans certains cas, **la recherche de transparence des façades et d'attractivité commerciale a primé sur toute considération bioclimatique**, au détriment du confort intérieur, de la performance énergétique et de l'impact écologique du projet.

Cette orientation a été renforcée, dans les DROM, par deux facteurs structurels : **la péréquation tarifaire, en alignant les prix de l'électricité sur les valeurs hexagonales, l'a maintenue à un tarif très bas, et le manque d'ambition d'un cadre réglementaire** spécifiquement adapté aux enjeux climatiques locaux. Ces conditions ont contribué à une sous-estimation, voire à une occultation, des impacts climatiques à long terme dans les choix constructifs et tout particulièrement, pour la composition des façades des bâtiments tertiaires.

Aujourd'hui, si le secteur du bâtiment constitue indéniablement un contributeur majeur du réchauffement climatique et de l'épuisement des ressources, le constat du réchauffement climatique est largement partagé. De plus en plus d'acteurs du secteur (architectes, urbanistes, maîtres d'ouvrage, ingénieurs) intègrent une posture professionnelle renouvelée : **Ils peuvent en constituer une part essentielle de la solution**. Cette prise de conscience se traduit par des méthodes de conception plus respectueuses des personnes et des écosystèmes : optimisation des apports solaires et des protections solaires, recours accru à des matériaux plus durables, performants et issus des filières bio-sourcées et géo-sourcées, attention accrue au confort thermique en particulier et au confort en général, gestion plus sobre des ressources et recours au ré-emploi, ainsi qu'à la résilience face aux aléas climatiques.

Le défi contemporain consiste donc à concilier la préservation des qualités architecturales et patrimoniales des bâtiments existants avec l'impératif d'« évidence climatique » : rendre ces édifices plus en adéquation avec les exigences contemporaines, non pas par l'effacement de leur identité, mais par l'intégration sensible et contextualisée de réponses climatiques visibles et performantes. L'histoire de l'architecture montre d'ailleurs que de telles mutations sont récurrentes : on pense aux transformations hygiénistes du XIXe siècle, aux campagnes de désamiantage récentes ou aux interventions successives qui ont fait évoluer, dans certaines villes, le visage urbain sans l'anéantir.



7.5 BILANS ET PERSPECTIVES



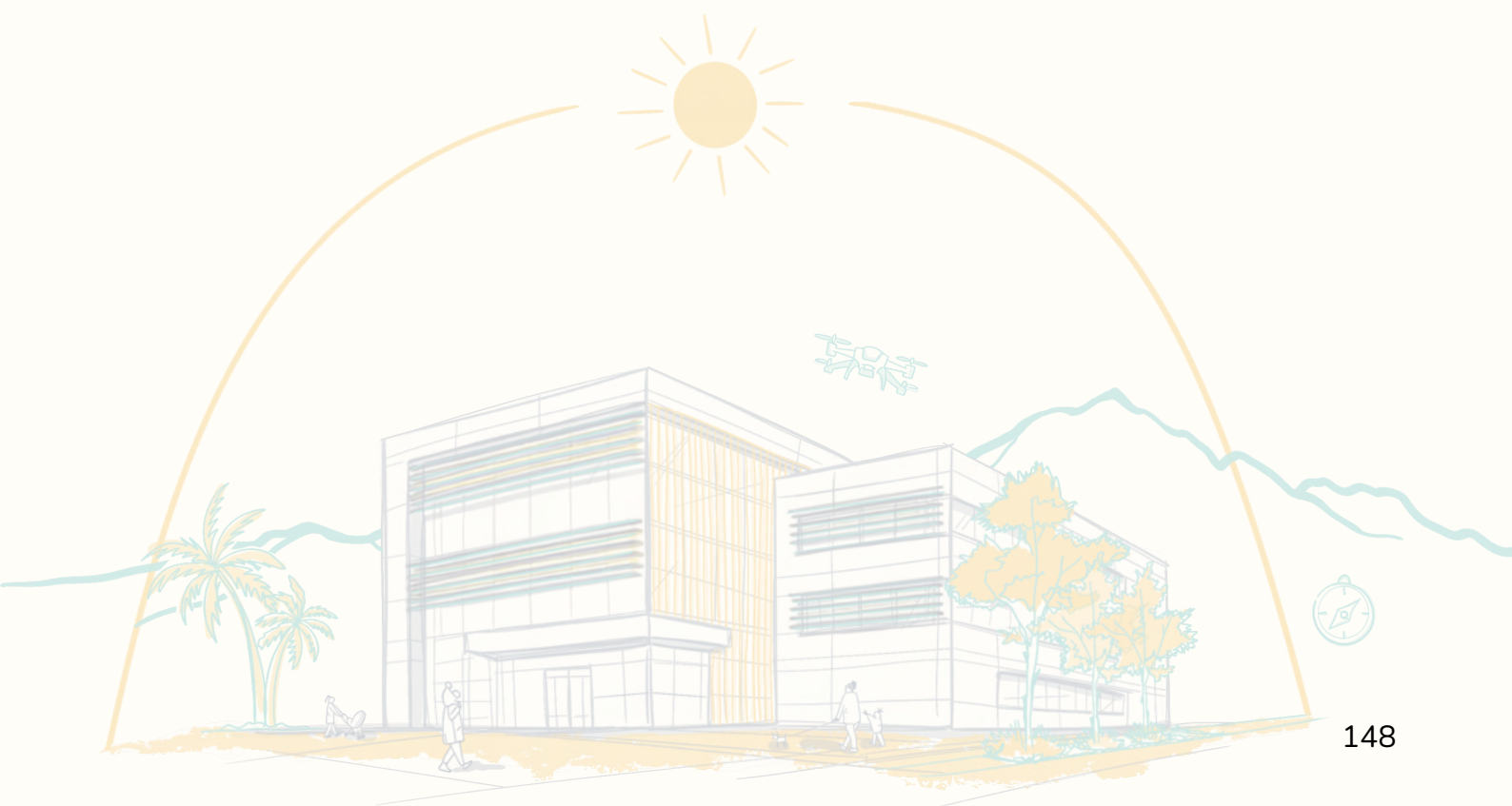
Concrètement, cela implique que **les concepteurs** — qu'il s'agisse des architectes originaux ou d'équipes nouvelles — **actualisent leurs projets** en déclinant sur les façades et dans les volumes intérieurs des dispositifs adaptés : **protections solaires intégrées, brise-soleil, occultations mobiles, doubles-peaux ventilées, isolation thermique adaptée, végétalisation, optimisation de la ventilation.**

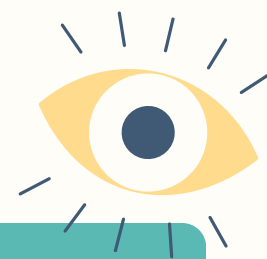
Ces interventions, menées avec l'attention conceptuelle accrue et le soin du détail que nécessite le travail à partir d'un "déjà là" dans le cadre d'équipes pluridisciplinaires (architecte, ingénieurs, paysagistes,...) permettent non seulement d'améliorer la performance thermique et énergétique des bâtiments, mais aussi d'accroître leur valeur patrimoniale et leur acceptabilité sociale.

EN RÉSUMÉ,



Le projet HELIODROM vise précisément à encourager et à faciliter cette transition, en faisant des façades un lieu d'expression de la réponse architecturale à la crise climatique. Cette actualisation respectueuse de l'identité existante, qui réenchante l'architecture tout en répondant aux exigences de confort, d'économie et de résilience indispensables pour l'avenir.





L'adaptation des bâtiments aux périodes chaudes ne concerne manifestement pas que les zones tropicales et équatoriales, mais elle est également pertinente pour les climats méditerranéens et, plus globalement, pour les climats avec une saison chaude, a fortiori dans une perspective d'anticipation des canicules, plus fréquentes, plus longues et plus intenses. Forme primordiale de résilience face aux changements climatiques, cette adaptation ne doit pas opposer « architecture », au sens de la cohérence globale de celle-ci, et « exigences de performance énergétique et de confort dans les bâtiments » dans la mesure où ces deux dimensions conceptuelles sont des composantes essentielles de la contemporanéité de l'architecture. Nous ne sommes pas légitimes pour donner des appréciations tranchées sur des projets architecturaux (dont certains sont extrêmement prestigieux) qui, manifestement, ne semblent pas s'être préoccupés de la question de la protection solaire. Nous nous demandons toutefois si, des années après leur livraison, avec les retours de vie en œuvre des habitants, l'accélération perçue des changements climatiques et de leurs conséquences multiples, le constat de plus en plus dramatique de l'addiction structurelle de nos économies aux énergies centralisées, fossiles et fissiles, les concepteurs de ces projets et leurs maîtres d'ouvrage, commanditaires n'intégreraient pas, dans un projet contemporain, cette conséquence directe de l'évidence climatique qu'est la protection solaire, comme un des substrats de leur architecture.



Tour Luma – Arles – Architecte Frank Gehry, photo : R. Celaire

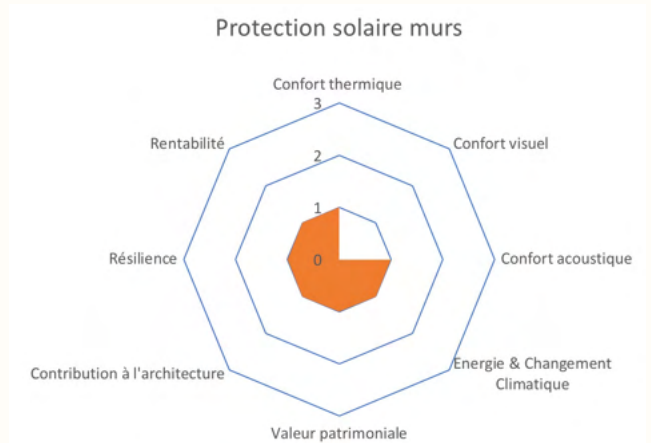
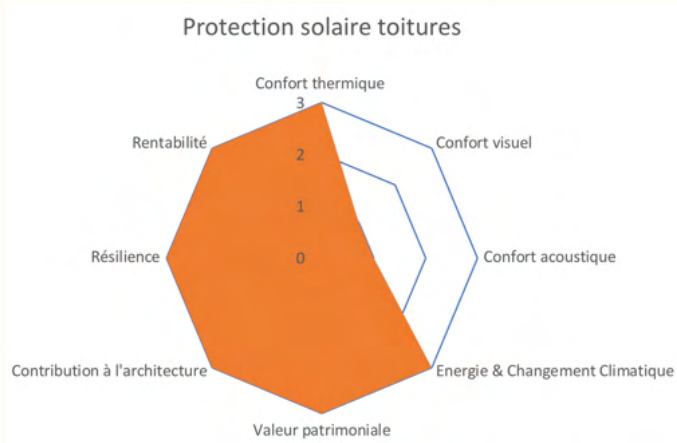
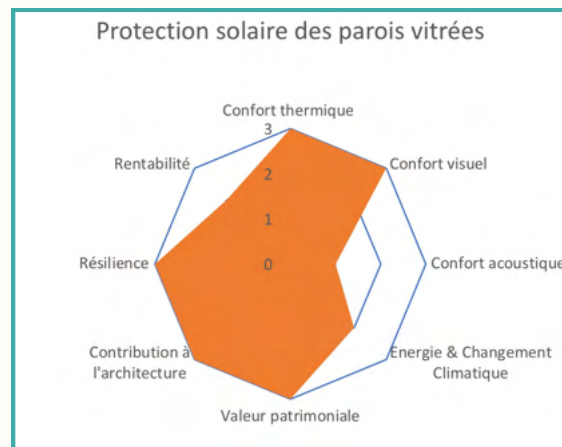
ANNEXES



