TOME 01

MAI 2016

FARECO

LE GUIDE POLYNÉSIEN de l'éco-construction



ADEME

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

SOMMAIRE

1. Première partie : apports fondamentaux 7

1.1 - LE SITE 8
1.1.1 - Définition et principes 8
1.1.2 - Les différents volets d'une analyse de site 8
1.1.3 - Les éléments de rendu et justificatifs demandés 9
1.1.4 - Exemple de plan masse environnemental 10
1.2 - LE BIEN-ÊTRE 10
1.2.1 - Le bien être : une équation complexe 10
1.2.2 - Le confort visuel : couvrir naturellement les besoins en éclairage 11
1.2.3 - Confort hygrothermique 15
1.2.4 - Confort acoustique 21
1.2.5 - Qualité d'air et confort olfactif, qualité d'eau et conditions sanitaires 24
1.3 - LES RESSOURCES ET LES FLUX 27
1.3.1 - Contexte et concept de base 27
1.3.2 - Eléments contextuels 28
1.3.3 - Matériaux : double compromis santé/environnement 29
1.3.4 - Gestion de l'énergie en phase exploitation du bâtiment 31
1.3.5 - Gestion de l'eau 33
1.3.6 - Gestion des déchets 34
1.3.7 - Entretien et Maintenance 35

2. Deuxième partie : outils méthodologiques 37

2.1 - DÉMARCHE BIOCLIMATIQUE DE L'ENVELOPPE 39
2.1.1 - Analyse des conditions favorables à la climatisation naturelle ou artificielle 40
2.1.2 - Réponses architecturales selon les stratégies choisies 42
2.1.3 - Optimisation thermique des composants de l'enveloppe 45
2.2 - EQUIPEMENTS : DEMARCHE NEGAWATT ET OBJECTIFS DE PERFORMANCE 49

3. Application au secteur logement 53

3.1 - IMPLANTATION 54
3.1.1 - Concilier protection solaire et exposition aux vents dominants 54
3.1.2 - Critères influant sur la ventilation 54
3.1.3 - Coefficient de pondération 57
3.2 - MAÎTRISE DES APPORTS DE CHALEUR 57
3.2.1 - Protection solaire de la toiture 58
3.2.2 - Isolation 59
3.2.3 - Protection solaire des ouvrants 63
3.2.4 - Protection solaire des murs 69
3.2.5 - Végétalisation des abords 72
3.3 - VENTILATION 72
3.3.1 - Ventilation naturelle ou climatisation ? 72
3.3.2 - Ventilation naturelle 72
3.3.3 - Rafraîchissement assuré par les climatiseurs 77
3.3.4 - Ventilation hygiénique 78
3.4 - FOURNITURE D'EAU CHAUDE SANITAIRE 79
3.4.1 - Solaire thermique 79
3.4.2 - Solaire photovoltaïque 79
3.5 - ECLAIRAGE PERFORMANT 80
3.6 - SYNTHÈSE 82

4. Annexe 85

Présentation des auteurs 94

AVANT-PROPOS

En Polynésie française, le bâtiment constitue le deuxième plus gros secteur consommateur d'énergie, responsable d'environ 30% de la consommation énergétique finale, juste derrière les transports. A titre de comparaison, en métropole, le secteur du bâtiment se place en tête des consommations énergétiques, avec plus de 43% de la consommation énergétique, soit un poids en termes d'émissions de gaz à effet de serre estimé à 25%.

Les spécificités propres au territoire de la Polynésie française sont nombreuses : climat tropical océanique, modes de construction pas toujours adaptés aux caractéristiques polynésiennes, choix de matériaux restreint et matériaux locaux peu disponibles, réglementations encore limitées sur les thématiques thermiques, etc.

Bon nombre de projets de construction tiennent peu compte de l'aspect environnemental et n'intègrent pas les approches en coût global (cumul des coûts d'investissement et de fonctionnement sur la durée de vie de l'ouvrage). Cette vision à court terme des projets aboutissent à des constructions relativement peu adaptées au climat polynésien, obligeant par exemple à recourir de manière quasi généralisée à la climatisation, en particulier dans la zone urbaine de Tahiti.

Dans ce contexte, la HQE (Haute Qualité Environnementale) et plus largement, l'éco-construction et les principes du bio-climatisme sont perçus comme une solution pour concevoir des bâtiments plus sobres énergétiquement, et plus respectueux de l'environnement.

Ainsi, afin de donner les moyens aux acteurs locaux de la construction de répondre à cette demande, la Polynésie française et l'ADEME ont initié une démarche de sensibilisation et de formation sur ces sujets depuis janvier 2013.

En marge de ces formations, des ateliers de concertations avec les différents acteurs locaux ont été réalisés dans le but de concevoir un référentiel de l'éco-construction destiné aux professionnels et adapté au contexte Polynésien.

Ce guide comprend une trame principale axée sur la méthodologie et les principes généraux de l'éco-construction, ainsi qu'un premier fascicule par typologie de bâtiment qui traite du logement.

A travers ce guide, le Pays et l'ADEME ambitionnent d'initier la montée en compétence des professionnels du bâtiment en Polynésie française, afin de réduire la facture énergétique globale du Pays, et dans le même temps contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, tout en se souciant en priorité du confort et de la qualité de vie des occupants des bâtiments « éco-construits ».

« Nul besoin de faire de la Terre un paradis : elle en est un. A nous de nous adapter pour l'habiter. »

Henry Miller

INTRODUCTION

Un guide pourquoi ?

Un guide qui aide à concevoir et à construire une architecture du bien-être favorisant l'épanouissement individuel et le mieux vivre ensemble pour les occupants,... Un guide qui aide à appliquer avec rigueur des règles de bon sens architectural et technique tout en favorisant, pour chaque projet, l'invention d'une architecture qui s'adapte pas à pas à chaque site, chaque climat, chaque contexte humain, ...

Un guide qui aide à concevoir et à construire une architecture valorisant les ressources naturelles, humaines et économiques d'un site dans le respect de son environnement proche et lointain, dans le temps et dans l'espace...

Un guide qui aide tout simplement à mieux concevoir et à mieux construire au 21ème siècle en Polynésie française, un guide d'aide à éco-construction, intitulé Fareco.

Un guide pour qui ?

Un guide qui s'adresse à l'ensemble des acteurs de l'architecture et de la construction en Polynésie française :

- maîtrise d'ouvrage : maitres d'ouvrage publics et privés, assistants à maître d'ouvrage, conducteurs d'opération, maîtres d'ouvrage délégués, programmistes etc.
- maîtrise d'œuvre de conception : architectes, ingénieurs et techniciens de bureaux d'études et d'ingénierie, économistes, maitres d'œuvre divers,
- maîtrise d'œuvre de réalisation : entreprises, artisans, compagnons,
- maîtrise d'usage : usagers, exploitants de bâtiments, intervenants de l'entretien et de la maintenance etc.

Un guide comment ?

Un guide qui comprend deux parties :

- une partie d'apports fondamentaux définissant les enjeux, le vocabulaire, les indicateurs de l'éco-construction ;
- une partie d'approche concrète qui propose des méthodes d'approche conceptuelles pragmatiques et globales dont nous avons décliné l'utilisation, pour le cas du secteur résidentiel neuf et qui pourra par la suite être décliné à d'autres secteurs de l'architecture et de la construction.

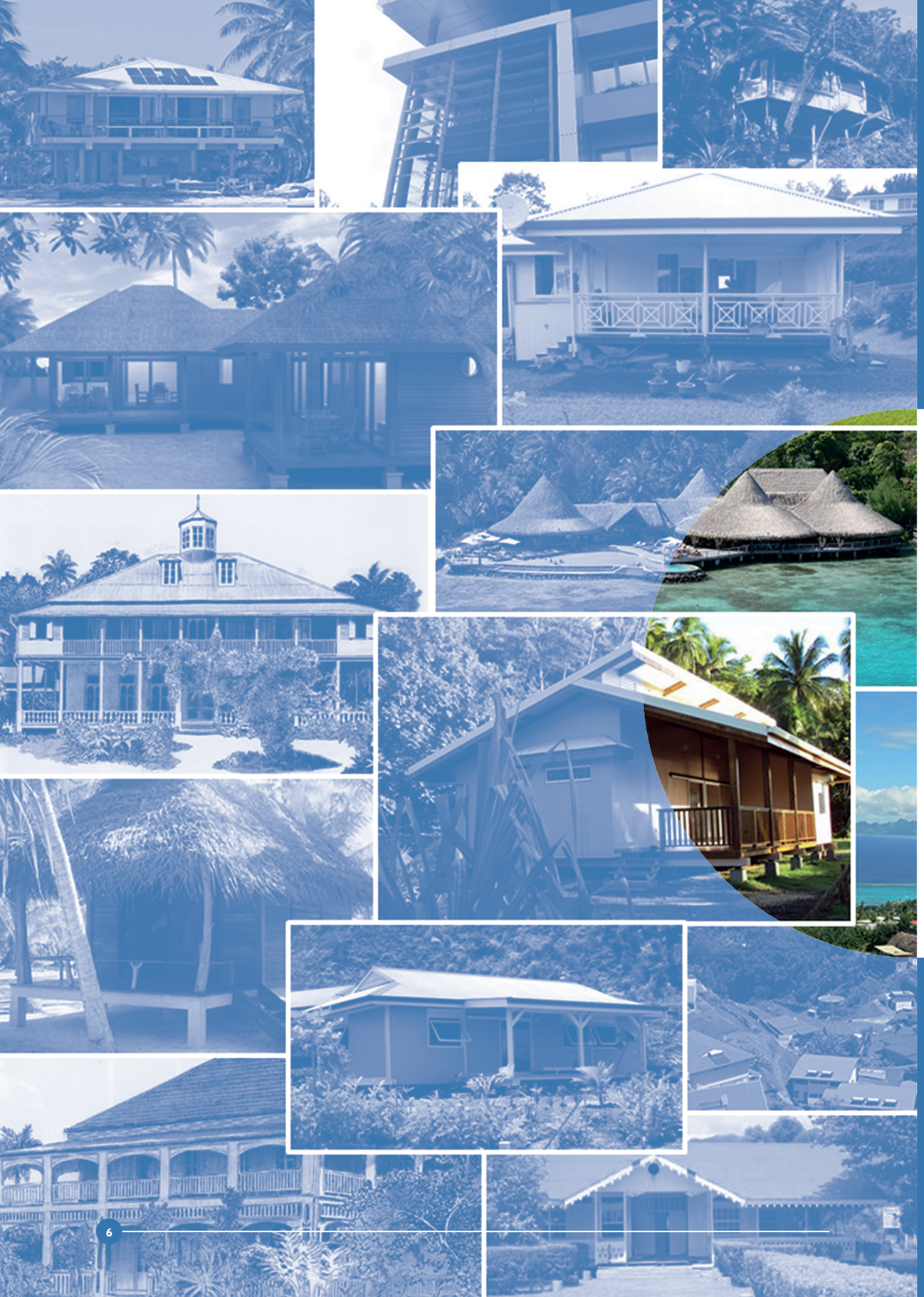
Une ambition en quelques mots

Ce guide ambitionne de permettre **le partage** d'un vocabulaire, de méthodes, d'objectifs, d'ambition, entre tous ces acteurs pour mieux travailler ensemble... Ce guide ambitionne de favoriser la **pédagogie de l'éco-construction** en démystifiant à la fois le syndrome de la « pseudo complexité » qui ghettoïse ces démarches conceptuelles en prétendant qu'elles ne peuvent être que l'apanage d'hyper spécialistes et conduire à des réalisations économiquement très coûteuses et le syndrome de la « soi-disant simplicité » qui conduit à coup sûr à des contreperformances cuisantes.

Ce guide a enfin l'ambition de **la modestie** : il ne prétend pas réécrire le grand livre de l'architecture tropicale insulaire mais simplement apporter le modeste éclairage de l'expérience de 3 professionnels de l'éco-construction qui avec toute leur subjectivité, ont moins de doutes sur la réalité de leurs échecs que sur celle de leurs réussites.

Ce guide a été rédigé après une période où nombre de documents traitant sous des formes diverses de l'architecture durable, soutenable, « HQE », environnementale, écologique, co-responsable (...) ont été rédigés, y compris par les auteurs du présent guide.

Sa spécificité est, nous l'espérons, de tenter d'aller à l'essentiel en tentant de dépasser certaines postures de l'architecture écologique et en tentant de démontrer que l'éco-construction ne fait que des gagnants.



1

APPORTS **FONDAMENTAUX**

LE SITE

LE BIEN-ÊTRE

LES RESSOURCES ET LES FLUX

1 APPORTS FONDAMENTAUX

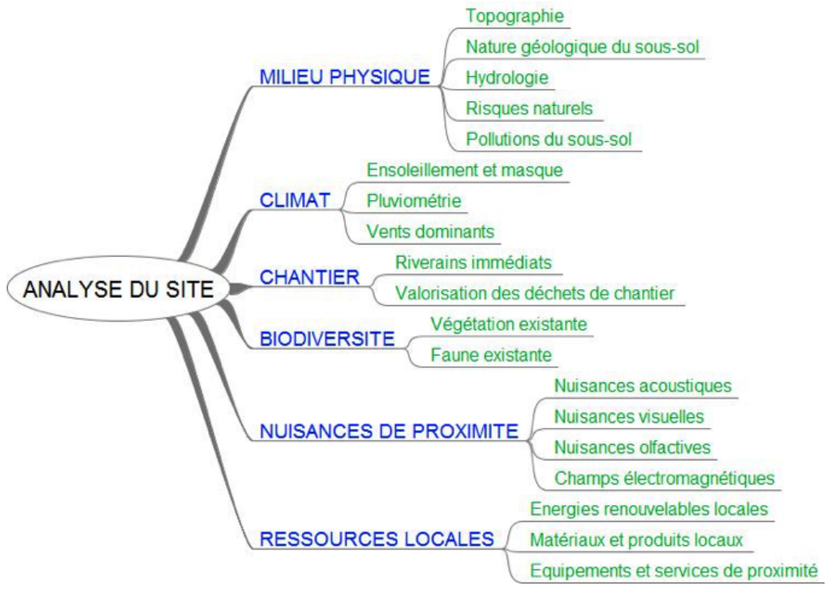
1.1 - LE SITE

1.1.1 - DEFINITION ET PRINCIPES

Le point de départ d'un projet est l'**analyse environnementale de site**, effectuée en principe au stade de la **programmation**. L'analyse du site est considérée comme une étape préalable pour bien cerner les contraintes et potentialités du site (nuisances acoustiques et olfactives, qualité d'air, ombres portées, gisement venteux...).

Elle permet d'initier la démarche environnementale en identifiant les caractéristiques de la parcelle et du site dans son échelle locale et globale. Les atouts et contraintes ainsi identifiés permettent de définir les enjeux environnementaux majeurs du projet et d'effectuer les choix primordiaux qui orienteront le projet vers une conception avisée et plus respectueuse de l'environnement.
Ainsi, l'analyse environnementale du site doit :
- Préciser les caractéristiques environnementales du site.
- Identifier les atouts et contraintes que présente cet environnement pour le projet.
- Le schéma ci-dessous présente les éléments que doit contenir l'analyse du site.

De cette étude doivent ressortir les **éléments impactant** de la conception énergétique et environnementale du projet pour faire le recollement entre les besoins programmatiques et les contraintes/ atouts du site.



1.1.2 - LES DIFFERENTS VOLETS D'UNE ANALYSE DE SITE

L'analyse du site réalisée par le maître d'ouvrage ou son assistant doit faire ressortir les atouts et contraintes du site et porter au minimum les cinq volets suivants :

Macroclimat
Les données à collecter et reconditionner sont : l'ensoleillement, température, hygrométrie, vent, pluviométrie, l'altitude et les éventuels écosystèmes remarquables du site (cours d'eau, arbres) influençant la thermique locale du lieu. Un fichier de données climatiques horaires annuel est nécessaire pour établir des simulations thermiques. Les données du vent doivent être contextualisées.

Milieu physique et naturel
Prise en compte de la topographie, nature et consistance du sol et sous-sols, hydrologie, perméabilité du sol, biodiversité.

Microclimat
- Les vues et plans masse, la planimétrie, l'altimétrie, les relevés du terrain ;
- Ensoleillement : les masques naturels et urbains, albédo ;
- Température : influence d'un éventuel effet d'ilot de chaleur urbain ;
- Vent : les données de la station météorologique doivent être contextualisées pour prendre en compte la rugosité du site et l'influence des immeubles ou obstacles naturels susceptibles de modifier la nature et le régime du vent ;
- Les éventuelles nuisances (acoustiques, olfactives, visuelles etc.) ;
- Pollutions électromagnétiques, pollutions diverses.

Ressources locales et ENR (Energies renouvelables)
Ressources eau potable et énergies locales, Recyclage matériaux locaux.

Environnement humain, sociologique et culturel
Les contraintes et spécificités locales (voisinage, mixité sociale, patrimoine culturel, modes constructifs) ;

Environnement technique et règlementaire
- L'identification des exigences légales et réglementaires, les documents d'urbanisme et leurs annexes, sites classés, fouilles archéologiques, monuments historiques, zone protégée, certificat d'urbanisme, etc. ;
- Les risques naturels et technologiques pouvant concerner l'opération (PPRN, PPRS, PPRI) : séismes, cyclones,
- Les ressources locales (matériaux, réseaux de distribution, transports, énergies, etc.) ;
- Les éventuelles pollutions (air, sol et sous-sol, nappes phréatiques, champs électromagnétiques, etc.) ;
- Les modalités de collecte des déchets (flux des collectes, modalités de collecte, nature et volume des contenants, dispositifs).

En cas de construction ou activité existante, appelée à être démolie, l'analyse doit porter sur :
- Le diagnostic déchets réalisé ;
- La typologie et les principales caractéristiques (surfaces, installations techniques) du bâtiment existant ;
- Les informations sur le bâtiment (année de construction, qualités techniques et sanitaire des ouvrages) ;
- Les réseaux enterrés existants et aériens ;
- L'historique des activités, si possible.

L'analyse de site doit faire l'objet d'un enregistrement et contenir, par thème analysé et/ou sous forme de bilan global, les recommandations à mettre en œuvre nécessaires à la construction du programme.

L'étude du site doit être intégrée dans le programme et faire l'objet d'une réponse détaillée par la maîtrise d'œuvre pour valoriser les atouts et diminuer les contraintes. (*)

1.1.3 - LES ELEMENTS DE RENDU ET JUSTIFICATIFS DEMANDES

Pour en tirer une synthèse facilement exploitable, il est recommandé de visualiser les éléments déterminants de l'analyse du site sous forme de plan masse environnemental dont le format est développé ci-après. Les différents axes sont développés dans les paragraphes qui suivent.

Phase : programmation

Eléments de rendu : synthèse sous forme de deux plans masse environnementaux de l'état initial.
Chaque plan masse environnemental superpose les cartographies liées aux thématiques suivantes :
- Plan masse climatique.
- Plan masse urbain.

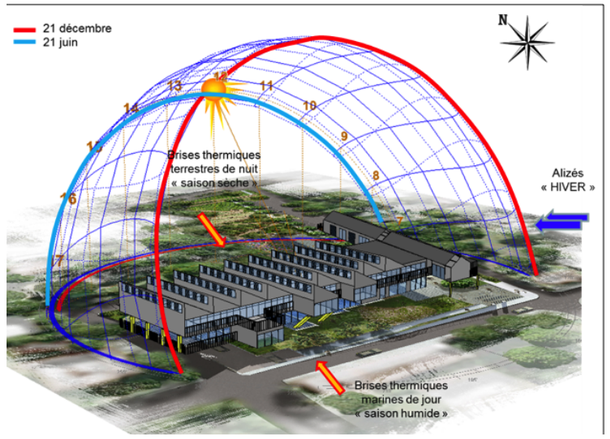
Plan masse climatique :
- La course solaire : il s'agit de visualiser les trajectoires solaires mensuelles sur le site.
- Le potentiel venteux : l'idéal est de contextualiser les vents en saison fraîche et en saison chaude. Sur une journée, il est important de détailler les différentes séquences de vent dominant alizées, direction secondaire, vent de terre, vent de mer.

Plan masse urbain :
- Les contraintes acoustiques : impact du bruit des voitures.
- La qualité d'air liée à l'environnement proche (pollution du trafic automobile, industries proches...).
- Le cycle de l'eau.
- La biodiversité : le choix des essences devra permettre la restauration de niches écologiques, sécuriser le passage de certaines espèces, vers les autres écosystèmes de la zone (littoral notamment).
- Les contraintes urbanistiques : transports, etc.

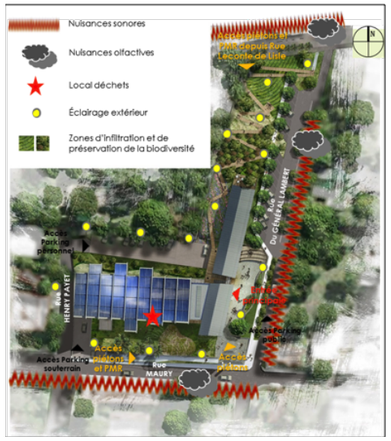
(*) incidence délais de programmation et études

1.1.4 - EXEMPLE DE PLAN MASSE ENVIRONNEMENTAL

Deux plans masse :



Exemple de plan masse climatique



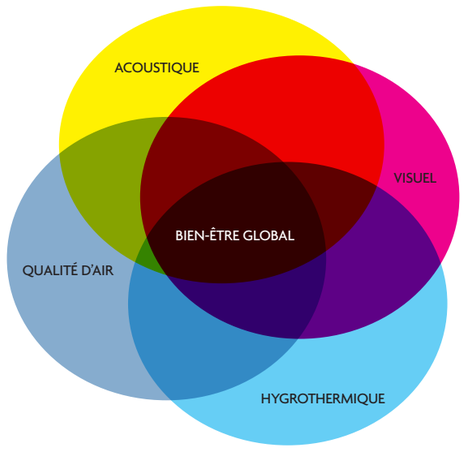
Exemple de plan masse urbain

1.2 - LE BIEN-ETRE

1.2.1 - LE BIEN ETRE : UNE EQUATION COMPLEXE

Le bien-être des occupants d'un bâtiment s'exprime d'abord en termes de confort d'ambiance et non en terme énergétique :

- confort visuel,
- confort hygrothermique,
- confort acoustique,
- confort olfactif et la qualité de l'air des ambiances.



La plupart de ces besoins peuvent être assurés en grande partie en s'appuyant sur les éléments naturels et à défaut par le recours à des équipements peu consommateurs d'énergie.

Aussi, évaluer les potentialités du climat et du site à couvrir les besoins essentiels des occupants est une première étape essentielle dans un projet, notamment en phase programme.

Le bien-être global - d'abord déterminé par le niveau d'exposition du bâtiment aux sollicitations climatiques et l'environnement urbain -possède la particularité de se situer à l'intersection de toutes les problématiques et en interférence avec tous les « conforts » :

- Le confort olfactif et la qualité de l'air des ambiances sont liés au renouvellement de l'air. Or, le taux de renouvellement d'air permet d'évacuer les apports thermiques pour les bâtiments ventilés naturellement. Dans les ambiances climatisées, l'énergie nécessaire pour traiter l'air hygiénique est proportionnelle au taux de renouvellement d'air.
- Le confort acoustique tributaire des contraintes de bruits dans le site conditionne le développement de la ventilation naturelle et les stratégies à déployer pour satisfaire le confort hygrométrique.
- Pour satisfaire le confort visuel, il est nécessaire de capter la lumière naturelle, indissociable du rayonnement solaire. L'énergie solaire pour éclairer les locaux devient in fine une charge thermique, une fois transformée en chaleur.
- De même, toutes les activités développées dans les locaux dégageant de l'énergie contribuent à augmenter la charge thermique dans les locaux et donc le niveau de température.

1.2.2 - LE CONFORT VISUEL : COUVRIR NATURELLEMENT LES BESOINS EN ECLAIRAGE

Objectifs généraux

La lumière naturelle est le mode d'éclairage le plus adapté à la physiologie humaine. Une bonne couverture des besoins d'éclairage par de la lumière naturelle est donc un élément déterminant du confort visuel et donc de la perception de l'espace par les usagers. La pénétration de la lumière du jour évite le développement du sentiment d'oppression, de fatigue, et stimule les sens par la dynamique naturelle induite (participation aux évènements météorologiques extérieurs).

Eléments fondamentaux de la maîtrise de la lumière naturelle, les baies vitrées influent fortement sur l'esthétique du bâtiment par leur forme, leur dimension, leur nombre, les protections solaires mobiles ou fixes. Cependant l'aménagement intérieur, la forme des bâtiments (les bâtiments très profonds sont par exemple défavorisés), la teinte des revêtements intérieurs, l'ameublement, les rideaux sont également des paramètres à prendre en compte dans la conception des ambiances lumineuses.

La valorisation de la lumière naturelle, dont le gisement est considérable en Polynésie, contribue aux efforts d'économie d'énergie en limitant la part des besoins couverts par l'éclairage électrique, mais représente toutefois une source d'apport énergétique contribuant à la surchauffe des locaux. La notion d'optimisation prend donc toute sa signification dans la gestion de ce compromis.

Les choix de dispositifs de protection solaire et de gestion des flux lumineux doivent être approchés dans le cadre d'une réflexion globale « confort visuel / confort hygrométrique / coûts d'exploitation et maintenance associés ».

Eléments contextuels

La disponibilité de la lumière dépend principalement de la latitude du lieu, comme le montre le tableau suivant (établi à partir de fichier météo norme). Il s'agit du % d'heures entre 9h et 17h où les niveaux 5000 lux, 10000 lux, 15 000 lux et 20 000 lux sont dépassés :

	5 000 Lux	10 000 Lux	15 000 Lux	20 000 Lux
Polynésie Française	99 %	89 %	71 %	54 %
Métropole (Paris)	87 %	72 %	55 %	41 %

Comme le montre le tableau, la disponibilité de la lumière du jour est beaucoup plus importante en Polynésie qu'en métropole. Ainsi, la transposition des exigences (règlementaires ou non) ou certaines pratiques métropolitaines notamment en taux de percement, majorent de façon importante les surfaces vitrées nécessaires pour un éclairage naturel de qualité. Citons par exemple la pratique courante consistant à adopter un indice de vitrage de 1/6 dans les établissements scolaires métropolitains.

Plutôt que d'adopter des standards importés (adaptés aux sites de latitude élevée), il est préférable pour des projets neufs de faire une étude simultanée de l'éclairage naturel, et des apports solaires induits. Certains outils commercialisés permettent désormais de traiter l'éclairage et la climatisation, en même temps, et économiser ainsi en temps de saisie.

(*) incidence délais de programmation et études.

Cibles et questionnement autour du confort visuel

Thématiques	**Maîtrise d'ouvrage :** *Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental.* *Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.*	**Maîtrise d'œuvre :** *Quantifier les exigences.* *Justifier les réponses.* *Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental ».*
Disponibilité de la lumière naturelle	Demande d'une disponibilité en lumière naturelle variable selon les locaux : - locaux à occupation prolongée (bureaux, salles de réunion, de cours..) : 100% doivent avoir accès à la lumière naturelle, - locaux sanitaires, circulations : accès à la lumière du jour moins essentielle.	Dispositions prises pour respecter ces exigences Préciser le niveau de disponibilité de lumière naturelle pour ces pièces.
Niveaux d'éclairement et d'autonomie optimisés	Canaliser et bien maîtriser les apports solaires selon les besoins des occupants par des compromis judicieux. La problématique est **d'apporter la quantité juste et suffisante de lumière pour répondre aux besoins d'éclairement, et éviter des apports solaires excessifs.** Cet apport dégrade en effet le confort hygrothermique et/ou augmente la consommation d'énergie dans le cas de locaux climatisés. Le gisement considérable en lumière naturelle en Polynésie conduit à des taux de lumière naturelle intérieure disponible ou « Facteur Lumière Jour » qu'il faut absolument adapter par rapport aux pratiques métropolitaines.	Optimiser l'emplacement et la dimension des ouvertures et faire appel éventuellement à des « second-jour » ou autres stratégies d'éclairement naturel multidirectionnel. Utilisation d'outils d'aides de simulation de la lumière du jour (de type DIAL+, ECOTECT, RADIANCE...).
Vues sur l'extérieur	Selon le Code du Travail, « les locaux destinés à être affectés au travail doivent comporter à hauteur des yeux des baies transparentes donnant sur l'extérieur, sauf en cas d'incompatibilité avec les activités envisagées. » La prise de lumière occasionne donc aussi une possibilité de vue vers l'extérieur. Demander un respect strict de cette exigence essentielle de confort tout en privilégiant, selon les locaux, les vues en fonction de la nature des activités ou des occupations..	Fournir la quantité de locaux disposant de vues dégagées. Prioriser les vues apaisantes profondes pour les salles de classes. Panacher « vues calmes » et « activités » pour les bureaux. Privilégier « vues sur la ville » et « activités » pour les maisons de retraites.
Uniformité et éblouissement	Plus que la quantité moyenne de lumière, le critère déterminant de la qualité de l'ambiance visuelle est l'uniformité de sa répartition. Celle-ci nécessite un travail approfondi de l'agencement des volumes, de leur profondeur par rapport aux ouvertures, et de la répartition des prises de lumière. Certains locaux sensibles (salles de travail) devront bénéficier d'une attention particulière pour éviter les phénomènes de tache solaire (éblouissement ponctuel) à certains moments de la journée. Modularité de l'uniformité en fonction de l'usage.	Pistes pour améliorer l'uniformité de la lumière : - rehausser la position des baies. - prévoir des étagères à lumière (« light-shelves »). - organiser des seconds- jours. - plafonds diffusants. • Prévoir des dispositifs architecturaux pour maîtriser heure par heure et mois par mois l'impact du rayonnement direct. • Limitation de la tache solaire sur les zones à protéger : tableau, écran, bureau. • Dispositifs de protections mobiles.

Objectifs de performances en éclairage naturel

Dans la définition du besoin en éclairage, le principe de sobriété doit prévaloir d'autant plus que trop de lumière aboutit à un inconfort par excès.

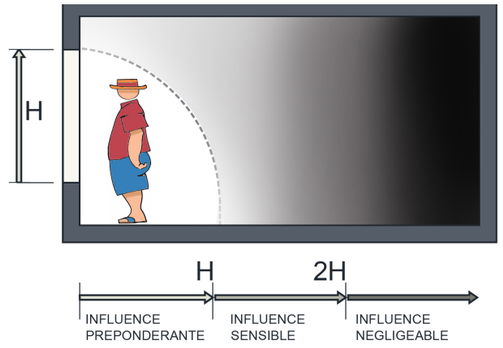
Types de locaux	Préconisations Certivea* En FLJ (*) pour la Polynésie française		
Salles de classes	Base 0.8	performant 1.3	très performant 1.7
Bureaux	Base 0.8	performant 1.3	très performant 1.7
Hôtels	Base -	performant -	très performant 1 %
Commerces	Aucune exigence minimale		

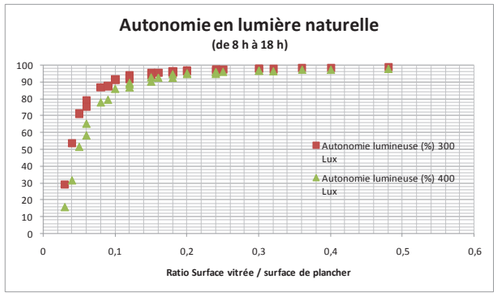
Les besoins en éclairage sont exprimés en lux/m² sur le plan de travail. Le taux de couverture en lumière naturelle définit le % de temps où la lumière naturelle suffit pour atteindre le nombre de lux/m² requis sur une plage horaire définie. Cet indicateur est le plus pertinent car il permet la correspondance énergétique de la consommation d'appoint en éclairage artificiel.
Cependant les exigences en lumière naturelle sont plutôt exprimées en facteur lumière jour (FLJ) dans les programmes. Ce facteur est le rapport de l'éclairement naturel intérieur reçu en un point (généralement le plan de travail à 70 cm du sol ou le niveau du sol) à l'éclairement extérieur simultané sur une surface horizontale, en site parfaitement dégagé, par ciel couvert. Il s'exprime en %. La version DOM de la Certification HQE préconise les valeurs ci-dessous (voir tableau) selon le niveau de performance exigée.
Les valeurs de FLJ sont minorées de moitié par rapport à celles préconisées en métropole pour les mêmes usages compte tenu du gisement de lumière du jour en Polynésie française.

Pour donner un ordre d'idée de l'optimum de taux de percement, nous avons simulé une pièce rectangulaire d'une hauteur de 2.8 m avec différents ratios de largeur/longueur et ratios de surface de vitrage/surface plancher. L'évolution du taux d'autonomie en éclairage naturel évolue de manière asymptotique en fonction du taux de vitrage. Au-delà d'une certaine valeur, le gain en lumière comme le montre le graphique est faible alors que le gain en apports solaires continue de progresser linéairement. Le point d'inflexion se situe autour de 80 à 90% d'autonomie, fourchette que l'on peut se fixer comme performance sans risque d'apport solaire excessif.

Un autre aspect fondamental dans le travail de la lumière naturelle est la décroissance rapide du facteur jour lorsque l'on s'éloigne des prises de jour. La zone d'influence de la lumière (zone de premier rang) correspond à deux fois la hauteur d'allège comme le montre le diagramme. Un des défis du concepteur est donc de faire pénétrer la lumière en profondeur.
L'épaisseur des bâtiments est un paramètre de construction à prendre en compte dans l'optimisation de la lumière. Il existe quelques recettes de conception pour projeter un peu plus en profondeur la lumière :
• second jour,
• les puits de lumière,
• les étagères à lumière,
• les canons à lumière.

Dans tous les cas de figure, un des grands enjeux dans le dimensionnement de l'enveloppe du local notamment les ouvertures se joue autour de l'équilibre à trouver entre l'apport de lumière et l'apport solaire difficilement dissociable.





(*) CERTIVEA : organisme de référence des certifications environnementales des bâtiments non résidentiels et des territoires.
(*) FLJ : Facteur de lumière du jour.

Objectifs de performance en éclairage artificiel

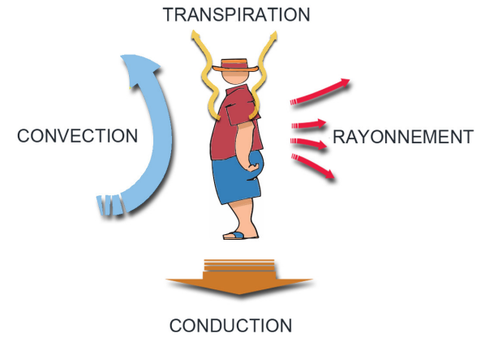
L'éclairage artificiel doit être conçu :
- d'abord comme appoint à l'éclairage naturel (gradation de la puissance selon les zones) et non l'inverse...
- puis avec des technologies d'éclairage artificiel efficaces (en termes de consommation électrique et d'efficacité lumineuse (lumen)) et adaptées pour les périodes d'indisponibilité d'éclairage naturel. On tiendra compte du fait que la durée du jour est assez constante sur toute l'année en Polynésie française (12 heures +/- 1 h).

Thématiques	**Maîtrise d'ouvrage :** *Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental* *Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.*	**Maîtrise d'œuvre :** *Les rendus et indicateurs pour qualifier et quantifier « l'effort environnemental »*
Concevoir l'éclairage artificiel comme complément à l'éclairage naturel	Se poser véritablement la question de la nécessité de l'éclairage artificiel en fonction des heures d'occupation de la zone : par exemple dans un établissement scolaire, la question de la nécessité de l'éclairage artificiel sur toutes les salles de classes est une question ouverte dans la mesure où il est possible d'atteindre 100% d'autonomie en éclairage naturel pendant la « journée scolaire ». Dans les autres cas, il s'agit de mettre en œuvre des dispositifs de gestion de l'éclairage qui visent à valoriser au maximum l'éclairage naturel. Notion de gradation à développer.	Pistes pour une meilleure maîtrise de l'éclairage artificiel : - détecteurs de présence, - variation de puissance d'éclairement artificiel par zone en fonction de la disponibilité en éclairement naturel, - commande différenciée par trame selon la profondeur du local, éclairage..., - différenciation avec commandes distinctes entre éclairage d'ambiance (plafond) et ciblé (lampes directionnelles) en particulier pour les bureaux.
Niveau d'éclairement optimal	Les niveaux moyens en lux sont dépendants de la nature des locaux.	Bureaux : 300 lux Enseignement primaire et secondaire : 300 lux. Enseignement du soir et secondaire : 400 lux. Eclairage extérieur : à définir.
Eblouissement	Dispositions prises pour éviter l'éblouissement en éclairage artificiel.	Salles de classe : luminaire basse luminance Bureaux, salles informatiques : luminaires très basse luminance.
Uniformité de l'éclairage	Exiger des rapports d'éclairement entre le plan le plus défavorisé et l'éclairement moyen minimaux.	Rapport d'éclairement entre le plan le plus défavorisé et l'éclairement moyen ne doit pas être supérieur à : • Niveau performant : 0.7 • Niveau très performant : 0.8
Qualité de la lumière	Assurer une température de couleur (Tc) et des indices de rendu des couleurs (IRC) adaptés à la nature des activités.	
Eclairage extérieur	Optimiser l'éclairage extérieur en s'assurant dans un premier temps de sa nécessité, puis en l'adaptant aux besoins réels (ratio au m^2).	Prévoir un plan descriptif d'implantation des luminaires.