LISTE INDICATIVE DES AMÉLIORATIONS ENVISAGEABLES SUR LE BÂTIMENT EN MÊME TEMPS QUE L'AMÉLIORATION DE LA PROTECTION SOLAIRE DES FAÇADES

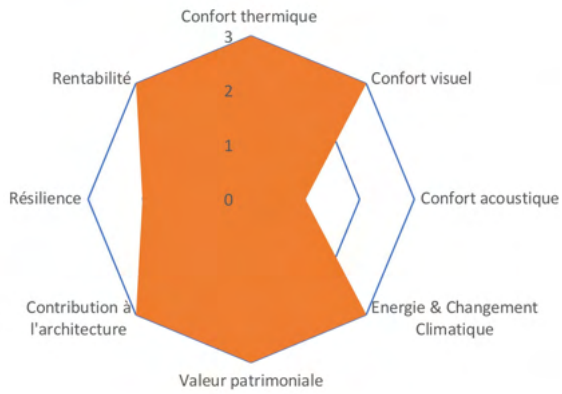
Action	Sous-titre	Confort thermique	Confort visuel	Confort acoustique	Energie & Changement Climatique	Valeur patrimoniale	Contribution à l'architecture	Résilience	Rentabilité
Protection solaire des parois vitrées	Cf l'ensemble du présent document	3	3	1	2	3	3	3	2
Protection solaire toitures	Couleur claire, surtoiture, isolation thermique	3	1	1	3	3	3	3	3
Protection solaire murs	Couleur claire, double peau, isolation thermique	1	0	1	1	1	1	1	1
Végétalisation des abords	Strates herbacées, arbustives, lianes, hautes tiges	3	3	1	3	3	3	2	3
Amélioration étanchéité à l'air	Réglage et pose menuiseries extérieures, traitement points singuliers	2	0	1	2	1	1	1	3
Zonage espaces climatisés	Groupement, orientation, zone sans clim, amélioration positionnement pièces et bureaux...	1	0	0	2	3	0	1	2
Gestion des ouvrants intérieurs	Entre locaux climatisés / non climatisés, groods, portes étanches,...	1	0	0	2	1	0	1	2
Réduction thermiques apports internes	Politique achat équip économe et gestion intermittence	2	0	0	3	0	0	1	3
Dimensionnement optimisé climatisation	Par exemple en utilisant des Simulations Thermiques Dynamiques (STD)	1	0	1	2	1	0	1	3
Performances systèmes climatisation	Valeur élevée du SEER, garantie, fluide frigorigène	1	0	1	2	2	0	2	2
Optimisation températures de consigne	Réglage à valeur adaptée, blocage dans une certaine limite pour les usagers	2	0	0	3	1	0	3	3
Gestion de l'intermittence	Adaptation périodes d'occupation en lien avec conditions extérieures	2	0	1	3	1	0	2	3
Entretien /maintenance rigoureux	Intervention professionnels de la clim	2	0	0	2	1	0	2	3
Installation brasseurs d'air	Y compris dans les zones climatisées, choix matériel efficace, calepinage et adaptation température de consigne	3	0	1	3	3	1	3	3
Sensibilisation des usagers	Information orale répétée, panneaux d'information dynamiques ou statiques, organisation de jeux ou d'événements	3	2	1	3	0	0	3	3

Notation	0	1	2	3
	Pas d'impact positif	Impact positif léger	Impact positif significatif	Très fort impact positif

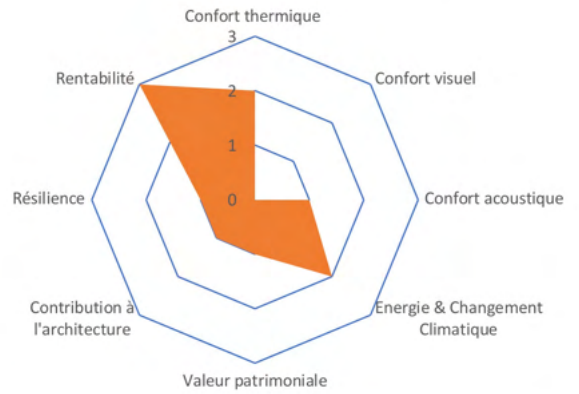


LISTE INDICATIVE DES AMÉLIORATIONS ENVISAGEABLES SUR LE BÂTIMENT EN MÊME TEMPS QUE L'AMÉLIORATION DE LA PROTECTION SOLAIRE DES FAÇADES

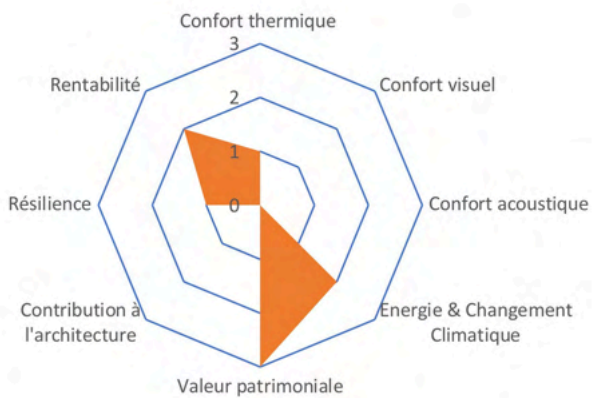
Végétalisation des abords



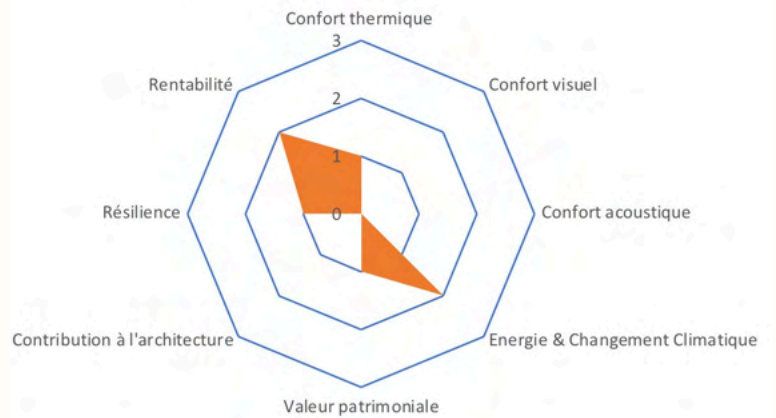
Amélioration étanchéité à l'air



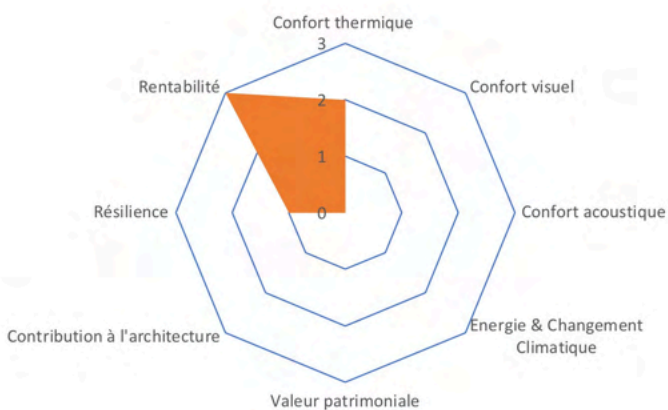
Zonage espaces climatisés



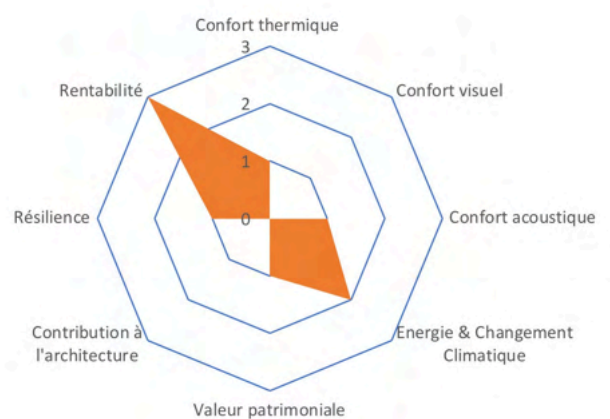
Gestion des ouvrants intérieurs



Réduction thermiques apports internes

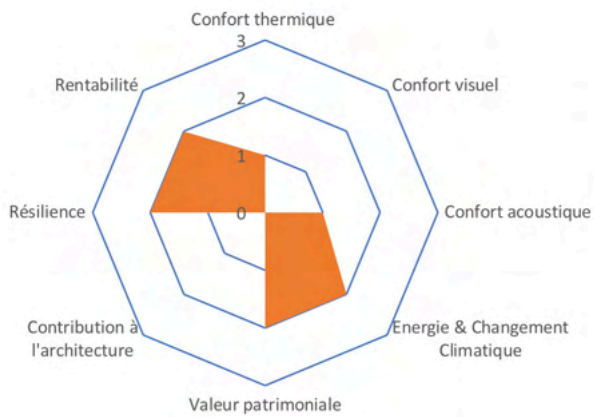


Dimensionnement optimisé climatisation

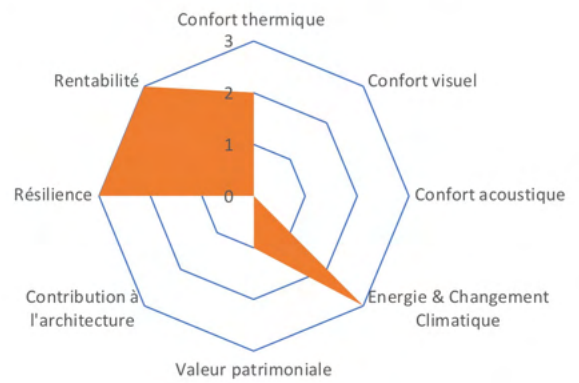


LISTE INDICATIVE DES AMÉLIORATIONS ENVISAGEABLES SUR LE BÂTIMENT EN MÊME TEMPS QUE L'AMÉLIORATION DE LA PROTECTION SOLAIRE DES FAÇADES