1.2.3 - CONFORT HYGROTHERMIQUE

Rappels sommaires sur le confort hygrothermique

De façon, très synthétique nous rappelons ici les principaux points à retenir sur le confort hygrothermique :



Le confort hygrothermique est lié à la nature des échanges thermiques (convection et rayonnement) et hydriques (sudation, transpiration, respiration) entre l'occupant et l'ambiance, pour évacuer la chaleur dégagée par le métabolisme et maintenir sa température à 37°C.

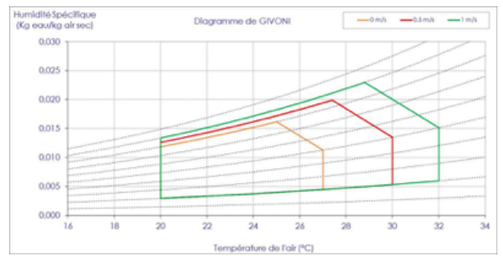
Pour ajuster ses besoins d'évacuation de chaleur aux conditions d'ambiance, l'homme dispose donc de trois moyens d'action :

- **L'adaptation physiologique de l'individu aux conditions d'ambiance, grâce aux mécanismes d'autorégulation du corps.** Le corps humain peut potentiellement s'adapter à une grande gamme de situation en allant du froid au chaud : frisson, vasoconstriction (pour diminuer la température de peau), vasodilation (pour augmenter la température de peau), et sudation et taux de mouillure (surface d'échange de la sudation). La sensation de confort correspond aux ambiances dans lesquelles l'écoulement de la chaleur se passe correctement, avec un niveau de mobilisation des systèmes d'auto-régulation acceptable.

- **Activité**. Une adaptation des horaires de travail par rapport aux contraintes climatiques peut être envisagée. De même dans certains pays, la sieste au bureau est admise aux heures les plus chaudes. Dans le cadre de ce guide, nous n'envisageons pas ce type de solution et nous considérons le niveau d'activité comme une donnée intangible.

- **L'adéquation de la tenue vestimentaire aux conditions d'ambiance.** L'assouplissement du code vestimentaire dans les bureaux a permis des économies substantielles en climatisation au Japon lors de la crise énergétique de Fukushima. En effet le vêtement ralentit les échanges thermiques (convection et rayonnement) et hydriques (sudation) : en ambiance chaude, le vêtement constitue un obstacle à l'écoulement de la chaleur métabolique, par augmentation de la résistance thermique du vêtement (échanges convection et rayonnement réduit) et un frein aux échanges par vapeur d'eau (sudation). En ambiances climatisées, un vêtement léger permet d'augmenter la consigne de climatisation et donc de faire des économies d'énergies. En ambiances naturellement ventilées, un vêtement léger facilite les échanges thermiques et hydriques.

A partir de ces paramètres d'ajustement, il est possible de simplifier l'approche du confort hygrothermique en raisonnant sur des zones de confort visualisées sur le diagramme de l'air humide. Pour la Polynésie française, en prenant comme hypothèse de base une activité modérée, une tenue vestimentaire adaptée (légère), on peut définir des zones de confort en fonction des paramètres température, humidité et vitesse d'air :
- zone de confort à vitesse air calme (vitesse faible)
- zone de confort acceptable avec des vitesses d'air de 0,5 m/, 1 m/s et 1.5 m/s



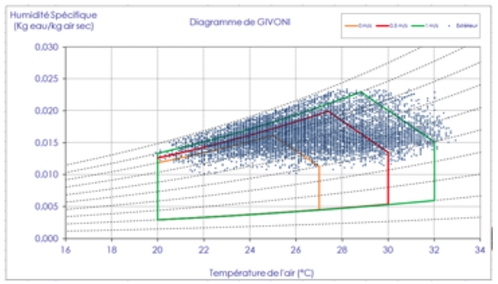
La vitesse d'air agit sur les échanges par convection (augmentation du coefficient d'échange) et surtout sur les échanges hydriques pour faciliter l'évaporation de la sueur (1l litre d'eau évaporée permet d'évacuer 700 Wh). On estime qu'une vitesse de 1m/s procure l'équivalent d'abaissement de 4°C en température ressentie.

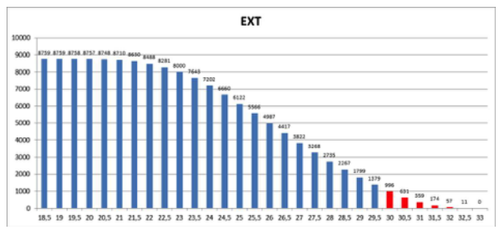
A partir du diagramme de confort, on comprend aisément **les deux écoles de pensée en matière d'architecture** :

- viser comme objectif de placer les conditions d'ambiances dans la zone de confort air calme. Comme nous le verrons dans le paragraphe suivant, cette zone s'écarte sensiblement des conditions de température régnant à l'extérieur, et nécessite donc le recours à la climatisation.
- Viser la zone de confort acceptable. Cette zone de confort étendue qui augmente le seuil de température d'inconfort à 30°C voir 32°C, concorde parfaitement avec les conditions climatiques de la Polynésie. Viser comme objectif d'ambiance la zone de confort acceptable donne donc suffisamment de marge de manœuvre aux concepteurs pour une approche bioclimatique passive.

Objectif de confort dans le cadre du climat polynésien

Dans le cadre de cet ouvrage, notre approche prend comme point d'appui la projection des conditions de température et d'hygrométrie d'une année de la ville de Tahiti :





L'analyse du nuage montre qu'à l'extérieur, les conditions de confort sont majoritairement à l'intérieur des zones de confort mais attirent l'attention sur deux caractéristiques climatiques à corriger :

1. Les pointes de températures en saison.
Le nombre au-delà de 28°C s'élève à environ 2755 heures et 996 au-delà de 30°C.

2. Une frange importante de points proches de la courbe de saturation.
Le nombre record de point près de la courbe de saturation atteste de la nature très humide du climat polynésien.

L'objectif d'une conception en climatisation naturelle sera de corriger ces zones d'inconfort, car les conditions extérieures (sans négliger l'effet de l'occupation) déterminent en grande partie, les conditions de confort que l'on retrouvera à l'intérieur.

Or, le filtre climatique de l'enveloppe sous l'action combinée des contraintes climatiques et de l'activité des occupants a pour effet :

- de décaler les **températures moyennes journalières** d'une valeur allant de 1°C dans le meilleur des cas à + 5°C voire plus du fait des apports solaires et internes,
- d'amortir les pointes de température journalière grâce à l'effet d'inertie thermique. L'amplitude diurne de l'ordre de 5 à 7°C peut être réduite jusqu'à 3 à 4°C dans les bâtiments bénéficiant d'une importante inertie,
- d'augmenter légèrement l'humidité absolue dans les locaux sous l'effet de l'émission hydrique des occupants ou appareils.

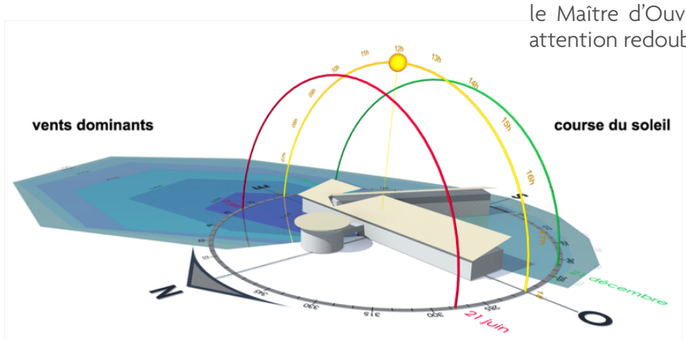
Pour ramener une partie importante des points dans la zone de confort acceptable, il faut nécessairement maîtriser les apports solaires et internes, disposer d'une bonne ventilation pour évacuer l'excédent de chaleur et d'un minimum d'inertie thermique pour écrêter les extrema de température. Pour arriver à un bon résultat, la maîtrise de la surchauffe moyenne des locaux doit être particulièrement rigoureuse en visant :

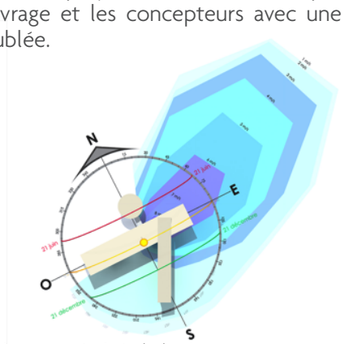
- une surchauffe moyenne ne dépassant pas 2°C (idéalement entre 1 et 1.5°C)
- une inertie thermique permettant d'écrêter les pointes de température au-delà de 30 °C (500 heures).

La problématique des points proches de la saturation est le point le plus délicat à traiter. La récupération des apports, combinée à l'effet d'inertie notamment en saison fraîche augmente la température à l'intérieur des locaux au moment où la température extérieure est basse (points les plus proches de la saturation), ce qui a pour

effet mécanique de diminuer l'humidité relative et de s'éloigner de la courbe de saturation. Les points résiduels non corrigés par l'effet de filtre de l'enveloppe correspondent à des points climatiques particuliers (plusieurs centaines d'heures) : température et humidité simultanément élevées. L'effet de filtre naturel trouve ici sa limite.

Dans les locaux climatisés artificiellement, la climatisation maintient les locaux autour de la valeur de consigne. La consommation d'énergie est étroitement liée au temps de fonctionnement de la climatisation et du niveau de consigne, qui sont deux paramètres étroitement liés.





Exemple de l'IUFM de Cayenne (JAG Franck Brasselet et Frédéric Pujol, architectes) : les concepteurs ont cherché à regrouper et orienter les locaux suivant leur destination : une aile en ventilation naturelle et une aile climatisée.

Confort et Master plan : questionnements

Les premiers « coups de crayons » lors de la conception d'un projet sont souvent déterminants pour prédéfinir le niveau de confort du bâtiment et ses conséquences en termes de besoins énergétiques, en particulier de climatisation et d'éclairage.
En effet, les bons choix d'orientation, d'agencement et d'éclatement ou de regroupement des espaces d'un projet constituent les éléments incontournables d'une bonne qualité environnementale, qui font qu'un bâtiment apportera le bien-être nécessaire ou pas, et a fortiori qu'il sera énergivore, « budgétivore » ou non...
Ce travail est la base de la réflexion environnementale et architecturale d'un projet, et doit être traité par le Maître d'Ouvrage et les concepteurs avec une attention redoublée.

Thématiques	**Maîtrise d'ouvrage :** *Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental* *Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.*	**Maîtrise d'œuvre :** *Quantifier les exigences. Justifier les réponses.* *Les rendus et indicateurs pour qualifier et quantifier « l'effort environnemental »*
Gestion des éléments naturels et des contraintes du site	Distinguer les zones destinées à être artificiellement climatisées (celles où ne se posera que la **contrainte solaire**) et celles à être naturellement climatisées (celles où le Maître d'Œuvre devra trouver un **compromis entre la course solaire et la direction principale des vent**s). Aménager les zones artificiellement climatisées et naturellement climatisées selon les contraintes climatiques et spécifiques au site.	Identifier et représenter sur le plan de masse les possibilités de ventilation traversante en fonction des contraintes : - de la course du soleil et de la direction dominante des vents, - des particularités du site : pollutions locales,... - des nuisances sonores. Identifier sur le même plan de masse les zones affectées à la ventilation naturelle (orientation favorable selon la direction dominante des vents) et les zones climatisées artificiellement (orientation favorable Nord/Sud).
Ombrages : principes généraux et valorisation des atouts du site	Prendre en compte les effets de masques (relief, végétation, constructions voisines) et la nature de l'environnement (coefficient de réflexion des sols (albedo)) au moment de l'implantation des bâtiments pour : - la protection solaire, - la disponibilité de la lumière naturelle.	Fournir un schéma de principe de la protection à l'échelle du plan de masse (ombrage mutuel des bâtiments, arbres de hautes tiges, relief environnant). Donner les principes généraux adoptés par orientation : - des murs : débord de toiture, barrière végétale, - des ouvertures : vues profondes, masques, dispositifs architecturaux, environnement (maîtrise de l'albedo).

Confort dans les ambiances naturellement climatisées

L'objectif d'une ambiance naturellement climatisée est de reproduire des conditions de confort optimales, que l'on définit habituellement en zone tropicale, comme celui obtenu « au repos, à l'ombre d'un arbre sous une brise légère », c'est-à-dire, de manière moins bucolique, avec une température d'air sensiblement identique à celle de l'air extérieur, une forte réduction du rayonnement direct (soleil) et une vitesse d'air de l'ordre de 1 m/s.

Thématiques	**Maîtrise d'ouvrage** Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental. Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.	**Maîtrise d'œuvre** Les rendus et indicateurs pour qualifier et quantifier « l'effort environnemental ».
Protection solaire	**Efficacité de la protection solaire** **Ouvertures :** arrêter la composante solaire directe et atténuer la composante diffuse en fonction des besoins d'éclairage naturel. **Parois opaques :** atténuer la transmission solaire à travers les parois.	**Fournir les valeurs des facteurs solaires** pour les différentes orientations : - des ouvertures, - des parois opaques.
Ventilation traversante	**Ventilation traversante :** - favoriser la ventilation naturelle traversante pour créer de la vitesse d'air, - évacuer les apports internes et solaires en atteignant un renouvellement d'air d'au moins 6 vol/h et idéalement de 20 vol/h, - atteindre des vitesses d'air jusqu'à 1 m/s pour faciliter le processus de sudation soit : • par la ventilation naturelle traversante pour les sites venteux, • par l'implantation de brasseurs d'air pour pallier la ventilation naturelle traversante insuffisante en période de vent calme.	**Schéma de principe de la ventilation traversante** - Elaborer un tableau du taux d'ouvertures (porosité) des façades. Objectif à atteindre : porosité des façades supérieure à 30 % pour les façades au vent et idéalement supérieure à 35 % sous le vent. - Répartir les ouvrants de ventilation dans les façades pour éviter les zones mortes (ne pas regrouper les ouvrants au même endroit). - Possibilité de moduler des débits.
Inertie thermique	Privilégier une inertie thermique moyenne pour les locaux occupés le jour uniquement.	Descriptif sommaire du type de planchers (lourd/léger), des murs (lourds / légers).

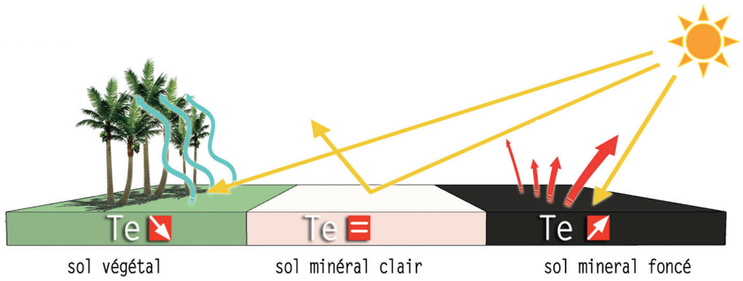
Confort d'ambiance dans les bâtiments climatisés

Les objectifs sont ici ceux de la cible énergie. Il faut rationaliser les consommations électriques en agissant d'abord sur le bâti, de façon à minimiser les apports de chaleur, et ensuite en optant pour des systèmes de climatisation économes.

Thématiques	**Maîtrise d'ouvrage** Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental. Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.	**Maîtrise d'œuvre** Les rendus et indicateurs pour qualifier et quantifier « l'effort environnemental ».
Confort hygrothermique global	**Niveau de température** Demande d'un niveau de température de consigne : 25°C. **Stabilité de la température** Demande de dispositifs pour éviter les sensations : - de froid (aux premières heures de la journée, ou en cas de faible occupation), - de chaud (en milieu d'après-midi, ou en période de forte occupation). **Niveau d'humidité** Niveau d'humidité dans les locaux où il n'est pas contrôlé : on veillera quand même à la bonne évacuation des excès d'humidité dus aux occupants et au renouvellement d'air.	Mise en place de dispositifs pour : - limiter un écart de plus de 6°C avec l'extérieur, - éviter de pouvoir climatiser à moins de 24°C.
Confort hygrométrique local (pour chaque espace ou zone)	**Objectif :** assurer le confort pour chaque occupant en tout point du local. **Prévention des effets locaux liés :** - à la diffusion d'air : vitesse d'air inférieure à 0,25 m/s au niveau des personnes, - au gradient vertical de température, - à l'asymétrie de rayonnement (la différence de température de rayonnement entre 2 parois ne doit pas être supérieure à 3°C), - à l'exposition directe des occupants au rayonnement solaire, - au risque de brûlure par menuiserie métallique (utiliser des systèmes de rupture de ponts thermiques ou une couleur réfléchissante).	Décrire les dispositifs pour prévenir les effets locaux.

Confort dans les espaces extérieurs immédiats

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental. Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.	Maîtrise d'œuvre Les rendus et indicateurs pour qualifier et quantifier « l'effort environnemental ».
Aménagement des zones	Espaces immédiats prolongeant le bâtiment : repérage des zones couvertes, zones ouvertes aménagées, revêtements aux abords du bâtiment.	Plan de masse annoté avec : - course solaire, - mode de protection solaire choisi, - contraintes acoustiques, - direction du vent.
Protection solaire	Protéger du soleil en fonction des plages probables d'occupation. Choix du type de revêtement à proximité.	
Ventilation	Orientation en fonction des vents des différents espaces aménagés.	



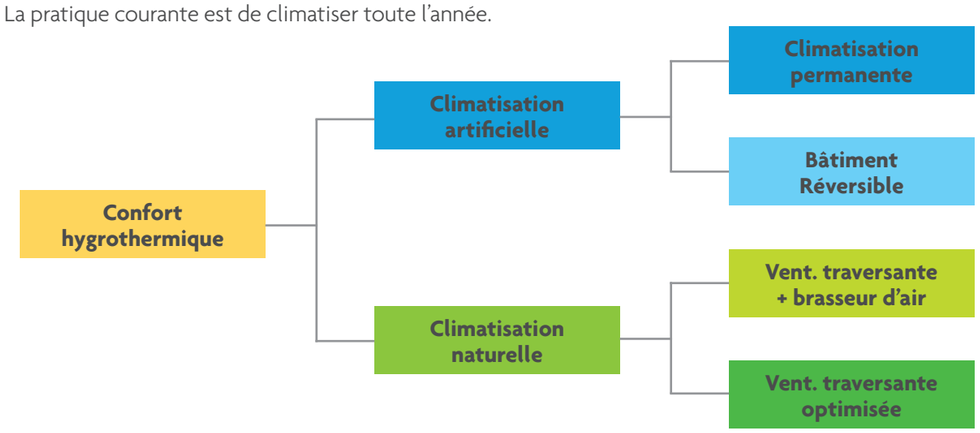
Influence de la valeur du coefficient de réflexion solaire du sol (albédo) sur la température extérieure environnante (Te) en fonction du type de revêtement choisi.

Confort hygrothermique : synthèse des stratégies possibles

En Polynésie, deux stratégies sont envisageables en matière de confort hygrométrique, elles-mêmes déclinables en deux variantes :

Climatisation artificielle
La pratique courante est de climatiser toute l'année.

Cependant, plutôt que de laisser fonctionner la climatisation permanente, toute l'année, une alternative consiste à limiter la climatisation aux jours les plus chauds et humides de l'année et de fonctionner en ventilation naturelle le reste du temps. Cela nécessite des aménagements constructifs pour basculer d'un fonctionnement à l'autre.



Ventilation naturelle
Parmi les deux fonctions de la ventilation naturelle - évacuation des apports et augmentation suffisante des vitesses d'air intérieures - la seconde est beaucoup plus difficile à atteindre et exige des conditions particulièrement favorables (potentiel venteux, relief et environnement urbain). En revanche le premier palier (niveau de renouvellement d'air au-delà de 15 vol/h) est aisément atteignable dans la majorité des cas. D'où les deux stratégies envisageables correspondant à un découplage des objectifs en ventilation naturelle :

- Objectif centré sur l'évacuation des apports internes (renouvellement d'air supérieur à 15 vol/h), et équipement en brasseurs pour atteindre les vitesses d'air de 1m/s (avec l'objectif de réduire le temps de fonctionnement).
- Objectif centré sur l'atteinte de la vitesse d'air de 1 m/s aux heures les plus chaudes majoritairement par la ventilation traversante (renouvellement d'air supérieur à 50 vol/h).

1.2.4 - CONFORT ACOUSTIQUE

Objectifs généraux

L'acoustique participe au bien-être des occupants. Une mauvaise acoustique d'un bâtiment engendre :

- des sensations désagréables ;
- des répercussions récurrentes sur la santé (nervosité, maux de tête, problèmes auditifs).

Pour obtenir des conditions d'ambiance acoustique satisfaisantes dans toutes les pièces, on intervient sur trois types de paramètres :

- isolement vis-à-vis des bruits extérieurs (dits « aériens ») et intérieurs ;
- traitement des bruits d'impact ;
- correction acoustique (limitation des réverbérations).

En région tropicale humide, l'élément déterminant pour l'acoustique est le choix du mode d'obtention du confort thermique : climatisation naturelle ou artificielle.
Dans les ambiances climatisées, la Nouvelle Réglementation Acoustique (pour les établissements publics) ou les règles du GIEC (groupe interministériel d'études sur le climat) peuvent être appliquées.
A contrario, pour les ambiances climatisées naturellement, c'est à dire ouvertes sur l'extérieur, les indices et les niveaux d'isolement requis par rapport aux bruits aériens sont inadaptés : une démarche appropriée doit être adoptée ce qui n'empêche pas de traiter les autres paramètres déterminants du confort acoustique de manière similaire au traitement en ambiance close.

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental. Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.	Maîtrise d'œuvre Les rendus et indicateurs pour qualifier et quantifier « l'effort environnemental ».
Dispositions architecturales pour réduire les contraintes dues aux sources extérieures de bruit	La climatisation naturelle requiert un environnement suffisamment venté et des contraintes acoustiques raisonnables, gérables dans le cadre d'ambiances ouvertes. C'est pourquoi **la première démarche de conception est de croiser les critères « vent » et « contraintes acoustiques »** pour réserver les meilleures zones pour les locaux ou bâtiments destinés à être naturellement climatisés. Les zones climatisées artificiellement regroupent des ambiances fermées qu'il est plus facile d'isoler même dans le cadre de contraintes externes bruyantes.	Localiser les zones : - les mieux exposées au vent - les moins exposées vis-à-vis des sources sonores extérieures Etablir un plan de masse en expliquant les choix effectués pour : - prendre en compte les obstacles naturels et artificiels dans la recherche de l'isolement vis-à-vis du bruit aérien ; - exploiter ou modifier le relief et le paysage pour limiter les nuisances sonores routières ; - orienter les bâtiments en fonction des sources de bruits de l'environnement et des vents dominants ; - prendre en compte la destination des pièces au moment de leur positionnement dans le bâtiment.

Thématiques	**Maîtrise d'ouvrage** Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental. Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.	**Maîtrise d'œuvre** Les rendus et indicateurs pour qualifier et quantifier « l'effort environnemental ».
Dispositions des locaux	Cohérence de la disposition relative des locaux sur un plan vertical et horizontal.	Etablir un plan de masse explicatif visualisant les zones sensibles, les zones bruyantes, les zones tampons...
Isolements vis-à-vis des bruits extérieurs	Le critère pertinent pour juger de la performance des bâtiments est l'isolement acoustique standard pondéré (DnTA,tr).	**Locaux climatisés :** les valeurs minimales d'isolement peuvent être reprises de la NRA ou des règles du GIEC **Locaux naturellement climatisés :** les réflexions des équipes de maîtrises d'œuvre s'inspireront des travaux en cours sur l'adaptation de la réglementation dans les DOM.
Isolement Vis-à-vis des bruits aériens en provenance d'autre locaux	Le critère pertinent pour juger de la performance des bâtiments est l'isolement acoustique standard pondéré DnTA en db.	**Locaux climatisés :** les valeurs minimales d'isolement peuvent être reprises de la NRA ou des règles du GIEC. **Locaux naturellement climatisés :** les réflexions des équipes de maîtrises d'œuvre s'inspireront des travaux en cours sur l'adaptation de la réglementation dans les DOM. Le positionnement des bâtiments et des locaux, l'interposition d'espaces tampons, l'aménagement de barrières ou écrans acoustiques sont les principaux moyens d'action pour trouver les bons compromis acoustiques.

Pour en savoir plus : Nouvelle Réglementation Acoustique (http://www.developpement-durable.gouv.fr/Acoustique,13397.html). Voir les travaux de réglementation DOM (DDE, CSTB).

Thématiques	**Maîtrise d'ouvrage** Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental. Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.	**Maîtrise d'œuvre** Les rendus et indicateurs pour qualifier et quantifier « l'effort environnemental ».
Traitement acoustique des locaux	La correction acoustique des locaux doit être envisagée pour : - les halls et les circulations communes, - les locaux nécessitant une bonne intelligibilité de la parole : salles de classes, salles de conférence... ; - les locaux accueillant des activités bruyantes (réfectoire, gymnase, salle de sport ...) ; - les locaux de grand volume.	Respecter les exigences de durée de réverbération Tr recommandées par la réglementation acoustique (NRA).
Bruits de chocs	Cela concerne essentiellement les bruits d'impacts transmis par : - les planchers entre étages, - le bruit d'impact de la pluie en toiture.	Respecter les exigences en termes d'Indice acoustique à respecter vis-à-vis de la réglementation : Niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé LnT,w perçu dans les locaux de réception.

Locaux climatisés : aspects spécifiques des équipements de climatisation

Thématiques	**Maîtrise d'ouvrage** Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental. Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.	**Maîtrise d'œuvre** Les rendus et indicateurs pour qualifier et quantifier « l'effort environnemental ».
Equipements de climatisation	**Equipements extérieurs** Valeur d'émergence maximale admise pour l'environnement extérieur (décret 95 – 408 du 18/4/95) (la vérification des niveaux sonores des équipements extérieurs peut se faire selon la norme NF S 31-010). **A l'intérieur des locaux** Quel est le niveau de bruit reçu par les occupants LnAT[1] ? **Local technique (climatisation)** Quel traitement acoustique ?	Le niveau sonore des unités extérieures ne doit pas être supérieur à celui de l'environnement extérieur de plus de : - 3 dB(A) la nuit - 5 dB(A) le jour Il ne doit pas dépasser Hôtel , hôpital : 30 dB(A) Bureaux, enseignement : 35 dB(A) Commerce : 45 dB(A) Décrire les solutions choisies si le local technique est proche de zones sensibles.
Installations de climatisation individuelle	Sélectionner les appareils en fonction des caractéristiques acoustiques intérieures et extérieures. Unités intérieures : - Niveau de pression acoustique de l'unité Lw. - Niveau de pression acoustique normalisé dans le local (facultatif). Unités extérieures : - Niveau de pression acoustique de l'unité Lw. - Mesure de l'émergence selon la norme NF S (facultatif). - Positionnement de l'unité extérieure vis-à-vis du voisinage le plus proche.	Fournir et argumenter : Lw = _____ dB LnAT = _____ dB Lw = _____ dB Situer sur le plan masse.
Installations de climatisations centralisées	Unités terminales : sélectionner les unités intérieures en fonction des critères suivants : - Niveau de pression acoustique de l'unité Lw. - Niveau de pression acoustique normalisé dans le local (facultatif). Groupes frigorifiques : pour les aspects acoustiques prendre en compte : - le type de groupe d'eau glacée, le capotage acoustique, - le niveau de puissance acoustique Lw du groupe et le spectre correspondant si disponible, - la position du groupe de production d'eau glacée et des compresseurs.	Fournir et comparer les niveaux acoustiques Lw = dB LnAT = dB Lw = dB Situer sur le plan masse.

[1] LnAT : niveau de pression acoustique normalisé exprimé en dB(A) pour une durée de réverbération égale à 0,5 s à toute fréquence, dans le local de réception.

1.2.5 - QUALITE D'AIR ET CONFORT OLFACTIF, QUALITE D'EAU ET CONDITIONS SANITAIRES

Les conditions sanitaires et les impacts d'un bâtiment sur la santé font partie des préoccupations apparues récemment, avec notamment le « syndrome du bâtiment malsain » ou « sick building syndrome », terme créé dans les années 80 suite à un rapport de l'OMS qui pointait du doigt les pathologies découlant de mauvaises conditions sanitaires sur le lieu de travail ou de vie.

Si les conséquences en termes de santé sont difficilement quantifiables sur un plan économique (impact sur les déficits des comptes sociaux), elles ont par contre des répercussions tangibles en termes de maladies chroniques ou durables, d'inefficacité ou d'inattention, de fatigue, de stress, etc... Les problèmes liés au saturnisme, à l'amiante et autres produits cancérigènes ou encore la légionellose, sont autant d'exemples malheureux des conséquences que peuvent générer certains choix de matériaux ou produits, et mettent en avant toute l'importance qu'il y a, au moment de la conception d'un ouvrage, à traiter en profondeur les questions de santé dans le bâtiment.

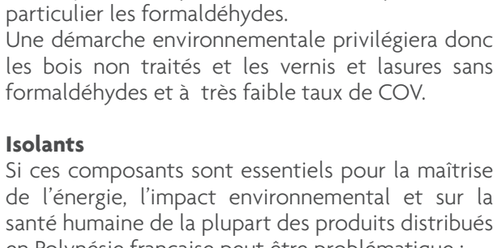
Ces problématiques doivent donc faire l'objet d'une attention très particulière tout au long de la conception d'un projet (et pas seulement en fin d'étude lors de la phase APD) et être affichées comme un souhait fort de la part du Maître d'Ouvrage.

Eléments contextuels

Bâtiments naturellement climatisés
A la différence des bâtiments climatisés, les échanges d'air avec l'extérieur dans les bâtiments à ventilation naturelle ne doivent pas être restreints mais au contraire développés pour créer du confort thermique et assurer une bonne qualité d'air. Comme le montre le schéma ci-dessous, il existe une stratification nette dans les différentes fonctions recherchées dans la ventilation selon le niveau de débit de renouvellement d'air :

- Niveau 1 : débits hygièniques de 0,5 à 5 vol/h pour diluer les pollutions (15 m3/h par occupant selon la réglementation)
- Niveau 2 : débits de 10 à 30 vol/h pour évacuer les apports thermiques des locaux et abaisser la température d'ambiance.
- Niveau 3 : débit de 50 vol/h à quelques centaines pour créer de la vitesse d'air, idéalement 1m/s pour satisfaire le confort hygrothermique des habitants.

Les 3 dimensions de la ventilation



Climatisation et conditionnement d'air
De nombreux locaux sont climatisés en Polynésie française sans traitement d'air neuf : c'est généralement le cas des bâtiments climatisés par des splits. Le renouvellement d'air n'est donc pas assuré, hormis parfois par des systèmes de ventilation mécanique simples (VMC).
Les occupants d'un local sont donc soit confinés dans un air de mauvaise qualité, soit ont recours à une ventilation par ouverture de portes ou de fenêtres, avec toutes les conséquences négatives que cela engendre en termes de consommations d'énergie, ou de condensation.

Revêtements intérieurs et extérieurs
L'utilisation de bois peut nécessiter un traitement extérieur (lasure, vernis) peu écologique ainsi qu'un traitement anti-termites nocif pour l'environnement. De même la plupart des revêtements intérieurs contiennent des COV (composés organiques volatils) dont l'impact sanitaire est important, en particulier les formaldéhydes.
Une démarche environnementale privilégiera donc les bois non traités et les vernis et lasures sans formaldéhydes et à très faible taux de COV.

Isolants
Si ces composants sont essentiels pour la maîtrise de l'énergie, l'impact environnemental et sur la santé humaine de la plupart des produits distribués en Polynésie française peut être problématique :
- Impact sanitaire des fibres minérales (isolation des faux plafonds, etc.. ...) qui devront être encapsulées pour ne pas être en contact avec les ambiances intérieures.
- Impact global des isolants gonflés avec des gaz à Potentiel de Déplétion de la couche d'Ozone (ODP) non nul et à pouvoir de réchauffement global très élevé auquel on préfèrera par exemple des mousses gonflées au CO2.

Moustiques
Les moustiques se développent dès l'apparition de stagnations d'eau et sont porteurs de risques de dengue (ou autre maladie véhiculée par les moustiques) selon les endroits de la Polynésie.

Légionnelles
Les problèmes de légionelloses peuvent apparaître au niveau des chauffe-eaux, mais ne sont pas liés en Polynésie française aux systèmes de climatisation centralisée.

Qualité d'air et de l'eau

Objectifs
Fournir une qualité d'air optimale à l'intérieur des locaux, et minimiser l'impact du bâtiment sur les éléments naturels tels que l'air et l'eau.

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental. Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.	Maîtrise d'œuvre Quantifier les exigences. Justifier les réponses. Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental ».
Contrôle de la qualité de l'air neuf, ventilation et perméabilité de l'enveloppe	Bâtiments naturellement climatisés. Bâtiments climatisés artificiellement. Dispositifs d'introduction de l'air hygiénique. Prendre en compte les contraintes de pollutions extérieures pour l'emplacement des prises d'air neuf. Choix du système de ventilation. En cas d'installation simple ou double flux, réserver les passages de gaines en plan et en coupe.	Indiquer sur les schémas de ventilation les sources de nuisances extérieures : - plantations pouvant provoquer des allergies, - poussières, - nœuds de circulation routière, - sources de bruit, moustiques, de fumées, d'odeurs, ... Indiquer par des schémas les principes de ventilation mécanique : - remplacement de la (des) source(s) d'air neuf, - rejet de l'air vicié, - typologie de la ventilation (naturelle ou VMC). Réservations de gaines en plan et en coupe. Passages de gaines intérieures en plan et en coupe (en particulier, contraintes de l'installation de ventilation...).
Contrôle de la qualité de l'air ambiant	Les matériaux et produits utilisés pour la conception d'un bâtiment peuvent se révéler très toxiques. Ils concernent essentiellement : - les peintures, solvants, lasures, traitements des façades (Composés Organiques Volatils, formaldéhydes), - les isolants Veiller à faire appliquer la réglementation sur le renouvellement d'air.	Fournir les détails de produits ou systèmes utilisés pour : - les revêtements des parois intérieures et extérieures, - l'isolation de toiture. Renouvellement d'air neuf minimal réglementaire par occupant : - bureaux : 18 m^3/h sauf pour les élèves des écoles et collèges 15m^3/ h - salles de réunion : 18 m^3/h - locaux sanitaires : 15 m^3/h
Contrôle de la qualité de l'eau	Les sources de contamination de l'eau sont diverses : eau chaude sanitaire, eau courante, eaux usées. Le Maître d'Ouvrage devra en outre s'assurer, lors du fonctionnement du bâtiment, de prévoir des produits d'entretien sains.	Eviter les « bras morts » des circuits d'eau chaude. Prévoir une synoptique en cas de récupération d'eau de pluie (potable, non-potable). Eviter les zones de nidification potentielle des moustiques.

Conditions sanitaires

Par cette thématique, on va chercher à prévenir les phénomènes liés à la condensation (moisissures, oxydation), aux stagnations d'eau (moustiques, termites), et au manque d'hygiène en général (prolifération microbienne, fientes d'animaux).