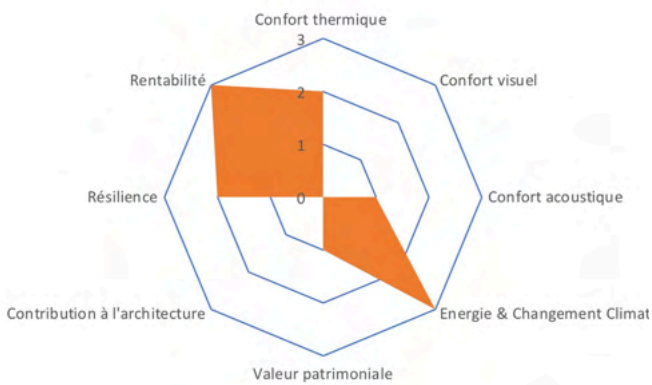
Performances systèmes climatisation



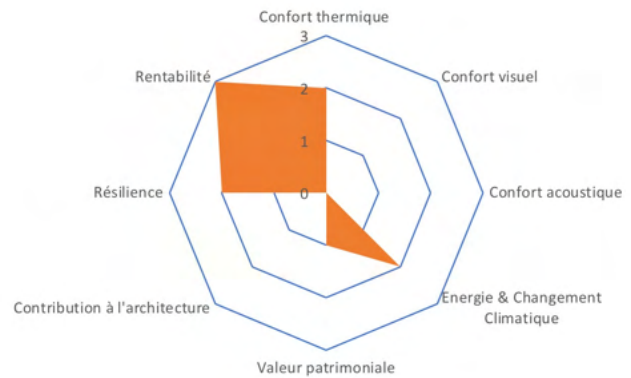
Optimisation températures de consigne



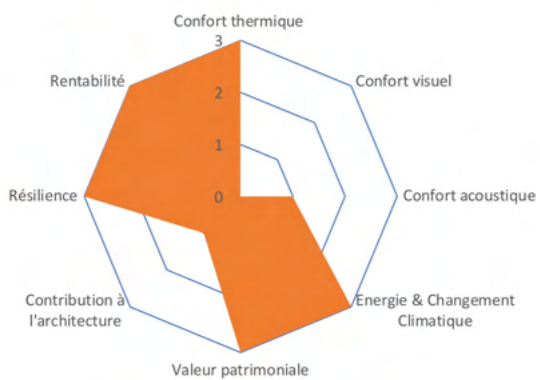
Gestion de l'intermittence



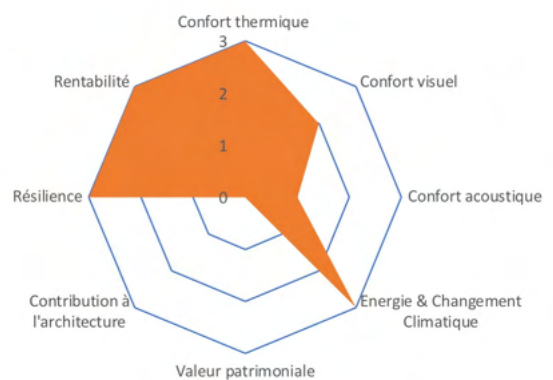
Entretien /maintenance rigoureux



Installation brasseurs d'air

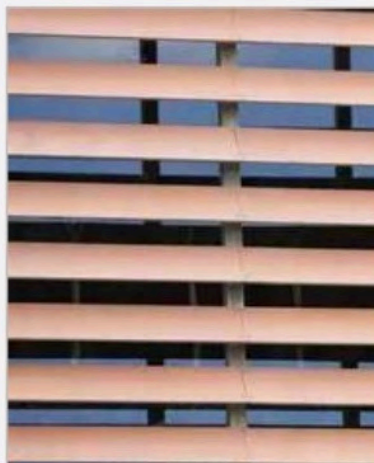


Sensibilisation des habitants



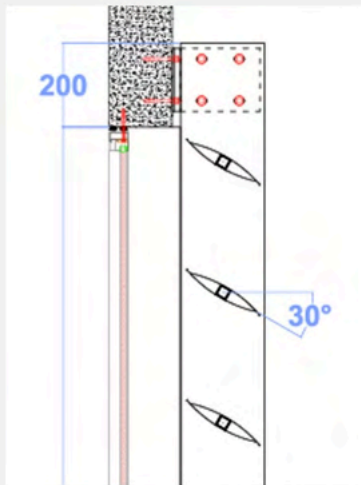
FICHE D'IDENTITÉ DES DIFFÉRENTES SOLUTIONS :

BRISE-SOLEIL → les essentiels

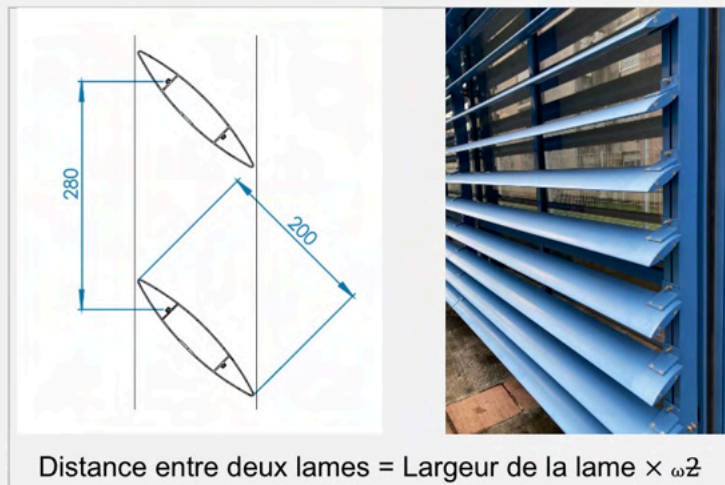


Description	Dispositif <u>extérieur</u> composé de plusieurs profilés, souvent en bois ou en aluminium, fixes ou orientables, pour limiter l'ensoleillement direct.		
Principe	Le brise-soleil agit comme un masque : il bloque le rayonnement direct mais pas le réfléchi, tout en laissant passer la lumière naturelle diffuse. L'efficacité dépend de l'orientation de la façade, de l'angle d'incidence, de la géométrie et la position des lames.		
Configurations possibles	Pose en « casquette » → Orientations Nord et Sud	Pose « recouvrante » (lames verticales ou horizontales) → Orientations Est et Ouest	Pose de « joues » sur les côtés des menuiseries
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> + Réduction significative des apports solaires + Conservation d'un éclairage naturel suffisant + Durabilité et entretien limité (surtout pour versions fixes) + Intégration architecturale possible dans le design de la façade 		
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Moins efficaces sur les orientations complexes - Risque de sous-éclairage si dimensionné trop grand - Coût élevé surtout si orientable motorisé - Nécessite une étude d'un BET structure pour les grandes portées 		
Points de vigilance	Étude indispensable du diagramme solaire La profondeur des casquettes peut-être limitée pour des raisons structurelles, notamment en contexte de risque cyclonique		
Coût HT fourni posé	300 à 800 €/m ²		

BRISE-SOLEIL → approfondissements

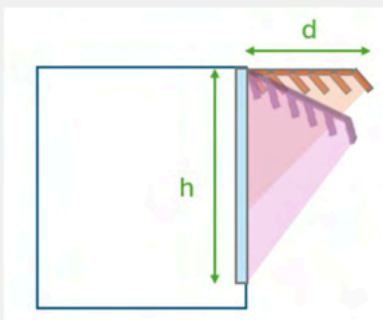


Brise soleil pose verticale

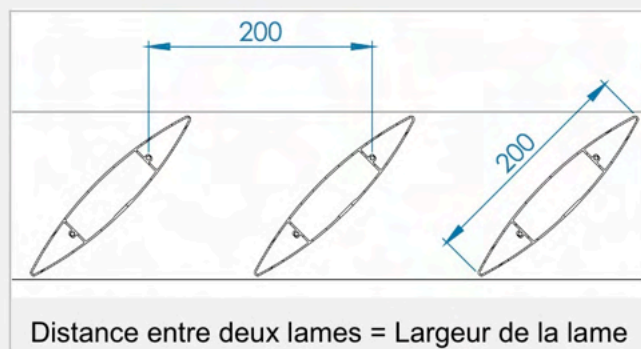


Distance entre deux lames = Largeur de la lame $\times \omega^2$

Le principe d'ancrage de ces brise-soleil consiste à arrimer un cadre, support des lames, à la façade. La fixation se fait à l'aide de goujons de diamètre minimum 10 mm pour garantir une résistance à l'extraction en cas de vents cycloniques.

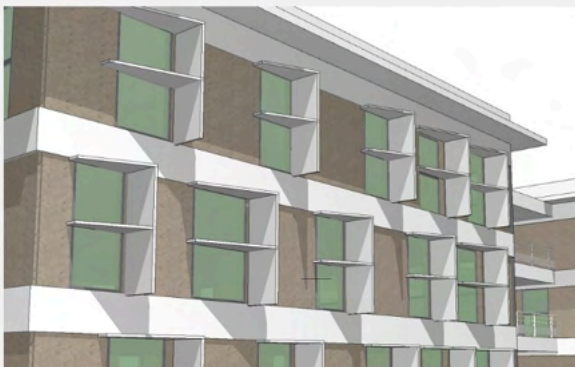


Brise soleil de type casquette



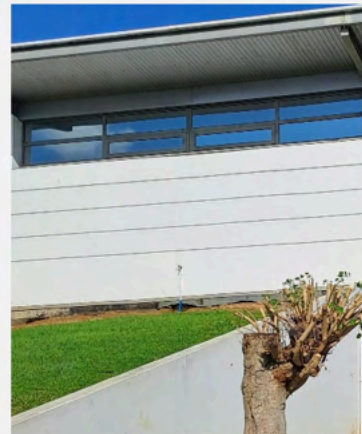
Distance entre deux lames = Largeur de la lame

Le brise-soleil est normalement dimensionné de sorte que le rapport d/h (avec h la hauteur du vitrage à protéger et d la profondeur de la casquette) reproduise l'angle solaire vers le Sud ou vers le Nord aux solstices à midi. La part de surface vitrée protégée augmente si la casquette est posée avec une pente vers le sol.



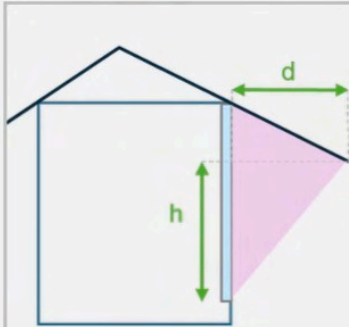
Pour les orientations intermédiaires (NE, SE, SO, NO) où le soleil est plus bas dans le ciel, il est souvent recommandé de compléter les brise-soleil classiques avec des écrans latéraux verticaux, surtout lorsque la profondeur des brise-soleil est limitée par des contraintes structurelles.

AUVENTS ET DÉBORDS DE TOITURE → les essentiels



Description	Dispositifs architecturaux fixes (horizontaux ou inclinés) intégrés à la façade ou à la toiture, destinés à protéger les ouvertures et parois vitrées du rayonnement solaire direct.	
Principe	Les auvents et débords fonctionnent comme des casquettes solaires passives : ils bloquent le soleil haut dans le ciel, réduisant les surchauffes. Leur dimensionnement doit être adapté à la latitude du site et la hauteur des baies vitrées	
Configurations possibles	Débord de toiture continu : protection linéaire sur toute la façade.	Auvent rapporté (béton, bois, métal) : élément ponctuel au-dessus des baies ou terrasses.
Avantages	+ Protège de la pluie et augmente la durabilité des menuiseries + Prolonge le bâtiment et agrmente un espace extérieur	
Inconvénients	- Peut assombrir les intérieurs en hiver si dimensionné trop large - Surcoût structurel en cas de grande portée - Non adapté aux façades est et ouest (soleil rasant)	
Points de vigilance	Prévoir l'évacuation des eaux pluviales (pente, gouttières, bavettes)	

AUVENTS ET DÉBORDS DE TOITURE → approfondissements



Comme pour un brise-soleil en casquette, la protection solaire est normalement dimensionnée de sorte que le rapport d/h (avec h la hauteur entre le bas du vitrage à protéger et l'égout de la toiture, et d la profondeur du débord de toit) reproduise l'angle solaire vers le Sud ou vers le Nord aux solstices à midi. À la différence d'un brise-soleil en casquette, la profondeur du débord est moins souvent un facteur limitant puisque les charges sont reprises par des éléments plus importants comme des piliers. Il convient alors de veiller à ne pas surdimensionner le débord, de sorte à ne pas détériorer les apports en lumière naturelle.

Une surtoiture est une toiture secondaire placée au-dessus de la couverture d'un bâtiment. Elle permet d'ombrager totalement ou partiellement la « 5^{ème} façade » qui est toujours la façade la plus exposée au rayonnement solaire, ce qui limite fortement la transmission de chaleur. Elle protège également les équipements de climatisation qui peuvent s'y trouver, augmentant ainsi leur durée de vie, notamment en diminuant leur facteur de charge. Une surtoiture implique des contraintes importantes pour le bâtiment, c'est pourquoi elle est souvent prévue pour les constructions neuves mais beaucoup moins en rénovation.



Surtoiture en tôle, charpente bois et poutres en métal

Les surtoitures sont aussi des supports parfaitement adaptés à la mise en œuvre de générateurs photovoltaïques.



Photo prise entre 2006 et 2010 et situation actuelle

Le complexe « Orlando » situé dans la ZAC de Jarry offre un bon exemple de rénovation énergétique réussie. Deux des trois bâtiments équipés de grandes façades vitrées en vis-à-vis ont bénéficié de l'extension de la toiture existante et de l'ajout de nombreux brise-soleil sur une structure en pente qui limite désormais l'ensoleillement direct sur les façades vitrées, réduisant ainsi les besoins de climatisation. L'extension de la toiture Nord aurait pu être moindre étant donné que le soleil y est plus haut dans le ciel. Cela permet toutefois une cohérence architecturale et surtout la pose d'un générateur photovoltaïque.

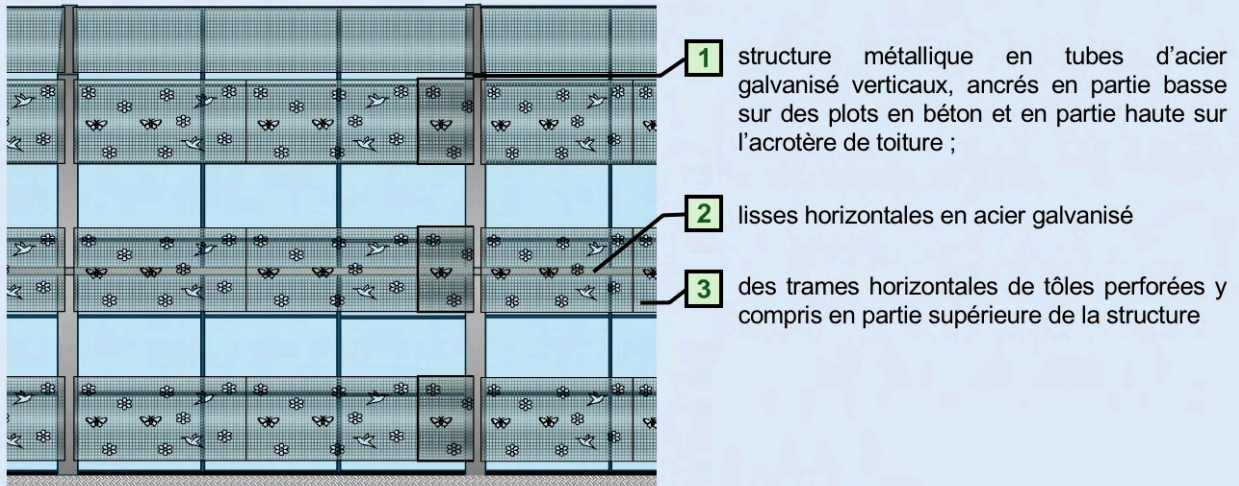
TÔLE PERFORÉE → les essentiels



Description	Écran fixe ou mobile constitué d'une tôle métallique ajourée (perforée, déployée ou découpée) positionnée juste devant les vitrages ou en façade pour réduire les apports solaires directs tout en préservant la lumière naturelle et la visibilité.
Principe	Le brise-soleil agit comme un masque : il bloque le rayonnement solaire direct et réfléchi tout en laissant passer la lumière naturelle diffuse.
Configurations possibles	<ul style="list-style-type: none"> • Pose verticale déportée : en brise-soleil, parement ou peau secondaire • Pose horizontale : en casquette ou auvent filtrant • Fixe ou mobile : panneaux orientables, coulissants ou pliants. • Taux de perforation : généralement entre 20 % et 50 % selon le niveau d'occultation souhaité.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> + Réduction significative des apports solaires, le dimensionnement ne pas de l'orientation de la façade. + Coût peu élevé + Entretien limité, durabilité + Intégration architecturale possible dans le design de la façade
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Risque de sous-éclairage si la porosité est trop faible - Nécessite une étude d'un BET structure pour les grandes portées
Points de vigilance	<p>Les teintes claires emmagasinent moins de chaleur</p> <p>Vérifier la résistance mécanique du support et la prise au vent</p>
Coût HT fourni posé	200 à 500 €/m ²

TÔLE PERFORÉE → approfondissements

Une double peau en tôle perforée présente l'avantage d'une maintenance réduite et d'une efficacité dès la première année.



Structure avec tôles perforées devant la façade et en partie supérieure

Le coût d'investissement initial ainsi que le bilan carbone sont supérieurs par rapport à une solution végétalisée. Toutefois, les coûts de maintenance de la tôle perforée sont presque nuls (nettoyage périodique 1 à 2 fois par an et vérification ponctuelle des fixations) en comparaison avec une façade végétale.



Caractéristiques

Matériau	Aluminium, acier galvanisé ou inoxydable, alucobond
Épaisseur	2 à 5 mm
Diamètre des perforations	5 à 20 mm, disposées en quinconce ou en ligne
Poids surfacique	5 à 15 kg/m ² selon matériau et motif

VOILE D'OMBRAGE → les essentiels

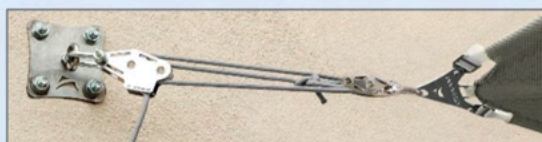
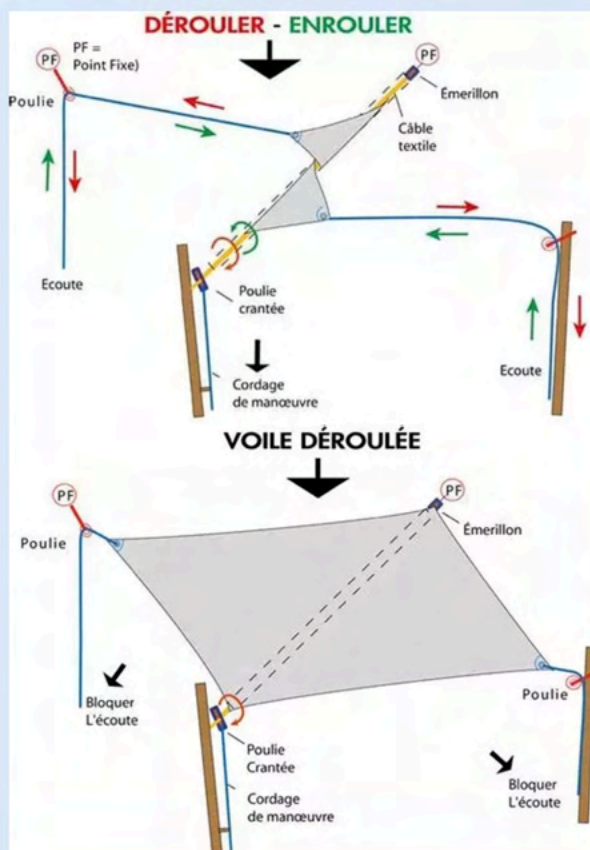
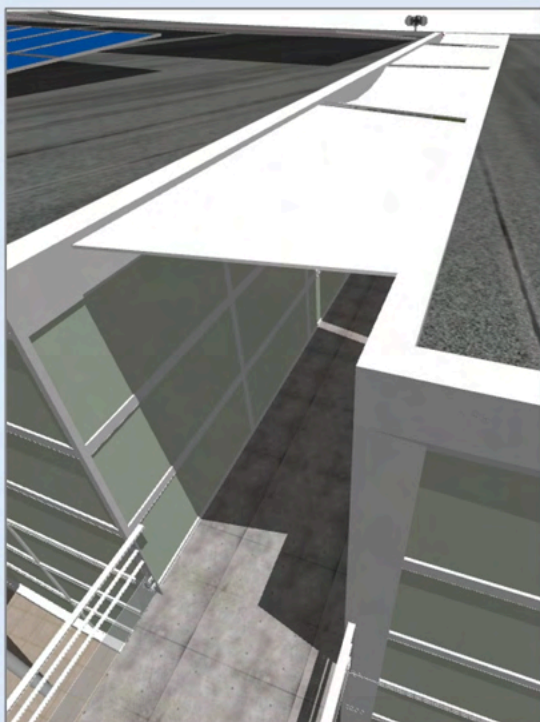


Description	Toiles tendues en matériau technique (textile, membrane ou composite) destinées à créer des zones d'ombre temporaires ou permanentes.		
Principe	Le voile d'ombrage agit comme un écran souple et perméable. Il bloque une partie du rayonnement solaire direct et diffuse la lumière naturelle en dessous. Son efficacité dépend de la forme du voile et de la hauteur d'installation.		
Configurations possibles	Voile triangulaire, trapézoïdal ou rectangulaire, fixe ou démontable.	Fixation : sur mâts, façades ou structures existantes (câbles, tendeurs, ancrages).	Installation simple ou croisée pour couvrir de grandes surfaces.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> + Protection solaire légère, réversible et modulable (peut être démontée ou ajustée) idéale pour les patios + Solution économique par rapport à des structures rigides + Liberté esthétique importante (formes, couleurs, superpositions, ...) 		
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Durée de vie limitée selon la qualité du tissu (salissures, décoloration) - Risque de déchirure ou d'arrachement en cas de vents violents - Entretien régulier (tension, nettoyage) 		
Points de vigilance	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier la tension du voile et son inclinaison pour éviter les poches d'eau et flottements • Accessibilité pour démontage rapide ou entretien à anticiper. 		
Coût HT fourni posé	300 à 900 €/m ²		

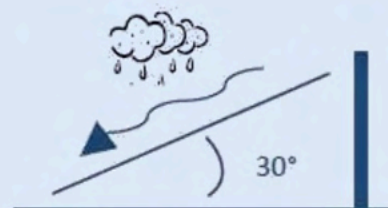
VOILE D'OMBRAGE → approfondissements

Les voiles d'ombrage sont souvent configurés sur mesure, selon les besoins : toiles ajourées, membranes déperlantes, opacité. Disponibles en formes variées, les toiles peuvent aussi habiller des structures adaptées. Des systèmes de tension et d'ancrage adaptés à chaque support (béton, métal, ossature bois) garantissent une tenue durable. Certaines configurations intègrent des dispositifs enroulables, facilitant le déploiement et le repli de la voile pour un usage flexible et sécurisé.