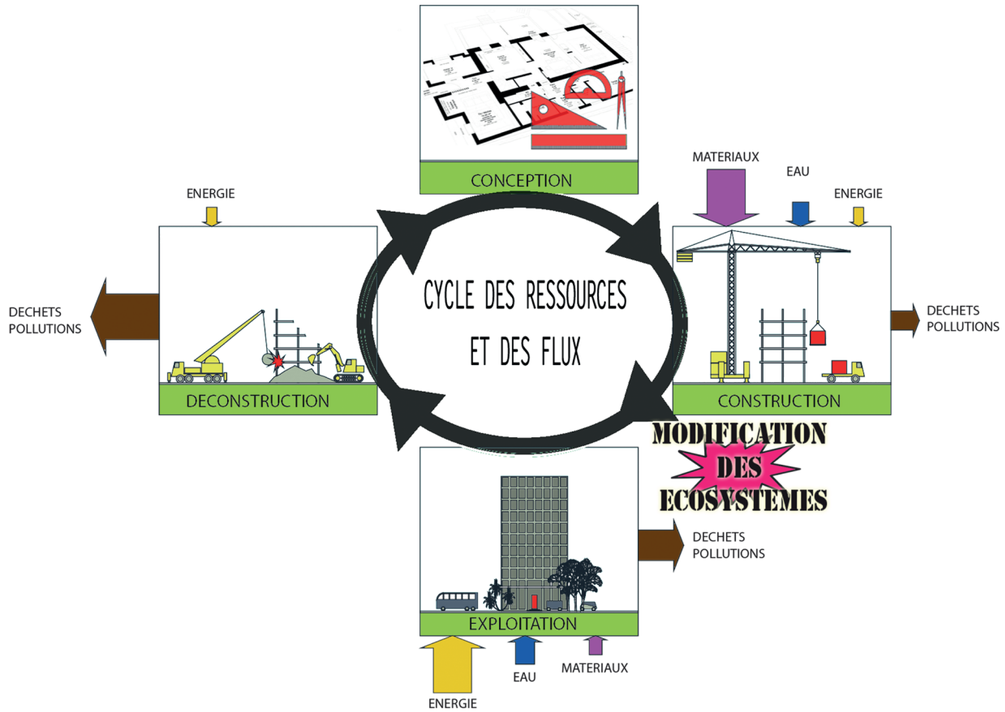
Thématiques	**Maîtrise d'ouvrage** Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental. Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.	**Maîtrise d'œuvre** Quantifier les exigences. Justifier les réponses. Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental ».
Prévention des moisissures	Une réflexion particulière sera menée sur la mitoyenneté des zones climatisées et les zones non-climatisées (en particulier les circulations). Pour les bâtiments climatisés artificiellement, une attention particulière devra être menée sur les entrées d'air extérieur éventuelles (étanchéité des locaux, possibilité d'ouverture des huisseries) et les températures de soufflage de l'air. Une communication détaillée précisant les mesures à adopter pour prévenir et traiter les moisissures sera élaborée avec le soutien de la maîtrise d'œuvre.	Schémas de situation des zones climatisées et non-climatisées. Donner le détail des classes d'étanchéité des ouvrants et prévoir des systèmes d'asservissement à la climatisation en cas de possibilité d'ouverture (contacts de feuillure). Voir p. 13 « confort hygrométrique ».
Prévention des nuisibles	Les locaux traités en ventilation naturelle ou les ventilations sous-toiture trop sombres peuvent être une source d'intrusion de volatiles. Le Maître d'Ouvrage devra mener une réflexion importante sur la lutte anti-moustiques (végétation environnante, répulsifs naturels, communication au personnel).	En cas de sur toitures ventilées, prendre les précautions nécessaires pour éviter les nidifications (grands décollements, pas de zones sombres) Prévenir les gîtes larvaires en limitant l'imperméabilité des sols, et en facilitant l'écoulement des eaux de pluie (drainages, dimensionnement des chenaux)
Hygiène des locaux sanitaires	Cette rubrique concerne essentiellement les locaux «à eau », comme les toilettes ou les douches : - stagnation d'eau, - transmission microbienne, - oxydation. Sans chercher à aseptiser complètement les locaux, on cherchera à minimiser les points de contacts (poignées, robinets). Cette thématique rejoint également celle de la partie « entretien et maintenance ».	Concevoir des locaux facilitant l'entretien et l'écoulement de l'eau. Prévoir des dispositifs antitartres et des matériaux résistants à l'humidité.

1.3 - LES RESSOURCES ET LES FLUX

1.3.1 - CONTEXTE ET CONCEPT DE BASE

Cette thématique regroupe l'ensemble des flux matériels (énergie, eau, déchets) ou d'équipements ou de travail humain (entretien et maintenance) qui « traversent » le bâtiment pendant sa durée de vie, depuis sa fabrication jusqu'à sa déconstruction.

La **maîtrise** de ces flux, de par leurs multiples dimensions et répercussions humaines (et en particulier sur les conforts et la santé des occupants des bâtiments concernés, et de la planète entière), environnementales et économiques, doit, dans tout projet poursuivant une démarche de qualité environnementale, être au centre du processus de conception, de réalisation et de suivi.



1.3.2 - ELEMENTS CONTEXTUELS

Il existe un certain nombre de spécificités climatiques, techniques, économiques et humaines qui rendent cette nécessité encore plus impérative dans le cas de la Polynésie française :

- En termes de **gestion énergétique** d'abord : le territoire est confronté aux problématiques suivantes :
  - une prépondérance de l'électricité dans le secteur du bâtiment puisque c'est quasiment le seul vecteur énergétique utilisé dans ce secteur ;
  - une dépendance énergétique totale pour ces importations d'énergie fossile à fort impact environnemental et à très faible densité d'emplois.
  - la fragilité et la richesse de l'environnement naturel.
- En termes de **gestion de l'eau potable** ensuite, pour laquelle la situation suivante nécessite également une démarche de maîtrise des besoins d'eau potable :
  - l'abondance de la ressource pluviométrique annuelle globale n'empêche pas les problématiques de carences saisonnières ou locales en eau potable;
  - la demande fait l'objet d'une pression croissante, encore plus forte que celle sur l'énergie, en raison notamment de la demande par habitant (amélioration du confort, nouveaux usages de l'eau) ;
  - cette croissance considérable de la consommation occasionne de par sa topographie à relief diversifié, ses spécificités climatiques (chaleur facilitant la prolifération microbienne), la nature de ses sols (eau très chargée en latérite) et la fragilité de ses écosystèmes, des travaux importants, coûteux et continus en matière :
    - d'unités de traitement,
    - d'extension des réseaux d'eau potable ou de redimensionnement de ceux-ci,
    - de réalisation de stations d'épuration.

  Les coûts écologiques et économiques induits sont colossaux : le prix de l'eau est amené à augmenter durablement en Polynésie française.
- En termes de **gestion des déchets d'usage** pour lesquels il existe peu de perspectives de filières de récupération -recyclage-valorisation tant le territoire est vaste, à faible densité, à tissu industriel inexistant et en situation d'insularité économique.
- En termes de **gestion de l'entretien et de la maintenance** enfin qui est caractérisée en Polynésie française par la situation suivante :
  - climat et environnement (températures élevées, humidité et pathologies récurrentes, proximité de la mer, ...) mettant à mal bâtiments et équipements ;
  - vulnérabilité de l'économie et de toute activité en général, en raison de sa soumission à des importations de produits, composants, pièces, systèmes nécessaires pour l'entretien et la maintenance ;
  - faible savoir-faire local pour des installations complexes et ponctuelles et coût considérable de cet entretien maintenance pour les bâtiments et leurs équipements techniques résultant de cette réalité climatique et technique et de cette insularité économique ;
  - impact environnemental important de certains déchets et sous-produits résultant de la maintenance, et de déchets d'usage des bâtiments en raison de la faiblesse et de l'absence d'organisation des filières de récupération-recyclage sur place.

Il est, par conséquent, non seulement **écologiquement responsable** sur ce territoire fragile et isolé d'avoir une démarche de gestion raisonnée de tous les flux qui « traversent » chaque année, de manière récurrente, un bâtiment pendant sa durée de vie. Mais il est et il sera de plus en plus rationnel de le faire au niveau de l'économie même si celle-ci ne prend pas (encore) en compte, loin s'en faut (à part pour de modestes avancées comme la rémunération du CO2 évité), le coût des dommages environnementaux dès lors qu'on raisonne en coût global, ou la hausse prévisible de certains paramètres économiques tels que le coût de l'énergie ou celui de l'eau potable.

Sur le plan de l'analyse économique et financière en effet chaque étape ou thème technique d'une démarche de gestion des flux peut conduire aux quatre situations-types suivantes, qui peut amener ou non à se poser la question réelle du coût global d'une opération :

- une **situation de rentabilité instantanée** parce que cette démarche conduit à une économie d'investissement, elle-même génératrice d'économies de fonctionnement : c'est souvent le cas lorsqu'une démarche de Qualité Environnementale conduit à une réduction du dimensionnement d'équipements (climatisation, éclairage, eau potable ...) ;
- une **situation de rentabilité brute garantie à court terme** avec un temps de retour brut de quelques années du « surinvestissement environnemental » (moins de 6 ans par exemple), situation pour laquelle une analyse en coût global n'est pas indispensable ;
- une **situation de rentabilité brute à moyen terme** avec un temps de retour brut en années plus long (de 7 à 15 ans par exemple) nécessitant une analyse en coût global qui, bien souvent, rend la démarche attractive au plan économique sur le long terme par le bénéfice induit par les options environnementales, en particulier sur la maintenance et le gros entretien (réinvestissement);
- une **situation de rentabilité brute à plus long terme** avec un temps de retour brut beaucoup plus long (plus de 15 ans) nécessitant une analyse fine en coût global avec, par exemple, plusieurs scenarii d'évolution des paramètres économiques (prix de l'énergie, de l'eau potable, de la main d'œuvre , ..) qui pourra conduire ou pas le maître d'ouvrage ou le décideur, selon ses moyens et sa sensibilité à parier ou pas sur l'avenir ;

Notons par ailleurs qu'une démarche d'éco-gestion :

- a des bénéfices économiques croisés qui nécessitent une analyse en coût global synthétisée à l'ensemble du bâtiment ;
- est génératrice de bénéfices qualitatifs non chiffrables (impact sur le bien-être, la santé, la qualité de l'air,...) mais bien réels qui peuvent conduire à orienter les choix et qu'il importe de mettre en avant.

Enfin c'est parce que certains choix conceptuels et techniques sont figés dans la durée de vie du bâtiment (50 ans voire plus) qu'il est essentiel de ne pas se tromper aujourd'hui et de faire preuve d'anticipation pour constater qu'une démarche scrupuleuse de gestion des flux qui, même si elle occasionne certains surcoûts d'investissements, est, sur la durée de vie du bâtiment, raisonnable et rentable...

1.3.3 - MATERIAUX : DOUBLE COMPROMIS SANTE/ENVIRONNEMENT

Réduire les impacts santé

Le choix des matériaux et leur impact sanitaire lié aux émissions de composés organiques volatiles ainsi que le renouvellement d'air participent à une bonne qualité de l'air intérieur.
Une attention particulière doit être portée sur les matériaux en contact direct avec l'air intérieur et sur le traitement de la ventilation afin d'assurer des conditions sanitaires satisfaisantes. Afin de garantir de bonnes conditions sanitaires, la maîtrise d'œuvre doit travailler sur la source des matériaux, et les conditions de ventilation.
Quel que soit le mode de ventilation retenue (hygiénique ou naturelle), le taux de renouvellement d'air sera supérieur à 15 m^3/h/personne dans toutes les zones du projet.

Des matériaux à faible contenu ou émission permettent de limiter la source de polluants. Ainsi, la maîtrise d'œuvre bâtit des prescriptions techniques sur :

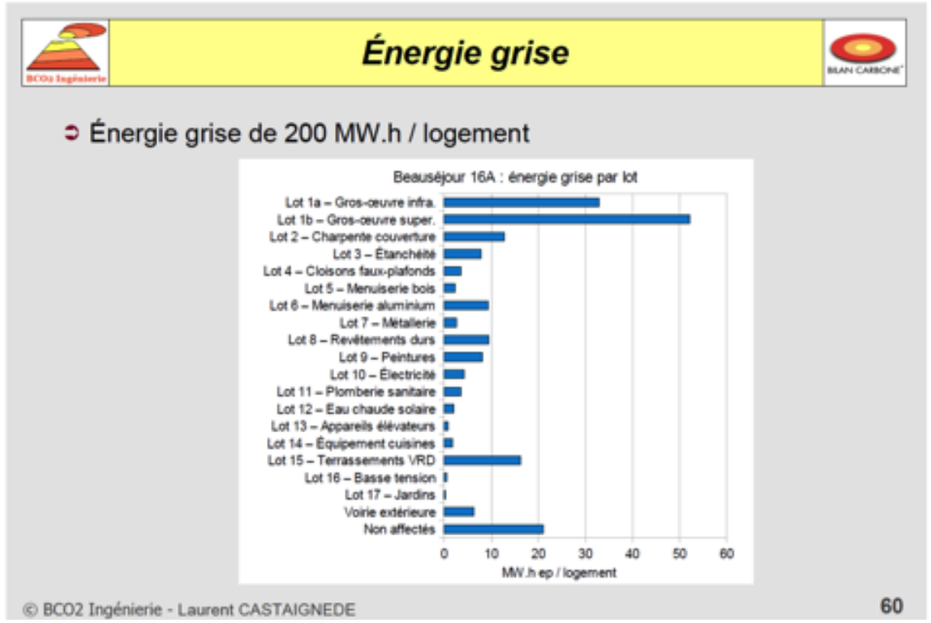
- les matériaux d'isolation,
- les ouvrages en bois,
- les peintures et revêtements muraux,
- les menuiseries intérieures et cloisons,
- les colles à bois,
- le revêtement de sol en interdisant l'usage de moquettes, et leurs modes de fixation,
- des matériaux à base de polyamides et de PVC.

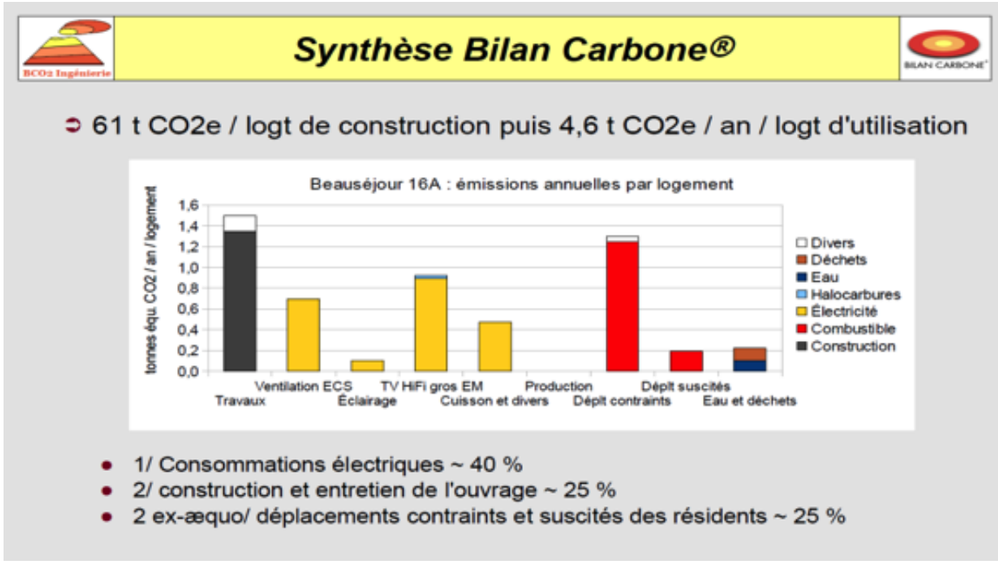
Les prescriptions techniques pour le mobilier qui sera installé, doivent orienter vers des matériaux peu émissifs en termes de COV.

La maîtrise d'ouvrage devra vérifier l'ensemble de ces prescriptions et s'assurer que les choix de conception garantiront un bâtiment sain.

Réduire les impacts environnementaux

Le projet doit favoriser l'utilisation de matériaux dits biosourcés sur au moins un des ouvrages du bâtiment et notamment le bois. Le calcul de la **quantité de bois** minimale (en dm^3 de bois / m^2 plancher) conformément au décret 2010-273 du 15/03/2010 est un bon indicateur de prise en compte de l'environnement dans le choix des matériaux. Le projet devra comporter, à titre d'exemple pour les bâtiments neufs, au moins 30 dm^3 de bois / m^2 plancher.
Cependant la méthode bilan carbone® basée sur l'analyse cycle de vie (ACV) des composants du bâtiment est une méthode plus précise mais plus lourde à manœuvrer pour quantifier l'effort environnemental d'un projet en matière de choix de matériaux. Dans le cadre de ce bilan des gaz à effet de serre (GES) (kgCO2/m^2), d'autres indicateurs comme l'énergie grise (énergie nécessaire à fabriquer et mettre en œuvre matériaux et équipement ramenée à la surface utile) sont particulièrement utiles pour comparer des projets : un bon objectif est par exemple de parvenir à une énergie grise inférieure à 1500 kWhep/m^2SU.an. Un bilan est présenté et fournit les indicateurs permettant la réalisation du calcul.





Il est intéressant dans le cadre de bilan des GES de bien situer la part liée à la construction de base, la part de consommation mise en œuvre et la part liée aux déplacements des individus.

1.3.4 - GESTION DE L'ENERGIE EN PHASE EXPLOITATION DU BATIMENT

Réduire les impacts santé

L'objectif est de satisfaire tous les services énergétiques pour les usagers du bâtiment, zone par zone, à leurs moments d'occupation de chaque zone, au meilleur confort possible pour les usagers, au moindre impact environnemental possible et dans les meilleures conditions de coût global possible et avec les meilleures bénéfices quantitatifs et qualitatifs possibles pour les usagers et pour la planète.

Thématiques	**Maîtrise d'ouvrage** Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental. Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.	**Maîtrise d'œuvre** Les rendus et indicateurs pour qualifier et quantifier « l'effort environnemental ».
Création d'ambiances confortables	Développé dans le traitement du « confort hygrothermique » Points spécifiques : - Privilégier la ventilation naturelle associée et complétée par des brasseurs d'air beaucoup moins consommateurs que les meilleurs climatiseurs. - Envisager un fonctionnement hybride (climatisation limitée aux périodes les plus critiques) à certains moments de l'année ou de la journée ou pour certains usages particuliers de cette zone de tout ou partie du bâtiment ; - Dimensionner les installations sans redondance ou « sécurité excessive » des usages simultanés prévus ou « anticipables » de plusieurs zones du bâtiment ; - Sélectionner des équipements performants sur un plan énergétique mais également sur le volet environnemental (fluides frigorigène) et acoustique,.... Les techniques d'utilisation des énergies renouvelables viennent alors bien « en dernier » dans cette approche et malgré les promesses de la climatisation solaire thermodynamique : - la climatisation naturelle, lorsqu'elle est possible reste une option préférable sur un plan environnemental et économique. - une démarche préalable « sobriété- efficacité » est toujours plus rentable et permettra aussi de justifier en aval cette option solaire alors optimalement dimensionnée.	Tenir compte dans le dimensionnement de la climatisation : - de données enthalpiques (température et humidité) réalistes (voir le guide « Climatiser dans les DOM ») correspondant en outre aux périodes d'occupation ; - des foisonnements d'usage par zone, - d'apports internes réalistes. Il est fortement recommandé : - d'utiliser des méthodes de simulation thermique dynamique pour effectuer ces dimensionnements (Design Builder, TRNSYS, TAS, Virtual environnement...), - de ne pas tenir compte des pointes exceptionnelles: on peut admettre qu'une zone prévue pour accueillir couramment 20 personnes par exemple, ne pourra pas assurer ponctuellement les besoins de rafraîchissement pour un nombre sensiblement supérieur à ce maximum courant. Prévoir une réflexion approfondie sur les équipements de rafraîchissement, climatisation et traitement d'air performants avec un choix des meilleurs rendements garantis par des organismes indépendants des fournisseurs.
Eclairage	Thème complètement développé dans la cible confort visuel. Le maître d'ouvrage a un rôle déterminant dans cette démarche d'éco-gestion pour l'éclairage puisque c'est lui qui décidera in fine : - de cette possible complémentarité entre éclairage naturel et artificiel (en tolérant éventuellement un taux d'insatisfaction ponctuel au niveau de l'éclairage) qui conduira alors clairement à des économies d'investissement et de maintenance induite ; - des choix des systèmes d'éclairage privilégiant par exemple un zonage avec un fort niveau d'éclairement limité aux zones qui le nécessitent (plan de travail), et d'autres aux niveaux d'éclairement plus restreints. La même démarche de conception pour l'éclairage artificiel de l'intérieur du bâtiment sera utilisée pour l'éclairage extérieur.	La démarche des concepteurs devra absolument faire appel à des outils (logiciels LesoDIAL, ou ECOTECT) pour mettre en évidence les pourcentages d'autonomie d'éclairage naturel au dessus de certains seuils.

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental. Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.	Maîtrise d'œuvre Les rendus et indicateurs pour qualifier et quantifier « l'effort environnemental ».
Eau chaude Sanitaire (ECS)	Minimisation des besoins d'Eau Chaude Sanitaire en termes de niveau de température, de quantité, zonages des besoins étant entendu que certains besoins peuvent, en Polynésie être satisfaits par de l'eau froide ; - Utilisation systématique d'équipements économiseurs d'eau potable : intermittence, débit (voir par ailleurs la partie « gestion de l'eau ») ; - Recours à l'ECS solaire avec réflexion sur le type d'appoint éventuel au solaire qui pourra aussi utiliser de l'énergie récupérée (sur les climatiseurs par exemple).	Une démarche d'éco-gestion sur l'ECS est gagnante simultanément sur deux fluides : l'eau et l'énergie La conception, le dimensionnement et la mise en oeuvre de systèmes d'Eau Chaude Solaire doit faire l'objet d'un travail rigoureux et détaillé. La démarche du concepteur se préoccupera aussi des dispositifs ayant un impact potentiel sur la santé : dispositif anti-brûlure, anti-légionelle,...
Autres usages énergétiques	Démarche systématique usage par usage : - de minimisation des besoins pour chaque usage énergétique ; - d'utilisation d'équipements efficaces ; - de choix du meilleur vecteur énergétique. La démarche ne se limitera pas aux équipements attachés au bâtiment mais aux équipements qui doivent ensuite être installés.	La démarche s'appuiera sur les moyens d'appréciation existants de l'efficacité énergétique : étiquettes énergie (étiquette polynésienne), labels (energy star, ...) , etc..... En matière de choix optimal de vecteur énergétique, on évitera par exemple de faire une cuisine tout électrique en Polynésie sous peine de rendre incohérente une démarche de bonne qualité environnementale.
Utilisation de systèmes de production d'énergies renouvelables	Pour conclure les projets ayant une forte réflexion en termes de maîtrise des consommations d'énergie, le Maître d'Ouvrage pourra choisir d'équiper son projet d'un système de production d'énergie renouvelable. Le plus plausible en Polynésie reste le photovoltaïque raccordé au réseau et en auto consommation , système par lequel le Maître d'Ouvrage produit et revend de l'électricité à l'opérateur électrique.	Vérifier les possibilités financières et techniques pour l'installation d'un système de production photovoltaïque, en location de toiture ou sur fonds propres.
Energie : synthèse	Exiger de l'équipe de MOE d'évaluer la performance énergétique des systèmes étudiés et de présenter leur adéquation par rapport aux besoins. **La maitrise d'ouvrage doit examiner que l'ensemble des dispositifs techniques calculés et validés sont bien décrits dans le CCTP établi par la maîtrise d'œuvre, et repris par les entreprises lauréates dans leur offres.**	Le traitement et la performance de tous les systèmes techniques installés dans le bâtiment (système de traitement d'air, climatisation, eau chaude sanitaire, informatique, ascenseurs ...) en termes de production, d'émission et distribution et suivant les besoins des zones traitées seront analysés. Un bilan complet des équipements retenus est présenté en terme de puissance installée, consommation prévisionnelle et du mode de gestion associé. A cet effet, on rappelle que l'objectif global est d'atteindre un niveau de consommation d'énergie inférieur à 70 kWh/m²/an. (tous usages de l'énergie finale, et par m² de SHON) Si de la production d'électricité, de chaleur (pour ECS) de froid a été envisagée par une source renouvelable, la technologie, son investissement, sa productivité et son montage technico-financier sont présentés.

Pour en savoir plus :
Guide « Climatiser dans les DOM »
Logiciel DIAL+ ou ECOTECT
Etiquette Energie, label energy star.

1.3.5 - GESTION DE L'EAU

Objectifs généraux

L'intérêt d'une bonne gestion de l'eau se retrouve ici dans la conjonction des 5 niveaux de préoccupation suivants :

- la satisfaction de tous les services en eau pour les usagers du bâtiment, zone par zone,
- un meilleur confort pour les usagers,
- un impact environnemental le plus réduit possible
- les meilleures conditions de coût global
- les meilleurs bénéfices quantitatifs et qualitatifs possibles pour les usagers et pour la planète.

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental. Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.	Maîtrise d'œuvre Les rendus et indicateurs pour qualifier et quantifier « l'effort environnemental ».
Eau	- Zonage du bâtiment et des espaces extérieurs en termes de besoins en eau, qualitatifs (type d'eau) et quantitatifs. On définira par exemple les usages qui peuvent être satisfaits par de l'eau brute (non traitée) ; - Réflexion sur la conception de la diminution des besoins en eau : par exemple choix d'options de végétalisation sans besoin d'eau en saison sèche ; - Utilisation systématique d'équipements terminaux (toilettes, robinets, douches, ..) à faible consommation d'eau ; - Réflexion sur l'utilisation des eaux renouvelables du site pour certains usages (toilettes, arrosage, lavage, ..) : eau de pluie, eau de forage.	Plan de zonage Note Calculs estimatifs des économies d'eau Respecter les spécifications techniques détaillées rigoureuses en matière de conception et de mise en œuvre de système de récupération des eaux pluviales pour répondre à des exigences sanitaires draconiennes.

NB : la gestion de l'eau de pluie sur la parcelle est traitée dans la cible 1

1.3.6 - GESTION DES DECHETS

On cherchera ici à :
- minimiser la production des déchets d'usage du bâtiment dans son fonctionnement courant et prospectif (sobriété),
- mettre en place des dispositifs permettant une récupération et un recyclage optimal des déchets d'usage (recyclage).

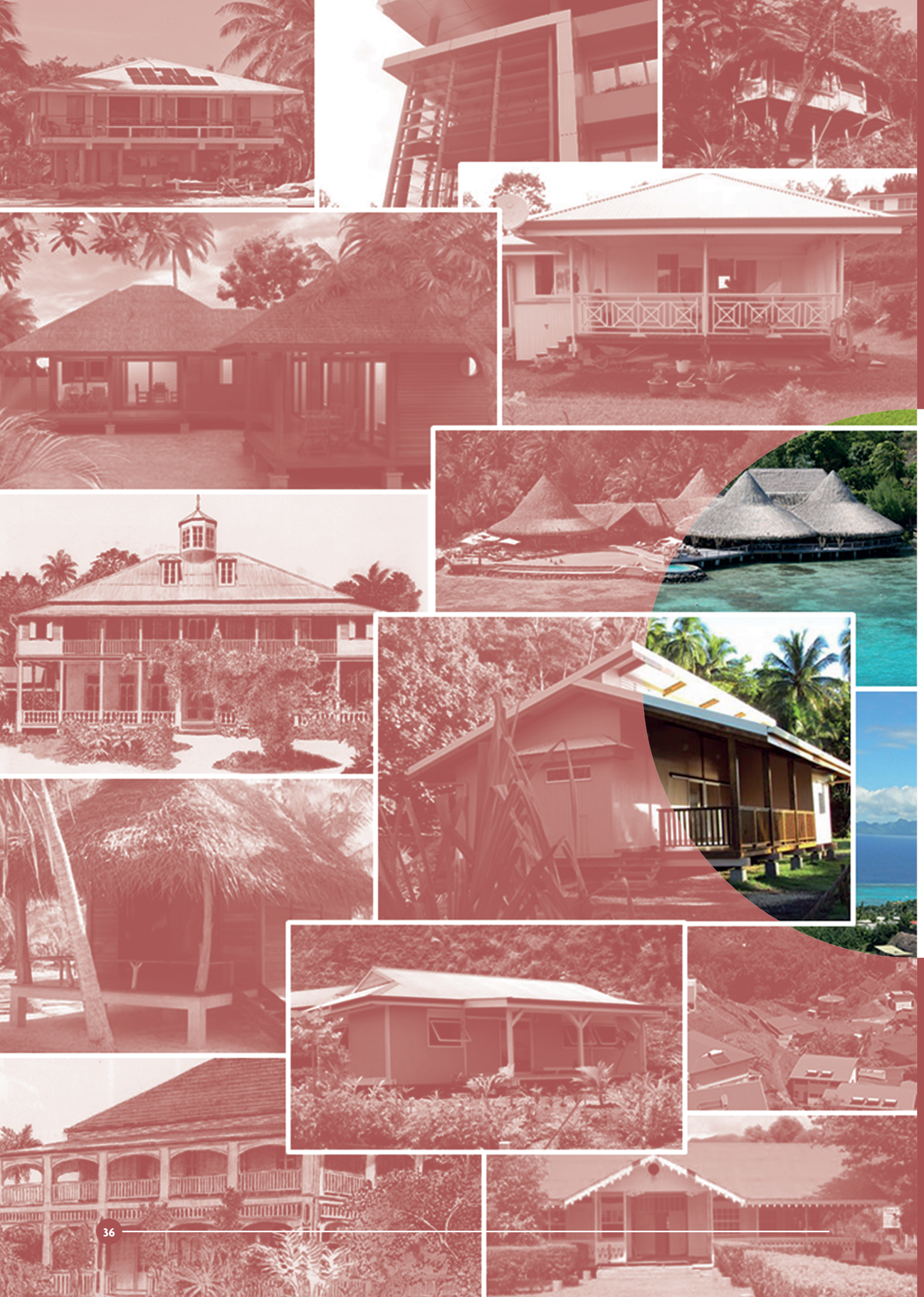
Thématiques	**Maîtrise d'ouvrage** Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental. Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.	**Maîtrise d'œuvre** Les rendus et indicateurs pour qualifier et quantifier « l'effort environnemental ».
Déchets	Le maître d'ouvrage devra veiller à faire en sorte que son bâtiment soit optimal en matière de récupération des déchets, non seulement au moment de sa réalisation mais aussi en anticipant sur les évolutions réglementaires et sociétales. Il s'agira principalement de concevoir, positionner et dimensionner des locaux déchets adaptés dans chaque partie du bâtiment depuis les zones ou les salles où sont produits les déchets jusqu'aux zones de récupération par le récupérateur recycleur en passant par des zones de stockage intermédiaire. Le choix d'équipements et de fournitures (y compris de consommables comme le papier par exemple) recyclables et réalisés à partir de produits recyclés doit aussi faire partie de cet aspect d'une démarche d'éco-gestion. La mise en place de plate-forme in situ de compostage de déchets organiques doit faire l'objet d'une attention particulière : réglementation, nuisances potentielles.	Les performances effectives du bâtiment en termes d'éco-gestion des déchets d'usage porteront autant sur la signalétique « déchets » et, en aval de l'utilisation du bâtiment, sur **l'information des usager**s et des choix optimaux de récupérateurs-recycleurs que sur les mesures de **conception même d'un bâtiment** adapté à la récupération-recyclage. Il devra être réalisé un zonage et un « circuit » déchets au niveau du plan masse... Il est probable qu'à moyen terme on s'orientera vers un quasi « tout recyclage » des déchets d'un bâtiment et il est donc important d'anticiper sur les dimensionnements des espaces que cela induira.

Pour en savoir plus : Plan d'Elimination des Déchets Ménagers et Assimilés.

1.3.7 - ENTRETIEN ET MAINTENANCE

On ne rappellera jamais assez l'agressivité du climat à proximité de la mer et son impact sur le gros œuvre et le second œuvre d'un bâtiment.
Il s'agit ici de concevoir un bâtiment en termes d'enveloppe, de systèmes et d'équipements minimisant les besoins d'entretien-maintenance : la maintenance la plus environnementale sera celle qui n'a pas besoin d'être réalisée !
D'une manière générale, la conception générale devra faciliter durablement une maintenance optimale : ergonomie des espaces, accessibilité...

Thématiques	**Maîtrise d'ouvrage** Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental. Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales.	**Maîtrise d'œuvre** Les rendus et indicateurs pour qualifier et quantifier « l'effort environnemental ».
Entretien et maintenance	Le maître d'ouvrage devra demander de limiter et d'optimiser l'entretien des composants et systèmes : - par une conception « sobre » d'un bâtiment, - par le choix de systèmes très durables ou auto entretenus (exemple une toiture en tôle de couleur claire isolée en sous face est partiellement auto-protégée contre les moisissures) - par une facilitation de la maintenance Une conception optimale de la maintenance est généralement très rentable en coût global, souvent encore plus qu'une démarche de gestion des fluides et ce contrairement aux idées reçues. On soulignera qu'une démarche éco-responsable en matière d'entretien-maintenance concerne aussi les consommables utilisés pour l'entretien du bâtiment (produits de lavage). Exiger un plan de monitoring de suivi des bâtiments (cahier des charges/systèmes de mesures recommandés.., protocole IPMVP pour la GTB).	Le travail de facilitation de la maintenance portera sur chaque zone du bâtiment et chaque composant. On se préoccupera en premier lieu de la facilité d'accessibilité à cette maintenance en toute sécurité pour les personnes l'effectuant, qu'elles soient employées de l'utilisateur du bâtiment ou prestataires de service externes contractuels. La maintenance sera pensée en termes d'ergonomie mais aussi de rationalité en termes de fréquence d'intervention. Elle devra se préoccuper aussi à la fois de l'influence du comportement de l'usager sur les besoins en maintenance et par conséquent de l'information de celui-ci sur ces divers aspects. Commissionning : importance de la dimension pédagogique Les bénéfices de la maintenance seront aussi qualitatifs en termes de confort, de santé et de productivité pour les occupants. La mission de maîtrise d'œuvre des concepteurs pourra être complétée d'une mission de conception maintenance souvent appelée « DCE maintenance » qui se préoccupe de ces divers aspects de l'éco-gestion y compris par un travail sur l'optimisation des contrats de maintenance.



2

OUTILS **METHODOLOGIQUES**

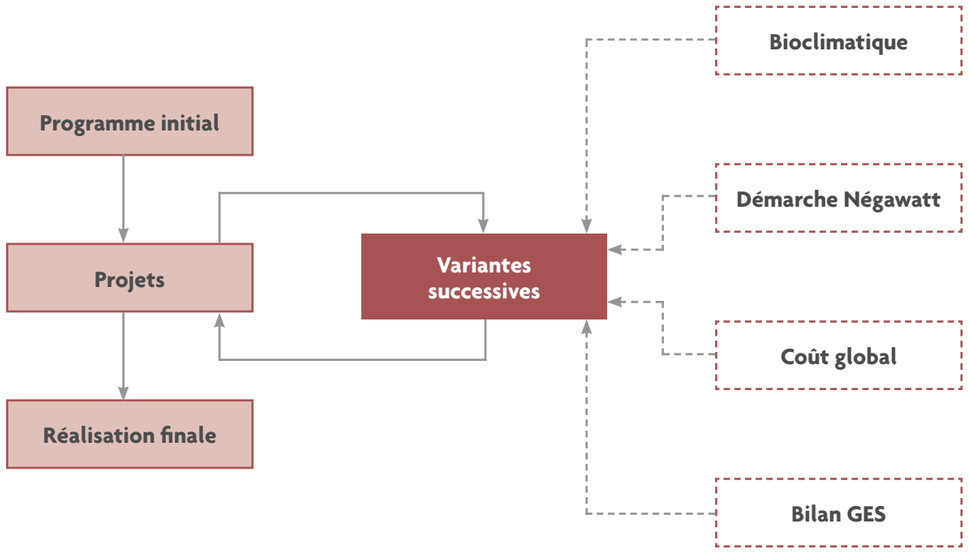
DÉMARCHE BIOCLIMATIQUE
DE L'ENVELOPPE

EQUIPEMENTS :
DEMARCHE NEGAWATT
ET OBJECTIFS DE PERFORMANCE

2 OUTILS METHODOLOGIQUES

Sur un plan environnemental, il est nécessaire d'élaborer un **système d'organisation** dés le démarrage du projet. On pourra se référer pour organiser ce Système de Management Environnemental (SME), mis au point par l'association HQE ou dans les référentiels Certivea.

Le processus de conception d'un bâtiment, malgré l'apport de nouveaux outils, reste fondamentalement itératif.
Un projet de bâtiment est affiné au fur et à mesure du déroulement du phasage par touches successives, guidé par des méthodes éprouvées :



Sur la thématique énergétique, les approches bioclimatiques (conception de l'enveloppe) et Négawatt (appliqué aux différents équipements consommateurs d'énergie) se complètent idéalement et apportent une méthodologie rigoureuse pour valoriser autant que possible :

- la valorisation passive ou active des éléments climatiques pour répondre aux besoins énergétiques
- la sobriété qu'elle soit conceptuelle, dans la conduite des installations ou l'appropriation du fonctionnement par les usagers
- l'efficacité et l'optimisation des composants d'enveloppe et des équipements nécessaires au fonctionnement du bâtiment

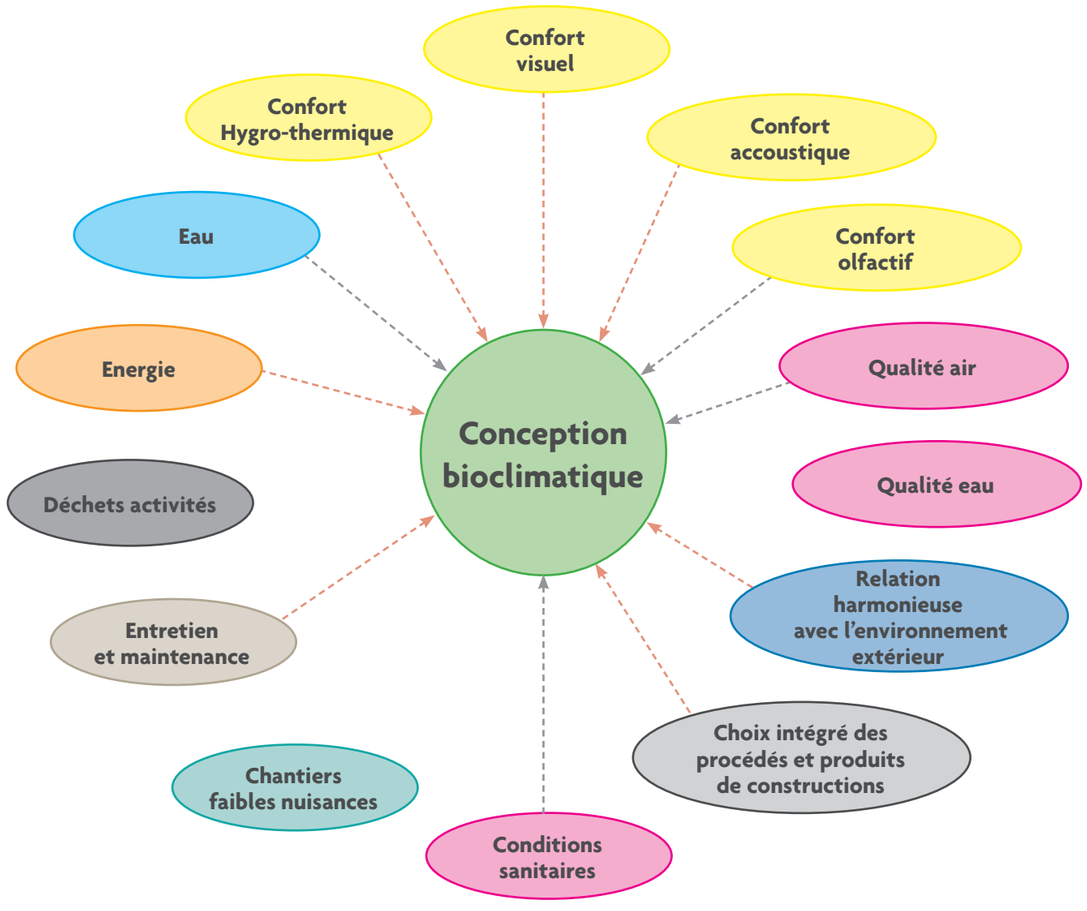
Dans l'arbitrage des choix globaux à opérer sur les volets énergétiques et environnementaux, deux méthodes apportent un éclairage devenu nécessaire et indispensable :

- le **bilan GES d'une opération** : le contenu énergie du bâtiment (énergie grise) pour sa construction représente l'équivalent de la consommation énergétique de plusieurs dizaines d'années de fonctionnement de l'établissement. De même, le choix d'emplacement d'un projet peut être déterminant si l'on intègre le coût environnemental du transport des personnes.

- l'**approche en coût global** : l'investissement initial, critère déterminant pour le maître d'ouvrage, doit être relativisé et mis en perspective sur la durée de vie du bâtiment en intégrant les coûts liés au fonctionnement, la maintenance, l'entretien et l'exploitation. Cette approche permet de valoriser les éventuels surinvestissements par les économies générées en vie en œuvre.

2.1 - DEMARCHE BIOCLIMATIQUE DE L'ENVELOPPE

La **conception bioclimatique** de l'enveloppe thermique interfère avec presque toutes les cibles environnementales comme le montre la figure ci-dessous. C'est donc un axe particulièrement structurant en phase conception, quelque soit le mode de régulation des ambiances.
En climatisation naturelle, la conception bioclimatique est fortement interdépendante des potentialités du site. Les atouts naturels du site (végétalisation, localisation par rapport à la mer,...), l'orientation des voies, le relief, le positionnement par rapport au vent et aux brises locales vont conditionner la possibilité de développer une ventilation traversante. Les conditions sanitaires sont également une forte contrainte : gérer les moustiques et évacuer efficacement l'humidité.
Le choix d'une climatisation artificielle des ambiances doit également s'inscrire dans une conception bioclimatique. Le défi essentiel est alors celui de la réduction des coûts énergétiques et des impacts environnementaux induits par les équipements de climatisation (consommations énergétiques, fluides frigorigènes,...). Le confinement des ambiances pose la question de la qualité d'air, de la nécessité d'une ventilation mécanique et d'un traitement de l'air hygiénique.
Compte tenu des implications listées précédemment, le choix et l'affectation du mode de climatisation des différents locaux d'un projet doivent être étudiés très en amont dans les premières phases d'un projet.



2.1.1 - ANALYSE DES CONDITIONS FAVORABLES A LA CLIMATISATION NATURELLE OU ARTIFICIELLE

2.1.1.1 - Exigences du programme

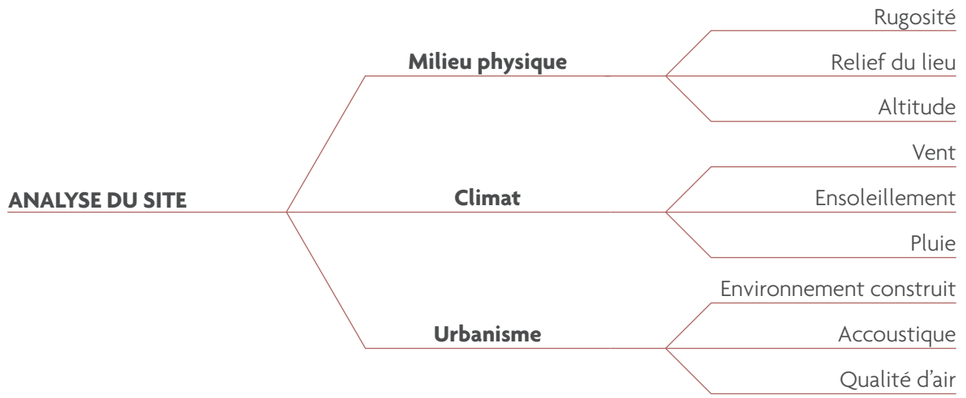
Une partie des enjeux énergétiques se joue dès la phase programmation :
- une description très restrictive des conditions de confort peut rendre hors-jeu une approche en climatisation naturelle,
- la densité du programme est un élément important, car elle conditionne la densité des apports internes
- l'organisation fonctionnelle (open space/cloisonnement) et le zonage thermique (regroupement des zones naturellement et artificiellement climatisées) la profondeur des locaux conditionnent le choix d'un mode de climatisation, la cohabitation entre les deux approches, de même que la réversibilité de fonctionnement des ambiances,
- le mode de calcul économique adopté influence la vision des choses.

Le tableau ci-dessous présente les conditions d'un projet pour lesquelles une solution de climatisation naturelle va être facilement applicable, et celles pour lesquelles la climatisation artificielle semble « fatalement » être la seule solution possible. Ces conditions sont présentées ici d'une manière globale pour l'ensemble des secteurs d'activité (bureau, hôtellerie, bâtiments scolaires, commerces, logements,), mais devront être affinées au cas par cas selon le secteur considéré.

Les exigences du programme	Conditions favorables à la climatisation naturelle	Conditions acceptables et améliorations	Conditions justifiant le recours à la climatisation artificielle
Densité du programme, cloisonnement	Programme peu dense 1 personne/15 m².	Open space, espace décloisonné.	Très Forte densité d'occupation Profondeur importante des locaux.
Fonctionnalités : zonage Nat/art	Interconnexion des zones naturellement sur les façades les plus exposées aux vents.	Regroupement des zones climatisées et non climatisées.	Cloisonnement limitant la ventilation traversante.
Exigences en matière de confort hygrométrique Et consignes	Définition souple dans les conditions de confort exigées (se référer aux plages de confort acceptables). Exigence modulée en fonction des saisons.	Locaux techniques : définir les conditions en fonction de l'acceptabilité des matériels (serveur).	Définition trop restrictive des conditions de confort. Ouvre la possibilité de réversibilité.
Approche économique du projet	Exiger une Approche en coût global valorise le surinvestissement nécessaire pour développer la ventilation naturelle par les économies induites de consommation électrique et d'installation de climatiseurs.	Coût des améliorations (aménagements extérieurs, orifices de ventilation, etc.).	Coûts des modifications trop importants (en réhabilitation) et/ ou impossibilité de les reporter sur les économies de consommation électrique et l'installation de la climatisation.

2.1.1.2 - Les contraintes et atouts du site

Dans l'**analyse environnementale du site**, effectuée en principe au stade de la programmation, les points cruciaux à examiner en matière de confort hygrométrique sont les suivants :
- **Le milieu physique.** La **rugosité** environnante et le relief sont déterminants pour le potentiel venteux de la parcelle. Le **relief** influe également sur la course visible du soleil notamment en début ou fin de journée. La température diminue avec l'**altitude**, en moyenne de 0.7°C pour 100 m : les zones d'altitude de quelques centaines de mètres bénéficient d'un climat particulièrement favorable en saison chaude.
- **Le Climat.** Les éléments les plus variables d'un site à l'autre sont le vent et la pluviométrie. La partie Ouest de l'ile -sous le vent- bénéficie d'un potentiel vent nettement moindre que la partie est. La couverture nuageuse apporte des variations non négligeables du niveau d'ensoleillement.
- **L'urbanisme.** L'environnement construit modifie la relation avec le soleil (ombrage mutuel des bâtiments) et dégrade le potentiel du vent au niveau de la parcelle. Le **niveau de bruit** environnant (voir classement acoustique des voies) et la qualité de l'air environnant sont des éléments d'appréciation importants pour le développement de la ventilation naturelle. L'**ilot de chaleur urbain** dans les zones urbaines



particulièrement minéralisées peut aggraver les conditions de température extérieure par une augmentation moyenne allant de 1 à 3°C.

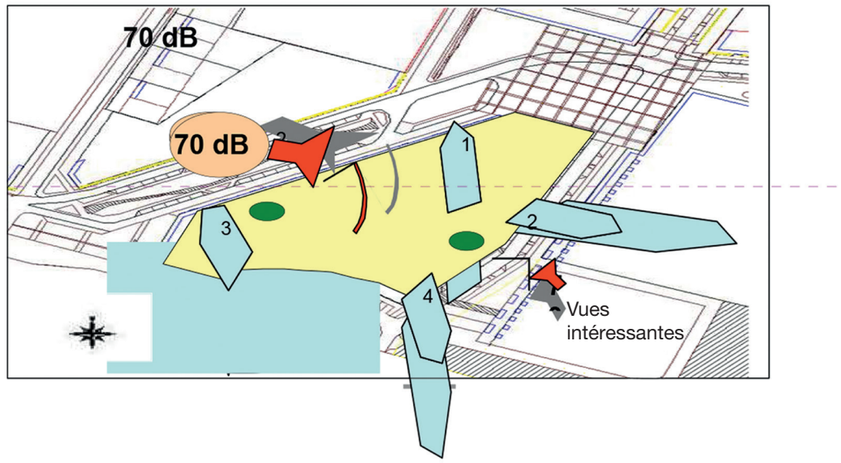
Le tableau suivant complète les questionnements à passer en revue et les études à mener pour conforter les choix en matière de mode de climatisation :

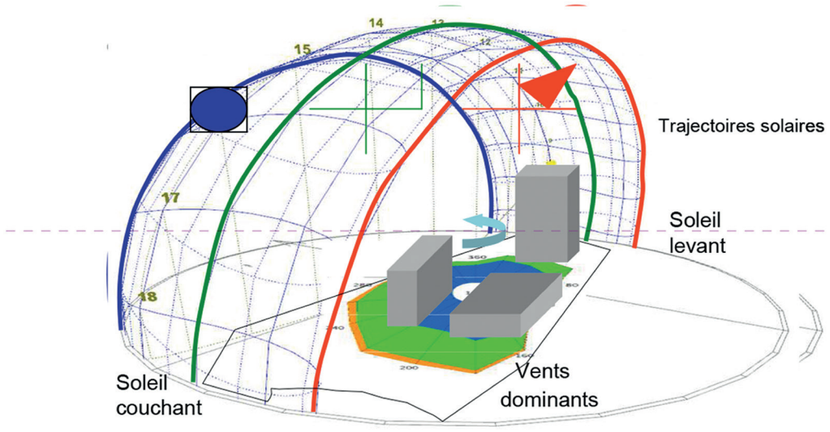
Site/ environnement urbain	Conditions favorables à la climatisation naturelle	Conditions acceptables et améliorations possibles	Etudes à mener
Environnement construit	+ Absence d'obstacles immédiats dans la trajectoire des vents. + possibilité de capter les vents dominants et secondaires. + Rugosité environnante. + les ombrages environnants.	En présence d'obstacles aérodynamiques, optimiser l'implantation par une étude aéraulique à l'échelle de la parcelle. Réduire les ambitions en matière aéraulique : se fixer des objectifs de renouvellement d'air pour évacuer les apports et compter plutôt sur les brasseurs d'air pour créer de la vitesse d'air.	Etudes aérauliques pour : - Contextualiser les données de la station météorologique la plus proche - simuler les potentiels de ventilation selon les morphologies projetées - visualiser la course solaire sur la parcelle et des ombres portées
Environnement acoustique	Zone calme.	Zone moyennement bruyante, avec possibilité de protection acoustique pour préserver la ventilation naturelle. Le niveau acceptable dépend aussi de l'activité (atelier, bureau, salle de classe, hôpital, logement).	Etude acoustique du niveau de bruit au droit des façades selon le positionnement projetées des bâtiments. Etudes des possibilités d'atténuation des bruits.
Lutte contre l'ilot de chaleur urbain	Possibilité de végétalisation périphérique par des arbres de hautes tiges.	Végétalisation verticale des murs et horizontale des terrasses.	Pas de modèle fiable permettant de quantifier.
Qualité sanitaire des espaces : Insectes, moustiques	Absence d'eau stagnante au voisinage du bâtiment (favorise le développement des moustiques et des termites). Lutte contre l'humidité par drainage en surface au pied des façades (bande de gravier), en association avec de la végétation haute.	Possibilité d'installer des moustiquaires (qui auront toutefois un impact sur le potentiel de ventilation naturelle).	
Effraction / sécurité	Zone tranquille ou étage non accessible par l'extérieur.	Solution de grilles fixes centrales, et fermetures adaptées, de jalousies résistant à l'effraction .	

2.1.2 - REPONSES ARCHITECTURALES SELON LES STRATEGIES CHOISIES

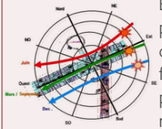
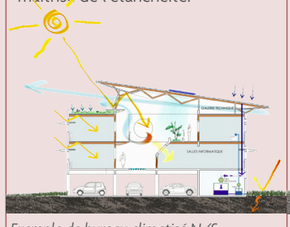
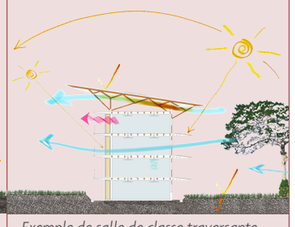
2.1.2.1 - Géométrie : les différents leviers d'action

En tant que chef d'orchestre en phase conception, l'architecte, en fonction des contraintes du site, fait la synthèse et arbitre les choix en matière de plan de masse, de forme, d'épaisseur, d'orientation, de porosité et de zonage, etc., paramètres géométriques particulièrement sensibles pour le confort hygrothermique et la consommation énergétique.





En effet, les choix architecturaux déterminent les surfaces d'échange entre le bâtiment et l'extérieur mais également entre zones naturellement et artificiellement climatisées, que ce soit des échanges par écart de température, par rayonnement ou flux d'air (ouvertures). Les leviers d'action géométriques permettant de dérouler une stratégie de conception orientée climatisation naturelle ou artificielle sont les suivants :

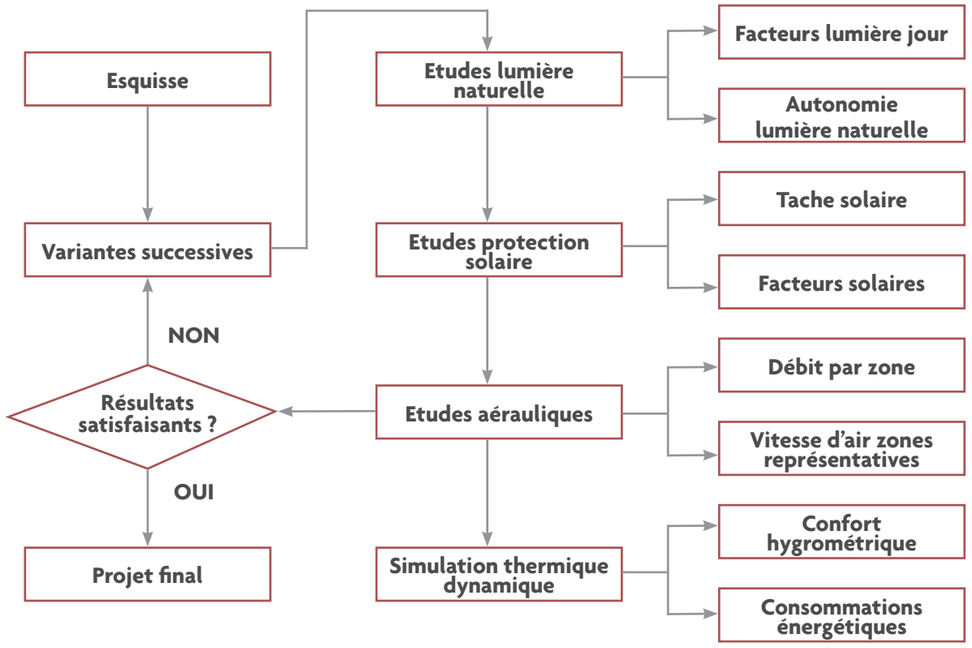
	Climatisation naturelle (CN)	Climatisation artificielle (CA)	Remarques
Plan masse et zonage	A l'échelle urbaine, on préservera les meilleures expositions au vent pour les bâtiments naturellement climatisés A l'échelle du projet, les zones présentant les meilleurs potentiels seront réservées à la climatisation naturelle. Conception générale (épaisseur, distributions, écopes) adaptée à la ventilation traversante.	Le zonage doit veiller à regrouper les zones climatisées artificiellement et limiter la surface d'échange avec les zones naturellement climatisées.	Il s'agit de limiter les pertes de charge de l'écoulement de l'air dans le cas de la CN et d'obtenir un bon coefficient de forme dans le cas de la CA.
Morphologie générale	Le positionnement des bâtiments doit viser d'abord une **optimisation aéraulique** d'ensemble, tout en minimisant l'exposition solaire.	Les zones climatisées ou réversibles doivent être regroupées et plutôt compactes pour limiter les gains de chaleur **La compacité** est à rechercher et l'orientation des façades principales à étudier afin de minimiser l'exposition solaire.	En climatisation naturelle, la recherche du meilleur compromis entre ventilation et protection solaire est un exercice plus complexe que la simple recherche de protection solaire pour les bâtiments climatisés.
Réponses géométriques vis-à-vis de la course solaire	En concordance avec la problématique aéraulique, limiter les orientations les plus exposées au soleil et les plus difficiles à protéger, en veillant à capter et bien répartir la lumière naturelle Développer des protections solaires ad hoc.	Orienter le bâtiment pour minimiser l'exposition solaire et capter la juste lumière naturelle Pour les bâtiments en CA, l'orientation du bâtiment doit protéger de l'ensoleillement le plus pénalisant E/O alors qu'en CN il faut gérer un compromis entre capacité de ventilation et apports solaires.	 Exemple de plan de masse optimisé : façade E/O pour les zones naturellement climatisées et N/S pour les zones artificiellement climatisées.
Réponses géométrique vis-à-vis des vents du site	Chercher à capter les vents dominants, mais également les brises secondaires, par des volumes largement découpés, décloisonnés, de faible épaisseur. Porosité à l'air conduisant à des taux de percement supérieurs à ceux nécessaires à la lumière naturelle. Porosité à l'air modulable et réglable.	Perméabilité à l'air la plus faible (hormis le renouvellemnt d'air hygiénique). La compacité d'ensemble permet une meilleure maîtrise de l'étanchéité.  *Exemple de bureau climatisé N/S.*	Règles précises de conception en ventilation naturelle à respecter (voir livret Gandemer).  *Exemple de salle de classe traversante orientée en fonction des alizées.*
Rapport au sol	Préconisation de construction sur pilotis, parking ventilé ou vide sanitaire ventilé pour évacuer l'excès de chaleur.	Idem sauf si la consigne de température est inférieure à 24°C.	Les planchers sur vide sanitaire doivent être privilégiés car ils jouent le rôle de paroi évacuatrice de l'excédent de chaleur.
Hauteur sous plafond	Hauteur suffisante pour l'installation de brasseurs d'air plafonniers. Possibilité d'impostes hautes (ventilation en profondeur, évitant les courants d'air dans les zones de séjour).	Pour les locaux destinés à fonctionner en mode réversible, la contrainte d'installation de brasseur s'impose également.	Certains plans d'urbanisme peuvent restreindre la liberté de choix de la hauteur sous plafond.

2.1.2.2 - Architecture et confort hygrométrique : complexité méthodologique

La complexité d'une approche d'optimisation du confort hygrométrique est liée à l'interaction des phénomènes **confort lumière/chaleur/air/bruit**. Le nœud de croisement de toutes ces problématiques se focalise au niveau des **ouvertures**. Ces trois problématiques doivent être menées de front simultanément, même si elles nécessitent la mobilisation d'outils différents et de multiples saisies de projet. Il n'existe pas de méthode « directe » pour accéder à une solution satisfaisante, aussi la méthodologie de recherche de solution repose sur un algorithme de recherche par itération successive.
Le test permettant de valider une variante que ce soit en climatisation naturelle ou artificielle est la **simulation thermique dynamique du bâtiment** grâce à une évaluation de la consommation énergétique et des conditions de confort hygrométrique.
Les études lumières / protections solaires / aérauliques permettent d'optimiser à chaque itération les ouvertures pour satisfaire simultanément aux différents critères liés :

- à la lumière naturelle. Le taux d'autonomie est à ce titre le meilleur critère à observer sur le plan énergétique, pour limiter le complément d'éclairage artificiel.
- à la protection solaire des parois opaques et des ouvertures. L'évolution de la tâche solaire à l'intérieur des locaux permet d'optimiser le positionnement des occupants vis-à-vis de l'éblouissement mais également en termes d'inconfort lié à l'exposition solaire directe des occupants.
- à la ventilation naturelle des locaux. Pour les locaux conçus en climatisation naturelle, les deux indicateurs à observer sont tout d'abord les débits d'air pour chaque zone. Un débit d'air d'au moins 15 vol/h est requis pour évacuer correctement des excédents de chaleurs. L'autre indicateur est la vitesse d'air, moyenne et sa bonne répartition dans les espaces de vie. L'état d'avancement des technologies ne permet pas de généraliser à l'ensemble des zones du bâtiment l'étude des vitesses : on se contentera de simuler quelques zones. L'autre alternative en vitesse d'air est l'étude en soufflerie, particulièrement indiquée pour les espaces complexes.

A cette méthodologie, on peut rajouter dans la boucle, le coût global et le bilan GES pour être plus complet.



2.1.3 - OPTIMISATION THERMIQUE DES COMPOSANTS DE L'ENVELOPPE

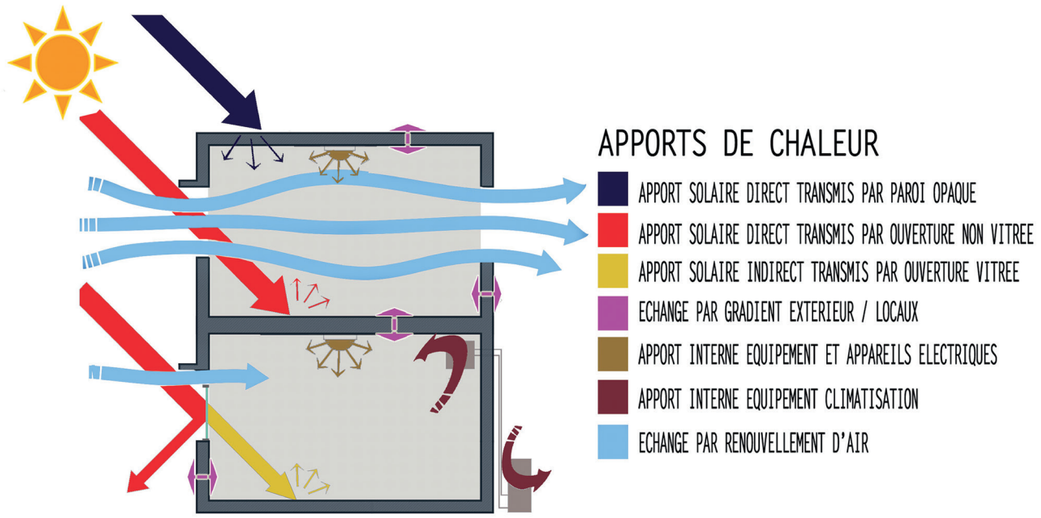
Après les volets programmatiques (besoins) et architecturaux de la conception énergétique et environnementale du bâtiment, nous abordons ici l'optimisation thermique des composants de l'enveloppe. Cette approche qui intéresse davantage le thermicien de l'équipe de conception doit être minutieusement étudiée à partir de l'expression des besoins examinés dans la partie précédente et du contexte climatique. En effet, selon le rapport de force entre apports internes/apports solaires directs/apports solaires indirects et le mode d'échange dominant - par gradient de température/ par rayonnement par ventilation- il s'agit de trouver la meilleure composition architecturale sur les différents composants de l'enveloppe.

2.1.3.1 - Un peu de physique

Un bâtiment soumis aux sollicitations climatiques-soleil, vent, air extérieur (température, humidité)- et aux différentes charges internes (équipements, occupants) échange de l'énergie de 5 façons :

1 - les apports solaires transmis par les parois opaques : murs extérieurs et toitures
2 - Les apports solaires transmis sous forme directe par les ouvertures vitrées ou non vitrées
3 - les échanges par gradient de température entre les locaux ou avec l'extérieur
4 - les échanges par renouvellement d'air, limités au minimum à la quantité nécessaire pour l'hygiène pour un local climatisé ou maximisé en débit pour un local naturellement ventilé. Les échanges par renouvellement influencent non seulement la température mais également l'hygrométrie intérieure.
5 - Les apports internes liés à la dégradation sous forme de chaleur de l'énergie nécessaire au fonctionnement des différents appareils (éclairage, informatique, appareils de cuisine) et du métabolisme dégagé par les occupants.

L'objectif de cette approche est de dresser le bilan énergétique de chaque type de composant de l'enveloppe baie /toiture/murs soumis à ces différents échanges dans le but d'en optimiser les paramètres de dimensionnement en fonction des situations (local climatisé naturellement ou artificiellement). Il est important de mener ce bilan dans la dynamique d'échange globale telle qu'elle se présente en moyenne dans la réalité. Les études de sensibilités sont menées dans le cadre d'hypothèses moyennes, pour le calcul des flux.



2.1.3.2 - Parois opaques

Deux grandeurs sont déterminantes pour la conception thermique de l'enveloppe :

- Le facteur solaire S d'une paroi, définit le pourcentage d'énergie solaire transmise par une paroi à l'intérieur d'un local, par rapport à celle qu'il a reçue au cours d'une journée.
- Sa conductance U, qui détermine la quantité d'énergie échangée lorsque 'il existe un écart de température entre les températures extérieures et intérieures (notamment pour les bâtiments climatisés artificiellement).

L'inertie thermique joue un rôle non négligeable dans l'appréciation du confort et les consommations énergétiques, par sa capacité à stocker et différer les charges d'apports thermiques. Cependant, l'inertie thermique est un paramètre moins important en climat tropical humide compte tenu de la faible amplitude diurne (5 à 6°C).

Le facteur solaire s'exprime de la manière suivante :

S = a.Cm.F.U/he

Où :

a = coefficient d'absorption de la paroi dont les valeurs sont fonction de la teinte (sans dimension valeur entre 0 et 1)

Cm = coefficient de masque caractérisant l'affaiblissement lié aux protections solaires architecturales intégrées, nombre sans dimension (valeur entre 0 et 1)

f = coefficient de masque caractérisant l'affaiblissement dû aux masques lointains comme le relief, les bâtiments environnants (nombre sans dimension entre 0 et 1)

U = conductance thermique de la paroi W/(m2.k)

he = coefficient d'échange extérieur en W/(m2.k) différent selon l'inclinaison de la paroi

ϕs = flux solaire reçu en W/m²

Te,Ti = température intérieure et extérieure

Le flux total échangé par une paroi opaque avec les éléments climatiques s'exprime donc :

ϕ = a.Cm.U. ϕs /he + U.(Te-Ti) en W/m²

L'un des premiers principes d'une bonne protection solaire d'une paroi opaque consiste – s'il n'est pas possible de la protéger intégralement- à choisir une teinte la plus claire possible. Les teintes les plus claires absorbent en effet 2 fois moins de chaleur que celles plus foncées. La teinte et la couleur sont deux notions distinctes et certaines couleurs dites « claires » peuvent avoir un coefficient d'absorption « a » assez élevé :

CATEGORIES DE TEINTES	COULEURS	VALEURS DE α À UTILISER
Claire	Blanc, jaune, orange, beige, crème, rouge clair	0,4
Moyenne	Rouge sombre, vert clair, bleu clair	0,6
Sombre	Brun, vert sombre, bleu vif, gris clair, bleu sombre	0,8
Noire	Gris foncé, brun sombre, noir	1

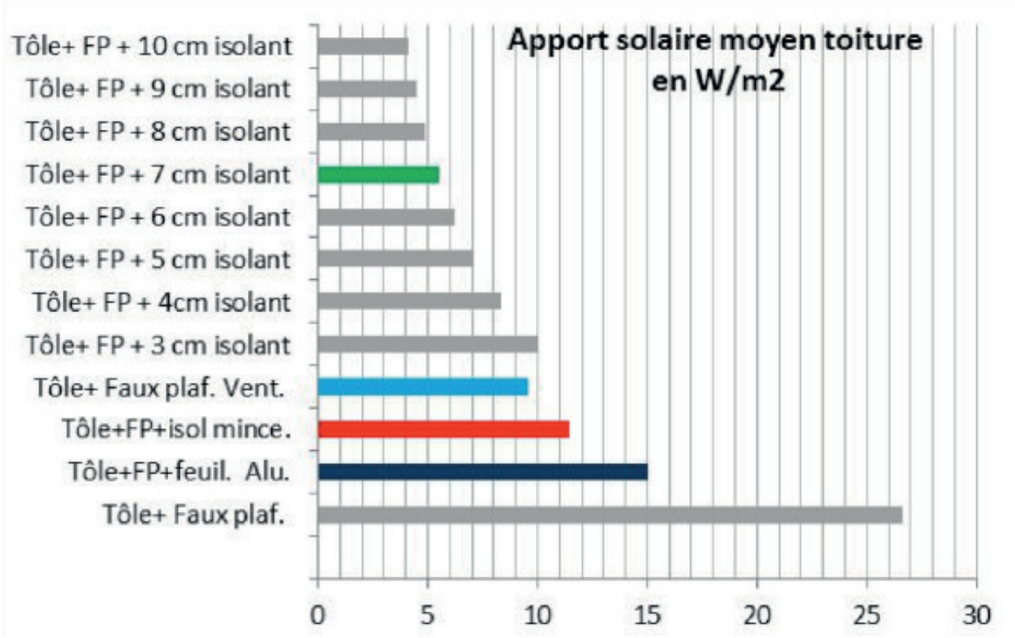
La valeur de 0.4 est difficile à maintenir dans le temps. En effet, les parois de teinte claire vieillissent plutôt mal, et se recouvrent de champignons (cryptogames) qui à terme assombrissent le coloris, et le rendent équivalent à une teinte moyenne voire sombre. De ce fait, pour le calcul du facteur solaire, il ne sera pas considéré de coefficient a inférieur à 0,5.

Les coefficients Cm caractérisent ici les différents types de masques pérennes existants vis-à-vis des parois :

- masques horizontaux : auvent, débord de toiture, balcon, etc.
- masques verticaux latéraux : joue, retour de mur.

Outre l'absorption (diminution du coefficient a) ou l'isolation (diminution de la conductance U), il existe d'autres leviers d'action pour diminuer la transmission solaire par la mise en œuvre :

D'un comble ventilé en toiture. La présence d'une lame d'air ventilée (comble ventilé) permet d'évacuer vers l'extérieur une bonne partie de la charge solaire reçue par la paroi. Cependant la partie résiduelle transmise à l'ambiance reste importante, car le toit reçoit en moyenne 6 kWh. Une toiture bien ventilée est l'équivalent de 3 à 4 cm d'isolant, soit un facteur solaire de l'ordre de 0.03. Pour atteindre l'objectif d'un flux moyen inférieur à 5 W/m2, 8 cm d'isolant



sont nécessaires. Notons que les derniers Watts gagnés sont les plus difficiles à réaliser.

Les solutions jouant sur l'affaiblissement des échanges infrarouges grandes longueurs d'onde comme une feuille d'aluminium ou isolant mince, permettent à l'état neuf de réduire de moitié voire de 2/3 la transmission des apports solaires. La problématique de ces produits est la garantie dans le temps des propriétés de surface soumises à l'empoussièrage et le vieillissement du revêtement.

D'un bardage ventilé pour les parois verticales. L'effet de bardage permet donc de diminuer de 30 à 40% la charge solaire transmise et reçue par une paroi. Associé à une couleur claire, le bardage ventilé permet d'atteindre des coefficients de transmission solaire inférieurs à 0.04 à 0.05. Le bardage est donc une alternative particulièrement intéressante à l'isolation : il permet d'atteindre les mêmes facteurs solaires qu'une isolation de 2 à 3 cm sans en avoir les inconvénients. En effet, l'isolation empêche l'excédent de chaleur de ressortir contrairement au bardage qui, de par sa faible conductance laisse la chaleur ressortir. C'est donc un remède très intéressant en climatisation naturelle, mais également en climatisation artificielle si les consignes des ambiances sont raisonnables (25 à 26°C). Pour les températures de consigne plus basses l'isolation reste plus intéressante.

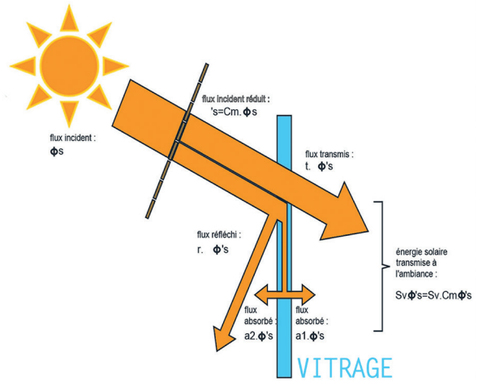
D'une végétalisation extensive ou intensive , qui contribue également, selon le mode d'arrosage, à évacuer une partie de l'ensoleillement reçu par évaporation.

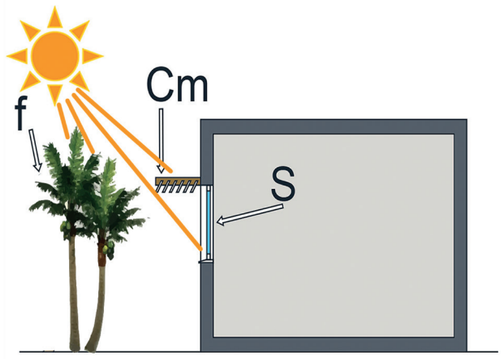
En termes d'objectifs de performance minimale de facteurs solaires, les valeurs préconisées sont les suivantes :

Objectif d'apports	Nord	Nord Est	Est	Sud Est	Sud	Sud Ouest	Ouest	Nord Ouest	Horizontal
Local naturellement climatisé	0.09	0.09	0.06	0.06	0.09	0.06	0.06	0.09	0.02

2.1.3.3 - Baies vitrées

Le bilan moyen d'une baie vitrée sur une journée de saison chaude moyenne, est effectué en prenant en compte simultanément, les échanges solaires entrants et sortants et les échanges par gradient :





Le facteur solaire total de la baie s'exprime :

S = Sv.Cm.f

Avec **Cm :** effet de masque, sans dimension. Il concerne 3 catégories de protections solaires : les protections horizontales, de type auvent, casquette ou débord de toiture ; les protections verticales intégrées (volets, brise-soleil) ; les protections verticales rapportées (film, store).
f : effet de masque lointain, sans dimension.
Sv : facteur solaire du vitrage

La conductance Uw de la baie permet de caractériser les échanges de chaleur dus à l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur.