Résistance au vent	Jusqu'à 100 km/h (au-delà : démontage conseillé)
Durée de vie	10 à 20 ans selon matériau et UV
Entretien	Nettoyage annuel, tension à vérifier



Exemple de fixation d'un voile d'ombrage



Pour une bonne évacuation des eaux pluviales il est conseillé de mettre en œuvre les voiles avec une pente d'au moins 30°

FILMS SOLAIRES → les essentiels



Description	Feuille mince souvent multicouche appliquée directement sur un vitrage pour diminuer son facteur solaire.	
Principe	Les films solaires réfléchissent une partie du rayonnement visible et infrarouge, en absorbent une autre partie et transmettent le reste.	
Configurations possibles	Pose extérieure : plus performante pour stopper la chaleur mais nécessite une résistance UV et climatique renforcée	Pose intérieure : simple et protégée des intempéries /!\ efficacité diminuée
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> + Solution discrète, légère et réversible (pas de modification architecturale) + Pose rapide sur vitrage existant + Coût modéré comparé à un remplacement de vitrage ou à un brise-soleil + Certains films offrent aussi des performances de sécurité (anti-éclats) 	
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Durabilité limitée - Risque de surchauffe du vitrage si film mal adapté 	
Points de vigilance	Cette solution est à utiliser en dernier recours ou en complément d'autres solutions puisqu'elle est celle qui diminue le moins le facteur solaire	
Coût HT fourni posé	20 à 80 €/m ²	

FILMS SOLAIRES → approfondissements

Les films solaires constituent une famille très vaste de produits, dont les performances et les usages varient fortement selon leur technologie, la composition et l'application. Ils peuvent être classés en plusieurs grandes catégories :

Films métallisés

- Dépôt de couches métalliques (aluminium, argent, titane, ...).
- Meilleure réduction du facteur solaire par réflexion.
- Aspect : légèrement miroir à fortement réfléchissant.
- Large palette de nuances selon marques (du gris clair au bronze foncé).

Films teintés

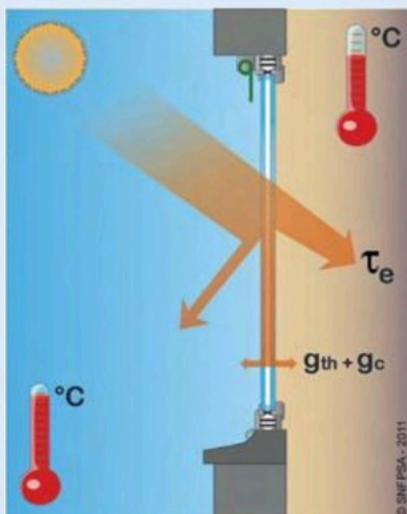
- Couleurs obtenues par pigments organiques ou inorganiques dans la couche polyester.
- Fonctionnent principalement par absorption du rayonnement.
- Teintes : gris, bronze, fumé, bleu, vert, ...

Films nano-céramiques (IR sélectifs)

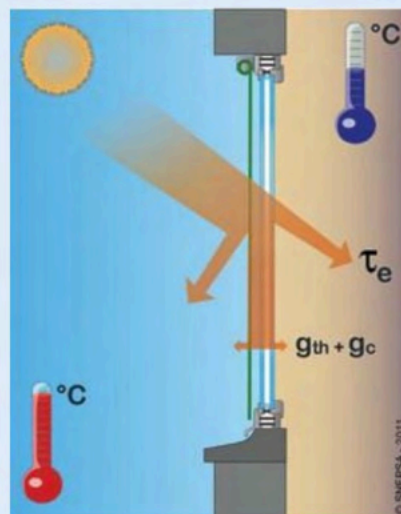
- Couches céramiques transparentes, sans métallisation.
- Très haute transmission lumineuse (> 60 %).
- Aspect neutre depuis l'extérieur.
- Très bonne stabilité UV, absence de corrosion, idéal en climat marin.

Films micro-perforés

- Micro-perforations régulières (20 à 40 % de taux d'ouverture)
- Transmission lumineuse modérée.
- Support de communication visible depuis l'extérieur.



Sans film solaire



Avec film solaire

τ_e : facteur de transmission solaire direct

g_{th} : facteur de rayonnement thermique

g_c : facteur de convection

OPACIFICATION DES ALLÈGES (et des impostes) → les essentiels



Bureau avec allège translucide (gauche) et protégé par une paroi isolée en allège (droite)

Description	Mise en œuvre d'un panneau opaque au niveau des zones vitrées non nécessaires à la vision (en partie basse – allège – ou en partie haute – imposte)		
Principe	Le principe consiste à transformer une zone vitrée secondaire (souvent pour les vitrages surdimensionnés) en surface opaque ou faiblement transmissive. Cela permet de réduire les apports solaires tout en conservant la transparence du reste du vitrage.		
Configurations possibles	Pose extérieure : plus efficace mais nécessite souvent un entretien	Pose intérieure : simple et protégée des intempéries /!\ efficacité diminuée	Pour les fenêtres bandeau et les mur-rideau, les impostes peuvent aussi être opacifiées
Avantages	+ Solution simple et peu coûteuse comparée à un remplacement complet du vitrage + Peut être mise en œuvre en rénovation sans modification structurelle.		
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Risque de condensation dans la lame d'air si non ventilée. - Échauffement du vitrage si le panneau est trop proche - Si pose intérieure, gains thermiques moindres → la chaleur a déjà traversé le vitrage 		
Points de vigilance	<ul style="list-style-type: none"> • Assurer la continuité avec menuiseries et plinthes • Privilégier des poses démontables pour maintenance ou accès au vitrage 		
Coût HT fourni posé	100 à 200 €/m ²		

OPACIFICATION DES ALLÈGES (et des impostes) → approfondissements

Les allèges vitrées ne suscitent pas d'intérêt d'un point de vue apport en lumière naturelle et engendrent des apports thermiques importants.

On peut opacifier ces allèges vitrées, par la mise en œuvre d'un panneau opaque de Komacel côté intérieur (variante 1), ou par un habillage extérieur par panneau d'Alucobond (variante 2).

Variante 1 (Komacel)

Le matériau proposé est le Komacel : plaques de PVC expansé d'épaisseur 10mm. En dépit d'un bilan carbone peu favorable, ce matériau PVC reste un compromis acceptable. Il dispose d'un classement au feu compatible en ERP (M1 en épaisseur 10 mm).

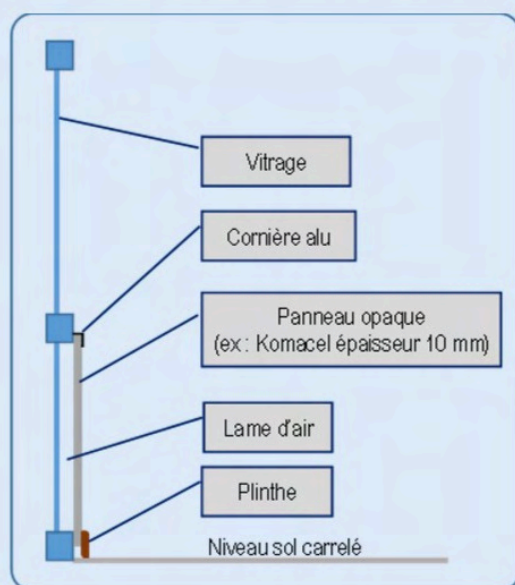
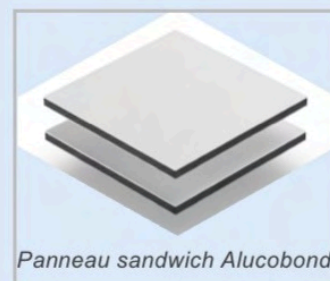
Avantages :

- Très bon rapport coût efficacité
- Travaux intérieurs, sans impacts sur la structure du bâtiment
- Pas d'impacts sur l'architecture extérieure du bâtiment
- Finition lisse, blanche, sans peinture
- Rapidité d'exécution, la propreté et la flexibilité



Variante 2 (Alucobond)

Cette solution bloque le rayonnement solaire avant qu'il ne pénètre à l'intérieur du bâtiment. Son principal atout réside dans sa mise en œuvre rapide et non intrusive, ne générant aucune perturbation pour l'activité du site. Il bénéficie aussi d'une bonne longévité. Grâce à la variété de finitions et de couleurs disponibles, il permet d'animer les façades en apportant une dimension esthétique et architecturale valorisante au bâtiment.



MASQUE VÉGÉTAL → les essentiels



Description	Plantation d'arbres pour limiter les apports solaires sur les façades et/ou les abords des bâtiments.	
Principe	La végétation crée un masque naturel contre le rayonnement solaire direct en ombrageant surfaces vitrées et parois opaques, ainsi qu'en réduisant la réverbération sur les surfaces minérales environnantes (parvis, parking, etc.). L'efficacité dépend de la densité du feuillage, du type d'essence choisie, et de la position du végétal par rapport au bâtiment.	
Configurations possibles	Quelques grands arbres feuillus, placés à distance pour ombrager une façade ou une baie vitrée spécifique.	Plantation d'espèces moins denses mais plus nombreuses le long d'une façade, voire une haie haute.
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> + Ombre naturelle à faible coût + Intégration paysagère et esthétique du site + Amélioration de la biodiversité et du cadre de vie + Réduction des îlots de chaleur urbains 	
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Temps de croissance avant efficacité optimale (plusieurs années) - Nécessite un entretien régulier (taille, arrosage, gestion racinaire) - Interaction possible avec les réseaux ou fondations à proximité 	
Points de vigilance	<ul style="list-style-type: none"> • Choisir des essences adaptées au climat, qui présentent un intérêt pour la biodiversité et n'attirent pas les nuisibles ni ne sont des espèces invasives • Préférer des espèces à feuillages persistant aux espèces à feuillage caduc. 	