Le flux total échangé par une paroi translucide avec les éléments climatiques s'exprime donc :

ϕ = a.Cm.U.Sv. ϕs + Uw.(Te-Ti) en W/m²

avec **Uw** conductance du vitrage en W/(m2.K)
Te et Ti en °C

Les échanges solaires sont toujours positifs. L'échange par gradient va dépendre du mode de climatisation :
- Négatif en climatisation naturelle. L'écart entre l'intérieur et l'extérieur va de 2°C (voire moins) dans un bâtiment bien conçu à 5°C ou plus dans un bâtiment mal conçu.
- Positif en climatisation artificielle. L'écart moyen en saison chaude est de 1°C si la consigne de la climatisation est de 25°C. Si la consigne est plus basse, l'écart peut aller de 2°C pour 24°C de consigne, voire 4°C pour 22°C de consigne.

Selon les objectifs visés d'apport moyen, les facteurs solaires d'une baie à simple vitrage doivent être ajustés selon les objectifs visés en protection solaire. Si on se fixe comme objectif un apport maximal de 30 W/m2 (soit un apport solaire maximal en provenance des vitrages de 5 W/m2 de plancher pour un taux de vitrage de 1/6 du plancher) :

Objectif d'apports	Nord	Nord Est	Est	Sud Est	Sud	Sud Ouest	Ouest	Nord Ouest	Horizontal
Local naturellement climatisé	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.12

2.1.3.4 - Intérêt et optimisation de l'inertie thermique

Jusqu'ici, notre approche statique s'est cantonnée à étudier l'échange moyen du local. Le comportement dynamique (évolution heure par heure) d'un bâtiment a une importance déterminante sur la puissance maximale appelée (Climatisation artificielle) ou les extrema de températures (ventilation naturelle). En climatisation artificielle, le dimensionnement de la puissance - et donc l'investissement initial - dépend directement de la puissance appelée maximale. L'inertie thermique intervient aussi sur la consommation d'énergie des locaux fonctionnant en mode intermittent. Ces deux arguments soulignent l'intérêt pour le concepteur et le maître d'ouvrage à opérer les bons choix au stade du projet. Une correction ultérieure du comportement dynamique est quasiment impossible.
La conception dynamique relève d'une stratégie d'ensemble, c'est pourquoi cette question est abordée non pas paroi par paroi (comme pour les aspects énergétiques), mais de façon globale.

Conception dynamique d'un local

Plusieurs stratégies de dimensionnement sont envisageables selon les conditions de fonctionnement de l'installation :

Climatisation en fonctionnement permanent :

La possibilité d'amortissement de la charge dépend :
- du pourcentage d'apport solaire direct par les vitrages : amortissement limité (entre 0.7 et 0.8 pour une inertie moyenne)
- du pourcentage d'apports internes : amortissement faible en général
- du pourcentage d'apport solaire par les parois opaques : fortement amortissable.

L'étalement des charges pourra être obtenu :
- en différant vers la nuit, les apports solaires à l'Ouest qui atteignent leur maximum en même temps que la température extérieure.
- comme il est difficile de différer vers la nuit, le flux solaire reçu à l'Est le matin (un retard de plus de 12 h nécessite des épaisseurs importantes de matériaux), on peut au contraire chercher à transmettre instantanément, grâce à une faible inertie de la paroi, les flux solaires reçus à l'Est pour qu'ils ne contribuent pas à la pointe journalière survenant l'après-midi.

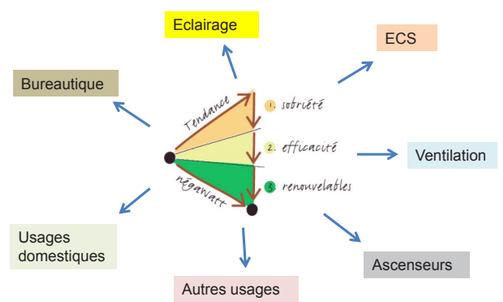
Climatisation en fonctionnement intermittent

Pour les locaux à très faible et courte occupation (salle de réunion), la recherche d'une faible inertie peut se justifier pour des raisons de mise en régime rapide du local.

Les intermittences quotidiennes, jour / nuit, sont le cas le plus fréquent dans le tertiaire. La stratégie à appliquer est la même, que celle des locaux fonctionnant en permanence. Une conception à forte inertie vise un double objectif :
- une diminution de la puissance appelée
- une diminution de la consommation en différant les apports maximaux dans les plages horaires où le local est inoccupé. L'action régulatrice de l'inertie conduit à moyenner les apports sur 24 h, et à des économies d'énergies substantielles : de l'ordre de 20 % selon la conception dynamique du local.

2.2 - EQUIPEMENTS : DEMARCHE NEGAWATT ET OBJECTIFS DE PERFORMANCE

Une fois acquise la maîtrise des besoins par la bonne conception de l'enveloppe (axe précédent), la maîtrise énergétique nécessite un choix d'équipements optimisé sur l'aspect de l'efficacité énergétique, la mise en place d'énergies renouvelables et l'installation de systèmes de conduite induisant la sobriété : cette réflexion s'inspire de la méthode Négawatt, qui prône :
- La sobriété énergétique : agir sur les comportements des usagers dans le but d'éviter le gaspillage énergétique (« l'énergie la moins chère est celle qu'on ne consomme pas »), mettre en place une exploitation soignée des équipements
- L'efficacité énergétique : optimiser l'enveloppe, le zonage thermique et choisir des équipements performants
- Les énergies renouvelables : recourir aux énergies renouvelables pour couvrir les besoins résiduels



2.2.1 - Equipements : synthèse d'objectifs de performances

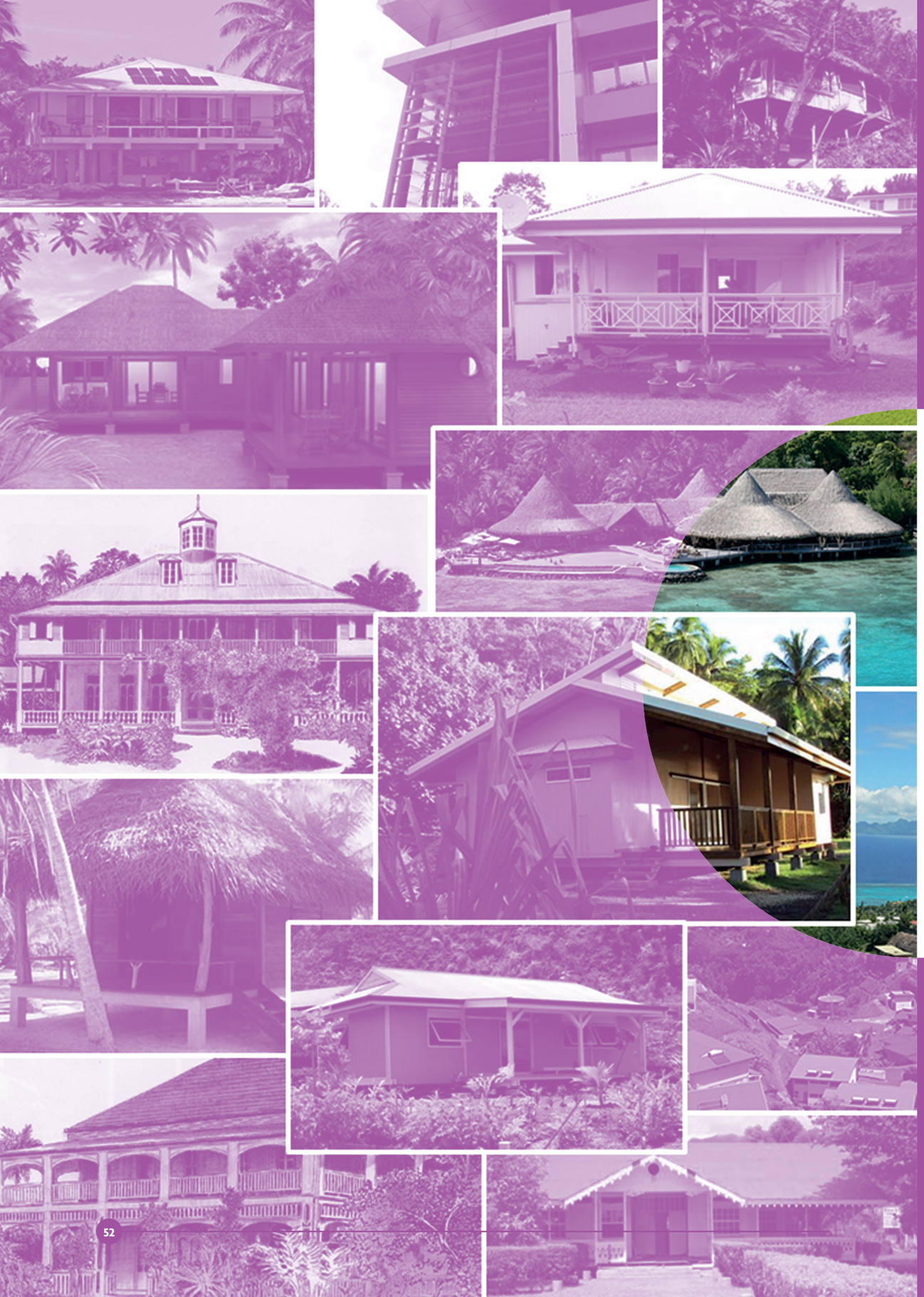
Quels objectifs se fixer en matière énergétique et environnementale sur les équipements ? Le tableau suivant apporte des éléments de réponses aux maîtres d'ouvrages ou AMO HQE pour rédiger leur programme.

Les éléments de réponses à apporter par la maîtrise d'œuvre, tant sur un plan méthodologique que de rendus, sont déclinés en trois niveaux de détail correspondant au concours/esquisse, APS/APD et phase DCE.
Pour chaque poste énergétique, on veille en particulier à ce que l'équipe de MOE applique méthodiquement la méthode Négawatt et des réponses concrètes en matière de choix :

- de systèmes performants et efficaces,
- de systèmes parfaitement adaptés aux conditions d'utilisation des usagers,
- de systèmes de gestion induisant un comportement de sobriété des usagers.

Thématiques	Prescriptions environnementales	Rendus attendus		
		Phase Concours / Esquisse	Phase Avant-Projet (APS/APD)	Phase Projet DCE
Eclairage artificiel	Sources lumineuses : › 60 lumen /W. Puissance installée éclairage réglementaire ‹ 8 W/m². Puissance installée éclairage non réglementaire ‹ 6 W /m². Type de gestion : Gradation, détection de présence. Gestion de la présence : bon positionnement des capteurs, détermination des temporisations et des horaires de fonctionnement.	▶ Note descriptive des systèmes d'éclairage. ▶ Principe de gestion de l'éclairage artificiel.	▶ Choix des appareils d'éclairage et des systèmes de gestion.	▶ Note de calcul des puissances installées. ▶ Plans de façades, avec un cartouche décrivant le type de baie en termes d'ouverture et de mobilité.
ECS	ECS Solaire : Taux de couverture › 80% Ou récupération sur la climatisation centralisée.	▶ Etude de faisabilité de la production d'ECS solaire. ▶ Principe de production d'ECS.	▶ Note de calcul et note descriptive des systèmes de production d'ECS.	▶ Choix arrêté de la production d'ECS.
Climatisation	Centralisé : EER ›4 Individuel : EER ›3,6 Ou équivalent en SEER en fonction des données climatiques de la Polynésie française. Certification Eurovent demandée Mode de gestion : Détection de présence - *préconisé : contact de feuillure, régulation température sup ou égale à 26°C.*	▶ Plan de zonage des locaux climatisés. ▶ Choix argumenté du type de climatisation. ▶ Principe de gestion de la climatisation (asservissement...).	▶ Note de calcul et note descriptive des systèmes de climatisation. ▶ Etude en coût global.	▶ Plans d'implantation des équipements.
VMC	Consommation ‹ 0,20 Wh/m3 Mode de gestion : Ralenti hors occupation - *préconisé : modulation en fonction du taux occupation, sondes de CO2.*	▶ Choix argumenté du type de ventilation. ▶ Principe de gestion de la ventilation.	▶ Calcul des débits de renouvellement d'air.	▶ Plans d'implantation des équipements.
Brasseur d'air (zone non climatisée)	Calepinage : 1 brasseur pour 15 m2 150 m3/Wh en vitesse maximum et 450 m3/Wh en vitesse minimum. Veille : Puissance maximum 1W Mode de gestion : 3 vitesses minimum, commande maximale de 2 brasseurs par commande, détection de présence.	▶ Principe de gestion des brasseurs d'air.	▶ Note descriptive des brasseurs d'air.	▶ Plans d'implantation des équipements.

Thématiques	Prescriptions environnementales	Rendus attendus		
		Phase Concours / Esquisse	Phase Avant-Projet (APS/APD)	Phase Projet DCE
GTB	Classe de la GTB : minima B Selon la norme EN 16 484 et ISO 15 232 Plan de comptage : minimum un point de comptage pour tout poste qui présente au moins 5% de la consommation Mettre à disposition des moyens de comptage pour le suivi des consommations pour les systèmes : - de rafraîchissement - de ventilation - de brasseurs d'air - d'éclairage - d'eau froide - d'eau chaude sanitaire Prévoir des moyens de comptage par zone, ou usage, ou système, ou structure technique et qui doivent être justifiés notamment en fonction de la conception du bâtiment, de la répartition prévisible des locaux, et des logiques de programmation / régulation choisies Affichage énergétique des rendus de la GTB	▶ Choix argumenté du type de GTB. ▶ Principe de fonctionnement.	▶ Analyse fonctionnelle de la GTB.	▶ Analyse fonctionnelle de la GTB finalisée. Rédaction du DCE : Se référer au livret 5, cahier des charges type de GTB bâtiment de bureaux.
Bureautique	Serveurs Postes informatiques Mode de gestion des veilles : - parc informatique, - photocopieuses.			▶ Vérification de la conformité avec les hypothèses des simulations thermiques dynamiques.



3

APPLICATION AU SECTEUR LOGEMENT

IMPLANTATION

MAÎTRISE DES APPORTS DE CHALEUR

VENTILATION

FOURNITURE D'EAU CHAUDE SANITAIRE

ECLAIRAGE PERFORMANT

SYNTHESE

3 APPLICATION AU SECTEUR LOGEMENT

Le chapitre suivant a pour ambition de donner des illustrations pratiques et contextualiser au secteur du logement la démarche d'éco-construction développée dans les chapitres précédents sur les aspects techniques. Inspirée de ECODOM, et à travers une série d'exemples constructifs couramment rencontrés, nous n'abordons ici essentiellement le volet technique pour dimensionner les composants de la construction, mais qui ne doit pas faire oublier les autres aspects essentiels d'un projet : la réflexion conceptuelle globale, tels que l'intégration urbaine du projet, la qualité structurelle, architecturale ou fonctionnelle.

3.1 - IMPLANTATION

Le choix d'implantation d'un local est primordial dans une démarche bioclimatique. C'est un préalable important qui va conditionner le niveau de confort futur à priori d'un local, et les principes à retenir pour ensuite l'optimiser.

La décision finale prise quant à l'orientation d'un bâtiment résulte souvent d'un compromis obtenu entre différents atouts et contraintes, qu'ils soient d'ordre climatique, urbanistique, réglementaire, de voisinage, géodésique, acoustique, environnemental, politique ou autre. Dans ce cadre, il n'est pas toujours évident de placer en premier lieu l'intérêt d'une bonne exposition aux vents dominants ou au soleil.

3.1.1 - CONCILIER PROTECTION SOLAIRE ET EXPOSITION AUX VENTS DOMINANTS

Sur un plan thermique, il est important de trouver la juste mesure entre la pleine exposition aux vents dominants et celle qui consiste à se protéger le plus du soleil.

Ainsi, si l'orientation la plus favorable à la ventilation naturelle est l'Est, qui est la direction moyenne aux alizés, il faut être attentif aux répercussions qu'entraîne ce type d'orientation sur des bâtiments conçus en bandes larges, par exemple, et qui exposent de larges façades plein Est et Ouest, où les apports solaires sont les plus préjudiciables.

C'est dans cette recherche constante d'équilibre entre protection solaire et ventilation que devra se mener la toute première réflexion liée à l'orientation et la morphologie des bâtiments.

3.1.2 - CRITERES INFLUANT SUR LA VENTILATION

Il n'est par ailleurs pas toujours facile voire possible d'orienter les bâtiments de manière optimale, en raison des contraintes évoquées plus haut. Sur un plan géographique, on peut notamment citer les cas suivants :
- parcelle étriquée,
- réglementation urbaine,
- densité urbaine.

Il est donc important de prendre en compte les caractéristiques d'un site et les niveaux de contraintes d'un projet, pour jauger la capacité de ce dernier à répondre à des exigences en termes de ventilation naturelle. Nous retiendrons trois niveaux majeurs d'influence :
- la situation géographique macro,
- l'orientation,
- la situation géographique micro.

Chaque situation y est exprimée par rapport à la ventilation intérieure constatée, et quantifiée à l'aide d'un « coefficient de ventilation ».

RAPPEL

Les vents dominants se situent à l'Est.

Insolation Est et Ouest : 1,5 à 2 fois supérieure en moyenne à celles de Sud et Nord.

A 45° des vents dominants, le potentiel de ventilation est 25 % moins important que face à ces mêmes vents, et à 90°, il est 2 fois moins élevé.

GEOGRAPHIE « MACRO »

Nous allons définir ici trois zones « macro » de ventilation, qui dépendent de la situation géographique du site de construction. A l'évidence, les potentiels de ventilation ne sont pas les mêmes en zone côtière, face au vent, qu'en zone urbaine dense. Suivant le potentiel de ventilation naturelle qu'ils impliquent, nous pouvons délimiter ainsi trois zones géographiques :

FORT POTENTIEL DE VENTILATION NATURELLE	POTENTIEL DE VENTILATION NATURELLE MOYEN	FAIBLE POTENTIEL DE VENTILATION NATURELLE
Zones côtières exposées au vent, zones d'altitude	Zones de campagne et semi-urbaines, zones côtières sous le vent	Zones urbaines

ORIENTATION

L'orientation, choisie ou contrainte, du bâtiment va constituer la seconde donnée de considération du potentiel de vent. La circulation des vents à l'intérieur d'un bâtiment varie en fonction de l'orientation de la façade principale. Nous distinguerons donc trois niveaux d'orientation par rapport aux vents dominants :

1 - Fort potentiel de ventilation naturelle : façades bien orientées par rapport aux vents dominants.
2 - Potentiel de ventilation naturelle moyen : façades moyennement orientées par rapport aux vents dominants.
3 - Faible potentiel de ventilation naturelle : façades mal orientées par rapport aux vents dominants.

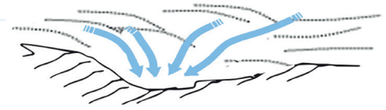
GEOGRAPHIE « MICRO » (TOPOGRAPHIE)

Ce critère de définition du potentiel de ventilation se situe au niveau de la position du projet par rapport à la topographie, que l'on peut qualifier de géographie « micro ». Le relief existant peut donc influencer le potentiel de ventilation, selon les deux catégories de relief définies ici :

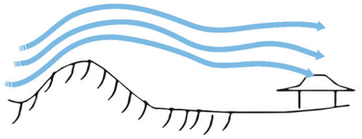
RELIEF FAVORABLE (F)	RELIEF NON-FAVORABLE(NF)
Bâtiment "au vent" au voisinage du sommet d'une colline.	Bâtiment dans une vallée dont l'axe est perpendiculaire aux brises ou aux vents dominants recherchés.
Bâtiment entre deux obstacles créant un "effet Venturi".	Bâtiment au vent en pied de colline.



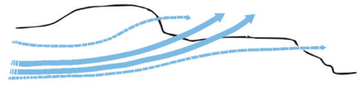
Les vitesses les plus rapides se situent au sommet des collines (perturbations en face « sous le vent »).



Les vallées peuvent canaliser les vents, et aussi créer des mouvements d'air convectifs, l'air froid descendant au fond de la vallée.



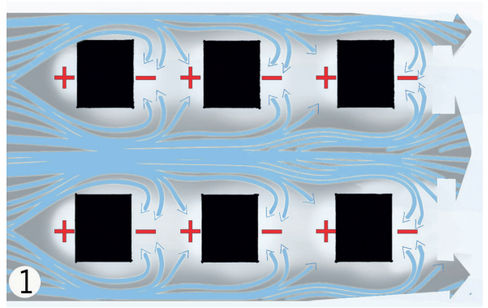
L'effet du vent dévié par une colline peut se faire ressentir à une certaine distance de celle-ci.

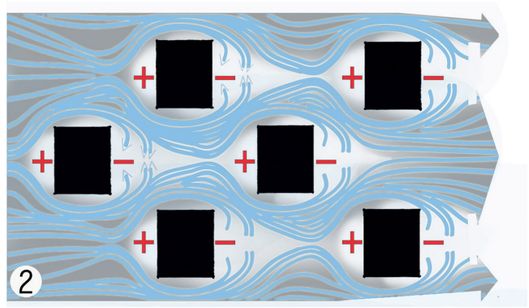


Les vallées peuvent canaliser les vents qui sont déviés et canalisés entre les obstacles ont une vitesse d'air accrue au point de passage le plus étroit (effet Venturi).

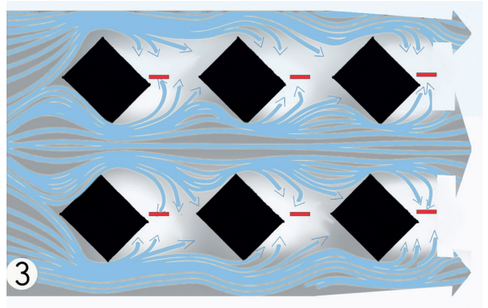
Illustration : D'après Martin EVANS, Housing, Climate and confort.

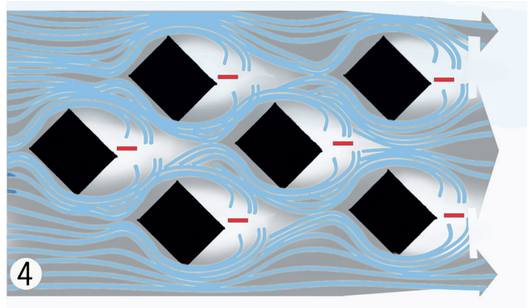
Par ailleurs, l'influence des bâtiments les uns par rapport aux autres est prépondérante. Quelques exemples sont donnés ci-dessous (d'après A. BOWEN, Classification of air motion systems and patterns, dans PASSIVE COOLING) :





Vent perpendiculaire à la façade principale : la disposition en quinconce (2) permet de diminuer l'effet de masque et réduit les zones de dépression. La ventilation sera mieux assurée que dans la disposition linéaire (1).





Vent de biais par rapport aux façades : la disposition (3), maisons en quinconce comme (2), va, dans ce cas, créer des zones de turbulence à l'arrière des maisons, la ventilation sera difficile. La disposition linéaire (4), permet de diminuer l'effet de masque entre bâtiments.

3.1.3 - COEFFICIENT DE PONDERATION

Le potentiel de ventilation naturelle des différents projets n'est donc pas le même selon sa localisation et ses caractéristiques. Il est donc nécessaire de pondérer les exigences de ventilation naturelle en fonction des critères géographiques influant sur la ventilation, définis précédemment (situation géographique macro et micro du site, orientation du bâtiment).
Les coefficients à apporter au niveau de la « porosité » sont résumés dans le tableau suivant :

Classement du site	Zones côtières exposées au vent, zones d'altitude						Zones de campagne et semi-urbaines, zones côtières sous le vent						Zones urbaines					
Orientation de la façade principale	1		2		3		1		2		3		1		2		3	
Situation	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF	F	NF
Coefficient de pondération de la porosité	0,85	0,95	0,9	1,05	0,95	1,1	0,95	1,05	1	1,15	1,05	1,2	1,05	1,2	1,1	1,2	1,2	1,4

Les coefficients de pondération oscillent donc entre 0,85 et 1,4, en conséquence de quoi les exigences pour la ventilation naturelle varieront de 21 à 35 % de porosité.

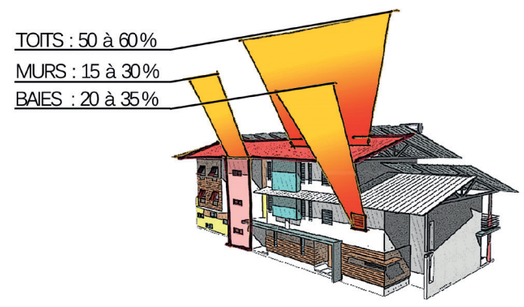
Pour exemple, un projet situé en zone côtière, en haut d'une colline, et où, pour des raisons liées à la parcelle, le bâtiment est contraint à une orientation Est/Sud-est, verra son exigence de porosité, initialement égale à 25 %, être réduite à 23 % (facteur 0.95).

Enfin, dans certains cas et selon certaines contraintes, **la ventilation naturelle ne pourra être envisagée, et le traitement climatique des logements se fera par le biais de la climatisation artificielle.** Les conditions pour lesquelles la climatisation pourra être tolérée sont indiquées dans le tableau ci-dessus, et concernent majoritairement les opérations en milieu urbain dense.

3.2 - Maîtrise DES APPORTS DE CHALEUR

Le choix d'implantation d'un local est primordial Les apports de chaleur que l'on retrouve dans un logement de plain-pied sont en grande partie liés à l'absorption par les parois extérieures du rayonnement solaire. Mais celui-ci n'est pas le même suivant les orientations. Il est ainsi, dans l'année, plus important au niveau horizontal (toiture) et sur les orientations Est et Ouest.

Aussi, en termes de pourcentage, les répartitions des apports de chaleur au niveau du logement sont les suivantes (cf. schéma) :



3.2.1 - PROTECTION SOLAIRE DE LA TOITURE

Comme vu précédemment, les apports de chaleur par les toitures peuvent représenter jusqu'à presque 2/3 des apports de chaleur d'un logement sur une journée. Une protection solaire efficace de la toiture constitue la **priorité d'une bonne conception thermique et énergétique**.

Le Facteur de transmission solaire (Fts), ou facteur solaire d'une paroi, définit le pourcentage de chaleur transmise par une paroi à l'intérieur d'un local, par rapport à celle qu'il a reçue au cours d'une journée. C'est ce qui caractérise la performance thermique globale d'une paroi. Il dépend à la fois :

- de sa capacité à résister à la transmission de chaleur (résistance thermique R, exprimée en m².°C/W),
- de sa capacité à capter la chaleur, qui dépend de la teinte du mur (coefficient d'absorption a : voir ci-dessous).

D'une manière générale :

Fts = 0,05 x a /(R + 0,22)

Plus le facteur solaire d'une paroi est faible, moins celle-ci transmet la chaleur.
Un bon objectif à atteindre en Polynésie française est FTs < 1.5%.

IMPORTANCE DE LA TEINTE DE LA TOITURE

L'un des premiers principes d'une bonne protection solaire de toiture consiste à choisir, conformément aux exigences réglementaires (urbanisme), une teinte la plus claire possible. Les teintes les plus claires absorbent en effet 2 fois moins de chaleur que celles plus foncées. La teinte et la couleur sont deux notions distinctes et certaines couleurs dites « claires » peuvent avoir un coefficient d'absorption « a » assez élevé :

CATEGORIES DE TEINTES	COULEURS	VALEURS DE α À UTILISER
Claire	Blanc, jaune, orange, beige, crème, rouge clair	0,4
Moyenne	Rouge sombre, vert clair, bleu clair	0,6
Sombre	Brun, vert sombre, bleu vif, gris clair, bleu sombre	0,8
Noire	Gris foncé, brun sombre, noir	1

Cependant, ces valeurs sont théoriques. Or les toitures de teinte claire vieillissent plutôt mal, et se recouvrent de champignons (cryptogames) qui à terme assombrissent le coloris, et le rendent équivalent à une teinte moyenne voire sombre.

De ce fait, nous donnerons ici les mêmes degrés d'exigences pour les teintes claires que pour les moyennes, même si à l'évidence le confort thermique sera plus important les premières années (avant vieillissement) avec la première catégorie.

3.2.2 - ISOLATION

Pour renforcer le facteur solaire, il faut donc choisir une teinte la plus claire possible, et un complexe de toiture performant au niveau de la résistance thermique. Pour cela, l'isolation est une solution inévitable.

L'isolation thermique peut être :

- rapportée en plafond en sous-face de la toiture ou en surtoiture,
- réalisée à partir de panneaux isolants préfabriqués, dits « panneaux sandwich »,
- accompagnée d'un Isolant Mince Réfléchissant (IMR), qui ne saurait être à lui seul un isolant au sens propre du terme.

Si l'on compare par exemple deux types de toiture terrasse de teinte moyenne, l'une isolée, l'autre non. On obtient les résultats suivants :

Dalle haute (15 cm) sans isolation	Dalle haute (15 cm) avec 5 cm de perlite
Facteur solaire = 9,8 %	Facteur solaire = 2,4 %

La résistance thermique d'une dalle béton (0,086 m².°C/W pour 15 cm d'épaisseur) est généralement 10 fois moins efficace pour contrer la chaleur qu'une faible épaisseur d'isolant (5 cm). Au final, le complexe « dalle+isolant » absorbe 4 fois moins de chaleur dans la journée, par rapport à une simple dalle haute. D'autres valeurs comparatives sont données dans le tableau page 71.

A. TYPES DE SOLUTIONS ENVISAGEABLES

Ces exemples ne sont pas exhaustifs, et n'ont pour autre ambition que de fournir des indications simplifiées pour les types de toitures généralement rencontrés.
Ceux-ci peuvent se distinguer en 4 groupes :

- toiture terrasse en béton (« dalle haute »)
- toiture légère sans comble
- toiture légère sur combles fermés ou faiblement ventilés
- toiture décollée (au minimum de 50 cm)

TOITURE TERRASSE

Ce type de toiture est généralement constitué par une dalle béton plane de 20 cm, avec une étanchéité de type bitumineuse en revêtement extérieur, et un enduit en face interne.

Dans le cadre d'une solution de toiture végétalisée, la dalle peut aussi servir de base à un système végétal composé de plusieurs couches :

- Un substrat dans lequel seront installés les végétaux
- Une couche filtrante anticontaminante
- Une couche drainante pour éliminer l'excès d'eau
- Un film anti-racines pour éviter toute dégradation éventuelle

Dans les deux cas de figure, une solution non-isolée n'est pas satisfaisante. Les niveaux d'isolation requis, selon les différents types d'isolant existant en Polynésie sont les suivants :

Teinte toiture	Polyuréthane ou polystyrène extrudé (cm)	Polystyrène expansé ou laine de verre/ roche (cm)	Perlite (cm)
Dalle haute			
Claire ou moyenne	6	7	8
Sombre	8	10	11
Toiture végétalisée			
	5	6	7

TOITURE LEGERE SANS COMBLE

On classe dans cette catégorie toutes les toitures de matériaux à faible épaisseur, et présentant leur sous-face (nue ou avec aux-plafond) à la vue des occupants d'une pièce. Il n'existe donc pas de combles.

Les toitures peuvent être réalisées en tôle (acier, zinc-aluminium) ou bac acier, mais aussi en bardeaux de bois (Wapa) ou bitumineux (shingle), en tuile de terre cuite, ou en matériau polymère ou fibreux.

Dans tous les cas, la toiture doit être isolée, avec un isolant d'épaisseur suivante :

Teinte toiture	Polyuréthane ou polystyrène extrudé (cm)	Polystyrène expansé ou laine de verre/ roche (cm)	Perlite (cm)
Claire ou moyenne	5	7	8
Sombre	8	9	11

TOITURE LEGERE, AVEC COMBLES PEU OU PAS VENTILES

Dans cette catégorie entrent les mêmes types de toiture que précédemment, mais surplombant cette fois-ci des combles peu ou pas ventilés. Ces types de toiture sont généralement plus performants, toutes choses égales par ailleurs, d'un point de vue thermique, mais ils diminuent la hauteur sous-plafond, et donc la stratification de l'air chaud, et donc sa propension à s'élever.
La notion de combles non-ventilés peut ici être définie par un quota d'ouverture minimum en deçà (bien en deçà, en fait) duquel les combles sont considérés comme faiblement ventilés. Ce quota, ou cette surface d'ouverture minimale des combles, est équivalent à 15 % de la surface totale de la toiture.
Ainsi, une toiture avec une ouverture de type « chien assis » ne peut être considérée comme suffisamment ventilée. L'impact de ce type d'ouverture va par contre dans le sens de l'amélioration thermique d'un local s'il est situé dans le sens des vents dominants, et permet de réduire l'épaisseur d'isolant nécessaire, si sa taille est significative.

Les épaisseurs d'isolant minimales à mettre en place sont définies dans le tableau suivant :

Teinte toiture	Polyuréthane ou polystyrène extrudé (cm)	Polystyrène expansé ou laine de verre/ roche (cm)	Perlite (cm)
Moyenne	5	6	7
Sombre	7	9	10

B. IMPACT ENVIRONNEMENTAL

L'impact environnemental des différents types de protections solaires de toitures peut se mesurer à plusieurs niveaux :
- choix des matériaux utilisés : énergie « contenue » par le matériau (énergie grise), eau nécessaire à leur conception et leur mise en œuvre, déchets et pollutions générés, impacts sanitaires.
- entretien et maintenance : est-elle facilitée ? Les matériaux choisis sont-ils adaptés à leur emploi ?

Au niveau des matériaux engagés, on peut dans un premier temps s'attarder sur l'impact en termes d'énergie grise, de tenue dans le temps et d'autres aspects sanitaires locaux ou plus globaux (effet de serre, couche d'ozone). Ces considérations ont été rassemblées dans le tableau suivant :

Type d'isolant	Energie grise (kWh/m3)*	Tenue dans le temps	Impact sanitaire
Isolants			
Laine de roche	150	Tassement pour les matériaux à faible densité (vendus en rouleaux), absorption d'humidité.	Présence de fibres pouvant être inhalées.
Laine de verre	250	Tassement important, absorption d'humidité.	Présence de fibres pouvant être inhalées.
Polystyrène	450	Bonne, mais ne doit pas être en contact avec des éléments métalliques dont la température peut dépasser 70°C.	• Dégagement de pentane et de HCFC (nocif à la couche d'ozone) pour certains types importés. • Dégagement de styrène à la chaleur.
Polyuréthane	1 000	Bonne	Dégagement d'amines, issus du chlore.
Perlite	250	Bonne	
Matériaux de toiture			
Acier	250	Apparition de mousses	
Bois	Dépend du type de bois, mais faible.	Nécessité d'un entretien régulier, et d'une pente suffisante pour permettre l'écoulement (15°).	« Stocke » du CO2 (800 à 1100 kg/m3).
Tuile	1 400	Apparition de mousses.	
Végétalisation		Bonne.	• Régulation de l'humidité et solution aux problèmes de gestion des eaux pluviales. • Réduction locale de la pollution de l'air.

* données générales France.

NB : les isolants dits « écologiques », de type chanvre, ouate de cellulose, laines animales, n'ont pas été abordés ici, car non commercialisés à l'heure actuelle.

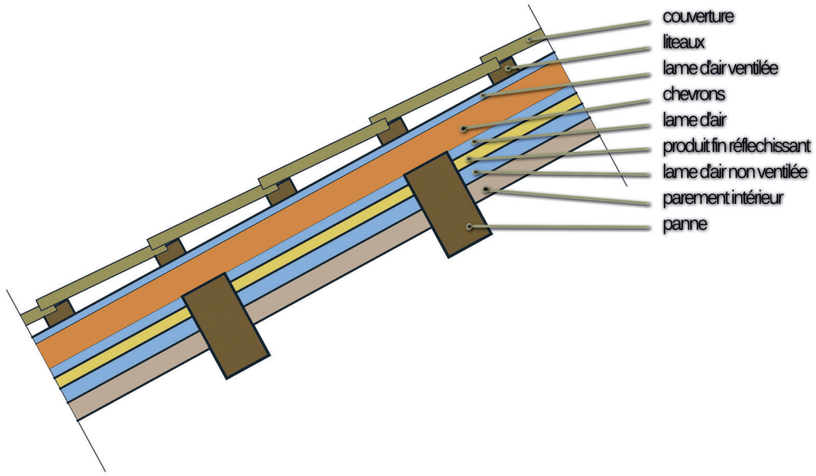
C. PRESCRIPTIONS TECHNIQUES GENERALES

Les documents régissant la pose d'isolant sont transcrits dans le DTU 45.1.

Les isolants Minces Réfléchissants (IMR) doivent quant à eux respecter un mode de pose scrupuleux pour atteindre des performances thermiques acceptables.