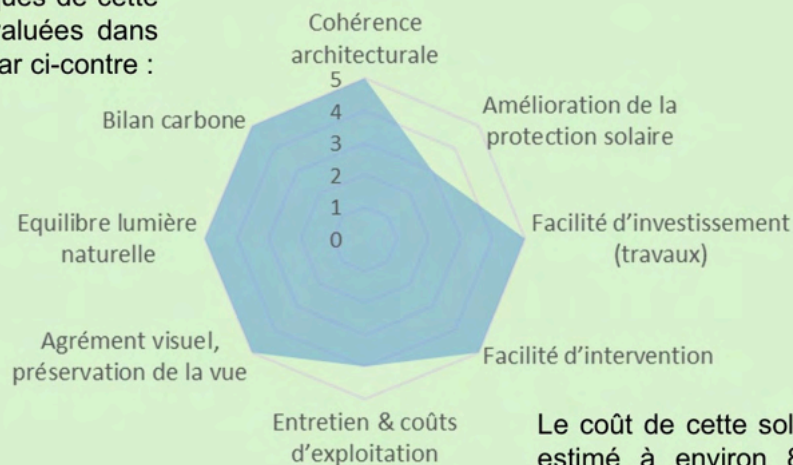
MASQUE VÉGÉTAL → approfondissements



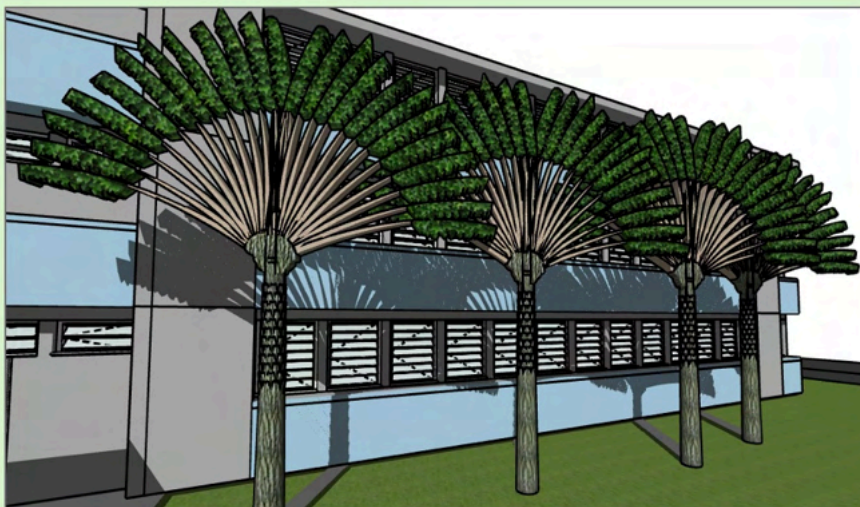
○ Zone à arborer

La façade Sud-Ouest est exposée au soleil à partir de 9h le 21 décembre et à partir de 12h le 21 juin. Pour maximiser la protection solaire de cette façade, il est conseillé de planter de grandes espèces végétales à une faible distance de la façade. La protection nécessite cependant un certain temps avant d'être pleinement efficace, selon l'âge et le feuillage de l'espèce végétale choisie. De plus, l'espèce d'arbre est à déterminer judicieusement afin d'éviter la présence de nuisibles à proximité du bâtiment.

Les caractéristiques de cette solution sont évaluées dans le graphique radar ci-contre :



Le coût de cette solution est estimé à environ 8 000 € pour une économie d'énergie globale de l'ordre de 3%.



Les espèces fruitières sont généralement à exclure, en raison du risque de présence des rongeurs lors de la saison de murissement.

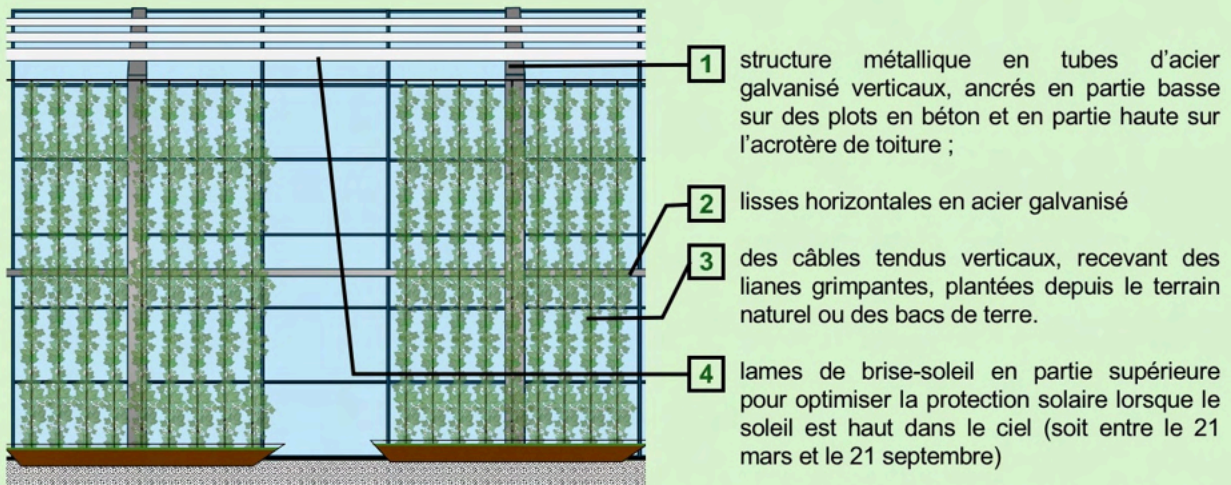
Il conviendra, en phase ultérieure, de confirmer les choix, avec l'expertise d'un paysagiste intégré à l'équipe de maîtrise d'œuvre des travaux à réaliser.

STRUCTURE VÉGÉTALISÉE → les essentiels



Description	Dispositifs verticaux constitués d'une ossature et/ou d'un support porteur déportés de la façade, colonisés, même partiellement, par des plantes grimpantes.	
Principe	En plaçant la structure au plus proche du bâtiment, à la manière d'une double peau, on peut bloquer le rayonnement solaire direct venu du haut, le rayonnement diffus venu de toutes les directions ainsi que le rayonnement réfléchi venu du bas. De plus, le phénomène d'évapotranspiration diminue légèrement la température ambiante.	
Configurations possibles	Treillis métallique, câbles inox : Support léger pour plantes grimpantes	Panneaux végétalisés pré-cultivés : Systèmes techniques avec substrat et irrigation intégrés (façades « vivantes ») /!\ Solutions les plus lourdes
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> + Coût (€) plus faible que des brise-soleil classiques + Filtrage naturel du rayonnement solaire + Effet de rafraîchissement local par évapotranspiration + Esthétique valorisante et intégration paysagère + Faible empreinte carbone de la solution 	
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Entretien régulier requis - Système d'irrigation souvent nécessaire, même en climat tropical - Poids et contraintes structurelles à prendre en compte pour la façade - Délai de croissance avant efficacité optimale (selon les espèces) 	
Points de vigilance	<ul style="list-style-type: none"> • Choisir des essences adaptées au climat, à croissance maîtrisée, qui présentent un intérêt pour la biodiversité et n'attirent pas les nuisibles ni ne sont des espèces invasives • Vérifier la résistance mécanique du support et la prise au vent • Planifier l'accès pour maintenance et taille régulière 	
Coût HT fourni posé	100 à 300 €/m ²	

STRUCTURE VÉGÉTALISÉE → approfondissements



Structure avec lianes grimpantes sur câbles tendus devant la façade et brise soleil en partie supérieure

L'ensemble permet une protection solaire satisfaisante, tout en ménageant l'agrément visuel et des apports de lumière naturelle suffisants.

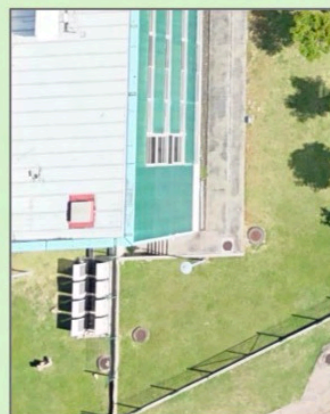
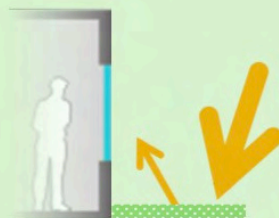
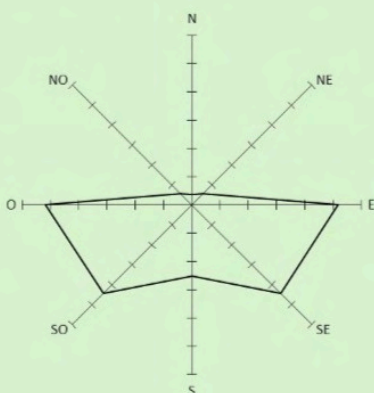
Critères de choix des espèces

- l'agrément : visuel, olfactif, ... Sur ce critère, les bougainvilliers sont par exemple à déconseiller en raison de la présence de nombreuses épines pouvant présenter un danger sur les bâtiments recevant du public ;
- la robustesse : en zone tropicale, les aléas naturels sont nombreux (cyclones, inondations, sécheresses, attaques de fourmis manioc, ...) ;
- l'intérêt pour la biodiversité, notamment la capacité des fleurs à attirer plusieurs espèces de faune (colibris, oiseaux, ...) ;
- compatibilité avec un entretien réduit, afin de minimiser les ressources à déployer par l'exploitant du bâtiment ;
- l'absence de contre-indications sanitaires : exclusion de toutes les espèces invasives liées à des risques sanitaires, favorisant la nidification des nuisibles (rongeurs notamment) ;
- l'absence de contre-indications vis-à-vis du bâtiment : exclusion des espèces invasives susceptibles de détériorer les supports et les bâtiments.

Exemples d'espèces adaptées



VÉGÉTALISATION DES ABORDS → les essentiels



« Zone d'impact » aux Antilles du rayonnement réfléchi selon différentes orientations

Description	Remplacement d'une surface minérale par une surface végétale aux abords du bâtiment.
Principe	Le principe repose sur le remplacement des surfaces minérales (bitume, béton, pavés clairs) par des sols perméables et végétalisés. Ces aménagements réduisent la réverbération du rayonnement solaire sur les façades et vitrages, favorisent l'infiltration des eaux pluviales et créent un microclimat plus frais autour du bâtiment, limitant les besoins de rafraîchissement.
Configurations possibles	<ul style="list-style-type: none"> • Pelouses, prairies fleuries, massifs arbustifs • Cheminements perméables (pavés drainants, graviers stabilisés, dalles engazonnées, ...) • Noues végétalisées → gestion de l'eau de ruissellement tout en améliorant le confort thermique. • Zones d'ombrage par végétation basse (y compris bacs plantés).
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> + Réduction de la température ambiante et du rayonnement réfléchi + Contribution à la gestion des eaux pluviales + Amélioration esthétique et valorisation paysagère du site + Bilan carbone bien meilleur qu'un sol minéral
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessite un entretien régulier (arrosage, tonte, ...) - Solution parfois difficile à mettre en œuvre d'un point de vue réglementaire (bâtiments en limite de propriété, copropriété, ...) - Solution sensible à la sécheresse ou au piétinement intensif
Points de vigilance	Les sols végétalisés, notamment lorsqu'il s'agit de parkings, peuvent se déformer avec le temps (apparition de bosses et creux) si la structure portante ou le drainage ne sont pas correctement conçus (terrassement, compactage, couche drainante).

VÉGÉTALISATION DES ABORDS → approfondissements

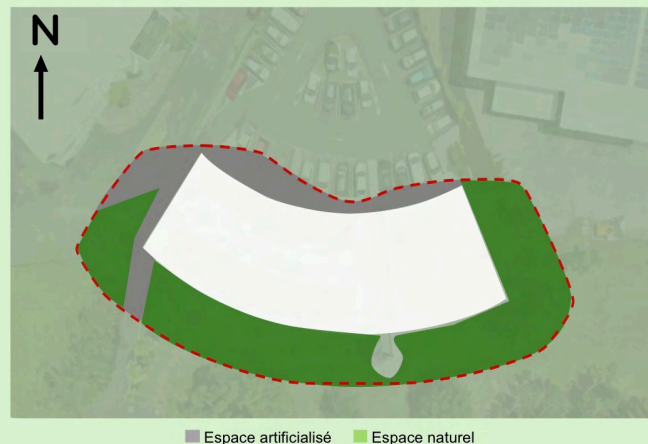
Le rayonnement solaire direct n'est pas le seul à contribuer aux surchauffes du bâtiment. En effet, le rayonnement solaire réfléchi par les abords des façades doit également être pris en compte.

Dans cet exemple, les surfaces situées à l'intérieur du périmètre rouge sont celles qui réfléchissent, au moins une partie de l'année, le rayonnement solaire perçu sur le bâtiment.