En effet, c'est la lame d'air étanche et immobile, entre l'IMR et la paroi, qui va surtout influer d'un point de vue thermique sur le complexe. De fait, les fuites d'air doivent être inférieures à 1500 mm² par mètre linéaire de mur (fente acceptable : moins de 1,5 mm d'ouverture) ce qui correspond à une pose soignée de produits bien tendus, agrafés et pincés par des profilés pour assurer une étanchéité périphérique correcte.

Généralement, la lame d'air est de 2 à 4 cm, et peut être doublée sur l'autre face avec la mise en place d'un parement intérieur (faux-plafond, placoplâtre). En complément d'un isolant classique, ils peuvent faire office de pare-vapeur, mais ne doivent jamais être posés côté intérieur (risque de condensation dans l'isolant).



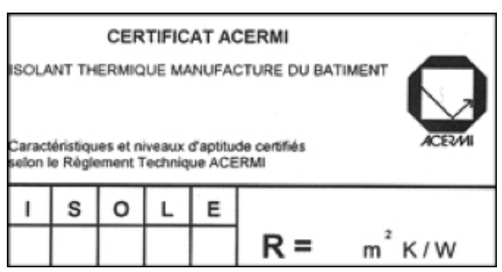
D. ASPECTS REGLEMENTAIRES

Il n'y a, à ce jour, aucune réglementation relative aux matériaux isolants en Polynésie, et dans les Départements d'Outre-Mer d'une manière générale.

Il existe cependant une certification ACERMI sur la qualité des isolants, qui les caractérise selon 5 points, désignés par un classement ISOLE auquel s'ajoute la résistance thermique R :

I : Caractérise l'aptitude de l'isolant à résister à l'effet d'une compression (incompressibilité).
S : permet de juger de la stabilité dans le temps des dimensions initiales de l'isolant sous l'influence de la chaleur, de l'humidité et des sollicitations mécaniques.
O : caractérise le comportement à l'eau de l'isolant (imperméabilité, absorption d'eau...).
L : caractérise la cohésion et la rigidité de l'isolant après essais mécaniques en traction.
E : caractérise l'aptitude de l'isolant à s'opposer au passage de la vapeur d'eau.

Chacune de ces caractéristiques est notée de 1 à 5, selon son niveau de qualité. Plus la note est élevée, plus l'isolant est performant. C'est ce classement qui, en plus des propriétés thermiques propres au matériau, caractérise ses performances.


CERTIFICAT ACERMI

ISOLANT THERMIQUE MANUFACTURE DU BATIMENT

ACERMI

Caractéristiques et niveaux d'aptitude certifiés selon le Règlement Technique ACERMI

I	S	O	L	E	
					R = m² K/W

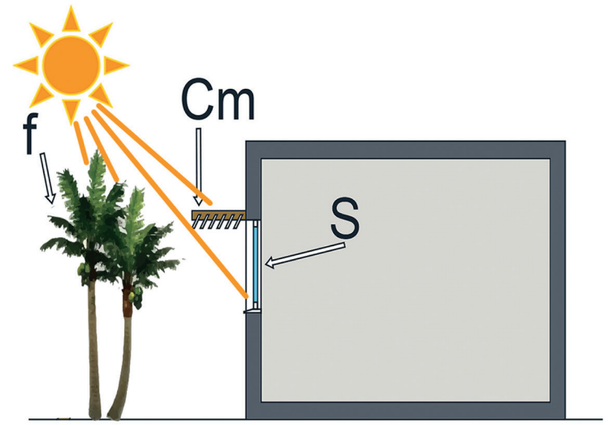
3.2.3 - PROTECTION SOLAIRE DES OUVRANTS

Les apports de chaleur par les ouvrants représentent généralement 60 % des apports solaires des parois verticales, c'est-à-dire les apports « hors toiture ».
Ils sont liés à l'énergie emmagasinée par les ouvertures d'une maison, qu'il s'agisse d'une fenêtre ou d'une porte, car elles sont généralement moins « étanches » à la chaleur que des matériaux plus lourds qui constituent les murs.
Par ailleurs, le vitrage d'une fenêtre va avoir tendance à stocker de la chaleur par « effet de serre ».

Pour chacune des protections envisagées, le niveau de performance va se calculer une nouvelle fois à l'aide du Facteur de Transmission Solaire (Fts), qui est égal au produit :
- du facteur solaire propre de l'ouvrant (porte ou fenêtre), nommé S_{ouv},
- du coefficient « d'effet de masque proche » constitué par la protection solaire qui l'accompagne, noté Cm
- du coefficient « d'effet de masque lointain » nommé f, et qui caractérise les effets de masques liés aux éléments extérieurs (bâtiment ou végétation).

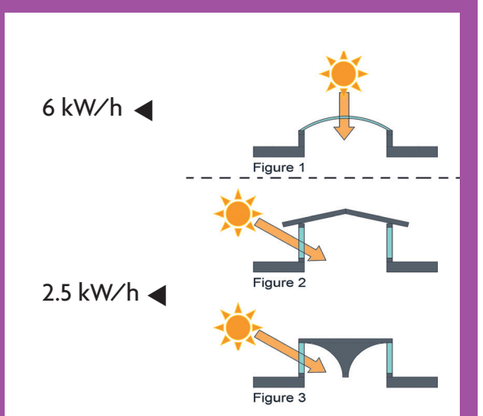
$Fts = f \times S_{ouv} \times Cm$

Ces trois valeurs sont égales à 1, par défaut, lorsque :
- il n'y a pas de masque lointain : f = 1
- la fenêtre est une baie simple (sans protection solaire) : S_{ouv} = 1
- il n'y a pas de masque proche.



VITRAGE HORIZONTAL

On définit par vitrage horizontal tout type de vitrage situé dans le même plan que la toiture (type de la figure 1). Ces principes sont incompatibles avec une démarche d'éco-construction mais il existe d'autres moyens envisageables pour générer des éclairages zénitaux sans tomber dans le vitrage horizontal. Le chien assis ou les lanterneaux (fig. 2 et 3) constituent des réponses appropriées s'ils sont situés au Nord ou au Sud, et 2 à 3 fois moins sources d'énergie (2,5 kWh/m².an contre 6 kWh/m².an). Leur traitement en termes de protection solaire correspond à celui d'un vitrage vertical.



A. TYPES DE SOLUTIONS ENVISAGEABLES

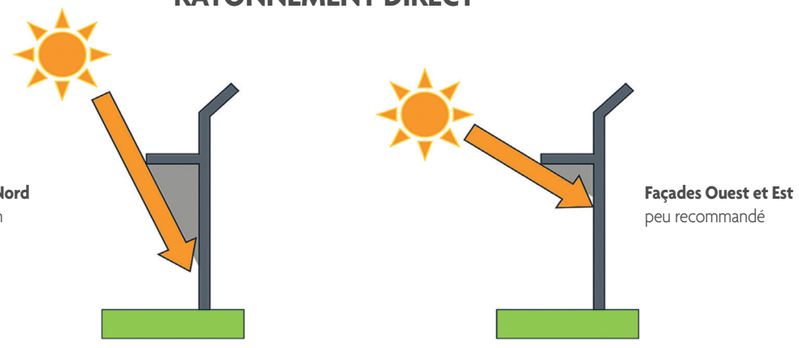
Il existe une pléthore de solutions de protections solaires des ouvrants, et l'intérêt de ce guide n'est pas de brider la créativité mais bien de dresser une liste de solutions courantes :

- les protections horizontales, de type auvent, casquette ou débord de toiture,
- les protections verticales intégrées (volets, brise-soleil),
- les protections verticales rapportées (film, store).

PROTECTIONS HORIZONTALES

Cette catégorie de solution intègre toutes les protections extérieures qui se situent au-dessus des ouvrants, qu'elles soient positionnées au droit de la fenêtre ou à distance. On y trouve ainsi les débords de toiture et les auvents (ou casquettes).
Ces types de protection peuvent avoir la double fonction de protection solaire des ouvrants et des murs.
Elles sont généralement **très efficaces pour contrer le rayonnement direct, mais très peu le diffus** (les rayons solaires qui traversent les nuages et se diffusent sur toute la surface de la Terre) ou le réfléchi par l'albédo (le rayonnement réfléchi et renvoyé par l'environnement immédiat).
Par ailleurs, elles peuvent être plus efficaces en termes d'apport de lumière naturelle, mais sont déconseillées hors des façades Sud et Nord, en raison des dimensions importantes que leur efficacité implique.

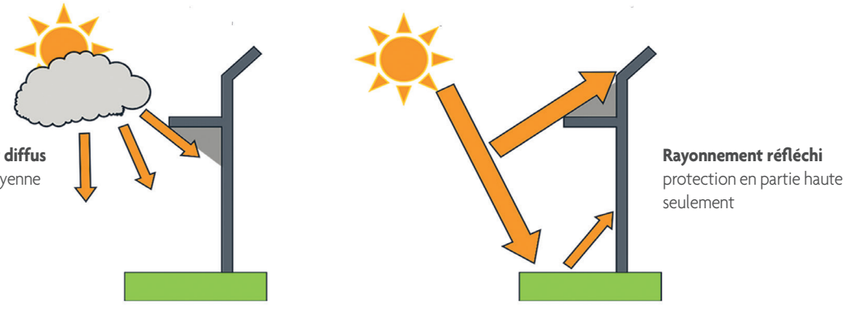
RAYONNEMENT DIRECT



Façades Sud et Nord
bonne protection

Façades Ouest et Est
peu recommandé

RAYONNEMENT INDIRECT



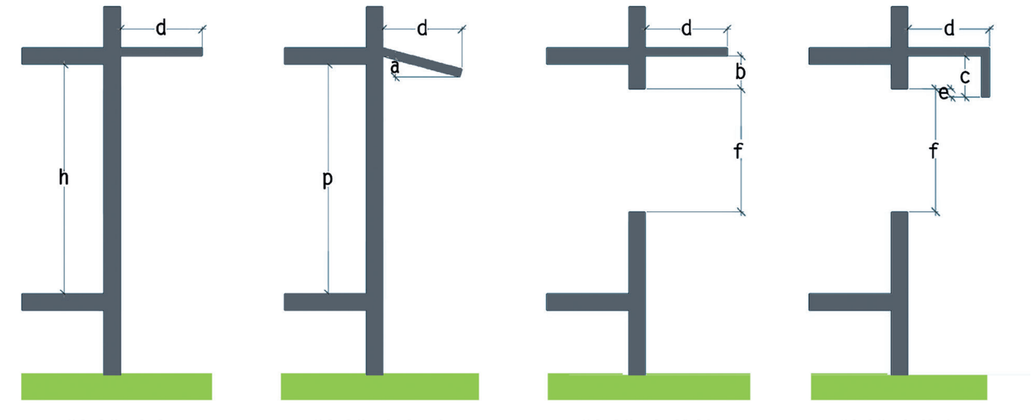
Rayonnement diffus
protection moyenne

Rayonnement réfléchi
protection en partie haute seulement

La valeur qui va ici servir de référence pour évaluer les dimensions minimales des auvents à respecter est celle de « **d/h** », qui est définie à partir :

- de la longueur de l'avancée de l'auvent : **d**
- de son emplacement par rapport à l'ouvrant
- de la hauteur de celui-ci : **h**

Les équivalents de « d/h », selon le type de structure, sont donnés dans le tableau ci-dessous :



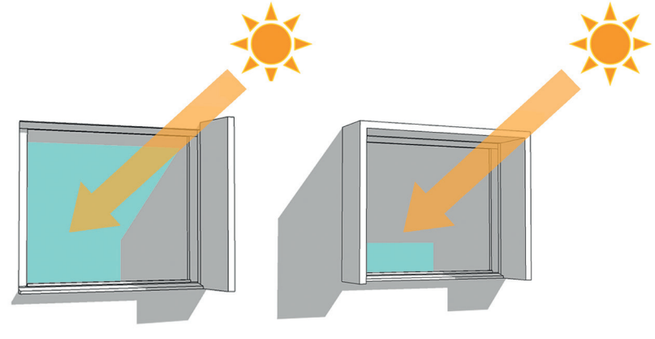
"d/h"= d/h | **"d/h"= d/(p-a)** | **"d/h"= d/(f+b)** | **"d/h"= d/(f-e)**

Pour satisfaire aux exigences du label, et pour un vitrage nu, sans masque lointain, les protections horizontales ne sont une réponse appropriée que pour les orientations Sud et Nord, sauf en cas de présence de terrasse ou loggia.

Comme pour la toiture, les solutions de teinte claire et/ou en bois sont les plus satisfaisantes, et les tôles et les stores de toile sont les moins efficaces.
Il est aussi recommandé d'employer des structures ajourées permettant d'éviter l'accumulation d'une « poche » d'air chaud sous l'auvent.
Les protections solaires des baies et fenêtres peuvent également atténuer les bruits aériens transmis dans le logement, si elles comportent des matériaux absorbants sur leur face recevant les ondes sonores extérieures.

PROTECTIONS LATERALES

Les protections latérales, si elles sont moins efficaces que les autres types de protections solaires, peuvent représenter un complément intéressant aux protections horizontales voire verticales. Elles ne pourront constituer à elles seules une protection suffisante, et ce quelle que soit l'orientation.



PROTECTIONS VERTICALES INTEGREES

Ce terme regroupe l'ensemble des solutions architecturales intégrées à une paroi, de type brise-soleil ou volet.

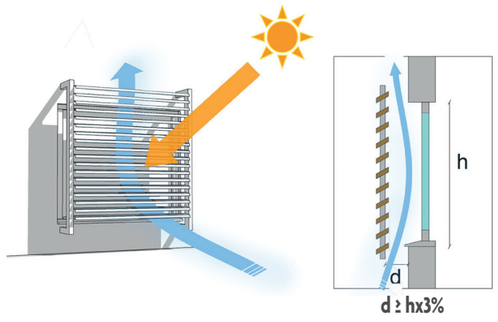
Brise-soleil
On trouve ici plusieurs sortes : treillis, moucharabieh, perforés, à lamelles, mais nous ne traiterons ici que cette dernière catégorie, plus simple et plus courante.

Ces dispositifs sont d'autant plus efficaces qu'ils obturent la lumière naturelle. Les solutions optimales sont donc obtenues en combinant ce type de protection solaire à d'autres (masques proches ou lointains par exemple).

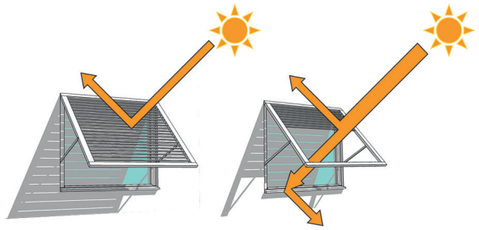
Les brise-soleil à lamelles peuvent être à lamelles fixes ou orientables (en particulier à l'Est et à l'Ouest). Dans ce cas, leur manipulation peut se faire manuellement, ou avec l'aide d'un dispositif électrique élaboré.

Pour qu'il soit efficace **quelle que soit son orientation**, un brise-soleil se doit d'être de couleur claire ou moyenne et ventilé.
On dit qu'un brise-soleil est ventilé quand, en tout point de l'ouvrant, la distance « d » qui le sépare du pare-soleil est à minima égal à 3 % de la hauteur totale de l'ouvrant. Son coefficient de masque Cm est alors de 0,3.

Si la protection solaire est de teinte sombre, alors la paroi ou l'ouvrant devra respecter une résistance thermique supérieure à 0,15 m².°C/W.
Pour information, les valeurs de Cm d'un brise soleil sont développées dans les annexes de la réglementation énergétique de la Polynésie française.



Volets ou stores
Les volets, quand à eux, ne seront admis que lorsqu'ils assurent une protection solaire en étant ouverts, sans nuire à la ventilation naturelle. C'est le cas des volets (ou stores) projetables de couleur claire par exemple. Leurs dimensions doivent se calculer sur la base du dimensionnement des protections solaires horizontales (voir paragraphe précédent).



Les valeurs des facteurs solaires propres à ce type de protection sont données dans les annexes de la réglementation énergétique de la Polynésie française.

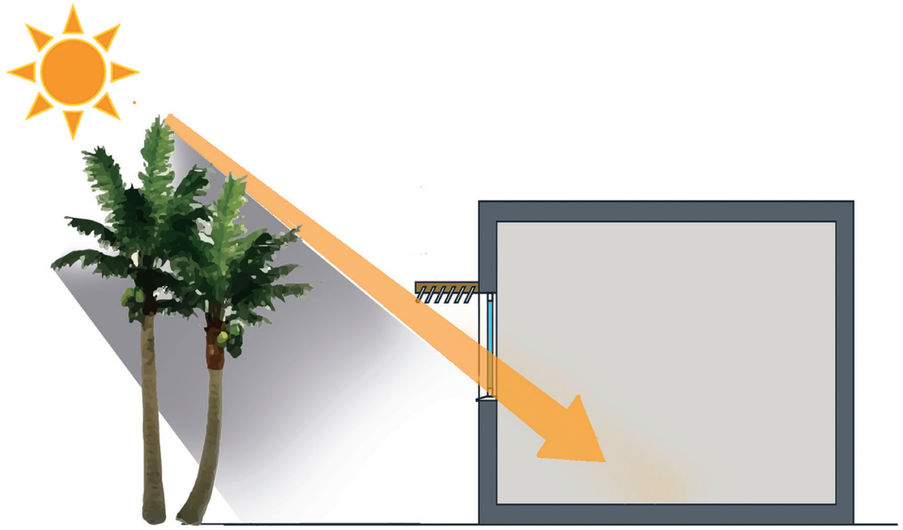
PROTECTIONS VERTICALES RAPPORTEES

Le troisième type de protection solaire est une solution rapportée, qui est généralement une solution d'appoint appliquée à une fenêtre ou une porte-fenêtre, de type store intérieur ou extérieur, ou film solaire. Ce type de protection n'intervient généralement qu'en appoint d'autres solutions, et est généralement d'autant plus efficace sur un plan thermique qu'elle est défavorable en termes d'éclairage naturel.

Si pour quelques vitrages le film est intégré, celui-ci se pose généralement collé au vitrage. On préférera une pose par l'extérieur, ce qui empêche la chaleur de pénétrer dans le vitrage, et de rester bloquée par effet de serre dans le local. D'un autre côté, la pose en intérieur peut générer des phénomènes de cassures sur le vitrage, en raison de la chaleur accumulée dans le verre. C'est le cas notamment lorsque le verre est soumis à des différences de températures à certaines endroits (zones d'ombres et zones chauffées, effet de soufflage de climatisation sur un point précis) ou, plus rare, à des « chocs thermiques » dus à des passages de nuages par exemple.

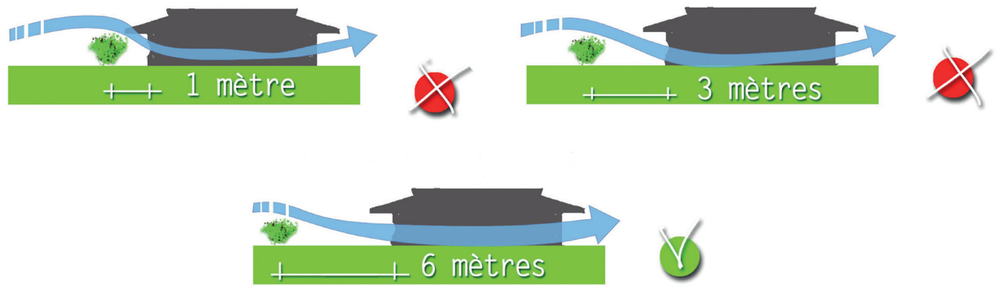
MASQUES LOINTAINS

Parmi les trois catégories qui viennent d'être abordées n'ont pas été pris en compte les masques existants. Ceux-ci sont constitués par des éléments extérieurs, comme un bâtiment proche, un relief important ou de la végétation arborée, qui peuvent dispenser d'un traitement local sur le bâtiment, pour protéger un ouvrant (ou une paroi entière). **Leur efficacité est cependant aléatoire**, et ils ne sont souvent intéressants qu'aux heures les moins nocives de la journée (matin et soir, au soleil rasant).
Ces solutions, si elles sont intéressantes puisqu'elles permettent de s'appuyer sur des masques existants et maintenir les arbres ou les végétaux déjà présents sur le site, peuvent a contrario perturber les flux de ventilation (voir annexe).

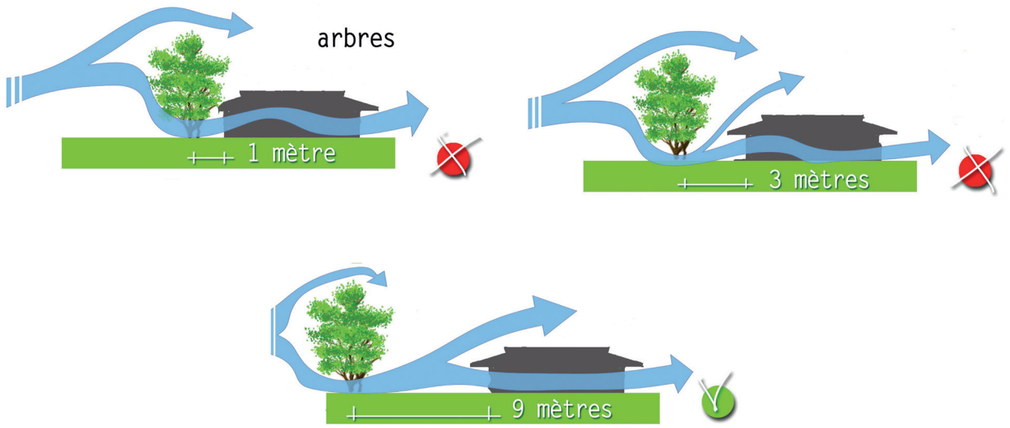


A titre d'exemple, nous donnons certaines dispositions à respecter par rapport aux végétaux existants, pour faciliter une bonne ventilation :

Végétation
L'emplacement optimal d'une haie, pour une maison à un niveau, est à 3 mètres de hauteur, et 6 mètres de la façade exposée au vent.



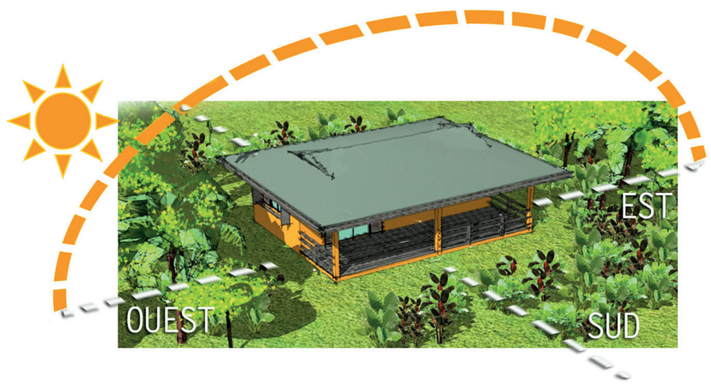
Arbre
Pour un arbre avec un feuillage à 1,5 m du sol, l'emplacement idéal est à 9 m.



- La meilleure végétation pour les façades Sud et Nord est une végétation qui se développe horizontalement : plantes sur treillis, tonnelle, arbres hauts s'ils sont suffisamment près du bâtiment...
- Pour les façades Est et Ouest, il vaut mieux planter une végétation verticale : arbres, buissons
- La masse du feuillage d'un arbre peut arrêter entre 65 et 90% du rayonnement direct.
- Les plantations ne doivent pas être à plus de 6 mètres du bâtiment pour avoir un effet réel au rayonnement solaire direct ou indirect. Seuls les très grands arbres auront une influence au-delà.

SOLUTIONS MIXTES

Dans le cas de solutions alliant plusieurs types de protections solaires, on se réfèrera à la formule de calcul de Facteur solaire (Fts = f x S x Cm), et aux différents coefficients donnés en annexes 1, 2, 3 et 4.



B. IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Outre le confort thermique et la réduction des consommations énergétiques, on peut mettre en avant d'autres types d'impact environnemental et social, liés à la mise en place de protections solaires. Ainsi, en reprenant les cibles de la Haute Qualité Environnementale®, on peut citer :
- intégration paysagère,
- choix des matériaux utilisés,
- entretien et maintenance,
- confort visuel de la pièce.

INTEGRATION PAYSAGERE

Le choix de masques naturels (et en particulier l'utilisation de la végétation existante) est un atout non négligeable, tant sur un plan environnemental (préservation de l'environnement paysager, utilisation d'éléments existants, donc réduction des besoins en matériaux et donc de l'énergie, de l'eau et des déchets pour leur fabrication et leur mise en place) qu'économique (réduction des besoins en matériaux et donc des coûts d'investissement).

CHOIX DES MATERIAUX UTILISES

Il est ici évident que le fait d'utiliser le matériau bois, qui plus est lorsqu'il est extrait localement, sera plus environnemental que celui de concevoir les protections solaires avec d'autres types de matériaux, métalliques notamment (l'aluminium demande près de 1000 fois plus d'énergie grise à la fabrication que le bois).

ENTRETIEN ET MAINTENANCE

Les brise-soleils devront être faciles à entretenir. Pour cela, une distance raisonnable entre les lamelles, et entre la structure et le vitrage, devra être observée. Pour les structures-bois, et selon le type d'essence utilisée, il peut y avoir un entretien de type lasure ou vernis à réaliser régulièrement.

CONFORT VISUEL DE LA PIECE

C'est le point qu'il faut conjuguer avec la recherche de la minimisation des apports solaires pour optimiser l'apport en lumière naturelle, sous peine de voir augmenter les consommations électriques liées à l'éclairage. Les protections solaires ne doivent donc pas entraver et la bonne ventilation, et l'éclairage naturel d'un local. A ce titre, les volets pleins sont déconseillés, de même que tous les types de protections opaques verticales (stores).

Les brise-soleils à lames ne doivent également pas être trop inclinés sous peine d'entraver l'accès à la lumière naturelle.

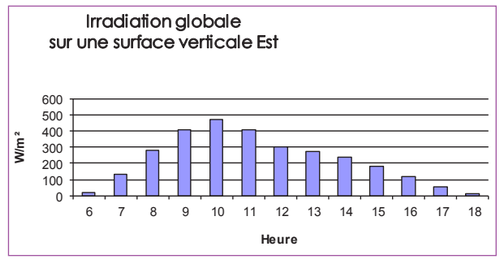
3.2.4 - PROTECTION SOLAIRE DES MURS

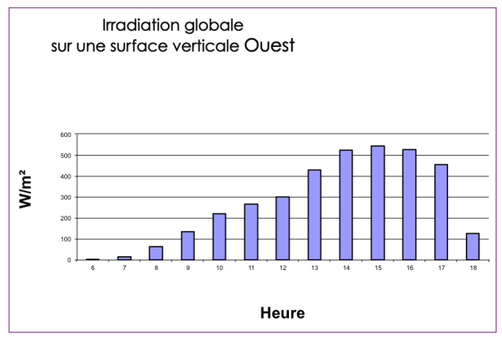
La dernière source d'apport solaire d'un local se situe au niveau de l'absorption et de la rediffusion de la chaleur par les murs (parois verticales). L'efficacité d'un mur à retransmettre cette chaleur se mesure ici aussi par son facteur solaire, exprimé comme pour la toiture, en fonction de sa teinte (caractérisée par le coefficient a, voir page 58), mais aussi, comme pour les ouvrants, d'un coefficient de masque Cm.

Fts = 0,06 x a x Cm / (R + 0,17)

Les apports solaires majeurs se situent à l'Est et à l'Ouest, et sont sensiblement équivalents sur une journée. Comme le montrent les graphiques ci-dessous, qui donnent l'insolation reçue par des parois verticales pour une journée type d'Octobre, les heures les plus nocives en termes d'apports solaires se situent autour de :
- 10 h à l'Est
- 14 h à l'Ouest

On notera que les murs de teinte sombre ne sont pas évoqués dans les tableaux suivants, car incompatible avec une démarche d'éco-construction.

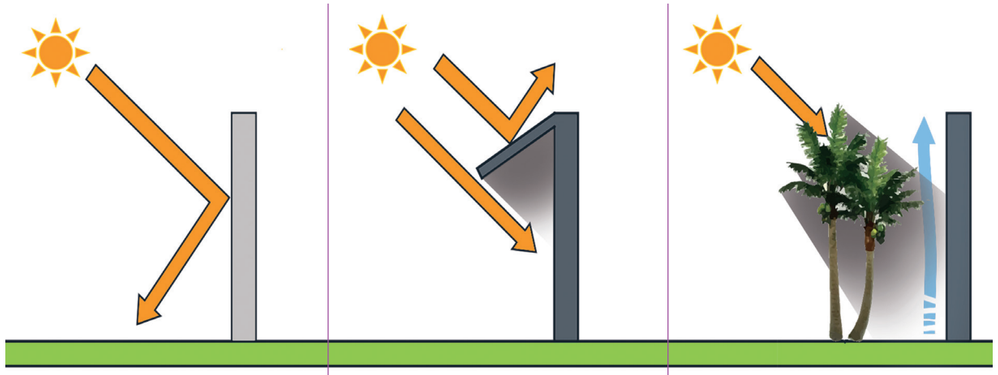




A. TYPES DE SOLUTIONS ENVISAGEABLES

Comme pour les ouvrants, trois types de protections solaires sont généralement rencontrés :
• les protections horizontales,
• les protections verticales, généralement ajourées,
• l'isolation du mur.

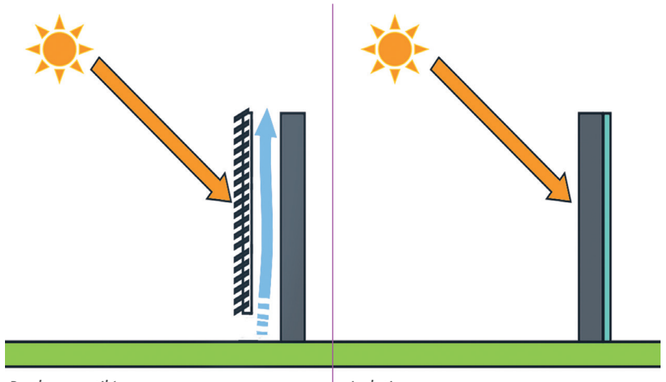
Les différents types de solutions sont repris et comparés dans les schémas ci-dessous :



Couleur de mur claire
Bonne solution, mais d'une part cette couleur n'est pas durable et elle nécessite d'autre part un complément de protection, en particulier à l'Est et à l'Ouest.

Débord de toiture, auvent
Solution à préconiser au Sud et au Nord en particulier, en veillant à ce que ces débords ne viennent pas occulter la lumière naturelle. Peut aussi faire office de protection à la pluie à l'Est.

Végétalisation
Bonne solution globale, mais dont l'impact n'est pas immédiat.
Provoque un rafraîchissement par évapo-transpiration de la végétation.



Bardage ventilé
Le rayonnement solaire est en partie reflété et une partie de la charge solaire résiduelle entre le mur et le bardage est évacuée par ventilation.
Solution optimale à l'Est et à l'Ouest.

Isolation
Pas essentiel au Sud et au Nord lorsque les murs sont clairs.
A l'Est et à l'Ouest, quelques centimètres suffisent généralement.
Une isolation extérieure est préférable.

PROTECTION HORIZONTALE

On retrouve ici les mêmes types de protections que pour les ouvrants. Une nouvelle fois, on se base sur la distance « d/h » pour déterminer le facteur solaire de la paroi. Les différentes valeurs de Cm en fonction de d/h sont données dans les annexes de la réglementation énergétique des bâtiments de la Polynésie française.

PROTECTION LATERALE

Les valeurs sont les mêmes que pour les ouvrants.

PROTECTION VERTICALE

Là aussi, nous retrouvons les systèmes de brise-soleil à lames. Les exigences sont les mêmes que précédemment, à savoir un décollement de la façade à protéger d'au moins 3% de la hauteur du mur.

ISOLATION DU MUR

Ce principe a pour désavantage de ne pas assurer de protection de la façade à la pluie, comme les pare-soleils ou les débords de toiture. Mais à contrario, il offre une solution intéressante en réhabilitation, et pour les pièces climatisées, pour lesquelles il constitue également un recours aux problèmes de condensation.

Valeurs comparées des épaisseurs des matériaux (en cm) nécessaires pour une même résistance à la chaleur.

MASQUES LOINTAINS

Les principes sont ici les mêmes que pour les protections solaires des ouvrants.

B. IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Pour les protections solaires verticales et horizontales, on retrouve les mêmes caractéristiques qu'au chapitre précédent.

Pour les isolants, ou le choix des matériaux, on s'intéressera ici à leur impact en termes d'énergie grise. Cette thématique a été abordée dans le chapitre sur les protections solaires de toiture.

3.2.5 - VEGETALISATION DES ABORDS

Le sol fini autour du bâtiment doit être protégé efficacement de l'ensoleillement direct sur au moins les trois quarts de sa périphérie (hors mitoyenneté), sur une bande d'au moins 3 mètres de large.

Cette prescription est couramment satisfaite :
- par une végétalisation du sol (pelouse, arbustes, fleurs) aux abords du bâtiment,
- par toute solution de type "écran solaire" minéral ou végétal situé au-dessus du sol et protégeant celui-ci du rayonnement solaire direct.

Cette dernière solution est particulièrement adaptée aux constructions en zone urbaine.

La végétalisation des abords permet en outre un meilleur drainage des eaux pluviales, et donc de s'affranchir des problèmes d'inondations. Cela peut notamment conduire à un plus juste dimensionnement des réseaux d'évacuation.

3.3 - VENTILATION

3.3.1 - VENTILATION NATURELLE OU CLIMATISATION ?

La ventilation naturelle propre à l'architecture bioclimatique peut parfois ne constituer qu'un vœu pieux. En effet, pour des raisons liées au contexte extérieur (climat) ou à l'environnement proche (urbanisation) d'une opération de logements, il peut être difficile ou défavorable de donner la priorité à ce type de solution naturelle, pour diverses raisons : bruit, absence de vent. Dans le cadre d'une démarche d'éco-construction, nous distinguons deux types de contexte pour lesquels l'une ou l'autre des solutions sera privilégiée : l'un favorable à la ventilation naturelle, l'autre à la climatisation.

C'est ce 2ème cas que nous allons ici définir, à partir de critères objectifs liés à l'urbanisme existant, aux conditions climatiques locales ou à certains aspects architecturaux.
On peut ainsi distinguer 3 cas pour lesquels le maître d'ouvrage, souhaitant intégrer une climatisation performante, pourra justifier l'utilisation de climatiseurs, à condition qu'elle respecte un niveau d'exigences défini dans la partie 2.3.3. :

1) Mauvaise exposition liée à des contraintes urbanistiques

Cet argument ne peut être recevable que lorsqu'il est justifié par des contraintes urbanistiques, qui peuvent être dues, de manière exhaustive, à :
- une parcelle étriquée
- l'implantation de voiries ou de bâtiments existants ne permettant pas une orientation optimale
- la présence de facteurs proches perturbants (zone marécageuse avec moustiques)

2) Manque de ventilation sur le site

- Faible potentiel de ventilation d'un site en intensité, en fréquence et en direction de vent à proximité immédiate de la construction
- Environnement défavorable en raison des effets du relief et des constructions voisines : fond de vallée, site encaissé, masques importants à proximité

3) Nuisances acoustiques

La proximité immédiate d'un réseau routier à forte circulation ou d'une autre source de bruit existante et régulière peut justifier le choix de la climatisation des logements.
Comme défini dans le tableau de coefficients de ventilation, la climatisation ne sera généralement admise que pour les situations en milieu urbain dense ou en zone semi-urbaine avec une orientation contrainte et défavorable des bâtiments.

3.3.2 - VENTILATION NATURELLE

La ventilation naturelle présente plusieurs avantages en termes de confort thermique.

Dans un premier temps, elle permet de balayer et d'évacuer la chaleur accumulée au long de la journée (apports solaires, mais aussi chaleur interne des occupants, des appareils électriques).

Mais l'air en mouvement représente également un avantage. Un déplacement d'air dans une pièce, s'il reste en deçà de vitesses importantes susceptibles d'être désagréables à l'être humain, permet de procurer une sensation de rafraîchissement en termes de ressenti sur la peau. De fait, il permet une augmentation des limites de la zone de confort thermique. Pour une vitesse d'air de 1 m/s (environ 4 km/h), on sait ainsi que la zone de confort s'élargit et englobe des températures allant de 22°C à 30°C, et des hygrométries allant jusqu'à 95 %. Une vitesse de 1 m/s rend les conditions de température et d'humidité plus supportables.