La façade Nord du bâtiment est celle qui perçoit le plus de rayonnement réfléchi par le sol. Il est possible de diminuer ce rayonnement réfléchi : en disposant des bacs plantés au pied de cette façade par exemple. Les abords du pignon Ouest sont également artificialisés même si le muret en limite de parcelle réduit la surface impactée par le rayonnement réfléchi.

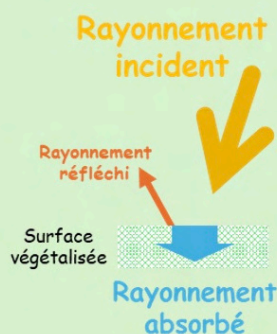


Ombrage sur la place – ville du Moule - Guadeloupe- Plantations de Bucida (black olive, amandier nain ou bois gli), photo : EQUINOXE



■ Espace artificialisé ■ Espace naturel

De manière générale, une surface minérale comme le carrelage de couleur claire utilisé réfléchira davantage le rayonnement solaire qu'une surface végétalisée. Ce rapport entre flux solaire incident et réfléchi est appelé coefficient d'absorption, il varie entre 0 (surface totalement absorbante) et 1 (surface totalement réfléchissante), on le note α .



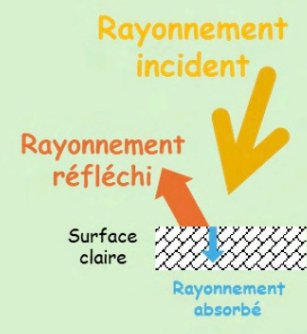
$$\alpha \approx 0,75 - 0,95$$

Absorbe bien le rayonnement, mais s'autorégule par évapotranspiration



$$\alpha \approx 0,80 - 0,95$$

Très absorbant, se réchauffe fortement au soleil



$$\alpha \approx 0,40 - 0,60$$

ÉQUILIBRE ENTRE PROTECTION SOLAIRE ET ÉCLAIREMENT NATUREL D'UN BÂTIMENT TERTIAIRE

FACTEUR SOLAIRE DE LA COMPOSANTE DIRECTE DU RAYONNEMENT SOLAIRE ET FACTEUR D'AUTONOMIE EN LUMIÈRE DU JOUR



OBJECTIFS

Trouver un optimum entre protection solaire et lumière naturelle

Cette annexe a une vocation pédagogique pour les concepteurs : elle examine, de manière itérative, pour un bureau donné représentatif de la cible des projets concernés par HÉLIODROM, les facteurs solaires de la composante directe du rayonnement solaire en même temps que l'autonomie en lumière du jour (ALJ) pour définir des configurations type de dispositifs de protection solaire permettant à la fois :

- une protection solaire efficace garantissant le confort thermique et la minimisation des besoins de climatisation ;
- une bonne autonomie en lumière du jour permettant un bon confort visuel et un faible recours à l'éclairage artificiel.

L'atteinte de niveaux de performances souhaitées est caractérisée pour la protection solaire par l'obtention:

- pour les mois où la baie est potentiellement ensoleillée de valeurs de facteurs solaires moyens en dessous de certains seuils, définissant le niveau d'efficacité de la protection solaire [1] ;
- pour le mois le plus défavorable, c'est-à-dire celui où la baie est la plus ensoleillée, de valeurs de facteurs solaires maximaux en dessous d'un autre seuil, un peu moins contraignant que le seuil moyen, définissant, lui, le niveau d'efficacité de la protection solaire pendant cette période de l'année la plus défavorable ;

La caractérisation de l'atteinte de niveaux de performances souhaitées en matière de lumière naturelle consiste, quant à elle, à l'obtention de valeur des facteurs d'autonomie en lumière du jour (ALJ) pour un niveau d'éclairage naturel optimal pour une activité donnée (ici, pour des bureaux ou locaux commerciaux, 300 lux) pendant la période d'utilisation (standardisée ici de 8h à 17h) dépassant certains seuils, pour les valeurs maximales, médianes et enfin pour les valeurs minimales . Cette dernière valeur, l'ALJ minimal, est essentielle car elle caractérise bien la capacité de la configuration architecturale étudiée, à permettre à la lumière de pénétrer en profondeur dans le bureau.

Notons enfin que nous sommes aussi à la recherche d'une certaine « cohérence architecturale » en plus du traitement des problématiques de confort thermique et visuel. Nous nous sommes donc attachés à **développer une famille de solutions** (sachant qu'un grand nombre d'autres seraient à explorer, mixant les réponses horizontales et verticales) qui permettent en fixant, après plusieurs itérations, un paramètre (en l'occurrence le nombre de lames et donc l'entraxe inter-lames) d'avoir **des réponses permettant**, de l'extérieur (c'est-à-dire en « élévation »), **une perception homogène du traitement architectural, pour des façades d'orientations différentes...**



[1] Notons qu'il ne s'agit pas ici d'une caractérisation précise de l'efficacité énergétique, stricto sensu, des protections solaires qui calculerait la somme, sur des journées mensuelles ensoleillées des produits, heure par heure, des facteurs solaires par les énergies incidentes, mais seulement des facteurs de transmission solaire moyens pour les journées où la façade correspondante est ensoleillée. Notons toutefois que les sens de variation entre solutions sont bons et qu'ils donnent une perception suffisante de l'efficacité relative des dispositifs de protection solaire.



HYPOTHÈSES

Les calculs itératifs sont conduits pour les hypothèses données ci-après, sachant que d'autres « famille de cas » mériteraient d'être analysées :

- Local : bureau de 3 m de façade, 5 m de profondeur, 3m de hauteur sous plafond
- Ouverture : allège 1 m - hauteur 2 m - largeur 3 m (la largeur totale du bureau) /Allège totalement pleine et opaque
- Localisation : Pointe à Pitre (données climatiques du Raizet)
- Orientations testées : Sud / Sud Est = Sud Ouest / Est = Ouest / Nord Est = Nord Ouest
- Epaisseur mur : 25 cm / Fenêtre au droit intérieur du mur extérieur / Facteur de cadre 20% (donc facteur de vitrage 80%)
- 2 variantes de vitrages :
a) clair et b) antélio argent – Facteur transm. énergétique et transm. / lumineuse respectifs pour a) = 0,87 / 0,9 et b) = 0,68/0,66
- Protections solaire de type lames horizontales avec des lames fines perpendiculaires à la paroi : plusieurs variantes de nombre et de largeurs de lames . Les lames elles sont équidistantes : par exemple 4 lames équidistantes de 50 cm et donc des implantations situées respectivement à 0,5m, 1m, 1,5m et 2m au dessus de l'allège . Facteur de réflexion des lames = 0,45
- Joues latérales supposées égales à la moitié de largeur des lames pour limiter les effets de bord sur le vitrage et représenter, en première approximation avec les limites de l'outil de calcul employé, une façade filante.
- ALJ calculé toute l'année à 300 lux sur un plan à 1 m du sol (hauteur du plan de travail d'un bureau) pour des horaires de 8h à 17h avec des simulations de lumière du jour faites pour un ciel couvert conventionnel.
- Teintes (albedo) des parois des pièce fixées respectivement pour les sols/mur/plafond à 0,3 /0,5/0,7 correspondant respectivement à des teintes sombres, moyennes et claires et qui traduisent généralement bien la réalité physique moyenne d'aménagement d'un bureau.

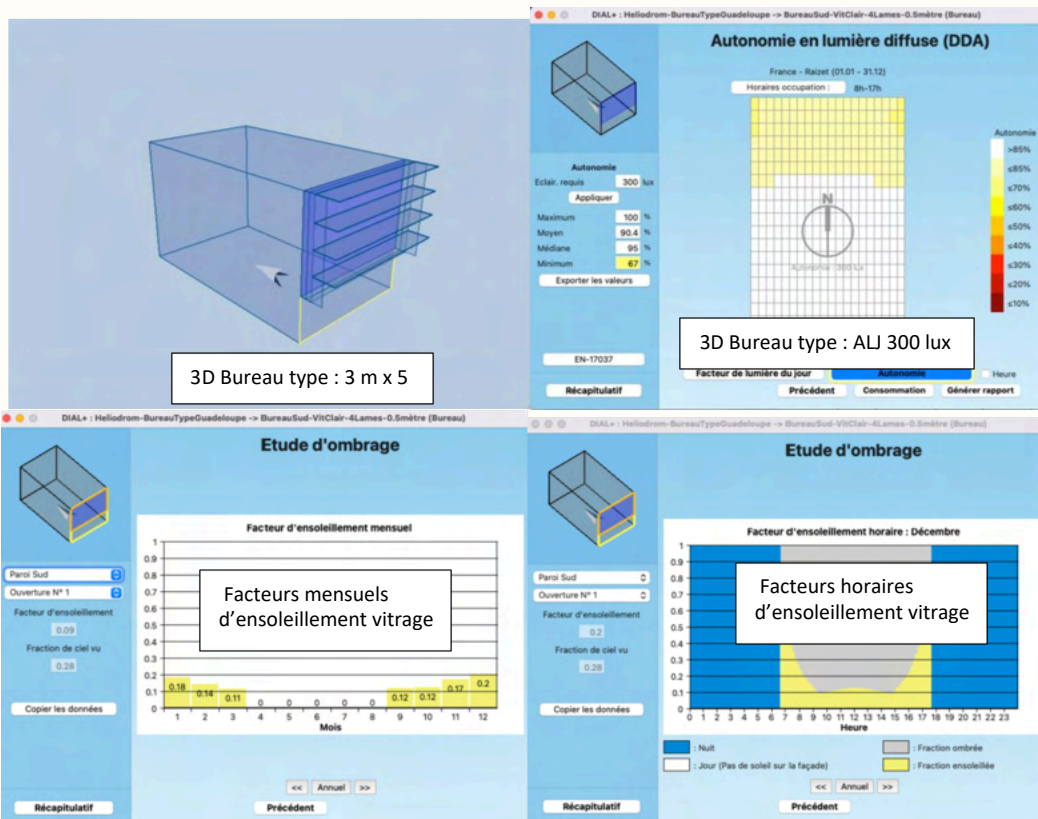
Notons enfin que nous avons supposé qu'il n'y avait pas de cloisonnement intérieur dans la zone d'évaluation.



CARACTÉRISATION DES NIVEAUX DE PERFORMANCE

Les calculs présentés ci-après ont été réalisés avec l'outil de calcul DIAL+ conçu et développé par l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) et maintenant diffusé, maintenu et actualisé par le BE ESTIA à Lausanne. Cet outil largement utilisé, notamment dans les écoles d'architecture, comprend plusieurs logiciels dont un outil de STD mono-zone non employé directement ici, un logiciel de calcul de FLJ et ALJ (moteur de calcul Radiance) utilisé ici et un petit logiciel de calcul géométrique d'incidence du rayonnement solaire direct, utilisé ici comme base de caractérisation de la performance du composant « baie plus protection solaire associée ». La baie a, ici, comme caractéristique intrinsèque a) son facteur de cadre b) les facteurs de transmission énergétique et de transmission lumineuse de son vitrage.

Les impressions d'écran ci-après donnent des exemples de sortie de visualisation du modèle de bureau et des calculs effectués.



Exemple de graphiques de sortie des calculs d'autonomie lumineuse et simulations de facteurs d'ensevelissement : orientation Sud / 4 lames de 50 cm

Le tableau ci-après est le récapitulatif des simulations effectuées avec la caractérisation des niveaux d'appréciation de performances des divers indicateurs de performance thermique et lumineuse, proposés par une nomenclature de couleurs.

Cas	Orientation	Vitrage	Nombre lames	Largeur lames (m)	Mois fact solaire nul	Mois fact solaire non nul	Fact solaire incident moy	Fact solaire transmis moy	Fact solaire incident mens max	Facteur solaire transmis mens max	ALJ annuel Max	ALJ annuel Médian	ALJ annuel Min
Vitrage clair													
1	Sud	Clair	0	0	5	7	64%	44%	81%	56%	100%	98%	89%
2	Nord	Clair	0	0	7	5	28%	19%	41%	29%	100%	99%	81%
3	Sud	Clair	2	0,5	5	7	25%	17%	41%	29%	100%	98%	78%
4	Sud	Clair	4	0,5	5	7	15%	10%	20%	14%	100%	95%	67%
5	SE/SO	Clair	2	0,5	0	12	34%	24%	42%	29%	100%	98%	78%
6	SE/SO	Clair	4	0,5	0	12	24%	17%	29%	20%	100%	95%	67%
7	Est/Ouest	Clair	4	0,5	0	12	30%	21%	34%	24%	100%	94%	65%
8	Est/Ouest	Clair	4	1	0	12	14%	10%	16%	13%	99%	85%	30%
9	Est/Ouest	Clair	4	0,75	0	12	22%	15%	24%	17%	99%	84%	52%
10	NE/NO	Clair	4	0,5	0	12	22%	16%	30%	21%	100%	91%	57%
11	Nord	Clair	4	0,5	8	4	9%	6%	15%	10%	100%	89%	50%
12	Nord	Clair	4	0,25	7	5	14%	10%	24%	17%	100%	96%	66%
Vitrage antélio sans ou avec lames													
13	Nord	Antélio Arg	0	0	7	5	28%	15%	41%	22%	100%	100%	64%
14	Sud	Antélio Arg	0	0	5	7	64%	35%	81%	44%	100%	99%	79%
15	SE/SO	Antélio Arg	0	0	0	12	66%	36%	73%	40%	100%	99%	79%
16	Est/Ouest	Antélio Arg	0	0	0	12	66%	36%	75%	41%	100%	99%	77%
17	NE/NO	Antélio Arg	0	0	0	12	62%	34%	71%	39%	100%	98%	66%
18	Sud	Antélio Arg	4	0,5	5	7	15%	8%	20%	11%	100%	88%	47%
19	SE/SO	Antélio Arg	4	0,5	0	12	24%	13%	29%	16%	100%	88%	47%
20	Est/Ouest	Antélio Arg	4	0,5	0	12	30%	16%	34%	18%	100%	87%	43%
21	Est/Ouest	Antélio Arg	4	0,75	0	12	22%	12%	24%	13%	99%	69%	22%
22	NE/NO	Antélio Arg	4	0,5	0	12	22%	12%	30%	16%	99%	83%	30%
23	Nord	Antélio Arg	4	0,25	7	5	14%	8%	24%	13%	100%	92%	46%

	Nomenclature performances					
	Confort thermique			Confort visuel		
	Fact solaire transmis moy	Fact solaire incident mens max	Facteur solaire transmis mens max	ALJ annuel Max	ALJ annuel Médian	ALJ annuel Min
Très bon	<15%		<20%	>90%	>90%	>70%
Assez bon	>15% et <20%		>20% et <25%		>80% et <90%	>60% et <80%
Moyen	>20% et <35%		>25% et <30%		>70% et <80%	>50% et <60%
Mauvais	>35% et <45%		>30% et <45%			<50% et >30%
Très mauvais	>45%		>45%			<30%

Calculs itératifs de facteurs solaire et d'autonomie lumineuse



INTERPRÉTATION

Privilégier les protections solaires architecturales aux vitrages réfléchissants

Les simulations mettent en évidence, par itération, les configurations qui sont globalement les plus performantes (thermique et lumière) pour chaque orientation choisies, sur un spectre limité à 8 orientations (avec des symétries par rapport au Sud c'est-à-dire que SE = SO , E = O , etc...) et ce avec un nombre limitatif de cas examinés pour des raisons évidentes de temps d'investigation :

- seulement des solutions à 2 ou 4 lames ont été examinés alors que diverses variantes auraient pu être analysées : 3 lames, 5 lames etc...
- seulement des solutions avec des lames de 1m, 0,75m, 0,5 m et 0,25 ont été étudiées, alors que des incréments de 0,1m auraient pu être étudiés : 0,1 m, 0,2 m, 0,3 m etc...

Les résultats quantifiés pourront alimenter de nombreux aspects conceptuels de stratégies de protection solaire en zone tropicale en grande partie extrapolables pour les périodes estivales des climats tempérés :

- mise en évidence du fait que pour toutes les orientations une protection solaire est essentielle même si, pour les orientations très proches du Nord (dans l'hémisphère Nord), la profondeur du tableau joue en partie ce rôle. En effet on a quand même une pénétration solaire de près de 30% de l'ensoleillement aux mois les plus pénalisant pour les vitrages clairs . Et pour ces orientations très proches du Nord, une alternative avec un vitrage partiellement réfléchissant va améliorer légèrement le confort thermique mais c'est alors au détriment du confort visuel ;
- mise en évidence, en termes d'harmonie architecturale, du fait qu'entre les deux variantes à de 2 ou 4 lames, la solution à 4 lames est préférable car manifestement pour les orientations proches de l'Ouest ou de l'Est les largeurs des 2 lames auraient été colossales en raison de la course du soleil bas sur l'horizon. Elles auraient donc généré des contraintes structurelles importantes.
- mise en évidence du fait qu'un vitrage de la gamme antélio-argent, choisi pour avoir un assez bon coefficient de transmission lumineuse, est insuffisant pour assurer une protection solaire correcte et doit donc, dès qu'on est au delà des orientations allant NNO à NNE, n'être utilisé éventuellement qu'en complément d'une protection solaire véritable, architecturale ou végétale . Mais alors le confort visuel est dégradé en fond de pièce par rapport à une solution avec vitrage clair alors que nos simulations concernent un local d'une profondeur pourtant relativement modeste (rapport profondeur de pièce versus point haut de captage de lumière de 5/3 soit moins de 2). En fait les vitrages non transparents pénalisent considérablement les zones éloignées de la façade, même s'ils apportent un léger plus sur le plan thermique. En conséquence l'utilisation d'antélio-havane ou autres vitrages traités plus performants sur le plan thermique auraient conduit à des performances encore dégradées en termes de confort visuel.



En synthèse donc, cette annexe met en évidence qu'un bon compromis entre confort thermique et confort visuel est obtenu par l'emploi de vitrages clair et une stratégie de protection solaire adaptée à l'orientation, dont nous n'avons exploré ici que quelques archétypes, parmi un très large nombre de variantes qui contribueront à exprimer la richesse d'une architecture répondant à l'urgence climatique contemporaine.

BIBLIOGRAPHIE



9. BIBLIOGRAPHIE

[1] *Conception des protections solaires - Principes généraux et retours d'expérience* (2022). EnvirobotBDM.

<https://www.enviroboite.net/conception-des-protections-solaires-principes-generaux-et-retours-d-experiences>.

→ Dans la continuité du Panorama des protections solaires, EnvirobotBDM souhaitait avec ce guide apporter une approche plus technique et détaillée de l'efficacité des protections solaires.

[2] *Protections solaires des façades en climat tropical - 12 enseignements à connaître* (2022). Agence Qualité Construction.

<https://qualiteconstruction.com/ressource/rex-batiments-performants/protections-solaires-des-facades-en-climat-tropical-12-enseignements-a-connaître/>

→ Ce rapport, fruit d'une collaboration entre Kebati et l'AQC dans le cadre du programme OMBREE, détaille quelques bonnes pratiques en réponse aux points de vigilance et écueils rencontrés sur le terrain.

[3] *Végétalisation et bâtiments en climat tropical - 12 enseignements à connaître* (2022). Agence Qualité Construction.

<https://qualiteconstruction.com/ressource/rex-batiments-performants/vegetalisation-et-batiments-en-climat-tropical-12-enseignements-a-connaître/>

→ Présentation des nombreux atouts liés à la végétalisation aux abords et au sein des bâtiments.

[4] *Guide d'application des exigences réglementaires - Prise en compte du risque de vents cycloniques dans la conception et la construction des bâtiments en Guadeloupe et en Martinique* (2024). Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires.

https://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/documents/Bulletinofficiel-0033650/TREL2420556S_Annexe_1.pdf

→ Exigences réglementaires sur la mise en œuvre et l'ancrage des protections solaires aux Antilles

[5] *La protection solaire pour des bâtiments durables et à basse consommation* (2018). European Solar-Shading Organization.

https://www.groupeement-actibaie.org/files/DOCUMENTATIONS/GUIDES/ES-SO_GUIDE-LA-PROTECTION-SOLAIRE-POUR-DES-BATIMENTS-DURABLES-ET-BASSES-CONSOMMATIONS-VF.pdf

→ Ce guide traite de la protection solaire et son influence sur l'équilibre énergétique et le confort naturel d'un bâtiment européen.

[6] *Brise-soleil en casquette, Brise-soleil vertical, Brise-soleil à lames orientables (non glissantes)* (2023). Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.

<https://www.proreno.fr/documents/brise-soleil-en-casquette-ou-vertical-ou-a-lames-orientables-fiche-solution-technologique-pour-le-confort-dete>

→ Collection de 15 fiches pratiques sur des solutions clés pour adapter les logements collectifs aux fortes chaleurs en France Métropolitaine.

[7] *Mur extérieur à plantes grimpantes et mur extérieur végétalisé (2023)*. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. <https://batisseurs-outremer.com/wp-content/uploads/2025/08/Mur-exterieur-a-plantes-grimpantes-et-mur-exterieur-vegetalise--Fiche-solution-technologique-pour-le-confort-dete.pdf>

→ **Collection de 15 fiches pratiques la végétalisation des façades extérieures.**

[8] *Guide Ecodom+ version Antilles Françaises (2010)*. ADEME.

<https://www.pergola-outremer.fr/wp-content/uploads/2022/12/guide-ecodom-version-antilles-francaises.pdf>

→ **Guide dédié à la conception bioclimatique des logements aux Antilles**

[9] *Guide fermeture et protection solaire (2010)*. SEBTP éditions.

→ **Les différents niveaux de détails de ce guide permettent à chacun, de l'installateur au prescripteur en passant par le bureau d'études, de trouver l'information qu'il cherche concernant la mise en œuvre de protection solaire pour les menuiseries**

[10] *La Conception architecturale des maisons en bois et ses conséquences sur les économies d'énergie*. ADEME / Conseil Général / Association des métiers du bois et de la forêt. 1985

[11] *Sun Shading Catalogue. Adequate Shading: Sizing Overhangs and Fins* – United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT)

<https://unhabitat.org/sun-shading-catalogue-adequate-shading-sizing-overhangs-and-fins>

[12] *Solar Control and Shading Devices by Olgyay, Aladar and Olgyay, Victor. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, (1957)*. The classic source for information and examples of sun control and shading devices

[...]