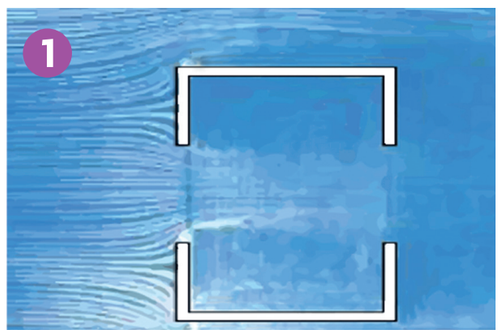
Dans des conditions normales (humidité inférieure à 70%), une ventilation de 1 m/s (environ 4 km/h) génère une température ressentie de 4°C en moins par rapport à la température ambiante.

Tressentie = Tambiante – 4 °C

Le niveau de ventilation naturelle d'un bâtiment est assez complexe à mesurer, et peut globalement se définir à partir de deux éléments notables :
- La capacité d'un local à laisser passer l'air d'un côté à l'autre sans problème. On dit alors qu'il est **traversant**.
- La perméabilité de ce local, qui se mesure à partir du degré de **porosité** de ses façades, c'est-à-dire de leur pourcentage d'ouvertures par rapport à la surface totale du mur.

3.3.2.1 - Logement traversant

La condition préalable à la ventilation naturelle d'un logement est qu'il doit être à chaque niveau ou étage complètement traversant, c'est-à-dire posséder des ouvertures (fenêtres battantes ou coulissantes, « jalousies », portes-fenêtres, portes, ouvrants spécifiques de ventilation) sur au moins deux façades opposées, permettant une ventilation diurne et nocturne (figure 1).



Si toutefois une ou plusieurs pièces du logement ne bénéficient pas de la ventilation traversante de celui-ci (par exemple pièces isolées), le logement pourra toutefois être considéré comme « traversant » si ces pièces possèdent des ouvrants donnant sur l'extérieur dans des parois perpendiculaires.

Remarques :
- à 45° des vents dominants, le potentiel de ventilation est 25 % moins important que face à ces mêmes vents, et à 90°, il est 50 % moins élevé.
- les baies coulissantes permettent de doser le débit de l'air sans modifier l'écoulement, mais elles divisent la surface ouvrable par 2 (sauf dans le cas de coulissants à galandages, qui permettent une ouverture totale de la fenêtre).
- les moustiquaires réduisent le débit de l'air ; mais elles restent quand même souvent indispensables. On peut considérer que leur mise en place réduit la ventilation de 10 à 15%. Ainsi, un m² carré de fenêtre avec moustiquaire ne représente en réalité qu'un équivalent de 0,9 m² d'ouverture.
- les auvents, balcons, et autres avancées peuvent modifier nettement l'écoulement d'air intérieur.
- il est judicieux de positionner les pièces de service en façade de manière à ce qu'elles bénéficient d'une bonne ventilation, indépendante de celle des pièces principales du logement. Dans ce cas la position des pièces de service par rapport au vent et/ou à l'étanchéité des ouvrants entre ces pièces et les pièces principales, doit permettre d'éviter un flux des pièces de service vers les pièces principales.

3.3.2.2 - Zone homogène de ventilation (ZHV)

La ventilation naturelle d'un logement ne peut se traiter de manière homogène pour l'ensemble du bâtiment. Une pièce de jour ne va pas fonctionner dans le même temps qu'une pièce de nuit, et plusieurs pièces éloignées ou sur deux étages différents vont être difficiles à considérer comme formant un seul ensemble de ventilation.
Dans un premier temps, il est impératif de définir, pour chaque projet de construction, des espaces clos constitués d'une ou plusieurs pièces pouvant être ventilées de manière indépendante. Ces zones homogènes de ventilation (ou ZHV) forment ainsi des espaces homogènes vis-à-vis de la ventilation et ont obligatoirement au moins 2 parois extérieures au bâtiment. Il peut s'agir par exemple :
- d'un ensemble séjour-cuisine-terrasse ;
- d'une série de chambres ;
- d'une seule pièce ventilée sur deux parois opposées ou perpendiculaires.

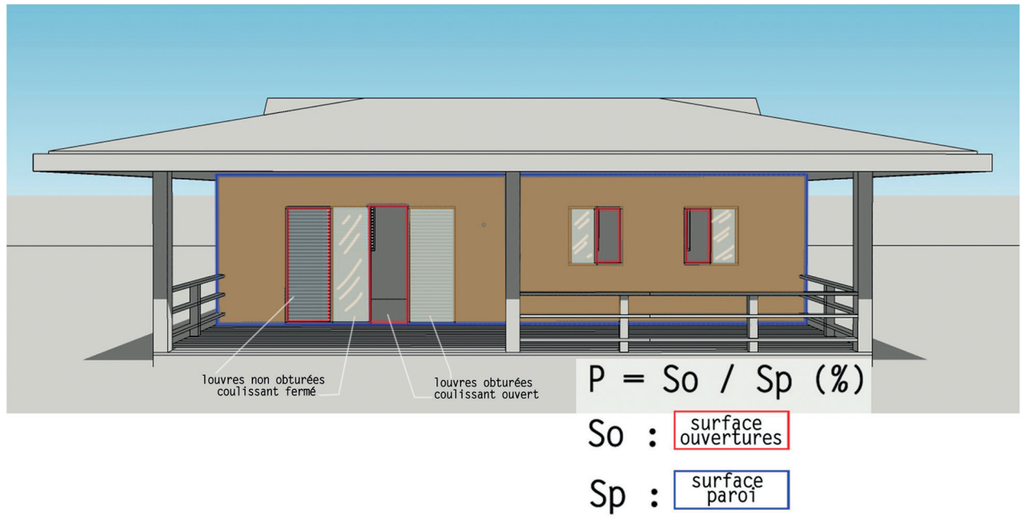
Les ZHV sont à établir pour chaque niveau du logement, sauf dans le cas de pièces communes à deux étages. C'est le cas d'une mezzanine en contact avec un séjour par exemple. Chacune d'entre elles devra être « traversante » et sera soumise à un calcul de porosité, comme décrit par la suite.

3.3.2.3 - Porosité

POROSITE

Le deuxième critère de quantification de la ventilation naturelle d'un logement est la porosité.
Ce terme caractérise le taux d'ouvertures d'une façade (So), par rapport à la surface totale de celle-ci (Sp).
Elle s'exprime en pourcentage :

P = So/Sp (%)
où Sp = L x h



POROSITE INTERIEURE

La porosité des parois intérieures des zones homogènes de ventilation devra au moins être inférieure à l'une des porosités des parois extérieures.

Ainsi, la surface totale des ouvertures intérieures, perpendiculaires au sens du flux, devra être supérieure à la surface totale des ouvrants de la paroi extérieure qui a la porosité la plus faible. Ces surfaces intérieures devront par ailleurs être réparties uniformément.

Pint › Pext

3.3.2.4 - Autres recommandations

INFLUENCE DE LA HAUTEUR DES OUVERTURES ET DES AUVENTS

Fig.3 et Fig.4 - Quelle que soit la position de la sortie d'air (en haut, au milieu ou en bas du mur), le flux intérieur est dirigé vers le bas si l'entrée est en position basse. La ventilation est alors efficace.

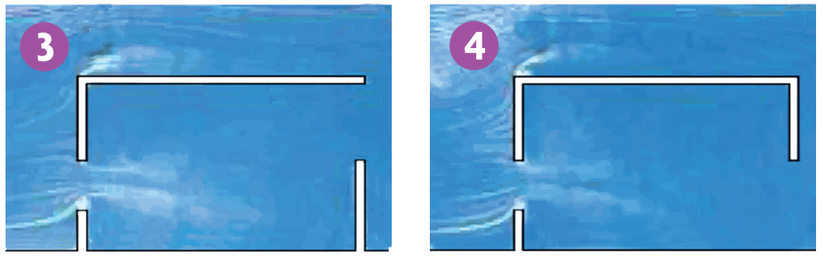


Fig.5 et Fig.6 - Les avancées de toiture et pare-soleil modifient l'importance et la direction du mouvement d'air. Une avancée assez haute augmente le flux sans modifier sa direction. Un pare-soleil horizontal juste au-dessus de la fenêtre dirige le flux vers le plafond et diminue l'efficacité de la ventilation.

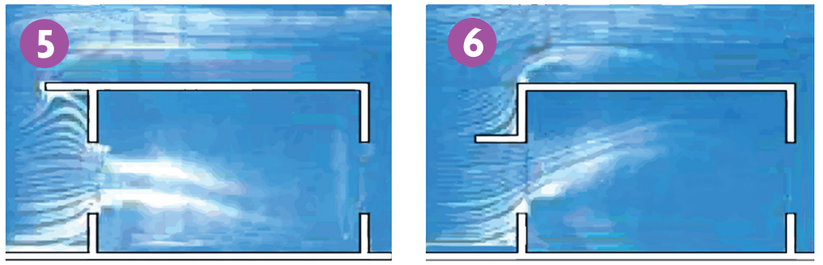
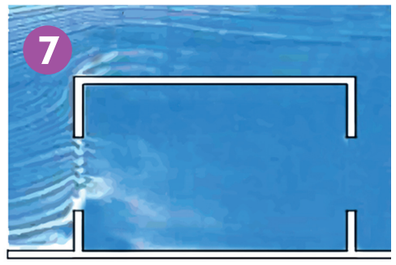


Fig.7 - Les fenêtres pivotantes et fenêtres à lames mobiles doivent être placées de façon à orienter l'air vers le bas de la pièce. Ce type de système a par contre le désavantage de favoriser les infiltrations d'eau, si l'ouvrant n'est pas protégé en partie haute (auvent).



On veillera aussi à positionner les pièces de service (toilettes et salles d'eau) en façade sous le vent de manière à ce qu'elles bénéficient d'une bonne ventilation, indépendante de celle des pièces principales du logement. Lorsque les pièces principales ne sont pas en façade, il est fortement conseillé d'équiper ces pièces de VMC (voir page 94) ou à défaut de tourelles d'extraction statiques en toiture.

Illustrations : D'après une étude aéraulique de V.Olgyay (DESIGN WITH CLIMATE - Princeton University Press - 1963).

QUELQUES CONFIGURATIONS A EVITER

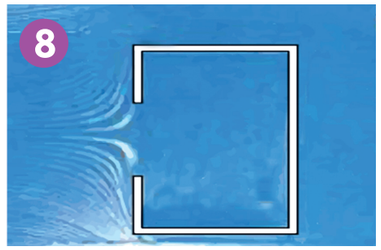


Fig.8 - Avec seulement une ouverture du côté exposé au vent, il y a peu de mouvement d'air à l'intérieur.

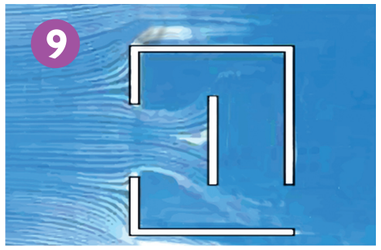


Fig.9 - Cloison perpendiculaire au flux principal : altération importante, mauvaise efficacité de la ventilation.



Fig.10 - Cloisonnement coupant le flux : perturbations. La pièce fermée n'est pas ventilée, l'autre l'est très faiblement.

3.3.2.5 - Brasseurs d'air

Pour une même plage d'utilisation, un brasseur d'air est 20 fois moins consommateur qu'un climatiseur

Le brasseur d'air est ici prescrit pour les logements à faible possibilité de ventilation naturelle. Comme pour la ventilation naturelle, l'objectif de ce type d'appareil est de créer un brassage de l'air, et donc un mouvement d'air qui génère une sensation de rafraîchissement. Il ne rafraîchit pas à proprement parler la température d'une pièce, si ce n'est en chassant les calories superflues.
Le brasseur d'air peut de plus être utilisé en complément d'un climatiseur pour soulager son fonctionnement :

- pour améliorer, par son action de dispersion de l'air rafraîchi, l'efficacité du climatiseur ; ce qui permet une utilisation à une moindre puissance ;
- pour offrir une alternative moins énergivore à l'utilisateur, lorsque cela est possible.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Les brasseurs d'air à pales métalliques sont généralement plus efficaces que ceux à pales en bois ou en osier cannelé. Plus les pales sont grandes (diamètre supérieur à 1,40m), plus les brasseurs sont efficaces.
Il est préconisé :

- de choisir plutôt des brasseurs d'air en fonction de leur performance énergétique (label Energy Star, et efficacité > à 500 m3/h.W) ;
- de sélectionner des brasseurs d'air à palles métalliques profilées et dont les diamètres sont supérieurs à 1,40 m.

PRESCRIPTIONS A L'INSTALLATION

L'appareil se fixe au plafond, de préférence au centre de la pièce, mais gagne à ne pas être disposé juste au-dessus des zones occupées. Les ventilateurs doivent également respecter un nombre de points d'ancrage. Pour des questions de sécurité, il peut être enserré dans un carter. On veillera aussi à ne pas situer de luminaires entre les pales et le plafond, pour éviter un effet stroboscopique gênant.

L'installation de brasseurs d'air est très fortement conseillée lorsque le logement a une orientation défavorable.
Il est notamment recommandé :

- d'installer 1 brasseur d'air (ou des attentes électriques) tous les 15 m², positionnés de manière à permettre un brassage d'air homogène,
- d'équiper les commandes d'alimentation des brasseurs de variateur de vitesse,
- que le plan de rotation des pales soit à une distance d'au moins 30 cm du plafond, tout en veillant à ce qu'elles n'occasionnent aucun risque pour les occupants.

Par ailleurs, les attentes électriques devront respecter la norme électrique NFC 15-100.

3.3.3 - RAFRAICHISSEMENT ASSURE PAR LES CLIMATISEURS

Ce cas ne concerne que les opérations ne pouvant avoir recours à la ventilation naturelle (voir paragraphe 5.2.1). Il n'est valable que pour les chambres (pièces de nuit).

Les exigences sont ici celles de la Charte de qualité OPTICLIM, mise en place par l'ADEME dans les DOM. Cette Charte définit les conditions d'installation de systèmes de climatisation individuelle performants, en les considérant dans leur globalité, de leur dimensionnement jusqu'à leur fin de vie.
Ainsi, 6 thématiques sont traitées :

- le bâti étanche,
- le dimensionnement de l'installation,
- le choix des appareils,
- la mise en œuvre,
- l'entretien et la maintenance,
- la gestion des appareils en fin de vie.

ETANCHEITE DU BÂTI

Si les prescriptions générales concernant les performances thermiques du bâti ont été décrites dans les chapitres précédents (Protections solaires de la toiture, des ouvrants et des murs), le point présent concerne l'étanchéité des ouvrants (vitrages), et en particulier celle à l'air.

Tous les ouvrants devront posséder une classe d'étanchéité qui soit au minimum A3 (selon la norme NBN EN 1026).

DIMENSIONNEMENT

Est concernée ici la conception de l'installation, et notamment son dimensionnement en termes de puissance frigorifique (exprimée en W ou en BTU/h).

CHOIX DES APPAREILS

Les appareils performants seront bien évidemment privilégiés. On ne considère ici que les appareils de type « split-system », dont l'efficacité frigorifique (ou coefficient E.E.R) devra être supérieure à 3.6, ce qui correspond à un appareil de classe énergétique A (étiquette énergie).

MISE EN OEUVRE

Les unités extérieures devront être placées dans des endroits bien ventilés, et éloignés de toute source de chaleur qui pourrait entraver leur bon fonctionnement (ensoleillement par exemple). Elles seront situées si possible en hauteur, à l'abri de nuisances possibles (poussières, fumées), mais accessibles.
Les unités intérieures devront quant à elles être disposées si possible en hauteur, accessibles, mais de manière à insuffler un flux d'air :
- qui ne soit dérangeant pour l'utilisateur ;
- qui ne soit perturbé par des obstacles éventuels ;
- qui balaye le plus grand volume possible.

En cas de placement en allège, le jet d'air sera orienté de 15° à 20° par rapport à la verticale.

Les liaisons frigorifiques devront être inférieures à 10 m, le plus linéaire possible, et calorifugées par un isolant adéquat (de type « Armaflex », et de résistance thermique supérieure à 0,4 m².°C/W).

ENTRETIEN ET MAINTENANCE

L'installateur devra se soumettre à un contrat de maintenance, annuel ou semestriel.

FIN DE VIE

En fin de vie de l'installation, l'entreprise s'engage à récupérer les fluides frigorigènes, avec un matériel adéquat (type station).

3.3.4 - VENTILATION HYGIENIQUE

L'humidité, qu'elle soit climatique ou issue des activités humaines (transpiration, vapeur d'eau,..) est très présente au sein de l'habitat. Cette humidité favorise le développement des moisissures, qui peuvent avoir un impact très négatif sur la santé. Il convient donc de renouveler l'air par une ventilation, pour chasser cette humidité. Si celle-ci n'est pas possible naturellement (pièces borgnes), il est judicieux de prévoir une Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC).

La VMC peut fonctionner en « tout ou rien », mais il existe des modèles qui possèdent un débit nominal obtenu avec le moteur en petite vitesse et un débit forcé avec le moteur en grande vitesse. Un interrupteur permet de basculer en grande vitesse après une forte production de vapeur d'eau (douche ou bain par exemple).
Il existe également des modèles de VMC hygroréglables, qui modulent le débit en fonction de l'humidité de la pièce.

MODE DE POSE
Les bouches d'extraction de l'air sont placées au niveau des pièces humides (salle de bain, cuisine, WC, voire buanderie) et reliées à un groupe d'extraction motorisé. L'air extérieur « neuf » est ainsi aspiré via des entrées d'air situées dans les pièces sèches puis rejeté via des bouches d'extraction situées dans les pièces humides. Pour que le passage de l'air puisse se faire même porte fermée, il est idéalement préférable de prévoir un interstice de 1 à 2 cm sous les portes (détalonnage).

Pour les systèmes autoréglables, les débits minimum d'usage pour les différentes pièces sont déterminés dans le tableau suivant (en m3/h) :

	CUISINE	SDB	AUTRE SALLE D'EAU	WC 1	WC 2
T1	20/75	15	15	15	15
T2	30/90	15	15	15	15
T3	45/105	30	15	15	15
T4	45/120	30	15	30	15
T5 et +	45/135	30	15	30	15

ENTRETIEN

Un nettoyage des bouches d'extraction (une fois par trimestre, à l'eau savonneuse) est nécessaire. Les filtres doivent aussi être nettoyés une fois par an. D'une manière plus globale, un entretien de l'installation dans son ensemble (bloc moteur, gaines) doit être réalisé par un professionnel tous les 3 ans.

3.4 - FOURNITURE D'EAU CHAUDE SANITAIRE

L'eau chaude sanitaire peut être assurée par le biais :
- du solaire thermique (chauffe-eau solaire)
- d'un autre mode de production thermique (électrique ou gaz), compensé par une surface minimale de panneaux photovoltaïques.

3.4.1 - SOLAIRE THERMIQUE

3.4.1.1 - Installations individuelles

IMPLANTATION DES CAPTEURS

L'appareil, s'il est de type « autostockeur », ou les capteurs, dans le cas de systèmes « thermosiphon » ou « à éléments séparés », devront être :
- orientés vers le Nord à + ou - 90°,
- inclinés d'un angle compris entre 10° et 20° avec l'horizontale.

VISSERIE ET ACCESSOIRES

L'installation devra être obligatoirement équipée de vannes d'arrêt dont une accessible pour la neutralisation du réseau et des équipements suivants :
- groupe de sécurité, dont l'évacuation des fluides doit être raccordée par tuyauterie, soit jusqu'au sol, soit jusqu'au réseau d'évacuation pour éviter tout risque de brûlure,
- réducteur de pression,
- mitigeur thermostatique (conformément à l'arrêté du 30 novembre 2005).

Il pourra également être prévu, selon la situation, un filtre à tamis pour limiter les dépôts de latérite, des clapets anti-retour ou des dispositifs anti-béliers.
L'ensemble des accessoires devra être homologué NF ou CE.
Les éléments de visserie utilisés pour la structure et la fixation des équipements seront en acier inoxydable pour les diamètres inférieurs ou égaux à 8 mm et en acier zingué au-delà de 8 mm. La visserie utilisée pour la fixation de la structure sur une toiture pourra être de même type que celle préexistante sur cette toiture.

RESEAU HYDRAULIQUE

Le matériel employé sera homologué NF ou CE. Les tuyauteries, en cuivre, seront fixées tous les mètres avec des fixations disponibles sur le marché, et calorifugées, sur la liaison capteur-ballon et l'alimentation en eau chaude du logement, par un isolant peu sensible à l'humidité et protégé des intempéries et des agents agressifs (pluie, rayonnement solaire, animaux,...).

REGLES TECHNIQUES ET CERTIFICATION

Le DTU n° 65-12 et la norme NF P50-601-1 devront être respectés, et les chauffe-eaux solaires devront bénéficier d'un avis technique favorable du CSTB (ou équivalent européen) en cours de validité.

3.4.1.2 - Installations collectives

Sur ce type de montage plus complexe, l'unique prescription va ici se limiter à l'obligation d'une étude de faisabilité et de suivi de l'opération. Elle devra être assurée par un bureau d'études indépendant et spécialisé dans ce type de prestations.

3.4.2 - SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE

On prendra pour le dimensionnement les hypothèses suivantes :
- une consommation moyenne annuelle de 500 kWh par personne,
- une occupation théorique de 1 personne pour un T1, 2 personnes pour un T2, 3 pour un T3, etc,
- une majoration forfaitaire de 45% pour tenir compte du mode de production de l'électricité et des pertes sur le réseau.

A titre indicatif, une installation de 1000 Wc (Watt crête), orientée plein Nord et inclinée à 15°, sans ombrage, est en mesure de produire annuellement environ 1350 kWh.

En conséquence, les niveaux de puissance minimum à installer seront les suivants :

Type de logement	Puissance à installer (Wc)
T1	400
T2	800
T3	1200
T4	1600
T5	2000

Ces puissances seront ensuite augmentées en fonction de la perte de puissance liée à une orientation ou une pente non optimale, selon le tableau indicatif suivant (puissance à diviser par le facteur du tableau) :

Orientation / Nord	INCLINAISON						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
0°	1,00	1,00	0,92	0,81	0,67	0,52	0,40
15°	1,00	0,98	0,92	0,81	0,68	0,53	0,41
30°	1,00	0,98	0,92	0,82	0,69	0,55	0,43
45°	1,00	0,98	0,92	0,83	0,71	0,59	0,47
60°	1,00	0,98	0,92	0,84	0,73	0,61	0,50
75°	1,00	0,98	0,92	0,84	0,74	0,63	0,52
90°	1,00	0,98	0,92	0,84	0,74	0,63	0,52

Nota : L'inclinaison 15° orienté Nord présente normalement un facteur de 0,98 ramené à 1 car il s'agit de l'inclinaison souhaitée pour l'écoulement des eaux. Les configurations avec des facteurs inférieurs à 0,7 sont fortement déconseillées. Une étude de faisabilité, un dimensionnement et un entretien seront alors obligatoires, et assurés par un bureau d'études indépendant et spécialisé.

3.5 - ECLAIRAGE PERFORMANT

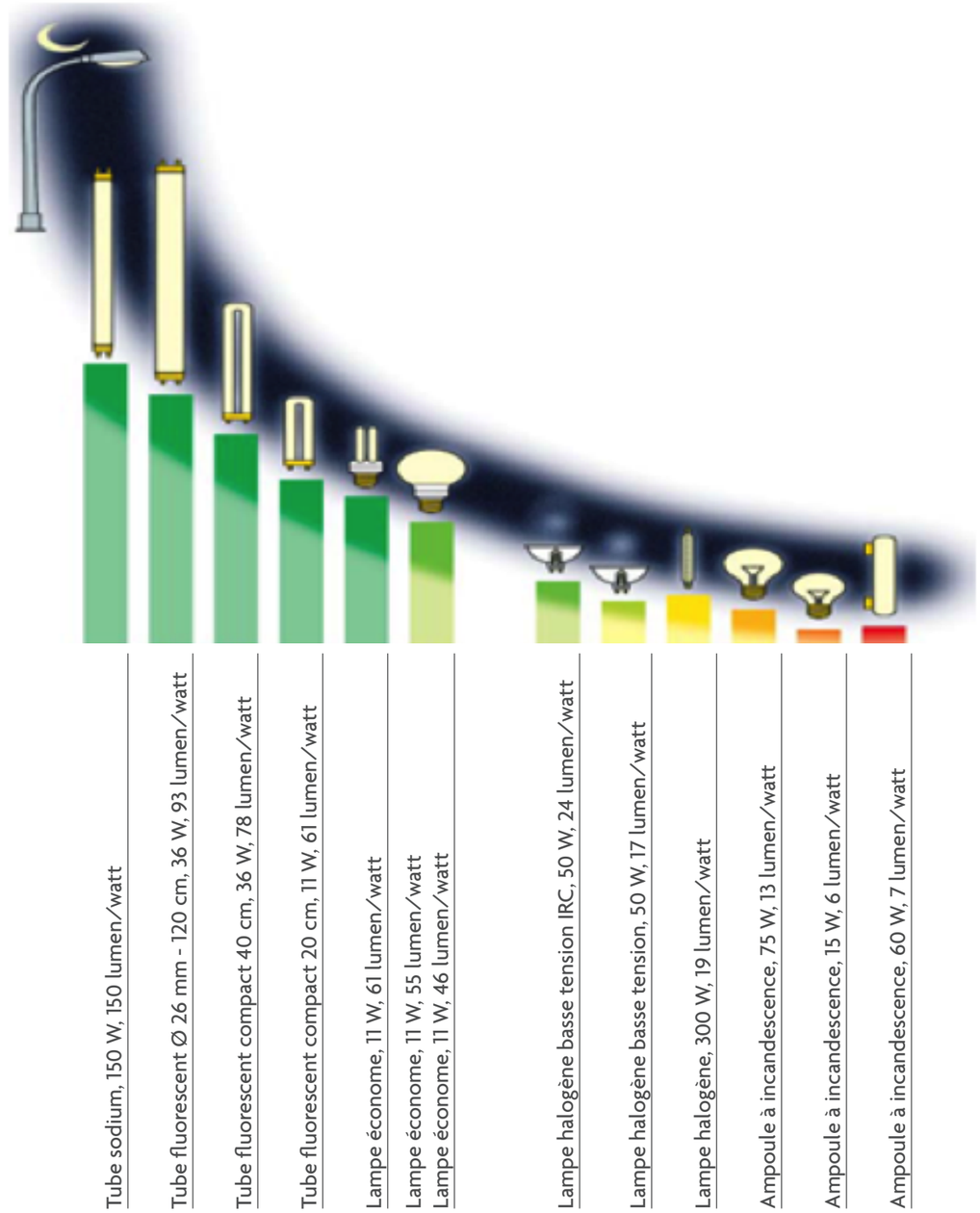
Les exigences liées à cette thématique concernent principalement la puissance de l'éclairage à mettre en place, pour assurer un éclairage performant, et sa gestion (minuterie). Mais nous donnerons également, à titre de conseil, des niveaux minima de qualité de lumière (Indice de Rendu des Couleurs (IRC), température des couleurs) à adopter, pour un meilleur confort visuel.

Les lieux concernés sont les espaces communs, qui englobent les endroits suivants :
- Les circulations
- Les garages
- Le (ou les) locaux « poubelle »
- Les cheminements piétonniers extérieurs

PERFORMANCE ENERGETIQUE

Ici, l'exigence propre à l'éclairage s'exprime en puissance électrique (exprimée en Watt) d'éclairage rapportée au m², et doit être inférieure ou égale à 2 W/m².

La puissance d'éclairage habituellement rencontrée dans l'habitat varie selon le type d'éclairage utilisé. Pour un même degré d'éclairement (exprimé en lumen), on trouve ainsi plusieurs niveaux d'efficacité énergétique selon les types d'appareils utilisés. Les plus performants sont ainsi les néons ou l'éclairage à diode électroluminescente (LED, OLED), les autres systèmes ayant une consommation supérieure pour produire un même éclairement :
- Néon : 80 à 90 lumen/Watt
- LBC : 50 à 60 lumen/Watt
- LED : 40 lumen/Watt
- Halogène : 20 lumen/Watt
- Incandescent : 10 lumen/Watt



GESTION

Il sera prévu des systèmes de minuterie dans tous les circulations communes, locaux poubelles et garages. Ces systèmes seront à temporisation ou à détecteur de présence.

QUALITE DE LA LUMIERE

Deux autres critères rentrent ici en compte, et concernent plus directement la qualité de l'éclairage : l'indice de rendu des couleurs (IRC) et la température de couleur (chaleur de l'éclairage).

Ce sont 2 critères à ne pas négliger, et qui font que l'on pense souvent, à tort, que l'éclairage fluorescent est moins « chaleureux » qu'un éclairage incandescent ou halogène :

- l'indice de rendu des couleurs (IRC) définit le rendu des couleurs par un éclairage artificiel. Plus il est important (supérieur à 90%), mieux les couleurs sont restituées.
- la température de couleur de l'éclairage (qui va généralement de 2 500 K à 6 000 K) définit la gamme de couleur produite par la lampe, de chaude à froide. Paradoxalement, plus la température est élevée, plus la lumière apparaît comme « froide » et blanche.

L'IRC et la température de couleur sont définis par un code international à 3 chiffres, qui est généralement indiqué sur les ampoules (voir ci-après). Le 1er donne le niveau d'IRC en pourcentage, et les 2 autres donnent la température de l'éclairage (gamme de couleur produite par la lampe).

Code	IRC - indice de rendu des couleurs	Température de couleur *(teinte de la lumière)*
827	82 à 85	2700 K *blanc très chaud*
830	82 à 85	3000 K *blanc chaud*
840	82 à 85	4000 K *lumière du jour*
930	92 à 98	3000 K *blanc chaud*
940	92 à 98	4000 K *lumière du jour*

Dans le cadre de la démarche d'éco-construction, il sera demandé un IRC de 85 % minimum, et une température de 4 000 K (codes 840, 930 ou 940).

COUT GLOBAL

Sur la base de 2 000 heures d'utilisation/an, une LBC de 11 W permet d'économiser :

- 1 200 Fcfp (10 euros) /an par rapport à une lampe à incandescence ;
- 2 400 à 3 500 Fcfp (20 à 30 euros) /an par rapport à une lampe halogène.

La durée de vie d'un éclairage fluorescent ou de type néon est également 5 à 10 fois plus importante que les autres types d'éclairage, et permet de s'affranchir de changements et de rachats fréquents. Aussi d'une manière générale, sur sa durée de vie, un éclairage fluorescent est 3 fois moins coûteux qu'un éclairage incandescent, et 7 à 10 fois moins qu'un éclairage halogène.

3.6 - SYNTHESE

			ECO-CONSTRUCTION DANS LE SECTEUR LOGEMENT : PRÉCONISATIONS
Implantation sur le site	Environnement proche		Protection du sol fini de l'ensoleillement sur ¾ de la périphérie et sur une bande de 3m (ex : végétalisation du sol et écran végétal).
	Recommandations	Orientation	Orientation des façades principales favorable à la pénétration des brises ou vents dominants.
		Urbanisme	Implantation à distance d'obstacles à une bonne ventilation (2 ou 4 fois la hauteur de l'obstacle dans le sens du vent ou perpendiculairement).
		Topographie	Implantation dans des zones à bonne potentialité de ventilation naturelle (« au vent » au voisinage du sommet d'une colline, entre deux obstacles).
		Microclimat	Tenir compte des caractéristiques microclimatiques (vents, obstacles à l'ensoleillement).
		Végétalisation	Végétalisation étendue au-delà des 3 m sans constituer un obstacle à l'écoulement du vent
		Volumétrie	Hauteur sous plafond supérieure à 2.80m.
Protection solaire	Toitures	Simples isolées	Epaisseur minimale d'isolation selon la couleur d'étanchéité et le type d'isolant.
		Combles ventilés	Légère isolation nécessaire (ou faible si couleur moyenne ou sombre).
	Murs	Pare-soleils horizontaux	Définition du rapport minimal « Débord / Hauteur » selon le type de paroi et leur teinte.
		Pare-soleils verticaux	Pare-soleil décollé de la façade d'au moins 20 cm et ouvert aux extrémités.
		Isolation thermique	Définition des épaisseurs minimales d'isolant pour les murs dépourvus de pare-soleil.
		Complément	Traitement végétal des murs, choix de composants à faible inertie et prise en compte de l'orientation des pièces selon leur occupation.
		Baies et fenêtres	Description de dispositifs de protection (lames mobiles extérieures, store extérieur, persiennes projetables ou à volets battants, écran, auvent ou casquette).
			Protections horizontales ajourées pour assurer la circulation de l'air.
Ventilation naturelle	Implantation et dimensionnement des ouvrants extérieurs		Etage du logement complètement traversant ET porosité moyenne totale de chacune des deux façades principales opposées supérieure ou égale à 25%.
			Logement avec un séjour traversant, position en façade des pièces de service, porosité augmentée dans les sites faiblement ventés, ouvertures sur toutes les façades (dont la toiture) et constructions sur vide sanitaire ventilé à privilégier.
	Agencement intérieur		Les portes intérieures et autres ouvertures permettent l'écoulement d'air entre les façades. La surface ouvrante des cloisonnements doit être supérieur à la plus petite surface d'ouvrant des façades principales. Ces ouvertures doivent pouvoir être maintenues ouvertes.
			L'organisation du plan recherche un nombre minimum de parois internes. La répartition des ouvrants participe à une bonne ventilation. Les autres fonctions des parois internes doivent être aussi prises en compte (acoustique, éclairement, ...).
	Brasseur d'air		Attentes avec interrupteurs muraux dans chaque pièce principale à raison d'une attente par tranche de surfaces de 15m². Positionnement pour un brassage homogène de l'air.
			Brasseur d'air à palles métalliques de diamètre supérieur à 1,40m. Installation à 30 cm du plafond. Commande d'alimentation avec variateurs de vitesse.
OPTION « CHAMBRES CLIMATISEES »			Type « split système » avec coefficient d'efficacité global minimal de 3.6 et puissance frigorifique maximale de 100 W/m².
			Contrat de maintenance > à 2 ans et installation conforme au règle de l'art : unité extérieure dans un endroit ventilé, liaisons frigorifiques inférieures à 10m et résistance thermique du calorifuge > 4m²K/W. Ouvertures extérieures perméables à l'air et intérieures obturables. Renouvellement d'air de 25m3/h.
			Climatiseur avec coefficient d'efficacité élevé et équipé de thermostats électroniques Installation intérieure en hauteur et protection solaire des parties extérieures.
			Dispositifs d'asservissement à la fermeture des ouvrants extérieurs et d'aide à la fermeture des portes intérieures.
EAU CHAUDE SANITAIRE			Prescriptions réglementaires selon le type d'équipement : solaire, électrique individuel, gaz ou à récupération. Objectif de systèmes efficaces, économes et durables.

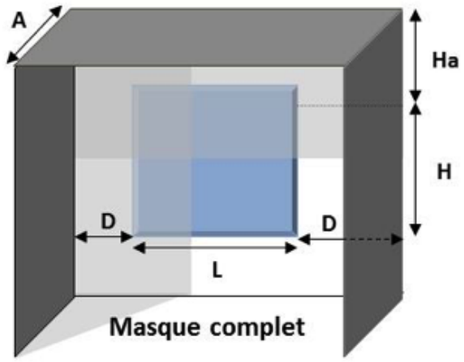


4

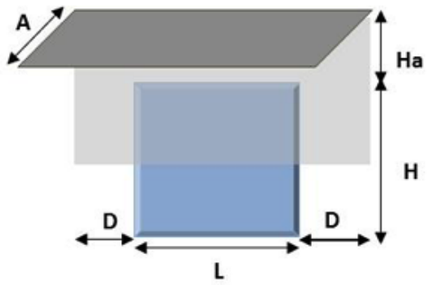
ANNEXE

COEFFICIENTS DE MASQUE

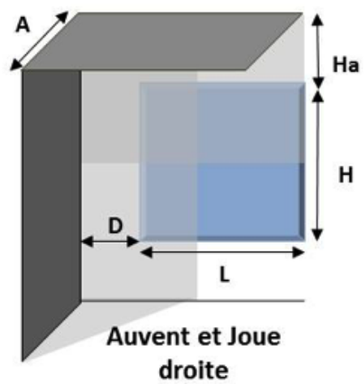
Les abaques suivantes donnent les valeurs des coefficients de masque Cm directs et globaux pour la Polynésie française (latitude de Tahiti 17°32' Sud) pour les cas suivants :
- auvent avec ou sans joues gauche et droite,
- brise soleil horizontaux,
- brise soleil verticaux.



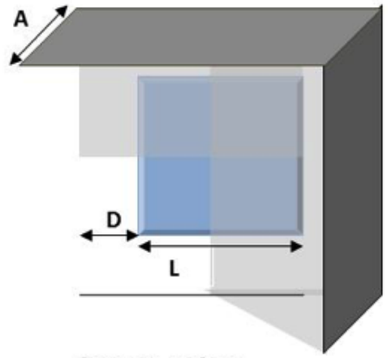
Masque complet



Auvent



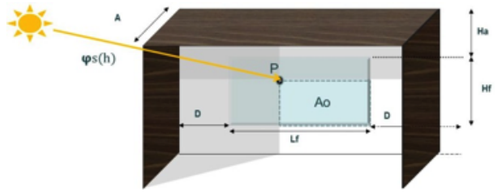
Auvent et Joue droite



Auvent et Joue gauche

MODE DE CALCUL DES COEFFICIENTS DE MASQUE

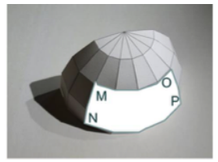
Formule de calcul du coefficient de masque direct
Quelque soit le masque proche utilisé, le coefficient de masque direct calculé heure par heure sera toujours le même, et sera calculé en fonction de l'aire éclairée Ao sur la surface totale du composant étudié.



Le coefficient de masque direct correspond au rapport entre l'énergie directe reçue (après affaiblissement par le masque) par le composant étudié et l'énergie diffuse brute reçue sur une période de référence.

Formule de calcul du coefficient de masque diffus
Le coefficient de masque diffus correspond à la fraction de la voûte céleste vue par le composant étudié, c'est-à-dire le rapport de l'angle solide vu par l'objet sur l'angle maximal visible sans obstacle par l'objet.





Le coefficient de masque diffus correspond au rapport entre l'énergie diffuse reçue (affaiblie par le masque) par le composant étudié et l'énergie diffuse brute reçue sur une période de référence.

Le coefficient de masque global correspond au rapport entre l'énergie globale (direct+diffuse) reçue (affaiblie par le masque) par le composant étudié et l'énergie diffuse brute reçue sur une période de référence.

MÉTHODE ET HYPOTHÈSES DE CALCUL

Les coefficients de masque ont été calculés sur le logiciel TRNSYS.

La réflexion du sol est prise en compte avec un albédo de 0.2.

Les hypothèses morphologiques des baies sont les suivantes :

* D = 0.5xH
** D = 2xH
*** La joue est toujours placée du côté le plus judicieux en fonction de l'orientation de la paroi
Ha < 0,1 x H

Les périodes de références considérées pour chaque orientation sont les suivantes :

	Période de simulation et position de la joue	*Nord*	*Nord-Ouest*	*Ouest*	*Sud-Ouest*	*Sud*	*Sud-est*	*Est*	*Nord-Est*
Saison "chaude"	Période	Mars	Mars	Janvier à mars	Décembre et janvier	Décembre et janvier	Décembre et janvier	Janvier et février	Mars
	Heure de début	2160	2160	7296	7296	7296	1416	0	1416
	Heure de fin	3624	2880	8016	8016	9504	2880	2880	2880
	Position joue	gauche	gauche	droite	droite	droite	droite	gauche	gauche

FACTEURS SOLAIRES

Facteurs solaires globaux			d/h								
Orientation	Type de protection	L/h	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Nord	Débord fini	0,25	1,00	0,98	0,93	0,90	0,88	0,86	0,85	0,84	0,83
		0,5	1,00	0,97	0,91	0,86	0,81	0,78	0,76	0,73	0,72
		Entre 1 et 2	1,00	0,97	0,88	0,80	0,73	0,66	0,61	0,54	0,51
	Débord étendu*	0,25	1,00	0,97	0,87	0,78	0,70	0,63	0,58	0,51	0,49
		0,5	1,00	0,97	0,87	0,78	0,69	0,62	0,56	0,48	0,46
		Entre 1 et 2	1,00	0,97	0,87	0,77	0,68	0,59	0,52	0,42	0,38
	Débord infini**	0,25	1,00	0,97	0,87	0,77	0,67	0,58	0,50	0,38	0,32
		0,5	1,00	0,97	0,87	0,77	0,67	0,58	0,50	0,38	0,32
		Entre 1 et 2	1,00	0,97	0,87	0,77	0,67	0,58	0,50	0,38	0,32
	Débord avec une joue***	0,25	1,00	0,84	0,69	0,61	0,56	0,53	0,51	0,49	0,48
		0,5	1,00	0,92	0,77	0,67	0,59	0,54	0,51	0,46	0,45
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,86	0,75	0,66	0,58	0,51	0,42	0,39
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,69	0,42	0,29	0,22	0,17	0,14	0,11	0,10
		0,5	1,00	0,85	0,63	0,47	0,36	0,29	0,24	0,18	0,16
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,83	0,70	0,59	0,49	0,41	0,31	0,26
Nord-Ouest	Débord fini	0,25	1,00	0,98	0,94	0,90	0,87	0,85	0,83	0,80	0,79
		0,5	1,00	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,76	0,71	0,69
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,89	0,83	0,77	0,72	0,67	0,60	0,56
	Débord étendu	0,25	1,00	0,96	0,89	0,81	0,75	0,69	0,64	0,57	0,52
		0,5	1,00	0,96	0,89	0,81	0,74	0,69	0,64	0,56	0,51
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,88	0,81	0,74	0,68	0,63	0,55	0,49
	Débord infini	0,25	1,00	0,96	0,88	0,80	0,73	0,67	0,62	0,54	0,47
		0,5	1,00	0,96	0,88	0,80	0,73	0,67	0,62	0,54	0,47
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,88	0,80	0,73	0,67	0,62	0,54	0,47
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,90	0,77	0,67	0,58	0,52	0,47	0,42	0,40
		0,5	1,00	0,94	0,84	0,75	0,67	0,60	0,54	0,46	0,40
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,88	0,81	0,73	0,67	0,61	0,53	0,46
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,80	0,60	0,46	0,35	0,27	0,21	0,15	0,12
		0,5	1,00	0,90	0,76	0,63	0,53	0,44	0,38	0,27	0,21
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,87	0,78	0,70	0,62	0,56	0,46	0,39
Ouest	Débord fini	0,25	1,00	0,97	0,92	0,88	0,85	0,82	0,79	0,76	0,75
		0,5	1,00	0,97	0,91	0,87	0,82	0,78	0,75	0,71	0,67
		Entre 1 et 2	1,00	0,97	0,90	0,85	0,80	0,75	0,71	0,64	0,59
	Débord étendu	0,25	1,00	0,97	0,90	0,84	0,79	0,73	0,69	0,62	0,57
		0,5	1,00	0,97	0,90	0,84	0,78	0,73	0,69	0,62	0,56
		Entre 1 et 2	1,00	0,97	0,90	0,84	0,78	0,73	0,68	0,61	0,55
	Débord infini	0,25	1,00	0,97	0,90	0,84	0,78	0,72	0,68	0,60	0,53
		0,5	1,00	0,97	0,90	0,84	0,78	0,72	0,68	0,60	0,53
		Entre 1 et 2	1,00	0,97	0,90	0,84	0,78	0,72	0,68	0,60	0,53
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,92	0,82	0,75	0,70	0,65	0,63	0,59	0,56
		0,5	1,00	0,95	0,86	0,79	0,73	0,67	0,63	0,57	0,53
		Entre 1 et 2	1,00	0,97	0,89	0,83	0,77	0,71	0,67	0,59	0,53
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,86	0,68	0,55	0,45	0,36	0,29	0,19	0,14
		0,5	1,00	0,92	0,80	0,69	0,60	0,52	0,46	0,35	0,28
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,88	0,81	0,74	0,67	0,62	0,53	0,46
Sud-Ouest	Débord fini	0,25	1,00	1,14	1,13	1,12	1,11	1,11	1,10	1,10	1,09
		0,5	1,00	1,14	1,12	1,11	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05
		Entre 1 et 2	1,00	1,13	1,11	1,09	1,07	1,05	1,03	1,01	0,99
	Débord étendu	0,25	1,00	1,13	1,11	1,08	1,06	1,04	1,02	1,00	0,98
		0,5	1,00	1,13	1,11	1,08	1,06	1,04	1,02	0,99	0,97
		Entre 1 et 2	1,00	1,13	1,11	1,08	1,05	1,03	1,01	0,98	0,95
	Débord infini	0,25	1,00	1,13	1,10	1,08	1,05	1,02	1,00	0,97	0,94
		0,5	1,00	1,13	1,10	1,08	1,05	1,02	1,00	0,97	0,94
		Entre 1 et 2	1,00	1,13	1,10	1,08	1,05	1,02	1,00	0,97	0,94
	Débord avec une joue	0,25	1,00	1,07	1,00	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,86
		0,5	1,00	1,11	1,05	1,01	0,97	0,95	0,93	0,90	0,88
		Entre 1 et 2	1,00	1,13	1,10	1,06	1,03	1,01	0,98	0,95	0,92
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	1,00	0,87	0,79	0,74	0,70	0,68	0,65	0,64
		0,5	1,00	1,08	0,99	0,91	0,86	0,81	0,78	0,73	0,71
		Entre 1 et 2	1,00	1,13	1,08	1,04	1,00	0,96	0,93	0,88	0,84

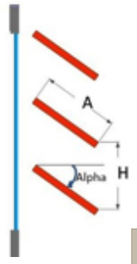
* Delta = 0.5h - ** Delta = 2h - *** La joue est toujours placée du côté le plus judicieux en fonction de l'orientation de la paroi

Facteurs solaires globaux			d/h								
Orientation	Type de protection	L/h	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Sud	Débord fini	0,25	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93
		0,5	1,00	0,99	0,97	0,95	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88
		Entre 1 et 2	1,00	0,99	0,96	0,93	0,90	0,87	0,85	0,82	0,80
	Débord étendu	0,25	1,00	0,99	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84	0,81	0,79
		0,5	1,00	0,99	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84	0,80	0,77
		Entre 1 et 2	1,00	0,99	0,95	0,91	0,88	0,85	0,82	0,78	0,75
	Débord infini	0,25	1,00	0,98	0,95	0,91	0,87	0,84	0,81	0,77	0,73
		0,5	1,00	0,98	0,95	0,91	0,87	0,84	0,81	0,77	0,73
		Entre 1 et 2	1,00	0,98	0,95	0,91	0,87	0,84	0,81	0,77	0,73
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,90	0,82	0,76	0,72	0,70	0,68	0,66	0,64
		0,5	1,00	0,95	0,88	0,83	0,78	0,75	0,72	0,69	0,66
		Entre 1 et 2	1,00	0,98	0,94	0,89	0,86	0,82	0,79	0,74	0,71
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,81	0,65	0,55	0,49	0,45	0,42	0,38	0,36
		0,5	1,00	0,92	0,80	0,71	0,63	0,58	0,54	0,48	0,44
		Entre 1 et 2	1,00	0,98	0,92	0,86	0,81	0,77	0,73	0,66	0,61
Sud-Est	Débord fini	0,25	1,00	0,99	0,97	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92
		0,5	1,00	0,98	0,94	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,91	0,86	0,83	0,79	0,77	0,73	0,71
	Débord étendu	0,25	1,00	0,96	0,90	0,85	0,81	0,78	0,76	0,73	0,71
		0,5	1,00	0,96	0,90	0,84	0,80	0,76	0,74	0,70	0,68
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,89	0,83	0,78	0,74	0,70	0,65	0,61
	Débord infini	0,25	1,00	0,96	0,89	0,83	0,77	0,72	0,68	0,61	0,55
		0,5	1,00	0,96	0,89	0,83	0,77	0,72	0,68	0,61	0,55
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,89	0,83	0,77	0,72	0,68	0,61	0,55
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,75	0,58	0,51	0,48	0,45	0,44	0,41	0,40
		0,5	1,00	0,87	0,73	0,62	0,55	0,51	0,48	0,45	0,43
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,86	0,78	0,72	0,66	0,62	0,55	0,50
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,66	0,42	0,31	0,25	0,21	0,18	0,15	0,13
		0,5	1,00	0,84	0,64	0,51	0,41	0,35	0,31	0,25	0,22
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,85	0,76	0,68	0,61	0,56	0,47	0,41
Est	Débord fini	0,25	1,00	0,98	0,94	0,91	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80
		0,5	1,00	0,97	0,92	0,88	0,84	0,81	0,78	0,74	0,71
		Entre 1 et 2	1,00	0,97	0,91	0,85	0,80	0,75	0,71	0,65	0,60
	Débord étendu	0,25	1,00	0,97	0,90	0,84	0,78	0,73	0,69	0,62	0,56
		0,5	1,00	0,97	0,90	0,84	0,78	0,73	0,68	0,61	0,55
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,90	0,84	0,78	0,72	0,67	0,60	0,54
	Débord infini	0,25	1,00	0,96	0,90	0,83	0,77	0,71	0,67	0,58	0,52
		0,5	1,00	0,96	0,90	0,83	0,77	0,71	0,67	0,58	0,52
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,90	0,83	0,77	0,71	0,67	0,58	0,52
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,91	0,82	0,76	0,71	0,67	0,65	0,62	0,60
		0,5	1,00	0,94	0,86	0,79	0,73	0,68	0,65	0,59	0,55
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,89	0,83	0,77	0,71	0,67	0,59	0,53
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,82	0,64	0,51	0,41	0,34	0,29	0,21	0,17
		0,5	1,00	0,91	0,78	0,67	0,57	0,50	0,44	0,35	0,28
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,88	0,80	0,73	0,66	0,61	0,52	0,45
Nord-Est	Débord fini	0,25	1,00	0,97	0,93	0,89	0,86	0,84	0,83	0,81	0,80
		0,5	1,00	0,97	0,91	0,86	0,81	0,78	0,75	0,71	0,69
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,89	0,82	0,76	0,71	0,67	0,60	0,55
	Débord étendu	0,25	1,00	0,96	0,88	0,81	0,74	0,68	0,63	0,56	0,51
		0,5	1,00	0,96	0,88	0,81	0,74	0,68	0,63	0,55	0,50
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,88	0,80	0,74	0,67	0,62	0,54	0,48
	Débord infini	0,25	1,00	0,96	0,88	0,80	0,73	0,67	0,62	0,53	0,46
		0,5	1,00	0,96	0,88	0,80	0,73	0,67	0,61	0,53	0,46
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,88	0,80	0,73	0,67	0,61	0,53	0,46
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,91	0,82	0,75	0,71	0,68	0,65	0,62	0,61
		0,5	1,00	0,94	0,85	0,78	0,71	0,66	0,63	0,58	0,55
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,88	0,80	0,73	0,67	0,62	0,55	0,49
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,80	0,57	0,41	0,30	0,23	0,18	0,14	0,11
		0,5	1,00	0,90	0,75	0,61	0,50	0,40	0,33	0,24	0,19
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,87	0,77	0,69	0,61	0,55	0,44	0,37

FACTEURS SOLAIRES

Facteurs solaires directs			d/h								
Orientation	**Type de protection**	**L/h**	**0**	**0,1**	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,5**	**0,6**	**0,8**	**1**
Nord	**Débord fini**	**0,25**	1,00	0,97	0,91	0,87	0,84	0,81	0,80	0,78	0,78
		0,5	1,00	0,97	0,87	0,80	0,74	0,70	0,67	0,63	0,63
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,84	0,73	0,62	0,53	0,45	0,36	0,34
	Débord étendu*	**0,25**	1,00	0,96	0,83	0,70	0,58	0,48	0,41	0,33	0,31
		0,5	1,00	0,96	0,83	0,69	0,57	0,46	0,38	0,28	0,26
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,83	0,69	0,56	0,44	0,33	0,20	0,16
	Débord infini**	**0,25**	1,00	0,96	0,83	0,69	0,55	0,42	0,30	0,14	0,07
		0,5	1,00	0,96	0,83	0,69	0,55	0,42	0,30	0,14	0,07
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,83	0,69	0,55	0,42	0,30	0,13	0,06
	Débord avec une joue***	**0,25**	1,00	0,81	0,63	0,55	0,50	0,47	0,45	0,43	0,43
		0,5	1,00	0,90	0,72	0,59	0,50	0,44	0,40	0,36	0,36
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,81	0,67	0,54	0,43	0,34	0,24	0,21
	Débord avec deux joues	**0,25**	1,00	0,64	0,33	0,20	0,13	0,09	0,07	0,04	0,04
		0,5	1,00	0,83	0,55	0,36	0,23	0,16	0,11	0,07	0,06
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,78	0,61	0,46	0,33	0,23	0,11	0,08
Nord-Ouest	**Débord fini**	**0,25**	1,00	0,97	0,90	0,84	0,79	0,76	0,72	0,68	0,67
		0,5	1,00	0,96	0,87	0,79	0,72	0,66	0,61	0,54	0,50
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,84	0,74	0,65	0,58	0,51	0,41	0,35
	Débord étendu	**0,25**	1,00	0,94	0,83	0,72	0,62	0,54	0,46	0,35	0,27
		0,5	1,00	0,94	0,83	0,72	0,62	0,53	0,46	0,35	0,27
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,83	0,72	0,62	0,53	0,46	0,35	0,27
	Débord infini	**0,25**	1,00	0,94	0,83	0,72	0,62	0,53	0,46	0,35	0,27
		0,5	1,00	0,94	0,83	0,72	0,62	0,53	0,46	0,35	0,27
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,83	0,72	0,62	0,53	0,46	0,35	0,27
	Débord avec une joue	**0,25**	1,00	0,93	0,79	0,65	0,52	0,42	0,34	0,26	0,24
		0,5	1,00	0,95	0,84	0,72	0,62	0,52	0,43	0,30	0,22
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,84	0,74	0,64	0,56	0,48	0,36	0,28
	Débord avec deux joues	**0,25**	1,00	0,85	0,66	0,50	0,36	0,25	0,17	0,09	0,06
		0,5	1,00	0,92	0,78	0,65	0,53	0,43	0,34	0,21	0,13
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,83	0,73	0,63	0,54	0,46	0,35	0,26
Ouest	**Débord fini**	**0,25**	1,00	0,96	0,88	0,81	0,75	0,70	0,66	0,61	0,59
		0,5	1,00	0,96	0,87	0,80	0,73	0,67	0,63	0,55	0,50
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,87	0,79	0,72	0,65	0,60	0,51	0,44
	Débord étendu	**0,25**	1,00	0,96	0,87	0,79	0,72	0,64	0,59	0,49	0,41
		0,5	1,00	0,96	0,87	0,79	0,72	0,64	0,59	0,49	0,41
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,87	0,79	0,72	0,64	0,59	0,49	0,41
	Débord infini	**0,25**	1,00	0,96	0,87	0,79	0,72	0,64	0,59	0,49	0,41
		0,5	1,00	0,96	0,87	0,79	0,72	0,64	0,59	0,49	0,41
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,87	0,79	0,72	0,64	0,59	0,49	0,41
	Débord avec une joue	**0,25**	1,00	0,96	0,88	0,81	0,75	0,70	0,66	0,61	0,59
		0,5	1,00	0,96	0,87	0,80	0,73	0,67	0,63	0,55	0,50
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,87	0,79	0,72	0,65	0,60	0,51	0,44
	Débord avec deux joues	**0,25**	1,00	0,95	0,81	0,68	0,55	0,43	0,34	0,19	0,10
		0,5	1,00	0,96	0,87	0,77	0,67	0,58	0,50	0,37	0,28
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,87	0,79	0,72	0,65	0,59	0,49	0,40
Sud-Ouest	**Débord fini**	**0,25**	1,00	0,98	0,95	0,93	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86
		0,5	1,00	0,98	0,93	0,90	0,87	0,84	0,82	0,79	0,77
		Entre 1 et 2	1,00	0,97	0,91	0,85	0,80	0,76	0,72	0,67	0,62
	Débord étendu	**0,25**	1,00	0,97	0,90	0,84	0,79	0,74	0,70	0,64	0,60
		0,5	1,00	0,97	0,90	0,84	0,78	0,73	0,69	0,62	0,58
		Entre 1 et 2	1,00	0,97	0,90	0,83	0,77	0,72	0,67	0,59	0,53
	Débord infini	**0,25**	1,00	0,96	0,90	0,83	0,76	0,70	0,65	0,56	0,49
		0,5	1,00	0,96	0,90	0,83	0,76	0,70	0,65	0,56	0,49
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,90	0,83	0,76	0,70	0,65	0,56	0,49
	Débord avec une joue	**0,25**	1,00	0,86	0,74	0,66	0,61	0,57	0,54	0,51	0,49
		0,5	1,00	0,93	0,82	0,74	0,67	0,62	0,58	0,52	0,48
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,89	0,81	0,75	0,69	0,64	0,56	0,50
	Débord avec deux joues	**0,25**	1,00	0,75	0,53	0,39	0,30	0,24	0,19	0,14	0,11
		0,5	1,00	0,88	0,71	0,58	0,47	0,39	0,33	0,25	0,19
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,86	0,77	0,69	0,62	0,55	0,45	0,37

Facteurs solaires directs			d/h								
Orientation	**Type de protection**	**L/h**	**0**	**0,1**	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,5**	**0,6**	**0,8**	**1**
Sud	**Débord fini**	**0,25**	1,00	0,98	0,95	0,93	0,91	0,90	0,89	0,87	0,86
		0,5	1,00	0,98	0,93	0,90	0,87	0,84	0,82	0,79	0,77
		Entre 1 et 2	1,00	0,97	0,91	0,85	0,80	0,76	0,72	0,67	0,62
	Débord étendu	**0,25**	1,00	0,97	0,90	0,84	0,79	0,74	0,70	0,64	0,60
		0,5	1,00	0,97	0,90	0,84	0,78	0,73	0,69	0,62	0,58
		Entre 1 et 2	1,00	0,97	0,90	0,83	0,77	0,72	0,67	0,59	0,53
	Débord infini	**0,25**	1,00	0,96	0,90	0,83	0,76	0,70	0,65	0,56	0,49
		0,5	1,00	0,96	0,90	0,83	0,76	0,70	0,65	0,56	0,49
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,90	0,83	0,76	0,70	0,65	0,56	0,49
	Débord avec une joue	**0,25**	1,00	0,96	0,90	0,85	0,80	0,76	0,72	0,65	0,59
		0,5	1,00	0,96	0,88	0,82	0,75	0,70	0,66	0,59	0,53
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,87	0,79	0,72	0,65	0,60	0,51	0,45
	Débord avec deux joues	**0,25**	1,00	0,98	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
		0,5	1,00	0,95	0,91	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,83	0,76	0,71	0,67	0,65	0,62	0,61
Sud-Est	**Débord fini**	**0,25**	1,00	0,91	0,80	0,73	0,68	0,66	0,65	0,65	0,65
		0,5	1,00	0,91	0,80	0,71	0,65	0,61	0,59	0,58	0,58
		Entre 1 et 2	1,00	0,91	0,79	0,69	0,61	0,54	0,50	0,44	0,41
	Débord étendu	**0,25**	1,00	0,91	0,78	0,68	0,58	0,51	0,44	0,34	0,27
		0,5	1,00	0,91	0,78	0,68	0,58	0,51	0,44	0,34	0,27
		Entre 1 et 2	1,00	0,91	0,78	0,68	0,58	0,51	0,44	0,34	0,27
	Débord infini	**0,25**	1,00	0,40	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
		0,5	1,00	0,69	0,38	0,18	0,08	0,04	0,03	0,03	0,03
		Entre 1 et 2	1,00	0,89	0,71	0,57	0,45	0,36	0,30	0,20	0,14
	Débord avec une joue	**0,25**	1,00	0,40	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
		0,5	1,00	0,69	0,38	0,18	0,08	0,04	0,03	0,03	0,03
		Entre 1 et 2	1,00	0,89	0,71	0,57	0,45	0,36	0,30	0,20	0,14
	Débord avec deux joues	**0,25**	1,00	0,96	0,90	0,85	0,80	0,76	0,74	0,69	0,67
		0,5	1,00	0,96	0,88	0,82	0,75	0,70	0,66	0,59	0,54
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,87	0,79	0,71	0,64	0,59	0,49	0,42
Est	**Débord fini**	**0,25**	1,00	0,95	0,86	0,78	0,69	0,61	0,55	0,44	0,36
		0,5	1,00	0,95	0,86	0,78	0,69	0,61	0,55	0,44	0,36
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,86	0,78	0,69	0,61	0,55	0,44	0,36
	Débord étendu	**0,25**	1,00	0,95	0,86	0,78	0,69	0,61	0,55	0,44	0,36
		0,5	1,00	0,95	0,86	0,78	0,69	0,61	0,55	0,44	0,36
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,86	0,78	0,69	0,61	0,55	0,44	0,36
	Débord infini	**0,25**	1,00	0,96	0,90	0,85	0,80	0,76	0,74	0,69	0,67
		0,5	1,00	0,96	0,88	0,82	0,75	0,70	0,66	0,59	0,54
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,87	0,79	0,71	0,64	0,59	0,49	0,42
	Débord avec une joue	**0,25**	1,00	0,91	0,76	0,62	0,51	0,41	0,34	0,23	0,17
		0,5	1,00	0,94	0,84	0,73	0,64	0,55	0,48	0,37	0,29
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,86	0,78	0,70	0,62	0,57	0,46	0,38
	Débord avec deux joues	**0,25**	1,00	0,96	0,89	0,82	0,78	0,75	0,72	0,70	0,69
		0,5	1,00	0,95	0,86	0,78	0,71	0,65	0,61	0,56	0,53
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,84	0,74	0,65	0,57	0,51	0,42	0,36
Nord-Est	**Débord fini**	**0,25**	1,00	0,94	0,83	0,72	0,62	0,54	0,46	0,35	0,29
		0,5	1,00	0,94	0,83	0,72	0,62	0,54	0,46	0,35	0,28
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,83	0,72	0,62	0,54	0,46	0,35	0,27
	Débord étendu	**0,25**	1,00	0,94	0,83	0,72	0,62	0,54	0,46	0,35	0,26
		0,5	1,00	0,94	0,83	0,72	0,62	0,54	0,46	0,35	0,26
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,83	0,72	0,62	0,54	0,46	0,35	0,26
	Débord infini	**0,25**	1,00	0,96	0,89	0,82	0,78	0,75	0,72	0,70	0,69
		0,5	1,00	0,95	0,86	0,78	0,71	0,65	0,61	0,56	0,53
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,84	0,74	0,65	0,57	0,51	0,42	0,36
	Débord avec une joue	**0,25**	1,00	0,84	0,60	0,40	0,25	0,17	0,12	0,07	0,06
		0,5	1,00	0,92	0,75	0,60	0,46	0,35	0,26	0,15	0,09
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,83	0,72	0,61	0,52	0,44	0,32	0,23
	Débord avec deux joues	**0,25**	1,00	0,84	0,60	0,40	0,25	0,17	0,12	0,07	0,06
		0,5	1,00	0,92	0,75	0,60	0,46	0,35	0,26	0,15	0,09
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,83	0,72	0,61	0,52	0,44	0,32	0,23

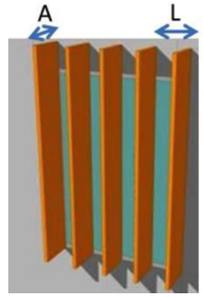


BRISE-SOLEILS HORIZONTAUX

		Nord			Nord-Ouest			Ouest			Sud-Ouest		
d/h	Alpha	Cm direct	Cm diffus	Cm global	Cm direct	Cm diffus	Cm global	Cm direct	Cm diffus	Cm global	Cm direct	Cm diffus	Cm global
0,5	5,0	0,47	0,79	0,61	0,50	0,79	0,66	0,57	0,80	0,68	0,59	0,80	0,70
	10,0	0,45	0,79	0,60	0,48	0,79	0,65	0,56	0,79	0,67	0,58	0,79	0,69
	20,0	0,42	0,78	0,57	0,46	0,78	0,63	0,54	0,78	0,66	0,56	0,78	0,68
	30,0	0,40	0,77	0,56	0,45	0,77	0,62	0,54	0,77	0,65	0,55	0,77	0,67
	40,0	0,39	0,77	0,55	0,45	0,77	0,62	0,54	0,77	0,66	0,55	0,77	0,67
	45,0	0,40	0,77	0,56	0,46	0,77	0,63	0,55	0,77	0,66	0,56	0,77	0,67
	50,0	0,41	0,77	0,57	0,47	0,77	0,63	0,56	0,78	0,67	0,57	0,78	0,68
	55,0	0,44	0,78	0,58	0,50	0,78	0,65	0,58	0,79	0,68	0,58	0,79	0,69
	60,0	0,47	0,79	0,61	0,53	0,79	0,67	0,61	0,80	0,70	0,60	0,80	0,71
1,0	5,0	0,36	0,71	0,51	0,30	0,71	0,52	0,37	0,72	0,54	0,47	0,72	0,60
	10,0	0,34	0,69	0,49	0,27	0,69	0,50	0,34	0,70	0,52	0,45	0,70	0,58
	20,0	0,29	0,65	0,45	0,22	0,65	0,45	0,29	0,66	0,48	0,40	0,66	0,54
	30,0	0,23	0,61	0,40	0,17	0,61	0,41	0,26	0,62	0,44	0,34	0,62	0,49
	40,0	0,18	0,56	0,34	0,13	0,56	0,36	0,21	0,57	0,39	0,27	0,57	0,44
	45,0	0,15	0,54	0,32	0,11	0,54	0,34	0,18	0,55	0,36	0,25	0,55	0,41
	50,0	0,12	0,51	0,29	0,09	0,51	0,31	0,16	0,52	0,34	0,22	0,52	0,38
	55,0	0,09	0,48	0,26	0,07	0,48	0,29	0,15	0,50	0,32	0,19	0,50	0,36
	60,0	0,07	0,46	0,24	0,05	0,45	0,27	0,13	0,47	0,30	0,16	0,47	0,33
2,0	5,0	0,34	0,65	0,47	0,23	0,65	0,45	0,25	0,66	0,45	0,42	0,66	0,55
	10,0	0,29	0,61	0,43	0,19	0,61	0,41	0,22	0,62	0,42	0,36	0,62	0,50
	20,0	0,16	0,51	0,31	0,10	0,51	0,32	0,12	0,52	0,32	0,22	0,52	0,38
	30,0	0,00	0,32	0,14	0,00	0,32	0,17	0,00	0,33	0,17	0,00	0,33	0,18

		Sud			Sud-Est			Est			Nord-Est		
d/h	Alpha	Cm direct	Cm diffus	Cm global	Cm direct	Cm diffus	Cm global	Cm direct	Cm diffus	Cm global	Cm direct	Cm diffus	Cm global
0,5	5,0	0,52	0,79	0,73	0,66	0,79	0,76	0,56	0,79	0,69	0,50	0,79	0,65
	10,0	0,51	0,78	0,72	0,65	0,79	0,75	0,55	0,78	0,68	0,48	0,79	0,64
	20,0	0,49	0,77	0,71	0,62	0,77	0,74	0,53	0,77	0,67	0,46	0,77	0,62
	30,0	0,46	0,76	0,70	0,60	0,77	0,72	0,52	0,76	0,66	0,45	0,77	0,61
	40,0	0,44	0,76	0,69	0,58	0,77	0,72	0,53	0,76	0,66	0,45	0,77	0,61
	45,0	0,42	0,76	0,69	0,58	0,77	0,72	0,53	0,76	0,66	0,46	0,77	0,62
	50,0	0,41	0,77	0,69	0,58	0,77	0,72	0,54	0,77	0,67	0,48	0,77	0,63
	55,0	0,40	0,78	0,69	0,58	0,78	0,73	0,56	0,78	0,68	0,50	0,78	0,64
	60,0	0,40	0,79	0,70	0,59	0,79	0,74	0,59	0,79	0,70	0,53	0,79	0,66
1,0	5,0	0,51	0,70	0,66	0,63	0,71	0,69	0,35	0,71	0,55	0,32	0,71	0,52
	10,0	0,49	0,69	0,64	0,60	0,69	0,67	0,32	0,69	0,53	0,30	0,69	0,50
	20,0	0,43	0,65	0,60	0,52	0,65	0,62	0,26	0,65	0,48	0,25	0,65	0,46
	30,0	0,36	0,60	0,55	0,44	0,61	0,57	0,22	0,60	0,43	0,20	0,61	0,41
	40,0	0,28	0,55	0,49	0,34	0,56	0,50	0,16	0,56	0,38	0,15	0,56	0,36
	45,0	0,25	0,53	0,46	0,29	0,54	0,47	0,13	0,53	0,36	0,13	0,54	0,34
	50,0	0,21	0,50	0,43	0,25	0,51	0,44	0,11	0,50	0,33	0,10	0,51	0,31
	55,0	0,17	0,47	0,40	0,20	0,48	0,41	0,09	0,47	0,31	0,09	0,48	0,29
	60,0	0,13	0,45	0,37	0,16	0,45	0,38	0,07	0,45	0,28	0,07	0,45	0,27
2,0	5,0	0,49	0,64	0,61	0,60	0,65	0,63	0,22	0,64	0,46	0,27	0,65	0,46
	10,0	0,43	0,60	0,56	0,52	0,61	0,59	0,17	0,60	0,42	0,23	0,61	0,42
	20,0	0,26	0,50	0,44	0,31	0,51	0,45	0,09	0,50	0,32	0,13	0,51	0,32
	30,0	0,00	0,30	0,24	0,00	0,31	0,23	0,00	0,31	0,17	0,00	0,31	0,16

BRISE-SOLEILS VERTICAUX



Type de protection :	Orientation	d/L	Cm direct	Cm diffus	Cm global
Brise soleil à lames perpendiculaires	Nord	0,50	0,47	0,64	0,58
		1,0	0,33	0,45	0,42
		1,5	0,29	0,36	0,34
	Nord-Ouest	0,50	0,78	0,64	0,70
		1,0	0,64	0,45	0,54
		1,5	0,52	0,36	0,43
	Ouest	0,50	0,90	0,64	0,77
		1,0	0,81	0,45	0,63
		1,5	0,73	0,36	0,55
	Sud-Ouest	0,50	0,69	0,64	0,66
		1,0	0,43	0,45	0,44
		1,5	0,23	0,36	0,30
	Sud	0,50	0,16	0,64	0,53
		1,0	0,16	0,45	0,39
		1,5	0,16	0,36	0,32
	Sud-Est	0,50	0,26	0,64	0,54
		1,0	0,08	0,45	0,36
		1,5	0,07	0,36	0,29
	Est	0,50	0,85	0,64	0,73
		1,0	0,74	0,45	0,58
		1,5	0,65	0,36	0,49
	Nord-Est	0,50	0,75	0,64	0,69
		1,0	0,57	0,45	0,51
		1,5	0,44	0,36	0,40



Présentation des auteurs



Mohamed Abdesselam, ingénieur conseil, expert sénior, directeur du bureau d'études Solener, docteur en énergétique de l'Ecole Nationale des Mines de Paris, 30 ans d'expérience dans divers domaines de la Maîtrise de l'Energie, des Energies Renouvelables et de la Qualité environnementale des bâtiments. Il a une longue expérience en zone tropicale, à travers la réalisation de projets, organisateur de formation et formateur (Dakar pour le gouvernement , Lomé pour IRDD, Nouvelle-Calédonie et Polynésie pour l'Ademe) et concepteur de logiciels comme Batipéi ou de guides thématiques sur la bioclimatique en zone tropicale. Il est enseignant externe à l'Ecole des Mines de Douai.

Robert Celaire, ingénieur conseil, expert sénior, directeur du bureau d'études Robert Celaire Consultants diplômé de l'Ecole Centrale de Lyon et de l'Université d'Etat du Colorado qui a 35 ans d'expérience nationale et internationale dans divers domaines de la Maîtrise de l'Energie, des Energies Renouvelables et de la Qualité environnementale des bâtiments. Il a une expérience concrète dans des zones climatiques très diversifiées et notamment en zone tropicale. Il est en outre enseignant à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Montpellier et a organisé de nombreuses sessions de formation en Polynésie et Nouvelle Calédonie.





Frédéric Pujol, architecte DPLG et conducteur de travaux ESTP, exerçant depuis 15 ans en Guyane française et aux Antilles françaises et ayant réalisé plusieurs bâtiments bioclimatiques et de « Qualité Environnementale Amazonienne », démarche qu'il a contribué à mettre au point. Il réalise ses projets seul, ou, le plus souvent, en collaboration avec des architectes Guadeloupéens et Martiniquais afin d'enrichir le questionnement et de perpétuer le pari de l'intelligence à plusieurs, gage de réussite d'un projet de Qualité Environnementale.



SERVICE DES ENERGIES

B.P. 3829 • 98713 Papeete • TAHITI • Polynésie française
Bâtiment administratif A2 • 4ème étage • Rue Cdt Destremeau
Tél. : (689) 40 46 82 50 • Fax. : (689) 40 46 82 78
Email : secretariat@energie.gov.pf
Site internet : www.service-energie.pf

ADEME Polynésie française

BP 115 • 98713 PAPEETE • TAHITI • Polynésie française
Rue Dumont Durville
Tél. : (689) 40 46 84 72
Email : ademe.polynesie@ademe.fr
Site internet : www.polynesie-francaise.ademe.fr